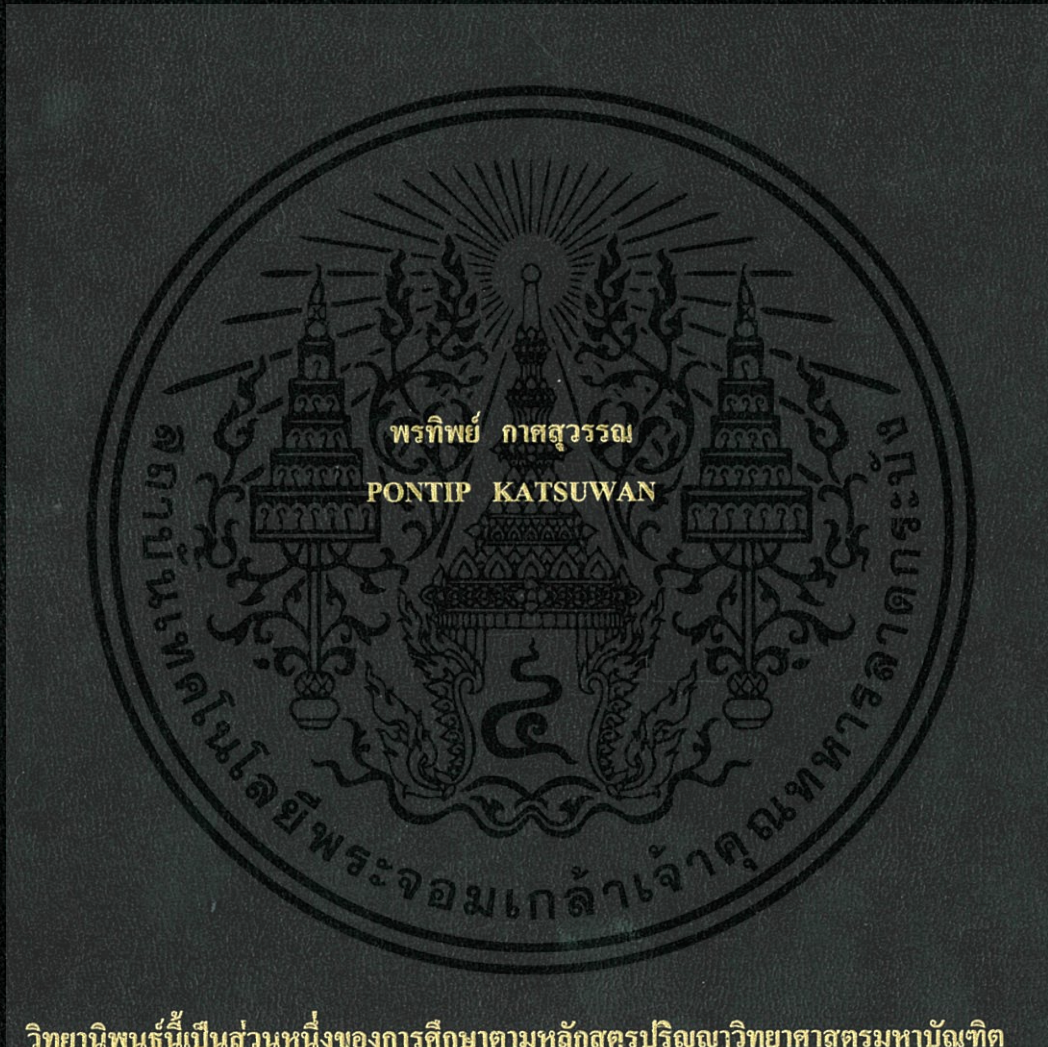


สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วย
สกัดโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง

OPTIMIZATION OF MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION OF PAPAYA
SEED OIL BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-053-278

สถานะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วย
สกัดโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง

OPTIMIZATION OF MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION OF PAPAYA
SEED OIL BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-053-278

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**OPTIMIZATION OF MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION OF PAPAYA
SEED OIL BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY**

PONTIP KATSUWAN



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
AGRO-INDUSTRY**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

KMITL-2017-AI-M-053-278

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด
โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง

OPTIMIZATION OF MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION OF PAPAYA
SEED OIL BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

ชื่อนักศึกษา

นางสาวพรทิพย์ กาศสุวรรณ

รหัสประจำตัว

59608032

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.ระจิตร์ สุวพานิช

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.ระจิตร์ สุวพานิช	
ผศ.ดร.พอใจ ถามากร	
ดร.กิตติชัย บรรจง	
รศ.ดร.ระติพร มูลสาร	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 14 กรกฎาคม 2560 เวลา 13.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 24 เดือน กค พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง
นักศึกษา	นางสาวพรทิพย์ กาศสุวรรณ
รหัสประจำตัว	59608032
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.ระจิตร์ สุวพานิช

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอกที่มีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง ซึ่งปริมาณผลผลิตน้ำมันที่สกัดได้ ณ สภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติ (ไม่มีอ่างน้ำ) จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันที่สกัดได้โดยการใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำ รวมถึงวิเคราะห์หาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่สกัดได้ โดยในการทดลองมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัย คือ เวลาที่ใช้ในการสกัด (X_1), กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ (X_2) และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อตัวทำละลาย (X_3) จากการทดลองพบว่าวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติมีสภาวะที่เหมาะสมและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุดคือ การใช้ระยะเวลาในการสกัด 2.32 นาที กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ 800 วัตต์ และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อตัวทำละลาย 7% โดยสภาวะนี้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเท่ากับ 28% และเมื่อเปรียบเทียบกับผลของการสกัดแบบมีอ่างน้ำที่สภาวะเดียวกันพบว่า การสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าและใช้เวลาสกัดที่สั้นกว่า ในส่วนของฤทธิ์การวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และ DPPH ของน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่ได้จากทั้ง 2 วิธีการสกัดพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันที่ได้จากวิธีการสกัดแบบมีอ่างน้ำมีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยไมโครเวฟปกติเนื่องจากอุณหภูมิภายในระบบระหว่างกระบวนการสกัดต่ำกว่า

Thesis	Optimization of microwave-assisted extraction of papaya seed oil by response surface methodology
Student	Miss. Pontip Katsuwan
Student ID.	59608032
Degree	Master of science program
Program	Food Science
Year	2017
Thesis Advisor	Dr. Rachit Suwapanich

ABSTRACT

The purposes of this thesis were to optimize the condition for oil extraction from papaya seed by microwave-assisted extraction (MAE). The experiment was carried out using response surface methodology (RSM) with central composite design (CCD) to achieve the highest extraction efficiency and reduce energy consumption. The oil yield at optimized MAE conditions was compared with MAE which water bowl was added. The antioxidant activity of extracted papaya seed oil was also determined. The three independent variables were extraction time (X_1), microwave power (X_2) and papaya seed to solvent ratio (X_3). The results showed that the optimum extraction conditions of MAE which low energy consumption was extraction time 2.32 min, microwave power 800 W and papaya seed to solvent ratio 7 % (w/v), which resulted in an oil extraction yield of 28 %. The results obtained were compared with those given by the same model in the case of the MAE with added water bowl. It was found that the MAE gave better yields within very short times. The antioxidant activity of the papaya oil extracted from both extraction methods were determined by two different assays, ABTS and DPPH antioxidant assay. Results indicated that there was a statistically significant difference ($p \leq 0.05$). The oil extracted from MAE with added water bowl contains the higher antioxidant activity than MAE because the temperature in the system during the extraction process is lower.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในหัวข้อเรื่องสถานะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Optimization of microwave-assisted extraction of papaya seed oil by response surface methodology) สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับคำปรึกษา คำแนะนำจากและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ รวมไปถึงการแก้ปัญหาต่างๆ ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งต่ออาจารย์ ดร. ระจิตร์ สุวพานิช และ ดร. กิตติชัย บรรจง ซึ่งให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและกรุณาเสียสละเวลาอันมีค่า เพื่อแนะนำและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี ตลอดจนช่วยเรียบเรียงและแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบคุณอาจารย์ ผศ.ดร. พอใจ ถามากร กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดีและขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำในข้อบกพร่องต่างๆและคอยเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

พรทิพย์ กาศสุวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 มะละกอ.....	5
2.2 เมล็ดมะละกอ.....	7
2.3 น้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	8
2.4 การสกัดน้ำมัน.....	8
2.4.1 การสกัดเชิงกล.....	8
2.4.2 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย.....	9
2.5 ไมโครเวฟ.....	9
2.5.1 หลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ.....	10
2.5.2 หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ.....	11
2.5.3 การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ.....	12
2.5.4 อัตรากิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ.....	13
2.5.5 ข้อดีของการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ.....	13
2.5.6 เทคนิคการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด.....	14
2.6 การออกแบบการทดลอง.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 วิธีพื้นผิวตอบสนอง.....	17
2.7.1 การออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง.....	18
2.8 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ.....	20
2.8.1 อนุมูลอิสระ.....	20
2.8.2 สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชัน.....	22
2.8.3 สารประกอบฟีนอลิก.....	26
2.9 การวิเคราะห์หัตถ์ต้านอนุมูลอิสระ.....	27
2.9.1 วิธีการวิเคราะห์หัตถ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพ.....	28
2.9.2 วิธีการวิเคราะห์หัตถ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ.....	28
2.9.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด.....	28
2.9.4 วิธี 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS).....	29
2.9.5 วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl assay (DPPH assay).....	29
2.10 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	38
3.1 วัตถุประสงค์.....	38
3.2 สารเคมี.....	38
3.3 เครื่องมือ.....	39
3.4 วิธีดำเนินงาน.....	39
3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ.....	39
3.4.2 การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอ.....	40
3.4.3 การออกแบบการทดลอง.....	40
3.4.4 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ.....	41
3.4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองและทวนสอบสมการ.....	42
3.4.6 การวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงพลังงานของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	43
ด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด	
3.4.7 เปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอที่มีผลต่อ.....	44
คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ	
3.4.8 วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

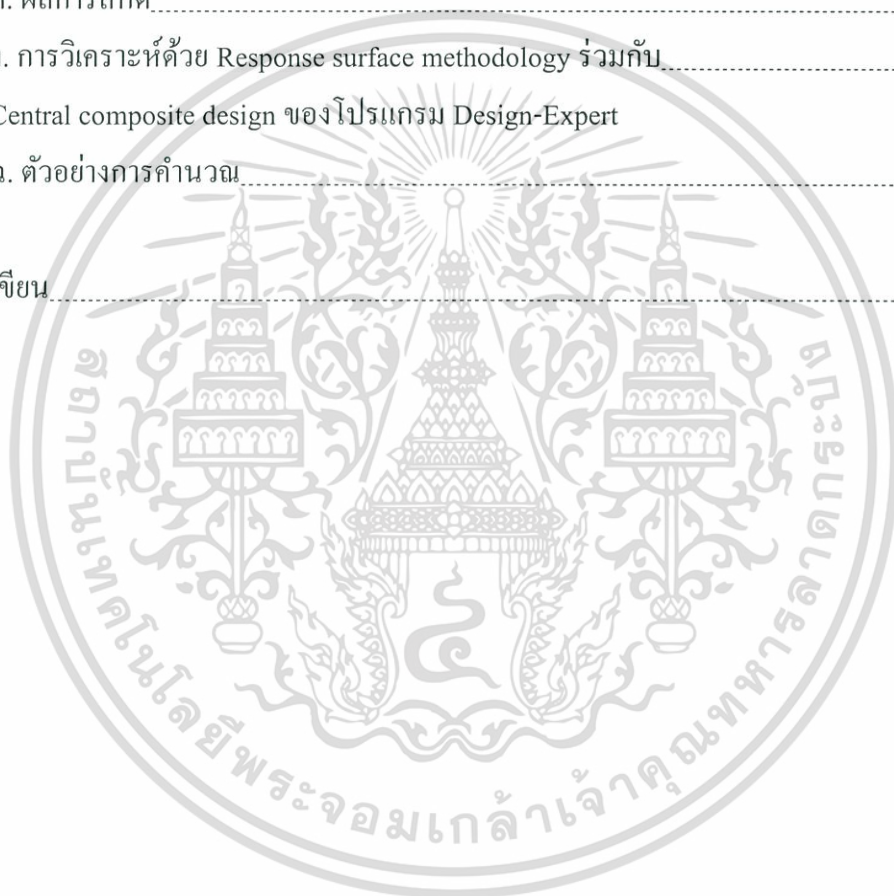
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	47
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอ	47
4.2 การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอ	47
ด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดโดยใช้วิธีพื้นผิวดูดซับสอง	
4.2.1 สมการถดถอยและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน	47
4.2.2 การทวนสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	49
4.2.3 สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วย	50
ไมโครเวฟช่วยสกัด	
4.2.4 สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ	51
ด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดที่มีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด	
4.2.5 การยืนยันผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	53
4.3 การเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด	54
แบบปกติกับการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำ	
4.3.1 สมการถดถอยและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน	54
4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์พลังงานของการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด	56
4.4.1 การเตรียมสมการคำนวณหาความสัมพันธ์พลังงานของ	56
ของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด	
4.4.2 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วย	58
ไมโครเวฟช่วยสกัด	
4.5 ผลการเปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอที่มีผลต่อ	59
คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ	
4.5.1 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน	59
4.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวม	60
4.5.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH	61
4.5.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS	61
4.5.5 คุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ	62
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก	
ก. การวิเคราะห์ห้อยค์ประกอบทางกายภาพ.....	81
ข. เครื่องมือที่ใช้ในการสกัด.....	85
ค. ผลการสกัด.....	87
ง. การวิเคราะห์ด้วย Response surface methodology ร่วมกับ Central composite design ของโปรแกรม Design-Expert	89
จ. ตัวอย่างการคำนวณ.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	103



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของมะละกอ.....	6
2.2 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการสกัดน้ำมันพืชโดยการบีบอัด.....	8
2.3 น้ำมันจากเมล็ดผลไม้ต่างๆ.....	32
3.1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ Central Composite Design.....	40
3.2 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design.....	41
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอในรูปเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก.....	47
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการพหุนามกำลังสอง.....	48
4.3 เปรียบเทียบระยะเวลาในการสกัดเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากัน.....	52
4.4 เปรียบเทียบระยะเวลาในการสกัดเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันร่วมกับการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนระดับสูงเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากัน.....	52
4.5 เปรียบเทียบอัตราส่วนเมล็ดมะละกอเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันแต่ระยะเวลาในการสกัดเท่ากันเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากัน.....	53
4.6 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายภายใต้สภาวะที่เหมาะสม.....	54
4.7 ค่าพลังงานไฟฟ้ากับระยะเวลาในการสกัดของทั้ง 5 ระดับกำลังไฟฟ้า.....	56
4.8 ค่าพารามิเตอร์และสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ (R^2) ของสมการเส้นตรงที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงาน.....	57
4.9 ผลการคำนวณระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอให้ได้ตามค่าเป้าหมาย.....	58
4.10 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากวิธีการสกัดที่ต่างกัน.....	62
4.11 สมบัติทางความร้อนการเกิดจุดหลอมเหลวและการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	66
ก.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นของเมล็ดมะละกอ.....	83
ก.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	84

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ.....	10
2.2 วิธีการให้ความร้อน.....	13
2.3 กราฟิฟพื้นที่ผิวตอบสนอง.....	18
2.4 ภาพแสดงการออกแบบส่วนประสมกลางสำหรับ $k = 2$ และ $k = 3$	19
2.5 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางสำหรับ 3 ตัวแปร.....	20
2.6 ปฏิกริยาระหว่าง DPPH• และสารต้านอนุมูลอิสระ.....	29
4.1 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นปกติกับส่วนตกค้าง (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย	49
4.2 แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงผลของระยะเวลาในการสกัดและกำลังไฟฟ้า.....	50
4.3 โพรไฟล์อุณหภูมิของการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติกับแบบที่มีอ่างน้ำ.....	55
4.4 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับระยะเวลาในการสกัดของทั้ง 5 ระดับกำลังไฟฟ้าและแสดงสมการคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด	57
4.5 พฤติกรรมการหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟปกติกับไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำ.....	64
4.6 พฤติกรรมการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟปกติกับไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำ.....	65
ข.1 เครื่องสกัดไมโครเวฟ.....	86
ค.1 ผลการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติ.....	88
ค.2 ผลการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำ.....	88
ง.1 ป้อนค่าสูงสุดและต่ำสุดของปัจจัยที่ต้องการศึกษา.....	90
ง.2 ระดับปัจจัยที่โปรแกรมคำนวณให้ก่อนกรอกค่าที่วัดได้.....	91
ง.3 หลังกรอกค่าตอบสนองที่วัดได้.....	91
ง.4 หน้าต่างแนะนำสมการที่เหมาะสมกับค่าที่ได้จากการทดลอง.....	92
ง.5 ตาราง ANOVA ที่วิเคราะห์ได้.....	93
ง.6 ค่าทางสถิติที่คำนวณได้จากโปรแกรม.....	94
ง.7 สมการที่วิเคราะห์ได้.....	94
ง.8 Surface plot (บน) และ Contour plot (ล่าง).....	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
จ.1 ตารางข้อมูลปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ.....	100
จ.2 วิธีการตั้งค่านวนหาค่าเป้าหมายในโปรแกรม Excel.....	101
จ.3 ตัวอย่างการทำนายระยะเวลาของการสกัดโดยการคำนวณหาค่าเป้าหมาย.....	101
จ.4 ผลลัพธ์ตัวอย่างการทำนายระยะเวลาการสกัด.....	102



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะละกอเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยมีความต้องการมากสำหรับการบริโภคทั้งในประเทศและเพื่อการส่งออก จากธุรกิจการส่งออกมะละกอซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วพบว่าในหนึ่งปีมีการส่งออกมะละกอถึงปีละหลายพันตัน สร้างรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมหาศาลและในปัจจุบันยังเป็นที่ต้องการอย่างมากในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน โดยสถานการณ์การผลิตมะละกอของไทยในปัจจุบันพบว่า พื้นที่ที่ใช้สำหรับเก็บเกี่ยวของไทยตั้งแต่ปี 2549 เป็นต้นไป มีประมาณ 50,000-70,000 ไร่ มีผลผลิตที่ได้ประมาณ 1.3-2 แสนกว่าตันในแต่ละปี มะละกอสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทยและสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี จึงถือเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่ทุกคนไม่ควรมองข้ามเพราะเป็นผลไม้ที่สามารถบริโภคได้ทั้งผลดิบและผลสุก อีกทั้งมะละกอยังใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมได้หลายอย่าง เช่น เนื้อมะละกอดิบ สามารถนำไปประกอบอาหาร ผลมะละกอสุกทานเป็นผลไม้ แปรรูปเป็นน้ำผลไม้ ซอส ผลไม้กระป๋อง แยม และลูกกวาด ในปัจจุบันได้มีการนำเอามะละกอสุกมาใช้เป็นวัตถุดิบแทนในการผลิตอาหารมาก โดยเฉพาะการใช้ทดแทนมะเขือเทศ เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตซอสมะเขือเทศ ซอสพริก น้ำมะเขือเทศ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากมะละกอมีราคาถูกตลอดจนมีรส สีส กลิ่นและแร่ธาตุต่างๆ ไม่ได้แตกต่างไปจากมะเขือเทศเท่าใดนัก จึงทำให้ผู้ผลิตนิยมมาก นอกจากนี้มะละกอสุกยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมการผลิตสลัดผลไม้กระป๋อง น้ำแยมและมะละกอผง ได้ดีอีกด้วย เปลือกมะละกอใช้เป็นอาหารสัตว์ และสีผสมอาหาร ยางมะละกอใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ ผลิตน้ำปลา อาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมเคมีและเครื่องสำอาง เป็นต้น (ฉลองชัย แบบประเสริฐ, 2533) ซึ่งการปลูกมะละกอในปัจจุบันถูกป้อนเข้าสู่แต่ละโรงงานครั้งละมากกว่า 20 ตัน

จากอุตสาหกรรมดังกล่าวมาข้างต้น เมล็ดมะละกอถือเป็นสิ่งที่ถูกกำจัดทิ้งและไม่เป็นที่ต้องการ ซึ่งมีประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลมะละกอและเป็นของเสียจำนวนมากที่ได้จากการผลิต ดังนั้นจึงทำให้เกิดแนวความคิดที่ว่าเมล็ดมะละกอน่าจะมีศักยภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน โดยจากการศึกษาพบว่าในเมล็ดมะละกอมีน้ำมันอยู่ประมาณร้อยละ 30 ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่มาก และในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่สกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชหลากหลายชนิดด้วยกัน เช่น เมล็ดฝ้าย เมล็ดดอกทานตะวัน เมล็ดละหุ่ง เป็นต้น ดังนั้นเมล็ดมะละกอจึงถือว่าเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่สามารถนำมาสกัดน้ำมันได้ น้ำมันเมล็ดมะละกอมีคุณลักษณะเป็นกึ่ง

ของเหลวที่มีสีเหลืองแดง เป็นน้ำมันที่อุดมไปด้วยไตรกลีเซอไรด์ที่มีประโยชน์ เช่น มีโอเลอีนมากกว่า 37 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดไขมันอิ่มตัวเชิงเดี่ยว เช่น กรดโอเลอิกมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ (Samaram และคณะ, 2014) ที่เชื่อกันว่าสามารถป้องกันโรคมะเร็งได้ นอกจากนี้ น้ำมันเมล็ดมะละกอยังมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมาก นอกจากนี้ น้ำมันเมล็ดมะละกอยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์บำรุงเส้นผมและครีมบำรุงผิว เป็นต้น ซึ่งในการแปรรูปของเหลื่อทิ้งราคาถูกแล้วทำให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จะเป็นการช่วยลดปริมาณของขยะแล้วยังช่วยสร้างรายได้ให้กับประเทศได้อีกด้วย ในการสกัดน้ำมันส่วนใหญ่จะนิยมทำการสกัดโดยใช้ความร้อนและตัวทำละลาย (Conventional solvent extraction) ซึ่งเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองพลังงานและทรัพยากร เพราะต้องใช้เวลาในการสกัดนาน และต้องใช้ปริมาณตัวทำละลายในปริมาณมาก เพื่อแก้ปัญหาในส่วนนี้จึงได้นำวิธีการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด (Microwave-assisted extraction ; MAE) มาใช้ในการสกัดเพื่อตอบสนองความต้องการและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้คุ้มค่าและเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ข้อดีของ MAE คือใช้เวลาในการสกัดสั้น สามารถลดปริมาณการใช้ตัวทำละลายในการสกัดได้และยังช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตของน้ำมันที่สกัดได้ทำให้ประหยัดพลังงานในการสกัดได้มาก

โดยในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเมล็ดมะละกอที่เหลื่อทิ้งจากร้านขายผลไม้ รวมถึงจากโรงงานอุตสาหกรรมมาทำการสกัดน้ำมันโดยใช้ไมโครเวฟที่ผ่านการดัดแปลง ซึ่งน้ำมันที่ได้จากวิธีการใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันที่สกัดได้โดยการใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำ พร้อมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอที่มีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง รวมถึงวิเคราะห์หาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้ เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อยอดในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดโดยใช้เทคนิค Response surface methodology (RSM) และทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการที่ได้

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้จากวิธีการใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติกับไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำที่สภาวะที่เหมาะสม

1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของพลังงานของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดที่ระดับกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

1.2.3 เพื่อศึกษาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระและวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอดที่สกัดได้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยมุ่งเน้นหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอดที่มีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด โดยใช้การออกแบบแผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) ร่วมกับหลักการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) วัตถุประสงค์ที่ใช้คือเมล็ดมะละกอด พันธุ์ฮอลแลนด์ จากร้านขายผลไม้ที่ตลาดนัดสุวรรณภูมิ ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดคือ เฮกเซน (Hexane) วิธีที่ใช้ในการสกัดมี 2 วิธี คือ วิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติกับวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำ ซึ่งเครื่องไมโครเวฟที่ใช้เป็นไมโครเวฟที่ผ่านการดัดแปลง (ลำนำพร ปลดเปลื้อง, 2557) วิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำเป็นวิธีที่ออกแบบขึ้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการสกัดของวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟแบบปกติ ตัวแปรที่ทำการศึกษามี ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ระยะเวลาในการสกัด กำลังไฟฟ้า และอัตราส่วนของเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณสารละลายเฮกเซน และตัวแปรตาม คือ ปริมาณผลผลิตของน้ำมันเมล็ดมะละกอด จากนั้นทำการทวนสอบความแม่นยำของสมการที่ได้โดยการสร้างแผนภาพ Normal plot ด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Pearson correlation) และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของพลังงานของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดทุกระดับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงศึกษาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลด้วยวิธี Folin Ciocalteu เทียบกับกรดแกลลิกและวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอด 2 วิธี ได้แก่ 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) และ antioxidant assay, 2,2-Azinobis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอดที่สกัดได้โดยใช้เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำเมล็ดมะละกอซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมาสกัดเป็นน้ำมันเมล็ดมะละกอที่มีประโยชน์และเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้ง

1.4.2 สามารถนำสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาไว้เพื่อช่วยทำนายหรือเป็นแนวทางในการเลือกสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอมากเท่าที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสามารถคำนวณได้และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด

1.4.3 ทราบผลของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟ

1.4.4 สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสกัดด้วยไมโครเวฟในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาและปริมาณตัวทำละลายน้อย เป็นการลดการสิ้นเปลืองพลังงานและได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันที่สูง โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ไปใช้เป็นแนวทางหรือเป็นประโยชน์ต่อยอดการสกัดในระดับอุตสาหกรรมต่อไป



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะละกอ

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

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

สำหรับประเทศไทยนอกจากจะมีการบริโภคมะละกอกันภายในประเทศแล้ว ในปัจจุบันยังมีการส่งมะละกอไปจำหน่ายตลาดต่างประเทศอีกด้วย พันธุ์ในประเทศที่ไว้บริโภคผลสุกที่ได้รับความนิยมคือพันธุ์แขกดำ ปัจจุบันมีการพัฒนาพันธุ์ครั้งใช้กินดิบเก็บได้นาน เนื้อกรอบ สีแดงอมส้ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่พบในมะละกอสุกแสดงว่า มะละกอสุกมีสารไลโคพีนซึ่งเป็นสารช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมากอีกด้วย

มะละกอสุกอุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ แคโรทีน วิตามินซี สารฟลาโวนอยด์ สารโฟเลต กรดแพนโทเทนิค ธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และเส้นใยอาหาร สารอาหารเหล่านี้ บำรุงสุขภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือดและป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่อีกด้วย

นอกจากนี้นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยอินสบรุค ประเทศออสเตรีย พบว่ามะละกามีสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อสุกหอม เนื่องจากคลอโรฟิลล์สีเขียวเปลี่ยนเป็นสารไม่มีสีที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างเข้มข้นชนิดหนึ่งเรียก NCCs (Nonfluorescing chlorophyll catabolytes) สะสมบริเวณเปลือกผลและใต้ผิวเปลือก เวลาปอกมะละกอสุกจึงไม่ควรกรีดรีวบริเวณใต้เปลือกเพราะจะสูญเสียคุณค่าอาหารนี้ไป (สุชาติพ ภมรประวัตติ, 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เมล็ดมะละกอ

มะละกามีเมล็ดอยู่ภายในผลจำนวนมาก เมล็ดจะติดอยู่กับผนังด้านในของผล เมล็ดจะมีรูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร สีดำหรือเทา ผิวเปลือกขุ่น รอบๆเมล็ดจะมีสารชนิดหนึ่งที่เป็นเนื้อเยื่อบางๆหุ้มอยู่ มีชื่อว่า กีลาติน (gelatin) ที่ประเทศอินเดียกล่าวสืบทอดกันมาแต่บรรพบุรุษว่าเมล็ดมะละกอใช้รักษาโรคมะเร็งได้ งานวิจัยจากประเทศญี่ปุ่นรายงานเมื่อเดือนมกราคม พ.ศ.2550 นี้ว่า เมล็ดมะละกามีเอนไซม์ไมโรซิเนส และสารเบนซิลกลูโคซิโนเลตในปริมาณมาก สารเบนซิลกลูโคซิโนเลตนี้ส่วนใหญ่พบในพีชวงศ์กะน้า มีฤทธิ์ขับไล่สัตว์กินพืชในธรรมชาติ แต่มนุษย์ย่อยสารนี้โดยใช้เอนไซม์ไมโรซิเนส ได้สารต้านมะเร็ง งานวิจัยยังพบว่าสารสกัดเฮกเซนของเมล็ดมะละกามีฤทธิ์ยับยั้งการสร้างสารซูเปอร์ออกไซด์ และมีฤทธิ์ฆ่าเซลล์มะเร็งแบบอะปอโทซิส จะเห็นว่าเมล็ดมะละกามีฤทธิ์ต้านมะเร็งได้จริงตามภูมิปัญญาการแพทย์อินเดีย แต่ต้องใช้เวลามากกว่าจะมีการพัฒนาเป็นยาแผนปัจจุบันได้ต่อไป (สุรชาติพ ภมรประวัตติ, 2552)

เนื่องจากการบริโภคมะละกอที่สูงมากในแต่ละปีทำให้มีเมล็ดมะละกอที่เหลือทิ้งเป็นจำนวนมากในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปซึ่งเป็นของเสียที่ต้องกำจัดทิ้ง (Samaram และคณะ, 2015) และมีปริมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลไม้ (Samaram และคณะ, 2014) นอกจากนี้ภายในเมล็ดมะละกอยังมีน้ำมันอยู่ประมาณ 30-34 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีคุณสมบัติทางด้านคุณค่าทางโภชนาการและการทำงานคล้ายกับน้ำมันมะกอก (Puangsri และคณะ, 2005 ; Lee และคณะ, 2011) แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่ยืนยันว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอสามารถบริโภคได้ (Puangsri และคณะ, 2005) อย่างไรก็ตามการที่จะทำให้เมล็ดมะละกอถูกใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นจำเป็นต้องอาศัยการสกัด เนื่องจากภายในเมล็ดมะละกามีน้ำมันอยู่มากและการใช้น้ำมันพืชมีบทบาทมานานหลายศตวรรษทั้งในการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวนมากในอุตสาหกรรมและอาหาร ปัจจุบันการสกัดน้ำมันมีอยู่ 2 วิธีหลักๆคือ การใช้กระบวนการไฮดรอลิกแล้วนำไปทำให้บริสุทธิ์และกระบวนการทางเคมีโดยการใช้ตัวทำละลายในการสกัด (McGlone และคณะ, 1986) ถึงแม้ในเวลาต่อมาจะมีกระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดที่ทำให้ได้ผลผลิตน้ำมันที่สูงขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายรวมถึงการลงทุนในการดำเนินการสูงขึ้นเช่นเดียวกันและยังเป็นสาเหตุให้เกิดผลที่ไม่ต้องการในผลิตภัณฑ์สุดท้าย เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการสกัด (Christensen, 1991) นอกจากนี้กระบวนการสกัดแบบเดิมยังมีข้อดีตรงที่ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงของไฟไหม้หรือการระเบิด ไม่เป็นพิษ และให้ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง (Dominguez และคณะ, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 น้ำมันเมล็ดมะละกอ

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

น้ำมันเมล็ดมะละกามีคุณสมบัติทางด้านคุณค่าทางโภชนาการและการทำงานคล้ายกับน้ำมันมะกอก (Puangsri และคณะ, 2005 ; Lee และคณะ, 2011) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ สำหรับการผลิตยา ใช้ในการเชื่อมเพลิงชีวภาพและทางด้านอุตสาหกรรมได้ (Afolabi และคณะ, 2011) โดยสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันจะเป็นตัวกำหนดคุณภาพและความเหมาะสมสำหรับการบริโภค ซึ่งในปัจจุบันยังไม่พบงานวิจัยที่ยืนยันว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอสามารถบริโภคได้ (Puangsri และคณะ, 2005)

2.4 การสกัดน้ำมัน

ปัจจุบันกรรมวิธีในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชที่ใช้กันทางอุตสาหกรรมมี 2 วิธี คือวิธีการบีบโดยใช้วิธีทางกลและวิธีการใช้สารทำละลาย (คารณี 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 เป็นการอัดโดยใช้หลักการเปลี่ยนปริมาตรของวัตถุคืบที่เคลื่อนที่ไปตามร่องเกลียว (อาชัย พิทยภาคย์ และคณะ, 2544)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการสกัดน้ำมันพืชโดยการบีบอัด

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.1 ชนิดของการสกัดน้ำมันโดยการบีบอัดเชิงกลมี 2 แบบคือ

1) วิธีการบีบอัดแบบเย็น การแยกส่วนของน้ำมันออกมาจากส่วนต่างๆ ของพืช อย่างเช่น เมล็ด หัว ใบ ดอก ผล และเปลือก โดยการบีบอัดด้วยอุณหภูมิต่ำโดยที่พืชนำมาสกัดเย็น จะต้องไม่ผ่านความร้อนหรือสารเคมีมาก่อนแล้วตั้งทิ้งไว้จนตกตะกอน จากนั้นจึงกรองเอาเฉพาะ ส่วนของน้ำมันที่บริสุทธิ์มาใช้ น้ำมันที่ได้จากวิธีการบีบอัดแบบเย็นนี้สามารถนำน้ำมันมาใช้ได้เลย น้ำมันที่ได้จะใส สะอาดไม่มีกลิ่นหืนและยังคงสภาพวิตามินตามธรรมชาติไว้อย่างครบถ้วน ผลิตภัณฑ์หลายอย่างไม่ว่าจะเป็นเครื่องสำอาง แชมพู ครีมนวดผมและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารชนิด แคปซูลบางอย่าง ล้วนทำมาจากน้ำมันสดเย็น แต่ข้อจำกัดของวิธีการนี้คือ จะได้น้ำมันในปริมาณ น้อยและมีน้ำมันตกค้างในกากสูง

2) วิธีการบีบอัดแบบร้อน เป็นการใช้แรงเชิงกลบีบอัดเมล็ดพืชน้ำมันร่วมกับการ ใช้ความร้อนทำให้น้ำมันเกิดการละลายตัวออกมาแล้วน้ำมันที่ได้ก็จะไม่บริสุทธิ์ จึงไม่นิยมใช้ ประโยชน์ในด้านเครื่องสำอางหรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (นพกร ดวงอินทร์ และคณะ, 2556)

2.4.2 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent extraction)

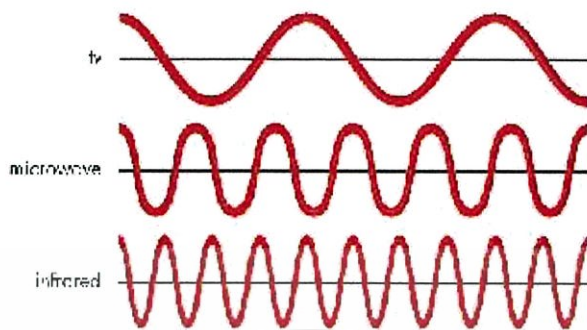
การสกัดด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับการผลิตน้ำมันพืชเพื่อใช้ในการบริโภค เพราะให้ปริมาณ น้ำมันที่สูงกว่าวิธีการสกัดเชิงกล ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดได้แก่ ปิโตรเลียมอีเทอร์ อะซิโตน และเฮกเซน เมื่อสกัดเสร็จแล้ว นำของเหลวที่สกัดได้ไประเหยเอาตัวทำละลายออก การ สกัดด้วยวิธีนี้จึงมีน้ำมันติดที่กากเพียงเล็กน้อย คือประมาณร้อยละ 0.5 การสกัดด้วยตัวทำละลาย อาศัยหลักการที่น้ำมันและไขมันสามารถละลายได้โดยตัวทำละลาย จากนั้นจึงระเหยตัวทำละลาย ออก ได้น้ำมันพืชซึ่งต้องไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ต่อไป โรงสกัดน้ำมันพืชขนาดใหญ่ นิยมใช้วิธีการนี้เพราะได้ ผลผลิตมากกว่า และเครื่องมือเครื่องจักรสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบ หลากหลายชนิด แม้ว่าจะต้องลงทุนด้านเครื่องจักรและครุภัณฑ์ในราคาสูงและต้องเสียค่าจ้าง ผู้ปฏิบัติงานที่มีความชำนาญการให้เหมาะสมกับเทคนิคขั้นสูงในการผลิต ก็ยังนับว่าคุ้มค่าเพราะให้ ผลตอบแทนสูงเช่นกัน

2.5 ไมโครเวฟ

เทคโนโลยีไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น งานด้านการสื่อสารคมนาคม ด้านอุตสาหกรรม และในครัวเรือน โดยในแต่ละด้านมีการใช้งาน ที่แตกต่างกันออกไป เช่น การสื่อสารคมนาคมจะใช้งานในส่วนของการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ ไปยังเครื่องรับในระบบต่างๆ ที่ความถี่ต่างกัน เช่น สัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณ โทรศัพท์ เป็นต้น โดยลักษณะของคลื่นเป็นไปตามภาพที่ 2.1 ในด้านอุตสาหกรรมใช้ในกระบวนการ ผลิต จะใช้คลื่นไมโครเวฟในการผลิตความร้อนสำหรับกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การอบแห้ง ผลผลิตทางการเกษตร การอบแห้งเซรามิก การอบแห้งกระดาษ การอบแห้งพลาสติก ฯลฯ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้พิมพ์เอกสารฉบับนี้ขึ้นสู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกันกับงานในครัวเรือน คือ การผลิตความร้อน ใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบอาหารเหมือนเตาแก๊สและเตาไฟฟ้า



ภาพที่ 2.1 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 ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าแมกนีตรอนที่ใช้กับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนสามารถนำมาพัฒนาให้ใช้ได้อย่างต่อเนื่องในงานอุตสาหกรรมได้

2.5.1 หลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ

หลักการของเทคโนโลยีนี้สามารถอธิบายเพื่อความเข้าใจอย่างง่าย คือ เครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุโดยการแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในวัสดุจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไป ซึ่งโมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือ มีประจุบวกและประจุลบที่ตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไป โมเลกุลเหล่านี้จะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้วเพื่อปรับเรียงตัวตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นเป็นสนามที่เปลี่ยนแปลงสลับไปมาจึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปกลับมาทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น ซึ่งเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิดที่มีปัจจัยแตกต่างกัน เช่น ความชื้นในชิ้นวัสดุ ความหนาแน่นและองค์ประกอบอื่น (สาวิตรี คำหอม, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ

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

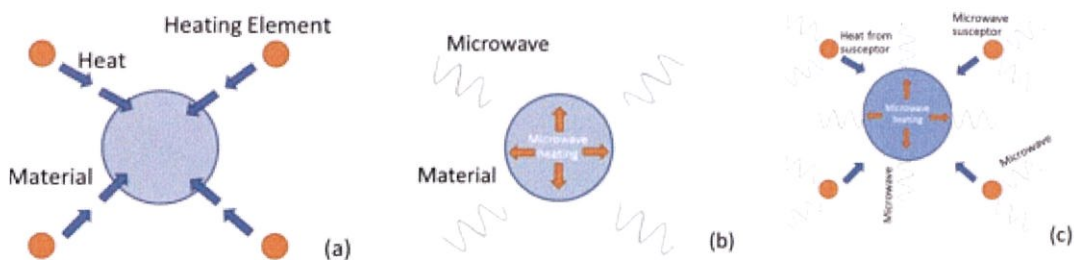
2.5.2.1 กลไกชนิดการเหนี่ยวนำเชิงไอออน (Ionic conduction) กลไกนี้เริ่มขึ้นเมื่อประจุไอออนซึ่งเกิดการแตกตัวในสารละลายถูกเร่งด้วยแรงของสนามไฟฟ้าที่กระทำ ตัวอย่างเช่น สารละลายเกลือในน้ำ ซึ่งในสารละลายจะประกอบไปด้วยไอออนของโซเดียม (Na^+) คลอไรด์ (Cl^-) ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+ , H^+) และไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ซึ่งเคลื่อนที่โดยสนามไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับประจุที่มีอยู่แต่ละไอออน จากการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้ไอออนชนกับโมเลกุลของน้ำที่ยังไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พลังงานจลน์เพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้ไอออนเกิดความเร่งและส่งผลเป็นลูกโซ่ต่อการชนของโมเลกุลอื่นคล้ายกับการชนของลูกบิลเลียด เมื่อค่าประจุเปลี่ยนแปลงไอออนจึงมีความเร่งเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม โดยเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดด้วยอัตราความถี่สูงนับล้านครั้งต่อวินาที ทำให้มีการชนและถ่ายเทพลังงานเกิดขึ้นในระดับโมเลกุลอย่างมหาศาล ดังนั้นจึงมีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน 2 ขั้นตอน คือ พลังงานของสนามไฟฟ้าถูกเปลี่ยนแปลงไปตามพลังงานจลน์ โดยการเหนี่ยวนำแบบบังคับทิศทาง (Ordered kinetic energy) ซึ่งถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นพลังงานจลน์โดยการเหนี่ยวนำแบบไร้ทิศทาง (Disordered kinetic energy) ณ จุดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นด้วยกลไกนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิหรือความถี่

2.5.2.2 กลไกการชนิดการหมุนของทั้งสองซ้ำ (Dipolar rotation) สำหรับโมเลกุลหลายๆ ชนิด เช่น โมเลกุลน้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสองขั้ว (Dipole) โดยธรรมชาติ หมายถึง โมเลกุลมีสมบัติของการกระจายความจุที่ไม่สมมาตร เมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางส่วนโมเลกุลของสารชนิดอื่นจะเกิดความไม่สมมาตรได้หากเกิดการเหนี่ยวนำโดยสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ทั้งนี้เพราะสนามไฟฟ้าทำให้เกิดหน่วยแรงคั่นภายในโมเลกุล โดยขั้วทั้งสองได้รับอิทธิพลจากกลไกดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงขั้วอย่างรวดเร็วตามสนามไฟฟ้าที่มากกระทำ ตัวอย่างเช่น คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2450 MHz สามารถทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของขั้วประจุถึง 4900 ล้านครั้งต่อหนึ่งรอบคลื่น แม้ว่าในตอนแรกที่เริ่มประจุในโมเลกุลจะมีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบหรืออย่างสุ่มก็จะได้รับผลให้มีการจัดเรียงประจุตามทิศทางหรือขั้วของสนามไฟฟ้าที่มากกระทำ อย่างไรก็ตามเมื่อสนามไฟฟ้าที่มากกระทำมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ทำให้ขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้างดงกล่าวเปลี่ยนกลับมาที่มีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบเช่นเดิม คือ การคลายสนาม (Relaxes) เช่นกัน เมื่อสนามไฟฟ้ามากกระทำในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นการสร้างหรือการจัดเรียง

(Alignment) และการคลายสนามที่ความถี่หนึ่งจะเกิดขึ้นนับล้านครั้งในหนึ่งวินาที เป็นการแปลงพลังงานสนามไฟฟ้าเป็นศักย์เก็บไว้ในวัสดุแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์หรือพลังงานความร้อนนั่นเอง นอกจากนั้นขนาดของโมเลกุลที่ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิในขณะที่มีการสร้างหรือการจัดเรียงและการคายสนามไฟฟ้านั้นจะถูกนิยามเป็นความถี่ของการคายสนาม โดยโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก เช่น น้ำและโมโนเมอร์จะมีค่าความถี่ของการคลายสนามมากกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นเหตุให้การเปลี่ยนพลังงานไปเป็นความร้อนได้ช้าลงในทางตรงกันข้ามกับโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เช่น โพลีเมอร์จะมีค่าความถี่ของการคายสนามน้อยกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้ในบางสภาวะ ซึ่งนั่นก็คือมีการแปลงพลังงานไปเป็นความร้อนได้สูงและนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์เทอร์มอลรันอะเวย์ (Thermal runaway) ในวัสดุได้ง่าย มีข้อสนับสนุนถึงความจริงอย่างหนึ่งที่ว่าของเหลว เช่น น้ำและโมโนเมอร์จะเป็นตัวดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้ดีกว่าโพลีเมอร์ เหตุนี้จึงสามารถนำไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการสกัดที่มีองค์ประกอบเป็นของเหลวและโมโนเมอร์ได้

2.5.3 การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ (Microwave heating)

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



ภาพที่ 2.2 วิธีการให้ความร้อน (a) การให้ความร้อนตามปกติ (Conventional heating) (b) การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ (Microwave heating) (c) การให้ความร้อนแบบไฮบริด (Hybrid heating)
ที่มา : ปริญญา ฉกาจนโรดม (2557)

2.5.4 อันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ

จากการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ ในที่นี้จะอ้างถึง “พื้นฐานการทำ ความร้อนด้วยไมโครเวฟ” ของผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551) ซึ่งได้แบ่งประเภทของวัสดุที่มีอันตร กิริยากับคลื่นไมโครเวฟเป็น 4 ชนิด คือ

2.5.4.1 วัสดุตัวนำไฟฟ้า (Conductors) วัสดุที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (Free electrons) เช่น โลหะที่สามารถสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคล้ายกับแสงซึ่งสะท้อนเมื่อกระทบกับกระจก ปกติวัสดุ เหล่านี้ถูกใช้ออกแบบเป็นบริเวณกักเก็บคลื่นเพื่อควบคุมทิศทางการแพร่กระจายของคลื่น เป็นผนัง ท่อนำคลื่น และควิตีหรือแอปพลิเคชัน

2.5.4.2 วัสดุฉนวนไฟฟ้า (Insulators) วัสดุประเภทนี้ไม่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า เช่น เซรามิกและอากาศ โดยฉนวนนี้จะสามารถสะท้อนและดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ไปจนถึง ส่งผ่านคลื่นได้ โดยปกติจะถูกใช้เป็นตัวหุ้มหรือบรรจุวัสดุที่ต้องการทำความร้อนด้วย สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ฐานรองรับจาน และวัสดุอื่นๆ

2.5.4.3 วัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric) วัสดุที่สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและ แปลงเป็นพลังงานความร้อนได้ เช่น น้ำ น้ำมัน ไม้ และอาหารที่มีความชื้น เป็นต้น

2.5.4.4 วัสดุที่มีองค์ประกอบของแม่เหล็ก (Magnetic compounds) วัสดุประเภทนี้ เช่น แม่เหล็ก จะมีอันตรกิริยากับองค์ประกอบของคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ สนามแม่เหล็กแปลง สภาพจนเกิดเป็นความร้อนอย่างรวดเร็ว

2.5.5 ข้อดีของการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ

2.5.5.1 ใช้เวลาน้อย ประหยัดเนื้อที่และแรงงาน ลดจำนวนวัสดุที่เสียเนื่องจากอุปกรณ์ ทำงานส่วนใหญ่ไม่เคลื่อนที่ (Stationary part)

2.5.5.2 การทะลุทะลวงของพลังงานไมโครเวฟ สามารถทะลุทะลวงเข้าไปกำเนิด พลังงานความร้อนภายในวัสดุทำให้มีความร้อนกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งวัสดุ การให้ความร้อนแบบ อื่นจะให้ความร้อนจากผิวนอกวัสดุอาจก่อให้เกิดความเสียหายที่ผิวนอกเพราะมีอุณหภูมิสูงเกินไป การค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ภายในเนื้อวัสดุยังไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการ นอกจากนั้นยังใช้เวลานานมาก เพราะข้อจำกัดทางการนำความร้อน ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจึงให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า

2.5.5.3 ความสามารถในการเลือกวัสดุรับความร้อน วัสดุบางชนิดสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้ทันที แต่วัสดุบางชนิดไม่สามารถดูดซับพลังงานได้ คุณสมบัติเหล่านี้เป็นข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งของกระบวนการไมโครเวฟ ตัวอย่างเช่น สามารถให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุหีบห่อโดยไม่ทำลายหีบห่อนั้น

2.5.5.4 การควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างทันทีทันใด อุปกรณ์ให้ความร้อนแบบเก่า เช่น เตาอบ ต้องใช้เวลานานในการปรับอุณหภูมิ แต่เตาไมโครเวฟสามารถปรับอุณหภูมิด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้เวลาไม่นานมาก (ภายในเศษเสี้ยววินาที)

2.5.5.5 มีประสิทธิภาพสูง การทำความร้อนด้วยไมโครเวฟใช้พลังงานน้อยกว่าการทำความร้อนแบบเก่ามากเมื่อให้ปริมาณความร้อนเท่ากัน (การทำความร้อนแบบเก่ามีประสิทธิภาพโดยประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์)

2.5.5.6 ไมโครเวฟเป็นกระบวนการสะอาด กระบวนการทางไมโครเวฟไม่สร้างมลภาวะ ต่างจากกระบวนการให้ความร้อนแบบอื่นที่ใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้

2.5.6 เทคนิคการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด

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

ปัจจัยที่ผลต่อประสิทธิภาพในการสกัด ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ กำลังของคลื่นไมโครเวฟ คุณสมบัติวัตถุดิบ องค์ประกอบที่เป็นความชื้น ความคงตัวของวัตถุดิบ สมบัติของตัวทำละลาย และสมบัติสารที่ต้องการสกัด (ดวงกมล เรือนงาม, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.6 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลอง คือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการทดลองแบบลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One Factor at a Time) จะให้ผลตอบเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่เราต้องการ ได้ช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมาก และยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่เกิดอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยตนเอง หลักการพื้นฐาน 3 ประการ สำหรับการออกแบบการทดลองคือ

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

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

3. การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึง ส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิ้ง

ข้อดีของการออกแบบการทดลอง คือ ให้ผลของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้มาก โดยสามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินการตรวจสอบสาเหตุของปัญหา โดยทั่วไปแล้วถ้ามีปัจจัยในการทดลองอยู่ 10 ปัจจัย ซึ่งในกระบวนการทดลองว่า ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลจริงต่อกระบวนการ ด้วยวิธีแบบ One Factor at a Time จะใช้

เวลานานถึง 1 ปี ในการตรวจสอบได้ครบทุกปัจจัย แต่การใช้วิธีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง จะใช้เวลาเพียง 1-3 สัปดาห์เท่านั้น ในการตรวจสอบปัจจัยดังกล่าวการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง จะต้องมีความเข้าใจล่วงหน้าว่ากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไรและจะวิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้มานั้นอย่างไร (วีรเทพ เกลิมสมิทธิชัย, 2550)

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัย ที่ต้องการจะศึกษาถึงผลร่วมที่มีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น 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 ซ้ำที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบ เช่นนี้ จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น 2^k ข้อมูลการออกแบบการทดลองแบบนี้มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ โดยปกติในการออกแบบจะแทนระดับสูงด้วยเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำด้วยเครื่องหมาย “-”

3. การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล แบบ 2 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองที่ผู้ทดลองสามารถละเอียดอันตรกิริยาขึ้นสูงบางตัวได้ เนื่องจากถ้าการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แบบเต็มมีจำนวนปัจจัยมาก จำนวนการทดลองอาจจะเพิ่มขึ้นมากเกินกว่าทรัพยากรที่มีอยู่จะรองรับได้ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้ เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างครบครณการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลจึงถูกนำมาใช้ในการกรอง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบ กล่าวคือ ในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจ ของผู้ทดลอง จึงใช้การออกแบบเช่นนี้เพื่อค้นหาว่ามีปัจจัยใดบ้างเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นการทดลองเนื่องจากโดยมากแล้ว ในขณะนั้นจะมีปัจจัยจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลน้อยหรือไม่มีผลต่อผลตอบที่กำลังพิจารณาอยู่ หลังจากทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีผลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ หรือ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3^k หมายถึงการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ และระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็นต่ำ ปานกลางและสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามเป็นตัวเลข (-1), 0 และ 1 ตามลำดับ สังเกตว่าการทดลองแบบนี้จะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งทำให้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบที่สนใจ และปัจจัยที่สนใจในลักษณะที่เป็นสมการแบบพหุนามกำลังสอง (Quadratic Model) การออกแบบ 3^k จะเหมาะสม เมื่อผู้ทดลองกำลังสนใจกับผลตอบที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง แต่การออกแบบนี้ไม่ได้เป็นการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด ในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์แบบพหุนามกำลังสอง โดยการออกแบบการทดลองที่เป็นทางเลือกที่ดีกว่า คือ การออกแบบพื้นผิวผลตอบสนอง

2.7 วิธีพื้นผิวตอบสนอง

วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง และวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรหลายตัวแปร เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Multiple regression analysis ซึ่งหากตัวแปรใดมีผลต่อค่าการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ตัวแปรนั้นจะปรากฏในสมการอันดับสอง (second order model) ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในรูปกราฟิกสามมิติ (จุฑามาศ รดา, 2552) มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย และผู้ทดลองมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของผลตอบนี้ ในปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบส่วนมากมักจะไม่นิยามความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ ดังนั้นขั้นแรก คือ ผู้ทดลองต้องหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และกลุ่มของตัวแปรอิสระ ซึ่งตามปกติแล้วจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังต่ำๆ ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองของผลตอบมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้ในการประมาณความสัมพันธ์นี้ คือ แบบจำลองพหุนามกำลังหนึ่ง ดังสมการ 2.1 (วีรเทพ เกลิมสมิทธิชัย, 2550)

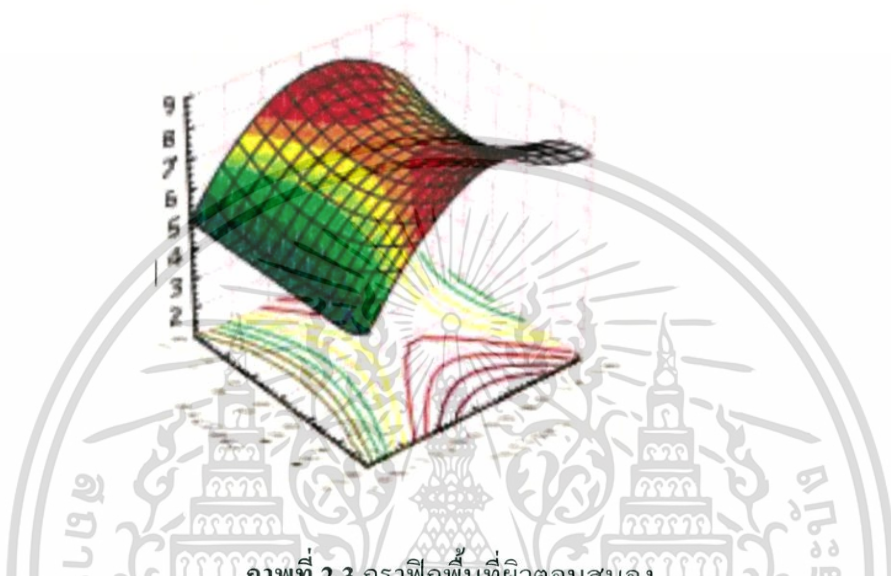
$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.1)$$

แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบ จึงใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง ดังสมการ 2.2

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาใดๆทั้งสิ้น แจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวตอบส่วนมาก จะใช้แบบจำลองพหุนามกำลังหนึ่งหรือกำลังสองในการหาคำตอบ แต่แบบจำลองทั้งสองชนิดนี้ไม่สามารถใช้ประมาณค่าความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระ ซึ่งถ้าพื้นผิวที่สนใจมีขนาดใหญ่ การออกแบบที่นำมาใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบจะมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธีการสืบความชันสูงสุด (Steepest Ascent) การออกแบบสำหรับพิตแบบจำลองอันดับที่หนึ่ง และอันดับที่สอง ซึ่งการออกแบบสำหรับพิตแบบจำลองอันดับที่สองนี้เป็นการเน้นไปที่การสร้างแบบจำลองพหุนามกำลังสองของผลตอบ



ภาพที่ 2.3 กราฟิกรูปพื้นที่ผิวตอบสนอง

ที่มา: อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล (2550)

ทั้งนี้หากกราฟิกที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตลอดพื้นที่ผิวทั้งหมดมีขนาดใหญ่ การเลือกการออกแบบแผนการทดลองเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ผิวทั้งหมด สำหรับนำมาใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของความสัมพัทธ์ระหว่างตัวแปรจึงเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง

เทคนิค RSM นับว่ามีประโยชน์และสะดวกกว่าการทดลองแบบเดิม สิ่งสำคัญของเทคนิคนี้คือ จำนวนชุดการทดลองจะมีจำนวนที่น้อยกว่าแบบเดิม เนื่องจาก RSM จะนำเสนอข้อมูลได้จำนวนมากจากการทดลองเพียงไม่กี่การทดลอง สมการของ RSM จะช่วยเพิ่มความเข้าใจต่อผลที่เกิดจากปฏิกริยาระหว่างกันของตัวแปรอิสระต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการหาจุดที่เหมาะสมในการทดลอง (อิสรพงษ์ พงษ์ศิริกุล, 2550)

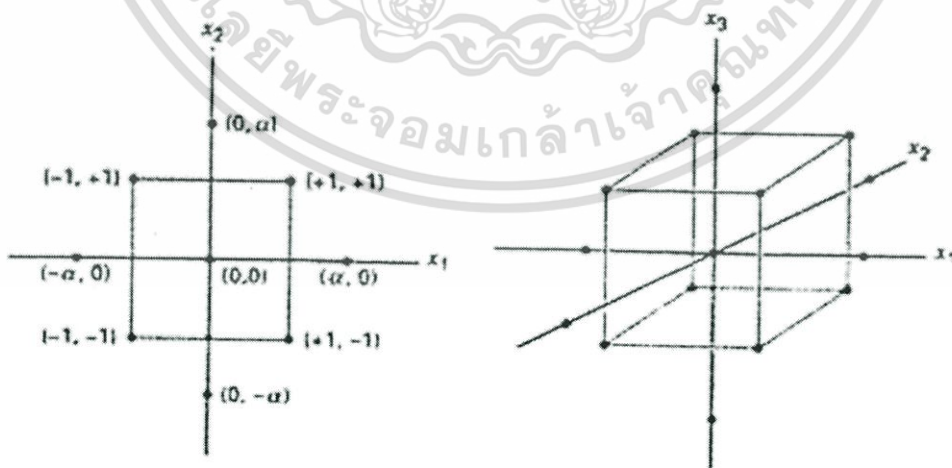
2.7.1 การออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (Central composite design)

เป็นการออกแบบการทดลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่เมื่อตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรอื่นอาจเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง ทำให้ต้องมีการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (quadratic relationship)

การกำหนดสถานะการทดลองที่จะศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร ว่าควรมีจำนวนการทดลองกี่การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเซอร์เวอชันนี้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองจึงเหมาะสมและครอบคลุม เช่น ถ้าต้องการศึกษาตัวแปร 3 ตัว จำนวนการทดลองคือ $3^3 = 27$ การทดลอง ดังนั้นหากมีการศึกษาตัวแปร 5 ตัวแปร จำนวนการทดลองคือ $3^5 = 243$ การทดลอง ซึ่งไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ปัจจุบันที่มีทรัพยากรจำกัด ทางออกของการแก้ปัญหาคือ การใช้การออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง ซึ่งเป็นการออกแบบแผนการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงเส้นโค้ง แต่ใช้จำนวนการทดลองไม่มาก เช่น กรณี 3 ตัวแปรจะใช้เพียง 16 แผนการทดลอง เป็นต้น การออกแบบการทดลองแบบประสมกลางเป็นการทดลองที่ 3 ระดับ นิยมแทนด้วยสัญลักษณ์ $-1, 0, +1$ คือ จะมีการปรับตัวแปรที่ศึกษาตัวแปรละ 3 ค่า โดยทำการเลือกสถานะการทดลองบางการทดลองที่จำเป็น เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอต่อการสร้างแบบจำลองทางสถิติ รูปแบบที่ได้จะยังคงมีผลของตัวแปรหลัก (main effect) ความสัมพันธ์ของตัวแปร (interaction) และสมการกำลังสอง (quadratic terms) โดยใช้ทรัพยากรไม่มาก (จรัล ทรัพย์เสรี, 2552) มีประสิทธิภาพสูงในการฟิตแบบจำลองอันดับที่สอง มีพารามิเตอร์อยู่ 2 ตัวในการออกแบบต้องกำหนด คือ ระยะทาง α ของการรันในแนวแกนจากจุดศูนย์กลางของการออกแบบและจำนวนของจุดศูนย์กลาง n_c โดยทั่วไปการออกแบบนี้จะประกอบด้วย 2^k แฟกทอเรียลที่มี n_c รัน, 2^k รัน ในแนวแกนหรือในแนวรูปดาว และ n_c รัน ที่จุดศูนย์กลาง การเลือก α ใน CCD จะถูกกำหนดโดยบริเวณที่สนใจ เมื่อบริเวณนี้เป็นรูปทรงกลมการออกแบบจะต้องรวมเอาจุดศูนย์กลางของการรันเข้าไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อจะทำให้อ่าค่าความแปรปรวนของผลตอบที่พยากรณ์มีเสถียรภาพเป็นที่ยอมรับ ซึ่งการทดลองที่บริบูรณ์ของการออกแบบส่วนประสมกลางจะมีการเพิ่มข้อมูลเพื่อให้มีจุดเพียงพอที่จะหาแบบจำลองกำลังสองได้ เช่น $(x_1 = 0, x_2 = \pm 1.414)$ $(x_1 = \pm 1.414, x_2 = 0)$ (วีรเทพ เกลิมสมิทธิชัย, 2550)

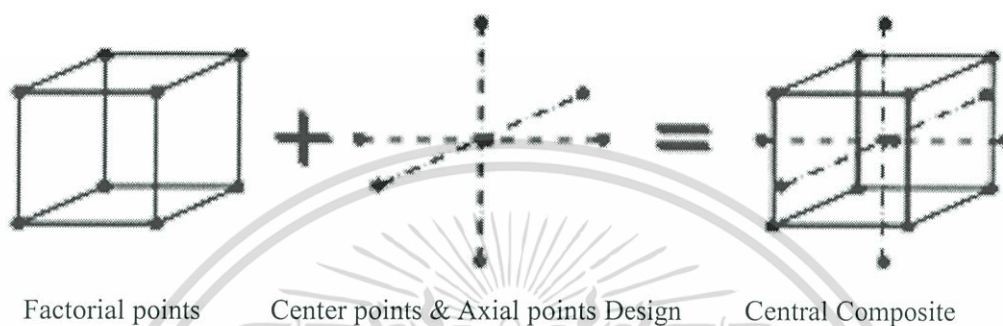


ภาพที่ 2.4 ภาพแสดงการออกแบบส่วนประสมกลางสำหรับ $k = 2$ และ $k = 3$

ที่มา: วีรเทพ เกลิมสมิทธิชัย (2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 2.5



ภาพที่ 2.5 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางสำหรับ 3 ตัวแปร

ที่มา: จรัส ทรัพย์เสรี (2552)

2.8 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา มนุษย์มีความใส่ใจในเรื่องสุขภาพ และความงามมากขึ้น การศึกษาวิจัยเพื่อหาสารที่มีผลเสียต่อร่างกายและสารที่มีประสิทธิภาพในการสร้างเสริมสุขภาพที่ดีของร่างกายจึงได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะงานวิจัยเกี่ยวกับอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

2.8.1 อนุมูลอิสระ (free radical หรือ oxidant)

คือ โมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอกเป็น โมเลกุลที่ไม่เสถียรและมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีในลักษณะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ภายในร่างกาย ไม่ว่าจะเป็นการทำลายโครงสร้างดีเอ็นเอ (DNA) การเปลี่ยนแปลงสภาพโปรตีนและไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ หรือการสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับโปรตีนหรือเอนไซม์บางชนิด จนทำให้การทำงานของโปรตีนหรือเอนไซม์เหล่านั้นผิดปกติ (Ame และคณะ, 1993) เป็นสาเหตุสำคัญของโรคหลายชนิด (Nakabeppu และคณะ, 2006 ; Valko และคณะ, 2007) อนุมูลอิสระ เกิดจากผลพลอยได้จากการใช้ออกซิเจนของกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ รวมทั้งปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ได้แก่ มลพิษ การติดเชื้อโรค รังสียูวี (UV-ray) โอโซน (ozone) ก๊าซจากท่อไอเสียรถยนต์ และควันบุหรี่ (Denisov, 2006 ; Scott และคณะ, 2005)

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ทางปัญญาที่จัดทำขึ้นเพื่อแจกจ่ายให้แก่นักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (KMITJ) โดยไม่มีค่าตอบแทนใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถถูกกำจัดหรือลดความรุนแรงด้วยสารที่เรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ที่สามารถจับกับอนุมูลอิสระ แล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่เสถียรกว่า ส่งผลให้หยุดวงจรการเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ได้ (Denisov, 2006) ความเข้าใจถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ กลไกหรือปฏิกิริยาเคมีรวมถึงบทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระนับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับร่างกายได้

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

2.8.1.1 แหล่งกำเนิดอนุมูลอิสระ (Sources of free radical)

ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ จะมีอนุมูลอิสระของออกซิเจนเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา การเกิดอนุมูลอิสระเหล่านี้ มีสาเหตุมาจากปัจจัย ทั้งภายในและภายนอกร่างกาย ดังนี้

1. ปัจจัยภายในร่างกาย ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตจะมีปฏิกิริยามากมายที่เกี่ยวข้องกับทั้งการสร้างและการสลายโมเลกุลของสารที่เรียกว่า กระบวนการเมทาบอลิซึมซึ่งถือเป็นสาเหตุหลักอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ 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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3) ระยะเวลาสิ้นสุด (Termination) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นรวมตัวกันกลายเป็นโมเลกุลที่เสถียรดังสมการ



2. ปัจจัยภายนอกในร่างกาย

1) ยารักษาโรค 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) กับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในเซลล์นั้น ได้อนุมูลอิสระเกิดขึ้น (Halliwell และคณะ, 1995)

3) คาร์บอนมอนอกไซด์ ในคาร์บอนมอนอกไซด์มีส่วนประกอบของ ไนตริกออกไซด์ (NO), ไนโตรเจนออกไซด์ (NO₂) และ เพอรอกซีไนไตรท์ (ONOO⁻) รวมทั้งสารมลพิษ ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl₄) ซึ่งจะถูกกำจัดออกจากร่างกายโดยการทำงานของเอ็นไซม์ไซโทโครม P-450 ไฮดรอกซิเลส (cytochrome P-450 hydroxylase) ที่มีอยู่มากในเซลล์ตับและพบได้บ้างในเซลล์ ปอดและลำไส้เล็ก ทำให้เป็นสาเหตุของการสร้างอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ภายในเซลล์ดังกล่าว (Bast และคณะ, 1991)

4) โอโซน โอโซนไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระแต่จัดเป็นสารออกซิไดส์แรงสูงซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นอนุมูลไฮดรอกซิลได้จากการกระตุ้นของคลื่นแสง (Valacchi และคณะ, 2004)

2.8.2 สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

คือสารที่ทำหน้าที่ยับยั้งหรือต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือสารที่สามารถจับอนุมูลอิสระออกจากร่างกาย ร่างกายมีระบบต้านออกซิเดชัน แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ประเภทแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันการเกิดสารอนุมูลอิสระ ได้แก่ เอนไซม์ superoxide dismutase, glutathione peroxidase, catalase, peroxidase, cytochrome C peroxidase ทองแดง สังกะสี ซีเลเนียม โปรตีนซึ่งมีทองแดงอยู่ในโมเลกุล (ceruloplasmin) ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือ สารต้านออกซิเดชัน ในกลุ่มที่ทำลายปฏิกิริยาถูกโซ่นี้ ได้แก่ วิตามินอี เบต้า-แคโรทีน วิตามินซี ubiquinone, uric acid, bilirubin, albumin, sulfhydryl groups ในกรดอะมิโน cysteine ซึ่งมีอยู่ในโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) และสารกลุ่ม flavonoids ที่เป็นสารต้านออกซิเดชันที่น่าสนใจอีกด้วย (มลศิริ วิโรทัย, 2540)

สารต้านอนุมูลอิสระถือว่ามีความสำคัญต่อ กระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระหรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในสิ่งมีชีวิตจะมีระบบการป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระ ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระมากมายหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่เป็นเอนไซม์ สารประกอบที่ละลายในน้ำและสารประกอบที่ละลายในไขมัน

2.8.2.1 กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ จากรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระพบว่า มีหลายกลไกดังนี้ (เจนจิราและประสงค์, 2553)

1. ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) เป็นที่ทราบกันว่า สารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ โดยการทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้น ซึ่งกลไกของปฏิกิริยาเกิดโดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ (Valacchi และคณะ, 2004)

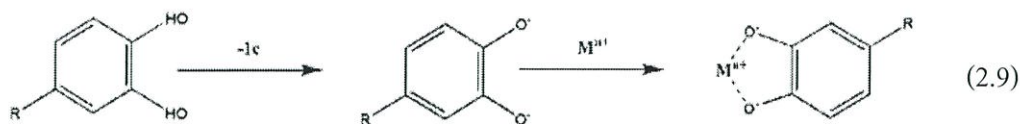
2. การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน (singlet oxygen quenching) สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) สามารถยับยั้งการทำงานของซิงเกิ้ลทออกซิเจน โดยการเปลี่ยน ($^1O_2^*$) ให้อยู่ในรูปทริปเปิร์ต (triplet oxygen (3O_2)) และ ปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน โดยที่แคโรทีนอยด์ (Car) จำนวน 1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับซิงเกิ้ลทออกซิเจน ได้ถึง 1,000 โมเลกุล (Sies และคณะ, 1992)



3. จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (metal chelation) (Sanchez-Moreno และคณะ, 2000) โลหะที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระคือ Fe^{2+} และ Cu^{2+} ฟลาโวนอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(flavonoids) ฟอสฟอริกแอซิด (phosphoric acid) และซิตริกแอซิด (citric acid) เป็นต้น สำหรับกลไกการจับโลหะของสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ แสดงดังสมการ



4. หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chainbreaking) วิตามินอี (α -tocopherol; Toc-OH) สามารถป้องกันเชื่อมโซ่เซลล์ไม่ให้ถูกทำลาย จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid autooxidation) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron-acceptor antioxidants) จากอนุมูล peroxy ($\text{ROO}\cdot$) (Burton และ Traber, 1990)

5. เสริมฤทธิ์ (synergism) สารชนิดนี้จะช่วยสนับสนุนให้สารต้านอนุมูลอิสระทำงานได้ดีขึ้น เช่น การทำงานร่วมกันระหว่าง วิตามินอี (α -tocopherol) กับ วิตามินซี (ascorbic acid) โดยที่วิตามินซีไม่สามารถทำงานได้ในสถานะไม่มีขั้ว (hydrophobic condition) ได้เหมือนกับวิตามินอี แต่จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่ อนุมูลแอลฟา-โทโคฟีรอลเปอร์ออกไซด์ (α -tocopherol peroxy) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง แอลฟา-โทโคฟีรอลกับอนุมูลเปอร์ออกไซด์ ($\text{ROO}\cdot$) เพื่อเปลี่ยนรูปกลับไปเป็น แอลฟา-โทโคฟีรอลที่สามารถทำงานได้ (Frankel, 1998)

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

ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระกำลังได้รับความนิยมอย่างสูงในตลาดด้วยเหตุผลที่ว่าสารต้านอนุมูลอิสระคือ โมเลกุลของสารที่สามารถจับกับตัวรับและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆ ได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ แม้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสิ่งสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต แต่ก็ยังเกิดโทษเช่นกัน ดังนั้นพืชและสัตว์จึงรักษาสมดุลด้วยระบบยับยั้งของปฏิกิริยา โดยสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น กลูตาไธโอน วิตามินซี และวิตามินอี เช่นเดียวกับเอนไซม์อย่างตัวเร่งปฏิกิริยาและเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ระดับสารต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำหรือเอนไซม์ที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มากเกินไป จะส่งผลให้เกิดภาวะออกซิเดชันที่มากเกินไป (oxidative stress) นำมาซึ่งการทำลายหรือสร้างความเสียหายแก่เซลล์ได้ สารต้านอนุมูลอิสระจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าสู่ติปฏิกิริยาถูกโซ่เหล่านี้ ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยถูกออกซิไดซ์ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัวรีดิวซ์

ผู้คิดค้นวิจัยต่างๆจึงนิยมนำสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหลายชนิด ด้วยคาดหวังในการรักษาสุขภาพและป้องกันโรคอย่างโรคมะเร็งและโรคหลอดเลือดหัวใจ รวมไปถึงโรคกลัวความสูง แม้การศึกษาในช่วงแรกให้การสนับสนุนถึงการเติมสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ช่วยให้สุขภาพ ภายหลังการศึกษาในระยะคลินิกพบว่าสารที่เติมลงไปไม่ได้ช่วยหรือก่อให้เกิดประโยชน์อันใดแก่ผู้บริโภค ซ้ำยังผลมาซึ่งอันตรายจากการรับประทานที่มากเกินไป นอกจากนี้ยังมีการใช้สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติในเภสัชภัณฑ์ และส่วนประกอบอื่นๆในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น สารกันบูดในอาหาร และเครื่องสำอาง

2.8.2.2 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 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

2.8.3 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิกมีโพลีฟีนอลเป็นส่วนประกอบหลักของเมทาโบไลต์ทุติยภูมิ (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 สารโพลีฟีนอลิกเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญ เพราะมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบ ต้านการแพ้ มีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด และเป็นสารต้านการเกิดมะเร็ง อีกทั้งสามารถลดความดันโลหิต โดยมีฤทธิ์ขยายหลอดเลือด ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวสัมพันธ์กับลักษณะของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างทั่วไปที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซีอย่างน้อย 1 หมู่และสามารถละลายน้ำได้ ปัจจุบันผู้บริโภคมีความสนใจในอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ ทั้งโรคมะเร็ง โรคอัลไซเมอร์ โรคหัวใจ รวมทั้งโรคที่เกี่ยวข้องกับหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น เนื่องจากสารที่พบในพืช (phytonutrients) เป็นสารที่เข้าไปทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น รงควัตถุและ สารฟีนอลิกต่างๆ เป็นต้น สารต้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (peroxidation) ในเยื่อหุ้มเซลล์ โดยการกำจัดออกซิเจน เพื่อป้องกันการเป็นโรคต่างๆ (Tesoriere และคณะ, 2009) โดยทั่วไป สารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยกลุ่มไฮดรอกซิลและกลุ่มอะโรมาติกริง เช่น เบนซีนริง เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในพืช สารประกอบฟีนอลิกมีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก เช่น สารฟีนอล กรดฟีนอลและโพลีฟีนอลซึ่งทำหน้าที่ที่แตกต่างกันไปในพื้นที่ เช่น เป็นสารรงควัตถุ หรือส่งผลกระทบต่อรสชาติ หรือเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Ignat และคณะ, 2011; Parr และ Bolwell, 2000 ; Jaiswal และคณะ, 2011 ; Nagasaka และคณะ, 2007 ; Maestri และคณะ, 2006)

การทำงานบางส่วนของมะละกามีความเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีการศึกษาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของ DPPH, hydroxyl และ superoxide ของผลไม้เมืองร้อนบางชนิดและสารสกัดจากเมล็ดมะละกอซึ่งระบุว่าให้ผลการยับยั้งที่รุนแรง (Zhou และคณะ, 2011) ถึงตอนนี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเมล็ดมะละกอยังไม่ได้รับการศึกษามากนัก ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดมะละกอเพื่อวัตถุประสงค์ของการประเมินศักยภาพการใช้ประโยชน์จากของเสียนี้

ในปัจจุบันเมล็ดมะละกอพันธุ์ *Carica papaya* L. ที่อุดมไปด้วยน้ำมัน ได้ถูกยกย่องว่าเป็นของเสียที่ไม่มีประโยชน์ เนื่องจากมีงานวิจัยของ Afolabi และคณะ (2014) ที่ศึกษาหาไขมันและคุณภาพของน้ำมันในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย เมื่อเทียบกับน้ำมันถั่วลิสง โดยทดลองกับหนูเป็นเวลา 32 วัน พบว่าน้ำมันจากเมล็ดมะละกามีคุณภาพที่เทียบเท่ากับน้ำมันถั่วลิสง แต่เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่า โดยปริมาณเพียง 5-7% ของน้ำมันเมล็ดมะละกอในอาหารอาจจะเพียงพอและเหมาะสมเพื่อป้องกันผลกระทบที่เป็นอันตรายที่มีต่อสมองได้

2.9 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity determination)

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถจำแนกออกได้เป็นหลายประเภท และมีกลไกในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกันออกไปตามคุณสมบัติเฉพาะตัวดังรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้น การวิเคราะห์หรือทดสอบความสามารถในการยับยั้งหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระจึงไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์โดยใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงวิธีเดียว เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติมีความซับซ้อนของคุณสมบัติในทางเคมี

วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพและการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ ในแต่ละเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทจะมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีมีความจำเพาะแตกต่างกัน โดยปกติมักใช้หลายวิธีร่วมกันในการตรวจสอบและสรุปผล

2.9.1 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพเป็นการทดสอบเพื่อหาชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการต่างๆ เช่น การทำให้เกิดสี การทำให้เกิดตะกอน ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายและการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่นิยม ได้แก่ การตรวจวัดสารโพลีฟีนอลชนิดต่างๆ เช่น Shinoda test และ Pew test), โครมาโตกราฟีแบบชั้นบาง (thin layer chromatography, TLC) และการตรวจหาสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ โดยใช้เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC)

2.9.2 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ

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

2.9.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

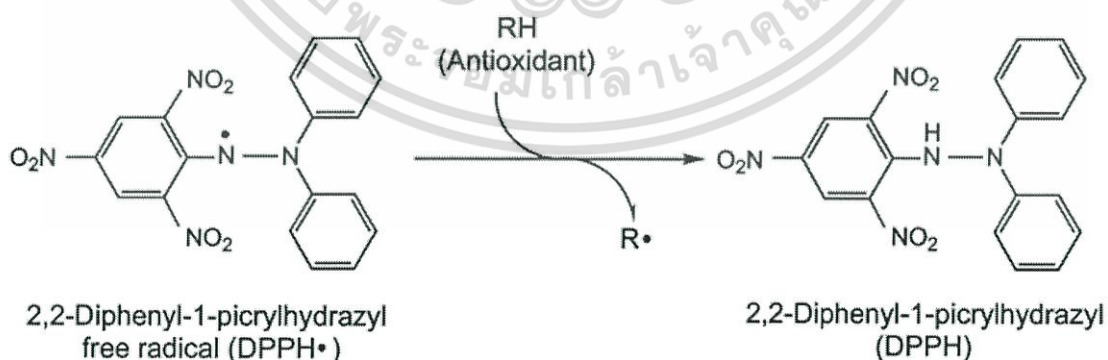
ในการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดนิยมใช้วิธี Folin-Ciocalteu เป็นวิธีโดยการถ่ายโอนอิเล็กตรอน มีการใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการหาปริมาณของสารฟีนอลิกทั้งหมดในพืชผัก เนื่องจากความสะดวก ความเรียบง่ายและให้ผลวิเคราะห์ที่เป็นที่ยอมรับ (Prior และคณะ, 2005) ปฏิกิริยาของสาร Folin-Ciocalteu กับกลุ่มไฮดรอกซิลของสารประกอบฟีนอลิกในสถานะที่เป็นด่าง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

2.9.4 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 ($ABTS^{\bullet+}$) สารต้านอนุมูลอิสระที่ต้องการนำมาทดสอบจะจับกับ $ABTS^{\bullet+}$ ที่เกิดขึ้นแล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยหากค่าการดูดกลืนแสงลดลงมาก หรือสีของสารละลายจางลงมากจะแสดงถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี

2.9.5 วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl assay (DPPH assay)

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



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาระหว่าง DPPH• และสารต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา : Moon และ Shibamoto (2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Marfo และคณะ (1986) ทำการศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญในเมล็ดมะละกอสายพันธุ์ carica พบว่าในเมล็ดมะละกอเป็นแหล่งของโปรตีน (27.3-28.3 %), ลิพิด (28.2-30.7 %), และไฟเบอร์ (19.1-22.6 %) นอกจากนี้ ในเมล็ดมะละกอยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุจำนวนมาก เช่น แคลเซียม และฟอสฟอรัส รวมถึงใช้เป็นยาขับพยาธิและยาพื้นบ้านต่างๆ อีกทั้งเมล็ดมะละกอยังมีรสชาติที่เผ็ดร้อนสามารถใช้ผสมกับพริกไทยดำในการปรุงอาหารได้ (Adebisi และคณะ, 2003) แต่อย่างไรก็ตามในเมล็ดมะละกอก็ยังพบสารพิษเช่นกัน เช่น กลูโคซิโนเลต เป็นต้น

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

Puangsi 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 น้ำมันที่สกัดด้วย เอนไซม์ ($20 + Y 3.0 R$) ค่าไอโอดีนและค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันโดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่ามีค่า 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 ($P < 0.05$) กับ น้ำมันที่สกัดด้วยตัวทำละลาย (1.39 %) ค่าของกรดไขมันที่สำคัญเช่นกรดโอเลอิก (72-78 %), ปาล์มิติกบางส่วน (12-14 %), สเตียริก (4-5 %) และไลโนเลอิก (2.5-3.5 %) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบระหว่างน้ำมันที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายกับน้ำมันที่สกัดด้วยเอนไซม์

Lee และคณะ (2011) น้ำมันเมล็ดมะละกอบว่ามีลักษณะเฉพาะหลายประการรวมถึงค่าของกรดโอเลอิกสูง, ค่าความสัมพันธ์อัตราส่วน ของกรดไขมันอิ่มตัว / กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวไม่อิ่มตัว/กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 29/68/3, โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนมีค่า 3.34 % และองค์ประกอบของ triacylglycerol นั้นคล้ายกับน้ำมันมะกอก นอกจากนี้น้ำมันยังอุดมไปด้วย คีโมฟีนเวนทีฟ 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 α และ δ โทโคฟีรอล สูงถึง 51.85 และ 18.89 mg.kg⁻¹ ตามลำดับ และยังพบ β -cryptoxanthin (4.29 mg.kg⁻¹), β -แคโรทีน (2.76 mg.kg⁻¹) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (957.60 mg.kg⁻¹) ซึ่งถือว่าการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอกให้ผลลัพธ์ที่ดีมาก อย่างไรก็ตามการนำไปใช้ประโยชน์ในอาหาร ก็ควรมีการศึกษาทางพิษวิทยาของเมล็ดมะละกอกก่อนเสมอ

Samaram และคณะ (2013) ได้ทำศึกษาปริมาณน้ำมัน องค์ประกอบของกรดไขมัน และชนิดของไตรกลีเซอไรด์ ที่ได้จากน้ำมันเมล็ดมะละกอกพันธุ์ Sekaki โดยใช้วิธีอัตราโชนิกช่วยในการสกัด 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 2.3 โดยพบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดมะละกอก มีความคล้ายคลึงกับน้ำมันมะกอก แต่มีค่า PUFA ต่ำกว่าน้ำมันเมล็ดองุ่น (50.0% - 83.0%), น้ำมันเมล็ดส้ม (59.6%) และ น้ำมันเมล็ดฟักทอง (55.6%) นอกจากนี้ในน้ำมันมะกอกกับน้ำมันเมล็ดมะละกอก มีค่าของกรดโอเลอิก(18:1) ที่สูง ซึ่งมีประโยชน์สำหรับร่างกายมนุษย์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 น้ำมันจากเมล็ดผลไม้ต่างๆ

Oil Source	Oil content %	PUFA ¹ %	MUFA ² %	SFA ³ %	Reference
Papaya seed oil	30–34	2.1–6.3	67.5–77.6	18.6–29.0	Puangsrri <i>et al.</i> [5]; Lee <i>et al.</i> [6]
Olive oil ⁴	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]

¹ PUFA, polyunsaturated fatty acids; ² MUFA, monounsaturated fatty acids; ³ SFA, saturated fatty acids;

⁴ olive oil from the fresh fruit.

ที่มา : Samaram และคณะ (2013)

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

Amarni และ Kadi (2010) ได้ทำการวิจัยเรื่องการใช้ไมโครเวฟช่วยในการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Microwave-assisted solvent extraction; MASE) เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม (Conventional solvent extraction) เพื่อสกัดน้ำมันจากเคঁกมะกอก โดยได้ทำการศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟที่ใช้ในการสกัด (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) จากการศึกษาค้นคว้าพบว่ากำลังไฟฟ้า, อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ โดยปริมาณผลผลิตน้ำมันเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้า, อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด ส่วนผลของการเปรียบเทียบในแต่ละวิธีการสกัดพบว่า การสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันได้ดีกว่าการสกัดแบบวิธีดั้งเดิม โดยใช้เวลาในการสกัดที่สั้นกว่า ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีการดังกล่าวเป็นตัวเลือกใหม่ในการสกัด เมื่อเทียบกับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายพื้นฐาน โดยพบว่าการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยนั้นให้ปริมาณผลผลิตดีกว่าและใช้ระยะเวลาสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บุญยานุช และสุภาพร (2557) พบว่า จากการทดลองเรื่องผลของกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาของการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดที่มีผลต่อผลผลิตน้ำมันเมล็ดองุ่น โดยใช้ระดับกำลังไฟฟ้าที่ 100, 300, 600 และ 800 W พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาผลการสกัดในช่วงระยะเวลา 10 นาทีแรก (ซึ่งทำให้ได้ปริมาณน้ำมันมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์) พบว่าการสกัดที่กำลังไฟฟ้า 300, 600 และ 800 W ให้ผลผลิตมากกว่าการสกัดที่กำลังไฟฟ้าต่ำสุด (100 W) ไม่ต่างกันมาก และเมื่อทำการทดลองเรื่องระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพบว่าระหว่างการใช้เวลาที่ 10, 20 และ 30 นาที ที่ทุกระดับกำลังไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันส่วนมากจะสกัดได้ในช่วง 10 นาทีแรก ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันมากถึง 97.99-99.31% ของปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ในเวลา 30 นาที ซึ่งจากการทดลองนี้ อาจแนะนำได้ว่าในกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยไมโครเวฟที่ทุกระดับกำลังไฟฟ้าสามารถใช้เวลาสกัดน้ำมันเพียง 10 นาทีได้

Singh และคณะ (2014) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ 2 วิธี คือ Microwave-assisted hydrodistillation (MAHD) และวิธี Solvent free microwave extraction (SFME) โดยศึกษาผลของกำลังไฟฟ้า, เวลาและขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันที่สกัดได้ โดยใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ 3 ระดับคือ 288, 464 และ 640 วัตต์ สำหรับวิธี MAHD ใช้เวลาในการสกัดนาน 120 นาทีและในวิธี SFME ใช้เวลาในการสกัด 20 นาที ขนาดของตัวอย่างตะไคร้ที่ใช้ในการสกัดมีขนาด 1, 2 และ 3 เซนติเมตร จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณผลผลิตน้ำมันเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดและปริมาณผลผลิตน้ำมันลดลงตามขนาดของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น สำหรับวิธี MAHD ที่ระดับกำลังไฟฟ้า 464 และ 640 วัตต์นั้นใช้เวลาในการสกัดนาน 90 นาทีจึงจะสกัดได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันออกมาจนหมด สำหรับในการสกัดทั้ง 2 วิธีนี้ได้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันใกล้เคียงกัน ในวิธี MAHD ได้ปริมาณน้ำมัน 1.72% (w/w) และได้ 1.61% (w/w) ในวิธี SFME แต่ในวิธี MAHD ใช้เวลาในการสกัดยาวนานซึ่งวิธี SFME ใช้เวลาในการสกัด 20 นาทีเท่านั้น

Lianfu และ Zelong (2008) ได้อธิบายว่าการใช้ไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลายในการสกัดน้ำมัน (Microwave-assisted solvent extraction; MASE) ทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยวิธีการนี้จะเป็นการเร่งความร้อนของน้ำที่อยู่ภายในตัวอย่าง ทำให้เซลล์พืชแตกออกอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้น้ำมันที่อยู่ภายในถูกชะออกมากับตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้น

Wang และคณะ (2006) ได้มีการศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบใหม่จากวัสดุพืชแห้ง โดยการเพิ่มวัสดุดูดซับไมโครเวฟ (MAM) เข้าไป เพื่อปรับปรุงการสกัด วิธีไมโครเวฟแบบไม่ใช้ตัวทำละลาย (SFME) และสามารถนำมาใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากวัสดุพืชแห้งได้ ด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ 85 วัตต์ ใช้เวลาในการสกัดน้ำมันหอมระเหยเพียงประมาณ 30 นาที เท่านั้น กระบวนการสกัดทั้งหมดสามารถทำได้ง่าย รวดเร็วและประหยัด ชนิดของ MAM ที่ใช้มีอยู่ 3 ชนิดคือ Iron carbonyl powder (ICP), Graphite powder (GP) และ Activated carbon powder (ACP) นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษา ผลการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการใช้ SFME แบบดั้งเดิม, Microwave-assisted hydrodistillation (MAHD) และ conventional hydrodistillation (HD) สรุปได้ว่าการปรับปรุง SFME เป็นวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากวัสดุจากพืชที่แห้ง มีความแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้โดยการปรับปรุง SFME และโดยวิธีการอื่น ๆ

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

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) นำข้อมูลทีวิเคราะห์ด้วย RSM มาออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (CCD) ซึ่งประมวลผลด้วยโปรแกรม RGui386version 3.2.0 การประมวลผลข้อมูลทำให้ได้แผนการทดลองที่เหมาะสมในศึกษาการสกัดสี้อมจากกลีบดอกอัญชัน 20 แผนการทดลอง และนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร มาใช้ในการสร้างสมการถดถอยกำลังสอง ได้สมการ 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 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้ใดเห็นชอบให้เผยแพร่ขึ้นต้นการคำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณกลีบอกัญชัน 1.68 กรัม เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ได้จากการประมวลผลและจากการทดลองจริงพบว่า ทั้งสองวิธีให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกัน

อริชฐาน และคณะ (2556) ได้ทำการพัฒนาวิธีการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนจากขยะน้ำมันปาล์มในบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยการใช้สถิติ RSM (Response surface methodology) ในการศึกษาและออกแบบการทดลอง สำหรับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับลดกรดไขมันอิสระในขยะน้ำมันปาล์มให้ลดต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ได้ทำการศึกษา 3 ตัวแปรคือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระของขยะน้ำมันปาล์ม, ปริมาณของกรดตัวเร่งปฏิกิริยา (ซัลฟูริก) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยศึกษาทั้งหมด 20 การทดลอง ส่วนการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ให้เป็น fatty acid methyl ester (FAME) หรือไบโอดีเซล ศึกษา 3 ตัวแปรคือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันของขยะน้ำมันปาล์ม (ขยะน้ำมันปาล์มที่มีความเป็นกรดต่ำได้จากขั้นตอนการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน), ปริมาณของด่างตัวเร่งปฏิกิริยา (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทั้งหมด 20 การทดลอง ผลการศึกษาพบว่าขยะน้ำมันปาล์มมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงถึง 65.09 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันเท่ากับ 271 กรัมต่อโมล น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของขยะน้ำมันปาล์มเท่ากับ 885 กรัมต่อโมล ซึ่งพบกรดปาล์มริกสูงที่สุด สภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันถูกศึกษาโดยใช้สถิติ RSM และคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากขยะน้ำมันปาล์มที่ผลิตได้ในสภาวะที่เหมาะสมภายใต้กระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสองขั้นตอนถูกศึกษาดตามมาตรฐาน ASTM

รัชชัย พุฒทองศิริ (2557) ทำการศึกษาศักยภาพที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปลา 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% เมื่อศึกษาผลของการเติมน้ำมันปลาในส่วนผสมขอสมะเชื้อเทศที่ใช้ในการผลิตปลากระป๋อง พบว่าปริมาณน้ำมันปลาที่เหมาะสมในการเติมในซอสคือ 10% และยังพบว่าการเติมน้ำมันปลาและระยะเวลาการเก็บปลากระป๋องทำให้ปลากระป๋องมีปริมาณโอเมก้า 3 ทั้งหมดสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กาญจนาและนิรมล (2558) ศึกษาผลของการใช้เทคนิคไมโครเวฟช่วยในการสกัดเคอร์คูมินอย์จากขมิ้นชันโดยผันแปรกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดที่ 400 และ 800 วัตต์ และระยะเวลาการสกัดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล พบว่า กำลังไฟฟ้าและระยะเวลาในการสกัด มีผลต่อร้อยละผลผลิตของสารสกัด ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ค่าการต้านอนุมูลอิสระ (EC_{50}) ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด ซึ่งประกอบไปด้วย เคอร์คูมิน เดเมทอกซีเคอร์คูมิน และบิสเดเมทอกซีเคอร์คูมิน โดยกำลังไฟฟ้าในการสกัดที่ 800 วัตต์ ให้ปริมาณสารเคอร์คูมินทั้งหมดที่มากกว่า 400 วัตต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนระยะเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้นทำให้สารเคอร์คูมินอยด์มีปริมาณที่สูงขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ สภาวะที่เหมาะสมคือ การสกัด ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ระยะเวลา 3 นาที โดยมีร้อยละผลผลิตที่ได้เท่ากับ 21 ปริมาณเคอร์คูมินเดเมทอกซีเคอร์คูมินและบิสเดเมทอกซีเคอร์คูมิน เท่ากับ 227.86, 136.26 และ 67.08 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัด ตามลำดับ ดังนั้นการสกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสกัดเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชันได้

Taghvaei และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย โดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัด (Microwave-assisted extraction, MAE) พร้อมกับการประเมินความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ โดยศึกษาผลของระยะเวลาในการสกัด, ปริมาณความชื้นของเมล็ดฝ้ายและอัตราส่วนเมล็ดฝ้ายต่อตัวทำละลาย จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดฝ้ายคือ การใช้เวลาในการสกัด 3.57 นาที, ปริมาณความชื้น 14% และอัตราส่วนเมล็ดฝ้ายต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:4 ซึ่งสภาวะดังกล่าวนี้ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการสกัด 32.6%, ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมทั้งหมด 46 ppm, กรดไขมันอิสระ 0.7%, ค่า Peroxide เท่ากับ 0.2 และมีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 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 ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีและมีเสถียรภาพต่อการเกิดออกซิเดชัน

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นพบว่า ผลงานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดมะละกอ ซึ่งทำให้เห็นว่าน้ำมันเมล็ดมะละกามีคุณสมบัติเคมีกายภาพที่ดี มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่คล้ายคลึงกับน้ำมันมะกอก โดยมีกรดโอเลอิกที่สูง นอกจากนี้ยังมีความต้านทานการเกิดออกซิเดชันสูง จึงมีความเป็นไปได้ว่าน้ำมันจากเมล็ดมะละกอจะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีต่อสุขภาพในอุตสาหกรรมอาหาร และจากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการนำเทคนิคการสกัดด้วยไมโครเวฟมาใช้ พบว่า มีการประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย ทั้งการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืช การสกัดสารสี การสกัดน้ำมันหอมระเหย รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัด การเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดให้ดีขึ้นด้วยการใช้วัสดุดูดซับพลังงานไมโครเวฟและการนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการสกัดที่ดีกว่าทั้งในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ ปริมาณของตัวทำละลาย และปริมาณของผลผลิตที่ได้จากการสกัด ด้วยข้อดีเหล่านี้ผู้วิจัยจึงได้นำทฤษฎีความรู้มาประยุกต์ในงานวิจัยฉบับนี้ รวมถึงยังมีงานวิจัยใดที่ทำการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด ผู้วิจัยจึงเห็นถึงศักยภาพ โดยการวิจัยครั้งนี้จะเน้นที่การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด 2 วิธีคือ วิธีปกติกับวิธีแบบมีอ่างน้ำ โดยงานวิจัยนี้ใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายในการสกัด ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีขั้ว จึงไม่ได้รับอิทธิพลจากคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นวิธีการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำ จึงถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อให้ใช้น้ำในอ่างเป็นตัวดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟแทน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการสกัดของวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟแบบปกติ นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้ ซึ่งคาดว่าจะประโยชน์อย่างยิ่งทั้งในทางที่เกี่ยวข้องกับผู้ปฏิบัติการ เช่น เกษตรกร ผู้ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

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

3.2 สารเคมี

3.2.1 Hexane (Commercial grade)	Etalmar, Thailand
3.2.2 Folin-Ciocalteu's Reagent	Carlo Erba, Italy
3.2.3 Ethyl alcohol 95%	Etalmar, Thailand
3.2.4 Methanol 95%	Sigma, USA
3.2.5 Sodium carbonate	Merck, Germany
3.2.6 DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)	Sigma, USA
3.2.7 Potassium persulfate	Carlo Erba, Italy
3.2.8 ABTS (2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid))	Sigma, USA
3.2.9 Gallic acid monohydrate	Sigma, USA
3.2.10 Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8- tetramethylchroman-2-carboxylic acid)	Sigma, USA
3.2.11 Potassium hydroxide	Ajax Finechem, Australia
3.2.12 Phynolphthaline	Carlo Erba, Italy
3.2.13 Potassium iodide	Carlo Erba, Italy
3.2.14 Chloroform	RCI Labscan, Thailand
3.2.15 Sodium thiosulfate	Carlo Erba, Italy
3.2.16 Starch	Fluka, Germany

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือ

3.3.1 เครื่องบดหยาบ (Hammer mill)	
3.3.2 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer)	
3.3.3 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)	Memmert (UM 400), Germany
3.3.4 เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump)	Sahaburapa (SP-1A), Thailand
3.3.5 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง	Denver (SI-324), Germany
3.3.6 เครื่องสกัดไมโครเวฟตัดแปลง	Samsung ME711K/XST 800W
3.3.7 กระดาษกรองเบอร์ 1	Whatman, England
3.3.8 เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Evaporator)	Buchi (R-215), Switzerland
3.3.9 เครื่องสกัดไขมัน (Soxtherm)	Gerhardt (S306AK), Germany
3.3.10 UV-Vis Spectrophotometer	Shimadzu (UV-1601), Japan
3.3.11 เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)	MEITLER TOLEDO (DSC 2),
3.3.12 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)	Beckman Coulter, USA
3.3.13 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)	Hettich zentrifugen, Germany
3.3.14 โถสำหรับดูดความชื้น (Desiccator)	
3.3.15 Vortex mixer	
3.3.16 Micropipettes และ Tips	
3.3.17 Electric Meter	
3.3.18 Aluminium cans	
3.3.19 อุปกรณ์เครื่องแก้ว	

3.4 วิธีการดำเนินงาน

3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำเมล็ดมะละกอล้างทำความสะอาด นำไปทำให้แห้งโดยการนำเข้าสู่ตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงหรือจนกว่าเมล็ดจะแห้งสนิท จากนั้นทำการบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดหยาบ (Hammer mill) และนำมาร่อนโดยใช้ตะแกรงขนาด 0.067 มิลลิเมตร ผงเมล็ดมะละกอละถูกเก็บใส่ถุงที่ปิดสนิทและใส่โถดูดความชื้นเพื่อรอการสกัดต่อไป

3.4.2 การวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอ

ใช้วิธีของ AOAC (1999) ในการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture content) และใช้วิธีของ AOAC (2000) ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน (oil content) ของผงเมล็ดมะละกอ โดยผลการทดลองจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก

3.4.3 การออกแบบการทดลอง

ออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยโปรแกรม Design Expert 7.0 trial โดยเลือกการออกแบบแบบ Central Composite Design (CCD) ซึ่งมีตัวแปรที่มีอิทธิพลจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ระยะเวลาการสกัด (X_1), กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ (X_2) และอัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณตัวทำละลาย (X_3) โดยมีช่วงของปัจจัยตั้งแต่ $-\alpha$ ถึง $+\alpha$ เป็น ระยะเวลาการสกัด (X_1) ในช่วง 1.6-8.4 นาที กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ (X_2) ในช่วง 200-700 วัตต์ และอัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อปริมาณตัวทำละลาย (X_3) ในช่วง 1.6-18.4 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการประมวลผลโดยโปรแกรมจะได้ระดับของปัจจัย 5 ระดับดังแสดงในตารางที่ 3.1 และออกแบบการทดลองได้การทดลองออกมา 15 การทดลอง โดยมีการทำซ้ำที่จุดกลางอีก 5 ครั้ง รวมทั้งหมดเป็น 20 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ Central Composite Design

ตัวแปร	รหัส	ระดับ				
		$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
เวลา (นาที)	X_1	1.6	3	5	7	8.4
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	X_2	200	300	450	600	700
อัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์)	X_3	1.6	5	10	15	18.4

ตารางที่ 3.2 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design

การทดลอง	ค่าของตัวแปร		
	ระยะเวลา (นาที, X_1)	กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ (วัตต์, X_2)	อัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อบริมาณตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์, X_3)
1	7	300	5
2	3	300	15
3	7	300	15
4	5	197.73	10
5	5	450	10
6	5	450	10
7	3	600	15
8	3	600	5
9	1.64	450	10
10	5	450	18.41
11	3	300	5
12	5	450	1.59
13	8.36	450	10
14	5	450	10
15	5	450	10
16	7	600	5
17	5	450	10
18	5	702.27	10
19	7	600	15
20	5	450	10

3.4.4 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ

การวิจัยครั้งนี้ได้สกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ 2 วิธี คือวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติกับวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำ ซึ่งวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำเป็นวิธีที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการสกัดของวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟแบบปกติ โดยใช้น้ำในอ่างเป็นตัวดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ เนื่องจากการใช้ฮอกเซนในการสกัด ทำให้ไม่ได้รับอิทธิพลจากคลื่นไมโครเวฟในการเกิดความร้อน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.1 การสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติ

นำเมล็ดมะละกอบดใส่ขวดก้นกลมขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมสารละลายเฮกเซน ปริมาณ 150 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปสกัดด้วยไมโครเวฟตัดแปลง โดยใช้ระยะเวลา กำลังไฟฟ้า ไมโครเวฟและปริมาณเมล็ดมะละกอดตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ในตารางที่ 3.2 เมื่อครบเวลา นำไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศเพื่อกรองแยกเมล็ดมะละกอบดออกจากสารละลายโดยใช้ กระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วย rotary evaporator ที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสหรือจนกว่าเฮกเซนจะระเหยออกไปหมด นำน้ำมันที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณร้อยละผลผลิตน้ำมัน (%yield) ที่ได้จากการสกัด โดยใช้สูตรการคำนวณดังสมการที่ (3.1)

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

3.4.4.2 การสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำ

นำเมล็ดมะละกอบดใส่ขวดก้นกลมขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมสารละลายเฮกเซน ปริมาณ 150 มิลลิลิตร แล้วนำขวดก้นกลมวางในภาชนะสำหรับไมโครเวฟที่มีน้ำอยู่ 150 มิลลิลิตร จากนั้นทำการสกัดและคำนวณร้อยละผลผลิตน้ำมัน (%yield) ที่ได้จากการสกัด โดยใช้สมการที่ (1) เช่นเดียวกับข้อ 3.4.4.1

3.4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองและทวนสอบสมการ

ข้อมูลจากการสกัดในข้อ 3.4.4 จะถูกวิเคราะห์ ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมของการ สกัดและเพื่อสร้างรูปแบบสมการลำดับที่ 2 รวมถึงแผนภาพพื้นผิวตอบสนองของทั้ง 2 วิธีการสกัด โดยมีรูปแบบของสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ไมโครเวฟช่วยสกัด : } Y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum \beta_{ii} x_i^2 \quad (3.2)$$

$$\text{ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำ : } Y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum \beta_{ii} x_i^2 \quad (3.3)$$

โดยที่ Y คือ ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%yield)

β_0 คือ สัมประสิทธิ์ของโมเดลทดลอง

β_i คือ สัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรงของตัวแปร

β_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

β_{ii} คือ สัมประสิทธิ์เชิงเส้นโค้งของตัวแปร

การทวนสอบสมการทำได้โดยสุ่มการทดลอง 8 การทดลองจาก 15 การทดลอง ซึ่งคิดเป็น 53% ของการทดลองทั้งหมดเพื่อสร้างความมั่นใจในสมการว่ามีความเหมาะสมกับผลการทดลองจริง โดยการสร้างแผนภาพ Normal plot ด้วยโปรแกรม SPSS 16.0 trial เพื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Pearson correlation) เทียบระหว่างค่าที่ได้จากสมการกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง

3.4.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์พลังงานของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัด (บุญยานุช ชำนาญดี, 2559)

จากผลการวิเคราะห์ในข้อ 3.4.5 เลือกวิธีการสกัดที่ให้ร้อยละผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่มากกว่าเมื่อสกัดที่สภาวะที่เหมาะสม มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พลังงาน โดยนำมิเตอร์ไฟฟ้าซึ่งมีอัตราการหมุน 1200 รอบต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงมาต่อเข้ากับเครื่องไมโครเวฟ ใช้ระยะเวลาในการสกัดที่ 3, 5, 7 และ 10 นาทีที่ระดับกำลังไฟฟ้าทั้ง 5 ระดับ (300, 450, 600, 700 และ 800 วัตต์) ทำการนับจำนวนรอบการหมุนของมิเตอร์ไฟฟ้า โดยแต่ละสภาวะทำการวัด 3 ซ้ำและคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากสูตรคำนวณดังสมการ 3.4

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)} = \frac{\text{จำนวนรอบการหมุน}}{1200} \quad (3.4)$$

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้ในแต่ละสภาวะจะถูกเฉลี่ยและนำมาสร้างกราฟระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้า (Q) และเวลา (t) เพื่อสร้างสมการเส้นตรงดังนี้

$$300 \text{ วัตต์: } Q = a(t) \quad (3.5)$$

$$450 \text{ วัตต์: } Q = a(t) \quad (3.6)$$

$$600 \text{ วัตต์: } Q = a(t) \quad (3.7)$$

$$700 \text{ วัตต์: } Q = a(t) \quad (3.8)$$

$$800 \text{ วัตต์: } Q = a(t) \quad (3.9)$$

โดยที่ Q คือ พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

a คือ ความชัน

t คือ ระยะเวลาในการสกัดที่ทำให้ได้ yield เป้าหมายที่เลือกไว้

จากสมการที่ 3.2 และ 3.3 จะถูกนำมาคำนวณหาระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดที่ทำให้ได้ค่าผลผลิตเท่ากับค่าที่เลือกไว้ โดยใช้วิธีคำนวณหาค่าเป้าหมาย (Goal seek) ด้วยโปรแกรม Excel version 2013 และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตามสมการเส้นตรง พร้อมทั้งเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในการสกัดที่ได้ผลผลิตในปริมาณที่เท่ากันและสิ้นเปลืองน้อยที่สุด

3.4.7 เปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

3.4.7.1 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid Value; AV) หรือ ค่ากรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid; FFA) โดยใช้วิธีของ AOAC (1997) เป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันหาค่าความเป็นกรดสูง แสดงว่าน้ำมันเสื่อมคุณภาพ ทำได้โดยชั่งตัวอย่างน้ำมัน 10 กรัม เติมน้ำละลายฟีนอล์ฟธา ลิน 2 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จนได้สารละลายสีชมพูคงตัว 30 วินาที คำนวณหาปริมาณของกรดไขมันอิสระในรูปเปอร์เซ็นต์หรือค่าแอกซิดดิงสมการที่ (3.10) และ (3.11)

$$\text{Acid Value (\%)} = \frac{\text{OH (ml)} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH(N)} \times \text{มวลโมเลกุลของกรดไขมัน}}{10 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}} \quad (3.10)$$

$$\text{Free Fatty Acid} = \frac{\text{ปริมาตรของ KOH (ml)} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH (N)} \times 56.1}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \quad (3.11)$$

3.4.7.2 วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value; PV) โดยใช้วิธีของ AOCS (1997) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมัน ทำได้โดยการชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5 กรัม เติมน้ำละลายผสมอะซิติก : คลอโรฟอร์ม (3:2) 30 มิลลิลิตร และเติมน้ำละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิมตัว 0.5 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาทีในที่มืดและเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร จากนั้นไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 N จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนและเติมน้ำละลายน้ำแป้งความเข้มข้น 1% 2 มิลลิลิตรและไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหาย สามารถคำนวณค่าเปอร์ออกไซด์ดังสมการที่ (3.12)

$$\text{PV (mEq peroxide /Kg)} = \frac{(\text{ปริมาตร Na}_2\text{H}_2\text{O}_3 \text{ ของตัวอย่าง - blank, ml)} \times (\text{N}) \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \quad (3.12)$$

3.4.7.3 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวม (Total phenolic compounds) โดยตัดแปลงวิธีของ Hrnčirik และ Fritsche (2004) โดยนำตัวอย่างน้ำมันมา 2.5 กรัมละลายในเฮกเซน 5 มิลลิลิตร เติมสารผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำในอัตราส่วน 3:2 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทำการเขย่าเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่อัตราการหมุน 3500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของชั้นที่เป็นเฮกเซนกับชั้นที่เป็นสารผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ นำส่วนใสในชั้นสารผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำมา 0.20 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu Reagent ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที เติม 35 เปอร์เซ็นต์ Na_2CO_3 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ในน้ำกลั่น ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 10 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายผสมกันและตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด จากกราฟมาตรฐานปริมาณกรดแกลลิกในช่วง 2 – 20 ไมโครกรัม

3.4.7.4 วิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ใช้วิธีของ Lee และคณะ (2007) โดยการนำน้ำมัน 1 กรัม ละลายในเอทิลอะซิเตท 10 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตรเตรียม 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 เติมเอทิลอะซิเตท จนกระทั่งสารละลายมีปริมาตร 50 มิลลิลิตรจะได้สารละลายมาตรฐาน DPPH เข้มข้น 10^{-4} M นำสารละลายที่มีน้ำมัน มา 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร จากนั้นเติมสารละลาย DPPH 9 มิลลิลิตร นำไปเขย่าเป็นเวลา 10 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 60 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร

3.4.7.5 วิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS อังอิงการวิเคราะห์โดยวิธีของ Sevim และคณะ (2013) โดยเริ่มจากการเตรียมสาร ABTS ให้อยู่ในรูปอนุมูล $\text{ABTS}^{+\cdot}$ 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 $0.70 (\pm 0.02)$ ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร นำตัวอย่างหรือสารมาตรฐานมา 0.3 มิลลิลิตรและเติมอนุมูล $\text{ABTS}^{+\cdot}$ ที่เจือจางแล้ว 4 มิลลิลิตร ใส่ลงไป ในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 15 นาทีและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร

3.4.7.6 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของการตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอที่สกัดได้ในแต่ละวิธี โดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) รุ่น DSC 2 Mettler Toledo ตามกรรมวิธีของ Yanty และคณะ (2014) เริ่มจากนำน้ำมันตัวอย่างบรรจุใส่ถาดอะลูมิเนียมประมาณ 8-12 มิลลิกรัม เทียบกับถาดอะลูมิเนียมเปล่าที่ไม่ได้ใส่ตัวอย่าง เพื่อใช้อ้างอิง ซึ่งในการทดสอบ DSC ใช้ซอฟต์แวร์ Start up STARe ในการคำนวณและบันทึกค่า ซึ่งทุกตัวอย่างจะถูกรวบรวมการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน 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

3.4.8 วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

หัวข้อที่ 3.4.3 และ 3.4.5 วางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design พิจารณาปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ระยะเวลาในการสกัด, กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ และอัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อเฮกเซน หาความสัมพันธ์ของค่าทำนายและค่าจากการทดลองโดย Pearson correlation วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

หัวข้อ 3.4.7 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 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอ

จากการทดลองพบว่าเมล็ดมะละกามีปริมาณความชื้นเท่ากับ 7.2 % และมีปริมาณน้ำมันในเมล็ดมะละกอเท่ากับ 28.1 % โดยในตารางที่ 4.1 จะแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับงานวิจัยของ Puangsri และคณะ (2005) ซึ่งแสดงผลในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียกเช่นเดียวกัน และ Marfo และคณะ (1986) แสดงผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะละกอในรูปแบบเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก

องค์ประกอบ	ค่าที่ได้จากการทดลอง (% น้ำหนักเปียก)	ค่าจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ทางเคมี		1	2
ความชื้น	7.2 ± 0.0	7.2 ± 0.0	6.2
น้ำมัน	28.1 ± 0.5	30.7 ± 0.7	28.2

หมายเหตุ 1. Puangsri และคณะ (2005) แสดงผลในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก
2. Marfo และคณะ (1986) แสดงผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

4.2 การวิเคราะห์สถานะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง

4.2.1 สมการถดถอยและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) สำหรับผลการทดลองของการออกแบบ CCD ถูกแสดงในตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบจำลองเพื่อหารูปแบบสมการที่เหมาะสม พบว่ารูปแบบกำลังสอง (Quadratic) 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 ($R^2 = 0.975$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการที่ได้มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ทำการศึกษา

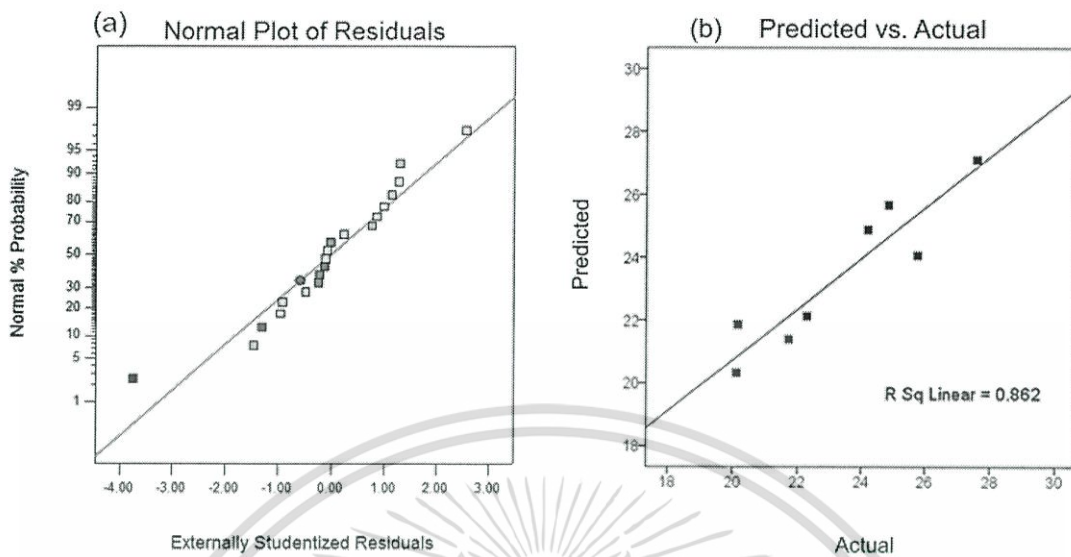
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการพหุนามกำลังสอง

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
A - เวลา	45.89	1	45.89	111.56	< 0.0001	
B-กำลังไฟฟ้า	20.98	1	20.98	51.01	< 0.0001	
C-อัตราส่วน	39.41	1	39.41	95.81	< 0.0001	
AB	3.70	1	3.70	8.99	0.0134	
AC	1.36	1	1.36	3.31	0.0989	
BC	1.33	1	1.33	3.23	0.1025	
A ²	9.26	1	9.26	22.51	0.0008	
B ²	18.47	1	18.47	44.91	< 0.0001	
C ²	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 ²				0.9749		
Adjust R ²				0.9522		

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองแบบกำลังสอง (Quadratic model) ดังแสดงในสมการที่ 3.2 มีความเหมาะสมสำหรับเป็นตัวแทนจำลองที่จะใช้ในการทำนายปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดและสามารถนำมาเขียนเป็นสมการถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่างๆกับค่าผลตอบสนองหลังจากตัดตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติออกได้ดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$Y = 36.76 - 1.70X_1 - 0.04X_2 - 0.99X_3 + 0.002X_1X_2 + 0.20X_1^2 + 0.00005X_2^2 + 0.06X_3^2 \quad (4.1)$$

4.2.2 การทดสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

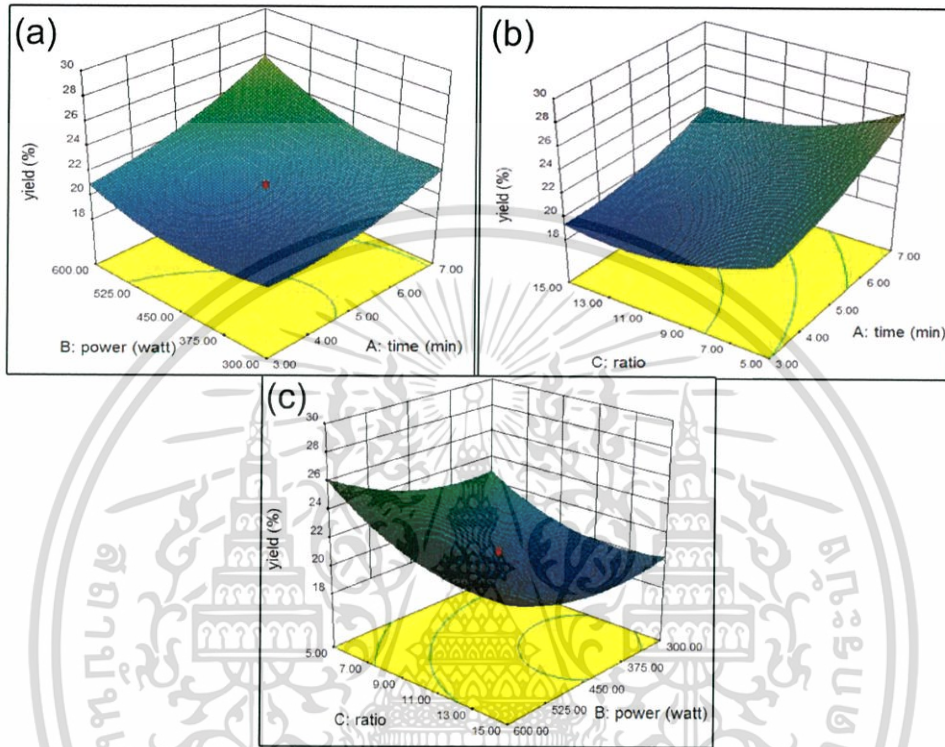


ภาพที่ 4.1 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นปกติกับส่วนตกค้าง (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย

ภาพที่ 4.1(a) แสดงการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบค่าส่วนตกค้างปกติ พบว่าข้อมูลค่าความน่าจะเป็นปกติ (Normal probability) มีลักษณะการกระจายตัวอยู่ในแนวเส้นตรงและใกล้เคียงกับค่าของเส้นตรง จึงสรุปได้ว่าการแจกแจงแบบปกติและไม่มีชุดการทดลองที่แสดงค่าความผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ ภาพที่ 4.1(b) แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด จะเห็นว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการทำนายโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับค่าที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันแนวโน้มเข้าใกล้กับแนวของเส้นทแยงมุมซึ่งบ่งบอกว่าช่วงของตัวแปรอิสระที่เลือกมาในการศึกษานี้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าถึง 0.862

4.2.3 สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (สมการที่ 4.1) สามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟพื้นผิวตอบสนองเพื่ออธิบายถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอดังแสดงในภาพที่ 4.2(a-c)



ภาพที่ 4.2 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองแสดงผลของระยะเวลาในการสกัดและกำลังไฟฟ้า (a) ผลของระยะเวลาและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อตัวทำละลาย (b) และผลของกำลังไฟฟ้าและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอดต่อตัวทำละลาย (c)

จากภาพที่ 4.2(a) กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของระยะเวลาในการสกัดและกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ โดยกำหนดให้ระดับของอัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อตัวทำละลายอยู่ที่ระดับกลาง (10 %w/v) พบว่าการใช้เวลาในการสกัดนานจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอดสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการสกัดมีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอดที่สกัดได้ โดยมีค่า p-value น้อยกว่า 0.0001 เช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่ระดับของตัวแปรทั้งสองที่ค่าสูงๆ จะให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอดสูงที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ (Interaction effect) ระหว่างตัวแปรคือระยะเวลาในการสกัดและกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ ภาพที่ 4.2(b) กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของระยะเวลาในการสกัดและอัตราส่วนเมล็ดมะละกอดต่อตัวทำละลาย โดยกำหนดให้ระดับของเอ็กสตรานเป็นเอ็กสตรานที่สงวนเวลาสำหรับการเขย่าเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำเอ็กสตรานที่ได้นี้ไปใช้ไม่ว่ากรรมวิธีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอ็กสตรานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าอยู่ที่ระดับกลาง (450 วัตต์) พบว่าการใช้เวลาในการสกัดนานจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อดัวทำละลาย พบว่าการใช้อัตราส่วนที่ต่ำทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สูงกว่าการใช้อัตราส่วนที่สูงและภาพที่ 4.2(c) กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟและอัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อดัวทำละลาย โดยกำหนดให้ระดับของระยะเวลาในการสกัดอยู่ที่ระดับกลาง (5 นาที) พบว่าการใช้กำลังไฟฟ้าสูงจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสูงขึ้นและการใช้อัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อดัวทำละลายต่ำทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สูง

การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอมากที่สุด โดยการนำสมการถดถอยกำลังสอง (สมการที่ 4.2) มาคำนวณพบว่าค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดจากการคำนวณของโปรแกรมสำหรับการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด คือ การสกัดโดยใช้ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 7 นาที ใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ 600 วัตต์ และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อดัวทำละลาย 7% (w/v) ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ 28% โดยมีค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์ (Desirability) เท่ากับ 1.000 ถึงแม้สถานะที่ได้นี้จะเป็ นสถานะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอมากที่สุด แต่จะเห็นได้ว่าต้องใช้เวลาใน สกัดนานถึง 7 นาทีกับการสกัดด้วยปริมาณน้อย (อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซน 7%w/v) ซึ่งถือว่า สิ้นเปลืองพลังงานและตัวทำละลายมาก

4.2.4 สถานะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดที่มี ประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด

สถานะที่เหมาะสมที่ได้ในข้อ 4.2.3 เป็นสถานะที่ใช้ในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ทำ ให้ได้ผลผลิตมากที่สุด แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมในการสกัด น้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดที่มีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ข้อมูลปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอจึง ได้ถูกเลือกมาเป็น ปริมาณผลผลิตเป้าหมาย (28%) เนื่องจากเป็นค่าสูงสุดที่จะสามารถสกัดได้จากการทดลอง (ตารางที่ 4.1) และได้ใช้สมการที่ 4.1 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการทำนายปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติ ในการคำนวณหาความแตกต่างของระยะเวลาในการสกัด จากการกำหนดให้ใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นร่วมกับการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนต่ำ (7 %w/v) ซึ่งได้ แสดงผลในตารางที่ 4.3 พบว่าการสกัดที่ก่ำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่าการสกัด ที่กำลังไฟฟ้า 600 และ 700 วัตต์ ถึง 280 และ 180 วินาที ตามลำดับ แสดงว่าการใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ใช้ระยะเวลาในการสกัดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบระยะเวลาในการสกัดเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากัน

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

สำหรับอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย ที่แผนภาพพื้นผิวตอบสนอง (ภาพที่ 4.2) แสดงผลว่าการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนต่ำให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอสูงกว่า แต่การใช้อัตราส่วนเมล็ดต่ำ เป็นการสิ้นเปลืองการใช้เฮกเซน เนื่องจากใช้ปริมาณของเฮกเซนเท่ากันในการสกัดทุกครั้ง คือ 150 มิลลิลิตร แต่สกัดวัตถุดิบได้น้อยกว่า ดังนั้นจึงได้ทำการคำนวณหาระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดจากการใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นรวมกับการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนสูง (15 %w/v) ด้วยสมการที่ 4.1 ซึ่งได้แสดงผลในตารางที่ 4.4 และพบว่าการสกัดที่ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่าการสกัดที่ กำลังไฟฟ้า 600 และ 700 วัตต์ 212 และ 127 วินาที ตามลำดับ แสดงว่าการใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ใช้ระยะเวลาในการสกัดน้อยลง แต่การมีลดลงของระยะเวลาในการสกัดน้อยกว่าการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนต่ำ (7 %w/v)

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบระยะเวลาในการสกัดเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันรวมกับการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนระดับสูงเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากัน

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

จากผลการคำนวณจะเห็นได้ว่าการสกัดโดยใช้อัตราส่วนเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย ในอัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซน 15 %w/v สามารถให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอตามเป้าหมาย (28 %) ได้เช่นเดียวกับการสกัดที่ใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนต่ำ (7 %w/v) แต่ระยะเวลาในการสกัดของการใช้อัตราส่วนเมล็ดต่อเฮกเซนสูง (15 %w/v) มากกว่าอัตราส่วนเมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเฮกเซนต่ำ (7 %w/v) อยู่ที่ 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 4.5) แสดงว่าการใช้กำลังไฟฟ้าในการสกัดสูงขึ้นให้ประสิทธิภาพในการสกัดดีกว่าการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบอัตราส่วนเมล็ดมะละกอเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันแต่ระยะเวลาในการสกัดเท่ากันเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากัน

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

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดที่มีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยคือ การสกัดโดยใช้ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 2.32 นาที ใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ 800 วัตต์ และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย 7% ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ 28% ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสกัดที่ระดับกำลังไฟฟ้าสูงจะช่วยให้ระยะเวลาในการสกัดลดลงได้มาก ทำให้เสียค่าใช้จ่ายลดลงเนื่องจากใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง ซึ่งจะได้อภิปรายต่อไปในหัวข้อที่ 4.4

4.2.5 การยืนยันผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการนำสถานะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (หัวข้อ 4.2.4) ไปทำการทดลองจริง เพื่อยืนยันผล โดยได้ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายของสมการถดถอย และได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอจากผลการทดสอบซ้ำเท่ากับ 27.29% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากสมการ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าอคติพบว่ามีค่าเป็น 2.55% โดยที่ค่าอคติที่ยอมรับได้ไม่ควรมากกว่า 5% (อิทธิพล และคณะ, 2556) จึงเป็นการยืนยันให้เห็นว่าสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมัน

จากเมล็ดมะละกอที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความน่าเชื่อถือและอนุมานได้ว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 4.1 เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้หาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยวิธี ไมโครเวฟช่วยสกัด

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

สภาวะที่เหมาะสม	ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอก (%)		ค่าอคติ ² (%)
	ค่าที่ได้จากการทดลอง ¹	ค่าที่ได้จาก แบบจำลอง	
ระยะเวลาในการสกัด	2.32 นาที		
กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ	800 วัตต์		
อัตราส่วนเมล็ดมะละกอกต่อ ตัวทำละลาย	7 %w/v	27.29 ± 0.58	28

หมายเหตุ ¹ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองจำนวน 3 ครั้งการทดลอง

$$^2 \text{Bias} \text{ คำนวณจาก ค่าอคติ} = \frac{\text{ค่าที่ได้จากการทำนาย} - \text{ค่าที่ได้จากการทดลอง}}{\text{ค่าที่ได้จากการทำนาย}} \times 100$$

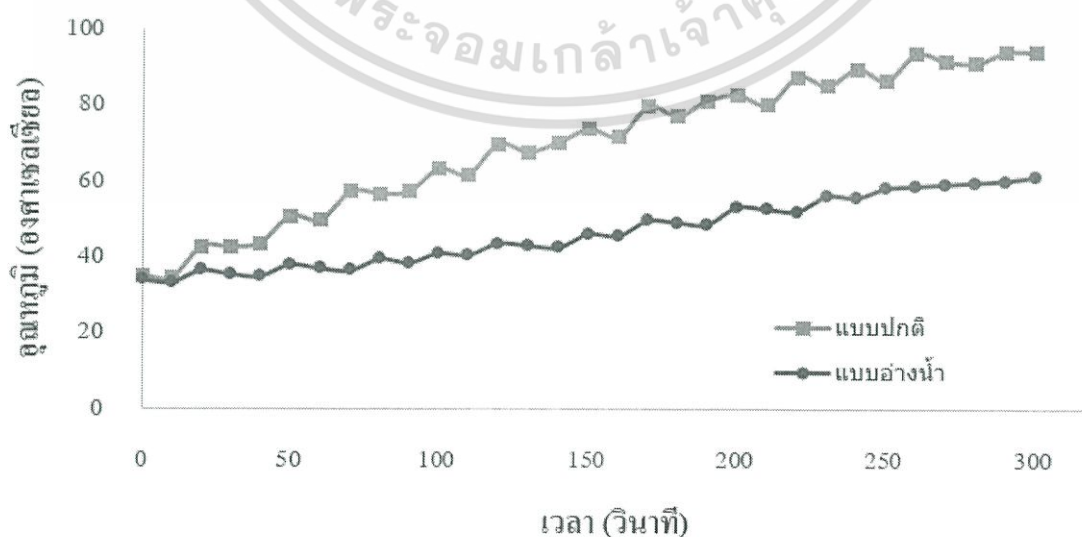
4.3 การเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติกับการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำ

4.3.1 สมการถดถอยและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบจำลองเพื่อหารูปแบบสมการที่เหมาะสมพบว่ารูปแบบกำลังสอง (Quadratic) ได้รับการยอมรับให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ค่า p-value ของรูปแบบสมการมีความเหมาะสม (Model fit) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขณะเดียวกันความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล (Lack-of-fit) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง ($R^2 = 0.925$) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองแบบกำลังสอง (Quadratic model) ดังแสดงในสมการที่ 3.3 มีความเหมาะสมสำหรับเป็นตัวแบบจำลองที่จะใช้ในการทำนายปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอกในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำและสามารถนำมาสร้างสมการทำนายค่าการตอบสนองของการสกัดได้ดังนี้

$$Y = 29.93 - 0.085X_1 - 0.002X_2 - 0.53X_3 + 0.0001X_1X_2 - 0.06X_1X_3 - 0.0009X_2X_3 + 0.06 X_1^2 + 0.00001X_2^2 + 0.039X_3^2 \quad (4.2)$$

ผลการทดลองต่อไปนี้เป็น การคำนวณปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สามารถสกัดได้ด้วยวิธีการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟแบบที่มีอ่างน้ำเทียบกับการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟแบบปกติที่สภาวะเดียวกัน โดยพบว่าเมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟแบบปกติ (หัวข้อ 4.2.4) คือ ใช้ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 2.32 นาที ใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ 800 วัตต์ และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย 7 %w/v แทนค่าลงในสมการที่ (4.2) เพื่อหาปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ จะได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้ด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำเพียง 26.89 % ซึ่งน้อยกว่าวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติ เนื่องจากปริมาณของเหลวที่เพิ่มขึ้นในระบบ น้ำที่อยู่ในอ่างรวมกับเฮกเซนที่ใช้ในการสกัดนั้น ทำให้มวลของระบบเพิ่มขึ้นเป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นในระบบช้าเพราะน้ำในอ่างจะดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟไว้ก่อนแล้วจึงถ่ายโอนความร้อนผ่านขวดก้นกลมเข้าสู่ตัวอย่างอีกทีหนึ่ง ทำให้ตัวอย่างและตัวทำละลายไม่ได้รับความร้อนโดยตรง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดลงและทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอน้อยกว่าการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติ แต่ในขณะเดียวกันการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟแบบที่มีอ่างน้ำจะสามารถควบคุมอุณหภูมิของระบบได้ดีกว่า จากโปรไฟล์อุณหภูมิในภาพที่ 4.3 จะแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการสกัดด้วยไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำ จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่คงที่กว่า ดังนั้นวิธีการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟแบบที่มีอ่างน้ำถึงจะยังไม่เป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการสกัดในระดับอุตสาหกรรมแต่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิการสกัดให้คงที่



ภาพที่ 4.3 โปรไฟล์อุณหภูมิของการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติกับแบบที่มีอ่างน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ซึ่งเป็นการนำข้อมูลไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์พลังงานของการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด

4.4.1 การเตรียมสมการคำนวณหาความสัมพันธ์พลังงานของการสกัดน้ำมันเมล็ด

มะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด

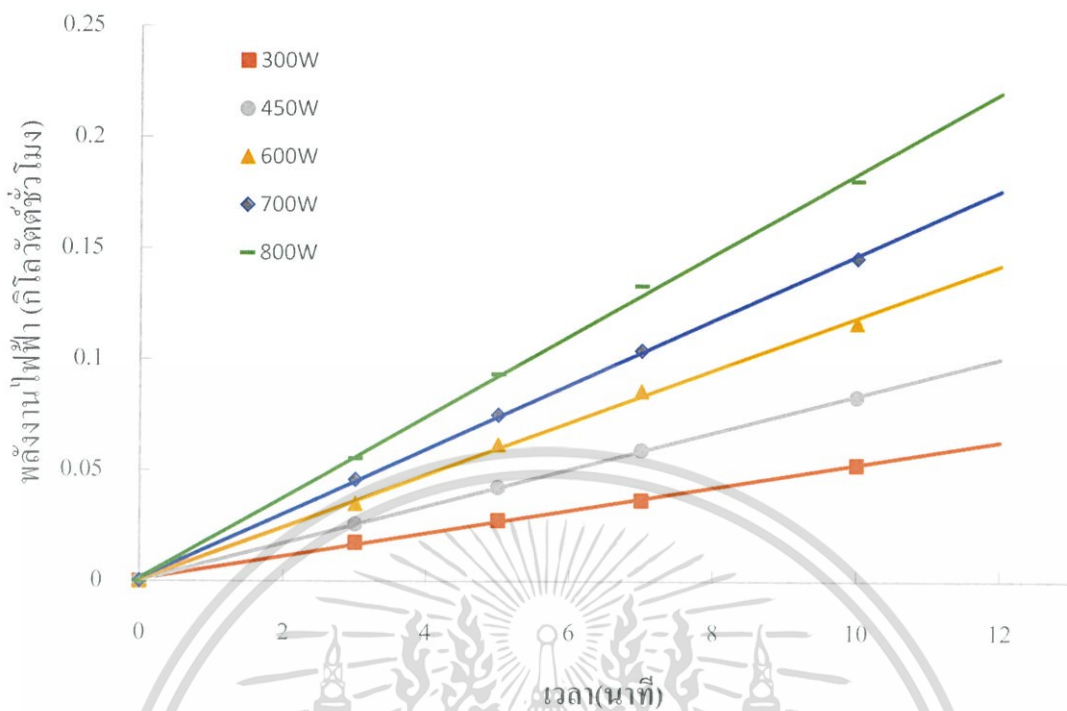
การสร้างสมการเส้นตรงเพื่อใช้คำนวณหาความสัมพันธ์พลังงานทำได้โดยการวัดพลังงานไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมงของการสกัดที่ระดับกำลังไฟฟ้า 5 ระดับ คือ 300, 450, 600, 700 และ 800 วัตต์ โดยใช้ระยะเวลาที่ 3, 5, 7 และ 10 นาที ให้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าพลังงานไฟฟ้ากับระยะเวลาในการสกัดของทั้ง 5 ระดับกำลังไฟฟ้า

เวลา(นาที)	พลังงานไฟฟ้า(กิโลวัตต์ชั่วโมง)				
	300 วัตต์	450 วัตต์	600 วัตต์	700 วัตต์	800 วัตต์
0	0	0	0	0	0
3	0.0175	0.0258	0.0350	0.0458	0.0553
5	0.0275	0.0425	0.0617	0.0750	0.0933
7	0.0367	0.0592	0.0858	0.1042	0.1331
10	0.0525	0.0833	0.1167	0.1458	0.1806

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์พลังงานไฟฟ้าขึ้นกับระยะเวลาและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดโดยเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าและระยะเวลาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและจากข้อมูลในตารางที่ 4.7 สามารถนำมาสร้างรูปแบบสมการเส้นตรงของแต่ละระดับกำลังไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พลังงาน ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับระยะเวลาในการสกัดของทั้ง 5 ระดับกำลังไฟฟ้า โดยแสดงในภาพที่ 4.4

จากการวิเคราะห์หาค่าของเชิงเส้นตรงเพื่อหาสมการคำนวณพลังงานไฟฟ้าตามรูปแบบสมการที่ 3.5-3.9 (หัวข้อ 3.4.6) โดยสมการนี้จะใช้ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงพลังงานของการสกัดโดยแทนค่า ระยะเวลาในการสกัด (นาที) ลงในสมการ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของสมการและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของสมการในแต่ละระดับกำลังไฟฟ้าจะแสดงในตารางที่ 4.8



ภาพที่ 4.4 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับระยะเวลาในการสกัดของทั้ง 5 ระดับกำลังไฟฟ้า

ตารางที่ 4.8 ค่าพารามิเตอร์และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของสมการเส้นตรงที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พลังงาน

กำลังไฟฟ้า(วัตต์)	ค่าพารามิเตอร์	
	a	R^2
300	0.0053	0.9975
450	0.0084	0.9997
600	0.0119	0.9979
700	0.0148	0.9994
800	0.0184	0.9984

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าในการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด

ในการศึกษาความสัมพันธ์เปลืองพลังงานไฟฟ้าของการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด ได้กำหนดค่าปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอเท่ากับ 28% มาเป็นค่าเป้าหมายสำหรับเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของการสกัดทั้ง 5 ระดับกำลังไฟฟ้า (300, 450, 600, 700 และ 800 วัตต์) จากการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด (สมการที่ 4.1) มาใช้ทำนายระยะเวลาในการสกัด โดยใช้เทคนิค What-If Analysis ด้วยโปรแกรม Excel และนำระยะเวลาที่คำนวณได้นี้ไปคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าโดยใช้สมการเส้นตรงของแต่ละระดับกำลังไฟฟ้า (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอให้ได้ตามค่าเป้าหมาย

กำลังไฟฟ้า(วัตต์)	ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ (28%)	
	เวลา(นาท)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)
300	9.21	0.0488
450	8.52	0.0716
600	6.99	0.0832
700	5.32	0.0787
800	2.32	0.0427

จากตารางที่ 4.9 แสดงผลการคำนวณระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรง พบว่าการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติเพื่อให้ได้ผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอ 28% ที่ระดับกำลังไฟฟ้า 5 ระดับ คือ 300, 450, 600, 700 และ 800 วัตต์ จะใช้ระยะเวลาในการสกัดลดลงตามระดับกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับกำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ใช้ระยะเวลา 9.21 นาที ตามด้วย 8.52, 6.99, 5.32 และ 2.32 นาที ที่ระดับกำลังไฟฟ้า 450, 600, 700 และ 800 วัตต์ ตามลำดับ สำหรับผลการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ทุกระดับกำลังไฟฟ้าพบว่า มีค่าพลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.0427 - 0.0832 กิโลวัตต์ชั่วโมง และการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้ายังพบว่าที่ระดับกำลังไฟฟ้า 300, 450 และ 600 วัตต์ มีค่าพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่ที่ระดับกำลังไฟฟ้า 700 และ 800 วัตต์มีค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงและมีค่าน้อยกว่าที่ระดับกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าผลการคำนวณในขั้นตอนนี้มีความสอดคล้องกับสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป้าหมายที่ได้จากในข้อที่ 4.2.4 คือการสกัดโดยใช้ระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 2.32 นาที ใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟ 800 วัตต์ และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่ตัวทำละลาย 7% เพราะนอกจากที่ระดับกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ จะใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่าที่ระดับกำลังไฟฟ้าทุกระดับแล้วยังใช้ระยะเวลาโดยประมาณในการสกัดที่น้อยกว่าระดับกำลังไฟฟ้าที่ 600 และ 700 วัตต์ถึง 280 และ 180 วินาทีตามลำดับ

4.5 ผลการเปรียบเทียบวิธีการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

4.5.1 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน

4.5.1.1 ผลการวิเคราะห์ Peroxide value (PV) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังเป็นตัวบ่งชี้ของการเกิดกลิ่นหืนในระยะแรก โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันคือระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เมื่อพันธะคู่ของไขมันไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์ เปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ซึ่งเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ของการเกิดออกซิเดชันจะถูกสร้างขึ้นมา ดังนั้นการมีค่า PV ที่สูงจึงบ่งบอกถึงระดับของการเกิดออกซิเดชันและบอกว่าน้ำมันนั้นๆถูกออกซิไดซ์ไปมากเพียงใด (Atinafu และ Bedemo, 2011) และจากผลการวิเคราะห์ ANOVA ในตารางที่ 4.10 พบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่ได้จากการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติมีค่า PV สูงกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่ได้จากการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำ ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นเพราะการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟแบบปกติเกิดความร้อนที่สูงมากกว่า (ภาพที่ 4.3) จึงเป็นการเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันทำให้น้ำมันเมล็ดมะละกอกที่ได้นั้นมีค่า PV ที่สูงกว่า แต่ถึงอย่างไรก็ตามค่า PV ของทั้งสองวิธีการสกัดนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 6.25, P = 0.067$) นอกจากนี้ค่า PV ของน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่ได้จากการสกัดทั้งสองวิธีนี้นั้นยังเป็นไปตามข้อตกลงของค่า PV สูงสุดตามมาตรฐานของ Codex (CODEX-STAN210-1999) ซึ่งมีค่า PV ได้ไม่เกิน 10 mEq/kg (Hui, 1996) สำหรับน้ำมันพืช ดังนั้นจึงถือได้ว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่สกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีกลิ่นหืนน้อยและสามารถนำไปใช้ได้

4.5.1.2 ผลการวิเคราะห์ Acid value (AV) หรือ Free Fatty Acid (FFA) เป็นตัวบ่งชี้ถึงกรดไขมันอิสระในน้ำมัน โดยปกติกรดไขมันจะพบในรูปแบบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการ กรดไขมันอาจถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็นกรดไขมันอิสระ ดังนั้นการที่ค่า AV สูงขึ้น แสดงว่าระดับของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของน้ำมันลดลง (Atinafu และ Bedemo, 2011) และจากผลการวิเคราะห์ ANOVA ในตารางที่ 4.10 พบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติมีค่า AV สูงกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำ แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ค่า AV ของทั้งสองวิธีการสกัดนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 7.43, P = 0.053$) ซึ่งระดับของค่า AV ที่ยอมรับได้สำหรับน้ำมันที่ผ่านการกลั่น คือควรอยู่ต่ำกว่า 0.6 mg KOH/g แต่จะเห็นได้ว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดทั้งสองวิธีในการศึกษานี้มีค่า AV สูงกว่ามาตรฐาน Codex สำหรับน้ำมันพืช (CODEX-STAN210-1999) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดยังคงเป็นน้ำมันดิบ (crude oil) โดยที่เมื่อมีการศึกษาก่อนหน้านี้ที่กล่าวว่าน้ำมันพืชที่ไม่ผ่านการกลั่นจะมีค่า AV ที่สูงกว่าน้ำมันกลั่น (Vidrih และคณะ, 2010) แต่ถึงอย่างไรก็ตามความเป็นกรดของน้ำมันที่เหมาะสมกับการบริโภคจะต้องมีค่าไม่เกิน 4 mg KOH/g (Tan และคณะ, 2002) ดังนั้นน้ำมันเมล็ดมะละกอจึงมีความเหมาะสมในการบริโภคได้

4.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวม (Total phenolic compounds)

การทดสอบ Folin-Ciocalteu เป็นวิธีการที่รวดเร็วและง่ายในการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลในตัวอย่าง จากผลการทดลองในตารางที่ 4.10 พบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 112.80 ± 2.44 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตรน้ำมันตัวอย่าง ซึ่งน้อยกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำ โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 143.68 ± 8.55 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตรน้ำมันตัวอย่าง และเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งกำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดทั้งสองวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

โดยจากงานวิจัยของ Asmah (2014) พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของเมล็ดมะละกออยู่ที่ 303.2 ไมโครกรัมต่อกรัม และจากงานวิจัยของ Afolabi และคณะ (2014) พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดมะละกอมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 119.92 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ดังนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจเป็นไปได้ว่ายังมีปริมาณฟีนอลิกที่เหลืออยู่ในกากเมล็ดมะละกอ ภายหลังจากการสกัดน้ำมัน แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้จากการศึกษานี้ยังมีปริมาณที่สูงกว่าปริมาณที่ได้จากงานวิจัยของ Janu และคณะ (2013) ในน้ำมันพืชที่บริโภคได้ เช่น น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันดอกทานตะวัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ polyphenols ในน้ำมันพืชอาจมีปริมาณที่แตกต่างกันไปตามสภาวะของการสกัดและกระบวนการ เช่น ผ่านการกลั่นหรือไม่ได้ผ่านการกลั่น

4.5.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

การวัดความสามารถการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอ โดยใช้วิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) เป็นวิธีเบื้องต้นที่นิยมใช้ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลของสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติและเป็นการทดสอบความสามารถของสารทดสอบในการกำจัดอนุมูล DPPH โดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอมในหลอดทดลอง (Hou และคณะ, 2001) จากผลการทดลองในตารางที่ 4.10 พบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้จากการทั้งสองวิธีมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งกำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าเมื่อนำทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกันมีค่านัยสำคัญทางสถิติน้อยกว่า 0.05 โดยน้ำมันเมล็ดมะละกอจากการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติจะมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH เท่ากับ 8.02 ± 0.20 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง ซึ่งน้อยกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำโดยมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH เท่ากับ 11.44 ± 0.38 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง

4.5.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS

เช่นเดียวกันกับวิธี DPPH น้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้จากการทั้งสองวิธีมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากตารางที่ 4.10 พบว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอจากการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติจะมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS เท่ากับ 8.29 ± 0.12 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง ซึ่งน้อยกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำโดยมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS เท่ากับ 13.65 ± 0.26 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง

เนื่องจากความร้อนที่สูงจะส่งผลกระทบต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก

ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงเพราะเสื่อมสลายได้ง่ายด้วยความร้อน รวมถึงส่งผลกระทบต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วย (ศรีชัย และคณะ, 2555 ; พงศธร และคณะ, 2551 ; Areekul และ Mettamethar, 2006) ทำให้ค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง DPPH และ ABTS ของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติน้อยกว่าการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำ

ตารางที่ 4.10 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากวิธีการสกัดที่ต่างกัน

คุณสมบัติทางเคมี	วิธีสกัด	
	ไมโครเวฟช่วยสกัด แบบปกติ	ไมโครเวฟช่วยสกัด แบบที่มีอ่างน้ำ
Peroxide value ^{ns} (mEq.Kg ⁻¹)	1.80 ± 0.20	1.47 ± 0.12
Acid value ^{ns} (mg KOH.g ⁻¹)	1.61 ± 0.05	1.53 ± 0.03
Free fatty acid ^{ns} (%)	0.81 ± 0.03	0.77 ± 0.02
TPC (µg of GAE/ml sample)	112.80 ± 2.44 ^a	143.68 ± 8.55 ^b
DPPH (µg of TEAC/ml sample)	8.02 ± 0.20 ^a	11.44 ± 0.38 ^b
ABTS (µg of TEAC/ml sample)	8.29 ± 0.12 ^a	13.65 ± 0.26 ^b

หมายเหตุ a,b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.5.5 คุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

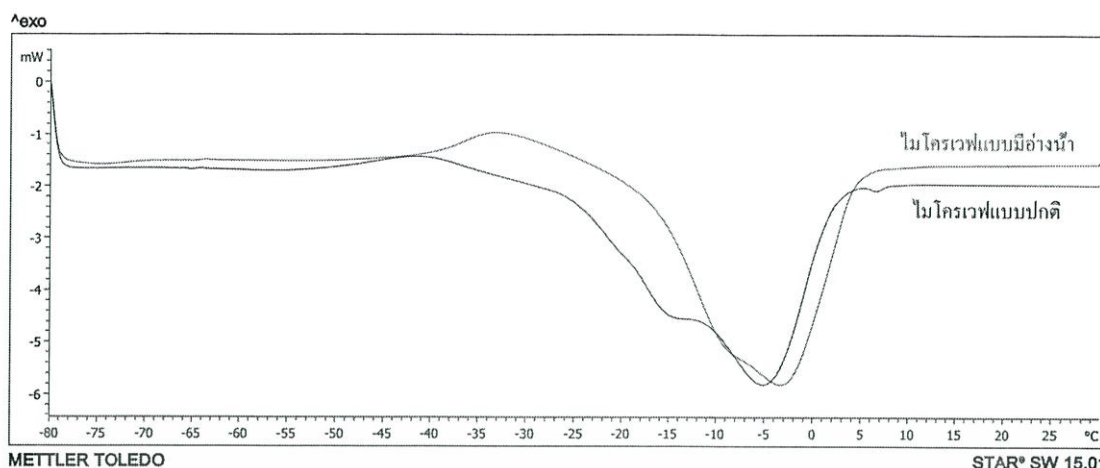
การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของการตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอที่ได้จากวิธีการสกัดแตกต่างกัน ด้วยเทคนิค Differential Scanning Colorimetry (DSC) เป็นวิธีในการศึกษาพฤติกรรมของการตกผลึกและการหลอมเหลวของไขมัน โดยอาศัยหลักการที่ว่าไขมันมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือการเปลี่ยนแปลงเฟส จะมีการดูดหรือคายความร้อน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

จากภาพที่ 4.5 เป็น DSC thermogram การหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟแบบปกติกับไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำ หลังจากการเพิ่มอุณหภูมิจาก -80 องศาเซลเซียส จนถึง 30 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่ออนาที โดยอุณหภูมิที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงต่างๆในระหว่างการหลอมเหลวได้แสดงในตารางที่ 4.11 พบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟแบบปกติเริ่มมีการหลอมเหลว (onset temperature, T_o) ที่อุณหภูมิประมาณ -25 องศาเซลเซียส โดยจะมีการหลอมเหลวสูงสุด (peak temperature, T_p) ที่อุณหภูมิ -5.47 องศาเซลเซียส และเกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์ (offset temperature, T_f) ที่ 3.57 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเอนทัลปีของการหลอมเหลวเท่ากับ 82.16 จูลต่อกรัม

สำหรับการหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำนั้น พบว่าเริ่มมีการหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ -18 องศาเซลเซียส โดยจะมีการหลอมเหลวส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ -3.58 องศาเซลเซียส และเกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์ที่ 6.21 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเอนทัลปีของการหลอมเหลวเท่ากับ 72.28 จูลต่อกรัม

โดยจากงานวิจัยของ Yanty และคณะ (2014) กล่าวว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอมีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ชนิด OOO ในปริมาณสูง (40.4 เปอร์เซ็นต์) รองมาคือไตรกลีเซอไรด์ชนิด POO และ SOO ที่มีปริมาณ 29.1 และ 9.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งไตรกลีเซอไรด์ชนิด OOO และ POO จะมีการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ ± 5 องศาเซลเซียสและ ± 18 องศาเซลเซียสตามลำดับ จากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ได้จาก DSC thermogram โดยพิกที่อุณหภูมิประมาณ -5 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ชัดเจนที่สุดใน DSC thermogram ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ OOO ที่วิเคราะห์ได้ในน้ำมันเมล็ดมะละกอ

เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิที่เกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์เปรียบเทียบกันระหว่างน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติกับแบบมีอ่างน้ำ พบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอจากวิธีการสกัดต่างกันมีจุดหลอมเหลวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่น้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟปกติ ซึ่งจากงานวิจัยของ Samaram และคณะ (2014) กล่าวว่าพฤติกรรมหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกอมีผลมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดและการเปลี่ยนแปลงจุดหลอมเหลวอาจมีผลมาจากการมีไตรกลีเซอไรด์อิมพัทที่ไม่สามารถตรวจจับได้ เช่น distearoyl palmitin (SSP), dipalmitoyl linolein (PLP) หรือ dipalmitoyl olein (POP) (Samaram และคณะ, 2013)



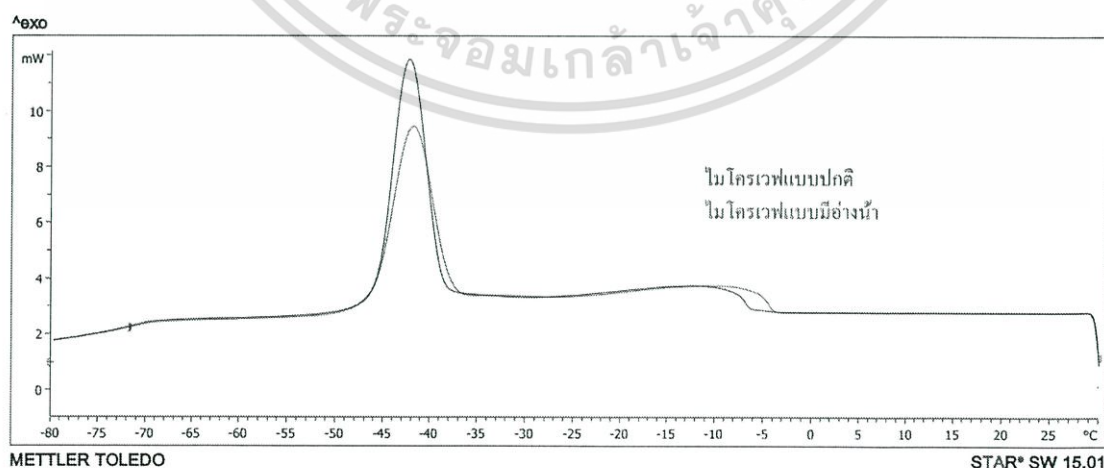
ภาพที่ 4.5 พฤติกรรมการหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟปกติกับไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำ

จากพฤติกรรมการตกผลึกที่แสดงในภาพที่ 4.6 หลังจากการให้ความร้อนที่ 30 องศาเซลเซียสนาน 5 นาที และทำการลดอุณหภูมิจาก 30 องศาเซลเซียส จนถึง -80 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยอุณหภูมิที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในระหว่างการตกผลึกได้ถูกแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟแบบปกติมีพิคของการตกผลึกปรากฏขึ้นมา 2 พิค พิคแรกในการตกผลึกที่อุณหภูมิช่วง -5 ถึง -10 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเกิดจากการตกผลึกของกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงหรือกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (พรณิพรประชาชนวัฒน์, 2554 ; Samaram และคณะ, 2014) ในขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีประมาณ 70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เริ่มมีการตกผลึก (onset temperature, T_o) ที่อุณหภูมิประมาณ -39 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นพิคที่สองที่มีการตกผลึกสูงสุด (peak temperature, T_p) ที่อุณหภูมิ -42.15 องศาเซลเซียส และเกิดการตกผลึกอย่างสมบูรณ์ (offset temperature, T_f) ที่ -45.57 องศาเซลเซียส และมีค่าเอนทาลปีของการตกผลึกเท่ากับ 77.51 จูลต่อกรัม

สำหรับการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำนั้น พบว่ามีพิคแรกของการตกผลึกลักษณะเดียวกันกับน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟแบบปกติในช่วงอุณหภูมิ -5 ถึง -10 องศาเซลเซียส และเริ่มมีการตกผลึกของส่วนที่มีจุดหลอมเหลวต่ำที่มีไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบที่อุณหภูมิประมาณ -37 องศาเซลเซียส โดยมีการตกผลึกสูงสุดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ -41.73 องศาเซลเซียส และเกิดการตกผลึกอย่างสมบูรณ์ที่ -46.54 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเอนทาลปีของการตกผลึกเท่ากับ 73.06 จูลต่อกรัม

ในงานวิจัยของ Solís-Fuentes และ Durán-de-Bazúa (2007) กล่าวว่าน้ำมันที่มีกรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง จะส่งผลให้เกิดการเจือจางกับกรดไขมันอิ่มตัวในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ โดยทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันอิ่มตัวในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งตกผลึกได้ง่ายกว่าลดลง ซึ่งในแง่ของพลังงานความร้อนในการตกผลึกอาจกล่าวได้ว่า ไตรกลีเซอไรด์ต้องคายพลังงานสูงขึ้นในการตกผลึก เพราะกรดโอเลอิกต้องคายพลังงานความร้อนออกมาในปริมาณที่สูงกว่ากรดไขมันอิ่มตัวเพื่อให้เกิดการตกผลึก

เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิที่เริ่มเกิดการตกผลึก เปรียบเทียบกันระหว่างน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติกับแบบมีอ่างน้ำ พบว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอจากวิธีการสกัดต่างกันมีการตกผลึกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่น้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำสามารถเกิดการตกผลึกได้เร็วกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟปกติ ซึ่งจากงานวิจัยของ Samaram และคณะ (2014) กล่าวว่าพฤติกรรมการตกผลึกของน้ำมันมะละกออาจมีผลกระทบมาจากวิธีการสกัดและสถานะในการสกัด และอาจมีผลมาจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ไม่สามารถตรวจจับได้ 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 พบว่ามีความแตกต่างของอุณหภูมิการหลอมหลอมและการตกผลึก ซึ่งอาจเกิดจากการใช้พันธุ์มะละกอและสถานะในการสกัดแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.6 พฤติกรรมการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟปกติกับไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 สมบัติทางความร้อนการเกิดจุดหลอมเหลวและการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

วิธีการสกัด	Enthalpy (J/g)	อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลง (°C)		
		T _o	T _p	T _F
การหลอมเหลว				
ไมโครเวฟปกติ	82.16 ± 5.00 ^a	-25.90 ± 1.39 ^a	-5.47 ± 0.35 ^a	3.57 ± 0.42 ^a
ไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำ	72.28 ± 1.54 ^b	-18.01 ± 1.15 ^b	-3.58 ± 0.13 ^b	6.21 ± 0.28 ^b
การตกผลึก				
ไมโครเวฟปกติ	77.51 ± 1.49 ^a	-39.03 ± 0.33 ^a	-42.15 ± 0.12 ^a	-45.57 ± 0.13 ^a
ไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำ	73.06 ± 0.21 ^b	-37.66 ± 0.25 ^b	-41.73 ± 0.06 ^b	-46.54 ± 0.42 ^b

หมายเหตุ T_o = onset temp., T_p = peak temp., T_F = offset temp.

a,b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P ≤ 0.05)



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด โดยวิธีพื้นผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง ซึ่งมีปัจจัยต่างๆที่มีผล ต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอก คือ เวลาที่ใช้ในการสกัด, กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ และ อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอกต่อตัวทำละลาย โดยปริมาณผลผลิตน้ำมันที่สกัดได้ ณ สภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันที่สกัดได้ โดยการใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำ รวมถึงศึกษาความสัมพันธ์ของพลังงาน, วิเคราะห์หา ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ การตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่สกัดได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยไมโครเวฟ

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอกสูงที่สุด โดยมี ประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด คือ ใช้เวลาในการสกัด 2.32 นาที ที่ระดับกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ด้วยอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอกต่อตัวทำละลาย 7 เปอร์เซ็นต์ จะได้ปริมาณผลผลิต น้ำมันเมล็ดมะละกอก 28 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 99.64 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ด มะละกอกทั้งหมด ซึ่งจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้า พบว่าที่ระดับกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ จะใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่าที่ระดับกำลังไฟฟ้าทุกระดับแล้วยังใช้ระยะเวลาโดยประมาณใน การสกัดที่น้อยกว่าระดับกำลังไฟฟ้าที่ 600 และ 700 วัตต์ถึง 280 และ 180 วินาทีตามลำดับ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำ ณ สภาวะการสกัดที่ เหมาะสมนี้พบว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่ได้จากการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟแบบปกติ นั้นสูงกว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอกที่ได้จากการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำ ซึ่ง ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอกเพียง 26.89 เปอร์เซ็นต์

การทวนสอบความเที่ยงตรงของสมการ

จากการทวนสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการทำนายกับค่าที่ได้จากการทดลองของทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนาย พบว่าทิศทางของแนวโน้มมีความสอดคล้องกัน โดยมีความเที่ยงตรงของการทำนาย 86.2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นจากวิธีการพื้นผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง จึงมีความเหมาะสมสำหรับอธิบายช่วงของทั้ง 3 ปัจจัยในการทดลองและมีความน่าเชื่อถือทางสถิติในการใช้ทำนายปริมาณผลผลิตน้ำมันเมล็ดมะละกอจากการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อประเมินคุณภาพของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดได้ โดยการตรวจ Peroxide value (PV) และ Acid value (AV) หรือ Free fatty acid (FFA) สามารถสรุปได้ว่าการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟแบบปกติจะได้ค่า PV และ AV สูงกว่าการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu พบว่าวิธีการสกัดทั้งสองแบบนี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยที่การสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าน้ำมันเมล็ดมะละกอที่ได้จากการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำ เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันเมล็ดมะละกอด้วยวิธี DPPH และ ABTS พบว่าวิธีการสกัดทั้งสองแบบนี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เนื่องจากความร้อนที่สูงจะส่งผลกระทบต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงเพราะเสื่อมสลายได้ง่ายด้วยความร้อน รวมถึงส่งผลกระทบต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วย ทำให้ค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง DPPH และ ABTS ของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติน้อยกว่าการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยสกัดแบบมีอ่างน้ำ ดังนั้นวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟแบบมีอ่างน้ำ จึงเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอ ที่ถึงแม้จะให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันที่น้อยกว่า แต่ได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติทางเคมีที่ดีกว่าวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอ

การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของน้ำมันเมล็ดมะละกอที่สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติกับแบบมีอ่างน้ำ โดยโดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) รุ่น DSC 2 Mettler Toledo เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของการตกผลึกและการหลอมเหลวของน้ำมันจากเมล็ดมะละกอที่สกัดได้ในแต่ละวิธี จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า น้ำมันเมล็ดมะละกอจากทั้งสองวิธีการสกัดมีจุดหลอมเหลวและสามารถเกิดผลึกได้ที่อุณหภูมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อการหลอมเหลวและการตกผลึกของน้ำมันคือ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ โดยที่น้ำมันเมล็ดมะละกอมีกรดโอเลอิกปริมาณมาก (ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีความคงตัวต่อความร้อนและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากมีพันธะคู่เพียงแก่ตำแหน่งเดียวในโครงสร้าง เพราะฉะนั้นจึงเหมาะสำหรับใช้ในการต้มหรือทอดแบบน้ำมันท่วม อีกทั้งยังเหมาะสำหรับใช้เป็นสเปรย์น้ำมันสำหรับอาหารว่าง, แครกเกอร์, คุกกี้, ผลไม้แห้งและผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ นอกจากนี้ น้ำมันที่มีสัดส่วนไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวสูงมักใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลผิวที่ทำให้ผิวนวล, ครีมนวดผมและการแต่งหน้า 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)
2. ก่อนที่น้ำมันเมล็ดมะละกอจะสามารถนำไปใช้ ควรมีการการตรวจวิเคราะห์ทางด้านพิษวิทยา ก่อน เพื่อยืนยันว่ามีปลอดภัยในทุกะดับการใช้งาน เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีรายงานการใช้น้ำมันเมล็ดมะละกอสำหรับอาหารหรือเพื่อวัตถุประสงค์ด้านอาหาร
3. เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งในการที่สถานประกอบการจะนำไปใช้ จึงต้องมีศึกษาเพิ่มเติมในระดับที่กว้างมากขึ้นเพื่อความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กาญจนา ชิงห์ และนิรมล อุดมอ่าง. 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. 26 มิถุนายน 2560.
- จุฑามาศ รดา. 2552. “การผลิตเอนโดกัลลูคานีสโดยเชื้อราที่แยกจากดิน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย สาขาวิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เจนจิรา จิรมย์ และประสงค์ สีหนาม. 2553. “อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา.” วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์. 1(1) : 59-70.
- ฉลองชัย แบบประเสริฐ. 2533. “การปลูกมะละกอ.” หน้า 20-32. ใน สำนักสวัสดิการสังคม กองสวนสาธารณะ. วันต้นไม้ประจำปีแห่งชาติ. กรุงเทพฯ: กองสวนสาธารณะ.
- ดวงกมล เรือนงาม. 2557. “การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ (Extraction of Antioxidants).” วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. ปีที่ 23(2) : 120-134.
- ดารณี เจริญสุข. 2554. “น้ำมันเมล็ดยางพารากับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม.” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง. ปีที่ 5(3) : 25.
- ธงชัย พุฒทองศิริ. 2557. การผลิตน้ำมันปลาจากวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตปลาแมกเคอเรลกระป๋องและการใช้ประโยชน์. ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปี. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นพพร ดวงอินทร์, วราพงษ์ ยาใจ และอัศววัฒน์ เกตุพิริศิษฐ์. 2556. “การออกแบบและสร้างเครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชแบบร้อนด้วยสกรูอัด.” วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

บุญยานุช ชำนาญดี. 2559. “การศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำมันเมล็ดองุ่นด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

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.

พงศธร ล้อสุวรรณ, จิตศิริ รัชตพันธุ์ และศศิธร จันทนวางกูร. 2551. “สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลินทรีย์ของเปลือกผลไม้.” หน้า 554-561. ใน การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46.

พรณี พรประชาวัฒน์. 2554. “การศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ และพฤติกรรมการตกผลึกของน้ำมันเมล็ดมะม่วงหลายสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พรรณทิพย์ แสงสุขเอี่ยม และราตรี ชูย์หิรัญ. 2558. “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสี้อมจากกลีบดอกอัญชัน โดยใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง.” หน้า 1-8. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราช-ภัฏนครปฐม ครั้งที่ 7. นครปฐม.

มลศิริ วิโรทัย. 2540. “ส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพชนิดใหม่ๆ.” วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 13(2) : 69-75.

ลำนำพร ปลดเปลื้อง. 2557. “ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารต้านออกซิเดชันจากกากองุ่นแดงด้วยวิธีไมโครเวฟ แบบมีอุปกรณ์กวนสาร.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วีรเทพ เถลิมสมิทธิชัย. 2550. “การศึกษาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กดิบ โดยวิธีการออกแบบการทดลอง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศรัณย์ ลาภนิธิพร, ณีฎฐา เลหากุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. 2555. “องค์ประกอบทางเคมีกายภาพ และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมะม่วงหิมพานต์.” วารสารวิทยาศาสตร์ เกษตร. 43(2) : 409-412.

สาวิตรี คำหอม. 2551. “การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการ นึ่งปาล์มน้ำมัน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุรชาติภพ ภมรประวัตติ. 2552. “มะละกอ ต้านอนุมูลอิสระ” หน้า 28-34. ใน นิตยสารหมอชาวบ้าน. ฉบับที่ 360.

สุวรรณ อินทร์คงแก้ว. 2539. การปลูกมะละกอ. เล่มที่ 63. ครั้งที่พิมพ์ 1. กรุงเทพฯ : ยูนิเวอร์ ซิตีกราฟฟิค.

เสาวลักษณ์ ภูมิวิสนะ, ผู้แปล. 2527. ไม้ผลที่น่าสนใจ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนัก งานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.

อริยฐาน ทิมแย้มประเสริฐ, วิทยา บันสุวรรณ และเกษม จันทร์แก้ว. 2556. “การใช้ขยะน้ำมัน ปาล์มในบ่อน้ำเสียเพื่อผลิตไบโอดีเซลชุมชน.” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 18(2) : 215-221.

อาชัย พิทยภาคย์, นคร ทิพย์วงศ์ และวสันต์ จอมภักดี. 2544. “การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของ การสกัดน้ำมันพืชเชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น.” วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. ปีที่ 11(3) : 9-20.

อิทธิพล วรพันธ์, ช่างชัย ชูปวา และชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์. 2556. “การหาสภาวะที่เหมาะสมใน กระบวนการเชื่อมด้วยความเสียดทานของเหล็ก AISI 1015 โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง.” วารสารวิจัย มข. 18(6) : 909-924.

อิสรพงษ์ พงษ์ศิริกุล. 2550. การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับ อุตสาหกรรมเกษตร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://202.28.24.44/e_books/issrapong/stat_for_agro_industry.pdf. 28 มิถุนายน 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 Ofobrukweta, K. (2011). Physicochemical and nutritional qualities of Carica papaya seed products. **Journal of Medicinal Plants Research**. 5(14) : 3113-3117.
- Afolabi, I. S., Daniels, P. O., Rotimi, S. O. and Adeyemi, A. O. 2014. “An Evaluation of Lipid Profile and Antioxidant Activities of Carica Papaya Seed Oil in the Heart and Liver of Female Wistar Rats.” **Nigerian Journal of Natural Products and Medicine**. 16(1) : 11-17.
- 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. 1999. Official methods of analysis of AOAC international. 16th ed. Washington, D.C: Association of Official Analytical Chemistry.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis of AOAC international. 16th ed. Texas: Association of Official Analytical Chemistry.
- AOCS. 1997. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists’ Society. Vol.5. AOCS Press, Champaign, Illinois.
- Areekul, V. and Mettamethar, N. 2006. “The impact of manufacturing process on polyphenol content and antioxidant capacity of herbal tea infusion.” **The 8th Agro-Industrial Conference**: 15-16 June 2005.
- Asmah R, M. 2014. “Proximate Analysis, Antioxidant and Anti Proliferative Activities of Different Parts of Carica papaya.” **Journal of Tissue Science & Engineering**. 5(1).

- 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 Oilseeds**. 2(5) : 71-76.
- 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.
- 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.
- Denisov, E. T. 2006. "Reactivity of quinones as alkyl radical acceptors." **Kinetics and catalysis**. 47(5) : 662-671.
- Denisov, E. T. and Afanas'ev, I. B. 2005. **Oxidation and antioxidants in organic chemistry and biology**. Florida : Chemical Rubber Company press.
- 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.
- 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.
- 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.
- Gressier, B., Lebegue, S., Brunet, C., Luyckx, M., Dine, T., Cazin, M. and Cazin, J. C. 1994. "Pro oxidant properties of methotrexate: evaluation and prevention by an antioxidant drug." **Die Pharmazie**. 49(9) : 679-681.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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.
- 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.
- Hou, W. C., Lee, M. H., Chen, H. J., Liang, W. L., Han, C. H., Liu, Y. W. and Lin, Y. H. 2001. "Antioxidant activities of dioscorin, the storage protein of yam (*Dioscorea batatas* Decne) tuber." **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 49(10) : 4956-4960.
- Hrcirik, 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.
- Hui, Y. H. 1996. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. Edible Oil and Fat Products Processing Technology (No. L-0332). John Wiley and Sons.
- 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.
- Janu, C., Kumar, D., Reshma, M., Jayamurthy, P., Sundaresan, A. and Nisha, P. 2013. "Comparative Study on the Total Phenolic Content and Radical Scavenging Activity of Common Edible Vegetable Oils." **Journal of Food Biochemistry**. 38(1) : 38-49.
- Karadag, A., Ozcelik, B. and Saner, S. 2009. "Review of methods to determine antioxidant capacities." **Food analytical methods**. 2(1) : 41-60.
- 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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.
- 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. **Vetgetable 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.
- 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.
- 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.
- 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.

- Nagasaka, H., Hirano, K. I., Ohtake, A., Miida, T., Takatani, T., Murayama, K., ... and Takayanagi, M. 2007. "Improvements of hypertriglyceridemia and hyperlacticemia in Japanese children with glycogen storage disease type Ia by medium-chain triglyceride milk." **European journal of pediatrics**. 166(10) : 1009-1016.
- 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.
- Nawar, W.F. 1996. "Lipids." **Food Chemistry**. 3rd ed. (Fennema, O.R.ed.). Marcel Dekker, Inc., New York.
- Pan, X., Liu, H., Jia, G. and Shu, Y. Y. 2000. "Microwave-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice root." **Biochemical Engineering Journal**. 5(3) : 173-177.
- 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.
- 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.
- Puangstri, 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 Hault, J. R. S. 1999. "Inhibition of leukocyte 5-lipoxygenase by phenolics from virgin olive oil." **Biochemical pharmacology**. 57(4) : 445-449.
- Qiu, J., Wang, Y. and Gu, M. 2007. "Microwave absorption properties of substituted BaFe₁₂O₁₉/TiO₂ 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.
- 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.
- 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.
- 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, 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.
- 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.

- 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., Nowrouziah, 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.
- Tan, C. P., Man, Y. C., Selamat, J. and Yusoff, M. S. A. 2002. "Comparative studies of oxidative stability of edible oils by differential scanning calorimetry and oxidative stability index methods." **Food Chemistry**. 76(3) : 385-389.
- 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.
- 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.
- Vidrih, R., Vidakovic, S. and Abramovic, H. 2010. "Biochemical parameters and oxidative resistance to thermal treatment of refined and unrefined vegetable edible oils." **Czech Journal of Food Sciences**. 28(5) : 376-384.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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* Rose". **Chinese Journal of Chemistry**. 25(3) : 346-350.
- Zhang, L. and Zhu, H. 2009. "Dielectric, magnetic, and microwave absorbing properties of multi-walled carbon nanotubes filled with Sm_2O_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.



ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content) (AOAC, 1999)

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในตัวอย่างเมล็ดมะละกอ

อุปกรณ์

1. ถ้วยอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Aluminium can)
2. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. ที่คีบ (Tong)
6. ช้อนตักสาร

วิธีการวิเคราะห์

1. อบถ้วยอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
2. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 5 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
4. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง
5. นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
6. อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาทีและทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
7. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

$$\text{ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

โดยที่ M1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

M2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ
ปริมาณความชื้น

$$\frac{5.0036 - 4.6413}{5.0036} \times 100 = 7.2401$$

ดังนั้นปริมาณความชื้นที่ได้มีค่าเท่ากับ 7.2401 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ก.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นของเมล็ดมะละกอ

ครั้งที่	ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก)
1	7.2401
2	7.2519
3	7.2673
เฉลี่ย	7.2531

2. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน (Total oil content) (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในตัวอย่างเมล็ดมะละกอ

อุปกรณ์

1. เครื่องสกัดซอกซ์เล็ต (Soxhlet apparatus) พร้อมทิมเบิล (thimble) บีกเกอร์ไขมัน
2. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. เครื่องชั่งละเอียดชนิด 4 ตำแหน่ง
5. ที่คีบ (Tong)
6. Boiling chip จำนวน 2 เม็ด

สารเคมี

1. เฮกเซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมกับ boiling chip ที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พร้อมกับบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างเมล็ดมะละกอบดที่อบไล่ความชื้นแล้วประมาณ 5 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ในทิมเบิล (extraction thimble) ตวงตัวทำละลายเฮกเซนจำนวน 150 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ไขมัน ต่อทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างและบีกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดตามโปรแกรมของเครื่อง
3. เมื่อครบกำหนดเวลา นำบีกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เพื่อระเหยเฮกเซนออก ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักบีกเกอร์หลังสกัด} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์ก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ตารางที่ ก.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอ

ครั้งที่	ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะละกอ (เปอร์เซ็นต์)
1	28.6552
2	27.8937
3	27.7117
เฉลี่ย	28.0869

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

เครื่องมือที่ใช้ในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสกัดไมโครเวฟ



ภาพที่ ข.1 เครื่องสกัดไมโครเวฟ (Model : ME711K/XST 800W)
(SERIAL : J6NC7WBF104281)

วิธีการใช้เครื่อง

1. ต่อกอนเดนเซอร์เข้ากับตัวไมโครเวฟ
2. ต่อสายจากกอนเดนเซอร์ ไปยังตู้ทำน้ำเย็นทั้ง 2 สาย (สายน้ำเข้าและสายน้ำออก)
3. ต่อบวคก้นกลมขนาด 1000 มิลลิลิตร เข้ากับกอนเดนเซอร์
4. ปรับกำลังไฟและเวลาตามต้องการ

หมายเหตุ ในกรณีที่ทดลองเรื่องอ่างน้ำ ให้นำขวดก้นกลมวางบนชามกระเบื้องก่อนนำไปต่อกับ
กอนเดนเซอร์



ภาคผนวก ค.

ผลการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันเมล็ดมะละกอจากการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัด



ภาพที่ ค.1 ผลการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดแบบปกติ



ภาพที่ ค.2 ผลการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



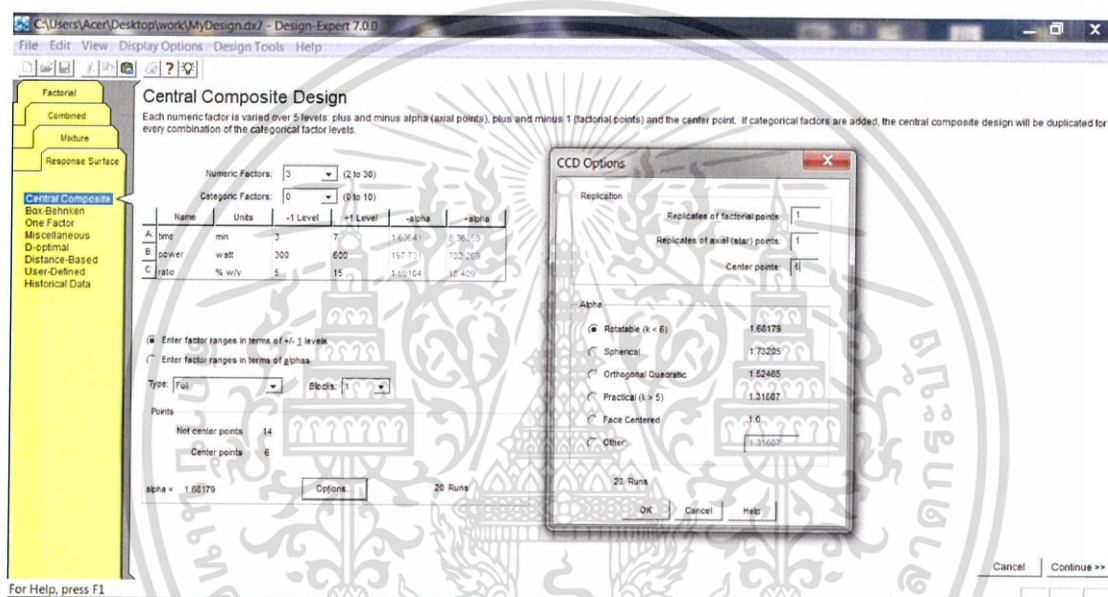
ภาคผนวก ง.

**การวิเคราะห์ด้วย Response surface methodology ร่วมกับ
Central composite design ของโปรแกรม Design-Expert**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ด้วย Response surface methodology ร่วมกับ Central composite design ของโปรแกรม Design-Expert

1. การกำหนดช่วงของค่าสูงสุด และต่ำสุดของปัจจัยที่จะทำการศึกษามารถเลือกได้ 2 แบบ คือ เลือกให้ค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในช่วง $-1/+1$ หรือเลือกค่าของปัจจัยให้ค่าต่ำที่สุดเป็น $-\alpha$ และค่าสูงสุดเป็น $+\alpha$ ก็ได้ จากตัวอย่างแผนการทดลองแบบ CCD จะเห็นว่าเป็นการกำหนดค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในช่วง $-1/+1$ จึงทำให้ ค่า $-\alpha$ และ $+\alpha$ เป็นค่าที่คำนวณต่อจาก $-1/+1$



ภาพที่ ง.1 ป้อนค่าสูงสุดและต่ำสุดของปัจจัยที่ต้องการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าของปัจจัยที่ศึกษามาให้ (ภาพที่ ง.2) ให้ทำการใส่ค่าที่วัดได้ตามค่าของปัจจัยที่ศึกษาในแต่ละการทดลอง ต้องกรอกค่าที่วัดได้ให้เรียบร้อย แล้วจึงจะสามารถวิเคราะห์ผลได้

C:\Users\Acer\Desktop\work\MyDesign.dx7 - Design-Expert 7.0.0

File Edit View Display Options Design Tools Help

Notes for MyDesign

Design (Actual)

Std	Run	Block	Factor 1 A:time min	Factor 2 B:power watt	Factor 3 C:ratio % w/v	Response 1 yield %
3	1	Block 1	7.00	600.00	15.00	
2	2	Block 1	3.00	600.00	5.00	
15	3	Block 1	5.00	450.00	10.00	
12	4	Block 1	5.00	702.27	10.00	
10	5	Block 1	8.36	450.00	10.00	
14	6	Block 1	5.00	450.00	18.41	
7	7	Block 1	3.00	600.00	15.00	
9	8	Block 1	1.64	450.00	10.00	
1	9	Block 1	3.00	300.00	5.00	
20	10	Block 1	5.00	450.00	10.00	
17	11	Block 1	5.00	450.00	10.00	
16	12	Block 1	5.00	450.00	10.00	
2	13	Block 1	7.00	300.00	5.00	
11	14	Block 1	5.00	197.73	10.00	
5	15	Block 1	3.00	300.00	15.00	
4	16	Block 1	7.00	600.00	5.00	
13	17	Block 1	5.00	450.00	1.59	
19	18	Block 1	5.00	450.00	10.00	
6	19	Block 1	7.00	300.00	15.00	
18	20	Block 1	5.00	450.00	10.00	

ภาพที่ ง.2 ระดับปัจจัยที่โปรแกรมคำนวณให้ก่อนกรอกค่าที่วัดได้

C:\Users\Acer\Desktop\work\waterbowl.dx7 - Design-Expert 7.0.0

File Edit View Display Options Design Tools Help

Notes for waterbowl

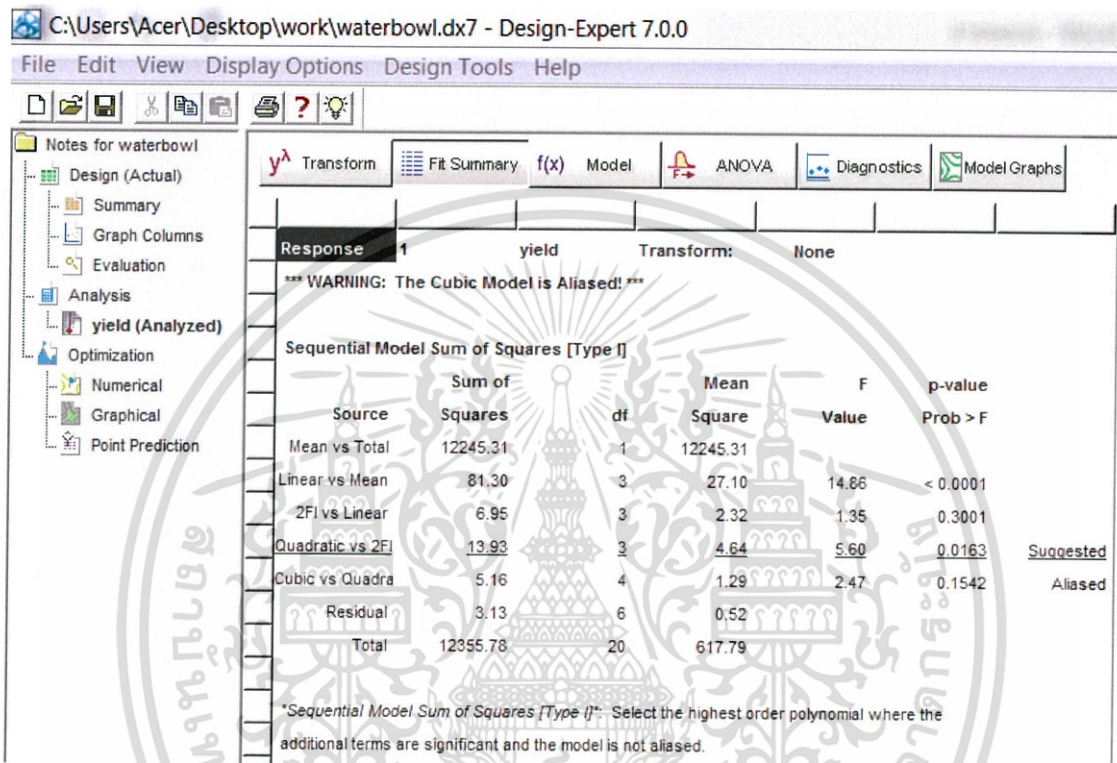
Design (Actual)

Std	Run	Block	Factor 1 A:time min	Factor 2 B:power watt	Factor 3 C:ratio	Response 1 yield %
7	1	Block 1	3.00	600.00	15.00	23.4
15	2	Block 1	5.00	450.00	10.00	23.54
3	3	Block 1	3.00	600.00	5.00	26.76
9	4	Block 1	1.64	450.00	10.00	24.22
19	5	Block 1	5.00	450.00	10.00	23.48
10	6	Block 1	8.36	450.00	10.00	23.91
18	7	Block 1	5.00	450.00	10.00	23.12
2	8	Block 1	7.00	300.00	5.00	27.14
13	9	Block 1	5.00	450.00	1.59	30.69
17	10	Block 1	5.00	450.00	10.00	23.73
1	11	Block 1	3.00	300.00	5.00	27.18
11	12	Block 1	5.00	197.73	10.00	24.82
5	13	Block 1	3.00	300.00	15.00	24.03
8	14	Block 1	7.00	600.00	15.00	21.24
20	15	Block 1	5.00	450.00	10.00	24.13
12	16	Block 1	5.00	702.27	10.00	23.2
4	17	Block 1	7.00	600.00	5.00	29.61
14	18	Block 1	5.00	450.00	18.41	21.49
16	19	Block 1	5.00	450.00	10.00	24.7
6	20	Block 1	7.00	300.00	15.00	24.49

ภาพที่ ง.3 หลังกรอกค่าตอบสนองที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการวิเคราะห์โดยคลิกที่ข้อความ yield ตรง analysis ด้านซ้ายมือของโปรแกรม เลือกที่ fit summary ด้านบนเพื่อดูว่าข้อมูลที่ทำการทดลองควรใช้การ fit model แบบไหน จากผลการทดลองพบว่า การทดลองนี้โปรแกรมแนะนำ (suggested) ให้ fit model เป็น Quadratic

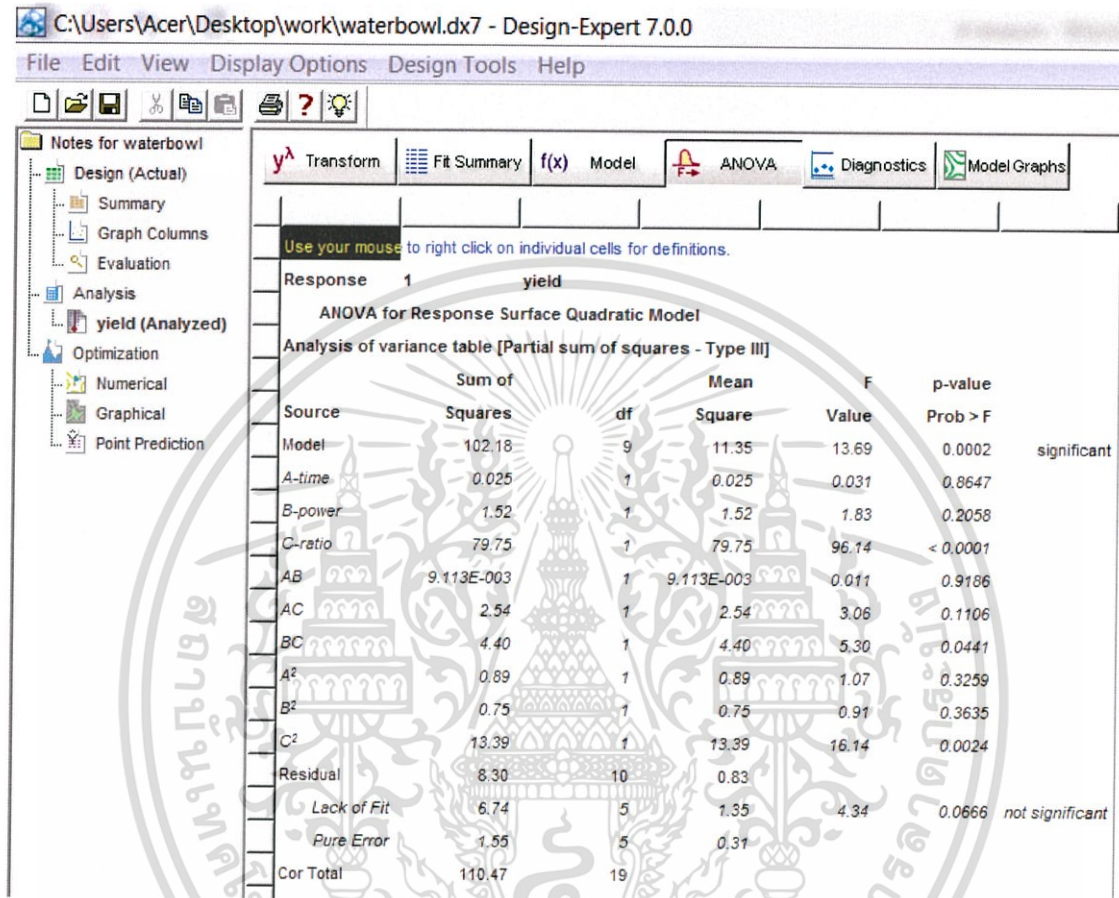


ภาพที่ ง.4 หน้าต่างแนะนำสมการที่เหมาะสมกับค่าที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คลิกเลือกที่ ANOVA เพื่อดูผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การสกัดด้วยไมโครเวฟช่วยสกัดแบบที่มีอ่างน้ำ



ภาพที่ 5 ตาราง ANOVA ที่วิเคราะห์ได้

สิ่งที่ต้องพิจารณา

Model : ต้องแสดงคำว่า significant ซึ่งหมายถึงว่า model ที่ได้มีนัยสำคัญ

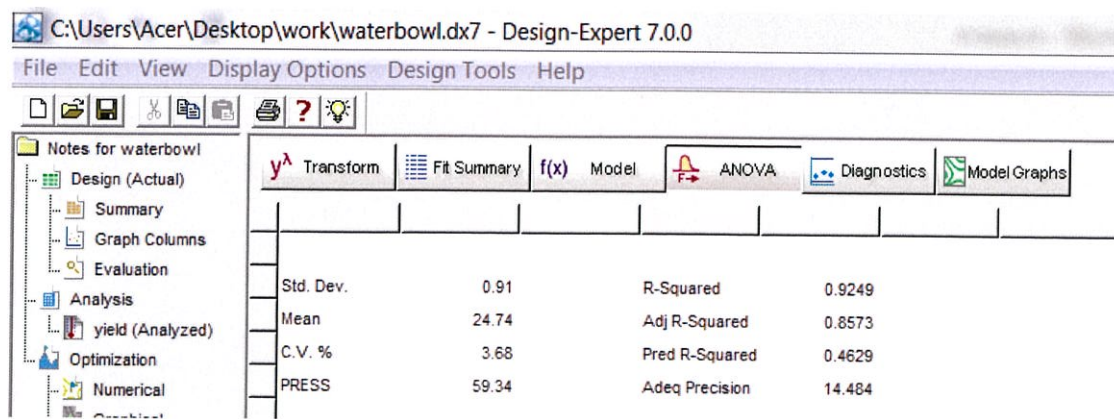
Lack of fit : ถ้า model มีความเหมาะสมแล้ว จะแสดงคำว่า not significant

ค่า R^2 ของ model : ถ้า $R^2 > 0.6$ สามารถใช้ RSM ได้ แต่ถ้า $R^2 < 0.6$ ถือว่า RSM ไม่เหมาะสมข้อมูลไม่สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ได้ ให้วิเคราะห์ ANOVA ธรรมดาแทน

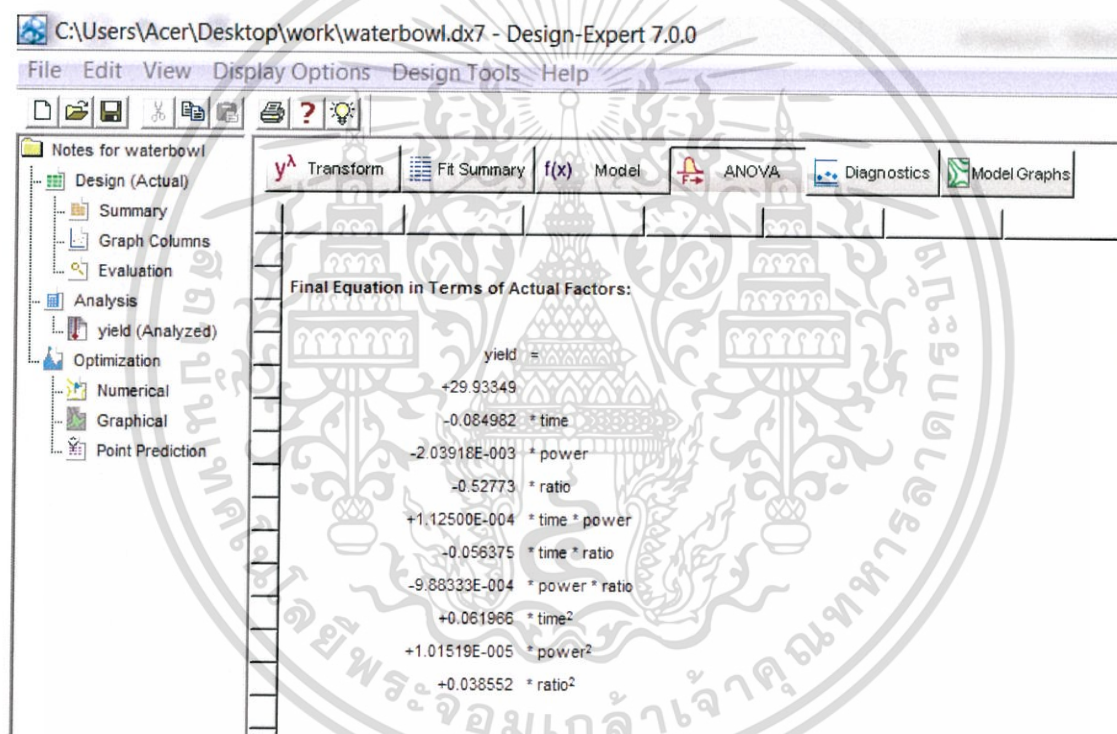
จากตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าข้อมูลจากการทดลองนี้สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ได้

และการวิเคราะห์ผลแบบ RSM มีความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง.6 ค่าทางสถิติที่คำนวณได้จากโปรแกรม



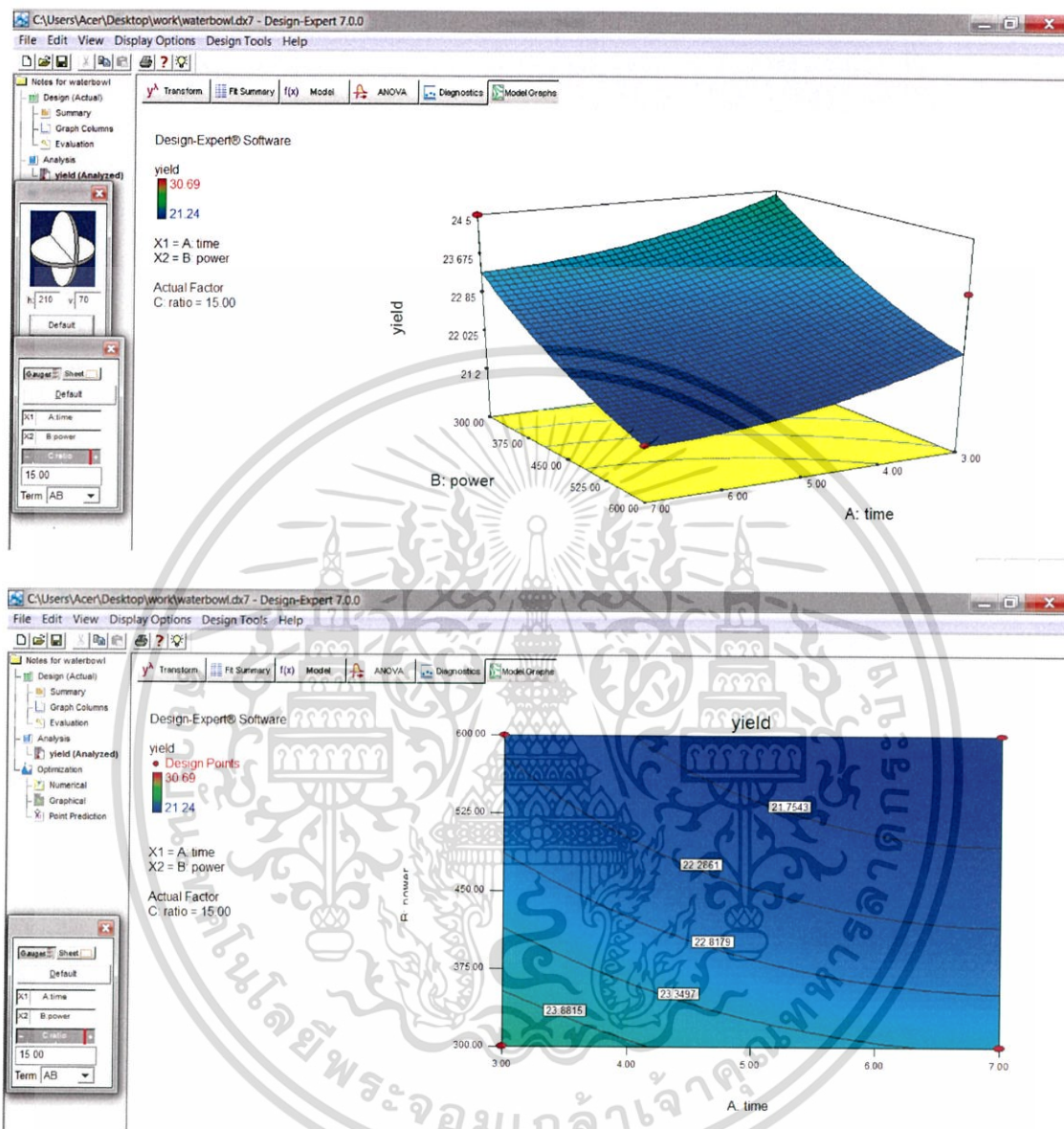
ภาพที่ ง.7 สมการที่วิเคราะห์ได้

Design expert จะให้สมการหรือ model ของการทดลองมาทั้งที่เป็น code และ ค่าจริงของการทดลอง ดังที่แสดงในภาพที่ ภาพที่ ง.7 เป็นค่าจริง โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum \beta_{ij} x_i^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อได้สมการที่เหมาะสมแล้วสามารถนำไปพลอตเป็น surface plot และ contour plot ได้ดังภาพ



ภาพ ง.8 Surface plot (บน) และ Contour plot (ล่าง)

6. หาคู่ที่เหมาะสมของการทดลอง (optimize) โดยเลือกที่ optimization แล้วเลือกที่ Numerical จากนั้นเลือก criteria เพื่อกำหนดว่าปัจจัยที่ทดลองต้องการ ให้เป็นค่าสูงสุดหรือต่ำสุด โดยกำหนดที่ goal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ.

ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (Yield, %)

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

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักขวดรูปชมพู่เปล่า} = 97.9342 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักขวดรูปชมพู่พร้อมน้ำมัน} = 101.9823 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักเมล็ดมะละกอบด} = 15.2469 \text{ กรัม}$$

จะได้ว่า

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

2. การคำนวณพลังงานไฟฟ้า (Electrical energy, kWh)

จาก

$$1200 \text{ รอบ} = 1 \text{ kWh}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ที่การสกดด้วยไมโครเวฟ เวลา 60 วินาที นับจำนวนรอบได้เท่ากับ 6

จะได้

$$6/1200 = 0.005 \text{ kWh}$$

3. การคำนวณค่าความเป็นกรด (Acid Value; AV) (AOCS, 1997)

สารเคมี

1. เอทานอล 95% : เตรียมได้จากการทำให้เอทานอล 95% เป็นกลางโดยหยดฟีนอล์ฟทา ลีน 3 หยด แล้วเติมสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์จนได้สีชมพูจาง (ควรเตรียม ก่อนใช้)
2. สารละลายฟีนอล์ฟทา ลีนความเข้มข้น 1% : เตรียมได้จากละลายฟีนอล์ฟทา ลีน 1% ใน เอทานอล 95%
3. สารละลายมาตรฐานของโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล

วิธีวิเคราะห์

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

การคำนวณ

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สารเคมี

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

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5 ± 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. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนและเติมสารละลายน้ำแป้ง 2 มิลลิลิตร และไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหาย
6. บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟต ที่ใช้ในการไทเทรต
7. ทำ blank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวข้างต้น แต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน
8. คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์ จากสูตรได้ดังนี้

การคำนวณ

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

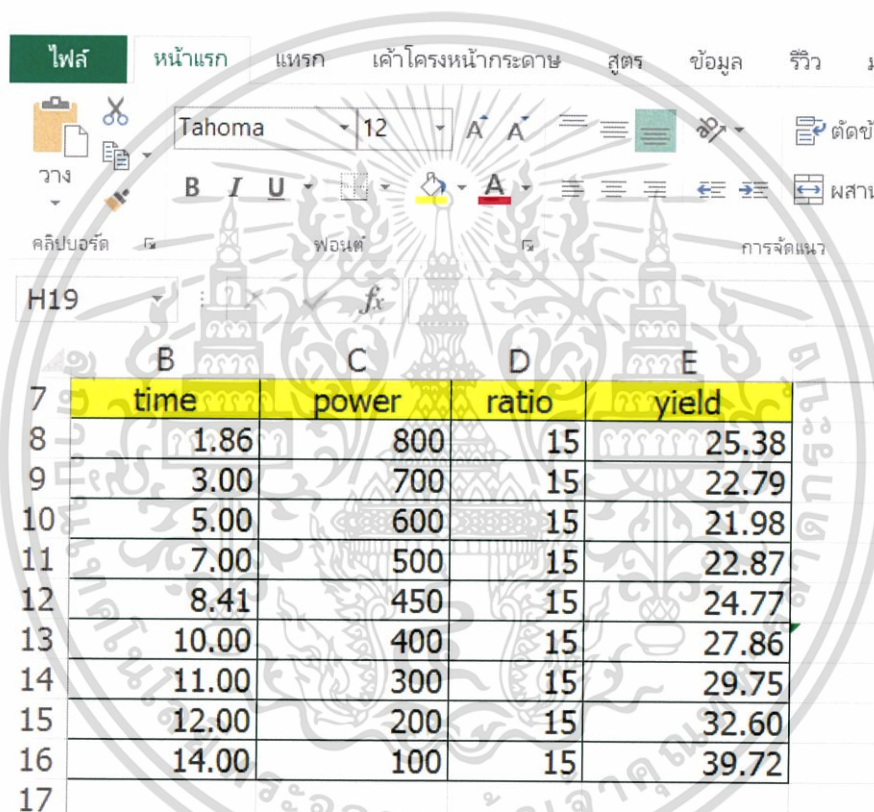
5. วิธีการคำนวณระยะเวลาในการสกัดโดยใช้วิธีการคำนวณค่าเป้าหมายด้วยโปรแกรม

Excel

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณระยะเวลาของการสกัดที่ระดับ 800 วัตต์ ให้ได้ปริมาณผลผลิตเท่ากับ 28%

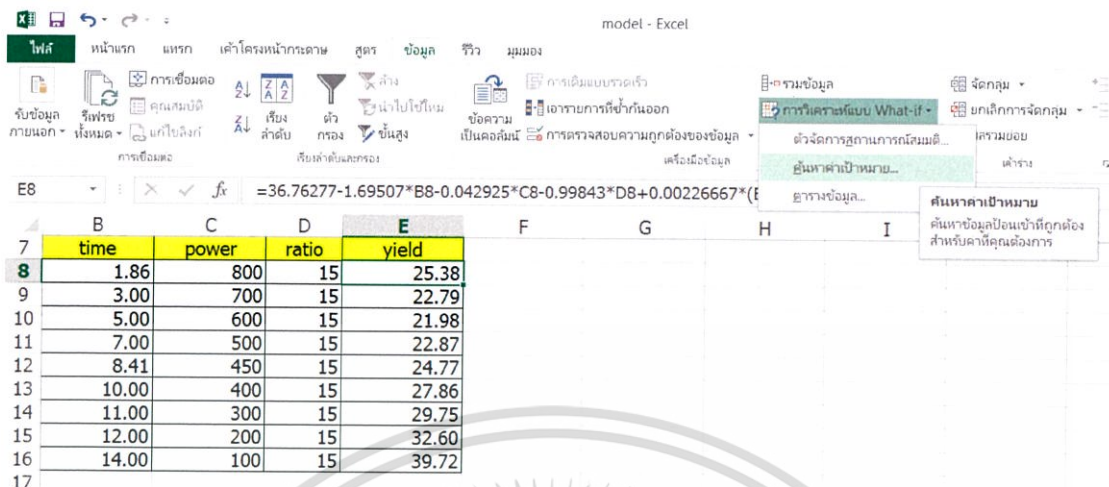
1. จากตารางข้อมูลปริมาณผลผลิตน้ำมัน ที่ระยะเวลาและระดับกำลังไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (สมการที่ 4.1) ถ้าต้องการสกัดที่ระดับ 800 วัตต์แล้วให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมันเท่ากับ 28% จะใช้ระยะเวลาในการสกัดเท่าใด



	B	C	D	E
7	time	power	ratio	yield
8	1.86	800	15	25.38
9	3.00	700	15	22.79
10	5.00	600	15	21.98
11	7.00	500	15	22.87
12	8.41	450	15	24.77
13	10.00	400	15	27.86
14	11.00	300	15	29.75
15	12.00	200	15	32.60
16	14.00	100	15	39.72
17				

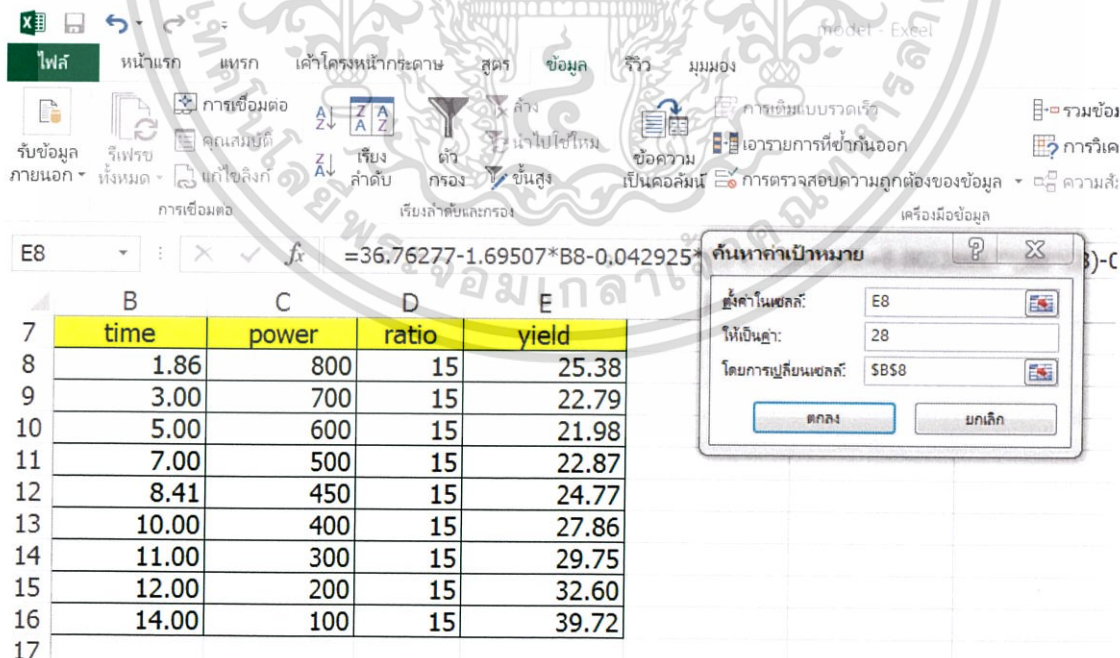
ภาพที่ จ.1 ตารางข้อมูลปริมาณผลผลิตน้ำมันเมื่อดึงมะละกอ

2. ตั้ง DATA > What-If Analysis > Goal Seek



ภาพที่ จ.2 วิธีการตั้งคำนวณหาค่าเป้าหมายใน โปรแกรม Excel

3. คลิกที่ช่อง ตั้งค่าในเซลล์ : ให้คลิกที่เซลล์ E8 โดยเซลล์นี้จะเป็นเซลล์ที่ถูกคำนวณมาจากสมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ ส่วนช่อง ให้เป็นค่า : ให้พิมพ์ตัวเลขที่ต้องการลงไป ซึ่งในที่นี้คือเราต้องการปริมาณผลผลิตน้ำมันเท่ากับ 28% แล้วให้ช่อง โดยการเปลี่ยนเซลล์ : คลิกที่ช่องเซลล์ B8 ซึ่งเป็นช่องระยะเวลาที่จะเปลี่ยนไป



ภาพที่ จ.3 ตัวอย่างการทำนายระยะเวลาของการสกัดโดยการคำนวณหาค่าเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กดปุ่ม ตกลง เพื่อยอมรับคำตอบที่ Goal Seek คำนวณให้ซึ่งระยะเวลาที่ได้มีค่าเท่ากับ 4.92 นาที

	B	C	D	E
7	time	power	ratio	yield
8	4.92	800	15	28.00
9	3.00	700	15	22.79
10	5.00	600	15	21.98
11	7.00	500	15	22.87
12	8.41	450	15	24.77
13	10.00	400	15	27.86
14	11.00	300	15	29.75
15	12.00	200	15	32.60
16	14.00	100	15	39.72

ภาพที่ จ.4 ผลลัพธ์ตัวอย่างการทำนายระยะเวลาการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวพรทิพย์ กาศสุวรรณ
วัน เดือน ปีเกิด	23 ตุลาคม 2536 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	964 ถนน จรัญสนิทวงศ์ 46 แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700 โทร.095-580-5085
ประวัติการศึกษา	2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น: โรงเรียนมัธยมวัดนายโรง 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย: โรงเรียนมัธยมวัดนายโรง สายวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ 2559 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร (เกียรตินิยมอันดับ1) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2559 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	2558 เจ้าหน้าที่แผนกจุลชีววิทยา สถาบันอาหาร (National Food Institute) จ. กรุงเทพมหานคร
รางวัลที่เคยได้รับ	2556 เกียรติบัตรมีผลการเรียนดีเด่น 2557 เกียรติบัตรมีผลการเรียนดีเด่น 2558 เกียรติบัตรมีผลการเรียนดีเด่น ได้รับเลือกเป็นตัวแทนสถาบันเข้าแข่งขันตอบปัญหาวิชาการด้าน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร FoSTAT - Nestlé Quiz Bowl 2559 เกียรติบัตรมีผลการเรียนดีเด่น ได้รับเลือกเป็นตัวแทนสถาบันเข้าแข่งขันตอบปัญหาวิชาการด้าน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร FoSTAT - Nestlé Quiz Bowl โล่รางวัลผู้มีผลการเรียนดีเด่น 4 ปีติดต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้