

การศึกษาระบบไมโครเวฟในการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง

A STUDY OF CONTINUOUS MICROWAVE HEATING SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF CONTINUOUS MICROWAVE HEATING SYSTEM



TANAPORN SORNCHAI
TANYAPON KAEWKRAJANG
NONGNAPAS LEELAJESADAKUL
RAWINUN CHANMONGKOLTIP

THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

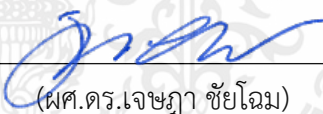
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาระบบไมโครเวฟในการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง
โดย นางสาวธนพร ศรีไชย
นางสาวธัญพร แก้วกระจ่าง
นางสาวนงนภัส ลีลาเจษฎากุล
นางสาวรวินันท์ จันทรมงคลทิพ


อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สมัคร รักแม่
ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


(ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโถม)

หัวหน้าภาควิชา


(ผศ.สมัคร รักแม่)

อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อโครงการ	การศึกษาระบบไมโครเวฟในการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง
ชื่อนักศึกษา	ธนพร ศรีไชย ธันยพร แก้วกระจ่าง นงนภัส ลีลาเจษฎากุล รวินันท์ จันทรมงคลทิพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.สมัคร รักแม่
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องด้วยไมโครเวฟขนาดเล็กเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อน การส่งถ่ายพลังงาน ให้สามารถป้อนวัตถุดิบได้อย่างต่อเนื่องและให้ความร้อนได้อย่างทั่วถึง โดยใช้ท่อส่งผ่านของเหลวด้วยปั๊มไปยังเครื่องไมโครเวฟ พร้อมทั้งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิของของเหลว โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนอัตราการไหล ระยะช่วงเกลียว และจำนวนขดของท่อซิลิโคนในแต่ละการทดลอง แล้วทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำขาออกในแต่ละเงื่อนไข และนำระบบไปทดลองสกัดเพกทินจากเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง พบว่าระยะช่วงเกลียวและจำนวนขดของท่อซิลิโคนส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนภายในขดท่อและการใช้ไมโครเวฟแบบต่อเนื่องในการสกัดสามารถช่วยลดระยะเวลาได้อย่างมาก

คำสำคัญ : การให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง, ขดท่อซิลิโคน, ส้มสายน้ำผึ้ง, เพกทิน

Project Title A STUDY OF CONTINUOUS MICROWAVE HEATING SYSTEM

Students Miss Tanaporn Sornchai
Miss Tanyapon Kaewkrajang
Miss Nongnapas Leelajesadakul
Miss Rawinun Chanmongkoltip

Project Advisor Asst. Prof. Samak Rakmae

Degree Bachelor of Engineering

Program Food Engineering

Academic Year 2022

Abstract

This research project aims to create a continuous microwave heating system on a small scale to study heat transfer and energy transmission, allowing for continuous feeding of liquid raw materials and even heating. The system uses a fluid-carrying pipe that is pumped to a microwave, with a thermocouple installed to measure the liquid temperature. The flow rate, pitch, and number of turns of the silicone tube are set for each experiment, and the outlet water temperature is compared under different conditions. The system is then used to extract pectin from Sai Nam Peung peel, and the results are analyzed and summarized. It is found that the pitch and number of turns of the silicone tube affect the heat transfer within the tube, also the use of a continuous microwave system can greatly reduce the time required for extraction.

Keywords: Continuous microwave heating system, Silicone tube, Sai Nam Peung orange, Pectin

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระบบโมโครเวฟในการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง เป็นโครงการวิจัยที่ผู้ศึกษาปริญญา นิพนธ์ได้ทุ่มเทความตั้งใจในการศึกษาทดลอง ค้นคว้าหาข้อมูล จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ คำแนะนำและความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ผศ. สมัคร รักแม่ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะแนวทางในการ แก้ไขปัญหา และคำปรึกษา ตลอดจนให้ความดูแลและเอาใจใส่เป็นอย่างดี รวมถึงช่วยตรวจทานแก้ไข จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี ผู้ศึกษาปริญญา นิพนธ์จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ อาจารย์อริษา สุนทรวัฒน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ ให้คำปรึกษาและแนวทางในการศึกษาทดลองในส่วนของการสกัดเพกทินตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่คอยช่วยเหลือให้การศึกษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้ศึกษาปริญญา นิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ที่มอบชีวิต การศึกษา อนาคตที่ดี ตลอดจนให้คำปรึกษา สนับสนุนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และให้กำลังใจในการทำปริญญา นิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

ธนพร ศรีไชย

ธัญพร แก้วกระจ่าง

นงนภัส ลีลาเจษฎากุล

รวินันท์ จันทรมงคลทิพ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร.....	5
2.1 หลักการทำงานของไมโครเวฟ.....	5
2.2 หลักการสร้างคลื่นไมโครเวฟ.....	5
2.3 ส่วนประกอบของไมโครเวฟ.....	5
2.5 ลักษณะทั่วไปของสัสมายน้ำผึ้ง.....	8
2.6 เพกทิน.....	9
2.7 การสกัด.....	10
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	13

3.1	วัตถุประสงค์.....	13
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์.....	13
3.3	วิธีการทดลอง.....	13
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	19
4.1	ประสิทธิภาพของไมโครเวฟ.....	19
4.2	ผลของความสูงต่อการได้รับความร้อน.....	19
4.3	ผลของตำแหน่งของน้ำ 5 ตำแหน่งต่อการได้รับความร้อน.....	20
4.4	ผลของอัตราการไหลต่ออุณหภูมิขาออกของน้ำ.....	21
4.5	ผลของการให้ความร้อนผ่านขดท่อซิลิโคน.....	24
4.6	ผลของระยะช่วงเกลียวต่ออุณหภูมิขาออกของน้ำ.....	25
4.7	ผลของจำนวนขดท่อซิลิโคนต่ออุณหภูมิขาออกของน้ำ.....	27
4.8	เปรียบเทียบข้อมูลและวิเคราะห์ผงเพกทินจากเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง.....	30
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง.....	38
	เอกสารอ้างอิง.....	39
	ภาคผนวก ก วิธีการดำเนินงาน.....	43
	ภาคผนวก ข.....	51

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน.....	4
ตารางที่ 4.1 แสดงพื้นที่การหลอมละลายของชีสในแต่ละระดับความสูง.....	19
ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ได้รับความร้อนในแต่ละตำแหน่ง.....	21
ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิขาออกของน้ำเปรียบเทียบกับระหว่างระยะช่วงเกลียว 0.8 และ 3.3 เซนติเมตร ในแต่ละอัตราการไหล.....	25
ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิขาออกของน้ำเปรียบเทียบกับจำนวนชุดท่อซิลิโคนในแต่ละอัตราการไหล.....	27
ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเพกตินที่ได้จากวิธีให้ความร้อนแบบเตา ให้ความร้อน และไม่โครเวฟแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส.....	31
ตารางที่ 4.6 ค่าสีของเพกตินที่ได้จากวิธีให้ความร้อนแบบเตา ให้ความร้อนและไม่โครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง	31
ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเพกตินที่ได้จากวิธีให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อ เนื่อง.....	33
ตารางที่ 4.8 ค่าสีของเพกตินที่ได้จากวิธีให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง.....	33
ตารางที่ 4.9 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเพกตินที่ได้จากวิธีให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ.....	35
ตารางที่ 4.10 ค่าสีของเพกตินที่ได้จากวิธีให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ.....	36
ตาราง 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Degree of esterification (%DE) กับปริมาณเมทอกซิลใน เพกติน.....	52

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สัมสายน้ำผึ้ง.....	8
รูปที่ 2.2 โครงสร้างเพกทิน.....	9
รูปที่ 2.3 กลไกการสกัดด้วยวิธีแบบเตาให้ความร้อน และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ.....	11
รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งการวางปีกเกอร์ 5 ตำแหน่ง (มุมมองด้านบน).....	15
รูปที่ 3.2 ระบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟขนาดเล็กแบบต่อเนื่อง	15
รูปที่ 4.1 แสดงพื้นที่การหลอมละลายของซีส วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ.....	20
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกของน้ำในแต่ละอัตราการไหล	22
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความร้อนที่น้ำได้รับในแต่ละอัตราการไหล.....	23
รูปที่ 4.4 แสดงภาพการให้ความร้อนภายในเครื่องไมโครเวฟ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SmartView Classic โดยให้ความร้อนที่มีอัตราการไหลต่างกัน	24
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกของน้ำเปรียบเทียบระหว่างระยะช่วงเกลียว 0.8 และ 3.3 เซนติเมตร	26
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกของน้ำที่ได้รับ เมื่อมีจำนวนชุดท่อซิลิโคน 1,3,5 และ 15 ชุด ในแต่ละอัตราการไหล	28
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_{absorb}) เมื่อมีจำนวนชุดท่อซิลิโคน 1,3,5 และ 15 ชุด ในแต่ละอัตราการไหล	29
รูปที่ 4.8 สีของผงเพกทินที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยวิธีต่างๆ	32
รูปที่ 4.9 แสดงค่า (ก) อุณหภูมิขาออกที่ได้จากการสกัดเพกทิน (ข) พลังงานความร้อนที่สารละลาย เพกทินได้รับในการสกัด.....	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การนำไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ความร้อนเป็นที่นิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้ในการแปรรูปอาหารหลากหลายแบบ เช่น การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง (Thawing) การทำแห้ง (Dehydration) การฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ (Sterilization) และการพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) เป็นต้น (Metaxas and Meredith, 1983) เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีข้อดีคือ ความร้อนที่ได้นั้นเกิดจากการใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสั่นสะเทือนโมเลกุลของน้ำให้เคลื่อนที่กลับไปกลับมาและเสียดสีกันจนเกิดความร้อนขึ้นจากด้านในอาหารโดยตรง ไม่จำเป็นต้องพึ่งการนำความร้อนและพาความร้อนเหมือนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (Traditional heating) ส่งผลให้การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีความรวดเร็ว ประหยัดพลังงานและใช้กับอาหารที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ (Shaheen et.al., 2012)

โดยปกติแล้วไมโครเวฟทั่วไปที่ถูกใช้ในชีวิตประจำวันจะเป็นไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) สามารถให้ความร้อนกับวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปได้เพียงครั้งละชุด ซึ่งมีข้อเสียหนึ่งที่สำคัญคืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแต่ละจุดของอาหารไม่สม่ำเสมอจนเกิดจุดร้อนและจุดเย็น หลายงานวิจัยจึงเลือกใช้ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง (Continuous) ในการทดลอง ตัวอย่างเช่น ระบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบไหลต่อเนื่องเพื่อทำให้พุเร่มันเทศ (Sweet potato puree) ปลอดภัยของ Coronel et.al. (2005) และระบบการสกัดสารไอโซฟลาโวน (Isoflavone) จากถั่วเหลืองแบบต่อเนื่องโดยใช้ไมโครเวฟของ Sabliov et.al. (2010) เป็นต้น เพราะระบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่องสามารถป้อนวัตถุดิบได้มากกว่าและช่วยลดการกระจายความร้อนไม่ทั่วถึงโดยอาศัยการไหลของวัตถุดิบภายในท่อ (Zhang et.al., 2020) โดยอุณหภูมิของวัตถุดิบจะสูงที่สุดบริเวณจุดกึ่งกลางของท่อ (Coronel et.al., 2003)

ปัจจุบันการใช้ท่อแบบขด (Helical tubes) ในระบบการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องเป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนให้วัตถุดิบในท่อได้ดีกว่าท่อแบบตรง และทำให้การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอขึ้นได้ (Tuta and Palazoglu, 2017; Zhang et.al., 2020) นอกจากนี้ในการทดลองของ Zhang et.al. (2020) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่องสำหรับของเหลวในท่อแบบขด โดยใช้ น้ำกลั่น เป็นของเหลวในการทดสอบ พบว่า

เมื่อเปลี่ยนระยะช่วงเกลียวในการขดของท่อและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ จะส่งผลต่อการเพิ่มหรือลดของอุณหภูมิของของเหลว และในการทดลองของ Hosahalli S. Ramaswamy and Manguang Lin (2011) ที่ทำการดัดแปลงเตาอบไมโครเวฟในประเทศ (1,000 วัตต์) โดยให้ของเหลวไหลอย่างต่อเนื่องผ่านขดที่อยู่ตรงกลางภายในช่องเตาอบ และประเมินลักษณะการให้ความร้อนโดยการวัดอุณหภูมิขาเข้าและขาออก พบว่าจำนวนรอบที่สูงขึ้นส่งผลให้อัตราการให้ความร้อนลดลง ความผันผวนของอุณหภูมิลดลง อุณหภูมิทางออกสูงขึ้น และใช้เวลานานขึ้นเพื่อให้ได้อุณหภูมิสมดุล

การใช้ไมโครเวฟช่วยในการสกัดจะทำให้โมเลกุลน้ำในเซลล์พืชเกิดการสั่นสะเทือน โดยคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายในสารที่จะสกัดจะเกิดแรงต้านการเคลื่อนที่หรือเสียดสีกัน ทำให้เกิดความร้อนซึ่งมีผลต่อเซลล์พืช (อารีรัตน์, 2560) เซลล์พืชจะแตกออกจากการได้รับความร้อนที่ยาวและปล่อยสารสำคัญที่อยู่ภายในออกมา (อัจฉรา และคณะ, 2563) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาสั้น และทำให้เพกทินเสียสภาพจากการได้รับความร้อนน้อยกว่าวิธีการสกัดแบบให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (Bagherian et.al., 2011) อย่างไรก็ตามวิธีการสกัดแบบไมโครเวฟร่วมส่วนมากมักจะเป็นการใช้ไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) สามารถให้ความร้อนกับวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปได้เพียงครั้งละชุด ซึ่งมีข้อเสียหนึ่งที่สำคัญคืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแต่ละจุดของอาหารไม่สม่ำเสมอจนเกิดจุดร้อนและจุดเย็น บางงานวิจัยจึงเลือกประยุกต์ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง (Continuous) มาใช้ในการสกัดเพกทิน ตัวอย่างเช่น ระบบการสกัดเพกทินส่วนที่เป็น Hairy region จากเยื่อของมันฝรั่งด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่องของ (Arrutia et.al., 2020) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยบางส่วนที่ใช้ท่อแบบขดในการทดลอง (Helical tubes) และพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนให้วัตถุดิบในท่อได้ดีกว่าท่อแบบตรง ทำให้การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอขึ้นได้ (Tuta and Palazoglu, 2017; Zhang et.al., 2020)

โครงการวิจัยนี้จึงทำขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อออกแบบระบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟขนาดเล็กแบบต่อเนื่อง ซึ่งใช้ท่อซิลิโคนแบบขดในการทดลอง และทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเพื่อให้นำไปประยุกต์ใช้สำหรับการสกัดเพกทินจากเปลือกส้มสายน้ำผึ้งได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟขนาดเล็กแบบต่อเนื่อง
- 1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อนสำหรับการ สกัดด้วยระบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง
- 1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพและปริมาณสารสกัด เพกทินจากเปลือกส้มที่ได้จากการให้ความร้อนแบบเตาให้ความร้อน (Hot plate) การให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) และการให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง (Continuous Microwave)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาหลักการให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟ โดยศึกษาตำแหน่งที่มีผลต่อ การให้ความร้อนภายในเครื่องไมโครเวฟ ผลของอุณหภูมิขากออกที่มีผลจากการป้อนน้ำผ่านชุดท่อซิลิโคนด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน เพื่อประยุกต์ใช้ในระบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่องสำหรับการสกัดสารสกัดเพกทินจากเปลือกส้มสายน้ำผึ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำส้มที่เป็นของเหลือทิ้ง โดยที่ขอบเขตของงานวิจัยจะศึกษาความเป็นไปได้ในการศึกษาระบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง มีดังต่อไปนี้

- 1.3.1 ศึกษาตำแหน่งที่มีผลต่อ การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์
- 1.3.2 เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำที่มีผลต่ออุณหภูมิของน้ำหลังได้รับความร้อน
- 1.3.3 เปรียบเทียบคุณภาพและปริมาณสารสกัดเพกทินที่ได้จากการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน คือ การให้ความร้อนแบบเตาให้ความร้อน (Hot plate) ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) และให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง (Continuous Microwave heating) โดยกำหนดให้ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิเดียวกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้เครื่องจำลองระบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง
- 1.4.2 เข้าใจกระบวนการและหลักการถ่ายเทความร้อนภายในระบบเครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง
- 1.4.3 ได้แนวทางในการประยุกต์ใช้เครื่องจำลองระบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

แบบต่อเนื่องในการสกัดสารสกัดเพกทินจากเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง

1.4.4 ลดปริมาณของเสียและเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำส้มคั้น

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ระยะเวลาในการดำเนินงาน													
	ปี 2565						ปี 2566							
	2	3	4	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
1.สืบค้นข้อมูลและเลือกหัวข้อที่สนใจ														
2.ศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพร้อมสรุปรายละเอียดโครงการ														
3.จัดเตรียมอุปกรณ์ ออกแบบระบบและแบบจำลอง จากนั้นติดตั้งอุปกรณ์														
4.ทดลองระบบ ไมโครเวฟที่ออกแบบเปรียบเทียบผลที่ได้จากการปรับระยะเวลา เกลียว โดยมีอัตราการไหลของน้ำคั้นที่ พร้อมทั้งศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมหากเกิดข้อผิดพลาด														
5.ปรับปรุงระบบภายในไมโครเวฟให้เหมาะกับการสกัด														
6.ทดลองสกัดเพกทินจากเปลือกส้มด้วยการให้ความร้อนแบบธรรมดาและการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้														
7.สรุปผลและศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม จากนั้นทำรายงานผลเพื่อนำเสนอ														

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

2.1 หลักการทำงานของไมโครเวฟ

อาหารที่อยู่ในไมโครเวฟถูกทำให้ร้อนขึ้นได้จากสภาพขั้วไฟฟ้าของโมเลกุลน้ำซึ่งมีขั้วเป็นแบบขั้วคู่ (Dipole) โดยโมเลกุลของน้ำจะเกิดการสั่นกลับไปกลับมาเพื่อจัดเรียงขั้วให้ตรงตามประจุของสนามไฟฟ้า ในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ ความเร็วในการสั่นของน้ำจะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดความร้อนน้อย ในขณะที่ความถี่มากเกินไปจะทำให้โมเลกุลของน้ำไม่เกิดการสั่น เพราะช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าสั้นมากจนโมเลกุลไม่สามารถเคลื่อนที่ตามได้ (Meda et.al., 2005)

2.2 หลักการสร้างคลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟถูกสร้างขึ้นในแมกนีตรอน ซึ่งภายในถูกปิดหุ้มด้วยแผ่นทองแดงเพื่อให้เป็นสุญญากาศ ประกอบด้วยแผ่นทองแดง (Vaness) ทำหน้าที่เป็นแอโนด (Anode) เรียงตัวเป็นวงกลม โดยมีช่องว่างตรงกลางไว้สำหรับวางไส้ (Filament) มีลักษณะเป็นเกลียวทำหน้าที่เป็นแคโทด (Cathode) เมื่อไส้ถูกทำให้ร้อน อิเล็กตรอนบริเวณผิวหน้าของแผ่นทองแดงจะถูกกระตุ้นทำให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นทองแดงและไส้ที่มีความต่างศักย์ 4,000 โวลต์ ซึ่งทำให้เกิดความร้อนอุณหภูมิสูงส่งผลให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวหน้าของแผ่นทองแดงและถูกกระตุ้นให้เคลื่อนที่ระหว่างขั้วแอโนดกับแคโทดเป็นลักษณะคล้ายกังหันตามทิศทางของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำบริเวณแอโนดด้วยประจุของอิเล็กตรอนและเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง (Regier and Schubert, 2005)

2.3 ส่วนประกอบของไมโครเวฟ

2.3.1 แมกนีตรอน (Magnetrons)

มีหน้าที่สร้างคลื่นไมโครเวฟจากการแปลงคลื่นวิทยุให้กลายเป็นคลื่นไมโครเวฟ โดยความถี่ที่ได้เป็นความถี่สูงแล้วส่งไปยังอาหารเพื่อทำการอบ ภายนอกเป็นโลหะมีแผ่นปีกด้านข้างใช้ในการระบายความร้อน

2.3.2 โบลเวอร์มอเตอร์ (Blower motor)

มีหน้าที่ระบายความร้อนให้กับหลอดให้ความร้อนในแมกนีตรอน

2.3.3 ใบพัด (Stirrer)

ทำหน้าที่พาความร้อนจากแมกนีตรอน โดยมีมอเตอร์ใบพัด (Stirrer motor) พัดสะท้อนคลื่นไปยังอาหาร ส่งผลให้อาหารสุก

2.3.4 หม้อแปลงแรงดัน (Power transformer)

ทำหน้าที่แปลงแรงดันให้ตรงตามความต้องการ

2.3.5 ระบบควบคุม (Control system)

ทำหน้าที่ควบคุมระบบการทำงานของเครื่องไมโครเวฟ ประกอบด้วย

2.3.5.1 แลทสวิทช์ (Lath switch) ทำหน้าที่ควบคุมไม่ให้เครื่องทำงานและตัดวงจรไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟทันที เมื่อประตูของเครื่องเปิดหรือปิดไม่สนิท

2.3.5.2 ตัวจับเวลา (Timer) ทำหน้าที่กำหนดเวลาการทำงานของเครื่อง ซึ่งภายในตัวจับเวลาจะประกอบด้วยมอเตอร์และคอนแทค (Contact) โดยมอเตอร์จะหมุนให้คอนแทคตัดหรือต่อกระแสไฟฟ้า และจะตัดการทำงานเมื่ออุปกรณ์ภายในเครื่องหยุดทำงาน

2.3.5.3 สวิตช์อบอาหาร (Cook switch) ทำหน้าที่ต่อกระแสไฟฟ้าเข้าเครื่องเมื่อมีการกดเริ่มทำงาน

2.3.5.4 รีเลย์อบอาหาร (Cook relay) ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยการทำงานของคอนแทคและคอยล์ภายในเครื่อง โดยใช้อำนาจการเป็นสนามแม่เหล็กควบคุมการทำงาน

2.3.5.5 อุปกรณ์ป้องกันความร้อนเกิน (Thermo cut out) ทำหน้าที่ตัดการทำงานของเครื่อง เมื่อแมกนีตรอนมีความร้อนสูงผิดปกติ เนื่องจากมอเตอร์ระบายความร้อนเสียหรือทางผ่านของอากาศระบายความร้อนสกปรก

2.3.5.6 เซฟตี้สวิทช์ (Safety switch) ทำหน้าที่ตัดกระแสไฟฟ้าไม่ให้เข้าสู่โบลเวอร์มอเตอร์ สเตอโรมอเตอร์และชุดแมกนีตรอน เพื่อป้องกันอันตรายจากการเปิดประตูเครื่องต่อผู้ใช้งาน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและสำนักงานเลขานุการโครงการฉลากสีเขียว, 2554)

2.3.6 ไดโอด (Diode)

ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้เกิดคลื่นไมโครเวฟ (Pozar, 2012)

2.3.7 ท่อนำคลื่น (Wave guide)

ทำหน้าที่เป็นสายนำสัญญาณคลื่นไมโครเวฟจากแมกนีตรอนเข้าสู่ห้องอบ โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นท่อกลม หรือท่อเหลี่ยม (วีรชัย และคณะ, 2555 ; Pozar, 2012)

2.3.8 ห้องอบ (Cavity)

ใช้สำหรับใส่อาหารและช่วยสะท้อนคลื่นไปยังอาหาร (วีรชัย และคณะ, 2555)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนของไมโครเวฟ

2.4.1 ขนาดและรูปร่างของอาหาร

ขนาดและรูปร่างทางกายภาพของอาหารจะส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิ เนื่องจากความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะลดลงตามความหนาที่ต้องทะลุผ่านเข้าไป (Ibrahim et.al., 2012)

2.4.2 ค่าความถี่

ความถี่จะมีผลต่อระดับความลึกที่คลื่นสามารถเจาะเข้าไปได้ในเนื้ออาหาร โดยปกติค่าความถี่ต่ำ (915 เมกะเฮิรตซ์) จะสามารถให้ความร้อนได้ดีกว่า

2.4.3 ความชื้นในอาหาร

เมื่ออาหารมีปริมาณความชื้นที่สูงจะยิ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.4.4 ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า

ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะช่วยเร่งการให้ความร้อนกับอาหารได้มากยิ่งขึ้น

2.4.5 ค่าการนำไฟฟ้า

การให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟเกิดจากการหมุนเนื่องจากความเป็นขั้วคู่ของโมเลกุลน้ำในอาหาร ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าของอาหารนั้นๆ (จักรกฤษณ์, 2554)

2.4.6 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกบ่งบอกถึงความมีขั้วและความสามารถในการกักเก็บประจุไฟฟ้าของวัสดุ ซึ่งน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว ทำให้มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง เมื่ออาหารที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบถูกส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โมเลกุลของน้ำจะเกิดการหมุนตามทิศทางของสนามไฟฟ้าในคลื่นไมโครเวฟและเกิดการเสียดสี จนเกิดความร้อนภายในวัสดุ (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2556)

2.5 ลักษณะทั่วไปของส้มสายน้ำผึ้ง



รูปที่ 2.1 ส้มสายน้ำผึ้ง

ที่มา : doaplant.doa.go.th

2.5.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Citrus reticulata*

ชื่อวงศ์ : Rutaceae

ชื่อไทย : ส้มสายน้ำผึ้ง

ส้มสายน้ำผึ้ง เป็นพืชตระกูลส้มที่เป็นสายพันธุ์เดียวกับส้มโชกุน เป็นพืชไม้ยืนต้นขนาดกลาง ลำต้นมีทรงพุ่มสูงและแน่นหนา กิ่งและใบตั้งขึ้น (Erect form) ใบมีสีเขียวเข้มและมีขนาดเล็ก มีทรงไข่ยาวรี ดอกมีสีขาว มีกลิ่นหอม ผลมีลักษณะกลมแป้น เปลือกบางผิวเรียบลื่น ล่อน ปอกง่าย ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อผลสุกจะมีสีส้มเหลือง มีเนื้อแน่น และนิ่ม มีกลิ่นหอม ปริมาณน้ำของผลมาก และมีความหวานอมเปรี้ยวอร่อย นิยมปลูกในประเทศไทยเป็นลำดับต้นๆ

2.5.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

2.5.2.1 ลำต้น เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง ลำต้นมีทรงพุ่มสูงและแน่น มีกิ่งก้านขยาย ต้นสูงโปร่ง เป็นเนื้อไม้แข็ง เปลือกมีผิวเรียบ ลำต้นมีกิ่ง เปลือกมีสีน้ำตาล

2.5.2.2 กิ่ง มีลักษณะกลม มีหนามยาวเล็กน้อย มีสีเขียวเข้ม

2.5.2.3 ใบ เป็นใบเลี้ยงเดี่ยว มีลักษณะทรงไข่ยาวรี มีสีเขียวเข้ม พื้นผิวใบเรียบเกลี้ยงเป็นมัน มีกลิ่นหอม เนื่องจากมีต่อมน้ำมันอยู่ในใบ

2.5.2.4 ดอก ออกเป็นช่อ หรือออกดอกเดี่ยว ดอกมีกลีบสีขาว ออกตามซอกใบและปลายยอดกิ่ง

2.5.2.5 ผล มีลักษณะกลมแบน เปลือกบางผิวเรียบลื่น แกะเปลือกง่าย ผลอ่อนมีสีเขียว และมีสีส้มเหลืองเมื่อผลสุก ภายในผลมีเนื้อแน่น ชันนึ่ม รกน้อย ฉ่ำน้ำ มีรสชาติเปรี้ยวอมหวาน มีกลิ่นหอมสดชื่น

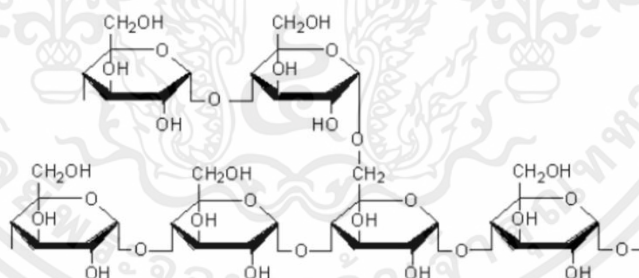
2.5.2.6 ราก เป็นระบบรากแก้ว มีลักษณะกลม แทงลึกลงไปใต้ดิน มีรากแขนงและรากฝอยขนาดเล็กแทงกระจาย บริเวณรอบลำต้น

2.5.2.7 เมล็ด มีลักษณะกลมรี เมล็ดเล็ก เปลือกเมล็ดแข็ง มีสีขาวนวล และมีเมล็ดอยู่ข้างในเนื้อส้ม(รวิ เสรรฐภักดี, 2550)

2.5.3 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบ

ส้มอุดมไปด้วยวิตามินต่างๆ มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น วิตามินซี วิตามินเอ (เบต้าแคโรทีน) วิตามินบี วิตามินดี ธาตุแคลเซียม ธาตุโพแทสเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก และคอลลาเจน รวมถึงมีใยอาหารที่มีส่วนช่วยในระบบขับถ่าย โดยผลส้มสด 100 กรัม มีปริมาณเบต้าแคโรทีน 82 ไมโครกรัมและวิตามินซี 50 ไมโครกรัม ส้ม 1 ผล ทั่วไปมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 140 กรัม ซึ่งจะมีวิตามินซี 70 ไมโครกรัมและเบต้าแคโรทีน 115 ไมโครกรัม (อัจฉรา เหล่าประเสริฐ, 2562)

2.6 เพกทิน



รูปที่ 2.3 โครงสร้างเพกทิน

ที่มา : อัจฉรา และคณะ (2563)

เพกทินเป็นพอลิเมอร์ที่พบได้ในพืช โดยจับกับเซลลูโลสเฮมิเซลลูโลส และไกลโคโปรตีนของผนังเซลล์พืช สารประกอบเพกทินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเซลล์และเป็นสารที่สำคัญในบริเวณผนังชั้นกลาง (middle lamella) ที่ยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกัน โดยเฉพาะบริเวณที่มีเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม เช่น ต้นอ่อน ใบ และผลไม้ เพกทินเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

homogalacturonan (1-4) linked ซึ่งเป็นกรดกาแลคทูโรนิกเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ อัลฟา-1,4-glycosidic linkage และกลุ่มเมทิลเอสเทอร์ 2) rhamnogalactunan (1-2) repeating linked เชื่อมกันเป็นสายยาวของน้ำตาลตามแรมโนสและกรดกาแลคทูโรนิก

เพกทิน (pectin) เป็นพอลิเมอร์ที่พืชสร้างขึ้น เป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนประกอบด้วยหน่วยสารเคมีที่มีขั้วจึงละลายได้ดีในตัวทำละลาย เช่น น้ำหรือสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด-ด่าง และไม่ละลายในสารละลายพวกน้ำมัน (ไม่มีขั้ว) นอกจากนี้คุณสมบัติสูงส่งผลให้การละลายตัวของเพกทินได้ดีขึ้น เพกทินเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบมากในผักและผลไม้ โดยจะเกาะกับผนังเซลล์ (ชั้นกลาง) และสะสมเพิ่มขึ้นตามอายุของพืช ทำหน้าที่เชื่อมเข้าด้วยกันและควบคุมการซึมผ่านของน้ำ มีคุณสมบัติสามารถทำให้เจลคงรูปได้ สารประกอบเพกทินจัดเป็นกรดเพกทินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ใช้เป็นสารผสมอาหารเพื่อสร้างให้เกิดเนื้อสัมผัสตามต้องการ เมื่อละลายน้ำจะพองตัวเป็นเจล ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) สารข้น (thickener) และสารที่ทำให้เกิดการเสถียร (stabilizer) ของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และยา เพื่อให้ผลิตสะดวกขึ้นและช่วยปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น เช่น อุตสาหกรรมทำแยม เยลลี่ นม โยเกิร์ต เป็นต้น นอกจากนี้ยังนำมาใช้เป็นเส้นใยในรูปของอาหารเสริมสุขภาพ เช่น ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลและระดับน้ำตาลในเลือด ใช้เป็นเส้นใยอาหาร ป้องกันโรกระบบทางเดินอาหาร และใช้ในด้านเภสัชกรรมช่วยเพิ่มการทำงานของยา เป็นต้น

2.7 การสกัด

2.7.1 การให้ความร้อนด้วยเตาให้ความร้อน (Hot plate)

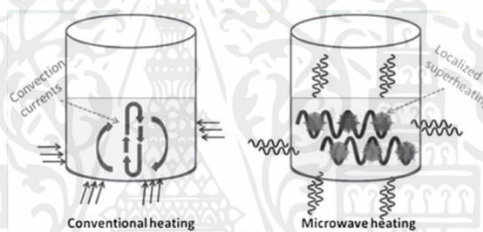
การสกัดด้วยการให้ความร้อนด้วยเตาให้ความร้อน (Hot plate) เป็นการสกัดแบบดั้งเดิม โดยมักให้ความร้อนผ่านการต้มด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เช่น อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) แต่การให้ความร้อนด้วยเตาให้ความร้อนจะใช้เวลานานจึงอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเพกทินบางส่วนเนื่องจากความร้อนทำให้ปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติทางชีวเคมีลดลงได้ (Guo et al., 2012)

2.7.2 การสกัดแบบไมโครเวฟร่วม (Microwave Extraction)

การสกัดแบบไมโครเวฟร่วมเป็นวิธีการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นคลื่นที่เปลี่ยนไปเป็นความร้อนโดยการทำให้อนุภาคหรือโมเลกุลมีขั้วเสียดสีกัน จนเกิดความร้อนขึ้น โดยนำสารละลายที่ต้องการสกัดวางอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุล

ภายในสารที่จะสกัดจะเกิดแรงต้านจนเกิดการเคลื่อนที่หรือเสียดสี ทำให้เกิดความร้อนขึ้นซึ่งมีผลต่อเนื้อเยื่อเซลล์ของสารสกัดและมีผลต่อการละลายของสารที่ต้องการ

กระบวนการทำความร้อน ของคลื่นไมโครเวฟเกิดจากกระบวนการถ่ายเทพลังงานจาก 2 กลไก ได้แก่ dipole rotation และ ionic conduction ผ่านการเปลี่ยนแปลง dipole และแทนที่ไอออนที่มีประจุในสารและตัวทำละลาย ซึ่งทั้งสองกระบวนการเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน โดยคลื่นไมโครเวฟที่ถูกส่งด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปลี่ยน electric component ด้วยความเร็วสูง ทำให้เกิดความร้อนขึ้นจากแรงเสียดทาน ถ่ายเทพลังงานความร้อนจะถ่ายเทไปยังอนุภาคของสารด้วยการพาความร้อน (convection) การนำความร้อน (conduction) และการแผ่รังสี (radiation) รวมถึงอนุภาคของสารจะดูดซับพลังงานไมโครเวฟและกระจายความร้อนไปยังโมเลกุล ค่าที่ได้จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเกิดความร้อนของไมโครเวฟ



รูปที่ 2.5 กลไกการสกัดด้วยวิธีแบบเตาให้ความร้อน และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ที่มา : อัจฉรา และคณะ (2563)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sabliov et.al. (2010) ทำการศึกษา ออกแบบ ทดสอบและวัดประสิทธิภาพของสารสกัดจากแป้งถั่วเหลืองที่ได้จากระบบการสกัดด้วยเครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 53 และ 73 องศาเซลเซียส จับเวลาในการให้ความร้อนทุกๆ 4 นาที (0-16 นาที) พบว่าปริมาณสารสกัดที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าการสกัดด้วยไมโครเวฟแบบธรรมดาเป็นสองเท่า

Zhang et. al. (2020) ได้ทำการทดลองเพื่อพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟสำหรับการไหลในท่อซิลิโคนแบบต่อเนื่อง โดยเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางขดท่อ ระยะช่วงเกลียวของท่อซิลิโคนแต่ละรอบ รวมถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อและใช้น้ำกลั่นเป็นของเหลวสำหรับทดสอบ พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่กำหนด กำลังของสนามแม่เหล็ก

ไฟฟ้าและการไหลแบบทุติยภูมิจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการให้ความร้อน โดยอุณหภูมิขาออกของน้ำกลั่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเพิ่มขึ้น

Lopez, A.M.L. et.al. (2021) ทำการออกแบบและดัดแปลงเครื่องไมโครเวฟแบบทั่วไปให้กลายเป็นไมโครเวฟแบบต่อเนื่องโดยการติดตั้งท่อแก้วซึ่งมีลักษณะเป็นขด ทำการป้อนวัตถุดิบ 4 รูปแบบและวัดอุณหภูมิหลังได้รับความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟ ผลที่ได้คือ น้ำกลั่นมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส น้ำที่มีเกลือละลายมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส น้ำที่มีน้ำตาลละลายมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และน้ำที่มีน้ำตาลกับเกลือละลายมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

Ramaswamy and Lin (2011) ได้ทำการดัดแปลงเตาอบไมโครเวฟในประเทศ (1,000 วัตต์) โดยให้ของเหลวไหลอย่างต่อเนื่องผ่านท่อขดที่อยู่ตรงกลางภายในช่องเตาอบ และประเมินลักษณะการให้ความร้อนโดยการวัดอุณหภูมิขาเข้าและขาออก เพื่อศึกษาอิทธิพลของจำนวนรอบ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ระยะช่วงเกลียว และอุณหภูมิเริ่มต้นในอัตราการไหลที่แตกต่างกัน

อัจฉรา และคณะ (2563) ทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสกัดเพกทินจากเปลือกส้มเขียวหวานด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วม ได้แก่ กำลังไมโครเวฟ เวลาที่ใช้ในการสกัด อัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย และ pH พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า เพิ่มอัตราส่วนผงต่อตัวทำละลาย เพิ่มเวลาในการสกัด และลด pH ของสารละลายลง จะส่งผลให้ปริมาณเพกทินเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปัจจัยที่เกี่ยวข้องจนถึงจุดที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณเพกทินสูงสุดแล้ว ถึงแม้จะเพิ่มปัจจัยนั้นขึ้นอีกก็จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณเพกทินและอาจส่งผลให้ปริมาณเพกทินลดลงได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 วัตถุดิบ

- 3.1.1 เปลือกส้มสายน้ำผึ้ง
- 3.1.2 น้ำกลั่น
- 3.1.3 สารเคมี ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก 37% เอทานอล 95% ฟีนอล์ฟทาลีน และโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.2.1 ไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ (Sumsung, MS23F300EEK) จำนวน 1 เครื่อง
- 3.2.2 ปีมเพอริสตัลติก จำนวน 1 เครื่อง
- 3.2.3 เครื่องทดสอบการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ (Hti, HT-M2) จำนวน 1 เครื่อง
- 3.2.4 เทอร์โมคัปเปิล ชนิดเค (Uni-T, UT320D) จำนวน 1 เครื่อง
- 3.2.5 ท่อซิลิโคนเกรดอาหารยาว 3 เมตร และ 7 เมตร
- 3.2.6 เครื่องวัดสีแบบตั้งโต๊ะ (Hunter Lab รุ่น Color flex EZ)
- 3.2.7 เครื่องถ่ายภาพความร้อน (FLUKE, Ti401 PRO)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การหาประสิทธิภาพของเครื่องไมโครเวฟ

นำน้ำใส่แก้วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 85 มิลลิเมตร โดยมีปริมาตร 275, 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร จากนั้นนำเข้าเครื่องไมโครเวฟขนาดกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ วัดอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นและหลังได้รับความร้อนจากไมโครเวฟ โดยให้มีผลต่างของอุณหภูมิประมาณ 25 ± 5 องศาเซลเซียส จากนั้นคำนวณหากำลังของไมโครเวฟที่ออกมา โดยใช้สมการ (1)

$$P_o = \frac{W(4.19)\Delta T}{t} \quad (1)$$

เมื่อ W = ปริมาตรของน้ำที่ใช้ คือ 275, 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของน้ำ

t = เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำ

แล้วนำค่ากำลังของไมโครเวฟที่ได้มาหาค่าประสิทธิภาพจากสมการ (2)

$$e = \frac{P_o}{E} \times \frac{t}{3600} \quad (2)$$

เมื่อ P_o = กำลังเฉลี่ยขาออกของเครื่องไมโครเวฟ

e = ค่าประสิทธิภาพของเครื่องไมโครเวฟ

E = พลังงานความร้อนของไมโครเวฟขาเข้า 800 วัตต์

t = เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำ

และหาค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของไมโครเวฟ จากสมการ (3)

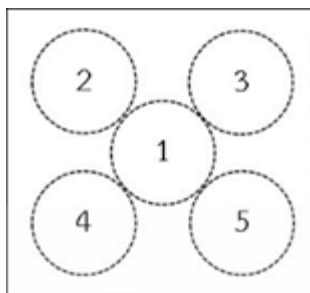
$$e_{avg} = \frac{e_{275} + e_{500} + e_{1000} + e_{2000}}{4} \quad (3)$$

3.3.2 วิธีการหาตำแหน่งการให้ความร้อนในไมโครเวฟ

ห้องอบไมโครเวฟมีขนาด 32x28x19 เซนติเมตร แบ่งความสูงออกเป็น 5 ระดับดังนี้ 2, 5.75, 9.5, 13.25 และ 17 เซนติเมตร โดยวัดจากฐานของไมโครเวฟ กระจายซีสบนแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด ที่มีขนาดเท่าห้องอบอย่างสม่ำเสมอ เข้าอบในไมโครเวฟที่ระดับความสูง 2 เซนติเมตรจากฐานด้วย กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 90 วินาที โดยนำออกมาบันทึกผลที่เวลา 30, 50 และ 90 วินาที ทำซ้ำจนครบทุกระดับความสูง

3.3.3 วิธีการวัดอุณหภูมิของน้ำ 5 ตำแหน่งในไมโครเวฟ

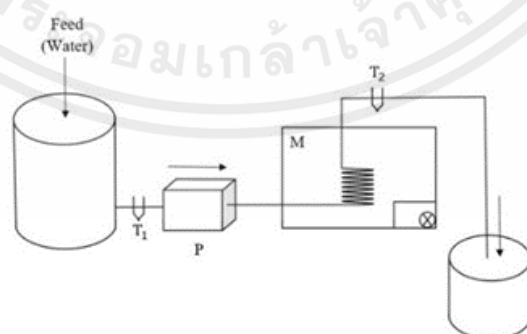
ลากเส้นทแยงมุมเพื่อหาจุดวางบีกเกอร์ซึ่งสามารถกำหนดจุดวางได้ทั้งหมด 5 ตำแหน่งดังรูปที่ 1 ได้แก่ ตำแหน่งกึ่งกลางไมโครเวฟ และตำแหน่งที่ถัดจากจุดกึ่งกลาง 10 เซนติเมตรตามเส้นทแยงมุม ทั้ง 4 เส้น นำน้ำใส่บีกเกอร์ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เข้าไมโครเวฟด้วยกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 90 วินาที บันทึกอุณหภูมิที่เวลา 30, 60, และ 90 วินาที ตามลำดับจนครบทุกตำแหน่ง



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งการวางปีกเกอร์ 5 ตำแหน่ง (มุมมองด้านบน)

3.3.4 การติดตั้งระบบไมโครเวฟ

ออกแบบแบบจำลองเพื่อใช้ยึดท่อซิลิโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิวเจอร์บอร์ดซึ่งเป็นพลาสติกชนิด Polypropylene (PP) มาประกอบให้มีลักษณะคล้ายทรงกระบอกรัศมี 10 เซนติเมตร เจาะไมโครเวฟเพื่อเป็นทางเข้าและออกของท่อซิลิโคน และใช้เครื่องทดสอบการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ (Hti, HT-M2) ก่อนการทดลอง แก้ไขปัญหาการรั่วไหลด้วยเทปอะลูมิเนียม ตรวจสอบวัดซ้ำจนกว่าจะได้ค่าน้อยกว่า 5 mW/cm^2 ตามที่องค์การอาหารและยาสหรัฐอเมริกา (U.S. Food and Drug Administration) กำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของการรั่วไหลตลอดอายุการใช้งานของไมโครเวฟ จากนั้นติดตั้งแบบจำลอง ท่อซิลิโคน เทอร์โมคัปเปิลชนิดเคและบีมเพอริสตัลติก ให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.2 ความยาวของท่อซิลิโคนภายในไมโครเวฟคือ 186.5 เซนติเมตร นำมาทำเป็นชุดได้ทั้งหมด 5 ชุด ทำการทดลองป้อนน้ำด้วยอัตราการไหล 248.54 ± 2.35 , 341.39 ± 10.20 และ 430.84 ± 2.66 กรัม/นาที เข้าเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ โดยควบคุมอุณหภูมิของน้ำขาเข้าให้คงที่ ปรับระยะช่วงเกลียวของชุดท่อซิลิโคน 2 ระดับ คือ 0.8 และ 3.3 เซนติเมตร



รูปที่ 3.2 ระบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟขนาดเล็กแบบต่อเนื่อง กำหนดให้ M คือเครื่องไมโครเวฟ, P คือปั๊ม และ T_1, T_2 คือเทอร์โมคัปเปิล

3.3.5 การวัดอุณหภูมิของน้ำในระบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง

วัดอุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกหลังป้อนผ่านเข้าเครื่องไมโครเวฟด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค โดยใส่สายเทอร์โมคัปเปิลเข้าไปภายในท่อซิลิโคนบริเวณทางเข้าและทางออกของไมโครเวฟ

3.3.6 หาค่าพลังงานความร้อนในระบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง

นำท่อซิลิโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร ยึดกับแบบจำลองที่สร้างขึ้น วางแบบจำลองให้อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของไมโครเวฟ (จากการศึกษาหาตำแหน่งการให้ความร้อนในไมโครเวฟ) จากนั้นติดตั้งแบบจำลองท่อซิลิโคน เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค และปั๊มเพอร์ิสต์ลติก ให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.2 กำหนดให้มีจำนวนชุดของชุดท่อซิลิโคนแตกต่างกัน คือ 1,3,5 และ 15 ชุด ตามลำดับ ทดลองให้ความร้อนจากการป้อนน้ำผ่านชุดท่อซิลิโคนด้วยอัตราการไหล คือ 262.65 ± 22.95 , 359.54 ± 24.87 และ 438.06 ± 29.76 กรัม/นาที ตามลำดับ โดยควบคุมอุณหภูมิของน้ำขาเข้าคงที่ ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ และเปรียบเทียบอุณหภูมิขาออกที่น้ำได้รับ และวิเคราะห์การถ่ายเทพลังงานโดยคำนวณพลังงานที่น้ำได้รับจากสมการ (4)

$$Q_{absorb} = \dot{m}c_p\Delta T \quad (4)$$

เมื่อ Q_{absorb} = พลังงานที่น้ำได้รับ

\dot{m} = อัตราการไหลของน้ำ

c_p = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของน้ำ

3.3.7 ศึกษาการถ่ายเทพลังงานความร้อน

เปรียบเทียบการถ่ายเทพลังงานความร้อนของระบบไมโครเวฟด้วยเครื่องถ่ายภาพความร้อน โดยป้อนน้ำผ่านชุดท่อซิลิโคนด้วยอัตราการไหลที่แตกต่างกัน ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SmartView Classic

3.3.8 การสกัดเพกทินจากเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง

3.3.8.1 การเตรียมสารละลายเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง

นำเปลือกส้มสายน้ำผึ้งสดผสมกับน้ำกลั่นปั่นให้ละเอียด โดยมีอัตราส่วนของน้ำหนักเปลือกส้มต่อปริมาตรน้ำกลั่น คือ 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เดิมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% จนมีค่า $\text{pH} < 2$

3.3.8.2 สกัดเพกทินด้วยวิธีการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

ทำการสกัดเพกทินจากสารละลายเปลือกส้มสายน้ำผึ้งด้วยการให้ความร้อน 3 วิธี ได้แก่

1) การให้ความร้อนแบบเตาให้ความร้อน (Hot plate) ให้ความร้อนกับสารละลายเปลือกส้มสายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำ 3 ซ้ำ จากนั้นตั้งสารสกัดเพกทินที่ได้ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2) การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) ให้ความร้อนกับสารละลายเปลือกส้มสายน้ำผึ้งที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์เป็นเวลา 6 และ 8 นาที ทำ 3 ซ้ำ เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้และบันทึกผลการทดลอง

3) การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง (Continuous Microwave) ให้ความร้อนกับสารละลายเปลือกส้มสายน้ำผึ้งที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ โดยให้สารละลายเคลื่อนที่ผ่านชุดท่อซิลิโคน จำนวน 1,3,5 และ 15 ชุด ตามลำดับ กำหนดให้ปริมาตรของสารละลายเปลือกส้มหลังให้ความร้อนมีปริมาตรเท่ากัน นำสารสกัดเปลือกส้มที่ผ่านความร้อนแล้วกรองด้วยถุงผ้ากรองไนลอน ผสมสารสกัดกับเอทานอล 95% ในอัตราส่วนสารสกัดต่อเอทานอล คือ 1:2 โดยปริมาตร คนให้เข้ากัน ปิดปากภาชนะด้วยพาราฟิล์ม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18 ชั่วโมง กรองเพกทินออกจากเอทานอลด้วยถุงผ้าไนลอน และนำเพกทินเข้าอบที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง บดด้วยโกร่งบดเป็นผง

3.3.9 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเพกทินจากการสกัด

3.3.9.1 หาค่าความชื้น

หาร้อยละความชื้นของเปลือกส้มสดและผงเพกทินโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 3 กรัม จำนวน 3 ชุดการทดลอง อบอุ่นความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักของตัวอย่างคงที่ คำนวณหาค่าความชื้นของเปลือกส้มและผงเพกทิน จากสมการ (5)

$$\% \text{ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักหลังอบแห้ง (g)} - \text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง (g)}}{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง (g)}} \times 100 \quad (5)$$

3.3.9.2 หาปริมาณร้อยละผลผลิต (%yield)

คำนวณจากน้ำหนักของเพกทินที่สกัดได้หลังอบแห้งต่อน้ำหนักของเปลือกส้มก่อนการสกัดเพกทิน จากสมการ (6)

$$\% \text{yield} = \frac{\text{actual yield (g)}}{\text{theoretical yield (g)}} \times 100 \quad (6)$$

3.3.9.3 ค่าสี

นำเพคตินที่ได้มาวิเคราะห์สีด้วยเครื่องวัดค่าสี (ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex, EZ, USA) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ L^* คือค่าความสว่าง มีค่าความสว่างมากเมื่อเข้าใกล้ 100 และมีมืดเมื่อเข้าใกล้ 0 ค่า a^* คือค่าความเป็นสีเขียวเมื่อมีค่าเป็นลบ และมีค่าความเป็นสีแดงเมื่อมีค่าเป็นบวก ค่า b^* คือค่าความเป็นสีเหลืองเมื่อมีค่าเป็นบวก และค่าความเป็นสีน้ำเงินเมื่อมีค่าเป็นลบ

3.3.9.4 หาปริมาณเมทอกซิลในเพคติน

อ้างอิงวิธีวิเคราะห์ของ Jittra Singthong et al. (2004) ชั่งน้ำหนักผงเพคตินที่ 0.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมเอทานอล 95% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ละลายสารละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นหยดฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้น 0.1% จำนวน 5 หยดเขย่าให้เข้ากัน ไทเทรต ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนถึงจุดยุติบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นปริมาตรที่ 1 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆจนเปลี่ยนเป็นสีชมพูเข้ม ตั้งทิ้งไว้ 15 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายจนสีชมพูหายไป แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้น 0.1% จำนวน 5 หยดเขย่าให้เข้ากัน ทำการไทเทรตรอบที่ 2 บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นปริมาตรที่ 2 แล้วคำนวณหาค่า %DE เพื่อนำไปเทียบเป็นปริมาณเมทอกซิล โดยคำนวณหาค่า degree of esterification(%DE) จากสมการ(7) จากนั้นนำค่า %DE ที่ได้มาเทียบกับตารางในภาคผนวกเพื่อหาปริมาณเมทอกซิล

$$\%DE = \frac{NaOH\ volumn\ 2}{NaOH\ volumn\ 1 + NaOH\ volumn\ 2} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ %DE = ระดับของเอสเทอร์ฟิเคชัน

$NaOH\ volumn\ 1$ = ปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ไทเทรตรอบที่ 1 (ml)

$NaOH\ volumn\ 2$ = ปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ไทเทรตรอบที่ 2 (ml)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ประสิทธิภาพของไมโครเวฟ

นำอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองมาคำนวณโดยใช้สมการหาค่าประสิทธิภาพของไมโครเวฟได้ ค่าประสิทธิภาพของเครื่องไมโครเวฟที่ 43.58% ซึ่งหมายถึง พลังงานที่น้ำจะได้รับจากไมโครเวฟคิดเป็น 43.58% ของกำลังทั้งหมดที่ไมโครเวฟส่งออกมา

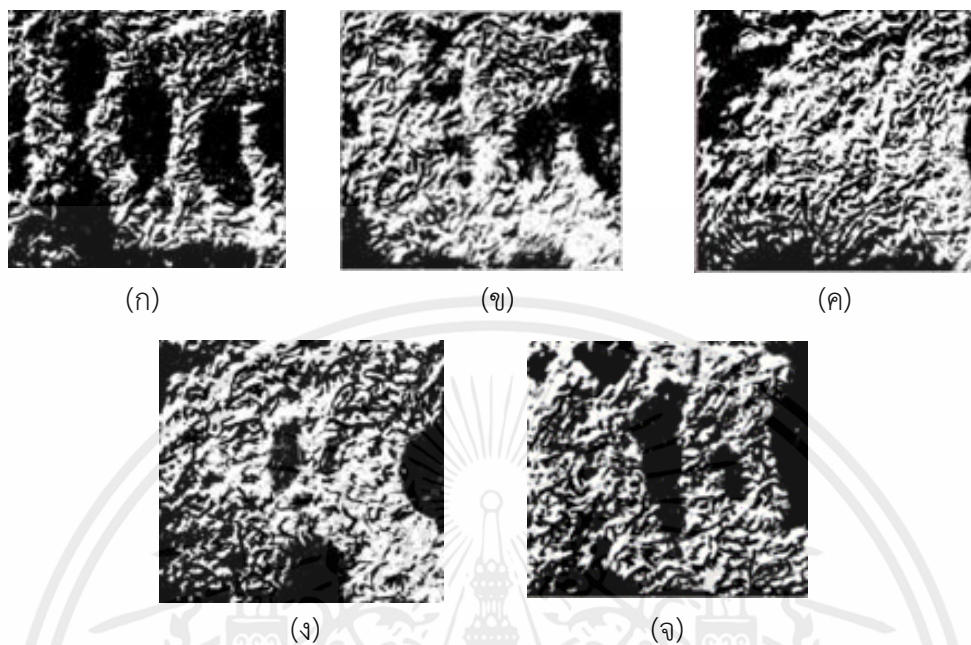
4.2 ผลของความสูงต่อการได้รับความร้อน

วิเคราะห์หาพื้นที่หลอมละลายของชีสด้วยโปรแกรม ImageJ เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics แสดงบริเวณที่หลอมละลายแสดงด้วยพื้นที่สีดำในรูปที่ 4.1 พบว่า ความสูงส่งผลต่อพื้นที่การละลายของชีสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยที่ชีสจะเกิดการหลอมละลายมากที่สุดที่ความสูงจากฐานไมโครเวฟ 2 เซนติเมตร โดยเมื่อระดับความสูงของชีสที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การดูดซับความร้อนลดลง ทำให้มีพื้นที่การหลอมละลายที่ลดลงด้วย ซึ่งผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองของ T. Yousefi และคณะ (2013)

ตารางที่ 4.1 แสดงพื้นที่การหลอมละลายของชีสในแต่ละระดับความสูง

ความสูง(เซนติเมตร)	พื้นที่(ตารางเซนติเมตร)
2	599.46 ^a
5.75	441.64 ^b
9.5	394.40 ^c
13.25	410.67 ^d
17	421.26 ^c

ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a, b, c, d และ e) แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.1 แสดงพื้นที่การหลอมละลายของชีส วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ
 (ก) ที่ระดับความสูง 2 เซนติเมตร (ข) ที่ระดับความสูง 5.75 เซนติเมตร ค) ที่ระดับความสูง
 9.5 เซนติเมตร (ง) ที่ระดับความสูง 13.25 เซนติเมตร (จ) ที่ระดับความสูง 17 เซนติเมตร

4.3 ผลของตำแหน่งของน้ำ 5 ตำแหน่งต่อการได้รับความร้อน

นำอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics พบว่า ตำแหน่งส่งผลต่อการได้รับความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กลุ่มตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุด คือ ตำแหน่งที่ 1, 4 และ 5 และการได้รับความร้อนของตำแหน่งที่ 1, 4 และ 5 (รูปที่ 3.1) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในการทดลองให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่องจึงเลือกวางแบบจำลองบริเวณกึ่งกลางของไมโครเวฟ (ตำแหน่งที่ 1) ซึ่งมีความสอดคล้องกับภาพถ่ายอินฟราเรดแสดงตำแหน่งการได้รับความร้อนของข้าวภายในไมโครเวฟ โดยที่ตำแหน่งกึ่งกลางเป็นตำแหน่งที่ได้รับความร้อนสูงสุด (Liuyang Shen และคณะ, 2022)

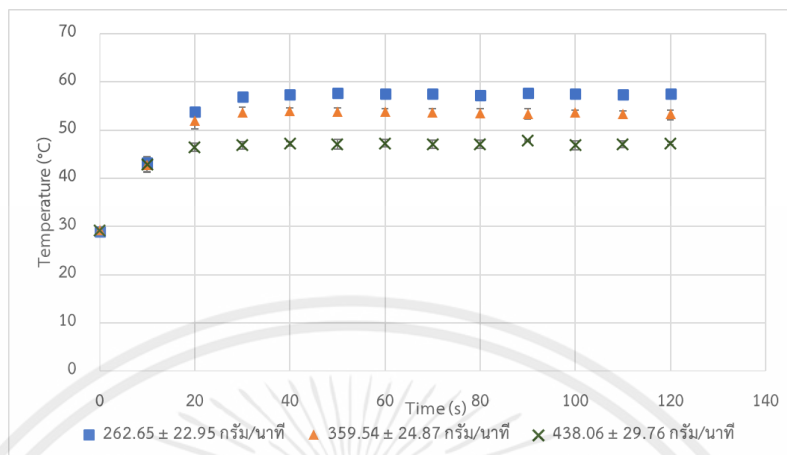
ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ได้รับความร้อนในแต่ละตำแหน่ง

ตำแหน่งการวางปีกเกอร์	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)
1	50.97 ^{ab}
2	50.86 ^b
3	50.37 ^c
4	51.21 ^a
5	50.91 ^{ab}

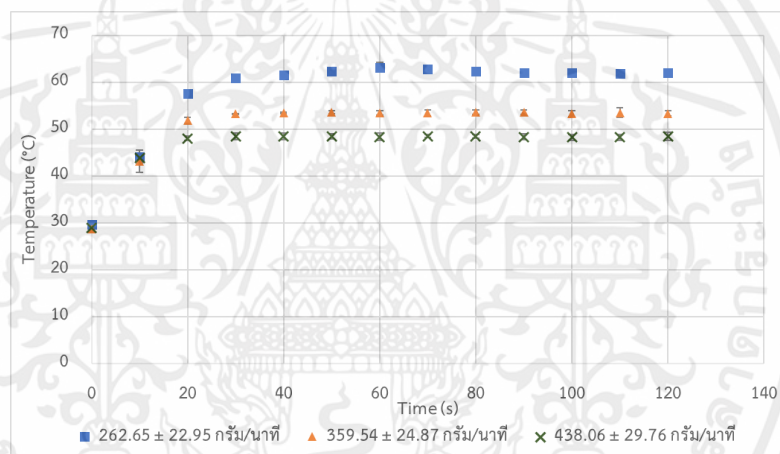
ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a, b และ c) แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

4.4 ผลของอัตราการไหลต่ออุณหภูมิขาออกของน้ำ

จากรูปที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิขาออกของน้ำจะลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ที่อัตราการไหล 438.06 ± 29.76 กรัม/นาที ของระยะช่วงเกลียว 0.8 เซนติเมตร และ 3.3 เซนติเมตร จะได้อุณหภูมิขาออกในช่วงคงที่เฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 48.06 ± 0.67 และ 49.49 ± 0.59 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการไหล 262.65 ± 22.95 กรัม/นาที ของระยะช่วงเกลียว 0.8 เซนติเมตร และ 3.3 เซนติเมตร จะได้อุณหภูมิขาออกในช่วงคงที่เฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 58.75 ± 0.5 และ 63.07 ± 0.44 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำมีระยะเวลาการได้รับความร้อนภายในไมโครเวฟลดลง จึงส่งผลให้อุณหภูมิขาออกลดลง และเมื่อพิจารณาในช่วงเริ่มต้นของการให้ความร้อนพบว่าน้ำจะมีระยะเวลาในการเข้าสู่สถานะสมดุลซึ่งทำให้อุณหภูมิขาออกคงที่ไม่เท่ากัน โดยอัตราการไหลที่น้อยจะส่งผลให้ต้องใช้เวลามากขึ้นในการเข้าสู่สถานะสมดุล เนื่องจากมีอุณหภูมิขาออกที่สูงกว่า

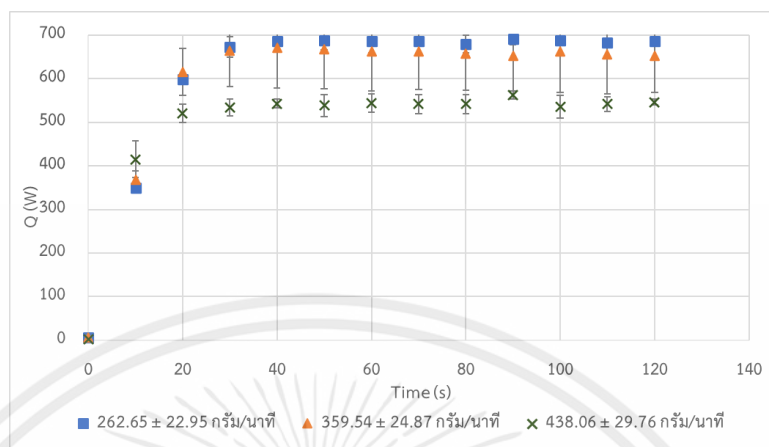


(ก)

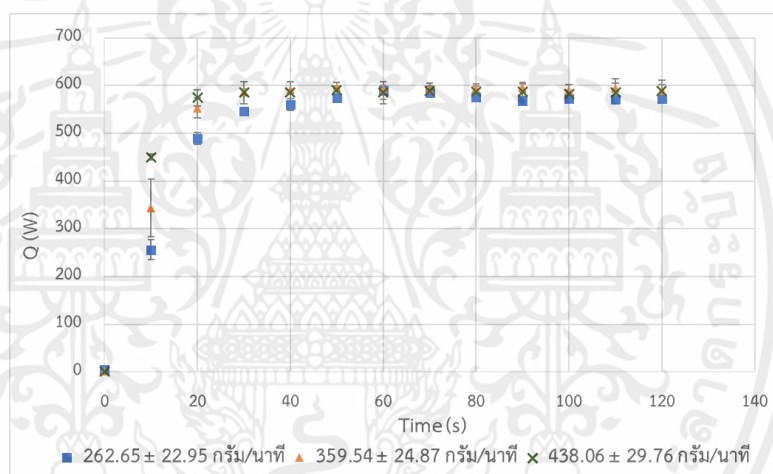


(ข)

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกของน้ำในแต่ละอัตราการไหล (ก) ใช้ระยะช่วงเกลียวของท่อซิลิโคน 0.8 เซนติเมตร (ข) ใช้ระยะช่วงเกลียวของท่อซิลิโคน 3.3 เซนติเมตร



(ก)



(ข)

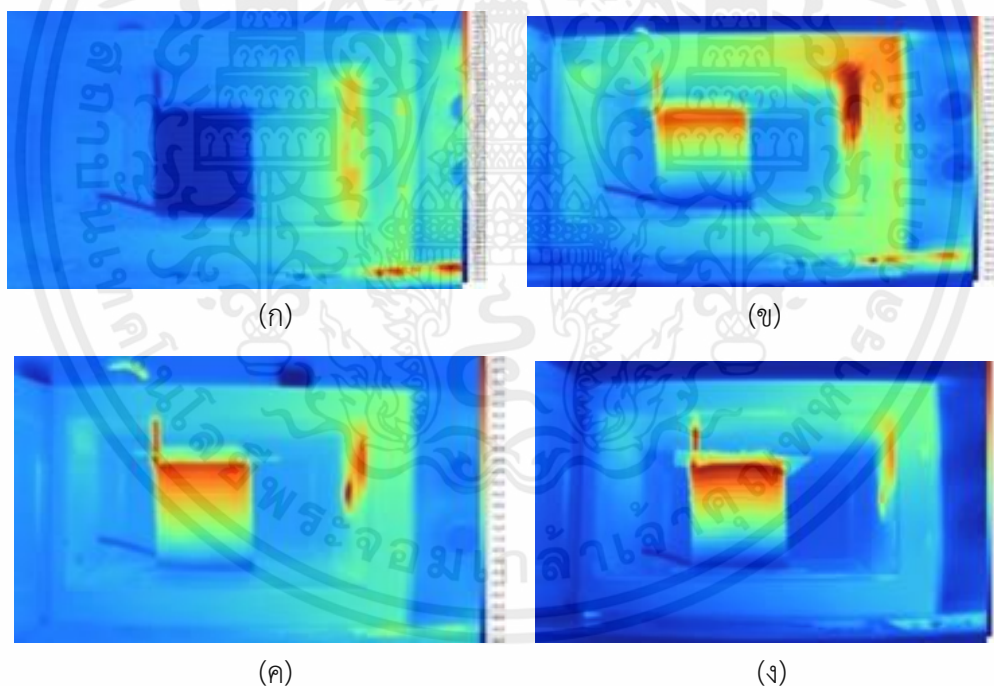
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความร้อนที่น้ำได้รับในแต่ละอัตราการไหล (ก) ใช้ระยะช่วงเกลียวของท่อซิลิโคน 0.8 เซนติเมตร (ข) ใช้ระยะช่วงเกลียวของท่อซิลิโคน 3.3 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.3 พบว่าที่เวลา 0-20 วินาที ที่อัตราการไหล 438.06 ± 29.76 กรัม/นาที ได้รับความร้อนมากที่สุด แต่ในช่วงเวลาที่ 20-120 วินาที อัตราการไหล 359.54 ± 24.87 กรัม/นาที จะได้รับความร้อนมากที่สุด ในขณะที่อัตราการไหล 262.65 ± 22.95 กรัม/นาที ได้รับความร้อนน้อยที่สุด เป็นไปในแนวทางเดียวกันทั้งระยะช่วงเกลียว 0.8 เซนติเมตร และ 3.3 เซนติเมตร ผลนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Damilos et.al. (2019) ซึ่งทำการศึกษเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนของการไหลแบบต่อเนื่องภายในไมโครเวฟ โดยเมื่อลดอัตราการไหลจะส่งผลให้อัตราการได้รับความร้อนจากไมโครเวฟลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอัตราการไหลที่น้อย ทำให้ได้อุณหภูมิขาออกที่สูง และมีระยะเวลาการได้รับ

ความร้อนที่นานกว่า ซึ่งส่งผลให้สามารถสูญเสียความร้อนได้มากกว่าการป้อนด้วยอัตราการไหลที่สูงกว่า (Ramaswamy and Lin, 2011)

4.5 ผลของการให้ความร้อนผ่านขดท่อซีลีโคน

ทดลองโดยการป้อนน้ำเข้าไปในระบบให้ความร้อนแบบไมโครเวฟทำงานด้วยกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์เมื่อคลื่นไมโครเวฟถูกแผ่ออกจากแมกนีตรอนมายังขดท่อซีลีโคนที่มีการป้อนน้ำให้ไหลผ่านท่อน้ำ ในขดท่อซีลีโคนจะได้รับพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยเมื่อสังเกตการกระจายตัวของอุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิของน้ำขาเข้าจะมีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด (โทนสีน้ำเงิน) จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆสูงขึ้นเมื่อเคลื่อนที่ไปตามขดท่อและจะมีอุณหภูมิสูงที่สุด (โทนสีแดง) เมื่อถึงทางออก เมื่อพิจารณาอัตราการไหลของน้ำที่ต่างกัน พลังงานความร้อนที่ขดท่อซีลีโคนได้รับเป็นไปในแนวทางเดียวกัน และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลอุณหภูมิของน้ำขาออกมีแนวโน้มลดลง แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงภาพการให้ความร้อนภายในเครื่องไมโครเวฟ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SmartView Classic โดยให้ความร้อนที่มีอัตราการไหลต่างกัน (ก) ขดท่อซีลีโคนที่เวลาเริ่มต้น (ข) 262.65 ± 22.95 กรัม/นาที (ค) 359.54 ± 24.87 กรัม/นาที (ง) 438.06 ± 29.76 กรัม/นาที

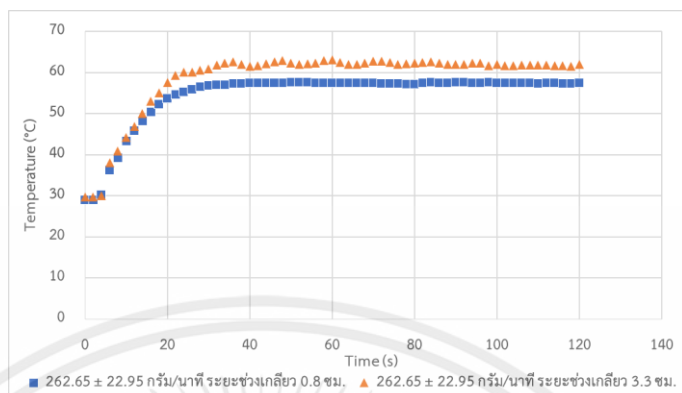
4.6 ผลของระยะช่วงเกลียวต่ออุณหภูมิขาออกของน้ำ

เมื่อนำอุณหภูมิขาออกเฉลี่ยจากการเปลี่ยนระยะช่วงเกลียวในแต่ละอัตราการไหลมาวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่าระยะช่วงเกลียวที่ต่างกันทำให้อุณหภูมิขาออกเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในทุกอัตราการไหล โดยระยะช่วงเกลียว 3.3 เซนติเมตรจะมีอุณหภูมิขาออกเฉลี่ยและความร้อนที่น้ำได้รับที่สูงกว่าระยะช่วงเกลียว 0.8 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.3 ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของ Ramaswamy and Lin (2011) และ Zhang et.al. (2020) ซึ่งระบุว่าระยะช่วงเกลียวที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิขาออกและอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเนื่องจากท่อแบบขดทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางซึ่งส่งผลให้เกิดการไหลแบบทุติยภูมิ (Secondary flow) การเพิ่มระยะช่วงเกลียวจะมีผลให้อัตราเร็วของกระแสสวนภายในท่อและแรงเฉือนเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น แต่ถ้าเพิ่มระยะช่วงเกลียวมากเกินไปจนไม่เกิดการไหลแบบทุติยภูมิ อัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลง (Ramaswamy and Lin, 2011) แสดงดังรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.3

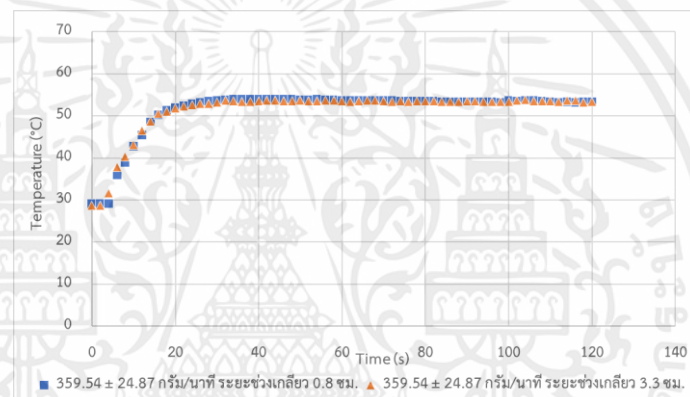
ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิขาออกของน้ำเปรียบเทียบระหว่างระยะช่วงเกลียว 0.8 และ 3.3 เซนติเมตรในแต่ละอัตราการไหล

อัตราการไหล(กรัม/นาที)	อุณหภูมิขาออก (องศาเซลเซียส)	
	ระยะช่วงเกลียว 0.8 เซนติเมตร	ระยะช่วงเกลียว 3.3 เซนติเมตร
262.65 ± 22.95	58.73 ^b ± 0.54	63.08 ^a ± 0.74
359.54 ± 24.87	54.10 ^b ± 0.25	54.81 ^a ± 0.30
438.06 ± 29.76	48.02 ^b ± 0.48	49.46 ^a ± 0.52

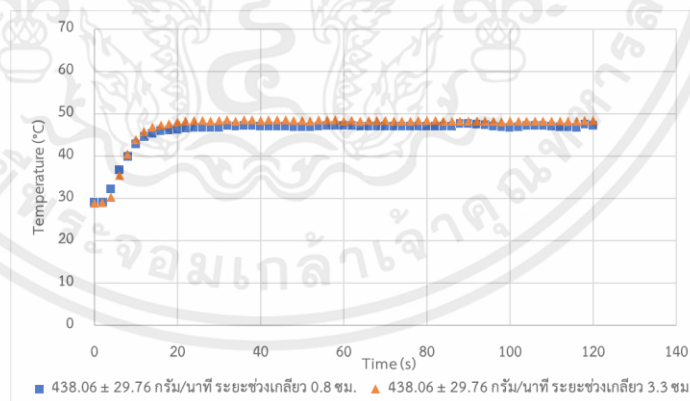
ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a และ b) หลังอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละแถวแสดงถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกของน้ำเปรียบเทียบระหว่างระยะช่วงเกลียว 0.8 และ 3.3 เซนติเมตร (ก) ที่อัตราการไหล 262.65 ± 22.95 กรัม/นาที (ข) ที่อัตราการไหล 359.54 ± 24.87 กรัม/นาที (ค) ที่อัตราการไหล 438.06 ± 29.76 กรัม/นาที

4.7 ผลของจำนวนขดต่อซิลิโคนต่ออุณหภูมิขาออกของน้ำ

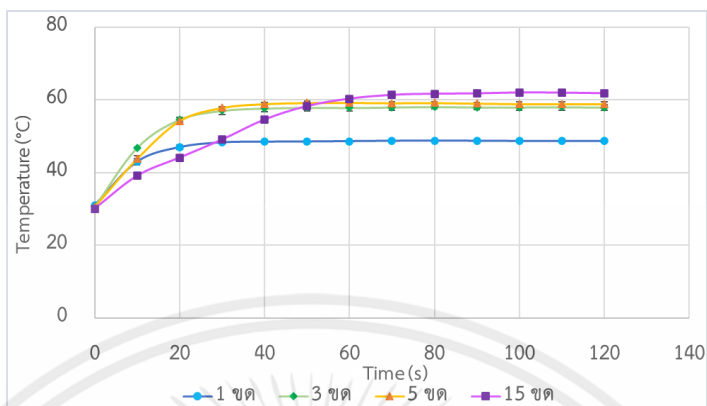
เปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำขาออกที่ได้ หลังปรับจำนวนขดของขดต่อซิลิโคน คือ 1,3,5 และ 15 ขด ตามลำดับในแต่ละอัตราการไหล แสดงผลดังตารางที่ 4.4

จากรูปที่ 4.6 พบว่าอุณหภูมิขาออกในช่วงคงที่เฉลี่ยจะต่ำที่สุดเท่ากับ 41.44 ± 0.22 องศาเซลเซียส เมื่อใช้จำนวนขดต่อ 1 ขด ที่อัตราการไหล 438.06 ± 29.76 กรัม/นาที และจะมีอุณหภูมิขาออกในช่วงคงที่เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 60.93 ± 1.16 องศาเซลเซียส ที่จำนวนขดต่อ 15 ขด และอัตราการไหล 262.65 ± 22.95 กรัม/นาที

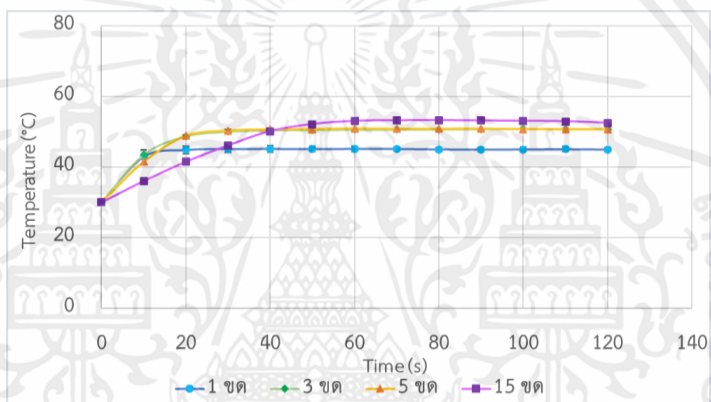
ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิขาออกของน้ำเปรียบเทียบต่อจำนวนขดต่อซิลิโคนในแต่ละอัตราการไหล

อัตราการไหล (กรัม/นาที)	จำนวนขดต่อซิลิโคน	อุณหภูมิขาออก (องศาเซลเซียส)
262.65 ± 22.95	1	$48.59^d \pm 0.15$
	3	$57.85^c \pm 0.67$
	5	$59.09^b \pm 0.35$
	15	$60.93^a \pm 1.16$
359.54 ± 24.87	1	$45.10^c \pm 0.57$
	3	$50.64^b \pm 0.30$
	5	$50.81^b \pm 0.06$
	15	$53.09^a \pm 0.32$
438.06 ± 29.76	1	$41.44^d \pm 0.22$
	3	$46.71^c \pm 0.10$
	5	$48.09^b \pm 0.30$
	15	$49.58^a \pm 0.43$

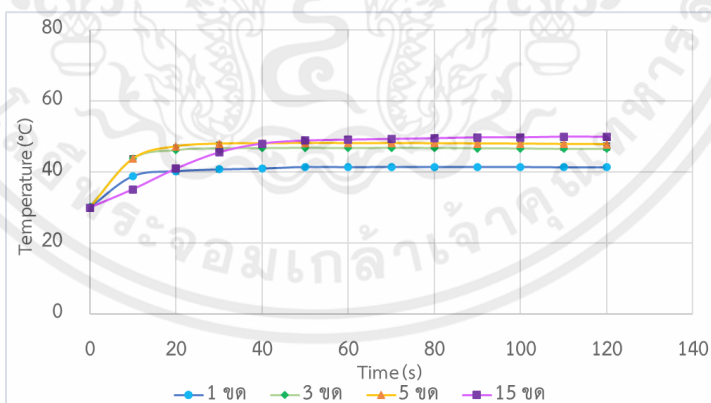
ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a, b, c, d และ e) แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)



(ก)



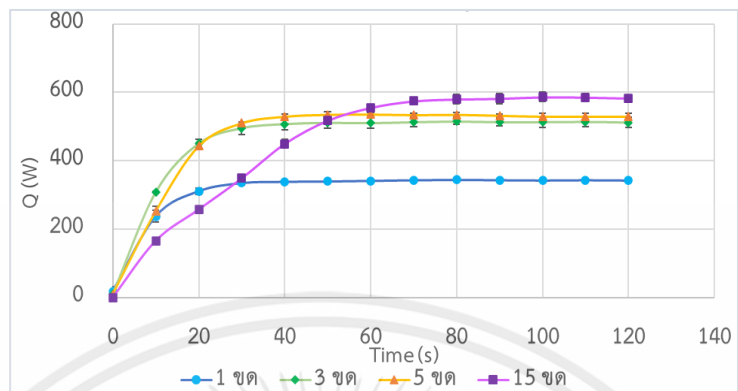
(ข)



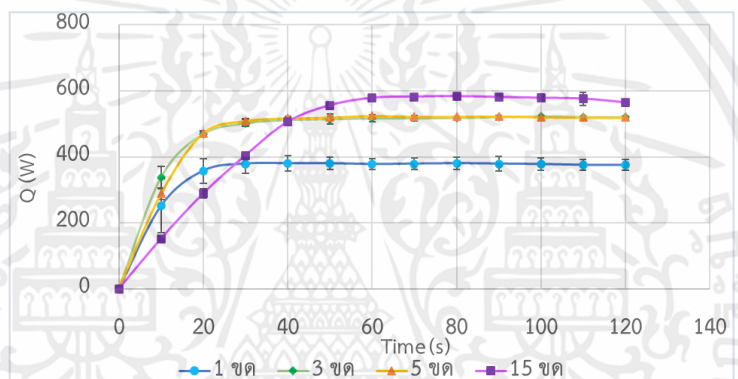
(ค)

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกของน้ำได้รับ เมื่อมีจำนวนชุดท่อซีลีโคน 1,3,5 และ 15 ชุด ในแต่ละอัตราการไหล (ก) 262.65 ± 22.95 กรัม/นาที (ข) 359.54 ± 24.87 กรัม/นาที (ค) 438.06 ± 29.76 กรัม/นาที

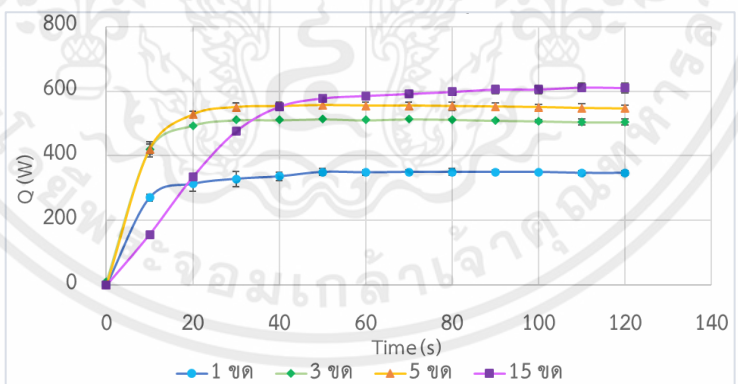
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_{absorb}) เมื่อมีจำนวนชดทอซิลิโคน 1,3,5 และ15 ชด ในแต่ละอัตราการไหล (ก) 262.65 ± 22.95 กรัม/นาที (ข) 359.54 ± 24.87 กรัม/นาที (ค) 438.06 ± 29.76 กรัม/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำอุณหภูมิที่ได้มาวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics พบว่าจำนวนขดต่อซิลิโคนที่ต่างกันทำให้อุณหภูมิขาออกเฉลี่ยแตกต่างกัน ดังตารางที่แสดง โดยจำนวนขดต่อที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิขาออกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในทุกอัตราการไหล เนื่องจากจำนวนขดที่เพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาการได้รับความร้อนของน้ำในไมโครเวฟเพิ่มขึ้น และเป็นการเพิ่มลักษณะการไหลแบบทุติยภูมิ เป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Ramaswamy and Lin (2011) แต่จำนวนขดที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการเข้าสู่สภาวะสมดุลซึ่งมีอุณหภูมิขาออกคงที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อจำนวนขดต่อซิลิโคนเพิ่มขึ้น อัตราการได้รับความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยความร้อนที่น้ำได้รับเมื่อใช้จำนวนขดเป็น 15 ขดมีค่ามากที่สุด และเป็นไปในแนวทางเดียวกันในทุกอัตราการไหล เพราะจำนวนขดที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิขาออกของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จึงส่งผลให้อัตราการได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

4.8 เปรียบเทียบข้อมูลและวิเคราะห์ผงเพกทินจากเปลือกส้มสายน้ำผึ้ง

4.8.1 ความชื้นของเปลือกส้มและผงเพกทิน

จากสมการที่ 5 พบว่าเปลือกส้มสายน้ำผึ้งที่ใช้ในการทดลองมีความชื้นร้อยละ 62.5977 และผงเพกทินมีความชื้นร้อยละ 11.8696

4.8.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผงเพกทิน

4.8.2.1 เปรียบเทียบจากวิธีให้ความร้อนแบบเตาให้ความร้อนกับแบบไมโครเวฟไม่ต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ปริมาณร้อยละผลผลิต (%yield) %DE และปริมาณเมทอกซิลจากการให้ความร้อนแบบเตาให้ความร้อน (Hot plate) มีค่ามากกว่าระบบไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง โดยการเพิ่มขึ้นของร้อยละผลผลิต (%yield) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยจะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนแบบเตาให้ความร้อนนั้นใช้เวลา 1 ชั่วโมงได้ค่า yield 10.26% แต่การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่องใช้เวลา 6-8 นาที ได้ค่า yield 8.05% ซึ่งได้ปริมาณที่เกือบเทียบเท่ากับการให้ความร้อนด้วยเตาแต่กลับใช้เวลาน้อยลงอย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bagherian และคณะ (2011) แต่ในส่วนของค่า %DE และปริมาณเมทอกซิลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำไมโครเวฟเข้ามาช่วยในการให้ความร้อนในกระบวนการสกัดเพกทินนั้น

ทำให้มีการใช้ระยะเวลาที่ลดลงและยังสามารถคงคุณภาพของเพกทินไว้ได้ แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการทดลองเพิ่มเติมในส่วนของการให้ความร้อนแบบเตาให้ความร้อนในระยะเวลาที่เท่ากันกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเพื่อควบคุมปัจจัยในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเพกทินที่ได้จากวิธีให้ความร้อนแบบเตา ให้ความร้อนและไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

วิธีให้ความร้อน	Yield (%)	%DE	ปริมาณเมทอกซิล
แบบเตาให้ความร้อน (Hot plate)	10.26 ^a ± 0.07	79.29 ^a ± 2.38	12.95 ^a ± 0.39
ไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch)	8.05 ^b ± 0.45	75.50 ^a ± 6.45	12.32 ^a ± 1.06

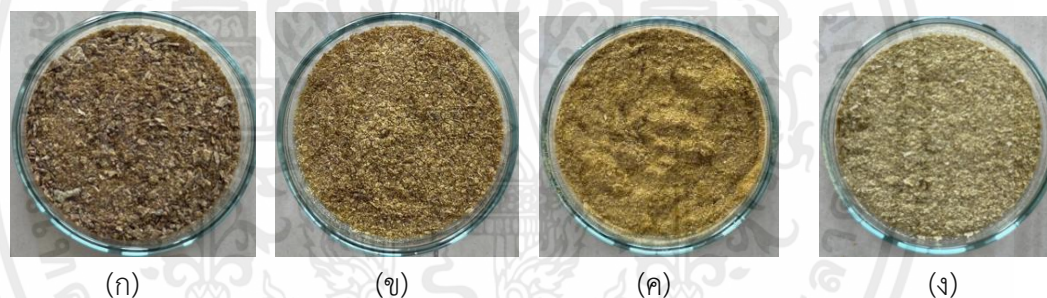
ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a, b, c, d และ e) แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ตารางที่ 4.6 ค่าสีของเพกทินที่ได้จากวิธีให้ความร้อนแบบเตาให้ความร้อนและไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง

วิธีให้ความร้อน	L*	a*	b*
แบบเตาให้ความร้อน (Hot plate)	50.88 ^a ± 2.16	7.57 ^a ± 0.92	33.29 ^b ± 1.14
ไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch)	52.19 ^a ± 1.16	9.26 ^a ± 0.60	38.72 ^a ± 1.86

ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a, b, c, d และ e) แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

จากตารางที่ 4.6 พบว่า เพกทินที่ได้จากการให้ความร้อนแบบเตาให้ความร้อน (Hot plate) และการให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) เนื่องจากค่าที่ได้มีค่าเป็นบวก นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 แต่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เนื่องจากค่าที่ได้มีค่าเป็นบวกนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เนื่องจากแบบเตาให้ความร้อนสารละลายเปลือกส้มได้รับความร้อนเป็นระยะเวลานานกว่าทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) มากกว่า ส่งผลให้ค่าความเป็นสีเหลืองและค่าความสว่างน้อยกว่าระบบไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในการสกัดเพกทินเป็นแบบที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) นอกจากนี้การที่ค่าความสว่างของเพกทินลดลงอาจเกิดได้จากสารพอลิฟีนอลและรงควัตถุละลายน้ำ (Water-soluble pigments) ที่ยังคงถูกกักไว้ภายในเพกทินขณะตกตะกอน (Kumari et.al., 2023)



รูปที่ 4.8 สีของผงเพกทินที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยวิธีต่างๆ (ก) ให้ความร้อนแบบเตาให้ความร้อน (ข) ไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง (ค) ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 5 ขด (ง) ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 15 ขด

4.8.2.2 เปรียบเทียบจากวิธีให้ความร้อนแบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่องแบบ 5 ขด และ 15 ขด ที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ปริมาณร้อยละผลผลิต (%yield), %DE และปริมาณเมทอกซิลจากการให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 5 ขด และระบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 15 ขด ทั้งที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยจะเห็นได้ว่าปริมาณร้อยละผลผลิตของระบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 5 ขด มีค่าน้อยกว่า 15 ขด เนื่องจากสารละลายเปลือกส้มในแบบ 5 ขดมีระยะเวลาอยู่ในไมโครเวฟ

19.41 วินาที น้อยกว่าแบบ 15 ชุด ที่ใช้ระยะเวลา 48.33 วินาที ทำให้ได้รับความร้อนน้อยกว่า ส่งผลให้มีเวลาในการสลายพันธะน้อยกว่า

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเพกทินจากวิธีให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง

วิธีให้ความร้อน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Yield (%)	%DE	ปริมาณเมทอกซิล
ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 5 ชุด	70	3.84 ^a ± 0.42	77.78 ^a ± 1.15	12.70 ^a ± 0.14
	80	4.59 ^a ± 0.14	76.74 ^a ± 4.62	12.53 ^a ± 0.76
ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 15 ชุด	70	3.95 ^a ± 0.06	75.44 ^a ± 2.82	12.31 ^a ± 0.51
	80	4.59 ^a ± 0.33	79.03 ^a ± 2.81	12.90 ^a ± 0.66

ตัวอักษรที่ต่างกัน (a, b, c, d และ e) แสดงถึงค่าที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ตารางที่ 4.8 ค่าสีของเพกทินที่ได้จากวิธีให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง

วิธีให้ความร้อน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	L*	a*	b*
ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 5 ชุด	70	52.22 ^b ± 1.12	10.69 ^a ± 0.57	50.83 ^a ± 0.79
	80	54.34 ^{ab} ± 0.38	9.39 ^a ± 0.47	50.86 ^a ± 1.05
ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 15 ชุด	70	55.31 ^{ab} ± 1.04	2.12 ^b ± 1.26	32.19 ^b ± 1.10
	80	56.20 ^a ± 0.87	0.53 ^b ± 1.41	32.21 ^b ± 1.03

ตัวอักษรที่ต่างกัน (a, b, c, d และ e) แสดงถึงค่าที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

จากตารางที่ 4.8 พบว่าเพกทินที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่องแบบ 5 ขดและ 15ขด อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ในแต่ละแบบนี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เนื่องจากแบบ 15 ขดสารละลายเปลือกส้มได้รับความร้อนนานกว่าแบบ 5 ขด ทำให้มีค่าความเป็นสีเหลืองน้อยกว่า

4.8.2.3 เปรียบเทียบจากวิธีให้ความร้อนแบบไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่องกับไมโครเวฟแบบ ต่อเนื่อง 5 ขด และไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 15 ขด ที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 4.9

จากตารางที่ 4.9 พบว่าวิธีการสกัดโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง มีปริมาณร้อยละผลผลิตมากกว่าการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง สารละลายเปลือกส้มจะมีระยะเวลาในการได้รับความร้อนอยู่ในไมโครเวฟนานกว่าการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่องหลายเท่า เมื่อพิจารณาค่าสีในตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเนื่องจากได้รับความร้อนด้วยระยะเวลาที่สั้นกว่า ความสว่าง หรือ ค่า L^* ของเพกทินที่สกัดด้วยการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องทั้ง 5 และ 15 ขดจะมากกว่าการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง ในส่วนของค่า b^* จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 5 ขดจะมีค่ามากที่สุด เนื่องจากได้รับความร้อนเป็นระยะเวลาที่น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.9 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเพกทินที่ได้จากวิธีให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

วิธีให้ความร้อน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Yield (%)	%DE	ปริมาณเมทอกซิล
ไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch)	70	7.14 ^a ± 1.63	73.11 ^a ± 9.27	11.93 ^a ± 1.53
	80	8.05 ^a ± 0.45	75.50 ^a ± 6.45	12.32 ^a ± 1.06
ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 5 ชุด	70	3.84 ^b ± 0.42	77.78 ^a ± 1.15	12.70 ^a ± 0.14
	80	4.59 ^b ± 0.14	76.74 ^a ± 4.62	12.53 ^a ± 0.76
ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 15 ชุด	70	3.95 ^b ± 0.06	75.44 ^a ± 2.82	12.31 ^a ± 0.51
	80	4.59 ^b ± 0.33	79.03 ^a ± 2.81	12.90 ^a ± 0.66

ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a, b, c, d และ e) แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ตารางที่ 4.10 ค่าสีของเพกทินที่ได้จากวิธีให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

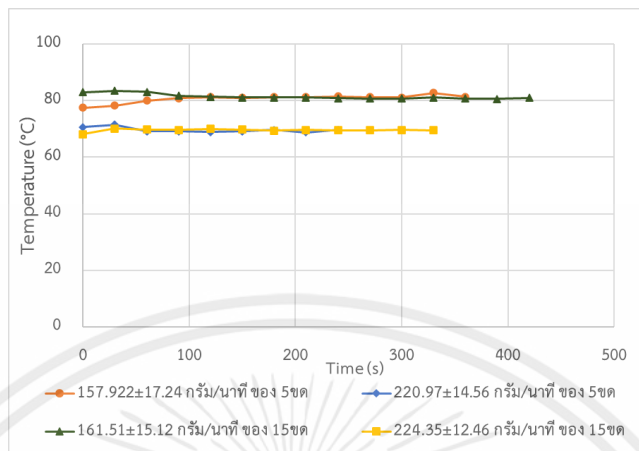
วิธีให้ความร้อน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	L*	a*	b*
ไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch)	70	51.31 ^c ± 1.28	10.03 ^a ± 1.08	41.91 ^b ± 1.05
	80	52.19 ^{bc} ± 1.16	9.26 ^a ± 0.60	38.72 ^b ± 1.86
ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 5 ขด	70	52.22 ^{bc} ± 1.12	10.69 ^a ± 0.57	50.83 ^a ± 0.79
	80	54.34 ^{ab} ± 0.38	9.39 ^a ± 0.47	50.86 ^a ± 1.05
ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง 15 ขด	70	55.31 ^{ab} ± 1.04	2.12 ^b ± 1.26	32.19 ^c ± 1.10
	80	56.20 ^a ± 0.87	0.53 ^b ± 1.41	32.21 ^c ± 1.03

ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a, b, c, d และ e) แสดงถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

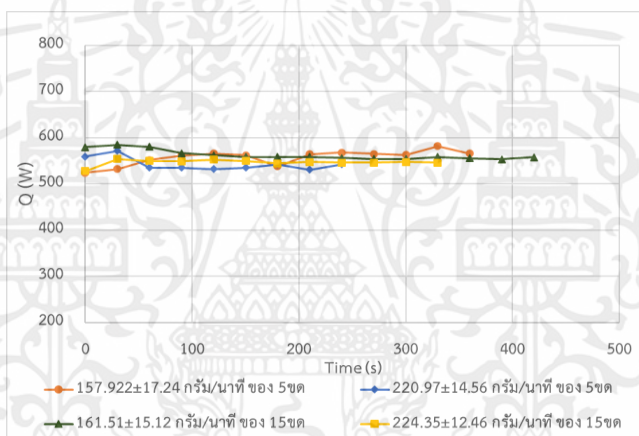
4.8.3. ผลของการเปลี่ยนจำนวนขดต่อซิลิโคนต่อความร้อนในการสกัดเพกทิน

จากการสกัดเพกทินด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่องมีค่าอุณหภูมิขาออกและพลังงานความร้อนที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.9

เมื่อวิเคราะห์ความร้อนที่ใช้ในการสกัดเพกทินโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่องในเชิงสถิติแล้ว พบว่าจำนวนขดของท่อซิลิโคนที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้ความร้อนที่สารละลายเปลือกส้มได้รับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ที่อุณหภูมิการสกัดเดียวกันแต่ความร้อนที่สารละลายเปลือกส้มได้รับเมื่อสกัดที่ 80 องศาเซลเซียส จะมากกว่าการสกัดที่ 70 องศาเซลเซียส



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.9 แสดงค่า (ก) อุณหภูมิขาออกที่ได้จากการสกัดเพกทิน

(ข) พลังงานความร้อนที่สารละลายเพกทินได้รับในการสกัด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การดัดแปลงไมโครเวฟในครัวเรือนเพื่อใช้ในการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องนั้นสามารถดัดแปลงได้โดยใช้งบประมาณไม่มากเมื่อเทียบกับระบบที่ต้องสั่งจ้างผลิต โดยสายล่ำเลียงที่เข้าไปในไมโครเวฟต้องเลือกใช้วัสดุที่เกิดความร้อนต่ำเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ จากการทดลองให้ความร้อนโดยใช้น้ำพบว่าอัตราการไหลที่ลดลง และจำนวนขดท่อซิลิโคนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะเวลาการได้รับความร้อนภายในเครื่องไมโครเวฟเพิ่มขึ้น และระยะช่วงเกลียวที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มระยะช่วงเกลียวทำให้เกิดการไหลแบบทุติยภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น

เมื่อนำไปทดลองให้ความร้อนเพื่อสกัดเพกทิน พบว่าการใช้ไมโครเวฟแบบต่อเนื่องช่วยลดเวลาในการให้ความร้อนได้อย่างมาก อีกทั้งสีของเพกทินที่ได้ก็มีความสว่างกว่าแบบไม่ต่อเนื่องหรือแบบดั้งเดิม โดย %DE ที่ได้บ่งบอกว่าเป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลสูงทั้งหมด

เอกสารอ้างอิง

- จักรกฤษณ์ จิตจำนงค์. 2554. “กรรมวิธีการผลิตข้าวเหนียวกล็องอบพองด้วยเตาอบไมโครเวฟ.”
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร,
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และคณะ. 2556. Dielectric constant / ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก. [ออนไลน์].
เข้าถึงได้จาก : <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0645/dielectric-constant-ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก>.
- วีรชัย อัจหาญ และคณะ. 2556. การศึกษาการใช้เตาอบไมโครเวฟสำหรับงานวิศวกรรมหลังการเก็บ
เกี่ยว. <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0645/dielectric-constant-ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก>. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากสีเขียว. 2554. **ข้อกำหนดฉลากเขียวผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟ**. นนทบุรี :
สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.
- อรพิน ภูมิภมร. 2553. คาร์โบไฮเดรตในอาหาร: โพลีแซคคาไรด์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เกษตร ภาควิชาเทคโนโลยี ชีวภาพ.
- อัจฉรา เหล่าประเสริฐ. 2562. "การสกัดและกลั่นน้ำมันหอมระเหย สารฟีนอลิกทั้งหมด และเพคตินโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วมจากเปลือกส้มเขียวหวาน." *ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้*.
- อัจฉรา เหล่าประเสริฐ และคณะ. 2563. “การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มเขียวหวานโดยเทคนิคไมโครเวฟร่วม.” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 28(10) : 1802-1812
- อารีรัตน์ ซี้อดี. 2560. “การใช้คลื่นไมโครเวฟสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร.” *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 11(1) : 1-14.

- Arrutia, F. et.al. 2020. "Development of a continuous-flow system for microwave-assisted extraction of pectin-derived oligosaccharides from food waste." **Chemical Engineering Journal**. 395(1) : 125056.
- Bagherian, H. et.al.2011. "Comparisons between conventional, microwave- and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit." **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**. 50(11-12) : 1237-1243.
- Coronel, P. et.al. 2003. "Temperature Profiles Within Milk after Heating in a Continuous-flow Tubular Microwave System Operating at 915 MHz." **Journal of Food Science**. 68(6) : 1976-1981.
- Coronel, P. et.al. 2006. "Aseptic Processing of Sweetpotato Purees Using a Continuous Flow Microwave System." **Journal of Food Science**. 70(9) : E531-E536.
- Damilos, S. et.al. 2019. "Experimental and computational investigation of heat transfer in a microwave-assisted flow system." **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**. 142 : 107537.
- Guo, X. et.al. 2012. "Extraction of pectin from navel orange peel assisted by ultra-high pressure, microwave or traditional heating: A comparison." **Carbohydrate Polymers**. 88(2) : 441-448.
- Ibrahim, G.E. et.al. 2012. "Effect of Microwave Heating on Flavour Generation and Food Processing." 17-44. in Cao, W. **The Development and Application of Microwave Heating**. Rijeka : InTech.
- Kumari, M. et.al. 2023. "A Comparative study of the Extraction of Pectin from Kinnow (*Citrus reticulata*) Peel Using Different Techniques." **Food and Bioprocess Technology**.

- Lopez, A.M.L. et.al. 2021. "Heating Device Based on Modified Microwave Oven: Improved to Measure Liquid Temperature by Using FBG Sensors." **Photonics**. 8(104) : 1-16
- Meda, V. et.al. 2005. "Microwave heating and the dielectric properties of foods." 61-75. in Regier, M. and Schubert, H. **The microwave processing of foods**. Cambridge : Woodhead Publishing Limited.
- Metaxas, A.C. and Meredith, R.J. 1983. **Industrial Microwave Heating**. 3rd ed. Hertfordshire : The Institution of Engineering and Technology.
- Pozar, D.M. 1998. **Microwave Engineering**. 4th ed. New Jersey : John Wiley and Sons.
- Regier, M. and Schubert, H. 2005. "Introducing microwave processing of food: principles and technologies." 3-21. in Regier, M. and Schubert, H. **The microwave processing of foods**. Cambridge : Woodhead Publishing Limited.
- Sabliov, C.M. et.al. 2009. "Continuous microwave-assisted isoflavone extraction system: Design and performance evaluation." **Bioresource Technology**. 101(2010) : 2466-2471.
- Shaheen, M.S. et.al. 2012. "Microwave Applications in Thermal Food Processing." 3-16. in Cao, W. **The Development and Application of Microwave Heating**. Rijeka : InTech.
- Shen, L. et.al. 2022. "Analysis of heating uniformity considering microwave transmission in stacked bulk of granular materials on a turntable in microwave ovens." **Journal of Food Engineering**. 319(2022) : 110903
- Tuta, S. and Palazoglu, K. 2016. "Finite element modeling of continuous-flow microwave heating of fluid foods and experimental validation." **Journal of Food Engineering**. 192(2017) : 79-92.

U.S.FDA. 2017. **Microwave Oven Radiation.** [Online]. Available: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/resources-you-radiation-emitting-products/microwave-oven-radiation>.

Yousefi, T. et.al. 2013. “An investigation on microwave heating of flowing water: A numerical study.” **International Journal of Thermal Sciences.** 71(2013) : 118-127

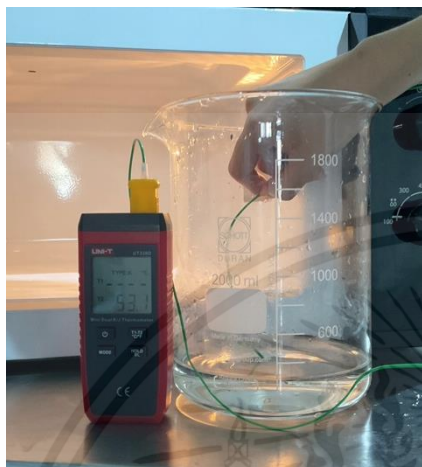
Zhang, Y. et.al. 2020. “Continuous flow microwave system with helical tubes for liquid food heating.” **Journal of Food Engineering.** 294(2021) : 110409



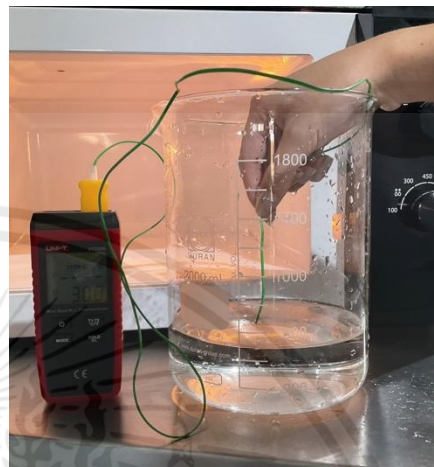


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

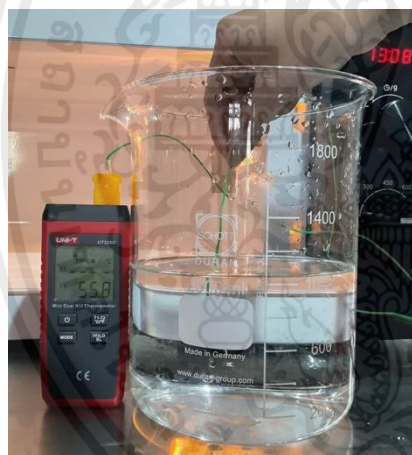
1) หาประสิทธิภาพของเครื่องไมโครเวฟ



น้ำปริมาตร 275 มิลลิลิตร



น้ำปริมาตร 500 มิลลิลิตร



น้ำปริมาตร 1000 มิลลิลิตร



น้ำปริมาตร 2000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การหาตำแหน่งการให้ความร้อนในไมโครเวฟที่ความสูงต่างกัน



เตรียมชีสโดยกระจายให้ทั่วแผ่นพิวเจอร์บอร์ด



ความสูง 2 เซนติเมตร



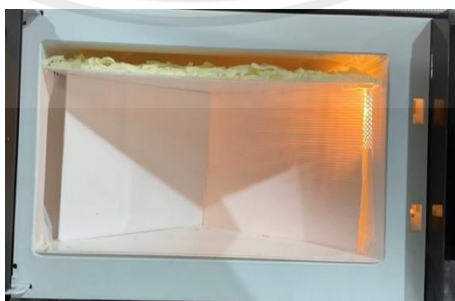
ความสูง 5.75 เซนติเมตร



ความสูง 9.5 เซนติเมตร



ความสูง 13.25 เซนติเมตร



ความสูง 17 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เจาะไมโครเวฟเพื่อเป็นทางเข้าของท่อซิลิโคน



4) ตรวจสอบการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟด้วยเครื่อง Microwave Leakage detector

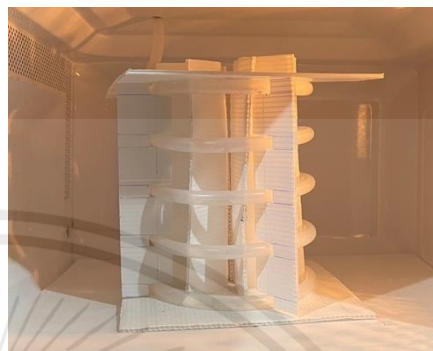
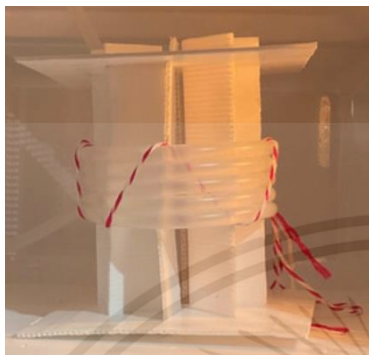


5) ออกแบบแบบจำลองเพื่อใช้ยึดท่อซิลิโคน



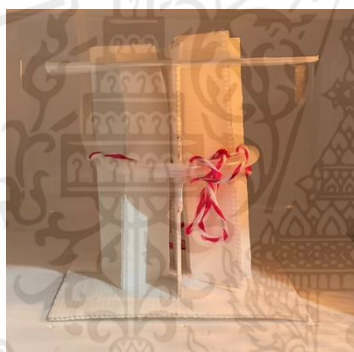
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ระยะเวลาเกลียวที่ใช้ในการทดลอง



ระยะเวลาเกลียว 0.8 เซนติเมตร ระยะเวลาเกลียว 3.3 เซนติเมตร

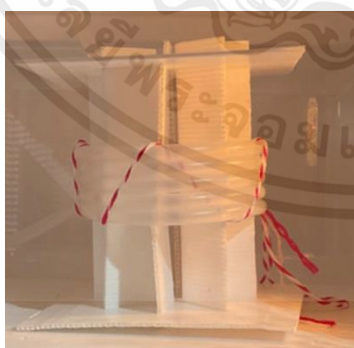
7) การหาค่าพลังงานในระบบไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง โดยการใช้จำนวนขดท่อซิลิโคนที่ต่างกัน



1 ขด



3 ขด



5 ขด



15 ขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ขั้นตอนการสกัดสารสกัดเพกทินจากเปลือกส้ม

8.1 เตรียมวัตถุดิบ



ผสมเปลือกส้มและน้ำกลั่น ปั่นให้ละเอียด



เติมกรดไฮโดรคลอริก วัดค่า pH < 2

8.2 ให้ความร้อนกับสารละลายเปลือกส้มด้วยวิธีที่ต่างกัน



เตาให้ความร้อน (Hot plate)



ไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่อง

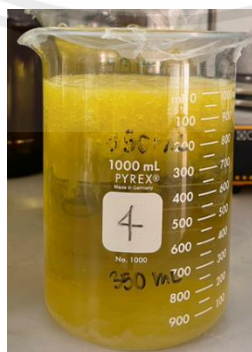


ไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง

8.3 เตรียมสารสกัดเพกทินก่อนเข้าอบ



กรองสารละลาย



ผสมเอทานอล 95% (ทิ้งไว้ 18 ชม)



เพกทินก่อนเข้าอบ (เปียก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 อบเพกทิน



อบเพกทินเป็นเวลา 8 ชั่วโมง



เพกทินแห้ง

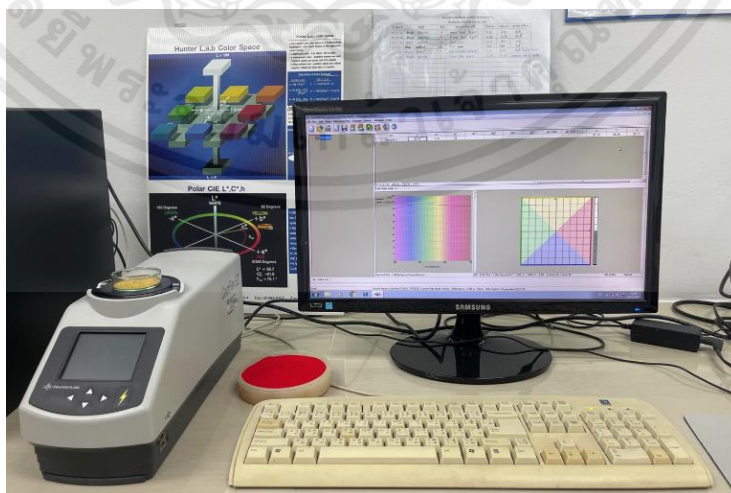


บดเพกทินให้เป็นผง



ผงเพกทิน

8.5 วัดค่าสี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.6 ไทเทรตผงเพกทินเพื่อหาปริมาณเมทอกซิล



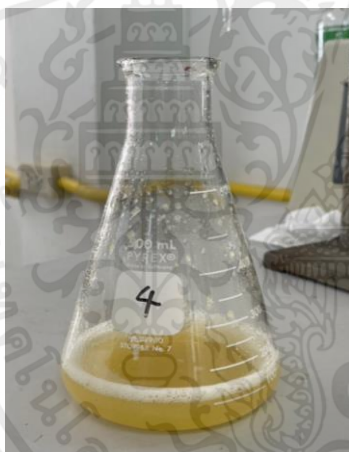
ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



วัดค่า pH เพื่อหาจุดยุติ



เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 ml



ผสมกรดไฮโดรคลอริก 10 ml เขย่าจนสารละลายเปลี่ยนสี



ไทเทรตรอบ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Degree of esterification (%DE) กับปริมาณเมทอกซิลในเพกทิน

DE (%)	Methoxyl (%)
0	0.00
10	1.63
20	3.26
30	4.90
40	6.53
50	8.16
60	9.76
70	11.42
80	13.06
90	14.69
100	16.32

ที่มา : อรพิน ภูมิภมร (2523)