

## รายงานผลงานเรื่องเติมการทดลองที่สิ้นสุด

-----

1. ชุดโครงการวิจัย : -
2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาชุดเครื่องมือและกระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยวสำหรับกลุ่มเกษตรกร
3. ชื่อการทดลอง : วิจัยและพัฒนาหม้อน้ำใช้กับเตาลมร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไซโคลน  
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ)
4. คณะผู้ดำเนินงาน
 

หัวหน้าการทดลอง	สุเทพ กสิกรรม	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
ผู้ร่วมงาน	นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	วิบูลย์ เทพนนท์	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	จิรวุทธิ์ เจียรตระกูล	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	กอบไชย ไกรเทพ	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

### 5. บทคัดย่อ

ในกระบวนการ การแปรรูปเนื้อมะขามเปรี้ยวเป็นน้ำมะขามเข้มข้นและน้ำมะขามพร้อมดื่ม ระดับกลุ่มเกษตรกรที่มีกำลังผลิตได้ถึง 600 ลิตร/ชั่วโมง โดยใช้เครื่องจักรกลในกระบวนการผลิต วัสดุอุปกรณ์ ภาชนะต่างๆ ต้องมีความสะอาด ถูกสุขอนามัย ได้มาตรฐานสากล และเป็นการสนับสนุนให้อุตสาหกรรมอาหารไทยให้ก้าวไกลในตลาดโลก ในกระบวนการผลิตการแปรรูป ต้องใช้น้ำร้อนจำนวนมาก เพื่อผสมในเนื้อมะขามเปียก ทำความสะอาดตัวเครื่องจักรกล อุปกรณ์และภาชนะอื่นๆ เพื่อให้ปลอดภัย เนื้อมะขามที่ได้จะต้องเป็นน้ำมะขามที่ปลอดภัย สะอาด ถูกสุขลักษณะ และได้มาตรฐานสากล ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เนื้อมะขามต่อน้ำร้อนในอัตราส่วน 1:2 ผลิตเป็นน้ำมะขามพร้อมดื่มและในอัตรา 3:1 ผลิตเป็นน้ำมะขามเข้มข้น อัตราผสมโดยน้ำหนัก สำหรับในระดับโรงงานอุตสาหกรรมจะไม่พบปัญหานี้เพราะสามารถใช้หม้อต้มไอน้ำได้ การวิจัยและพัฒนาชุดหม้อต้มน้ำร้อนใช้กับเตาลมร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไซโคลน สามารถใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลได้หลากหลาย เช่น แกลบ ชังข้าวโพดและเห้งน้ำมันสำปะหลัง เตาลมร้อนต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าภาระเตา 400 กิโลวัตต์/ปริมาตรห้องเผาไหม้ 1 ลูกบาศก์เมตร ขนาดตัวเตามีสัดส่วนมาตรฐาน ชุดหม้อต้มน้ำร้อนได้ออกแบบและพัฒนาให้มีความเหมาะสมกับเตาลมร้อนและมีประสิทธิภาพสูงในการถ่ายเทความร้อน ติดตั้งในแนวตั้ง บนเตาลมร้อน ลักษณะของหม้อต้มน้ำร้อนทำจากโลหะปลอดสนิม (สแตนเลส) เป็นรูปทรงกระบอกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 เมตร สูง 2.20 เมตร หนา 3.0 มม. ปริมาณความจุ 1,300 ลิตร ประกอบด้วยท่อเปลวไฟ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 62 มม. ยาว 2.20 เมตร หนา 3.0 มม. จำนวน 61 ท่อน เป็นช่องอากาศเพื่อให้พลังงานความร้อน ผ่านในหม้อต้มน้ำทำให้อุณหภูมิน้ำสูงเร็วขึ้นจากการทดสอบ ต้มน้ำที่ปริมาณ 1,000 ลิตร ถึงอุณหภูมิจุดเดือด ใช้เวลาประมาณ 35 นาที โดยใช้แกลบเป็นวัสดุเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลือง 106 กก./ชม.

### 6. คำนำ

มะขามจัดเป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่ง มีขนาดใหญ่ อายุนับ 100 ปี ปลูกได้ทุกภาคของประเทศ สามารถทนอากาศแห้งแล้งและมลภาวะต่าง ๆ ได้ดีจึงนิยมปลูกตามริมถนน มะขามนับได้ว่าเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน ลำต้นนิยมนำมาทำด้ามมีด, ด้ามจอบ และเขียง เนื่องจากเป็นไม้เนื้อแข็งจึงมีความทนทานสูง ส่วนเนื้อมะขามนอกจากใช้เป็นอาหารและเครื่องดื่มยังเป็นยาระบายอ่อน ๆ ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้สารประเภทกัม (gum) คือ เจลโลส (jellose) ที่ได้จากเนื้อในเมล็ดมะขาม สำหรับเปลือกเมล็ดมะขามมีสีน้ำตาล นอกจากใช้เป็นสีย้อมผ้าได้แล้ว ยังมีสารซึ่งมีคุณสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (antioxidant) สามารถใช้เติมในอาหารและเป็นส่วนผสมในยา หรือเครื่องสำอางได้

การผลิตมะขามเปียกส่วนใหญ่นั้นเป็นการผลิตในระดับครัวเรือน ซึ่งปัจจุบันโรงงานในประเทศมีความต้องการมะขามเปรี้ยวเพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบ โดยแยกเป็นโรงงานที่ผลิตมะขามเปียก และมะขามเปรี้ยวแปรรูปในรูปแบบต่างๆ เช่น มะขามแช่อิ่ม น้ำมะขาม น้ำพริก เป็นต้น

ตลาดในประเทศของมะขามเปียกนั้นเป็นที่นิยมอย่างมาก ทั้งในรูปของเครื่องปรุงรส โดยเฉพาะอาหารไทยๆหลากหลายประเภท นอกจากนี้ยังมีการบริโภคในรูปของผลิตภัณฑ์มะขาม ไม่ว่าจะเป็นมะขามคลุกน้ำตาล มะขามดอง มะขามแช่อิ่ม ท็อฟฟี่มะขาม ฯลฯ ซึ่งปัจจุบันกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรมีการคิดค้นการแปรรูปมะขามเปรี้ยวในรูปแบบต่างๆ รวมทั้งการแปรรูปเป็นเครื่องสำอาง โดยเฉพาะครีมมะขามสำหรับล้างหน้า ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก นับว่าเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับมะขามเปรี้ยวมากกว่าการบริโภคเฉพาะในรูปของมะขามเปียกเท่านั้น คาดว่ามูลค่าตลาดของมะขามเปรี้ยวในประเทศเท่ากับ 200 ล้านบาท ซึ่งผลผลิตมะขามเปรี้ยวร้อยละ 60 จะใช้บริโภคในประเทศ

มะขามเปียกของไทยมีตลาดอยู่กว่า 100 ประเทศทั่วโลก ตลาดส่งออกสำคัญคือ สหรัฐอเมริกามีส่วนแบ่งตลาดร้อยละ 25.1 สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ร้อยละ 16.7 และปากีสถานร้อยละ 15.6 คาดว่าตลาดส่งออกมะขามเปียกจะมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลมาจากความนิยมบริโภคอาหารไทยในต่างประเทศ และการอพยพย้ายถิ่นของแรงงานไทย รวมทั้งนักธุรกิจไปตั้งถิ่นฐานในต่างประเทศด้วย ส่วนประเทศในแถบตะวันออกกลางนิยมบริโภคมะขามเปรี้ยว เนื่องจากรสเปรี้ยวของมะขามเปียกเป็นที่นิยมในการบริโภคเพื่อดับกระหายน้ำได้ นอกจากนี้ทางผู้ประกอบการยังได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการผลิตน้ำมะขามเปียกบรรจุในซองหรือที่เรียกว่าน้ำมะขามเปียกพร้อมปรุง ทั้งนี้เพื่ออำนวยความสะดวกกับผู้บริโภคแล้ว นับว่าเป็นการยกระดับสินค้ามะขามเปียกในด้านความสะดวกและสุขอนามัยในการผลิตและการเก็บรักษาอีกด้วย

มะขามเปียกนั้นได้รับความนิยมมากในการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารไทย เนื่องจากให้รสเปรี้ยวและกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ ราคาไม่แพง อีกทั้งยังมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์มากมาย เช่น วิตามินเอและซี โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และกากใย อีกทั้งยังมีกรดอินทรีย์เช่น กรดทาทาริกและซิตริก มะขามเปียกมีสรรพคุณเป็นยาระบายและช่วยลดความร้อนให้แก่ร่างกาย แต่เนื่องจากการเก็บรักษามะขามเปียกมักประสบปัญหาเรื่องการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อรา

การเก็บมะขามเปียกไม่ให้อันตรายที่ปฏิบัติโดยทั่วไปในระดับครัวเรือน มีวิธีการทำโดยนำมะขามที่แกะเม็ดแล้ว ตากแดดให้แห้ง นำใส่ถุงพลาสติกรัดปากถุงแล้วแช่ตู้เย็นช่องผักธรรมดาสามารถเก็บได้นานเป็นปี อีก

วิธีการเก็บรักษามะขามเปียกคือ นำมะขามเปียกมาแกะเมล็ดออก และผึ่งแดดให้หมาดๆ เก็บโดยป็นเป็นก้อนเล็กๆ ขนาดเท่ากำมือเรียงใส่โหล และโรยเกลือให้ทั่วเพื่อเก็บความชื้น และป้องกันไม่ให้ราขึ้น ปิดฝาให้แน่นไม่ให้ลมเข้า สำหรับในระดับอุตสาหกรรมมะขามเปียกจะถูกซื้อเข้าห้องเย็นในราคาถูกช่วงที่ผลผลิตออกมามากๆ และจะกักตุนไว้ สักระยะ รอให้มะขามเปียกขาดตลาด ก็จะนำออกมาขายในราคาที่สูงขึ้นกว่าเท่าตัวหรือมากกว่า เพราะมะขามเปียกถ้าแช่เย็นจะอยู่ได้เป็นปีๆ แต่ผลผลิตที่ออกจากไร่จะมีแค่ปีละครั้งเท่านั้น ดังนั้นช่วงที่ผลผลิตออกเกษตรกรจะขายได้ราคาต่ำ

หลังการเก็บเกี่ยว มะขามเปรี้ยวฝักแก่ แล้วนำมาแปรรูปในระดับกลุ่มเกษตรกรในรูปของมะขามเปียกที่สามารถเก็บได้นานหรือในรูปของน้ำมะขามเข้มข้น น้ำมะขามพร้อมดื่ม จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้า เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น รวมทั้งในกระบวนการผลิตจะได้เม็ดมะขามสามารถขายได้ โดยมีโรงงานโรงงานผลิตแปงเม็ดมะขามในปทุมธานีเป็นผู้รับซื้อสำหรับราคาซื้อ ณ หน้าโรงงานอาจสูงถึงกก.ละ 8 บาท แปงเม็ดมะขามที่ผลิตได้ทั้งหมดจะส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศญี่ปุ่นในราคาประมาณกก.ละ 25 บาท ซึ่งแปงเม็ดมะขามที่ส่งออกนั้นอยู่ในรูปของแปงดิบ ทางประเทศญี่ปุ่นจะนำไปโม่ดีฟายด์เป็นแปงเม็ดมะขามแปรรูปเพื่อป้อนให้กับอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ เท็กซ์ไทล์ กระดาษ อาหาร เป็นต้น ซึ่งแปงเม็ดมะขามที่แปรรูปพร้อมใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั้น จะมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความเหนียวหนืดให้กับสินค้า เช่นหากเป็นเส้นใยสิ่งทอเส้นใยกระดาษจะมีความเหนียวเพิ่มขึ้น อาหารเช่นซอสจะทำให้รสชาติมีความเหนียวขึ้น สำหรับประเทศไทยยังไม่มีโรงงานโม่ดีฟายด์แปงเม็ดมะขาม ขณะที่โรงงานผลิตแปงเม็ดมะขามขั้นต้นยังมีเพียงโรงงานเพียงแห่งเดียวเท่านั้น อุตสาหกรรมแปงเม็ดมะขามแปรรูปขั้นสูงที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมการแพทย์ได้ ในประเทศไอร์แลนด์ขายได้สูงถึงกก.ละ 10,000 บาท จะเห็นว่ายังแปรรูปขั้นสูงก็ยิ่งเพิ่มมูลค่าได้สูง

ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ประสบความสำเร็จพัฒนา “เครื่องผลิตน้ำมะขามเข้มข้น” ประสิทธิภาพเยี่ยมผลิตน้ำมะขามพร้อมปรุง คุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดระดับสากล พร้อมสนับสนุนอุตสาหกรรมอาหารไทยก้าวไกลในตลาดโลก ประสบความสำเร็จในการพัฒนา “เครื่องผลิตน้ำมะขามเข้มข้น” ให้กับบริษัท บี บี ฟูดส์ โปรดิวซ์ จำกัด ซึ่งเป็นผู้ประกอบการด้านการผลิตน้ำมะขามพร้อมปรุง ส่งออกจำหน่ายไปยังสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศยุโรป เครื่องดังกล่าว มีประสิทธิภาพในการผลิตน้ำมะขามเข้มข้นถึง 600 ลิตร/ชั่วโมงทั้งนี้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ได้จากที่ผ่านจากเครื่องผลิตน้ำมะขามเข้มข้น จะมีความสะอาด ถูกสุขอนามัย และได้มาตรฐานสากล นับเป็นนวัตกรรมที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการสนับสนุนให้อุตสาหกรรมอาหารไทยให้ก้าวไกลในตลาดโลก ในการผลิตจะน้ำมะขามที่ผ่านการละลายกวนผสมกับน้ำร้อนแล้ว ใส่ถังสำหรับป้อนวัตถุดิบของชุดกรองหยาบ จากนั้นน้ำมะขามจะไหลผ่านเข้าไปยังชุดกรองหยาบ ส่วนที่ไม่สามารถผ่านตะแกรงมาได้ ก็จะถูกกวาดโดยใบกวาดไปยังที่ปล่อยกาก สำหรับส่วนที่ถูกบีบผ่านชุดกรองหยาบแล้ว จะถูกส่งผ่านท่อส่งเพื่อไหลต่อไปยังถังสำหรับป้อนวัตถุดิบของชุดกรองละเอียด เพื่อเข้าไปยังชุดกรองละเอียดอีกครั้ง โดยน้ำมะขามที่ถูกบีบผ่านชุดกรองละเอียดแล้ว จะถูกส่งออกไปยังภาชนะรองรับที่จะเก็บน้ำมะขามเพื่อการใช้งานต่อไป โดยน้ำมะขามที่ได้จะเป็นน้ำมะขามที่ปราศจากการปะปนของกาก เปลือก และเมล็ด สะอาด ถูกสุขลักษณะ และได้มาตรฐานสากล เครื่องผลิตน้ำมะขามเข้มข้นนี้สามารถนำมาใช้ในระดับกลุ่มเกษตรกรได้เลยโดยไม่ต้องมีการพัฒนาต่อ แต่มี

ปัญหาในการทำน้ำร้อนซึ่งต้องใช้ปริมาณมากในกระบวนการผลิตโดยใช้น้ำร้อนกวนผสมกับมะขามที่ปอกเปลือกและแกะรกออกแล้วโดยไม่ต้องแกะเม็ดออกในอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก สำหรับในระดับโรงงานอุตสาหกรรมจะไม่พบปัญหานี้เพราะสามารถใช้หม้อต้มไอน้ำได้ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมได้วิจัยและพัฒนาเตาต้มร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไซโคลนเป็นผลสำเร็จ สำหรับใช้สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนของเครื่องอบลดความชื้นเมล็ดพืช หรือเครื่องลดความชื้นผลิตภัณฑ์เกษตรอื่น ๆ สามารถใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลได้หลากหลาย เช่น แกลบ ชังข้าวโพดและเหง้ำมันสำปะหลัง ขนาดตัวเตามีสัดส่วนมาตรฐาน โดยสามารถออกแบบขยายขนาดเตาให้เหมาะสมกับขนาดการใช้ได้ งานวิจัยนี้ได้มีการเผยแพร่และมีการนำไปใช้ประโยชน์โดยโรงงานผู้ผลิตแล้ว ดังนั้นการพัฒนาต่อยอดโดยออกแบบชุดหม้อต้มน้ำใช้กับเตาต้มร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไซโคลนจะเป็นการแก้ปัญหานี้ได้ทางหนึ่ง

## 7. วิธีดำเนินการ

### - อุปกรณ์

1. มะขามฝักแก่แห้ง ชุดหม้อต้มน้ำโดยใช้กับเตาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไซโคลนที่ออกแบบและพัฒนาใช้
2. เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 100 กิโลกรัม
3. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลพิกัด 2 กิโลกรัม ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
4. เครื่องวัด ความเร็วรอบ ความเร็วลม และเครื่องวัดอุณหภูมิ
5. เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital Amp Meter)
6. นาฬิกาจับเวลา
7. เครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบหลายจุด

### - วิธีการ

1. ทดสอบและปรับปรุงแก้ไขต้นแบบชุดหม้อต้มน้ำร้อนใช้กับเตาต้มร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไซโคลน
2. ทดสอบเก็บข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบในพื้นที่เป้าหมาย
3. วิเคราะห์และประเมินผล รายงาน
4. สานิตและเผยแพร่ผลงาน

## 8. ผลการทดลองและวิจารณ์

- 1) ประกอบติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของชุดต้นแบบหม้อต้มน้ำร้อนใช้กับเตาเชื้อเพลิงแบบไซโคลน เช่น เตากำเนิดความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล แบบไซโคลนโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ชุดอุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิง ชุดอุปกรณ์เพิ่มอากาศ (พัดลม ท่อส่งลม) ชุดอุปกรณ์ระบายไอน้ำเชื้อเพลิง ชุดหม้อน้ำร้อน ชุดท่อน้ำเย็นชุดท่อน้ำร้อน ชุดอุปกรณ์วัดระดับน้ำและอุณหภูมิ ชุดอุปกรณ์สวิตช์ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ผนวกรวมกันความร้อน เป็นต้น
- 2) ทดสอบเบื้องต้น ทำการทดสอบเบื้องต้นหลังการติดตั้งชุดต้นแบบ ตรวจสอบแก้ไขจุดบกพร่อง เช่น การทำงานของอุปกรณ์ ชุดป้อนเชื้อเพลิง (แกลบ) ชุดเพิ่มอากาศ เตาเผาไหม้เชื้อเพลิง ชุด



### การติดตั้งเครื่องต้นแบบ



### ติดตั้ง เครื่อง ต้นแบบ



ทดสอบเบื้องต้น

อุปกรณ์ชุดระบายเถ้า





แก้ไข-ปรับปรุง เพื่อทดสอบ  
เก็บข้อมูล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานพบว่าหม้อต้มน้ำ ที่ปริมาณน้ำ 1,000 ลิตร อุณหภูมิ น้ำ 25°C ใช้เวลาในการต้มประมาณ 30 นาที ได้อุณหภูมิ น้ำ 80-100°C โดยต้นแบบที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ และเผยแพร่ได้ ซึ่งตามขนาดของเครื่องต้นแบบนี้ มีความสามารถในการผลิตน้ำร้อนได้ ไม่ต่ำกว่า 8,000 ลิตร/วัน หรือ 1,000 ลิตร/ชั่วโมง เหมาะสำหรับผู้ประกอบการหรือกลุ่มเกษตรกร ที่กำลังผลิต ผลิตภัณฑ์น้ำมะขาม 200-500 ลิตร/ชั่วโมง

ตารางที่ 1.1 ผลการทดสอบหม้อต้มน้ำร้อนใช้กับเตาลมร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไซโคลน

การทดลอง	1	2	3
อัตราป้อนแกลบ กก./ชม.	96	106	127
อุณหภูมิอากาศ, °C	31	30	32
ความชื้นสัมพัทธ์, %	56	54	49
เวลาที่ใช้ในการต้มน้ำเดือด 100°C (นาที)	40	35	25

## 9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุป จากการทดลองเครื่องต้นแบบ



*ข้อเด่น* ประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในเตา ดีมาก ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีมาก อายุการใช้งาน ไม่ต่ำกว่า 5 ปี สามารถเลือกใช้วัสดุเชื้อเพลิงราคาถูกในท้องถิ่นได้ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ

*ข้อควรพิจารณา* ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก ต้องมีพื้นที่ในการติดตั้ง ประมาณ 5 ตารางเมตร อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า ไม่ต่ำกว่า 5 จุด ต้องศึกษาเรียนรู้ก่อนการใช้งาน ต้องมีบริเวณและอาคารโรงเรือน



## รายละเอียดวัสดุ



## ติดตั้งเครื่องต้นแบบ หม้อต้มน้ำเตาชีวมวลแบบไซโคลน







