รายงานแผนงานวิจัย

วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและเครื่องจักรสำหรับแปรรูปพืชผักและสมุนไพร

Research and Development on Technology and Machines for Vegetable and Herb Processing

เวียง อากรชี
Weang Arekornchee

ปี พ.ศ. 2561

รายงานแผนงานวิจัย

วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและเครื่องจักรสำหรับแปรรูปพืชผักและสมุนไพร

Research and Development on Technology and Machines for Vegetable and Herb Processing

เวียง อากรชี
Weang Arekornchee

ปี พ.ศ. 2561

คำปรารภ

รายงานชุดโครงการวิจัยเรื่อง วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและเครื่องจักรสำหรับแปรรูปพืชผักและสมุนไพร ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตั้งแต่ ตุลาคม 2559 - กันยายน 2561 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรต้นแบบพร้อมเทคนิคการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ร่วมกับระบบกวนผสมแม่เหล็ก วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับคัดแยกและบดย่อยเมล็ด พริก และมะเขือเทศ เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับการสกัดสารสำคัญ ด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤต เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องดองผักโดยใช้ความดันอัดอากาศร่วมกับน้ำดองที่ผสมหัวเชื้อน้ำดอง และเพื่อวิจัยและพัฒนาปั๊มลดความดันอากาศแบบ water jet ในการปรับลดความดันอากาศในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งพืชผักและสมุนไพรบางชนิดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง โดยในการทำวิจัยนี้จะเริ่มตั้งแต่การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบ วางแผนการทำการทดลองและเก็บข้อมูล การวิเคราะห์และสรุปผล

เนื้อหาทั้งหมดในรายงานเล่มนี้มีจำนวน 4 บท คือ บทที่ 1 วิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก (บทที่ 1ยังอยู่ในช่วงขอขยายเวลาการทดลอง) บทที่ 2 วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร บทที่ 3 วิจัยและพัฒนาเครื่องดองผักแบบความดันอัดอากาศร่วมกับน้ำดองที่ผสมหัวเชื้อน้ำดอง และบทที่ 4 วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งผักและสมุนไพรที่มีการลดความดันอากาศ

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานเล่มนี้จะมีประโยชน์แก่นักวิจัย นักวิชาการเกษตร ตลอดจนเกษตรกร และผู้สนใจโดยทั่วไป ที่จะได้ศึกษาและนำเทคโนโลยีไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

(นายเวียง อากรชี)

หัวหน้าชุดโครงการวิจัย

15 เมษายน 2562

สารบัญ **หน้า**

กิตติกรรมประกาศ 1
ผู้วิจัย 2
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ 3
บทนำ 5
บทที่ 1 วิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วย
- เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก
(ขอขยายเวลาการทดลอง) 7
บทที่ 2 วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร 8
บทที่ 3 วิจัยและพัฒนาเครื่องดองผักแบบความดันอัดอากาศร่วมกับน้ำดองที่ผสม
- หัวเชื้อน้ำดอง 53
บทที่ 4 วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งผักและสมุนไพรที่มีการลดความดันอากาศ 48
บทสรุปและข้อเสนอแนะ 96
บรรณานุกรม 97
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก 99
ภาคผนวก ข 101

กิตติกรรมประกาศ

ชุดโครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีทั้งนี้เพราะได้รับการสนับสนุนจากหลายฝ่ายด้วยกัน ได้แก่ ผู้ให้ทุนวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เจ้าหน้าที่ของ กรมวิชาการเกษตร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในงานเอกสารและการเงิน และหน่วยงานที่ช่วยสนับสนุนการสร้างและทดสอบโรงเรือนต้นแบบ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม สถาบันวิจัยพืชสวน สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในด้านต่างๆ แต่มิได้เอ่ยนามไว้ ซึ่งล้วนแต่มีส่วนส่งเสริมให้โครงการวิจัยนี้ดำเนินงานจนเป็นผลสำเร็จ ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

เวียง อากรชี	กลวัชร ทิมินกุล	พินิจ จิรัคคกุล
Weang Arekornchee	Kolawachara Thimingoon	Pinij Jirukkakul
ศักดิ์ชัย อาษาวัง	ธนกฤต โยธาทูล	อุทัย ธานี
Sakchai Arsawang	Thanakrit Yothatool	Uthai Thanee
วุฒิพล จันทร์สระคู	อนุชิต ฉ่ำสิงห์	ประยูร เอ็นมาก
Wuttiphol Chansrakoo	Anuchit Chumsing	Prayoon Enmarg

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ก.ก. = กิโลกรัม

ก.ม. = กิโลเมตร

ชม. = ชั่วโมง

ตรม. = ตารางเมตร

ลบ.ม. = ลูกบาศก์เมตร

h = hour (ชั่วโมง)

mm = millimeter (มิลลิเมตร)

hp = horse power (แรงม้า)

% = percent (เปอร์เซ็นต์)

^{o}C = Celsius degree (องศาเซลเซียส)

L/m = Liter/minute (ลิตร/นาที)

w.b. = wet basis (มาตรฐานเปียก)

bar = บาร์ (หน่วยวัดแรงดัน)

mbar = มิลลิบาร์

R.H. = Relative humidity

Kg/m^3 = กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

Sc_t = น้ำหนักเมล็ดพริกรวม (กรัม)

Pc_t = น้ำหนักเปลือกพริกรวม (กรัม)

Sc_1 = น้ำหนักเมล็ดพริกที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Sc_2 = น้ำหนักเมล็ดพริกที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Sc_3 = น้ำหนักเมล็ดพริกติดเปลือก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Sc_4 = น้ำหนักเมล็ดพริกติดเปลือก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Pc_1 = น้ำหนักเปลือกพริก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Pc_2 = น้ำหนักเปลือกพริก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

St_t = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศรวม (กรัม)

Pt_t = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศรวม (กรัม)

St_1 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

St_2 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศที่หลุดจากเปลือกแล้ว แต่ค้างในตระแกรง (กรัม)

St_3 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศหลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเปลือก (กรัม)

St_4 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

St_5 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ค้างในตระแกรง (กรัม)

St_6 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Pt_1 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Pt_2 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ค้างในตระแกรง (กรัม)

Pt_3 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Cc concave clearance ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง

Sc_i inlet side concave clearance ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางเข้า

Sc_o outlet side concave clearance ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางออก

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยจัดเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งจะมีผลผลิตทางการเกษตรจำพวก พืชผัก สมุนไพร เครื่องเทศ เปนจำนวนมากตลอดทั้งปซึ่งเปนรายไดหลักของเกษตรกรไทย และทำรายไดเขาประเทศ ตอปจำนวนมหาศาล การปลูกผักมีพื้นที่ปลูกผัก 3 ล้านไร่ผลผลิต 3.5 ล้านตัน/ปี ผลผลิตจะมีออกสู่ตลาดทั้งปีแต่จะมีปริมาณมากที่สุดในช่วงธันวาคม – กุมภาพันธ์ ปี 2553 ประเทศไทยส่งออกพืชผักและผลิตภัณฑ์มีปริมาณ 526,073 ตัน มูลค่า 20,090 ล้านบาท นำเข้าผักและผลิตภัณฑ์ปริมาณ 440,314 ตัน มูลค่า 9,165 ล้านบาท แนวโน้มความต้องการใช้พืชผักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้องการสำหรับใช้บริโภคภายในประเทศเพิ่มขึ้น (กระแสเรื่องสุขภาพ) ปริมาณการส่งออกพืชผักสดและผลิตภัณฑ์ผักเพิ่มขึ้นทุกปี ผักที่สำคัญได้แก่ พริก มะเขือเทศ แตงกวา แครอท เป็นต้น และที่จะลืมไม่ได้คือ ผักพื้นบ้านต่างๆที่มีคุณค่าทั้งเป็นอาหารและยา ส่วนสมุนไพรที่สำคัญได้แก่ ขิง ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด กระชายดำ พริกถือเป็นผักชนิดหนึ่ง ซึ่งตะวันฉาย (2557) ได้กล่าวถึงพริกว่า พริกเป็นส่วนประกอบอาหารประจำวันของชาติไทยมาอย่างยาวนาน จากสถิติคนไทยบริโภคพริก ประมาณ 1 กิโลกรัม ต่อคน ต่อปี อาจเรียกได้ว่าคนไทยขาดพริกไม่ได้ ประเทศไทยเป็นแหล่งปลูกและผลิตพริกสูงสุดแห่งหนึ่งในภูมิภาคอาเซียน มีพื้นที่ปลูกพริกไม่น้อยกว่า 474,717 ไร่ต่อปี แหล่งปลูกขนาดใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือ ภาคเหนือและภาคตะวันออก พริกจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้แก่ชุมชนท้องถิ่น รวมทั้งภาคอุตสาหกรรมส่งออก ทุกวันนี้ พริกที่ปลูกได้ในเมืองไทย จะใช้บริโภคเป็นพริกสดภายในประเทศถึง 87% หรือประมาณ 530,000 ตัน ในปี 2553 ประเทศไทยมีมูลค่าการค้าพริกโดยรวม 3,324.67 ล้านบาท ทั้งนี้ มาจากรายได้จากการส่งออกถึง 2,597.95 ล้านบาท โดยส่วนใหญ่เกิดจากการส่งออกซอสพริกเป็นหลัก รองลงมาคือ พริกแห้ง/พริกป่น กลุ่มสุดท้ายคือ พริกสด หรือแช่แข็ง โดยมูลค่าการส่งออกพริกของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสนใจเกี่ยวกับสมุนไพรอย่างมาก ทำให้ตลาดมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว และยังมีอัตราการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสมุนไพรที่ได้รับการดัดแปลงหรือแปรรูปแล้ว สำหรับประเทศไทยก็เช่นเดียวกันมีกระแสนิยมสมุนไพรเติบโตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในปี 2550 2551 และ 2552 มีการนำเข้าเพิ่มขึ้นทุกปี คิดเป็นมูลค่า 314 375 และ 377 ล้านบาท และมีมูลค่าการส่งออก 228 261 และ 333 ล้านบาท ตามลำดับ (น.ส.พ. กสิกร, 2553) สมุนไพรที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งได้แก่ขิง สำหรับการส่งออกขิงตั้งแต่ปี 2554 2555 และ 2556 มีมูลค่า 802.72 676.12 และ 265.07 ล้านบาท ตามลำดับ (สำนักส่งเสริมการเกษตร, 2557)

แตเนื่องจากผลผลิตที่ออกมามากในแตละฤดูกาล ทำใหมีขอจำกัดสำหรับระยะเวลาในการจำหนายและการเก็บรักษา ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแกผลผลิตและสงผลถึงราคาที่ตกต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ผักและสมุนไพร หรือยืดระยะเวลาการเก็บรักษาผลผลิตให้มีคุณภาพยาวนานขึ้น เชน การสกัดเอาสารสำคัญมูลค่าสูงมาทำยา การแปรรูปผลผลิตเพื่อรอการจำหนาย ในรูปของ การดองถนอมอาหาร การอบแห้ง เป็นต้น แต่วิธีการดังกล่าวยังขาดเทคโนโลยีและเครื่องจักรที่จะใช้ให้เกิดประสิทธิภาพ และราคาไม่แพงมากนัก จึงเป็นที่มาของ แผนงานวิจัยวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและเครื่องจักรสำหรับแปรรูปพืชผักและสมุนไพร ซึ่งประกอบด้วยโครงการวิจัยที่มารองรับเพื่อสร้างวิธีการเครื่องจักรสำหรับ การสกัดสารน้ำมันหอมระเหยจากพืชผักบางชนิดที่สำคัญได้แก่ พริก มะเขือเทศ งานวิจัยที่จะแปรรูปถนอมอาหารในรูปของการดองที่มีประสิทธิภาพใช้เวลาน้อย และการอบแห้งที่สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้อย่างดี ทั้งนี้เพราะว่าพืชผักและสมุนไพรหลายชนิดจะมีสารที่มีประโยชน์ เช่น วิตามินต่าง เป็นต้น มักถูกทำลายหรือลดน้อยลงจากการโดนความร้อนจากการอบแห้ง

วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย

- เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรต้นแบบพร้อมเทคนิคการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ร่วมกับระบบกวนผสมแม่เหล็ก

- เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับคัดแยกและบดย่อยเมล็ด พริก และมะเขือเทศ เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับการสกัดสารสำคัญ ด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤต

- เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องดองผักโดยใช้ความดันอัดอากาศร่วมกับน้ำดองที่ผสมหัวเชื้อน้ำดอง

- เพื่อวิจัยและพัฒนาปั๊มลดความดันอากาศแบบ water jet ในการปรับลดความดันอากาศในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งพืชผักและสมุนไพรบางชนิด ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

แผนงานวิจัยนี้เป็นไปตามยุทธศาสตร์การวิจัยและพัฒนาของกรมวิชาการเกษตร (พ.ศ.2559-2563) เพื่อพัฒนาการผลิต โดยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตร เพื่อเพิ่มผลตอบแทนทางด้านการเกษตร และลดต้นทุนทางการเกษตร และตอบสนองต่อการจัดการพืชพลังงาน (อ้อย มันสำปะหลัง และปาล์ม) โดยเป้าหมายของการวิจัยจะเน้นศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันสินค้าเกษตรของประเทศ ซึ่งจะตอบสนองต่อยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2259) การสร้างศักยภาพและความสามารถเพื่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจในด้านยุทธศาสตร์การปรับโครงสร้างของเศรษฐกิจ ตอบสนองต่อนโยบายและยุทธศาสตร์ การวิจัยของชาติ (พ.ศ.2555-2559) ในแง่ของการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาการผลิตพืชเศรษฐกิจเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและนำไปสู่การแข่งขันและการพึ่งพาตนเอง เช่น ข้าว (รวมถึงข้าวพื้นเมือง) ยางพารา ข้าวโพดปาล์มน้ำมัน อ้อย มันสำปะหลัง พืชผัก ผลไม้ และไม้ดอกไม้ประดับ และตอบสนองต่อนโยบายของรัฐในแง่ของนโยบายเศรษฐกิจ โดยเร่งรัดการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเร่งรัดการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตรและพัฒนาระบบโลจิตสติกส์ทางการเกษตร เพื่อเพิ่มผลตอบแทนทางด้านการเกษตรโดยส่งเสริมการผลิตพืชเศรษฐกิจสำคัญให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ จัดหาปัจจัยการผลิตและโครงสร้างพื้นฐานการผลิตที่มีคุณภาพและมีความจำเป็น พัฒนาเทคโนโลยีการเก็บรักษาและระบบโลจิตสติกส์ทางการเกษตรเพื่อลดต้นทุนทางการเกษตร รวมทั้งการจัดพื้นที่การผลิตพืชอาหารและพืชพลังงานให้เหมาะสม มีประสิทธิภาพ และมีราคาที่เหมาะสมและเป็นธรรมสำหรับพืชพลังงาน เพื่อสร้างความมั่นคงด้านรายได้ให้แก่เกษตรกร

บทที่ 1

โครงการวิจัยที่ 1 วิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก

หัวหน้าโครงการ นายพินิจ จิรัคคกุล สังกัด ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น

ระยะเวลาที่ดำเนินการ ปีที่เริ่มต้น 2559 ปีที่สิ้นสุด 2561

ขอขยายเวลาทำการทดลองเก็บข้อมูล

บทที่ 2

วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร

Research and Development on Crushing Machines for Vegetables and Herbs

ผู้วิจัย

ศักดิ์ชัย อาษาวัง Sakchai Arsawang

เวียง อากรชี Weang Arekornchee

วุฒิพล จันทร์สระคู Wuttiphol Chansrakoo

อนุชิต ฉ่ำสิงห์ Anuchit Chumsing

ประยูร เอ็นมาก Prayoon Enmarg

คำสำคัญ

พริก มะเขือเทศ บด ผง ผัก สมุนไพร

Chilli, Tomato, Crush, Powder, Vetgetable, Herbs

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เพื่อการเตรียมเปลือกและเนื้อไปสกัดสารไลโคปีนโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤตเป็นตัวทำละลาย โดยเครื่องต้นแบบประกอบด้วย ถังป้อน ลูกตีแยกเมล็ดแบบทรงกระบอกที่มีใบตีแยกทำจากเหล็กแบนจำนวน 4 แถว มีตะแกรงรูกลมล้อมรอบด้านล่างของลูกตี เพื่อแยกให้เมล็ดตกลงไปที่ช่องรับเมล็ด ส่วนเปลือกและเนื้อถูกลำเลียงไปที่ช่องรับเปลือก ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 3 แรงม้า ทดสอบ 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วเชิงเส้นปลายใบตี 5 ระดับ (12.8 17.7 22.5 25.6 และ 27.1 เมตร/วินาที) ระยะห่างแนวดิ่งปลายใบตีกับตะแกรงล่าง 3 ระดับ (10 20 และ 30 มิลลิเมตร) และเส้นผ่าศูนย์กลางรูตะแกรง 2 ระดับ (5 และ 8 มิลลิเมตร) ทดสอบมะเขือเทศ 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ท้อ พันธุ์สีดา และพันธุ์อีเป้อ ผลการทดสอบพบว่าที่ความเร็วเชิงเส้นปลายใบตี 22.5 เมตร/วินาที รูตะแกรง 8 มิลลิเมตร และระยะห่างแนวดิ่งใบตีกับตะแกรงล่าง 10 และ 20 มิลลิเมตร ทำให้เมล็ดแยกออกจากเปลือกและเนื้อได้ดี ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 82.1 % ถึง 93.1%

Abstract

The purpose of this research was to research and develop of Tomato Seed Separator. The mixed of tomato crust and tissue was prepared for Lycopene extraction by means of carbon dioxide at the critical point as a solvent. The prototype consists of a feed hopper, a separated cylinder with 4 rows of flat steel peg tooth and a round hole sieve; installed below to separate the seed into the seed picker while the mixed of crust and tissue was transported to a crust and tissue receptacle. The 3-phase-3 horse powers motor was used. The 5-peg tooth tip speed (12.8, 17.7, 22.5, 25.6 and 27.1 m/s), 3 bottom concave clearances (10, 20 and 30 mm) and 2 sieve hole diameters (5 and 8 mm) were tested on three tomato varieties; Sida, Tho and Eper. The results indicated that the tip speed of 22.5 m/s, 8 mm sieve hole diameter and the distance between the blade and the bottom sieve of 10 and 20 mm allowed the practical tested with the value of the seeds separated were ranged from 82.1% to 93.1%.

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสนใจเกี่ยวกับสมุนไพรอย่างมาก ทำให้ตลาดมีการเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยมีมูลค่าถึงปีละ 2 ล้านล้านบาท ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสมุนไพรที่ได้รับการดัดแปลงหรือแปรรูปแล้ว สำหรับสมุนไพรในประเทศไทยมีกระแสนิยมที่เติบโตอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี 2550 2551 และ 2552 มีการนำเข้าเพิ่มขึ้นทุกปี คิดเป็นมูลค่า 314 375 และ 377 ล้านบาท และมีมูลค่าการส่งออก 228 261 และ 333 ล้านบาท ตามลำดับ (น.ส.พ. กสิกร, 2553) ส่วนผลิตผลจากพืชผักก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน ซึ่งผักนั้นเป็นผลิตผลจากพืชที่ได้จากส่วนต่างๆ เช่น ใบ ดอก หรือผล ผักมีใยอาหารสูง มีวิตามินและแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ผักยังเป็นวัตถุดิบสำคัญในการแปรรูปเพื่อการถนอมอาหารมากมาย เช่น บรรจุกระป๋อง (canning) ทำแห้ง (dehydration) แช่เยือกแข็ง (freezing) ดองสามรส (pickling) ดองเกลือ (salting) และทอดกรอบ (deep frying) เป็นต้น มะเขือเทศและพริกจัดเป็นพืชผักเศรษฐกิจสำคัญที่สร้างรายได้แก่ชุมชนท้องถิ่นรวมทั้งภาคอุตสาหกรรมส่งออก ซึ่งประเทศไทยเป็นแหล่งปลูกและผลิตพริกสูงสุดแห่งหนึ่งในภูมิภาคอาเซียน มีพื้นที่ปลูกไม่น้อยกว่า 474,717 ไร่ต่อปี โดยใช้บริโภคเป็นพริกสดภายในประเทศถึง 87 % หรือประมาณ 530,000 ตัน ในปี 2553 ประเทศไทยมีมูลค่าการค้าพริกโดยรวม 3,324.6 ล้านบาท ทั้งนี้มาจากรายได้จากการส่งออกถึง 2,597.9 ล้านบาท และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยส่วนใหญ่เกิดจากการส่งออกซอสพริกเป็นหลัก รองลงมาคือ พริกแห้ง พริกป่น และกลุ่มสุดท้ายคือ พริกสดหรือแช่แข็ง ซึ่งมีมูลค่า 93.1 ล้านบาท (ตะวันฉาย, 2557) ส่วนการส่งออกมะเขือเทศสดหรือแช่แข็งในปี 2556 มีมูลค่า 11.4 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557)

ประโยชน์ที่สำคัญของพืชผักอีกอย่างหนึ่งคือสารสำคัญ ซึ่งปัจจุบันสารสำคัญที่สกัดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมีความต้องการเป็นอย่างมากทั้งในภาคอุตสาหกรรมยาและอุตสาหกรรมอาหาร เช่น สารแคโรทีนอยด์และวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มแดง สารโพรแอนโธไซยานิดินส์จากเมล็ดองุ่น สารแคปไซซินอยด์จากพริก และสารไลโคปีนในน้ำมันเมล็ดมะเขือเทศเป็นต้น สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2557) ระบุว่านอกจากใช้พริกประกอบอาหารแล้วยังนำสารเผ็ดของพริกที่ทำให้เกิดรสเผ็ดร้อนหรือแคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) ที่อยู่ในไส้ของผลพริกไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยามากขึ้นซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มเช่น ผลิตภัณฑ์ในรูปแคปซูลที่ใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในกระเพาะอาหาร และผลิตภัณฑ์ในรูปโลชั่นและครีมที่ใช้เป็นยาทาภายนอกบรรเทาปวดเมื่อย ปวดตามข้ออักเสบ และยาฉีดพ่นเพื่อรักษาโรคไซนัส ตลอดจนเป็นผลิตภัณฑ์ป้องกันสัตว์กัดแทะสายไฟ และไฟเบอร์ออปติกส์ต่างๆ ที่ฝังใต้ดินเป็นต้น ซึ่งปัจจุบันสารเหล่านี้ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ การสกัดสารสำคัญจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาตินั้นมีอยู่หลายวิธี โดยแต่ละวิธีใช้เครื่องสกัดที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่สกัดและความต้องการของคุณภาพของสารสำคัญ เช่น การสกัดโดยใช้เครื่องหีบหรือเครื่องบีบ การสกัดโดยการกลั่นจากไอน้ำ (Distillation) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) ซึ่งการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤตมาเป็นตัวทำละลายเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สำคัญ โดยจะสกัดสารสำคัญจากพืชผัก เช่นจากเมล็ดและไส้ของพริก และเมล็ดมะเขือเทศ ส่วนเปลือกหรือเนื้อที่แยกออกมาสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้ เช่นเปลือกพริกสามารถนำไปผสมกับพริกป่นเพื่อเพิ่มปริมาณหรือปรับความเผ็ดตามต้องการ ส่วนเนื้อมะเขือเทศนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตซอสในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้ แต่เนื่องจากเครื่องจักรที่จะใช้ในการบดย่อยและแยกเมล็ดออกจากเปลือกหรือเนื้อ แม้มีการผลิตบ้างแล้วในต่างประเทศ แต่ยังไม่มีการใช้งานแพร่หลาย อาจเนื่องจากมีราคาแพง หรืออาจยังไม่เหมาะสมกับการใช้งาน

จากปัญหาต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม จึงได้วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรตีแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก และเครื่องจักรตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เพื่อเตรียมสำหรับการนำไปสกัดแยก

สารสำคัญให้มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมกับการใช้งานและมีราคาถูก จะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพในการผลิต เป็นการส่งเสริมการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากผลิตผลการเกษตรที่มีจำนวนมากในประเทศและลดการนำเข้าเครื่องจักรและวัตถุดิบจากต่างประเทศได้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร จำนวน 2 เครื่อง ได้แก่ ต้นแบบเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดและไส้ของพริกแห้งออกจากเปลือก และต้นแบบเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดมะเขือเทศสดออกจากเนื้อ เพื่อการเตรียมเมล็ดหรือไส้ไปเป็นวัตถุดิบสำหรับนำไปสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤต

ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร มีเป้าหมายในการวิจัยและพัฒนาต้นแบบเครื่องจักรสองเครื่องได้แก่ ต้นแบบเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดและไส้พริกออกจากเปลือก (ปีงบประมาณ 2559 ถึง 2560) และต้นแบบเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเนื้อ (ปีงบประมาณ 2561) เพื่อใช้เมล็ดและไส้พริก และเมล็ดมะเขือเทศเป็นวัตถุดิบสำหรับการนำไปสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤต ซึ่งพริกที่ใช้จะเป็นพริกแห้ง และมะเขือเทศสด

การทบทวนวรรณกรรม

การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร ที่สามารถแยกเมล็ดออกจากเปลือกหรือเนื้อจะประยุกต์ใช้หลักการทำงานของเครื่องจักรหลายระบบ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง มีหลักการทำงานดังนี้

เครื่องบดย่อยพริกและแยกเมล็ดออกจากเปลือกจะประกอบด้วยชุดบดย่อยในแนวนอนที่ล้อมรอบด้วยตะแกรงรูกลม และชุดแยกเมล็ดออกจากเปลือกที่ติดตั้งในแนวตั้ง โดยชุดบดย่อยจะแบ่งเป็นสองช่วง ช่วงแรกจะใช้หลักการทำงานของเครื่องบดแบบใบค้อน หรือชุดใบตีหมุน (hammer mill) เพื่อตีผลพริกให้แตกหรือลดขนาดและตีให้เมล็ดแยกจากเปลือกในขั้นแรก ช่วงถัดไปจะใช้หลักการทำงานของเครื่องนวดแบบไหลตามแกน (Axail Flow Thresher) เพื่อปั่นหรือนวดเมล็ดแยกออกจากเปลือกให้ดีขึ้นและลำเลียงเข้าสู่ชุดแยกเมล็ดออกจากเปลือกที่ติดตั้งถัดไป ซึ่งจะมีชุดใบค้อนหรือใบตีและใบอุ้มลมที่ประกอบเป็นชั้นๆกับเพลาแนวตั้ง และมีตะแกรงรูกลมล้อมรอบ เมล็ดจะถูกใบค้อนตีให้ลอดผ่านตะแกรง และร่วงลงสู่อุปกรณ์กักเก็บเมล็ดที่อยู่ด้านนอก ส่วนเปลือกซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรงไม่สามารถลอดผ่านไปได้จะตกลงสู่อุปกรณ์กักเก็บเปลือกที่อยู่ด้านล่างต่อไป

เครื่องบดย่อยมะเขือเทศที่สามารถแยกเมล็ดออกจากเนื้อ จะประกอบด้วยชุดบดย่อยที่วางในแนวนอนและถูกล้อมรอบด้วยตะแกรงรูกลม โดยส่วนบดย่อยช่วงแรกใช้หลักการทำงานของเครื่องบดแบบใบค้อน (hammer mill) เพื่อตีปั่นและฉีกให้มะเขือเทศเป็นชิ้นเล็กลง ชุดบดย่อยในช่วงถัดไปจะใช้หลักการทำงานของเครื่องนวดแบบไหลตามแกน (Axail Flow Thresher) ซึ่งจะตีปั่นให้เมล็ดแยกออกจากเนื้อและหลุดลอดรูตะแกรงลงสู่อุปกรณ์รองรับเมล็ด ส่วนเนื้อจะค้างอยู่ในตะแกรงและถูกขับออกอีกด้านหนึ่งลงสู่อุปกรณ์รองรับเนื้อหรือเปลือกต่อไป

เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการบดย่อย มีหลักการทำงานดังนี้

เครื่องลดขนาดวัสดุ

การลดขนาดโดยวิธีทางกลเป็นการทำให้วัสดุที่เป็นของแข็งมีอนุภาคลดลงโดยคุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมซีเมนต์ เหมืองแร่ ปุ๋ย เซรามิกส์ และอาหาร สำหรับการลดขนาดในอุตสาหกรรมอาหารนั้นมีวัตถุประสงค์โดยทั่วไปคือ ช่วยให้ได้ขนาดของอาหารตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น การบดเครื่องเทศ การบดน้ำตาลเป็นต้น ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุซึ่งเป็นประโยชน์ในการดำเนินการต่อไป เช่นการอบแห้งเนื่องจากทำให้อบแห้งวัสดุได้เร็วขึ้น ช่วยให้สามารถสกัดแยกส่วนหรือสารที่ต้องการได้ดีขึ้นในกระบวนการสกัดสาระสำคัญ ช่วยเพิ่มความสะดวกในการขนถ่าย ช่วยให้อาหารถูกย่อยได้ง่ายขึ้น

วิธีการลดขนาดอาจจำแนกตามลักษณะผลิตผลภายหลังการลดขนาดได้ดังนี้

วิธีการตัด การสับ และการหั่นเป็นชิ้นบาง เช่นการหั่นผลไม้เพื่อบรรจุกระป๋อง การตัดผักผลไม้เป็นลูกเต๋า การสับเนื้อสัตว์เป็นต้น

วิธีการบดจนเป็นแป้งหรือเพสท์ (Paste) เช่นการบดเครื่องเทศ การบดแป้งเป็นต้น

วิธีการอิมัลซิฟิเคชั่นและโฮโมจิไนเซชั่น เป็นการลดขนาดที่ไม่เข้ากันของของเหลว เช่นเม็ดไขมันในน้ำ การทำไอศครีม ครีม และเนยเป็นต้น

หลักการทำงานของเครื่องลดขนาดวัสดุอาจจำแนกตามลักษณะของแรงกระทำได้เป็น 4 แบบ คือการบีบอัด การกระแทก การขัดสี และการตัด ซึ่งอาจใช้หลักการเดียวหรือหลายหลักการร่วมกันในเวลาเดียวกันก็ได้ จากหลักการทำงานทั้งสี่แบบมีการออกแบบกลไกการทำงานหลากหลายแบบ จึงอาจจำแนกประเภทของเครื่องลดขนาดวัสดุตามลักษณะกลไกการทำงานได้ดังนี้

เครื่องบดวัสดุแบบลูกกลิ้ง (Roller mill): (ภาพที่ 2.1) โดยลูกกลิ้งอาจมีผิวเรียบ หรือเป็นร่อง จำนวนสองตัวขึ้นไปหมุนทิศทางตรงข้ามกันและออกแรงกดหรือบีบจนวัสดุแตก การปรับความเร็วของลูกกลิ้งที่ต่างกันทำให้เกิดแรงเฉือนร่วมด้วน ขนาดของผลผลิตขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง

เครื่องบดวัสดุแบบชุดใบตีหมุน (Hammer Mill): (ภาพที่ 2.2) ซึ่บดหรือซี่ตีหมุนตีวัสดุในห้องบดที่มีผนังบางส่วนหรือทั้งหมดเป็นตะแกรง วัสดุถูกลดขนาดโดยแรงจากการฟาดตีและการขัดสีจนมีขนาดเล็กพอที่จะลอดหรือร่วงผ่านรูตะแกรงออกนอกห้องบด ซี่อาจมีทั้งแบบยึดแน่น และแบบเหวี่ยงตัวได้เพื่อลดการเสียหายจากการที่วัสดุที่มีความแข็งปนเข้าไปในห้องบด ขนาดของผลิตผลขึ้นอยู่กับขนาดรูตะแกรง

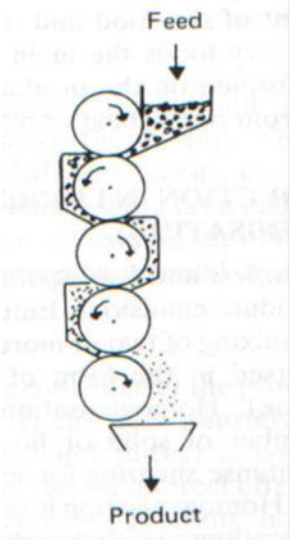
เครื่องบดวัสดุแบบจาน (Disc Mill): (ภาพที่ 2.3) โดยทั่วไปจานบดสองจานที่ติดตั้งห่างกันเล็กน้อยและหมุนด้วยความเร็วต่างกัน หรืออาจมีเพียงหนึ่งจานแต่อาศัยผนังห้องบดแทนอีกจานหนึ่ง วัสดุที่อยู่ระหว่างจานบดทั้งสองจะถูกลดขนาดโดยการเฉือนและการขัดสีระหว่างวัสดุกับผิวของจานจนมีขนาดเล็กพอที่จะร่วงผ่านรูตะแกรง ซึ่งติดตั้งอยู่รอบแผ่นจานบด ขนาดของผลิตผลจะขึ้นกับระยะห่างระหว่างจานบดและขนาดของรูตะแกรง

เครื่องบดวัสดุแบบซี่ (Pin Mill): (ภาพที่ 2.4) โดยทั่วไปประกอบด้วยจานบดสองจานหรือหนึ่งจานเช่นกันแต่มีเล็ก ๆ บนผิวหน้าของจานบด ซึ่งอาจเป็นซี่กลม ซี่เหลี่ยม และซี่มีคมคล้ายใบมีด วัสดุที่อยู่ระหว่างจานบดจะถูกบดโดยแรงกระแทกของซี่ จนมีขนาดเล็กพอที่จะลอดผ่านรูตะแกรงได้ ขนาดของผลผลิตขึ้นกับขนาดของรูตะแกรง

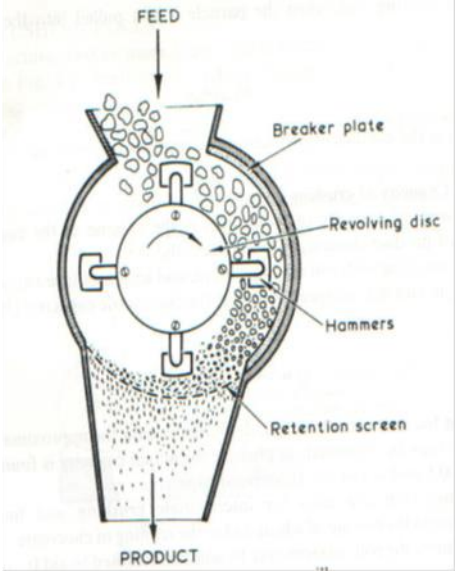
เครื่องบดแบบเกลียวอัด (Cutting Mill): (ภาพที่ 2.5) โดยทั่วไปประกอบด้วยเกลียวลำเลียง ใบมีดตัดและแผ่นหน้าแว่นหรือตะแกรงบด วัสดุจะถูกดันโดยเกลียวลำเลียงให้ไปที่ช่องทางออกที่มีใบมีดหมุนตัดให้วัสดุมีขนาดเล็กลงจนลอดผ่านรูตะแกรงได้ ขนาดของผลิตผลขึ้นอยู่กับขนาดของรูตะแกรง มักใช้บดวัสดุที่อ่อนนุ่ม มีความชื้นสูง เช่นเนื้อ ผัก เป็นต้น

เครื่องบดวัสดุแบบบอลมิลล์ (Ball Mill): (ภาพที่ 2.6) โดยทั่วไปประกอบด้วยถังทรงกระบอกที่หมุนเคลื่อนที่รอบแกนในแนวนอน ภายในถังมีโลหะกลมเส้นผ่าศูนย์กลางราว 25-150 มม. เคลื่อนที่ตามการหมุนของถังแล้วตกลงมากระแทกวัสดุที่กลิ้งอยู่ด้านล่าง วัสดุถูกลดขนาดด้วยแรงเฉือนและแรงกระแทก

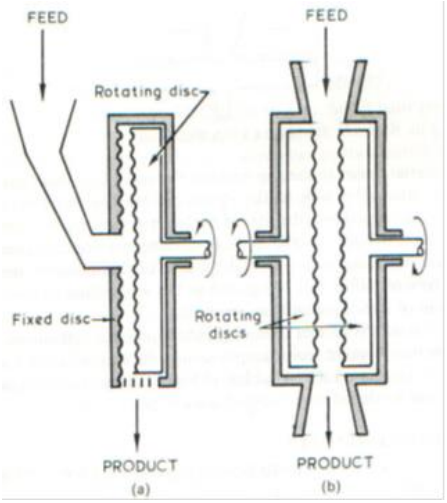
เครื่องบดวัสดุแบบร็อดมิลล์ (Rod Mill): โดยทั่วไปมีกลไกคล้ายเครื่องบดวัสดุแบบบอลมิลล์ แต่ใช้แท่งโลหะแทนโลหะกลม โดยแท่งโลหะนี้กระจายตลอดความยาวเครื่อง ทำให้แก้ปัญหาข้อจำกัดที่เกิดกับโลหะกลมได้ คือในกรณีโลหะกลมวัสดุที่อยู่ระหว่างช่องว่างของโลหะกลมจะไม่ถูกบด



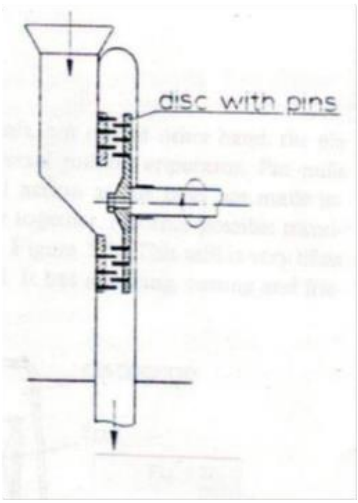
ภาพที่ 2.1 Roller mill



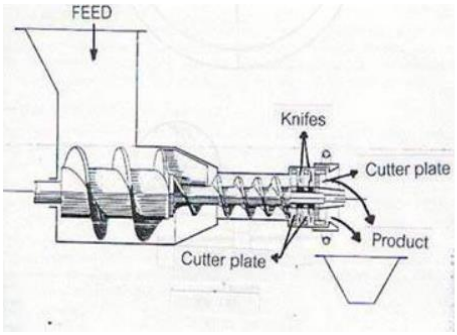
ภาพที่ 2.2 Hammer mill



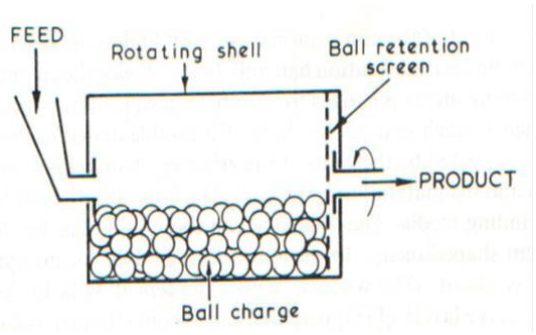
ภาพที่ 2.3 Disc mill



ภาพที่ 2.4 Pin mill

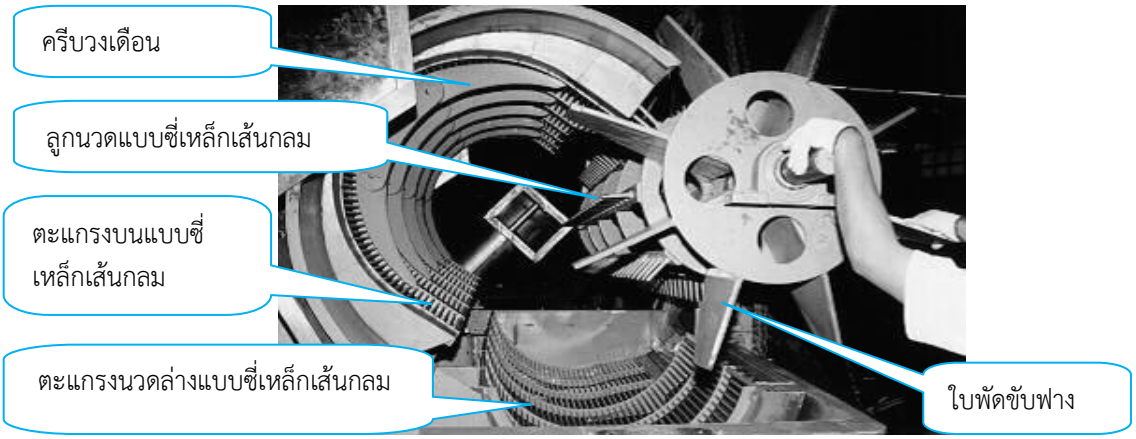


ภาพที่ 2.5 Cutting mill

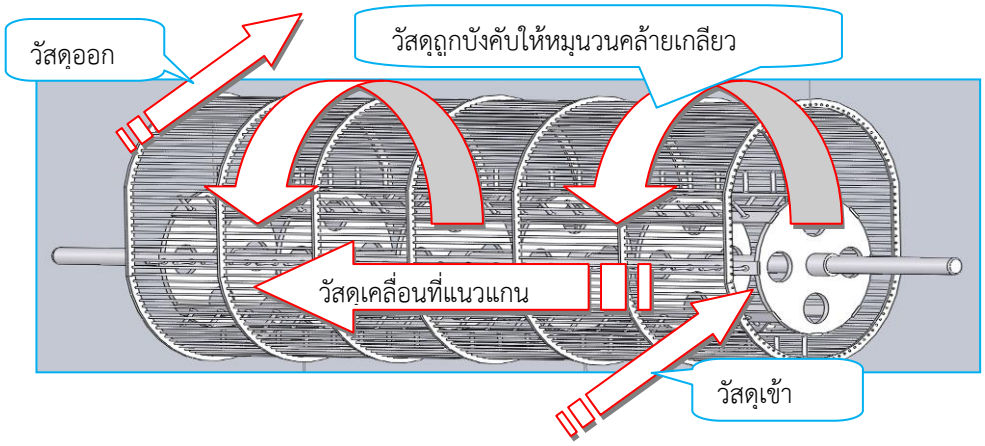


ภาพที่ 2.6 Ball mill

ชุดนวดข้าวแบบไหลตามแกน ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน (ภาพที่ 2.7) คือ ลูกนวดแบบซี่เหล็กเส้นกลม ตะแกรงบนและตะแกรงนวดล่างแบบซี่ตะแกรงเหล็กเส้นกลม ครีบวงเดือน และใบพัดขับฟาง โดยลูกนวดมีหน้าที่พาต้นข้าวที่อยู่ในห้องนวดเคลื่อนที่ไปบนตะแกรงนวด เพื่อให้ต้นข้าวถูกฟาดตีจนเมล็ดหลุดออกจากรวง ส่วนครีบวงเดือนที่ติดอยู่ตะแกรงส่วนบนเป็นอุปกรณ์ในการบังคับทิศทางให้ต้นข้าวเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนของลูกนวด และฟางข้าวที่เหลือจะถูกส่งออกจากตัวเครื่องเกี่ยวนวดด้วยใบพัดขับฟาง ซึ่งรูปแบบการนวดแบบไหลตามแกนมีการเคลื่อนที่ของวัสดุในห้องนวดดังแสดงใน ภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.7 ชุดนวดแบบไหลตามแกน



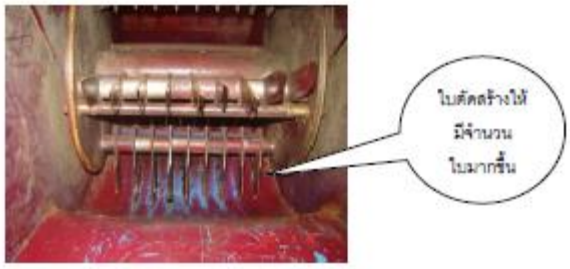
ภาพที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของวัสดุในชุดนวดแบบไหลตามแกน

ผักและสมุนไพรมีความเกี่ยวข้องกัน ซึ่งพิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2557) กล่าวไว้ว่า ผักคือผลิตผลจากพืชที่ใช้เป็นอาหาร ได้จากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ใบ ดอก ผล การจำแนกพืชผักนั้น อาจจำแนกตามส่วนของการใช้ประโยชน์ ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต และผักพื้นบ้านของไทย การจำแนกตามส่วนของการใช้ประโยชน์ได้แก่ ราก เช่น ผักกาด หัวแครอท หัวผักกาดแดง เทอร์นิพ พาร์สนิพ การใช้ประโยชน์จากลำต้น เช่น หน่อไม้ฝรั่ง หน่อไม้ กะหล่ำปม มันฝรั่ง เผือก กลอย มันมือเสือ ผักบุ้งจีน ผักกะเฉด การใช้ประโยชน์จากใบ เช่น คะน้า กะหล่ำปลี กุ่ยช่าย ผักกาดขาวปลี ผักกวางตุ้ง ผักกาดเขียวปลี ผักหวาน ตำลึง ผักกาดหอม หอมหัวใหญ่ กระเทียม กระเทียมต้น หอมแดง กุยช่าย ชะอม ผักบุ้งจีน ต้นหอม ผักชี การใช้ประโยชน์จากดอก เช่น บรอกโคลี กะหล่ำดอก ดอกโสน ดอกแค ขี้เหล็ก ดอกฮ้วน การใช้ประโยชน์จากผล เช่น ถั่วลันเตา ถั่วฝักยาว ถั่วแขก ถั่วเหลืองฝักสด ข้าวโพดฝักอ่อน ข้าวโพดหวาน กระเจี๊ยบเขียว แตงกวา แตงเทศ มะระ มะระขี้นก ฟักเขียว ฟักทอง พริก พริกหวาน มะเขือเทศ มะเขือเปราะ มะเขือพวง มะเขือม่วง มะเขือยาว การจำแนกพืชผักตามอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต ได้แก่ ผักที่ชอบอากาศเย็นซึ่งเป็นกลุ่มผักที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศประมาณ 16-18 องศาเซลเซียส พืชผักในกลุ่มนี้จึงเหมาะที่จะปลูกในฤดูหนาว หรือพื้นที่สูงที่มีอากาศเย็นกว่าพื้นที่ราบ ทุกๆ ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล 100 เมตร อุณหภูมิจะลดลง 1 องศาเซลเซียส พืชผักกลุ่มนี้ได้แก่ บรอกโคลี กะหล่ำดอก กะหล่ำดาว กะหล่ำปลี กะหล่ำปม ผักกาดเขียวปลี ผักกาดหอม แครอท หน่อไม้ฝรั่ง คะน้า กระเทียม คื่นฉ่าย ผักกาดหัว หอมหัวใหญ่ ผักโขม ถั่วลันเตา เทอร์นิพ อองดิฟ พาร์สเล่ย์ พาร์สนิพ ชาด เซเลอรี่ เฟนเนล และมันฝรั่ง เป็นต้น ผักที่ต้องการอากาศอบอุ่น เป็นกลุ่มผักที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 18-30 องศาเซลเซียส พืชผักในกลุ่มนี้ ได้แก่ แตงกวา แตงไทย มะเขือเทศ มะเขือยาว พริก พริกหวาน ฟักทอง มะระ บวบ น้ำเต้า ฟักเขียว ถั่วเขียว ข้าวโพดฝักอ่อน ผักพื้นบ้านของไทย ได้แก่ ผักหวาน ผักแพว สะเดา ดอกฮ้วน ส่วนสมุนไพร คือ ผลไม้ ผัก พืช เครื่องเทศ สัตว์ ที่มีสรรพคุณทางยาในการรักษาโรคที่พบได้ตามธรรมชาติ โดยสามารถใช้ส่วนต่าง ๆ เช่น ราก ผล ใบ ลำต้น ดอก เปลือกหรืออื่น ๆ ไปรับประทานได้หรือแปรรูปเป็นยาได้ ส่วนสมุนไพรนั้นตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถานพ.ศ. 2525 หมายถึง พืชที่ใช้ทำเป็นเครื่องยา แต่ในทางการค้า สมุนไพรมักจะถูกดัดแปลงในรูปแบบต่างๆ เช่น ถูกหั่นให้เป็นชิ้นเล็กลง บดเป็นผงละเอียด หรืออัดเป็นแท่ง แต่ปัจจุบันมีผู้พยายามศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนายาสมุนไพรให้สามารถนำมาใช้ในรูปแบบที่สะดวกยิ่งขึ้น เช่น นำมาบดเป็นผงบรรจุแคปซูล ตอกเป็นยาเม็ด เตรียมเป็นครีมหรือยาขี้ผึ้งเพื่อใช้ทาภายนอก เป็นต้น ในการศึกษาวิจัยเพื่อนำสมุนไพรมาใช้เป็นยาแผนปัจจุบันนั้นได้มีการวิจัยอย่างกว้างขวาง โดยพยายามสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรเพื่อให้ได้สารที่บริสุทธิ์ ศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมี ฟิสิกส์ของสารเพื่อให้ทราบว่าเป็นสารชนิดใด ตรวจสอบฤทธิ์ด้านเภสัชวิทยาในสัตว์ทดลองเพื่อดูให้ได้ผลดีในการรักษาโรคหรือไม่เพียงใด ศึกษาความเป็นพิษและผลข้างเคียง เมื่อพบว่าสารชนิดใดให้ผลในการรักษาที่ดี โดยไม่มีพิษหรือมีพิษข้างเคียงน้อยจึงนำสารนั้นมาเตรียมเป็นยารูปแบบที่เหมาะสมเพื่อทดลองใช้ต่อไป ส่วนการแปรรูปสมุนไพรนั้น เพ็ญนภา (2545) ได้กล่าวไว้ว่าหมายถึง ส่วนของพืชสมุนไพรที่นำมาผสม ปรุง หรือแปรสภาพอื่นๆ เช่น บดละเอียด สกัด จนไม่เห็นรูปแบบเดิมตามธรรมชาติ เพื่อใช้ประโยชน์หลายอย่างได้แก่ 1). เพื่อเป็นอาหาร ส่วนใหญ่มักแปรรูปเป็นเครื่องดื่มสมุนไพร เครื่องดื่มที่เป็นผงสำเร็จรูปสมุนไพร หรือที่มักเรียกกันติดปากว่า “ชาสมุนไพร” หรือ “ชาชงสมุนไพร” แต่ในทางกฎหมายคำว่า “ชา” จะหมายถึง ใบชา เท่านั้น เช่น ใบชาจีน ใบชาฝรั่ง เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการแปรรูปสมุนไพรเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในรูปของแคปซูล ซึ่งกฎหมายจัดให้เป็น “อาหารที่มีวัตถุประสงค์” ที่ต้องขออนุญาตผลิต กรณีที่เป็นโรงงานและขออนุญาตใช้ฉลากอาหาร เช่น กระเทียมแคปซูล สารสกัดจากผลส้มแขก เป็นต้น ส่วนอาหารแปรรูปจากสมุนไพรอื่นๆ เช่น แยมจากกระเจี๊ยบแดง ขิงดองบด น้ำพริกข่า ถือว่าเป็นอาหาร

สำเร็จรูปที่พร้อมบริโภคได้ทันที 2). เพื่อเป็นยา ซึ่งยาสมุนไพร หมายถึง พืชที่นำมาใช้เป็นยา ที่ยังไม่ได้ผสม ปรุง หรือแปรรูป เช่น สมุนไพรอบแห้ง หรือสมุนไพรบดยาที่ยังคงเห็นสภาพเดิมได้ ยาจากสมุนไพรสูตร (ตัวยา) เดี่ยว หมายถึง ยาที่ผลิตมาจากสมุนไพรเพียง 1 ชนิด ที่นำมาแปรรูปทำเป็นยาในรูปแบบต่างๆ เช่น ยาเม็ด ยาลูกกลอน ยาผง ยาชง ยาแคปซูล ยาน้ำมัน ยาขี้ผึ้ง ยาครีม เป็นต้น และยาจากสมุนไพรสูตรตำรับหมายถึง ยาที่ผลิตจากมาสมุนไพรมากกว่า 1 ชนิดนำมาผสมรวมกันและแปรรูปทำเป็นยาในรูปแบบต่างๆ เช่น ยาเม็ด ยาลูกกลอน ยาผง ยาชง ยาแคปซูล ยาน้ำมัน ยาขี้ผึ้ง ยาครีม เป็นต้น 3). ผลิตภัณฑ์สมุนไพรเพื่อสุขภาพอื่นๆ เช่น แชมพูผสมสมุนไพร สบู่เหลวผสมสมุนไพร ฯลฯ โดยนำสมุนไพรมาแปรรูปและใช้เป็นส่วนผสมกับส่วนประกอบทางเคมีหรืออื่นๆ

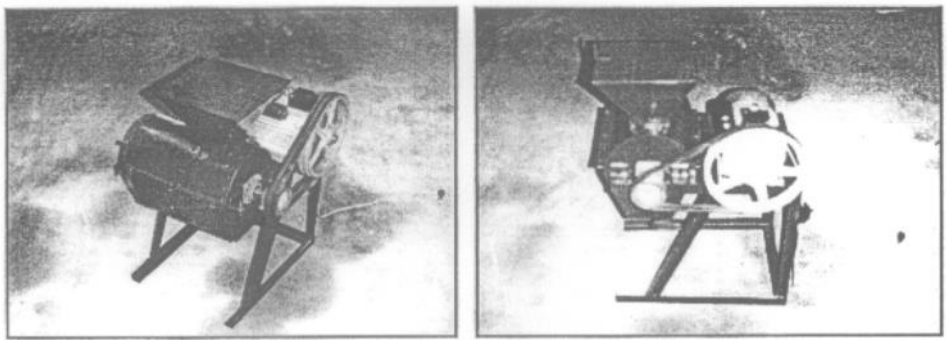
การวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องบดย่อยลดขนาดนั้น พอพันธ์. (2551) ได้พัฒนาเครื่องหั่นผักตบชวาจากเครื่องต้นแบบซึ่งมีชุดเพลาใบมีดหมุนตัดอยู่ภายในชุดโครง ภาพที่ 2.9-2.10 โดยทดสอบกับผักตบชวาสด พบว่าความเร็วรอบที่เหมาะอยู่ที่ 1,900 รอบต่อนาที อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 1.9 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ประสิทธิภาพการหั่น 93.58 % มีความสามารถในการทำงาน 476 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อทดสอบกับผักตบชวาที่ไม่สดพบว่าความเร็วรอบที่เหมาะอยู่ที่ 1,750 รอบต่อนาที อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ประสิทธิภาพการหั่น 94.09 % และมีความสามารถในการทำงาน 586 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และแนะนำว่าหากตากแดดเพื่อลดความชื้นผักตบชวาทำให้เครื่องหั่นมีความสามารถในการทำงานที่ดีขึ้น จากงานวิจัยนี้พบว่า แม้จะใช้หลักการบดย่อยแบบใช้ใบมีดหมุนตัด แต่ยังไม่ได้ออกแบบเพื่อให้แยกเมล็ดออกจากเปลือกหรือเนื้อเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตต่อไปได้

ภาพที่ 2.9 เครื่องหั่นผักตบชวาที่พัฒนา



ภาพที่ 2.10 แสดงใบมีดหั่นผักตบชวา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบดย่อยโดยใช้หลักการของใบตีย่อยแบบใบมีดหมุนอีกเรื่องหนึ่งได้แก่งานวิจัยของ มณฑล. (2544) ซึ่งได้ทดสอบการบดของเครื่องบดจำนวน 4 แบบ ได้แก่ แบบล้อบดในถังปิด แบบเกลียวอัด แบบชุดใบตีหมุน แบบซี่ และการบดโดยแรงงานคน พบว่าพริกที่บดได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิต 1,208 1,135 1,398 957 และอยู่ในช่วง 766 – 979 ไมโครเมตร ตามลำดับ หลังจากนั้นได้พัฒนาเครื่องบดพริกเพื่อให้มีสมรรถนะในการทำงานที่ดีขึ้น โดยเลือกออกแบบเป็นเครื่องบดพริกขนาดเล็ก ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 2 แรงม้า 1 เฟส เป็นต้นกำลัง และใช้หลักการของเครื่องบดแบบ Hammer Mill โดยใช้ซี่บดใบมีดเพื่อเพิ่มแรงตัดเฉือนและเพิ่มอัตราการทำงาน ออกแบบถังป้อนและห้องบดให้สามารถลดการฟุ้งกระจายระหว่างการบด ซึ่งเครื่องบดที่พัฒนาขึ้นดังภาพที่ 2.11 มีอัตราการทำงานมากกว่าเครื่องบดพริกแบบ Mincer และ Burr Mill ที่ผู้แปรรูปพริกป่นนิยมใช้ประมาณ 2-4 เท่า แต่ก็ยังพบว่ายังไม่ได้ทำการวิจัยเพื่อให้สามารถแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกเป็นเพียงแต่ตีป่นให้ได้พริกที่มีความละเอียดของพริกป่นที่เป็นที่ต้องการเท่านั้น



ภาพที่ 2.11 เครื่องบดพริกที่พัฒนาขึ้น ของ มณฑล. (2544)

งานวิจัยอีกเรื่องหนึ่งซึ่งสามารถบดย่อยวัสดุและบดจนเป็นผงละเอียดได้แก่ งานวิจัยของ เวียง และคณะ (2549) ซึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องบดแห้งทุเรียนต้นแบบ พร้อมอุปกรณ์การป้อนเพื่อควบคุมอัตราการบดละเอียดให้สามารถทำการบดได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ดังภาพที่ 2.12 โดยเครื่องบดต้นแบบประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ชุดบดหยาบ ที่ออกแบบสร้างเป็นเครื่องบดแบบแฮมเมอร์มิลล์ใบมีดยึดติดกับเพลา ตีผ่านตะแกรงรูกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรู 3 มิลลิเมตร รอบการหมุนใบมีด 500 รอบต่อนาที ต้นกำลัง 2 แรงม้า บดทุเรียนที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร จากนั้นส่งเข้าอุปกรณ์การป้อนแบบเกลียวลำเลียงเข้าเครื่องบดละเอียด โดยเครื่องบดละเอียดต้นแบบที่ออกแบบพัฒนาเป็นเครื่องบดแบบ Pin mill มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 240 มิลลิเมตร มีซี่ฟันบนจานบดหมุน (Rotor) 3 วงรอบ ซี่ฟันบดยึดอยู่กับที่ (Stator) 2 วงรอบ ลักษณะซี่ฟันบดได้ออกแบบเป็น 2 ลักษณะ คือแบบเป็นแท่งสี่เหลี่ยม และแบบเป็นแท่งกลม ทั้ง 2 แบบ มีการทำงานในส่วนจานบดหมุนด้วยความเร็ว 2,900 รอบต่อนาที มอเตอร์ต้นกำลัง 3 แรงม้า ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบดใกล้เคียงกัน เครื่องบดแห้งทุเรียนต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีอัตราการบดที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 80 กิโลกรัมต่อชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เน้นการละเอียดและนำผงไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้แก่ งานวิจัยของ เวียง และคณะ (2551) ซึ่งได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือแปรรูปเพื่อผลิตแป้งถั่วเขียวซึ่งเป็นขั้นตอนที่ สำคัญที่จะเตรียมวัตถุดิบเพื่อนาไปผลิตเป็นวุ้นเส้น โดยเครื่องบดแป้งถั่วเขียวที่ออกแบบพัฒนาขึ้นนี้เป็นแบบ Pin mill แสดงดังภาพที่ 2.13 มีขนาดจานบดเส้นผ่าศูนย์กลาง 240 มิลลิเมตร มีซี่ฟันบดเรียงเป็นวงกลมบนจานหมุน 3 แถว (Rotor) วางสลับกับซี่ฟันบดยึดอยู่กับที่ 2 แถว (Stator) จานบดหมุนด้วยความเร็ว 2,900 รอบต่อนาที มอเตอร์ต้นกำลัง 3 แรงม้า จากการทดสอบบดแป้งถั่วเขียวพบว่ามีอัตราการบด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แป้งถั่วเขียวที่ได้จากการบดมีความละเอียด 125 เมซ เมื่อนำไปแปรรูปผลิตเป็นวุ้นเส้นได้วุ้นเส้นคุณภาพดีไม่แตกต่างจากการใช้วิธีบดแบบเดิมซึ่งใช้แรงงานคนในการบด ซึ่งยังเห็นได้ว่าเครื่องจักรที่ทำการวิจัยยังไม่มีการทำงานที่สามารถแยกเมล็ดออกจากเนื้อหรือเปลือกเช่นเดียวกัน

ภาพที่ 2.12 เครื่องบดแห้งทุเรียนต้นแบบ **ภาพที่ 2.13** เครื่องมือแปรรูปเพื่อผลิตแป้งถั่วเขียว

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเครื่องบดย่อยยังทำงานได้เฉพาะบดย่อยให้ได้ขนาดและบดย่อยเป็นผงเพื่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น แต่ยังไม่มีเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดออกจากเปลือกหรือเนื้อได้ จึงมีแนวคิดที่จะวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องจักรที่มีความสามารถดังกล่าว

ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพรที่สามารถแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกและเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพรที่สามารถแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เพื่อนำไส้และเมล็ดพริกเปลือกและเนื้อมะเขือเทศไปเป็นวัตถุดิบสำหรับการนำไปสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤตนั้น ในปีงบประมาณ 2559 เป็นการหาข้อมูลสมบัติทางกายภาพของพริกและมะเขือเทศเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ แล้วจึงทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเบื้องต้นโดยใช้ข้อมูลทางวิศวกรรม และทำการทดสอบเบื้องต้น ในปีงบประมาณ 2560 เป็นขั้นตอนหลังจากการนำข้อมูลสมบัติทางกายภาพของพริกมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ และทำการทดสอบเบื้องต้นแล้ว โดยในปีงบประมาณ 2560 เป็นขั้นตอนการทดสอบและปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้เครื่องต้นแบบสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD)

การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร ในปีงบประมาณ 2561 เป็นการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องจักรบดย่อยมะเขือเทศที่สามารถแยกเมล็ดออกจากเนื้อ โดยเป็นขั้นตอนการนำข้อมูลสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ สร้าง ทดสอบและปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้เครื่องต้นแบบสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) รายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

1. การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพรที่สามารถแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก

มีวิธีการทดลองดังนี้

1 ศึกษาข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของพริกและมะเขือเทศ ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของผลและเมล็ด มุมเท ความหนาแน่นรวม สัดส่วนระหว่างเปลือกและเมล็ด เพื่อใช้ประกอบการออกแบบเครื่องจักร

2 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบที่สามารถแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกให้เหมาะสมกับความต้องการในการนำเมล็ดไปสกัดด้วยเครื่องสกัดสารสำคัญแบบ Supercritical carbon dioxide ที่มีเงื่อนไขการออกแบบให้มีปริมาตรการสกัด 2,000 มิลลิลิตรต่อครั้ง

3 ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไขเบื้องต้น ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยหลักในการทดสอบได้แก่ อัตราการป้อนวัตถุดิบ (กิโลกรัม/ชั่วโมง) ความเร็วเชิงเส้นของใบตีแยกของชุดแยกเมล็ดออกจากเปลือก (เมตร / วินาที) และขนาดรูตะแกรง (มม.)

4 ปรับปรุงแก้ไขการออกแบบ และการทำงานของกลไกและอุปกรณ์ประกอบต่างๆให้เหมาะสม ซึ่งจะได้ผลการแก้ไขการออกแบบและทำงานของกลไกและอุปกรณ์ประกอบต่างๆที่ทำงานได้ตรงกับความต้องการในการออกแบบ

5 ปรับปรุงแก้ไข สร้างเครื่องต้นแบบและกลไก อุปกรณ์ประกอบต่างๆเพิ่มเติม ให้ได้ตามผลการวิเคราะห์จากการทดสอบ

6 ทดสอบการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบที่ปรับปรุงแล้วกับพริกอย่างน้อย 3 พันธุ์ เพื่อให้ได้ผลการทดสอบปัจจัยต่างๆ พร้อมสภาวะการทำงานที่เหมาะสม โดยปัจจัยหลักในการทดสอบได้แก่ อัตราการป้อนวัตถุดิบ (กิโลกรัม/ชั่วโมง) ความเร็วเชิงเส้นการทำงานของชุดบดย่อยและชุดตีแยกเมล็ดออกจากเปลือก (เมตร/วินาที) ขนาดรูตะแกรง (มิลลิเมตร.)

7 วิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร

8 สรุปผลการวิจัย

การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลประกอบด้วย น้ำหนักของเมล็ดและเปลือกทั้งที่ลอดผ่านตะแกรง ค้างในตะแกรง เวลาในการทำงาน และค่าการใช้กระแสไฟฟ้า โดยมีค่าชี้ผลการทำงานได้แก่ ความสามารถในการทำงาน (กิโลกรัม ผลสด / ชั่วโมง) ความสามารถในการแยกเมล็ดออกจากเปลือก (%) และพลังงานจำเพาะ (kW-h / kg) รายละเอียดการบันทึกข้อมูล การคำนวณ และการนิยามค่าต่างๆ มีดังนี้

$$Sct = Sc1 + Sc2 + Sc3 + Sc4 \quad (1)$$

$$Pct = Pc1 + Pc2 \quad (2)$$

$$Sc1\ (\%) = Sc1 * 100 / Sct \quad (3)$$

$$Sc2\ (\%) = Sc2 * 100 / Sct \quad (4)$$

$$Sc3\ (\%) = Sc3 * 100 / Sct \quad (5)$$

$$Sc4\ (\%) = Sc4 * 100 / Sct \quad (6)$$

Pc1 (%) = Pc1 * 100 / Pct (7)

Pc2 (%) = Pc2 * 100 / Pct (8)

เมื่อ

Sct = น้ำหนักเมล็ดพริกรวม (กรัม)

Pct = น้ำหนักเปลือกพริกรวม (กรัม)

Sc1 = น้ำหนักเมล็ดพริกที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Sc2 = น้ำหนักเมล็ดพริกที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Sc3 = น้ำหนักเมล็ดพริกติดเปลือก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Sc4 = น้ำหนักเมล็ดพริกติดเปลือก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

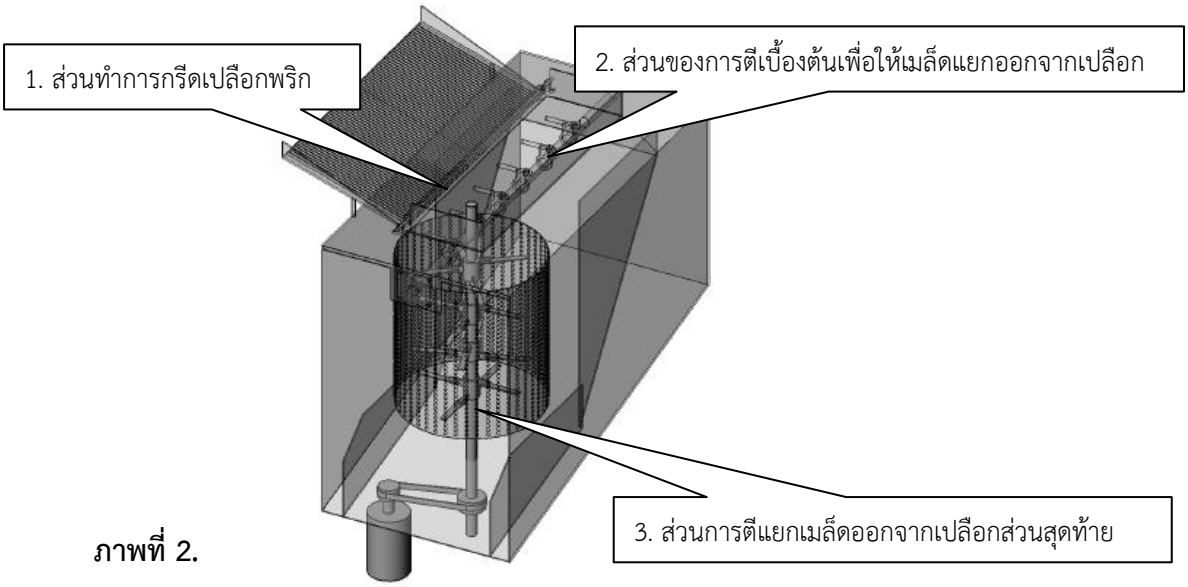
Pc1 = น้ำหนักเปลือกพริก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Pc2 = น้ำหนักเปลือกพริก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

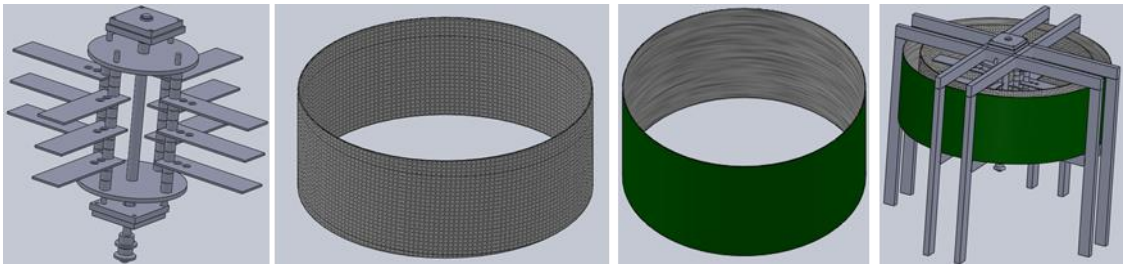
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เครื่องแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือก

ภาพที่ 2.14 การใช้อุปกรณ์วัดมุมเทหรือมุมการไหลของผลพริกแห้ง



ภาพที่ 2.



ภาพที่ 2.16 การออกแบบชิ้นส่วนสำคัญของเครื่องแยกเมล้ดพริกออกจากเปลือก

ภาพที่ 2.17 ต้นแบบเบื้องต้นเครื่องแยกเมล็ดพริกเพื่อการทดสอบ

ภาพที่ 2.18 ผลการตีแยกเมล็ดพริกที่ 21.4 ม./วินาที

ภาพที่ 2.19 ผลการตีแยกเมล็ดพริกที่ 32.2 ม./วินาที

ภาพที่ 2.20 การตีแยกเมล็ดพริกที่ 42.5 ม./วินาที (ไม่กรีดเปลือกก่อนการตีแยกเมล็ดจากเปลือก)

ภาพที่ 2.21 การตีแยกเมล็ดพริกที่ 42.5 ม./วินาที

ภาพที่ 2.22 อุปกรณ์ปรับความเร็วมอเตอร์ขับ

ภาพที่ 2.23 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า

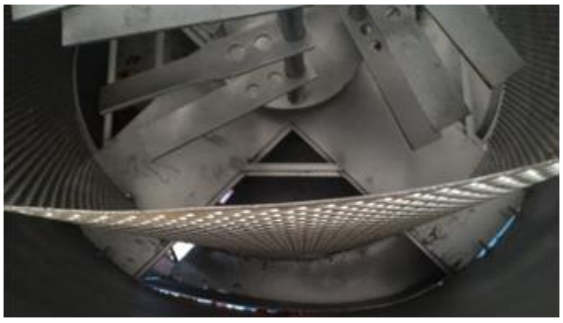
ภาพที่ 2.24 ใช้อุปกรณ์วัดความเร็วรอบเพลา

ภาพที่ 2.25 การทดสอบการป้อนและจับเวลา

ภาพที่ 2.26 พริกพันธุ์แดงจินดา

ภาพที่ 2.27 พริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮอต

ภาพที่ 2.28 ช่องรับการแยกพริกและเปลือกของเครื่อง



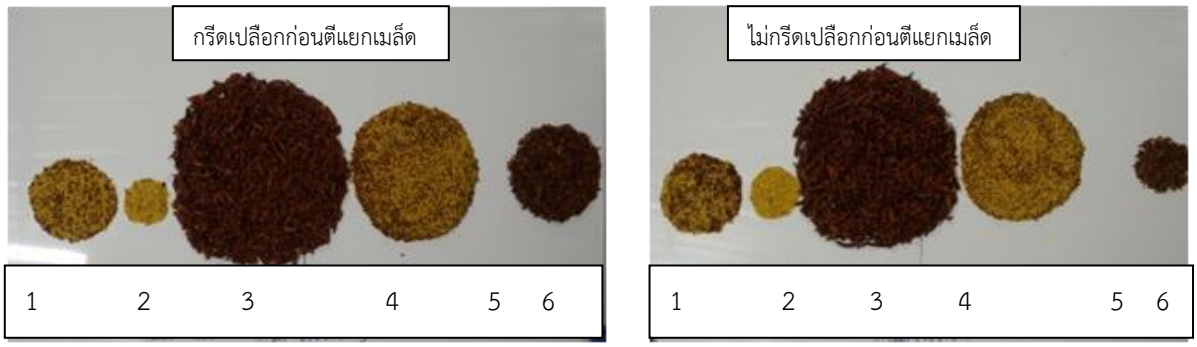
ภาพที่ 2.29 สภาพภายในของเครื่องหลังการแยก

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการทดสอบเครื่องแยกเมล็ดพริกแห้งออกจากเปลือก ไตรมาส 1 ปีงบ 60 เมื่อใช้ตะแกรงรู ขนาด 5 มิลลิเมตร

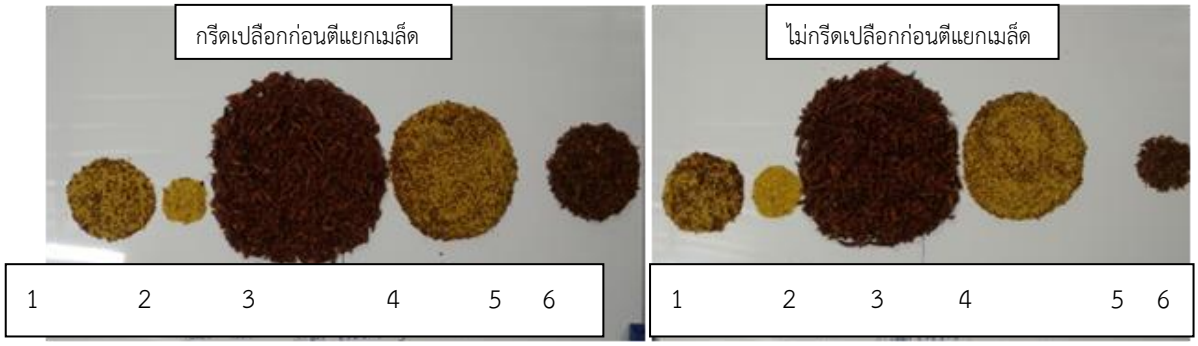
พืช	มอเตอร์		เครื่องตีแยกเมล็ด		พริกค้างในตะแกรง				พริกผ่านตะแกรง			
พันธุ์/การเตรียมวัสดุ	ความเร็ว (Rpm)	พลังงาน (Kw-hr)	ความเร็วใบตี (ม./วินาที)	อัตราการป้อน (กก./ชม.)	% รวมเปลือกและเมล็ด	% เมล็ดหลุดจากเปลือก	% เมล็ดติดกับเปลือก	% เปลือก	% รวมเปลือกและเมล็ด	% เมล็ดหลุดจากเปลือก	% เมล็ดติดกับเปลือก	% เปลือก
แดงจินดา (กรีดเปลือก)	585	0.02	21.5	38.83	79.9	38.6	15.7	97.8	20.1	45.2	0.4	2.21
แดงจินดา (กรีดเปลือก)	878	0.02	32.2	38.66	48.2	18.5	5.5	73.3	51.8	76.0	-	26.68
แดงจินดา (ไม่กรีดเปลือก)	878	0.02	32.2	38.50	63.6	26.0	7.9	83.5	36.4	66.1	-	16.47
แดงจินดา (กรีดเปลือก)	1,158	0.03	42.5	38.79	20.4	8.0	0.8	50.7	79.6	91.2	-	49.28
แดงจินดา (ไม่กรีดเปลือก)	1,158	0.03	42.5	31.95	31.6	12.1	2.2	51.9	68.4	85.2	0.4	48.15
ซุปเปอร์ฮอท (กรีดเปลือก)	878	0.02	32.2	26.59	40.9	20.1	5.5	71.2	59.1	74.1	0.2	28.77

1) เมล็ดที่หลุดจากเปลือกแต่ยังค้างในตะแกรง
2) เมล็ดที่ติดอยู่กับเปลือกและค้างในตะแกรง
3) เปลือกที่ค้างในตะแกรง
4) เมล็ดที่หลุดจากเปลือกและลอดผ่านตะแกรง
5) เมล็ดที่ติดกับเปลือกแต่ลอดผ่านตะแกรงได้
6) เปลือกที่ลอดผ่านตะแกรงออกมาได้

ภาพที่ 2.30 ผลการแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกจินดาแดง ที่ความเร็ว21.5 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 2.31 ผลการแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกจินดาแดง ที่ความเร็ว 32.2 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 2.32 ผลการแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกจินดาแดง ที่ความเร็ว 42.5 เมตรต่อวินาที

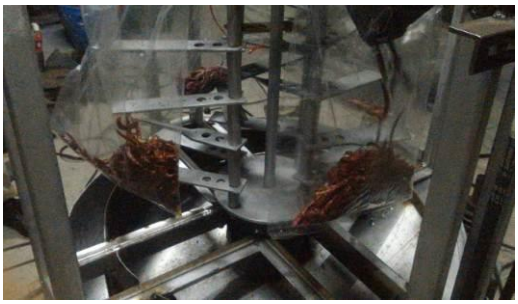
ภาพที่ 2.33 ผลการแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกซุปเปอร์ฮอต ที่ความเร็ว 32.2 เมตรต่อวินาที

ผลการดำเนินงานในรอบ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2560 ได้สร้างชุดป้อนพริกแบบทรงกระบอกติดครีบที่สามารถควบคุมและปรับอัตราการป้อนได้ และกระจายการป้อนพริกแบบสี่ช่องป้อนเข้าเครื่องตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกซึ่งทำให้เครื่องต้นแบบทำงานได้ดีขึ้นและลดการฟุ้งกระจายของพริกได้อย่างดีแสดงดังภาพที่ 2.34 และภาพที่ 2.35

ภาพที่ 2.34 ชุดป้อนพริกแบบทรงกระบอกติดครีบ

ภาพที่ 2.35 ช่องป้อนพริกแบบสี่ช่องป้อน

ภาพที่ 2.36 ทดสอบการกระจายตัวของพริก

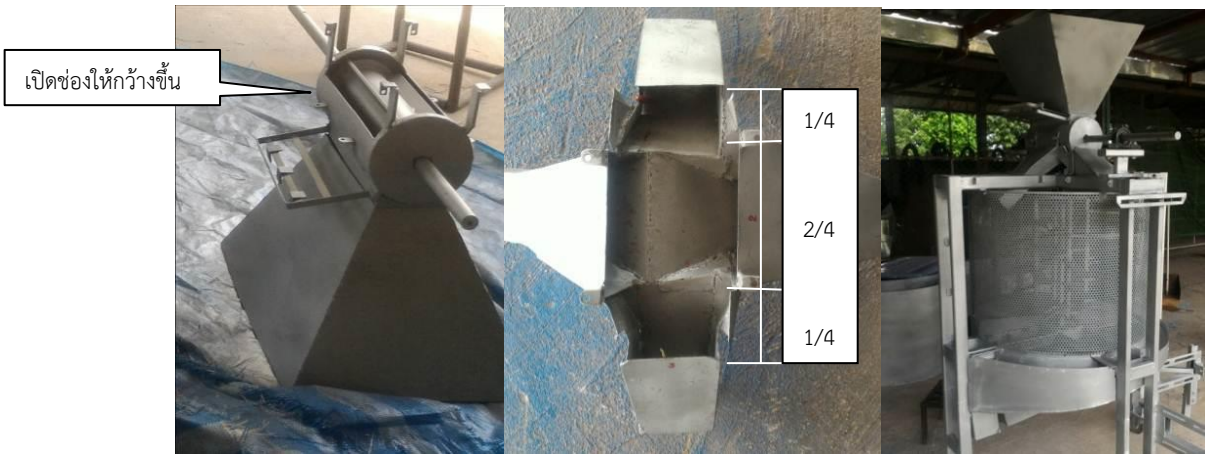


ภาพที่ 2.37 การกระจายตัวของพริกแต่ละช่องป้อน

ภาพที่ 2.38 ตะแกรงที่เปลี่ยนเพื่อทดสอบ

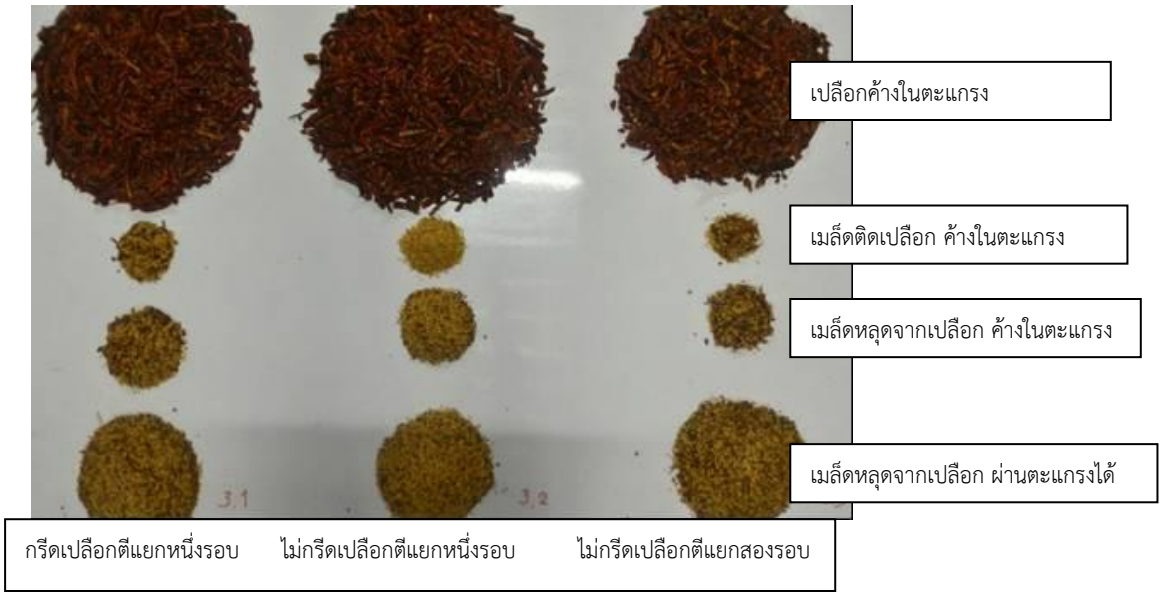
ภาพที่ 2.39 เครื่องต้นแบบที่พร้อมทดสอบ

ภาพที่ 2.40 พื้นเอียงรองรับเปลือกพริกที่แก้ไขเพิ่มเติม

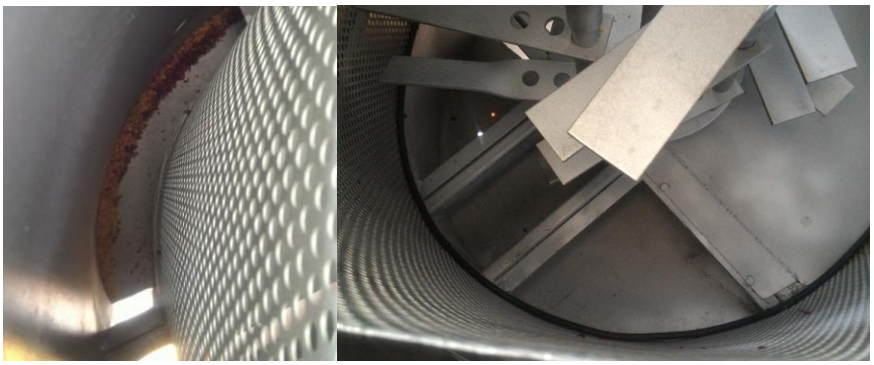


ภาพที่ 2.41 ช่องปล่อยและช่องป้อนพริกแบบสี่ช่องป้อนที่แก้ไขเพิ่มเติม

ภาพที่ 2.42 เครื่องต้นแบบที่พร้อมทดสอบ และภาพการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือก



ภาพที่ 2.43 ผลการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกแห้งจินดาแดงแบบกรีดเปลือกและไม่กรีดเปลือก



ภาพที่ 2.44 ผลการตกค้างของเมล็ดที่ผ่านตะแกรงออกมาและเปลือกพริกแห้งจินดาแดงในตะแกรง

ภาพที่ 2.45 การแยกหาสัดส่วน เปลือก เมล็ด และไส้ พริกสดพันธุ์ซุปเปอร์ฮ็อต

ภาพที่ 2.46 ผลการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือก พริกสดพันธุ์ซุปเปอร์ฮ็อต

ภาพที่ 2.47 ผลการตกค้างของเปลือกพริกสดซุปเปอร์ฮ็อตในตะแกรง และเมล็ดที่ผ่านตะแกรงออกมา

ภาพที่ 2.48 การโก่งตัวของเพลา และการฉีดขาดของตะแกรง

ก) ข) ค)

ภาพที่ 2.49 ก) การโก่งตัวของเพลาตีแยกเมล็ด **ข)** เพลาเดิมและเพลาใหม่ **ค)** การประกอบเพลาใหม่และเหล็กหน้าแปลนยึดเพิ่มเพื่อความแข้งแรง

ตารางที่ 2.2 ผลการทดสอบการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกแห้งจินดาแดง และพริกสดพันธุ์ซุปเปอร์ฮ็อต

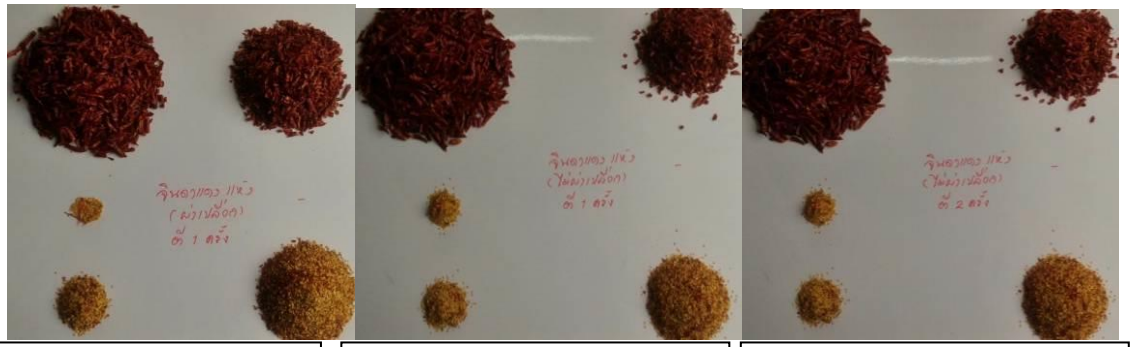
พันธุ์/การเตรียมวัสดุ	เครื่องตีแยกเมล็ด				%เมล็ด				%เปลือก	
					เมล็ดหลุดจากเปลือก		เมล็ดติดกับเปลือก			
	ขนาดรูตะแกรง (มม.)	อัตราการป้อน (กก./ชม.)	ความเร็วใบตี (Rpm)	ความเร็วใบตี (ม./วินาที)	ค้างตะแกรง	ผ่านตะแกรง	ค้างตะแกรง	ผ่านตะแกรง	ค้างตะแกรง	ผ่านตะแกรง
พริกแห้ง จินดาแดง (กรีดเปลือก)-ตีแยก 1 ครั้ง	8.0	39.8	585	21.45	27.0	47.0	25.6	0.4	99.2	0.8
พริกแห้ง จินดาแดง (ไม่กรีดเปลือก)-ตีแยก 1 ครั้ง		39.0			28.6	45.1	26.0	0.4	99.4	0.6
พริกแห้ง จินดาแดง (ไม่กรีดเปลือก)-ตีแยก 2 ครั้ง		28.5			23.4	52.6	23.6	0.4	99.2	0.8
พริกแห้ง จินดาแดง (กรีดเปลือก)-ตีแยก 1 ครั้ง	8.0	39.7	878	32.19	23.1	66.3	10.2	0.5	97.3	2.7
พริกแห้ง จินดาแดง (ไม่กรีดเปลือก)-ตีแยก 1 ครั้ง		39.0			25.5	62.9	11.5	0.0	99.4	0.6
พริกแห้ง จินดาแดง (ไม่กรีดเปลือก)-ตีแยก 2 ครั้ง		28.9			17.1	73.0	8.7	1.3	93.8	6.2
พริกแห้ง จินดาแดง (กรีดเปลือก)-ตีแยก 1 ครั้ง	8.0	39.4	1,158	42.46	21.0	71.9	6.1	1.0	86.4	13.6
พริกแห้ง จินดาแดง (ไม่กรีดเปลือก)-ตีแยก 1 ครั้ง		39.6			23.9	66.1	8.9	1.1	89.5	10.5
พริกแห้ง จินดาแดง (ไม่กรีดเปลือก)-ตีแยก 2 ครั้ง		28.1			8.9	87.6	3.3	0.1	83.6	16.4
พริกสด ซุปเปอร์ฮ็อต (กรีดเปลือก)-ตีแยก 1 ครั้ง	8.0	208.2	1,158	42.46	33.1	33.2	33.7	0.0	99.7	0.3

ภาพที่ 2.50 ต้นแบบที่เปลี่ยนมอเตอร์เฟสเดียว แทนมอเตอร์แบบสามเฟส

ก ข ค ง

ภาพที่ 2.51 พริกที่ใช้ในการทดสอบ ก) สดซุปเปอร์ฮ็อตสด ข) แห้งจินดาแดง ค) แห้งอินเดียใหญ่ ง) แห้งเฮี๊ยะโต

ภาพที่ 2.52 พริกสดและพริกแห้งที่ค้างในตะแกรง และผ่านตะแกรง ก่อนการแยก



จินดาแดงแห้ง กรีดเปลือก ตี 1 เที่ยว	จินดาแดงแห้ง ไม่กรีดเปลือก ตี 1 เที่ยว	จินดาแดงแห้ง ไม่กรีดเปลือก ตี 2 เที่ยว

ภาพที่ 2.53 พริกแห้งที่ค้างในตะแกรง และผ่านตะแกรง หลังการแยก

ซุปเปอร์ฮ็อตสด กรีดเปลือก ตี 1 เที่ยว	ซุปเปอร์ฮ็อตสด ไม่กรีดเปลือก ตี 1 เที่ยว	ซุปเปอร์ฮ็อตสด ไม่กรีดเปลือก ตี 2 เที่ยว

ภาพที่ 2.54 พริกสดที่ค้างในตะแกรง และผ่านตะแกรง หลังการแยก

ภาพที่ 2.55 การสาธิตเครื่องตีแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชน

ภาพที่ 2.56 ชุดป้อนพริกเข้าเครื่องตีแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกที่ทำการแก้ไขให้ใหญ่ขึ้น

ตารางที่ 2.3 ผลการการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกแห้งพันธุ์จินดาแดงและพริกสดพันธุ์ซุปเปอร์ฮ็อตทั้งแบบกรีดและไม่กรีดเปลือก เมื่อใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า 3 เฟส รูตะแกรง 8.0 และ 11.2 มม.

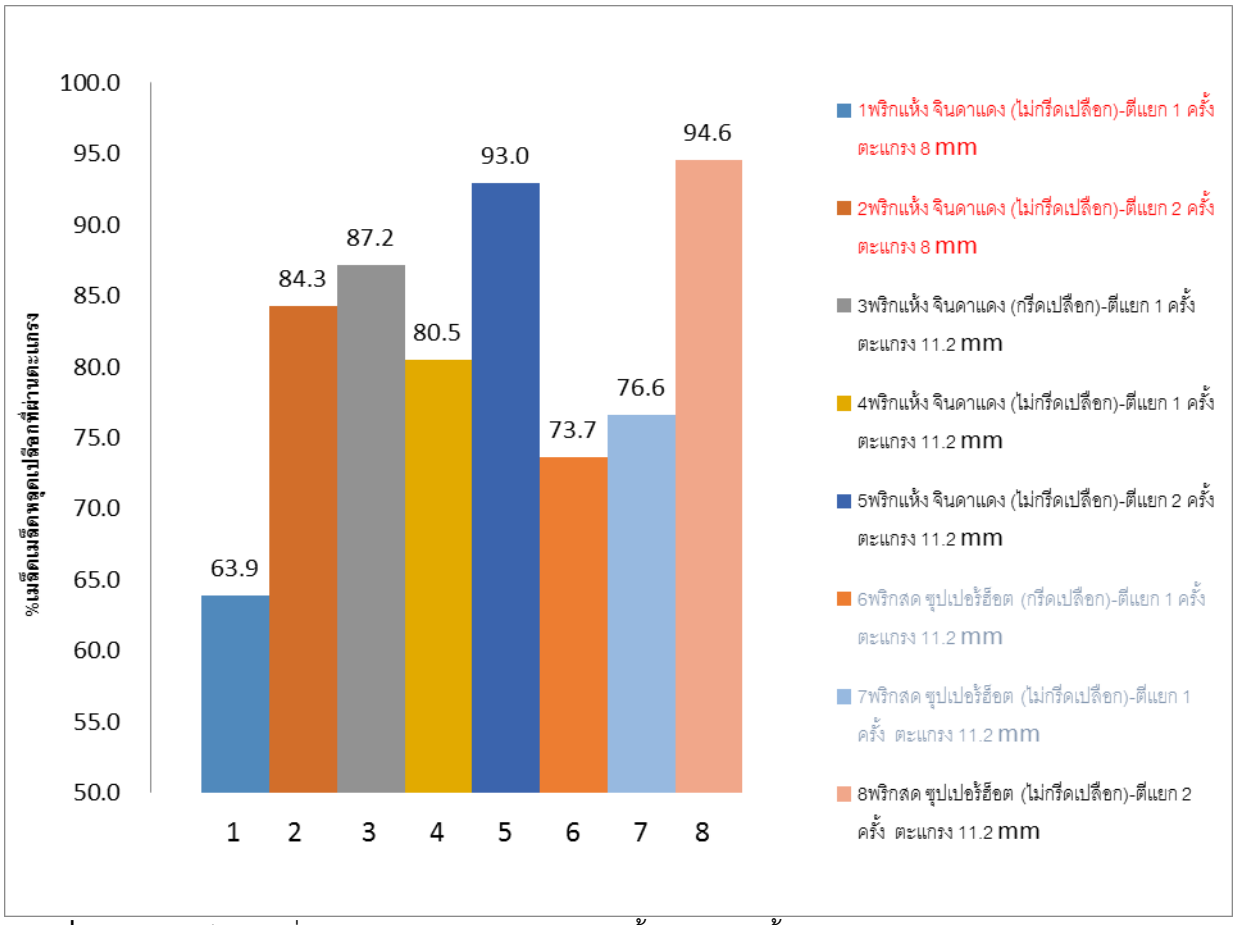
เครื่องตีแยกเมล็ด			พันธุ์/การเตรียมวัสดุ	%เมล็ด				%เปลือก	
				เมล็ดหลุดเปลือก		เมล็ดติดเปลือก			
ขนาดรูตะแกรง (มม.)	อัตราการป้อน (กก./ชม.)	ความเร็วใบตี (ม./วินาที)		ค้างตะแกรง	ผ่านตะแกรง	ค้างตะแกรง	ผ่านตะแกรง	ค้างตะแกรง	ผ่านตะแกรง
8.0	136	42.5	J-d-nr-1p	22.2	**63.9**	13.9	0.0	91.8	8.2
			J-d-nr-2p	11.5	**84.3**	4.2	0.0	84.4	15.6
11.2	136	42.5	J-d-r-1p	12.0	**87.2**	0.9	0.0	54.7	45.3
			J-d-nr-1p	12.0	**80.5**	7.5	0.0	71.5	28.5
			J-d-nr-2p	4.7	**93.0**	2.4	0.0	51.9	48.1
11.2	136	42.5	S-f-r-1p	14.7	**73.7**	11.6	0.0	58.4	41.6
			S-f-nr-1p	13.1	**76.6**	10.3	0.0	52.9	47.1
			S-f-nr-2p	3.2	**94.6**	2.2	0.0	43.4	56.6

หมายเหตุ: J :พริกพันธุ์จินดาแดง/ S: พริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮ็อต/ d: พริกแห้ง /f: พริกสด /nr: ไม่กรีดเปลือก/ r: กรีดเปลือก/ 1p: ตี 1 ครั้ง/ 2p: ตี 2 ครั้ง

ตารางที่ 2.4 ผลการการตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกของพริกแห้ง พันธุ์จินดาแดง อินเดียใหญ่ และเฮี๊ยะโต แบบไม่กรีดเปลือก ตีแยก 1 ครั้งและ 2 ครั้ง ที่แต่ละอัตราการป้อน เมื่อใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า 1 เฟส รูตะแกรง 11.2 มม.

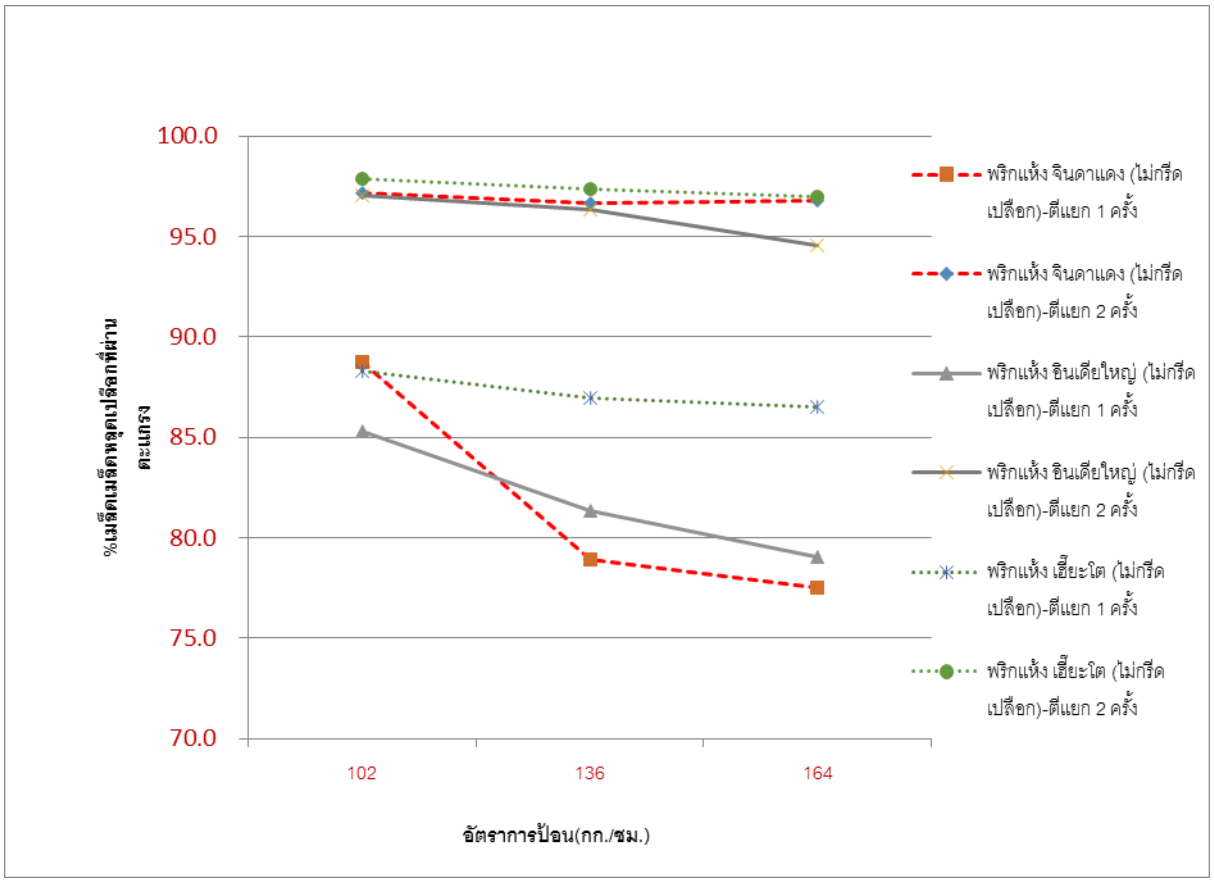
เครื่องตีแยกเมล็ด			พันธุ์/การเตรียมวัสดุ	%เมล็ด				%เปลือก	
				เมล็ดหลุดเปลือก		เมล็ดติดเปลือก			
ขนาดรูตะแกรง (มม.)	อัตราการป้อน (กก./ชม.)	ความเร็วใบตี (ม./วินาที)		ค้างตะแกรง	ผ่านตะแกรง	ค้างตะแกรง	ผ่านตะแกรง	ค้างตะแกรง	ผ่านตะแกรง
11.2	102	41.1	J-d-nr-1p	7.1	**88.8**	4.1	0.0	55.0	45.0
			J-d-nr-2p	2.8	**97.2**	0.0	0.0	27.9	72.1
			I-d-nr-1p	14.7	**85.3**	0.0	0.0	72.3	27.7
			I-d-nr-2p	3.0	**97.0**	0.0	0.0	27.6	72.4
			H-d-nr-1p	11.7	**88.3**	0.0	0.0	65.0	35.0
			H-d-nr-2p	2.1	**97.9**	0.0	0.0	34.0	66.0
11.2	136	41.1	J-d-nr-1p	17.2	**78.9**	3.9	0.0	62.2	37.8
			J-d-nr-2p	2.7	**96.7**	0.0	0.6	31.4	68.6
			I-d-nr-1p	18.1	**81.3**	0.5	0.0	73.0	27.0
			I-d-nr-2p	2.8	**96.4**	0.8	0.0	36.1	63.9
			H-d-nr-1p	13.0	**87.0**	0.0	0.0	77.8	22.2
			H-d-nr-2p	2.6	**97.4**	0.0	0.0	37.7	62.3
11.2	164	41.1	J-d-nr-1p	15.5	**77.5**	7.0	0.0	69.8	30.2
			J-d-nr-2p	2.7	**96.8**	0.3	0.2	32.5	67.5
			I-d-nr-1p	17.0	**79.0**	4.0	0.0	74.5	25.5
			I-d-nr-2p	3.6	**94.6**	1.8	0.0	45.4	54.6
			H-d-nr-1p	13.5	**86.5**	0.0	0.0	74.6	25.4
			H-d-nr-2p	3.0	**97.0**	0.0	0.0	42.5	57.5

หมายเหตุ: J :พริกพันธุ์จินดาแดง I: พริกพันธุ์อินเดียใหญ่ H: พริกพันธุ์เฮี๊ยะโต d: พริกแห้ง



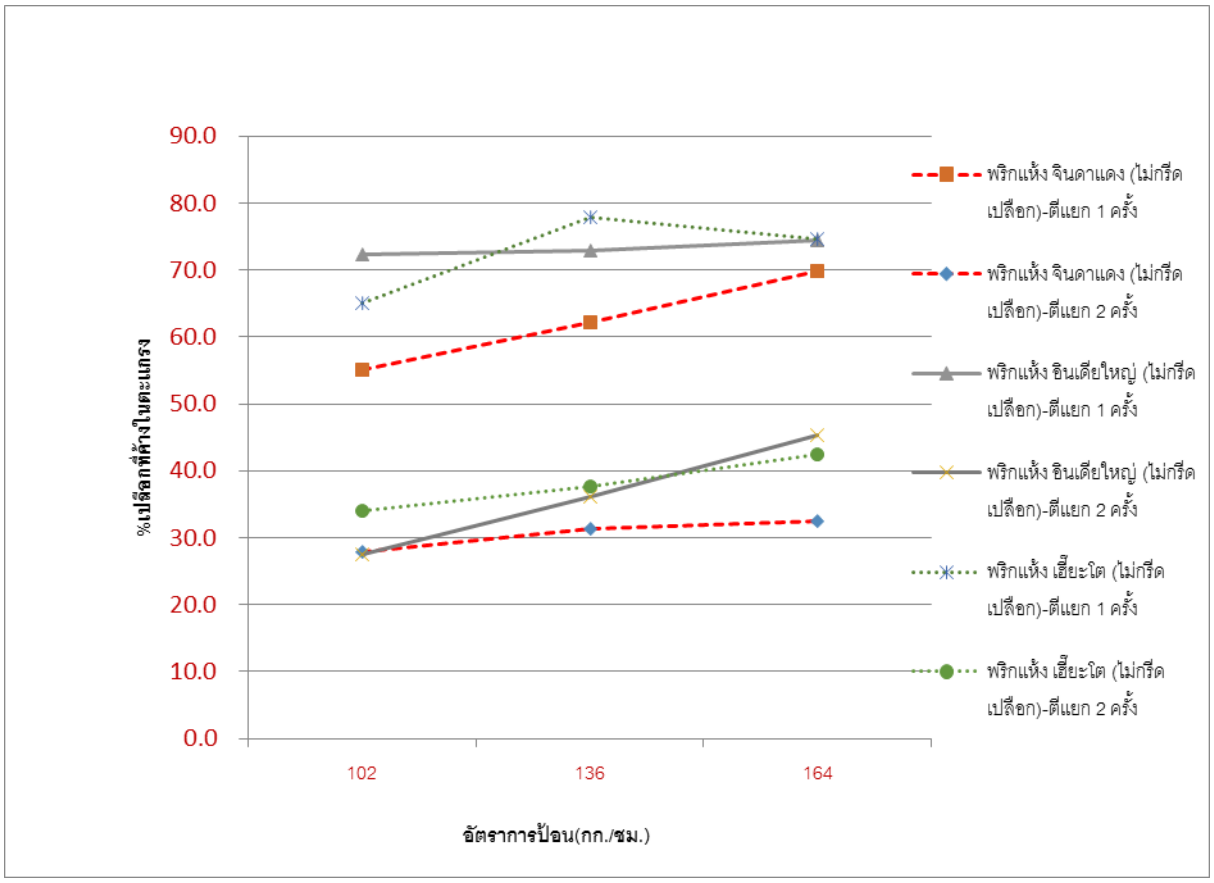
ภาพที่ 2.57 เมล็ดพริกที่ผ่านตะแกรง แบบตีแยก 1 ครั้ง กับ 2 ครั้ง ของพริกแห้งจินดาแดง และพริกสดพันธุ์ซุปเปอร์ฮ็อต แบบกรีดและไม่กรีดเปลือก เมื่อตะแกรงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มม. และ 11.2 มม. ที่ความเร็วในการตีแยก 42.5 เมตรต่อวินาที

จากภาพที่ 2.57 พบว่า. พริกแห้งจินดาแดงที่ไม่กรีดเปลือกนั้น สำหรับตะแกรง 8 มม. การตีแยกเมล็ดแบบ 2 ครั้ง (2) ทำให้เมล็ดหลุดจากเปลือกและผ่านตะแกรงได้มากกว่าแบบการตีแยกเพียงครั้งเดียว (1) และมีค่าต่างกันค่อนข้างมาก และมีผลเช่นเดียวกันกับตะแกรงขนาด 11.2 มม. ซึ่งยังพบว่าการกรีดเปลือกและตีแยกหนึ่งครั้ง (3) ทำให้แยกเมล็ดได้ดีกว่าการไม่กรีดเปลือก (4) แต่การตีแยกสองครั้งแม้ไม่กรีดเปลือก (5) ให้ผลการแยกเมล็ดดีกว่าค่อนข้างมาก พริกสดซุปเปอร์ฮ็อตที่กรีดและไม่กรีดเปลือกเมื่อตีแยกหนึ่งครั้ง (6) และ (7) ตีแยกเมล็ดออกได้ยากกว่า พริกแห้งพันธุ์จินดาแดง (3) และ (4) แต่เมื่อตีแยกแบบสองครั้งแล้วสามารถแยกเมล็ดจากเปลือกได้ดีใกล้เคียงกัน สำหรับพริกแห้งจินดาแดงเมื่อเปรียบเทียบขนาดตะแกรงพบว่า ตะแกรงขนาด 11.2 มม. แยกเมล็ดออกจากเปลือกได้ดีกว่า ขนาด 8 มม. ทุกแบบการตีแยก



ภาพที่ 2.58 เมล็ดพริกที่ผ่านตะแกรง แบบตีแยก 1 ครั้ง กับ 2 ครั้ง ของพริกแห้งทั้งสามพันธุ์แบบไม่กรีดเปลือกที่แต่ละอัตราการป้อน เมื่อตะแกรงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.2 มม. ความเร็วใบตีแยก 41.1 เมตรต่อวินาที

จากภาพที่ 2.58 พบว่า พริกทั้งสามพันธุ์ที่ไม่กรีดเปลือก และมีการตีแยกสองครั้ง ที่ทุกอัตราการป้อนสามารถแยกเมล็ดพริกได้ดีกว่าการตีเพียงครั้งเดียว และเมื่ออัตราการป้อนมากขึ้น ความสามารถในการตีแยกที่มากและยังค่อนข้างคงที่ ทั้งสามพันธุ์มีค่าต่างกันไม่มากนัก แต่การตีแยกแบบครั้งเดียวมีความสามารถลดลงเมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้นทั้งสามพันธุ แต่พันธุ์เฮี๊ยะโตแยกเมล็ดได้ง่ายกว่า



ภาพที่ 2.59 เปลือกพริกที่ค้างในตะแกรง แบบตีแยก 1 ครั้ง กับ 2 ครั้ง ของพริกแห้งทั้งสามพันธุ์แบบไม่กรีดเปลือกที่แต่ละอัตราการป้อน เมื่อตะแกรงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.2 มม.

จากภาพที่ 2.59 เมื่อมีการตีแบบสองครั้ง เปลือกพริกค้างตะแกรงมีค่าลดลงทุกพันธุ์ที่ทุกอัตราการป้อน แต่เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้นทำให้มีเปลือกค้างตะแกรงมากขึ้น

จึงสรุปได้ว่า ตะแกรงที่รูมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.2 มิลลิเมตร เหมาะกับการตีแยกเมล็ดพริกออกจากเปลือกที่ความเร็วใบตี 41.1 เมตรต่อวินาที การตีแบบสองครั้งแม้ไม่มีการกรีดเปลือก มีการแยกเมล็ดออกจากเปลือกได้ดีกว่าพริกที่กรีดและไม่กรีดเปลือกที่มีการตีเพียงครั้งเดียว ดังนั้นจึงไม่ต้องสร้างเครื่องกรีดส่วนที่ 1 และชุดนวดตีนวดเบื้องต้นในแนวนอนส่วนที่ 2 ที่แสดงในภาพที่ 1 เนื่องจากเฉพาะส่วนการตีแยกเมล็ดในแนวตั้งก็สามารถตีแยกเมล็ดได้ดี เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้นการตีแยกครั้งเดียวมีการแยกเมล็ดลดลงมาก ส่วนการตีแบบสองครั้งยังแยกเมล็ดได้ดีและแต่ละพันธุ์ให้ผลการตีแยกไม่แตกต่างกันมากนัก การแก้ไขชุดช่องป้อนที่กำลังแก้ไขให้ป้อนได้มากและสม่ำเสมอมากขึ้น และการใช้ขนาดรูตะแกรงเป็น 11.2 มิลลิเมตร คาดว่าจะเพิ่มความสามารถในการทำงานของเครื่องตีแยกเมล็ดออกจากเปลือกได้มากขึ้น

2. การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพรที่สามารถแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก

มีวิธีการทดลองดังนี้

1 ออกแบบ และสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องจักรบดย่อยมะเขือเทศ ที่เหมาะสมกับความต้องการในการนำเมล็ดไปสกัดด้วยเครื่องสกัดสารสำคัญแบบ Supercritical carbon dioxide ที่มีเงื่อนไขการออกแบบให้มีปริมาตรการสกัด 2,000 มิลลิลิตรต่อครั้ง ซึ่งประกอบด้วยชุดบดย่อยที่วางในแนวนอน และล้อมรอบครึ่งล่างด้วยตะแกรงรูกลม โดยส่วนบดย่อยช่วงแรกใช้หลักการทำงานของเครื่องบดแบบใบค้อน (hammer mill) เพื่อตีปั่นและฉีกให้มะเขือเทศเป็นชิ้นเล็กลง ชุดบดย่อยในช่วงถัดไปจะใช้หลักการทำงานของเครื่องนวดแบบไหลตามแกน (Axail Flow Thresher) ซึ่งจะตีปั่นให้เมล็ดแยกออกจากเนื้อและหลุดลอดรูตะแกรงลงสู่อุปกรณ์รองรับเมล็ด ส่วนเนื้อจะค้างอยู่ในตะแกรงและถูกขับออกอีกด้านหนึ่งลงสู่อุปกรณ์รองรับเนื้อหรือเปลือกต่อไป

2 ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไข ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยหลักในการทดสอบได้แก่ อัตราการป้อนวัตถุดิบ (กิโลกรัมผลสด / ชั่วโมง) ความเร็วเชิงเส้นการทำงานของชุดบดย่อย (เมตร / วินาที) ขนาดรูตะแกรง (มิลลิเมตร) ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางเข้า (inlet side concave clearance; Sc_i) ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางออก (outlet side concave clearance; Sc_o) และระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง (concave clearance; Cc) โดยทดสอบกับมะเขือเทศอย่างน้อย 3 พันธุ์

3 วิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องจักรบดย่อยพืชผักและสมุนไพร

4 สรุปผลการวิจัย

การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลประกอบด้วย น้ำหนักของเมล็ดและเปลือกทั้งที่ลอดผ่านตะแกรง ค้างในตะแกรง และในช่องเก็บเปลือกท้ายเครื่อง เวลาในการทำงาน และค่ากระแสไฟฟ้า ส่วนค่าชี้ผลการทำงานได้แก่ ความสามารถในการทำงาน (กิโลกรัม ผลสด / ชั่วโมง) ความสามารถในการแยกเมล็ดออกจากเปลือก (%) และพลังงานจำเพาะ (kW-h / kg) รายละเอียดการบันทึกข้อมูล การคำนวณ และการนิยามค่าต่าง ๆ มีดังนี้

$$St_t = St_1 + St_2 + St_3 + St_4 + St_5 + St_6 \quad (1)$$

$$Pt_t = Pt_1 + Pt_2 + Pt_3 \quad (2)$$

$$St_1\ (\%) = St_1 * 100 / St_t \quad (3)$$

$$St_2\ (\%) = St_2 * 100 / St_t \quad (4)$$

$$St_3\ (\%) = St_3 * 100 / St_t \quad (5)$$

$$St_4\ (\%) = St_4 * 100 / St_t \quad (6)$$

$$St_5\ (\%) = St_5 * 100 / St_t \quad (6)$$

$$St_6\ (\%) = St_6 * 100 / St_t \quad (6)$$

$$Pt_1\ (\%) = Pt_1 * 100 / Pt_t \quad (7)$$

$$Pt_2\ (\%) = Pt_2 * 100 / Pt_t \quad (8)$$

$$Pt_3\ (\%) = Pt_3 * 100 / Pt_t \quad (8)$$

เมื่อ

St_t = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศรวม (กรัม)

Pt_t = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศรวม (กรัม)

St_1 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศที่หลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

St_2 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศที่หลุดจากเปลือกแล้ว แต่ค้างในตระแกรง (กรัม)

St_3 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศหลุดจากเปลือกแล้ว ในช่องรับเปลือก (กรัม)

St_4 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

St_5 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ค้างในตระแกรง (กรัม)

St_6 = น้ำหนักเมล็ดมะเขือเทศติดเปลือก ในช่องรับเปลือก (กรัม)

Pt_1 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ในช่องรับเมล็ด (กรัม)

Pt_2 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ค้างในตระแกรง (กรัม)

Pt_3 = น้ำหนักเปลือกมะเขือเทศ ในช่องรับเปลือก (กรัม)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เครื่องแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก

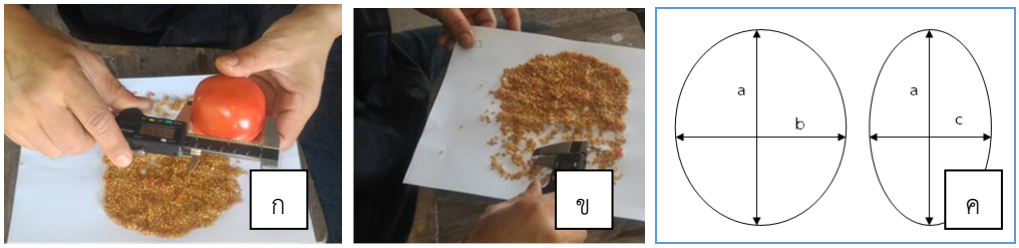
ได้ดำเนินการวิจัยโดยการวัดสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศ และการออกแบบและสร้างต้นแบบ มีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

2.2.1 วัดสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศ พันธุ์สีดา พันธุ์ท้อ และพันธุ์อีเป๋อ ดังภาพที่ โดยวัดขนาดผลเพื่อใช้ออกแบบระยะห่างใบตีแยก วัดขนาดเมล็ด ดังภาพที่ เพื่อใช้เลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูตะแกรงคัดแยกเมล็ด วัดมุมความเสียดทานของผล ดังภาพที่ และวัดความหนาแน่นรวม ดังภาพที่ เพื่อออกแบบมุมเอียง และขนาดของถังป้อน ผลการวัดแสดงในภาคผนวก ตารางที่

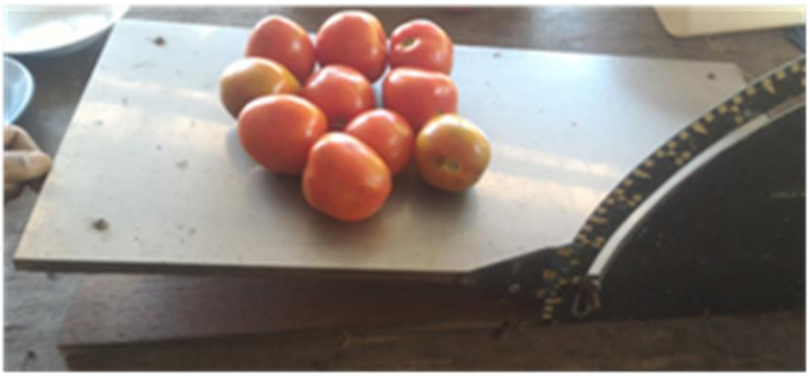
ภาพที่ 2.60 มะเขือเทศที่ใช้ในการหาสมบัติทางกายภาพ (ก) พันธุ์สีดา (ข) พันธุ์ท้อ

ภาพที่ 2.61 ภาคตัดผลมะเขือเทศ (ก) พันธุ์สีดา (ข) พันธุ์ท้อ

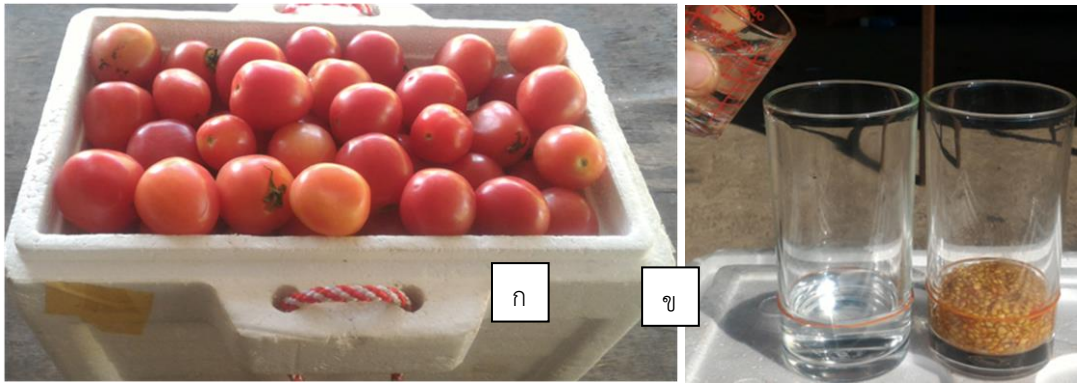
ภาพที่ 2.62 อัตราส่วนเปลือก ไส้หรือเนื้อ และเมล็ด ของมะเขือเทศ



ภาพที่ 2.63 (ก) การวัดขนาดผลมะเขือเทศ (ข) การวัดขนาดเมล็ดมะเขือเทศ (ค) ตำแหน่งการวัดขนาดผล และเมล็ดมะเขือเทศ

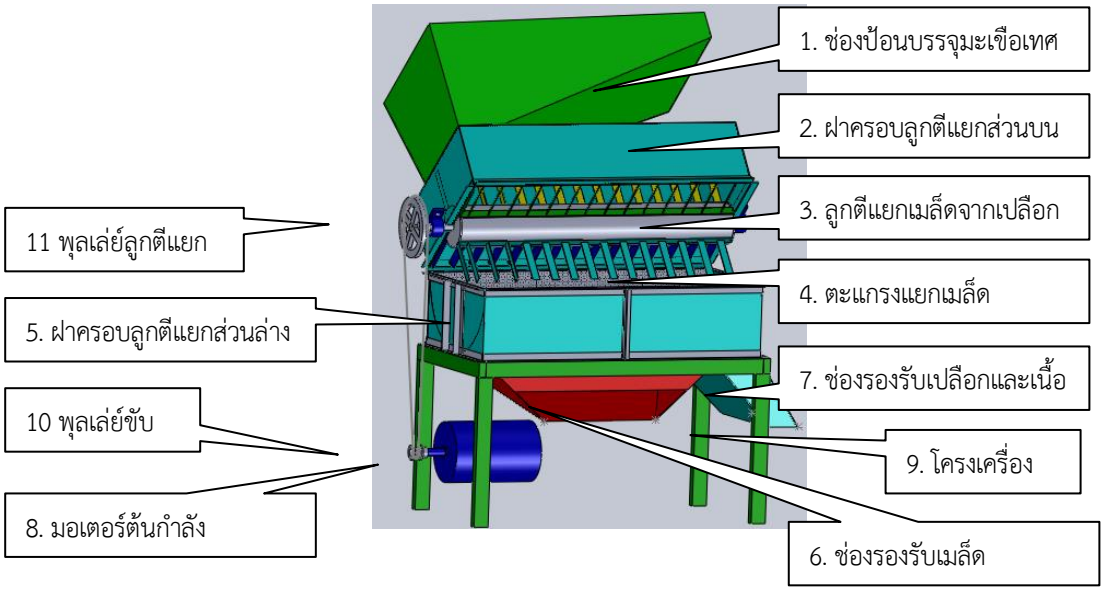


ภาพที่ 2.64 การวัดมุมเสียดทาน

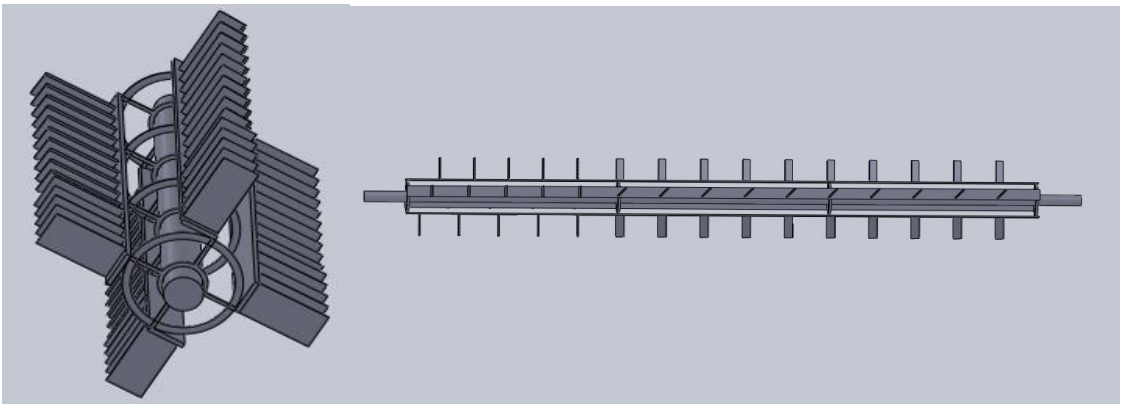


ภาพที่ 2.65 (ก) การวัดความหนาแน่นรวมผลมะเขือเทศ (ข) การวัดความหนาแน่นรวมของเมล็ดมะเขือเทศ

ผลการออกแบบ และสร้างเครื่องต้นแบบ



ภาพที่ 2.66 ภาพร่างการออกแบบเครื่องแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก

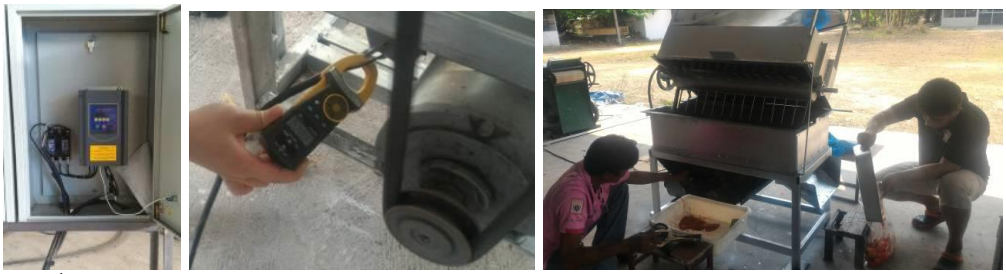


ภาพที่ 2.67 แสดงลักษณะใบตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก และแสดงลักษณะการจัดวางใบตี

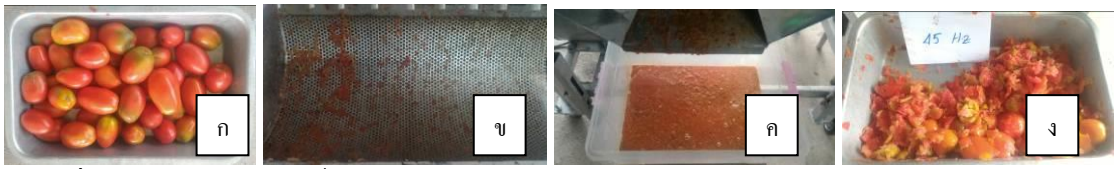
ภาพที่ 2.68 เครื่องต้นแบบ เครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

เครื่องต้นแบบใช้มอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 3 แรงม้า เป็นต้นกำลัง และควบคุมความเร็วรอบด้วยเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (invertor) ดังภาพที่ 2.69 ต้นแบบประกอบด้วย ตะแกรงที่มีรูกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางด้านเข้าและด้านออกมีค่า 15 มิลลิเมตร ส่วนระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่างมีค่า 30 มิลลิเมตร ทดสอบโดยใช้ความเร็วเชิงเส้นปลายใบตีแยกห้าระดับ โดยเริ่มจากรอบมอเตอร์ต่ำสุดที่เครื่องไม่สั่นและมีกำลังมากพอ จนถึงรอบสูงสุดที่เครื่องทำงานได้โดยไม่สั่นแรงเกินไป ใช้มะเขือเทศพันธุ์ท้อ จำนวน 3 กิโลกรัม ในการทดสอบในแต่ละครั้ง จับเวลาการทำงานตั้งแต่เริ่มเทมะเขือเทศลงในช่องเทจนกว่าเครื่องจะหมุนโดยไม่มีภาระหรือแรงต้านจากวัสดุทดสอบจึงหยุดการจับเวลา และผลจากการตีแยกเมล็ดมะเขือเทศแสดงดังภาพที่ 2.70

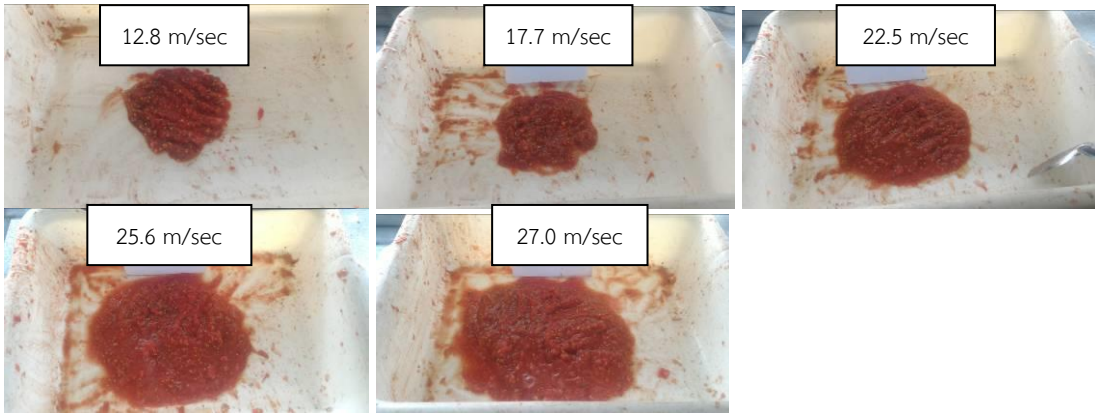


ภาพที่ 2.69 เครื่องปรับความเร็วรอบมอเตอร์ต้นกำลัง การวัดกระแสไฟฟ้า และการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

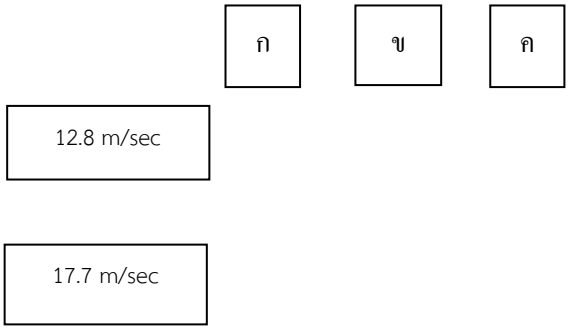


ภาพที่ 2.70 ก) มะเขือเทศที่ใช้ทดสอบ ข) มะเขือเทศค้างในตะแกรง ค) เมล็ดมะเขือเทศผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ด ง) เปลือกมะเขือเทศที่ถูกแยกออกสู่ช่องรับเปลือก

หลังการทดสอบที่ความเร็วห้าระดับ เมื่อพิจารณาเมล็ดที่ถูกตีแยกผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ดของแต่ละความเร็วที่ทดสอบ พบว่าเมื่อความเร็วมากขึ้น เครื่องต้นแบบแยกเมล็ดออกจากเปลือกได้ดีขึ้น แสดงดังภาพที่ การแยกเฉพาะเมล็ดแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วเปรียบเทียบเมล็ดที่ทดสอบแต่ละความเร็ว แสดงดังภาพที่ 2.71



ภาพที่ 2.71 เมล็ดและเนื้อมะเขือเทศที่ผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ด ที่แต่ละความเร็วของการตีแยก



ภาพที่ 2.72 เปรียบเทียบเมล็ดมะเขือเทศหลังการแยกเนื้อออกที่แต่ละความเร็วใบตีแยก ก) เมล็ดที่ผ่านตะแกรงและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด ข) เมล็ดที่ตกค้างในตะแกรง ค) เมล็ดที่สูญเสียติดไปกับเปลือกที่เข้าสู่ช่องรับเปลือก

ผลการทดสอบตีแยกเมล็ดมะเขือเทศที่แต่ละความเร็วการตีแยก แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่า เมื่อความเร็วมากขึ้น ทำให้เมล็ดที่หลุดจากเปลือกแล้วและผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ดได้มากขึ้น เนื่องจากมีความรุนแรงในการตีแยกเนื้อและเปลือกฉีกขาดมากขึ้น เมล็ดจึงแยกได้ง่ายขึ้น แต่ยังมีผลให้มีเมล็ดและเปลือกค้างในตะแกรงเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการถูกตีแยกเป็นชิ้นเล็กๆ แต่ปลายใบตีแยกยังห่างจากตะแกรงล่างมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถพาเปลือกครูดกับตะแกรงและดันให้เมล็ดลอดตะแกรงได้ไม่ดีพอ จึงได้ปรับให้มีระยะห่างน้อยลง ทั้งนี้แม้ความเร็วที่มากขึ้นจะตีแยกเมล็ดออกได้ดีขึ้น แต่ที่ความเร็วใบตีแยก 27.1 เมตรต่อวินาที เครื่องต้นแบบเกิดการสั่นสะเทือนค่อนข้างมาก จึงเลือกใช้ความเร็วระหว่าง 22.5 ถึง 25.6 เมตรต่อวินาที ในการทดสอบครั้งต่อไป

ตารางที่ 2.5 ผลการทดสอบเบื้องต้น เครื่องต้นแบบ เครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก

ความเร็วใบตีแยกเมล็ด (เมตร/วินาที)	ความสามารถในการทำงาน (กก./ชม.)	% เมล็ดที่ตีแยกได้						%เปลือก		
		เมล็ดหลุดจากเปลือก			เมล็ดติดเปลือก					
		ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับปลือก	ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับปลือก	ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับปลือก
12.8	1,164	**22.4**	0.8	**76.7**	**0.0**	0.0	**0.0**	**1.5**	13.0	**85.5**
17.7	1,170	**56.2**	1.5	**42.3**	**0.0**	0.0	**0.0**	**2.1**	18.3	**79.6**
22.5	1,175	**87.3**	4.4	**8.3**	**0.0**	0.0	**0.0**	**6.0**	34.2	**59.8**
25.6	1,180	**87.3**	8.0	**4.7**	**0.0**	0.0	**0.0**	**9.1**	45.4	**45.5**
27.1	1,303	**91.8**	3.2	**5.0**	**0.0**	0.0	**0.0**	**8.0**	22.4	**69.7**

ผลการทดสอบหลังการปรับระยะห่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่างพบว่า ที่ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง 10 และ 20 มิลลิเมตร และความเร็วเส้นใบตีแยก 17.7 และ 22.5 เมตรต่อวินาที มีผลการแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือกได้ดี ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 79.5 % ถึง 93.1 % ซึ่งเหมาะกับการใช้งาน ส่วนที่ความเร็ว 25.6 เมตรต่อวินาที เครื่องมีการสั่นมากไม่เหมาะกับการเลือกใช้งาน ส่วนระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง 30 มิลลิเมตร ได้ทดสอบกับมะเขือเทศพันธุ์สีดา แต่มีผลการแยกเมล็ดไม่ดีนักโดยมีเมล็ดที่แยกได้และผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ดเพียง 73.1 % จึงทดสอบเพียงพันธุ์เดียวเท่านั้น ทั้งนี้ผลการตีแยกเมล็ดพบว่าไม่มีเมล็ดที่ยังติดค้างที่เปลือกในทุกการทดสอบ ผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.6 ผลของระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง (Cc) ต่อการแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เมื่อรูตะแกรงมีขนาด 8 มิลลิเมตร และระยะห่างปลายใบตีกับตะแกรงด้านข้าง ทั้งด้านเข้าและออก (Sc_i และ Sc_o) มีค่า 15 มม.

ระยะห่างใบตีกับตะแกรงด้านล่าง (มม.)	พันธุ์	ความเร็วใบตีแยก (เมตร/วินาที)	ความสามารถในการทำงาน (กก./ชม.)	% เมล็ด			% เปลือก		
				เมล็ดหลุดจากเปลือก					
				ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับเปลือก	ช่องรับเมล็ด	ค้างตะแกรง	ช่องรับเปลือก
10	สีดา	17.7	1,607	**90.3**	6.7	**3.0**	**0.0**	12.6	**87.4**
		22.5	2,143	**90.5**	6.2	**3.3**	**0.0**	21.1	**78.9**
		25.6	2,169	**81.1**	7.4	**11.5**	**0.0**	8.9	**91.1**
	อีเป๋อ	17.7	1,714	**91.6**	4.1	**4.3**	**0.0**	27.5	**72.5**
		22.5	2,130	**88.2**	7.4	**4.4**	**0.0**	16.1	**83.9**
		25.6	2,118	**84.7**	8.2	**7.2**	**0.0**	27.9	**72.1**
	ท้อ	17.7	1,841	**79.5**	6.3	**14.2**	**0.0**	12.0	**88.0**
		22.5	1,800	**83.4**	10.1	**6.5**	**0.0**	11.6	**88.4**
		25.6	2,081	**82.3**	8.3	**9.4**	**0.0**	19.6	**80.4**
20	สีดา	22.5	1,304	**82.1**	15.6	**2.3**	**0.0**	23.8	**76.2**
	อีเป๋อ		1,440	**93.1**	4.4	**2.6**	**0.0**	32.5	**67.5**
	ท้อ		1,293	**84.1**	12.1	**3.8**	**0.0**	36.7	**63.3**
30	สีดา	22.5	1,246	**73.7**	16.4	**9.9**	**0.0**	68.1	**31.9**

จากตารางที่ 2.6 พบว่ามะเขือเทศพันธุ์อีเป๋อมีเมล็ดที่แยกออกจากเปลือกและเมล็ดไหลลงในช่องรับเมล็ดได้ 93.1 % ที่ความเร็วใบตีแยก 22.5 เมตรต่อวินาที และ Cc 20 มิลลิเมตร ส่วนพันธุ์สีดาและพันธุ์ท้อ มีเมล็ดที่แยกออกจากเปลือกและเมล็ดไหลลงในช่องรับเมล็ดได้ดีที่ความเร็วใบตีแยก 22.5 เมตรต่อวินาที ที่ CC 10 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า ในการใช้งานโดยทั่วไปควรเลือกใช้ความเร็วใบตีแยกเมล็ดที่ 22.5 เมตรต่อวินาที ที่ CC 10 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.7 ผลของความเร็วใบตีแยกของเครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือกต่อการแยกเมล็ด เมื่อรูตะแกรง 8 มิลลิเมตร

ความเร็วใบตีแยกเมล็ด (m/s)	% เมล็ดที่ตีแยกได้ที่ช่องรับเมล็ด
A (12.8 m/s)	22.4[a]
B (17.7 m/s)	56.2[b]
C (22.5 m/s)	87.3[c]
D (25.6 m/s)	88.4[c]
E (27.1 m/s)	91.8[d]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เนื่องจากเกษตรกรส่วนมากใช้ไฟฟ้าเฟสเดียว 220 โวลต์ จึงเปลี่ยนต้นกำลังจากเดิมใช้มอเตอร์ 3 เฟส 3 แรงม้า 380 โวลต์ เป็นมอเตอร์เฟสเดียว 3 แรงม้า 220 โวลต์ ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที และเปลี่ยนพุลเล่ย์เพลาใบตีแยกเมล็ดให้มีความเร็วเชิงเส้นปลายใบตีแยกเมล็ดที่ 22.5 เมตรต่อวินาที เนื่องจากมีผลการแยกเมล็ดได้ดีและเครื่องทำงานได้ราบเรียบไม่เกิดการสั่นมากเกินไป ทดสอบกับมะเขือเทศ 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ท้อ พันธุ์สีดา และพันธุ์อีเป๋อ โดยใช้มะเขือเทศแต่ละพันธุ์ จำนวน 2 กิโลกรัม ในการทดสอบในแต่ละกรรมวิธี การตั้งระยะ Cc และวัดรอบการหมุนของเพลาใบตีแยกเมล็ด หลังการเปลี่ยนมอเตอร์ การวัดกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ และการเดินเครื่องทดสอบ ส่วนเมล็ดที่ผ่านตะแกรงลงสู่ช่องรับเมล็ด เมล็ดและเปลือกที่ค้างในตะแกรง และเมล็ดและเปลือกที่เข้าสู่ช่องรับเปลือกท้ายเครื่อง

ตะแกรงรูกลมยังคงใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 8 มิลลิเมตร และทดสอบปัจจัยอื่นที่คาดว่าจะมีผลต่อการทำงานของเครื่องต้นแบบ เช่นผลของระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้าง ทั้งทางด้านเข้า (inlet side concave clearance; Sc_i) และทางด้านออก (outlet side concave clearance; Sc_o) รวมถึงการมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่าง Cc Sc_i Sc_o และพันธุ์มะเขือเทศ ทำการเปรียบเทียบผลของการแยกเมล็ดที่ระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านข้างทางด้านเข้า (Sc_i) และด้านออก (Sc_o) จำนวน 3 แบบคือ 1) Sc_i เท่ากับ Sc_o และมีค่า 15 มิลลิเมตร 2) Sc_i มากกว่า Sc_o โดย Sc_i 20 มิลลิเมตร และ Sc_o 5 มิลลิเมตร 3) Sc_i น้อยกว่า Sc_o โดย Sc_i 5 มิลลิเมตร และ Sc_o 20 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบร่วมกับผลของระยะห่างระหว่างปลายใบตีแยกกับตะแกรงด้านล่าง (Cc) 3 ระดับ ได้แก่ 10 20 และ 30 มิลลิเมตร ตามลำดับ วางแผนการทดสอบแบบ 3x3 factorial experiment in CRD 3 ซ้ำ ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ....

ตารางที่ 2.8 ผลทดสอบเครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เมื่อรูตะแกรงมีขนาด 8 มิลลิเมตร ต้นกำลังเป็นมอเตอร์เฟสเดียวขนาด 3 แรงม้า 220 โวลต์ ความเร็วเชิงเส้นปลายใบตีแยกเมล็ด 22.5 เมตรต่อวินาที

A ระยะห่างปลายใบตีกับตะแกรงล่าง (Cc)	เมล็ดมะเขือเทศหลุดจากเปลือกและเข้าสู่ช่องรับเมล็ด (%)								
	c1 พันธุ์ท้อ			c2 พันธุ์สีดา			c3 พันธุ์อีเป๋อ		
	b1 (Sci < Sco)	b2 (Sci = Sco)	b3 (Sci > Sco)	b1 (Sci < Sco)	b2 (Sci = Sco)	b3 (Sci > Sco)	b1 (Sci < Sco)	b2 (Sci = Sco)	b3 (Sci > Sco)
a1 10 mm	44.7[a]	<u>98.3[a]</u>	81.4[a]	88.8[ab]	76.5[b]	82.6[b]	93.7[a]	67.0[c]	90.3[a]
a2 20 mm	87.4[b]	88.6[b]	88.6[b]	87.0[b]	<u>91.2[a]</u>	88.1[a]	85.2[b]	88.8[b]	90.6[a]
a3 30 mm	94.0[c]	83.3[c]	89.2[b]	90.1[a]	88.7[a]	84.7[b]	85.3[b]	<u>98.9[a]</u>	92.4[a]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 2.8 พบว่า เครื่องต้นแบบมีการแยกเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์ท้อได้มากที่สุด 98.3 % เมื่อ Cc 10 มิลลิเมตร และ Sc_i เท่ากับ Sc_o พันธุ์สีดาแยกเมล็ดได้มากที่สุด 91.2 % เมื่อ Cc 20 มิลลิเมตร และ Sc_i เท่ากับ Sc_o และแยกเมล็ดพันธุ์อีเป๋อได้มากที่สุด 98.91 % เมื่อ Cc มีค่า 30 มิลลิเมตร และ Sc_i เท่ากับ Sc_o เช่นเดียวกัน ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปัจจัยที่ทดสอบได้แก่ Cc Sc_o Sc_i และชนิดพันธุ์มะเขือเทศ มีผลต่อความสามารถในการแยกเมล็ดออกจากเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และพบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสามซึ่งแสดงดังตารางที่ ...

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือก เมื่อรูตะแกรงมีขนาด 8 มิลลิเมตร ต้นกำลังเป็นมอเตอร์เฟสเดียวขนาด 3 แรงม้า 220 โวลต์ ความเร็วเชิงเส้นปลายใบตีแยกเมล็ด 22.5 เมตรต่อวินาที มีการแยกเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์ท้อได้มากที่สุด 98.3 % เมื่อ Cc 10 มิลลิเมตร และ Sci เท่ากับ Sco พันธุ์สีดาแยกเมล็ดได้มากที่สุด 91.2 % เมื่อ Cc 20 มิลลิเมตร และ Sci เท่ากับ Sco และแยกเมล็ดพันธุ์อีเป๋อได้มากที่สุด 98.91 % เมื่อ Cc มีค่า 30 มิลลิเมตร และ Sci เท่ากับ Sco เช่นเดียวกัน ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปัจจัยที่ทดสอบได้แก่ Cc Sco Sci และชนิดพันธุ์มะเขือเทศ มีผลต่อความสามารถในการแยกเมล็ดออกจากเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และพบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสาม ซึ่งเครื่องต้นแบบสามารถนำไปใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศได้ นอกเหนือจากการเตรียมเมล็ดและเนื้อสำหรับการ แยกเมล็ดและไส้ของพริกแห้งออกจากเปลือก และต้นแบบเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดมะเขือเทศสดออกจากเนื้อ เพื่อการเตรียมเมล็ดหรือไส้ไปเป็นวัตถุดิบสำหรับนำไปสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤต จะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพในการผลิต เป็นการส่งเสริมการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากผลิตผลการเกษตรที่มีจำนวนมากในประเทศ และลดการนำเข้าเครื่องจักรและวัตถุดิบจากต่างประเทศได้

บทที่ 3

วิจัยและพัฒนาเครื่องดองผักแบบความดันอัดอากาศร่วมกับน้ำดองที่ผสมหัวเชื้อน้ำดอง

Research and Development of Vegetable Pickling Machine by Using the Hydro static Process and mixed starter solution

กลวัชร ทิมินกุล	พินิจ จิรัคคกุล	เวียง อากรชี
Kolawachra Timingoon	Pinij Jirukkakul	Weang Arekornchee
ศักดิ์ชัย อาษาวัง	ประยูร จันทองอ่อน	ธนกฤต โยธาทูล
Sakchai Arsawang	Prayoon Chanthongon	Thanakrit Yothatool

คำสำคัญ

เครื่องดองผักแบบใช้ความดันอัดอากาศ, ไฮโดรสแตติก,

Hydro static, Pickling Machine by Using the Hydro static Process

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำหลักการใช้ความดันไฮโดรสแตติกมาประยุกต์ต่อยอดงานวิจัย ในการดองเปรี้ยวด้วยตัวเองหรือการดองที่เกิดความเปรี้ยวจากแลกติคแบคทีเรีย โดยใช้ความดันอากาศอัดเข้าไปในถังความดันเร่งการซึมผ่านของน้ำดองให้เข้าไปในเนื้อผัก โดยส่วนผสมของน้ำดองคือน้ำเกลือ3% น้ำซาวข้าว1% ข้าวสุก1% น้ำหัวเชื้อน้ำดองเฉพาะของผักแต่ละชนิดใช้ในปริมาณ 3% ได้ออกแบบถังความดันใช้สำหรับผักซึ่งมีความแน่นเนื้อต่ำกว่าผลไม้จึงมีการใช้ปั๊มความดันและโครงสร้างที่ไม่ต้องทนแรงดันที่สูงมาก แต่ต้องไม่น้อยกว่า 7 ใช้แรงดันและระยะเวลาในการอัดอากาศตามความเหมาะสมกับผักแต่ละชนิดคือผักกุ่ม ผักเสี้ยน หน่อไม้ แตงกวา ใช้ความดัน 5 บาร์ใช้เวลาในการอัดอากาศ 10 นาที และกะหล่ำปลีใช้ความดัน 5 บาร์อัดอากาศนาน 5 นาที แล้วนำออกมาหมักต่อไปอีกในภาชนะที่สะอาดและปิดฝามิดชิด จนเกิดความเปรี้ยวจากกรดแลคติก ที่เป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เรียกว่าแลคติกแบคทีเรีย ซึ่งจะเจริญเติบโตได้ดีในที่อับอากาศหรือมีอากาศน้อย ทำการเปรียบเทียบคุณภาพ กลิ่น สี รสชาติกับการดองด้วยวิธีการปกติหรือการดองแบบวิธีชาวบ้าน ผลการดองแบบอัดน้ำดองเข้าในเนื้อผักก่อนการดองผักกุ่มหลังจากอัดน้ำเกลือแล้วดองเป็นเวลา 3 วันจึงเปรี้ยวและกินได้เช่นเดียวกับผักเสี้ยนใช้เวลา 3 วันหน่อไม้ดองใช้เวลา 3 วันกะหล่ำปลีใช้เวลา1วันและแตงกวาใช้เวลา 5 วัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการดองแบบวิธีชาวบ้านสำหรับผักทั่วไปสามารถลดเวลาในการดองได้ 1-2 วันและลดขั้นตอนการเตรียมผักก่อนนำมาดองโดยไม่ต้องขยำให้แตก ในกรณีของผักที่มีเฟื่อนและความขมเช่นผักกุ่มและหน่อไม้สามรถลดขั้นตอนในการแช่น้ำเปล่าเพื่อลดความเฟื่อนและความขมได้ไม่น้อยกว่า 3 วันทำให้สะดวกและลดเวลาให้น้อยลง

Abstracts

This research were used the pressure was used to reduce the pickling time of vegetable .Air pressure was used to push the pickle solution into the texture of vegetable The picking solution which is contain of the salt 3%, water from washing rice and pickling starter 3%. The pressure tank was design for using the minimum 7 bar of pressure to provide for each kind of vegetable and the holding pressure time. We use 5 vegetables are Crateva magna, Cleome viscose, Cabbage, Bamboo shoot and Cucumber. The optimize pressure and holding pressure time is 5 bar and 10 minute holding pressure time for Crateva magna, Cleome viscose, Bamboo shoot and Cucumber but for Cabbage is 5bars and 5 minute holding pressure time. After pressure push in process take it out and continue to pickle in the clean container with a few air condition corresponding to the Lactic ferment process. Then compare to the villager pickle style by using the sensory test. We found that the retention time of ferment was shorter than the villager style around 1-2 days and it can be solve the preparing sort cut by we no need to beak the vegetable texture down and soaking process for some bitter vegetable such as Crateva magna and Bamboo shoot atlease 3 days so these are the advantage of this method to available our comfort and reduce time.

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

สถานการณ์การปลูกผักมีพื้นที่ปลูกผัก 3 ล้านไร่ผลผลิต 3.5 ล้านตันผลผลิตจะมีออกสู่ตลาดทั้งปีแต่จะมีปริมาณมากที่สุดในช่วงธันวาคม –กุมภาพันธ์ ปี 2553 ประเทศไทยส่งออกพืชผักและผลิตภัณฑ์มีปริมาณ 526,073 ตันมูลค่า 20,090 ล้านบาท นำเข้าผักและผลิตภัณฑ์ปริมาณ 440,314 ตันมูลค่า 9,165 ล้านบาท แนวโน้มความต้องการใช้พืชผักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้องการสำหรับใช้บริโภคภายในประเทศเพิ่มขึ้น ปริมาณการส่งออกพืชผักสดและผลิตภัณฑ์ผักเพิ่มขึ้นทุกปีการผลิตของประเทศคู่แข่งในการส่งออกที่สำคัญได้แก่ จีนอินโดนีเซียฟิลิปปินส์และเวียดนามมีแนวโน้มการผลิตเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลผลิตที่มีจำนวนมากและล้นตลาด การแปรรูปผักจึงมีความจำเป็น การดองซึ่งเป็นการแปรรูปและถนอมอาหารอีกวิธีหนึ่ง จึงจำเป็นที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาผักล้นตลาดและเป็นการเพิ่มมูลค่าสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร การดองผักที่เป็นวิธีแบบชาวบ้านจะใช้เวลานาน และเพื่อเป็นการนำเครื่องจักรมาใช้ในกระบวนการผลิตผักดองที่เป็นการผลิตในรูปแบบอุตสาหกรรม โดยการใช้ความดันอัดอากาศกับน้ำดองที่ผสมกับหัวเชื้อที่ได้จากการดองผักชนิดเดียวกันในการดองแบบธรรมชาติที่เตรียมไว้สำหรับ นำมาใช้เป็นหัวเชื้อน้ำดองหรือตัวตั้งต้น (starter) ในอัตราส่วนโดยทั่วไปประมาณ 3% อันจะช่วยลดเวลาการหมักดอง ส่วนในการเตรียมวัตถุดิบไม่ต้องบีบหรือนวดผักให้การอัดแรงดันเข้าไปในถังที่ประกอบไปด้วยผักที่แช่ในน้ำดองที่ผสมกับหัวเชื้อ ความดันจะช่วยให้น้ำดองแทรกเข้าในเนื้อผักได้เร็วขึ้นหลังจากนั้นทำการดองต่อในภาชนะที่สะอาดมีฝาปิดมิดชิดซึ่งผลจากการนำเอาแรงดันและหัวเชื้อมาผสมกับน้ำดองสูตรปกติที่ใช้กันทั่วไปคือ สารละลายเกลือ 3% และน้ำซาวข้าวหรือน้ำตาล ข้าวสุก จะช่วยลดระยะเวลาในการดองผักให้เร็วขึ้นได้

วัตถุประสงค์

เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องดองผักโดยใช้ความดันอัดอากาศร่วมกับน้ำดองที่ผสมหัวเชื้อน้ำดอง

ขอบเขตและวิธีการวิจัย

การวิจัยและพัฒนาเครื่องดองผักนี้ ให้เป็นเครื่องที่สามารถใช้งานแบบเอนกประสงค์กับผักที่หลากหลาย โดยเฉพาะผักท้องถิ่นเช่นผักเสี้ยน ผักกุ่ม หรือผักเศรษฐกิจอื่นๆ โดยการใช้ความดันอัดอากาศมาใช้คู่กับน้ำดองที่ผสมกับหัวเชื้อน้ำดอง ที่ได้จากน้ำดองที่หมักดองแบบวิธีธรรมชาติมาผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมประมาณ3%

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ความดันไฮโดรสแตติกในขบวนการดองพบว่า

วรพจน์ สุนทรสุข ได้นำความดันไฮโดรสแตติก (Hydrostatic pressure) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ สำหรับการถนอมอาหาร โดยการกำจัดจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร แทนการใช้ความร้อน วิธีนี้มีข้อดีคือ รสชาติและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารยังคงเหมือนเดิม เขาจึงได้มีแนวคิดในการนำความดันไฮโดรสแตติกมาใช้ในกระบวนการการดองอาหารให้มีลักษณะปรากฏที่สม่ำเสมอและใช้เวลาในการดองอาหารสั้นลง ปกติการดองโดยวิธีธรรมชาติต้องใช้เวลานาน แต่การดองอาหารด้วยวิธีไฮโดรสแตติกจะช่วยประหยัดเวลาและไม่ทำให้อาหารเสียคุณค่าทางโภชนาการ โดยอาศัยหลักการใช้ความดันช่วยเร่งสารที่ต้องการให้เข้าไปในตัวผลิตภัณฑ์ให้เร็วขึ้น ในงานวิจัยนี้เขาได้ศึกษาระยะเวลาการผลิตขิงดองสามรสด้วยการใช้ความดันไฮโดรสแตติก เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขิงดอง และคัดเลือกสูตรน้ำดอง โดยใช้วิธีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและค่าสี ผลการวิจัยพบว่า การใช้ความดันไฮโดรสแตติกในการดองขิงนั้นสามารถลดระยะเวลาการผลิตขิง

ดองจาก 21 วัน เหลือเพียง 2 วัน โดยผลิตภัณฑ์ขิงดองที่ได้ไม่แตกต่างจากขิงดองในสภาวะปกติ สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขิงดองสามรส คือระดับความดัน 5 บาร์ เป็นเวลา 2 วัน

อลิษา วิลันโท ได้นำเทคโนโลยีความดันไฮโดรสแตติกมาใช้ร่วมกับน้ำดองที่ผ่านการหมักดองแล้วพบว่าเป็นวิธีที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มะม่วงดองได้เร็วยิ่งขึ้น และยังเป็นการนำน้ำดองกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้ง ในการศึกษานี้เขาได้ศึกษาหาความเข้มข้นของเกลือในน้ำดองและระยะเวลาในการอัดความดันที่เหมะสมในการผลิตมะม่วงดอง โดยเริ่มจากนำมะม่วงมาอัดความดันที่ 500 kPa เป็นเวลา 3 วัน ด้วยน้ำดองที่มีความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 10, 12 และ 15 โดยน้ำหนัก พบว่า ปริมาณเกลือจะแพร่เข้าสู่มะม่วงได้มากขึ้น เมื่อระดับความเข้มข้นของเกลือมากขึ้น คือ ร้อยละ 2.07, 2.24 และ 2.69 ตามลำดับ ดังนั้นระดับความเข้มข้นของเกลือในน้ำดองที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 15 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอัดความดันที่ 500 kPa ด้วยน้ำดองที่มีความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 2, 3, 4 และ 5 วัน พบว่าระยะเวลาการอัดความดันมีผลต่อปริมาณเกลือ กรด ความชื้น ค่าความกรอบ และค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และการอัดความดันโดยใช้เวลา 3 วันมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของมะม่วงดองที่ได้มีความใกล้เคียงกับมะม่วงดองในภาวะปกติมากที่สุด

แก้วกานต์ บุญยะเพ็ญ ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องดองมะม่วงโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก แบบความดันสูงและแบบสุญญากาศ ได้กล่าวถึงงานวิจัยว่า การศึกษาหาความดันและระยะเวลาในการอัดความดันที่เหมาะสมในการทำมะม่วงดองโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติกแบบความดันสูงและแบบสุญญากาศ โดยใช้ถังสแตนเลสขนาด 0.015 ลูกบาศก์เมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร และสูง 40 เซนติเมตร เป็นถังดองมะม่วง ขั้นตอนแรกนำมะม่วงแก้วสดมาดองในน้ำดองที่มีส่วนประกอบต่างๆ คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักคือ โซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 10 แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 และโปสแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ร้อยละ 0.1 และหาความดันที่เหมาะสมจากการอัดความดันที่ 300, 400 และ 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 6 วัน พบว่า การดองภายใต้ความดันสูง สามารถทำให้เกลือมีอัตราการแพร่เข้าสู่มะม่วงได้มากกว่าไม่ใช้ความดัน ดังนั้นการดองภายใต้ความดันที่ 500 กิโลปาสคาล จึงเหมาะสมมากที่สุด ส่วนปริมาณกรดและความชื้นจะมีค่าลดลง โดยการลดลงของกรดและความชื้นของมะม่วงที่อัดความดันจะมีอัตราลดลงสูงกว่าที่ไม่ได้อัดความดันจากนั้นได้ทำการศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำมะม่วงดองโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติกแบบความดันสูง โดยการนำมะม่วงแก้วสดมาอัดความดันที่ 500 กิโลปาสคาล ในน้ำที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 9 วัน พบว่าการดองที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 โดยน้ำหนักที่เวลา 6 วัน และการดองที่ความเข้มข้นเกลือร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่เวลา 4 วัน จะให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ดีที่สุด สามารถลดเวลาในการดองได้สั้นลง แต่การดองมะม่วงแบบสุญญากาศที่มีความเข้มข้นเกลือร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ต้องใช้เวลามากกว่า 9 วัน จึงมีปริมาณเกลือถึงจุดสมดุล และใกล้เคียงกับมะม่วงสูตรดองเค็มที่ดองด้วยวิธีปกติมากที่สุด ดังนั้นความดันและความเข้มข้นของเกลือจึงมีผลต่อการดองมะม่วง นอกจากนี้ได้ทดลองการดองแบบแช่อิ่มภายใต้ความดัน 500 กิโลปาสคาล เป็นเวลา 1 วัน พบว่าน้ำตาลสามารถซึมเข้าเนื้อมะม่วงได้มากขึ้น โดยอาศัยหลักการเดียวกับการแพร่ของเกลือ ปริมาณเกลือและปริมาณความชื้นมีปริมาณลดลงทำให้ลดเวลาในการแช่อิ่มได้ กรออกแบบถังความดันสำหรับการดองมะม่วงความดันไฮโดรสแตติกนี้ สามารถนำไปพัฒนาในการประกอบอุตสาหกรรมถนอมอาหารกับผลิตผลทางการเกษตรชนิดอื่นได้อีก เพราะนอกจากจะเป็นการลดเวลาในการผลิตแล้วยังสามารถที่จะรองรับผลิตผลทางการเกษตรชนิดอื่น เพื่อนำมาถนอมอาหารให้สามารถแปรรูปออกสู่ตลาดได้ แต่ต้องมีการพัฒนารูปแบบศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของสิ่งที่จะนำมาแปรรูปต่อไป เป็นการเพิ่มรายได้และประหยัดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาจะเป็นการนำความดันสูงมาใช้สำหรับการดองเค็มหรือดองหวาน สำหรับผลไม้ซึ่งการดองทั้งสองแบบเป็นการดองที่อาศัยน้ำดองที่ประกอบสารละลายเกลือหรือน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงให้เข้าไปอยู่ในเนื้อของผักหรือผลไม้ ก็จะเป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการ เป็นการถนอมอาหารได้แล้ว เนื่องจากผลไม้มีความแน่นเนื้อสูงจึงต้องอาศัยแรงดันที่สูง นั่นหมายถึงต้องใช้ปั๊มที่สามารถสร้างแรงดันสูงตลอดจนถังหมักต้องออกแบบให้สามารถทนแรงดันสูงได้นั่นจึงหมายถึงราคาต้นทุนเครื่องจักรต้องสูงตามไปด้วย

แต่ในงานวิจัยนี้เป็นการนำหลักดังกล่าวการมาประยุกต์ต่อยอดงานวิจัย ในการดองเปรี้ยวด้วยตัวเองหรือการดองที่เกิดความเปรี้ยวจากแลกติคแบคทีเรีย โดยใช้ความดันอากาศอัดเข้าไปในถังความดันเร่งการซึมผ่านของน้ำดองให้เข้าไปในเนื้อผักด้วยส่วนผสมของน้ำดองคือน้ำเกลือ น้ำซาว ข้าวสุก น้ำหัวเชื้อน้ำดองเฉพาะของผักแต่ละชนิด ออกแบบมาใช้สำหรับผักซึ่งมีความแน่นเนื้อต่ำกว่าผลไม้จึงมีการใช้ปั๊มความดันและโครงสร้างที่ไม่ต้องทนแรงดันที่สูงมาก แต่ต้องไม่น้อยกว่า 7 ใช้ระยะเวลาในการอัดอากาศตามความเหมาะสมจนได้ที่แล้วนำออกมาหมักต่อไปอีกในภาชนะที่สะอาดและปิดฝามิดชิด จนเกิดความเปรี้ยวจากกรดแลคติกที่เป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เรียกว่า แลคติกแบคทีเรีย ซึ่งจะเจริญเติบโตได้ดีในที่อับอากาศหรือมีอากาศน้อย ทำการเปรียบเทียบคุณภาพ กลิ่น สี รสชาดกับการดองด้วยวิธีการปกติหรือการดองแบบวิธีชาวบ้าน

ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการนำหลักการการดองแบบไฮโดรสแตติกที่ได้นำมาใช้ดองเค็มหรือแช่อิ่มผลไม้มาประยุกต์ต่อยอดงานวิจัย ในการดองเปรี้ยวด้วยตัวเองหรือการดองแบบอาศัยแบคทีเรียทำให้เกิดความเปรี้ยวแทนที่ในขั้นตอนการนวดหรือขยำผักให้แตก โดยใช้ความดันอัดอากาศเข้าไปในถังที่มีการออกแบบถังแรงดันมาใช้สำหรับผักซึ่งมีความแน่นเนื้อต่ำกว่าผลไม้จึงมีการใช้ปั๊มความดันและโครงสร้างที่ไม่ต้องทนแรงดันที่สูงมาก แต่ต้องไม่น้อยกว่า 7 บาร์ ที่มีผักแช่ในน้ำดองที่มีส่วนผสมของน้ำเกลือ น้ำซาวข้าว ข้าวสุก และหัวเชื้อน้ำดอง ผักที่นำมาดองได้แก่ ผักกุ่ม ผักเสี้ยน กะหล่ำปลี หน่อไม้และแตงกวา หลังจากอัดน้ำดองเข้าไปในเนื้อผักแล้ว นำออกมาหมักต่อในภาชนะที่มิดชิดหรืออากาศน้อยต่อไปอีกเพื่อให้เกิดความเปรี้ยวจากการเกิดกรดแลคติกที่เป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เรียกว่า แลคติกแบคทีเรีย ซึ่งจะเจริญเติบโตได้ดีในที่อับอากาศหรือมีอากาศน้อย แล้วทำการเปรียบเทียบคุณภาพ กลิ่น สี รสชาดกับการดองด้วยวิธีการปกติหรือแบบวิธีชาวบ้าน

โดยสถานที่ทำการทดลองคือศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่นเริ่มโครงการ 2559 สิ้นสุดโครงการ2560 และมีวิธีการดำเนินการดังนี้

1. การหาความเข้มข้นเกลือที่เหมาะสมสำหรับการดองผักแต่ละชนิด
2. ศึกษากรรมวิธีการดองผักวิธีแบบชาวบ้าน
3. การใช้เครื่องอัดแรงดันอากาศ
4. วิธีการหาความดันและเวลาในการอัดอากาศที่เหมาะสม
5. วิธีการดองแบบอัดน้ำดองเข้าในเนื้อผักก่อนการดอง
6. วิธีการวัดความเป็นกรดและเกลือของผักดอง

1. การหาความเข้มข้นเกลือที่เหมาะสมสำหรับการดองผักแต่ละชนิด

จากการสำรวจการทำผักดองแต่ละชนิดแบบชาวบ้านมาทำการวัดหาความเข้มข้นเกลือและโดยการสอบถามและตวงวัดปริมาณเกลือจากคำแนะนำพบว่ามีความเข้มข้นเกลือที่ใช้ในการดองที่ประมาณ 3% สำหรับผักกุ่ม ผักเสี้ยน กะหล่ำปลี หน่อไม้ส่วนแตงกวาจะเป็นการดองน้ำส้มสายชูและการใช้เกลือเพื่อเป็นการเพิ่มรสชาด

2. วิธีการดองผักวิธีแบบชาวบ้าน

เป็นการทดลองสูตรการดองที่ได้รับคำแนะนำมาจากวิธีชาวบ้านด้วยตัวเองเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับการดองแบบวิธีการดองแบบอัดอากาศ

(ก) การดองผักเสี้ยน

(ข) ผักกุ่มดอง

(ค) กะหล่ำปลีดอง

(ง) หน่อไม้ดอง

(จ) แตงกวาดอง

ภาพที่ 3.1 การทำผักดองแบบชาวบ้าน

จากการทดลองดองแบบวิธีชาวบ้านด้วยตัวเองในภาพที่ 3.1 (ก)-(จ) โดยการใช้สูตรตามคำแนะนำคือ น้ำเกลือ3%ผสมน้ำซาวข้าว 1% และข้าวสุก 1%

- ดองผักกุ่มต้องตากแดดให้สลดแช่น้ำเปล่าอย่างน้อย 3 วัน หลังจากนั้นนำมาล้างน้ำเปล่าจึงนำมาดองตามสูตร
- ผักเสี้ยนตากแดดให้สลดนำมาขยำกับเกลือแล้วล้างด้วยน้ำเปล่า 3 ครั้ง เพื่อลดความเหม็นเขียวและความเฝื่อนจึงนำมาดองตามสูตร
- กะหล่ำปลีตากแดดให้สลดนำมาขยำกับเกลือแล้วล้างด้วยน้ำเปล่า2ครั้งแล้วจึงนำมาดองตามสูตร
- หน่อไม้สดสับแช่น้ำเปล่าอย่างน้อย3วันหลังจากนั้นนำมาล้างน้ำเปล่าจึงนำมาดองโดยใช้เฉพาะน้ำเกลือ 3%
- แตงกวาให้ต้มน้ำ1ถ้วยให้เดือดเติมเกลือ1ช้อนโต๊ะน้ำตาล1ช้อนโต๊ะทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำส้มสายชูคนให้เข้ากัน นำภาชนะมาต้มฆ่าเชื้อใส่แตงกวาแล้วเทน้ำดองให้ท่วม

3. การใช้เครื่องอัดแรงดันอากาศ

- ปั๊มลมให้เต็มถังลม(Air Compressure)
- ใส่ผักที่จะนำมาดองลงในถังอัดอากาศแล้วเติมน้ำดองให้ท่วมผัก

- ปิดฝาถังอัดอากาศให้แน่นแล้วต่อสายลมเข้าถังอัดอากาศตามความดันและเวลาที่กำหนดของผักแต่ละชนิด

- นำผักที่ผ่านการอัดอากาศแล้วออกมาดองในภาชนะที่สะอาดและมีฝาปิดมิดชิดเก็บไว้ในที่ที่มีอากาศถ่ายเท

4. การทดลองหาความดันและเวลาในการอัดอากาศที่เหมาะสม

การทดลองหาความดันและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอัดน้ำดองภายใต้ความดันอัดอากาศของผักแต่ละชนิด ผักที่นำมาทดสอบการดอง 5 ชนิดคือ ผักเสี้ยน ผักกุ่ม ผักกะหล่ำปลี หน่อไม้ แตงกวา

วิธีการทดลอง

1. การทดลองเพื่อหาเวลาในการอัดอากาศสำหรับผักแต่ละชนิด (5 ชนิด) ที่ความดัน (2 ระดับ) คือ 5 บาร์และ 10 บาร์ ปรับเปลี่ยนเวลาในการอัดอากาศ (4 ระดับ) คือ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที และ 20 นาที

2. นำผักแต่ละชนิดอย่างละ1กก.ใส่ลงในถังอัดอากาศเติมน้ำเปล่าให้ท่วมตามภาพที่ 3.2

3. ทำการอัดอากาศเข้าไปในถังตามความดันและเวลาที่วางแผนไว้ ค่าชี้วัดที่นำมาพิจารณาในการเลือกจุดทำงานคือความเสียหายที่เกิดกับผักต้องไม่เละหรือถ้าน้อยไปเกลือก็จะเข้าไปในเนื้อผักไม่ทั่วถึง

ภาพที่ 3.2 การบรรจุผักและน้ำดองในถังอัดอากาศ

5. การดองแบบอัดน้ำดองเข้าในเนื้อผักก่อนการดอง

วัสดุและอุปกรณ์

1) ถังอัดแรงดันอากาศความจุ 50 ลิตรพร้อมปั๊มลม

2) เตรียมผักแต่ละชนิดอย่างละ 1 กิโลกรัมต่อหนึ่งการทดลอง โดยคัดเอายอดอ่อนหรือดอกสำหรับผักกุ่มและสำหรับผักเสี้ยนเลือกตัดต้นที่ไม่อ่อนหรือแก่จัดเลือกแก่ปานกลางอายุประมาณ1เดือนหรือตัดรากทิ้งในกรณีที่ถอนทั้งต้นมาแล้วนำมาตากแดด ดังภาพที่ 3.3 เพื่อให้ผักสลดเพื่อลดความเหม็นเขียว กะหล่ำปลี ตากแดดให้สลด หน่อไม้สดสับเป็นชิ้น แตงกวาล้างให้สะอาด

3) น้ำดองที่ประกอบไปด้วยสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้น 3%, น้ำซาวข้าว 1%, ข้าวสุก 1%

4) หัวเชื้อน้ำดองของผักแต่ละชนิด 3%

ภาพที่ 3.3 การตากแดดผักก่อนทำการอัดอากาศ

นำผักอย่างละ1กกใส่ในถังอัดอากาศเติมน้ำดองให้ท่วมปิดฝาแล้วอัดอากาศเข้าถังสำหรับผักกุ่มคือ 5 บาร์ ใช้เวลา 10 นาที และผักเสี้ยนคือ 5 บาร์ใช้เวลา 10 นาที หน่อไม้ 5 บาร์ 10นาที กะหล่ำปลี 5 บาร์ 5 นาที นำออกจากถังเก็บในภาชนะที่มีปิดฝาหรือใส่ในถุงพลาสติกรัดด้วยหนังยาง แตงกวาหลังจากเติมน้ำเกลือผสมน้ำตาลและน้ำส้มสายชูตามสูตรแล้วนำใส่ภาชนะที่ผ่านการต้มฆ่าเชื้อแล้วเปิดฝานำไปใส่ในถังอัด 5 บาร์10 นาที แล้วนำออกมาปิดฝาเก็บไว้ในที่มีอากาศถ่ายเท

6. การวัดความเป็นกรดและเกลือของผักดอง

การวัดค่าความเป็นกรดของผักดองด้วย pH-meter ดังภาพที่ 3.4 เพื่อแสดงค่าชี้ผลออกมาในรูปแบบที่เป็นค่าตัวเลขแทนความรู้สึกที่ว่ามีความเปรี้ยวมากหรือเปรี้ยวน้อยหรือหมักดองได้ที่แล้ว จะได้เห็นความแตกต่างของการเกิดกรดและการซึมผ่านของเกลือการดองแบบชาวบ้านและการดองด้วยการอัดน้ำเกลือก่อนการดองและการดองด้วยน้ำเกลือโดยไม่ต้องขยำผักให้แตกเพื่อที่จะเปรียบเทียบผลของการใช้เครื่องอัดอากาศก่อนการดองเทียบกับการดองแบบวิธีชาวบ้านและแบบไม่ขยำแล้วแช่ในน้ำเกลือและน้ำซาวข้าว

วัสดุอุปกรณ์การตรวจวัด PH

ภาพที่ 3.4 pH meter ยี่ห้อ OAKTON รุ่นpH5+

การตรวจวัดปริมาณเกลือ
อุปกรณ์

- Refractometer

ภาพที่ 3.5 Refractometer 0-28 ATC

วิธีการทดลอง

การตรวจวัด PH ในตัวอย่างผักดอง 4 ชนิด

ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการวัดค่าpH

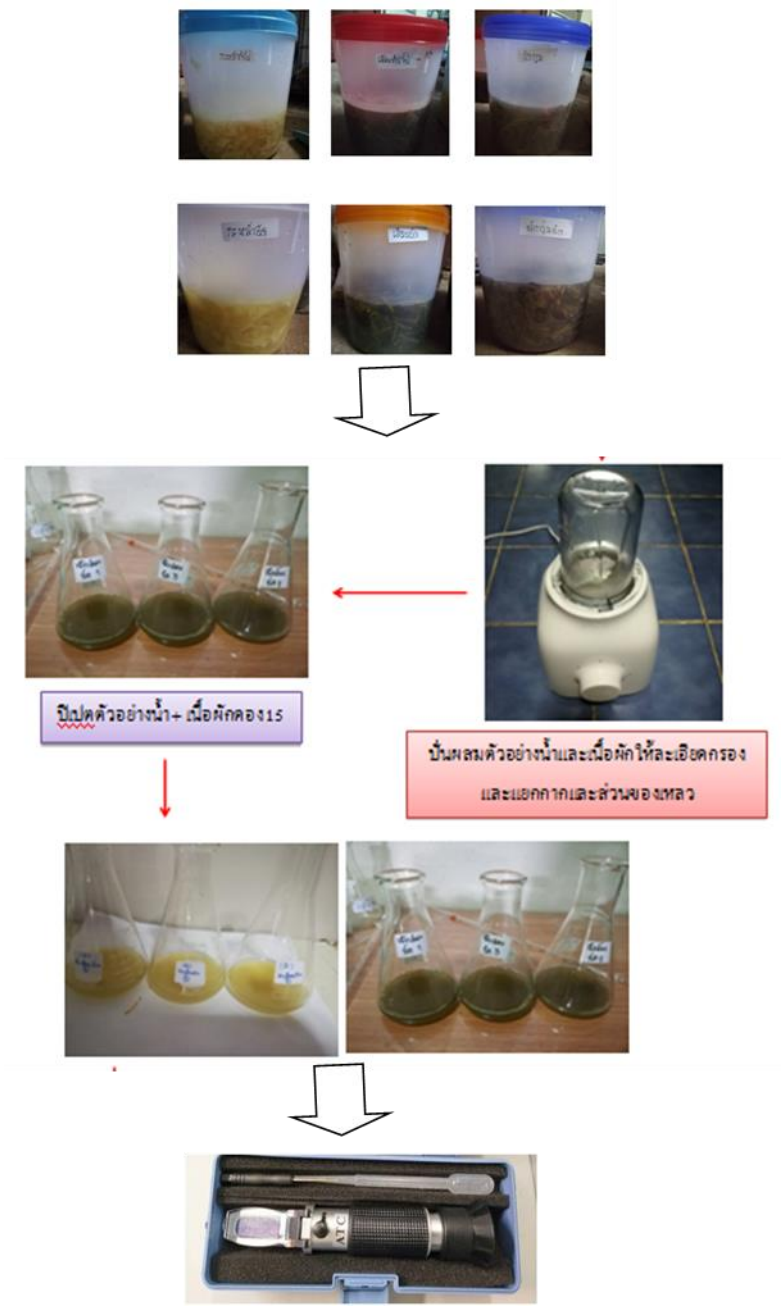
สุ่มผักดองมาแล้วแยกออกเป็น 2 ส่วนคือน้ำดองกับเนื้อผักดองนำเนื้อผักมาปั่นกับน้ำดองแล้วทำการวัดค่า pH โดย ใช้ pH meter ดังภาพที่ 3.6

1. วัดค่าpHของน้ำดอง
2. วัดค่าpHของเนื้อผัก+น้ำดอง

ค่า pH คือ ค่าpHของเนื้อผัก=2-1

วิธีการทดลอง

การตรวจวัดปริมาณเกลือ

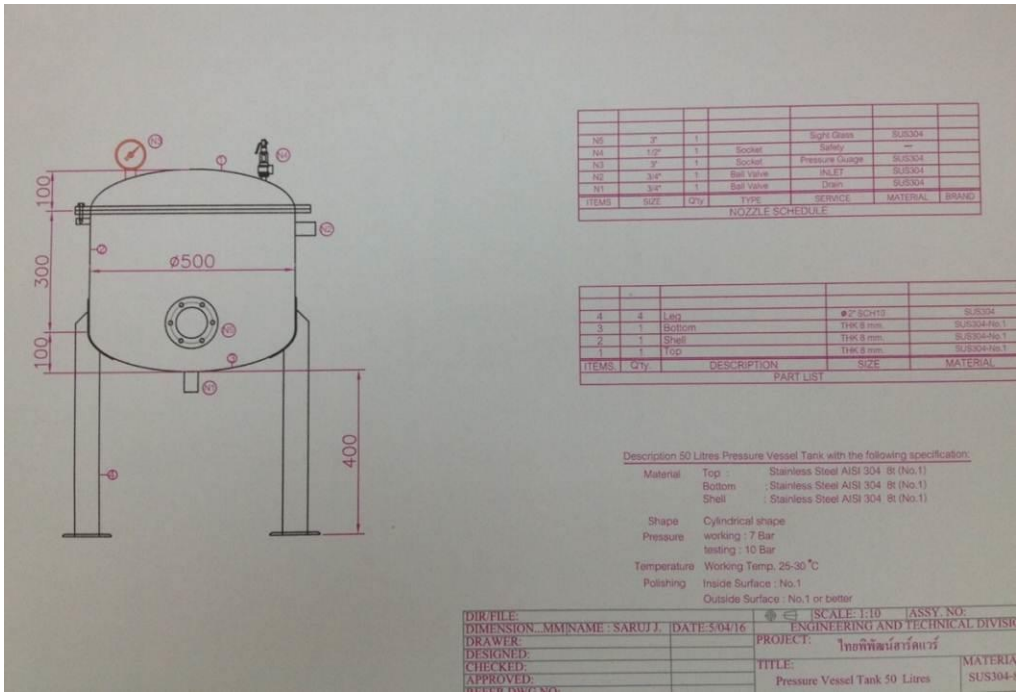


ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการวัดค่าเกลือ

นำผักดองมาแยกเป็น 2 ส่วนแล้ววัดโดยใช้ Refractometer (**ภาพที่ 3.7**)
%เกลือที่ซึมเข้าเนื้อคือ เกลือในเนื้อผักดองปั่นรวมกับน้ำดอง-เกลือในน้ำดอง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ



ภาพที่ 3.8 แบบเครื่องทำผักดองแบบความดันอัดอากาศ

ภาพที่ 3.9 เครื่องต้นแบบเครื่องทำผักดองแบบความดันอัดอากาศ

ได้แบบดังภาพที่ 3.8 และเครื่องต้นแบบถังแรงดันอัดอากาศขนาดความจุ 50 ลิตร(ภาพที่ 3.9) ทำจากสแตนเลส SUS 304 ทนแรงดันได้ไม่น้อยกว่า 7 บาร์แต่ในทางปฏิบัติที่ความดันเกิน 5 บาร์เนื้อผักบางชนิดจะแตก จึงเป็นการออกแบบเผื่อการประยุกต์การใช้งานอย่างอื่นเช่นการดองเค็ม การดองหวาน การแช่อิ่มสำหรับผักและ

ผลไม้บางชนิด มีวาล์ป้องกันแรงดันสูงเกินกำหนด (Relieve Valve) มีเกจวัดความดัน(Pressure Gauge) ช่องกระจกมองข้าง(Sight Glass) การบรรจุผักและน้ำดองใช้แรงคน โดยมีฝาปิด-เปิดที่ด้านบน และมีช่องเปิดน้ำ (Drainage)ที่ด้านล่างของถัง มีรูปแบบการทำงานเป็นแบบงวด (Batch Type) ใช้คู่กับถังลมหรือ Air Compressure ขนาดไม่น้อยกว่า 60 ลิตร 7 บาร์

ผลการหาความเข้มข้นเกลือที่เหมาะสมสำหรับการดองผักแต่ละชนิด

จากการสำรวจการทำผักดองแต่ละชนิดแบบชาวบ้านมาทำการวัดหาความเข้มข้นเกลือ(เอกสารแนบการหาความเข้มข้นของเกลือ)และโดยการสอบถามและตวงวัดปริมาณเกลือจากคำแนะนำพบว่ามีความเข้มข้นเกลือที่ใช้ในการดองที่ประมาณ 3% สำหรับผักกุ่ม ผักเสี้ยน กะหล่ำปลี หน่อไม้ส่วนแตงกวาจะเป็นการดองน้ำส้มสายชูและการใช้เกลือเพื่อเป็นการเพิ่มรสชาติ

ผลการดองผักแบบวิธีชาวบ้าน

(ก) ผักเสี้ยนดอง (ข) ผักกุ่มดอง (ค) กะหล่ำปลีดอง

(ง) หน่อไม้ดอง (จ) แตงกวาดอง

ภาพที่ 3.10 การทำผักดองแบบชาวบ้าน

จากการทดลองดองแบบวิธีชาวบ้านด้วยตัวเองในรูปที่10ก-จ โดยการใช้สูตรตามคำแนะนำคือน้ำเกลือ3% ผสมน้ำซาวข้าว1%และข้าวสุก1%

- ดองผักกุ่มต้องตากแดดให้สลดแช่น้ำเปล่าอย่างน้อย 3 วันหลังจากนั้นนำมาล้างน้ำเปล่าจึงนำมาดองตามสูตรอีก 3 วันสามารถกินได้
- ผักเสี้ยนตากแดดให้สลดนำมาขยำแล้วล้างด้วยน้ำเปล่า 3 ครั้งเพื่อลดความเหม็นเขียวและความเฝื่อนจึงนำมาดองตามสูตรอีก 3 วันสามารถกินได้

- กะหล่ำปลีตากแดดให้สลดนำมาขยำแล้วล้างด้วยน้ำเปล่า 2 ครั้งแล้วจึงนำมาดองตามสูตรอีก 2 วัน สามารถกินได้

- หน่อไม้สดสับแช่น้ำเปล่าอย่างน้อย 3 วันหลังจากนั้นนำมาล้างน้ำเปล่าจึงนำมาดองโดยใช้เฉพาะน้ำเกลือ 3% อีก 3 วันสามารถกินได้

- แตงกวาให้ต้มน้ำ 1 ถ้วยให้เดือดเติมเกลือ1ช้อนโต๊ะน้ำตาล1ช้อนโต๊ะทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำส้มสายชูคนให้เข้ากัน นำภาชนะมาต้มฆ่าเชื้อใส่แตงกวาแล้วเทน้ำดองให้ท่วมอีก 7 วันสามารถกินได้

ผลการอัดน้ำดองเข้าไปในเนื้อผัก

เพื่อหาความดันและเวลาในการอัดที่เหมาะสมสำหรับผักแต่ละชนิด

(ก) ผักกุ่มสด (ข) ผักกุ่มหลังการอัดอากาศในน้ำดอง

ภาพที่ 3.11 การอัดน้ำดองด้วยอากาศเข้าถังแรงดันสำหรับเตรียมการดองผักกุ่ม

การอัดน้ำดองด้วยอากาศสำหรับผักกุ่ม หลังการอัดอากาศเข้าถังในภาพที่ 3.2 ที่บรรจุผักกุ่มสดภาพที่ 3.11-ก แล้วพบว่าใบกุ่มช้ำและดูอิ่มน้ำดังภาพที่ 3.11-ข โดยใช้ความดัน 5 บาร์อัดอากาศเป็นเวลา 10 นาที

(ก) ผักเสี้ยนสด (ข) ผักเสี้ยนอัดน้ำดอง

ภาพที่ 3.12 การอัดน้ำดองด้วยอากาศในถังแรงดันสำหรับเตรียมการดองผักเสี้ยน

การอัดอากาศเข้าไปในถังสำหรับผักเสี้ยนสดดังภาพที่ 3.12-ก โดยใช้ความดัน 5 บาร์ อัดเป็นเวลา 10 นาที พบว่าลำต้น ก้านและใบช้ำและมีความอิ่มน้ำและมีความเหมาะสมดังดังภาพที่ 3.12-ข.ส่วนของความดันที่ 10 บาร์เนื้อผักเละเสียหายจึงไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้ ส่วนผักอื่นคือกะหล่ำปลีดังภาพที่ 3.13 ใช้ความดัน 5 บาร์อัดเป็นเวลา 5 นาที หน่อไม้ดังภาพที่ 3.14 และแตงกวาดังภาพที่ 3.15 ใช้ความดัน 5 บาร์ ใช้เวลา 10 นาที

ภาพที่ 3.13 การอัดน้ำดองด้วยอากาศในถังแรงดันสำหรับเตรียมการดองกะหล่ำปลี

ภาพที่ 3.14 การอัดน้ำดองด้วยอากาศในถังแรงดันสำหรับเตรียมการดองหน่อไม้

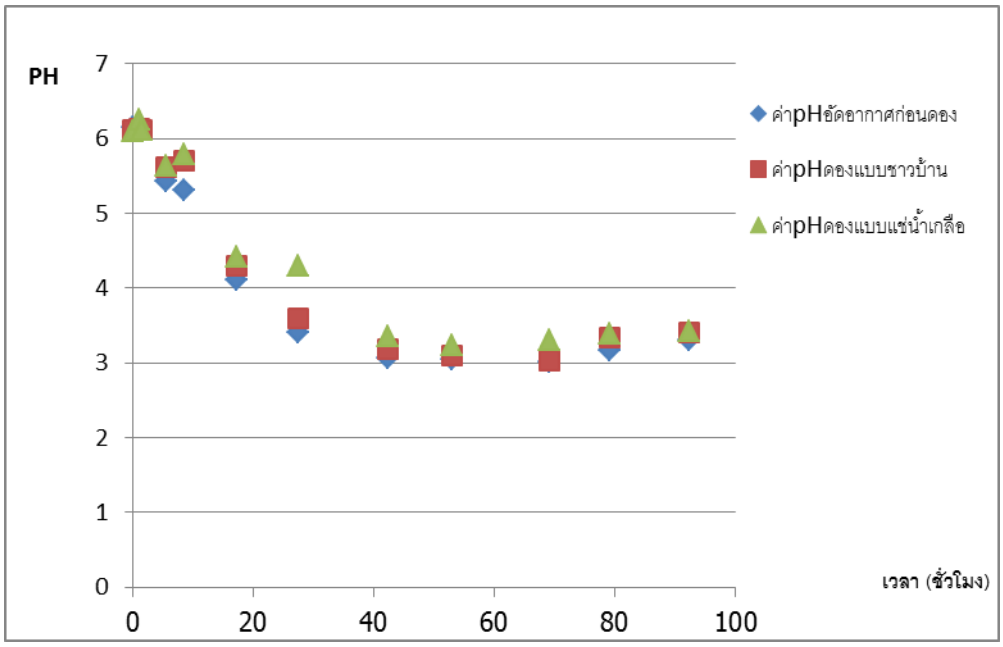
ภาพที่ 3.15 การอัดน้ำดองด้วยอากาศในถังแรงดันสำหรับเตรียมการดองแตงกวา

ผลการวัดค่า pH และ การวัดเกลือ

ผลการดองแบบอัดน้ำดองเข้าในเนื้อผักก่อนการดอง

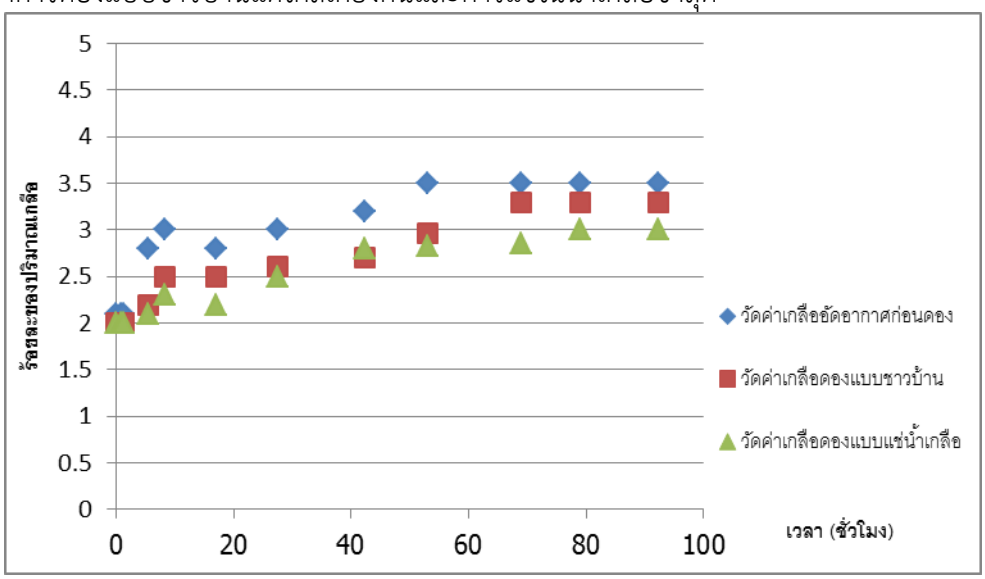
ผักกุ่มหลังจากอัดน้ำเกลือแล้วดองเป็นเวลา 3 วันจึงเปรี้ยวและกินได้เช่นเดียวกับผักเสี้ยนใช้เวลา 3 วันหน่อไม้ดองใช้เวลา 3 วันกะหล่ำปลีใช้เวลา 1 วันและแตงกวาใช้เวลา 5 วัน

ผักเสี้ยน



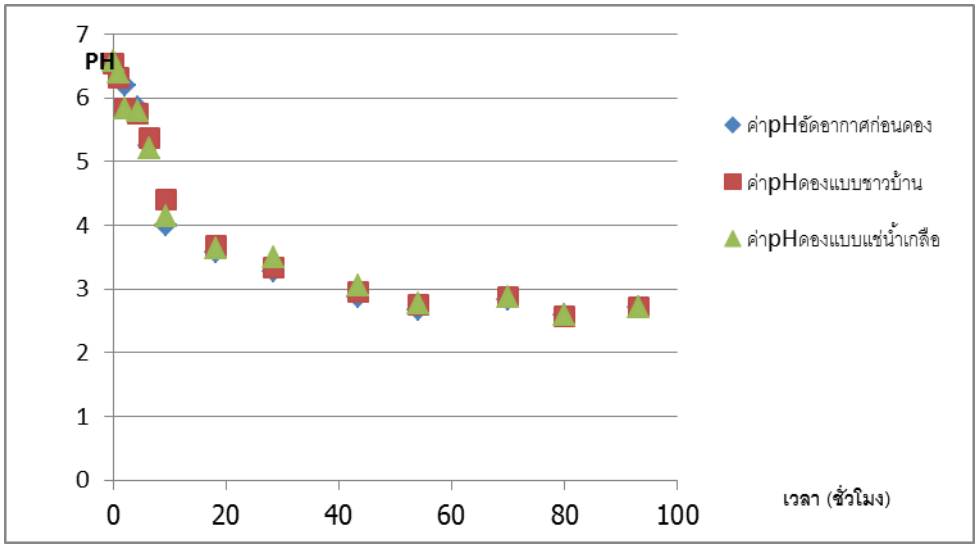
ภาพที่ 3.16 ผลการวัดค่าpHในเนื้อผักเสี้ยนดอง

จากภาพที่ 3.16 ผลการวัดค่า pH ในเนื้อผักเสี้ยนดองค่า pH มีแนวโน้มที่ลดลงตามเวลา (ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น) เนื่องจากการเจริญเติบโตของแลกติคแบคทีเรียเมื่อถึงจุดต่ำสุดของกราฟคือจุดที่ความเป็นกรดในผักดองมีความเข้มข้นสูงจะทำให้แบคทีเรียไม่สามารถทนได้จึงตายทำให้ไม่มีตัวทำให้เกิดกรดอีกต่อไปจึงทำให้กราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและจากกราฟสีน้ำเงินเป็นการวัดค่าpH ของผักเสี้ยนแบบอัดอากาศก่อนดองมีแนวโน้มของการเกิดกรดที่เร็วกว่าการดองแบบชาวบ้านแต่ใกล้เคียงกันและการแช่ในน้ำเกลือช้าสุด



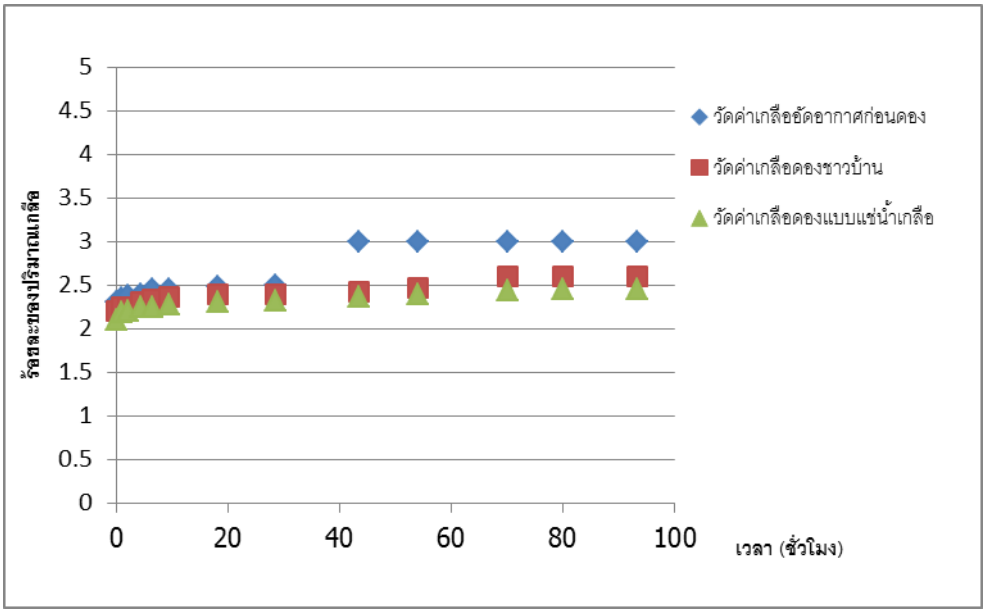
ภาพที่ 3.17 ผลการวัดค่าเกลือในเนื้อผักเสี้ยนดอง

จากภาพที่ 3.17 เป็นผลการวัดค่าเกลือที่ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อผักเสี้ยนดองจะเห็นว่าทั้ง 3 กรรมวิธีมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามเวลาเมื่อถึงจุดบนสุดจะมีค่าคงที่นั่นหมายถึงจุดอิ่มตัวเกลือไม่สามารถซึมเข้าไปได้อีกและผลการวัดค่าเกลือของทั้ง 3 กรรมวิธีการอัดด้วยอากาศก่อนดอง มีค่าสูงที่สุดรองลงมาเป็นกรรมวิธีแบบชาวบ้านที่ขยำก่อนดองและช้าสุดคือแช่ในน้ำเกลือโดยไม่ต้องขยำเนื้อผักให้แตก



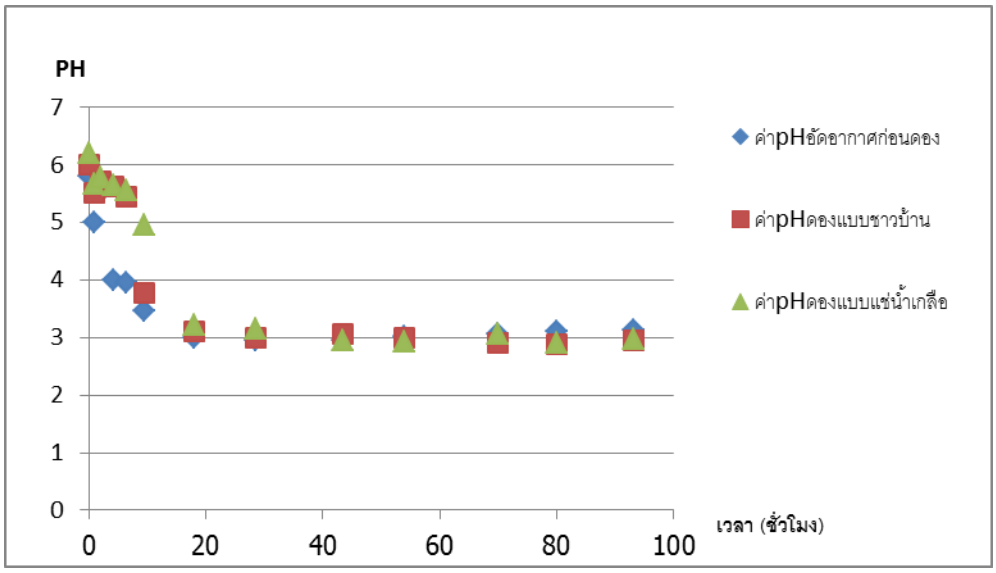
ภาพที่ 3.18 ผลการวัดค่าpHในเนื้อกะหล่ำปลีดอง

จากภาพที่ 3.18 ผลการวัดค่า pH ในเนื้อกะหล่ำปลีดองค่าpH มีแนวโน้มที่ลดลงตามเวลาเช่นเดียวกันกับที่เกิดขึ้นกับผักเสี้ยนคือจากกราฟสีน้ำเงินเป็นการวัดค่าpHของกะหล่ำปลีแบบอัดอากาศก่อนดองมีแนวโน้มของการเกิดกรดที่เร็วกว่าการดองแบบชาวบ้านและการแช่ในน้ำเกลือช้าสุด



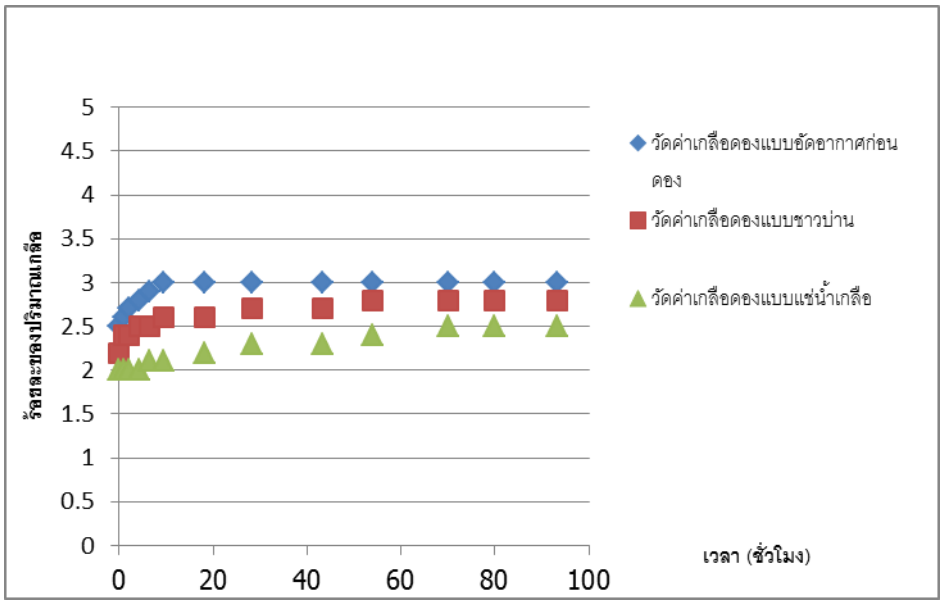
ภาพที่ 3.19 ผลการวัดค่าเกลือในเนื้อผักกะหล่ำปลีดอง

จากภาพที่ 3.19 เป็นผลการวัดค่าเกลือที่ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อกะหล่ำปลีดองจะเห็นว่าทั้ง 3 กรรมวิธี มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามเวลาเช่นเดียวกับการผักเสี้ยนการอัดด้วยอากาศก่อนดอง มีค่าสูงที่สุดรองลงมาเป็นกรรมวิธีแบบชาวบ้านที่ขยำก่อนดองและช้าสุดคือแช่ในน้ำเกลือโดยไม่ต้องขยำเนื้อผักให้แตก



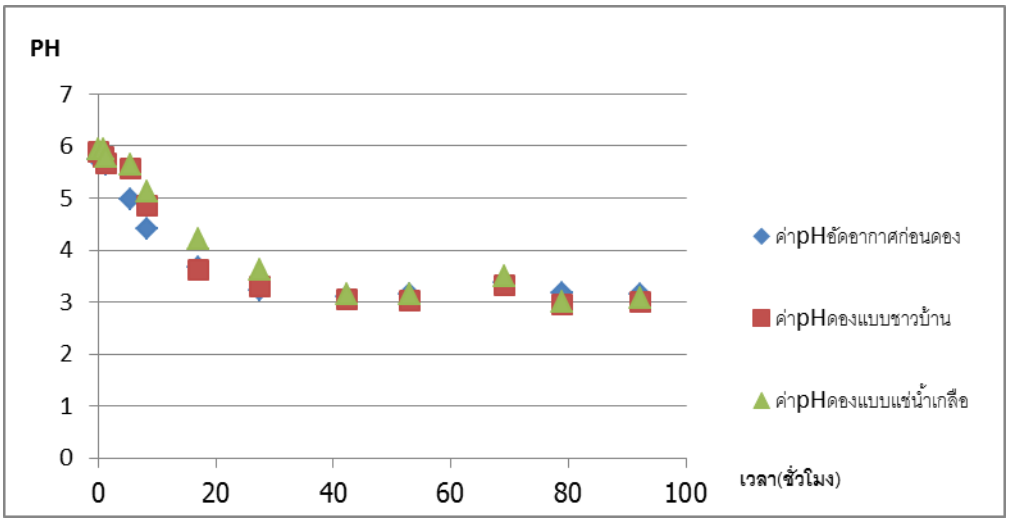
ภาพที่ 3.20 ผลการวัดค่าpH ในเนื้อหน่อไม้ดอง

จากภาพที่ 3.20 ผลการวัดค่า pH ในของหน่อไม้ดองดองค่า pH มีแนวโน้มที่ลดลงตามเวลาจากกราฟสีน้ำเงินเป็นการวัดค่า pH ของหน่อไม้ดองแบบอัดอากาศก่อนดองมีแนวโน้มของการเกิดกรดที่เร็วกว่าการดองแบบชาวบ้านและการแช่ในน้ำเกลือช้าสุด



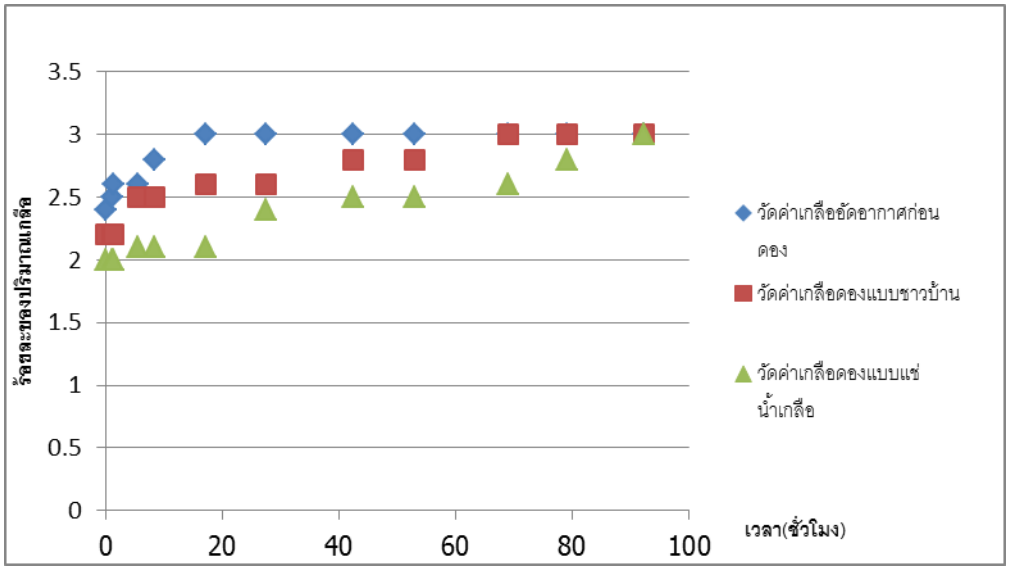
ภาพที่ 3.21 ผลการวัดค่าเกลือในเนื้อหน่อไม้ดอง

จากภาพที่ 3.21 เป็นผลการวัดค่าเกลือที่ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อหน่อไม้ดองจะเห็นว่าทั้ง 3 กรรมวิธีมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามเวลาเมื่อถึงจุดบนสุดจะมีค่าคงที่นั่นหมายถึงจุดอิ่มตัวเกลือไม่สามารถซึมเข้าไปได้อีกและผลการวัดค่าเกลือของทั้ง 3 กรรมวิธีการอัดด้วยอากาศก่อนดอง มีค่าสูงที่สุดรองลงมาเป็นกรรมวิธีแบบชาวบ้านที่ขยำก่อนดองและช้าสุดคือแช่ในน้ำเกลือโดยไม่ต้องขยำเนื้อผักให้แตก



ภาพที่ 3.22 ผลการวัดค่าpHในเนื้อผักกุ่มดอง

จากภาพที่ 3.22 ผลการวัดค่า pH ในเนื้อผักกุ่มดองค่า pH มีแนวโน้มที่ลดลงตามเวลา กราฟสีน้ำเงินเป็นการวัดค่า pH ของผักกุ่มดองแบบอัดอากาศก่อนดองมีแนวโน้มของการเกิดกรดที่เร็วกว่าการดองแบบชาวบ้านแต่ใกล้เคียงกันและการแช่ในน้ำเกลือช้าสุด



ภาพที่ 3.23 ผลการวัดค่าเกลือในเนื้อผักกุ่มดอง

จากภาพที่ 3.23 เป็นผลการวัดค่าเกลือที่ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อผักกุ่มดองจะเห็นว่าภาพโดยรวมของทั้ง 3 กรรมวิธีมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามเวลาเมื่อถึงจุดบนสุดจะมีค่าคงที่นั่นหมายถึงจุดอิ่มตัวเกลือไม่สามารถซึมเข้าไปได้อีกและผลการวัดค่าเกลือของทั้ง 3 กรรมวิธีการอัดด้วยอากาศก่อนดอง มีค่าสูงที่สุดรองลงมาเป็นกรรมวิธีแบบชาวบ้านที่ขยำก่อนดองและช้าสุดคือแช่ในน้ำเกลือโดยไม่ต้องขยำเนื้อผักให้แตก

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองการวัดค่า pH และการวัดค่าเกลือที่ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อของผักดองทั้ง 4 ชนิด และ 3 กรรมวิธี คือ การดองแบบชาวบ้านทำการขยำสำหรับผักเสี้ยนและกะหล่ำปลี ทำการแช่น้ำสำหรับกุ่มและหน่อไม้ การดองแบบอัดอากาศก่อนดองและการดองแช่น้ำเกลือโดยไม่ต้องขยำหรือแช่น้ำก่อนดองเพื่อที่จะเป็นค่าชี้ผลของการดองของแต่ละกรรมวิธีของผักแต่ละชนิดว่าผลที่เกิดจากการใช้เครื่องอัดอากาศก่อนดองสามารถช่วยทำให้การดองได้รับผลกระทบอย่างไร จากผลการทดลองทั้งหมดกับผัก 4 ชนิดและ 3 กรรมวิธีพบว่าการใช้เครื่องอัดอากาศก่อนการดองสามารถช่วยลดเวลาในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการดองคือไม่ต้องขยำผักหรือแช่น้ำก่อนดองสามารถนำผักมาอัดในเครื่องอัดอากาศได้เลยและสามารถช่วยเร่งการเกิดกรดแลกติกได้เร็วขึ้นดูจากค่า pH ที่เกิดได้เร็วกว่า

บทที่ 4

วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งผักและสมุนไพรที่มีการลดความดันอากาศ
Research and Development of Vegetable and Herb Dryer with Reducing Air Pressure Condition

เวียง อากรชี	กลวัชร ทิมินกุล	พินิจ จิรัคคกุล
Weang Arekornchee1	Kolawat Thiminkul	Pinij Jirukkakul
ศักดิ์ชัย อาษาวัง	ธนกฤต โยธาทูล	นายอุทัย ธานี
Sakchai Arsawang1	Thanakrit Yothatool	Uthai Thanee1

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งสุญญากาศ ผักและสมุนไพร ปั้มสุญญากาศ
Keywords : vacuum dryer vegetable and herbs vacuum pump

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งสุญญากาศ เพื่อใช้ในการอบแห้งผักและสมุนไพร ให้สามารถอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ โดยเครื่องอบแห้งสุญญากาศแบ่งเป็น 3 ส่วนสำคัญด้วยกันคือ 1) ห้องอบแห้งทรงกระบอกกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 750 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร ด้านในมีชั้นตะแกรงสแตนเลสวางผลิตภัณฑ์ ขนาด 500 x 1000 มิลลิเมตร (กว้าง x ยาว) จำนวน 4 ถาด 2) ปั๊มสุญญากาศ แบบ water jet สร้างภาวะสุญญากาศที่ 730 มิลลิเมตรปรอท 3)ระบบให้ความร้อนใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1000 วัตต์ จำนวน 4 แท่ง และใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้ง ทำการทดสอบอบแห้งผักและสมุนไพร ได้แก่ พริกขี้หนู มะเขือเทศ บัวบก ขมิ้นชัน ไพล ใบมะกรูด ที่ภาวะสุญญากาศ 700 มิลลิเมตร อุณหภูมิอบแห้ง 45 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์การอบแห้งที่มีสีสันเป็นธรรมชาติสำหรับผัก และคงสารสำคัญของผลิตภัณฑ์สมุนไพร

Abstracts

The purpose of this research was researched and developed of a vacuum dryer for drying vegetables and herbs. The low drying temperature was produced good product quality. The vacuum dryer was 3 parts together. 1) The round cylindrical drying chamber was diameter 750 mm, length 1200 mm. Inside of drying chamber there was 4 trays a stainless steel grille with 500 x 1000 mm (width x length). 2) Water jet vacuum pump at 730 mmHg. 3) The heating system uses 4 units of 1000 watt heater and uses a microcontroller to control the temperature in the drying room. The drying test of vegetables and herbs included chili, tomatoes, centella asiatica, curcuma longa, zingiber cassumunar, kaffir lime leaves. The vacuum dryer was operated at 700 mmHg and 45OC of the drying temperature. The dried product was natural color and maintained the important substance.

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเปนประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรจำพวก พืชผัก สมุนไพร เครื่องเทศ เปนจำนวนมากตลอดทั้งปีและเปนรายไดหลักของเกษตรกรซึ่งเปนคนสวนใหญในประเทศทำรายไดเขาประเทศตอปจำนวนมหาศาล แตเนื่องจากผลผลิตที่ออกมามากในแตละฤดูกาล ทำใหมีขอจำกัดสำหรับระยะเวลาในการจำหนายและการเก็บรักษาทำใหเกิดความเสียหายแกผลผลิตและสงผลให้ราคาตกต่ำลง จึงไดมีการศึกษาเพื่อยืดระยะเวลาการเก็บรักษาผลผลิต เชน การแปรรูปผลผลิตเพื่อรอการจำหนาย เพื่อลดการสูญเสีย และยังเป็นการเพิ่มราคาใหผลผลิต การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรนั้น สามารถทำไดหลายวิธี เชน การใชความรอน การใชความเย็น การใชรังสี การหมัก การดอง และการอบแห้ง เป็นต้น ปัจจุบันผู้บริโภคมีบทบาทที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปต้องมีคุณภาพทางโภชนาการสูง ปลอดภัย และมีอายุการเก็บที่นาน กระบวนการทำแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่นิยมใช้ในการลดความชื้นของอาหารสด หรือแปรรูปอาหารเหลวให้เป็นอาหารผง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา สะดวกในการจัดเก็บขนส่งเพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร และเพิ่มความสะดวกในการนำมาใช้ในชีวิตประจำวันที่เร่งรีบของสังคมในปัจจุบัน

วิธีการระเหยน้ำออกจากอาหารที่อุณหภูมิต่ำ เช่น การใช้สุญญากาศร่วมในการทำแห้งจะทำให้อัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้นและใช้เวลาสั้นลงช่วยในการรักษา กลิ่น รสชาติ ลักษณะทางกายภาพ เช่น สี รูปร่าง ให้คงอยู่ได้ดี ในการกระบวนการทำแห้งแบบนี้ประกอบด้วย ห้องสุญญากาศ แหล่งความร้อน เครื่องทำสุญญากาศผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมใช้ทำแห้งแบบสุญญากาศ เช่น ผักและผลไม้ เนื้อสัตว์ สมุนไพรเครื่องเทศและเห็ด ข้อเสียคือการติดตั้งปั๊มดูดอากาศเพื่อลดความดันในเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพที่ดีนั้นมีราคาแพง

จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาของโจทย์วิจัยที่มุ่งพัฒนาเครื่องมือในการลดความดันอากาศที่มีราคาถูกประสิทธิภาพดี สามารถนำไปใช้กับเครื่องอบแห้งทั้งแบบชั้นวางและแบบถังหมุนในการอบแห้งพืชผักและสมุนไพรบางชนิดที่มีคุณค่าสูง

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1) เพื่อวิจัยและพัฒนาปั๊มลดความดันอากาศแบบ water jet ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบชั้นวางและแบบถังหมุน ในการอบแห้งพืชผักและสมุนไพรบางชนิด

2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งของเครื่องอบลดแรงดันอากาศ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาข้อมูลหลักการทำงานและประโยชน์ของการอบแห้งแบบลดความดันจะช่วยให้ประสิทธิภาพการอบแห้งได้ดีขึ้นที่อุณหภูมิต่ำเมื่อเทียบกับสภาวะปกติซึ่งจะเป็นการรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ ทำการศึกษาข้อมูลปั๊มสุญญากาศแบบ water jet ขนาดผู้ประกอบการ โดยการศึกษาเรียนรู้จากของต่างประเทศเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพ ทำการออกแบบห้องอบแห้งแบบชั้นวางและแบบโรตารี เพื่อนำมาต่อพ่วงกับปั๊มสุญญากาศ แบบ water jet ที่สร้างขึ้น ทำการออกแบบระบบให้ความร้อนในห้องอบแห้งโดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า ทำการทดสอบการอบแห้งผลิตภัณฑ์พืชผักและสมุนไพร ประเมินประสิทธิภาพและความเหมาะสมของเครื่องอบแห้งและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้ง

ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

1. หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีการอบแห้ง

การอบแห้ง (drying) เป็นกระบวนการลดความชื้นหรือไล่ความชื้นออกจากวัตถุที่ชื้นภายใต้สะพาวะควบคุม โดยใช้ความร้อนถ่ายเทไปยังวัตถุที่มีความชื้นเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในวัตถุนั้นออกด้วยการระเหย โดยในกระบวนการอบแห้งส่วนมากจะใช้อากาศเป็นสารตัวกลางในการระเหยน้ำที่เป็นของเหลวออกไป (วิไล, 2545) วัตถุประสงค์ของการอบแห้งคือการยืดอายุการเก็บอาหารโดยการทำให้วัตถุนั้นมีปริมาณความชื้นลดลง ซึ่งการลดลงของความชื้นในวัตถุขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของวัตถุนั้นเป็นสำคัญ เช่น ผลไม้ที่ปริมาณน้ำตาลสูงจะสามารถลดความชื้นลงเหลือประมาณ ร้อยละ 10 –15 ต่อน้ำหนักเปียก เนื่องจากจากมีปริมาณน้ำตาลมาก การระเหยน้ำจึงเป็นไปได้ยากกว่าวัตถุที่มีปริมาณน้ำตาลน้อย ส่วนผักซึ่งมีปริมาณน้ำตาลน้อยจะสามารถลดความชื้นลงเหลือต่ำกว่าร้อนละ 10 ต่อน้ำหนักเปียก นอกจากนี้การอบแห้งยังเป็นการลดน้ำหนักและปริมาตรของวัตถุช่วยให้สะดวกต่อการบรรจุ การเก็บรักษา และการขนส่ง (สิงหนาท, 2555)

1.1 ความชื้น (moisture content)

เป็นตัวบอกถึงปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เพื่อบ่งชี้ว่าวัสดุนั้นชื้นหรือแห้ง ด้วยการเปรียบเทียบกับมวลวัสดุโดยแสดงค่าเป็นร้อยละความชื้น โดยสามารถแบ่งการตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้ 2 รูปแบบคือ

1.1.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (% moisture content wet basis)

ความชื้นมาตรฐานเปียกสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักทั้งหมดของผลิตภัณฑ์

$$M_{wb}(\%) = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100 \qquad (4.1)$$

1.1.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง ((% moisture content dry basis)

ความชื้นมาตรฐานแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักของมวลแห้ง

$$M_{db}(\%) = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100 \qquad (4.2)$$

โดยที่ M_{wb} = ความชื้นมาตรฐานเปียก % (w.b.)

M_{db} = ความชื้นมาตรฐานแห้ง % (d.b.)

m_w = มวลเปียกของวัตถุ (kg)

m_d = มวลแห้งของวัตถุ (kg)

ในทางการเกษตรนิยมใช้ความชื้นมาตรฐานเปียกในการกล่าวถึงความชื้น แต่ในการคำนวณมักจะนิยมใช้เป็นความชื้นมาตรฐานแห้ง การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานเปียก (M_{wb}) และมาตรฐานแห้ง (M_{db})

$$M_{wb} = \frac{M_{db}}{1+M_{db}} \qquad (4.3)$$

การหาความชื้นที่เวลาใดๆของผลิตผลเกษตรเริ่มจากการหามวลแห้งของของผลิตผลเกษตรนั้น โดยการนำตัวอย่างผลิตผลเกษตรอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าตัวอย่างที่อบจะมีน้ำหนักคงที่ (เสริม, 2547) และหาความชื้นที่เวลาใดๆโดยใช้สมการ

$$M_{wb}(t) = \frac{m_w(t) - m_d}{m_w(t)} \qquad (4.4)$$

โดยที่ $M_{wb}(t)$ = ความชื้นมาตรฐานเปียกที่เวลาใดๆ % (w.b.)

$m_w(t)$ = มวลของผลิตผลเกษตรที่เวลา t (g)

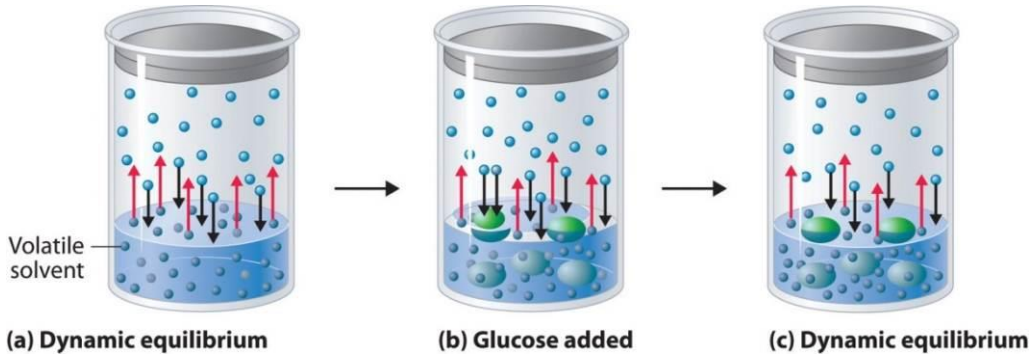
m_d = มวลแห้งของผลิตผลเกษตร (g)

1.2 ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)

ความชื้นสมดุลเป็นตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์การอบแห้งและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เมื่อนำวัตถุไปวางไว้ภายใต้สภาวะคงที่ใดๆที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ วัตถุอาจคายความชื้นให้กับอากาศหรือดูดซับความชื้นจากอากาศ (adsorption) ถ้าวางวัตถุไว้เป็นเวลานานจนกระทั่งความชื้นคงที่ค่าหนึ่งที่ไม่เปลี่ยนแปลง จุดนี้ความชื้นในวัสดุจะมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศและอุณหภูมิของวัสดุก็จะเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่อยู่รอบๆ เรียกความชื้นที่จุดนี้ว่าความชื้นสมดุล

1.3 ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (equilibrium relative humidity)

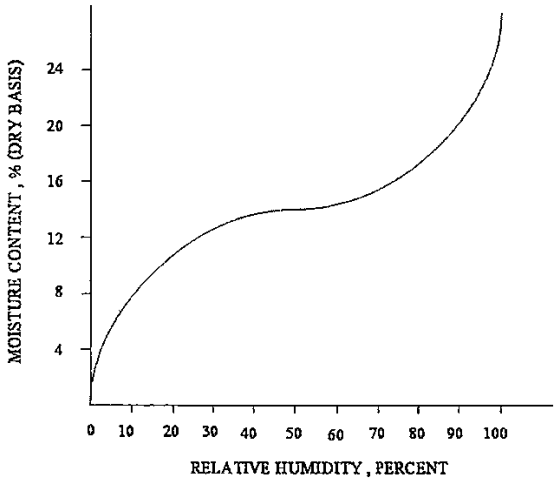
ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลหมายถึง ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ซึ่งวัดในระบบปิดในสภาวะสมดุล (equilibrium) เมื่อนำวัตถุมาใส่ในระบบปิดที่มีความชื้นในบรรยากาศคงที่ และปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งความชื้นของวัตถุไม่เปลี่ยนแปลง คือไม่มีการดูดคายน้ำหรือน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ภาพ (a) – (c) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงจนกระทั้งระบบเข้าสู่สมดุล

ที่มา: Averill (2012)

ผลิตผลทางการเกษตรโดยทั่วไปความชื้นสมดุลจะขึ้นกับธรรมชาติของวัตถุนั้น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ จะเรียกว่า sorption isotherm สามารถแสดงเป็นกราฟรูป sigmoid ภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดง sorption isotherm ของผลิตผลทางการเกษตรโดยทั่วไป
ที่มา: เสริม (2547)

1.4 การเกาะตัวของน้ำในวัตถุชื้น

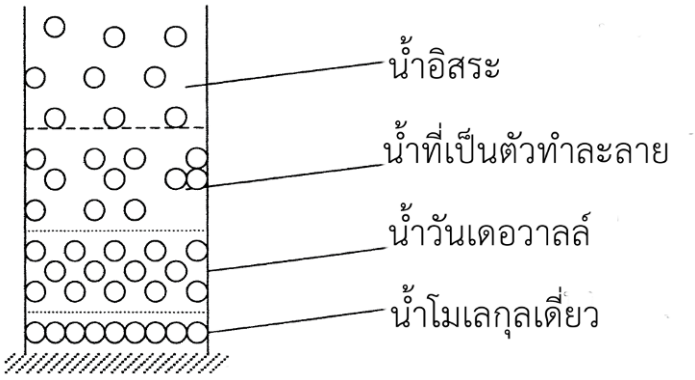
เสริม (2547) ได้แบ่งลักษณะการเกาะตัวของน้ำกับของแข็งในวัตถุชื้นออกเป็น 4 ชนิด ดังภาพที่ 4.3 คือ

1.4.1 น้ำอิสระ (free water) เป็นน้ำที่เกาะอยู่ที่ชั้นนอกสุดของผิวของแข็ง ใช้พลังงานในการแยกน้ำแบบอิสระออกจากวัตถุชื้นน้อยที่สุด

1.4.2 น้ำที่เป็นตัวทำละลาย (solvent water) เป็นน้ำที่เกาะอยู่ที่ชั้นถัดจากผิวของแข็งเข้ามาทางด้านในวัตถุชื้น ใช้พลังงานในการแยกน้ำที่เป็นตัวทำละลายมากกว่าน้ำแบบอิสระ

1.4.3 น้ำที่เกาะตัวโดยแรงวันเดอวาลล์ (water attached with Van de Waal force) เป็นน้ำที่เกาะอยู่ที่ชั้นถัดจากชั้นของน้ำที่เป็นตัวทำละลาย ใช้พลังงานในการแยกน้ำที่เกาะตัวโดยแรงวันเดอวาลล์มากกว่าน้ำที่เป็นตัวทำละลาย

1.4.4 น้ำโมเลกุลเดี่ยว (mono-molecular water) เป็นน้ำที่อยู่ในบริเวณผิวสัมผัสของของแข็ง และต้องใช้พลังงานมากที่สุดที่สุดในการแยกน้ำโมเลกุลเดี่ยวออกจากวัตถุชื้น



ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะการเกาะตัวของน้ำกับของแข็งในวัตถุชื้น

ที่มา: เสริม (2547)

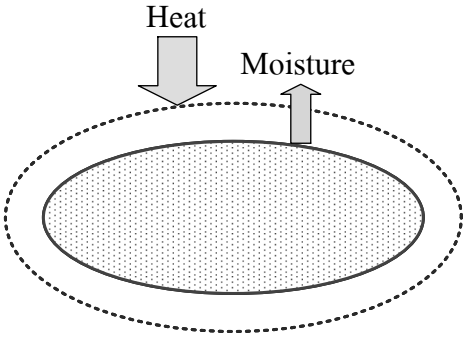
1.5 การอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งผลิตผลเกษตรเริ่มจากความร้อนจะถ่ายเทโดยการพาความร้อนจากสิ่งแวดล้อมไปยังพื้นผิวของอนุภาคโดยการเป่าความร้อนผ่านผลิตผลเกษตรที่เป็นวัตถุชื้น และจากนั้นความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังผลิตผลเกษตรทำให้ผลิตผลเกษตรนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนน้ำในกระบวนการที่มีการถ่ายเทความร้อนและมวลของน้ำจากผลิตผลเกษตรไปยังอากาศ (ภาพที่ 4.4)กระบวนการนี้จะหยุดลงก็ต่อเมื่อความดันไอน้ำที่ผิวผลิตผลเกษตรเท่ากับความดันไอน้ำในอากาศ (เสริม, 2547)

$$P_{sur} = P_V \qquad (4.5)$$

โดยที่ P_{sur} = ความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุ

P_V = ความดันไอน้ำในอากาศ



ภาพที่ 4.4 การถ่ายเทความร้อนและมวลของน้ำจากผลิตผลเกษตรไปยังอากาศ

ที่มา: เสริม (2547)

ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้งคือ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการลดความชื้น โดยอัตราการแห้ง จะขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง การใช้อุณหภูมิสูงจะได้อัตราการแห้งสูงกว่าใช้อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับน้ำที่ถ่ายเทจากวัตถุชื้นได้มากว่าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง และความเร็วของอากาศที่สัมผัสวัตถุ ถ้าความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านวัตถุมีค่าสูงความชื้นในวัตถุจะถ่ายเทออกสู้อากาศภายนอกได้ดีกว่าอากาศที่มีความเร็วต่ำหรืออยู่นิ่ง (เสริม, 2547)

พืชผักและสมุนไพรหลายชนิดจะมีสารที่มีประโยชน์ เช่น วิตามินต่าง เป็นต้น มักถูกทำลายหรือลดน้อยลงจากการโดนความร้อนจากการอบแห้ง ถ้าสามารถลดความดันบรรยากาศลง จะทำให้ค่าการระเหยน้ำออกได้ดีที่อุณหภูมิลมร้อนไม่สูงมากนักเนื่องจากเมื่อความดันลดลงค่าจุดเดือดของน้ำก็จะลดต่ำลงมาด้วย นอกจากคุณค่าทางอาหารแล้ว พืชผักบางชนิดยังต้องการสีสัน รูปร่างที่สวยงามเพื่อให้ได้ราคาในการขาย ซึ่งอุณหภูมิลมร้อนที่ต่ำจะช่วยให้การคงสีสันและรูปทรงดี

งานวิจัยที่ใช้การทำแห้งแบบผสมผสานโดยส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการนำเทคนิคการอบแห้งชนิดอื่นมาทดแทนการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน เนื่องจากการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน เช่น เครื่องอบแห้งแบบตู้อบลมร้อนเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้หลักการในการพาความร้อนจากอากาศที่มีทิศทางการไหลแบบบังคับเพื่อถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นแต่การอบแห้งด้วยวิธีนี้มักส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์อาหารในด้านเนื้อสัมผัส สี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการบางอย่าง ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีการทำแห้งในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นที่จะลดการเสื่อมเสียของอาหารจากปฏิกิริยาทางเคมี และเพิ่มความคงอยู่ของสารอาหารเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมากขึ้นโดยเฉพาะกลุ่มอาหารที่ไวต่อความร้อน

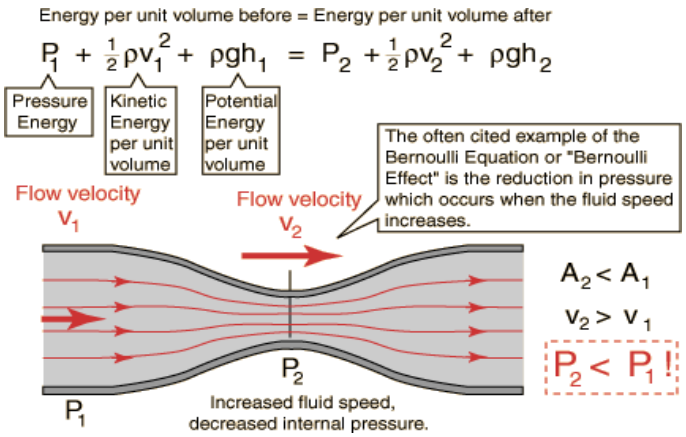
ผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน หมายถึง อาหารที่เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพได้ง่ายด้วยความร้อน เช่น ผัก ผลไม้ สมุนไพร อาหารที่มีสารหอมระเหย และผลิตภัณฑ์ยา เป็นต้น โดยสิ่งที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนี้ ได้แก่ คุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์, ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์, ความสามารถในการดูดน้ำกลับและการคืนตัว, ปริมาณสารหอมระเหย, คุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามิน โปรตีน, แป้ง หรือ สารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ

วิธีการทำแห้งที่เหมาะสมกับอาหารที่ไวต่อการเสื่อมเสียคุณภาพด้วยความร้อนต้องเป็นวิธีที่ใช้อุณหภูมิต่ำในการทำแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพดีมีการทำลายโครงสร้างน้อยสามารถรักษา สารหอมระเหย สี และคุณค่าทางโภชนาการได้ใกล้เคียงผลิตภัณฑ์ก่อนทำแห้งได้มาก ซึ่งวิธีที่นิยมใช้คือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แต่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีข้อจำกัดในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการดำเนินการค่อนข้างมากและต้องใช้เวลาในการทำแห้งนาน และมีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหารบางชนิดทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แข็งและเหนียว หรือการทำแห้งโดยการใช้ระบบสุญญากาศเนื่องจากระบบสุญญากาศทำให้จุดเดือดของน้ำลดต่ำลงน้ำจึงระเหยออกไปได้ที่อุณหภูมิต่ำนอกจากนี้ในระบบสุญญากาศยังมีออกซิเจนในปริมาณต่ำจึงลดการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของเนื้อสัมผัสของอาหารบางประเภทและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งนาน ดังนั้นการใช้เทคนิคการทำแห้งแบบผสมผสาน โดยการนำจุดเด่นของหลักการอบแห้งแต่ละวิธีมาประกอบกันสำหรับอบแห้งอาหารที่ไวต่อความร้อนจึงเป็นเรื่องที่ท้าทาย เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและการเสื่อมเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสานที่เหมาะสมสำหรับอาหารแต่ละประเภท มีนักวิจัยหลายกลุ่มที่นำเทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสานมาทดลองศึกษากับกลุ่มอาหารที่ไวต่อความร้อนและประสบความสำเร็จในการรักษาคุณภาพของอาหาร เช่น อาหารที่มีไขมันสูง มีสารหอมระเหยที่สำคัญ หรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเทคโนโลยีการอบแห้งแบบผสมผสานที่ศึกษาได้แก่การใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน (ถั่วแมคคาดาเมีย) การทำแห้งอาหารด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ (แครอท มะขามป้อม ใบโหระพา) และการทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ(ใบโหระพา เห็ด ใบสะระแหน่ แครอท) ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างเทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสานดังกล่าวและผลของการทำแห้งด้วยวิธีดังกล่าวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน

การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน การอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน (Heat Pump Dryer, HPD) ได้รับความสนใจอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากสามารถนำเอาพลังงานมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีการเก็บคืนความร้อนจากอากาศหลังการอบแห้ง เมื่อทำงานในระบบปิดอย่างสมบูรณ์ปั๊มความร้อนมี

การสูญเสียปริมาณความร้อนจำเพาะต่ำที่สุด การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนเหมาะสำหรับวัตถุดิบที่ ไวต่อความร้อนที่ ต้องใช้อุณหภูมิต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดีในด้าน สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส เพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งและสภาพของอากาศภายนอกไม่มีผลต่อการอบแห้ง การใช้ปั๊มความร้อนมีข้อดี คือสามารถลดความชื้นในบรรยากาศได้ต่ำกว่าการใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิการอบแห้งเดียวกัน ปั๊มความร้อนจะปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงอุณหภูมิการอบแห้งที่ต่ำอยู่ระหว่าง 25 - 70℃ ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการอบแห้งเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แต่การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนเป็นการอบแห้งที่ใช้กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน จึงอาจมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้นหากใช้ปั๊มความร้อนเพียงขั้นตอนเดียวในการอบแห้ง ดังนั้นการศึกษาการนำปั๊มความร้อนมาร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ Water Jet vacuum pump



ภาพที่ 4.5 แสดงหลักการเบอร์นูลี่ (Bernoulli's principle)

หลักการของเบอร์นูลี่จากรูปข้างบน ได้กล่าวไว้ว่า ในการไหลที่สภาวะคงตัวของของไหลที่ไม่สามารถอัดตัวได้โดยที่ไม่มีปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น พลังงานเนื่องจากการไหลที่เกิดขึ้นของจุดที่ 1 จะเท่ากับจุดที่ 2

$$E_1 = E_2 \qquad (4.6)$$

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \qquad (4.7)$$

จากรูปข้างบน เนื่องจากว่าพจน์ของ Potential Energy per unit Volume (พลังงานเนื่องจากเฮดต่อหน่วยปริมาตร) นั้น มีค่าเท่ากันทั้งสองจุดดังนั้นสมการจึงเขียนใหม่ได้ดังนี้

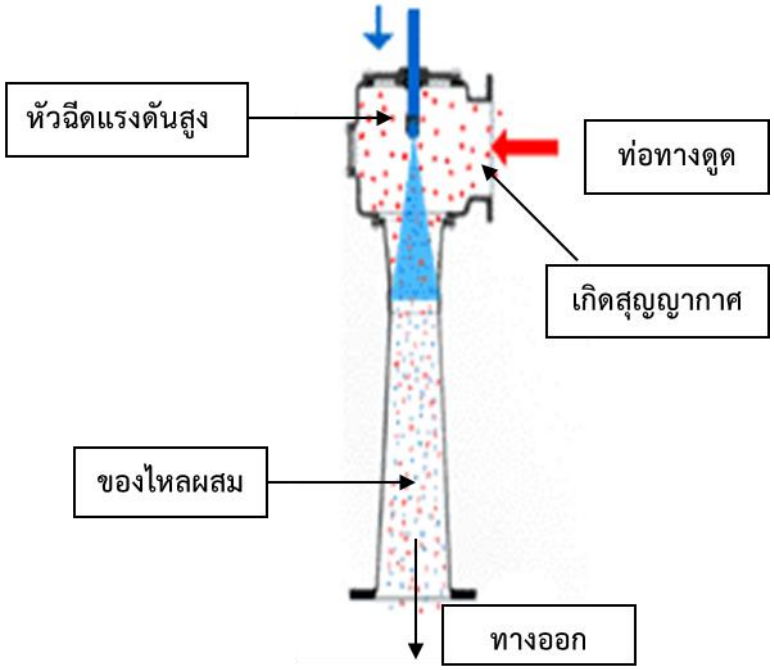
$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho v_2^2 \qquad (4.8)$$

จะสังเกตได้ว่า Kinetic Energy per unit Volume ของจุดที่ 2 มากกว่าจุดที่ 1 เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของการไหลลดลง (บริเวณคอคอดของท่อ) $A_2 < A_1$ ทำให้ความเร็วที่จุดที่ 2 เพิ่มมากขึ้น $V_2 > V_1$ แต่ในขณะเดียวกันนั้นเอง ความแตกต่างของความดันที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 $P_1 > P_2$ ซึ่งความแตกต่างของความดันทั้งสองจุดนี้จึงทำให้เกิดแรงดูด Vacuum – suction เกิดขึ้น
ดังนั้น Suction ที่เกิดขึ้นคำนวณได้จากสามการ ดังนี้

$$\text{Suction} = P1 - P2 \qquad (4.9)$$

หลักการทำงานของ Water Jet Vacuum

หลักการทำงานของ Water Jet Vacuum โดยเริ่มจากการสูบส่งของไหลแรงดันสูงให้วิ่งผ่าน หัว Nozzle Jet ด้วยความเร็วที่สูงมากพอที่จะสามารถสร้าง Vacuum ตรงทางดูดได้ เนื่องจากของไหลแรงดันสูงที่ถูกสูบจากปั๊มเพื่อส่งผ่านไปยัง Nozzle Jet มี Pressure Energy ที่สูง และ Kinetic Energy ยังไม่มากนักเนื่องจากความเร็วในการไหลในช่วงที่ยังไม่ผ่านคอคอดยังมีความเร็วที่ไม่มากพอ แต่เมื่อของไหลได้ไหลผ่านบริเวณคอคอด ความเร็วในการไหลก็จะสูงมากยิ่งขึ้น และส่งผลให้ Kinetic Energy เพิ่มมากขึ้นตามความเร็วในการไหลด้วย แต่ในขณะเดียวกัน Pressure Energy ที่ผ่านคอคอดจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความดัน และเกิด Vacuum ตรงท่อทางดูด (Suction Tube) ซึ่งถ้ายิ่งความเร็วในการไหลบริเวณคอคอดมากเท่าไร การเกิด Vacuum – Suction ก็ยิ่งมากขึ้นรวมไปทั้งพื้นที่หน้าตัดรูของคอคอดยิ่งมีขนาดเล็กก็สามารถทำให้เกิด Vacuum – Suction ได้มากเช่นกัน



ภาพที่ 4.6 แสดงการทำงาน Water Jet Vacuum

ที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Injector

หลักสำคัญของการสร้างสุญญากาศ (Vacuum) ของ Water Jet คือแรงดันกับความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านตัว Nozzle แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบของหัวฉีด Nozzle และลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้งาน

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของ Water Jet Vacuum Pump

1. อุณหภูมิ (Temperature)

สำหรับความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งพบว่าความความหนาแน่นของน้ำมีค่าน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งความหนาแน่นเกณฑ์มาตรฐานสากล คือ ***ที่ความดันมาตรฐาน 1 บรรยากาศ น้ำจะมีความหนาแน่น 1000 kg/m^3 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส*** ซึ่งเป็นความหนาแน่นของน้ำที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิอื่นๆ ในขณะทำงานส่งผลให้แรงดันของน้ำลดลงไปด้วย

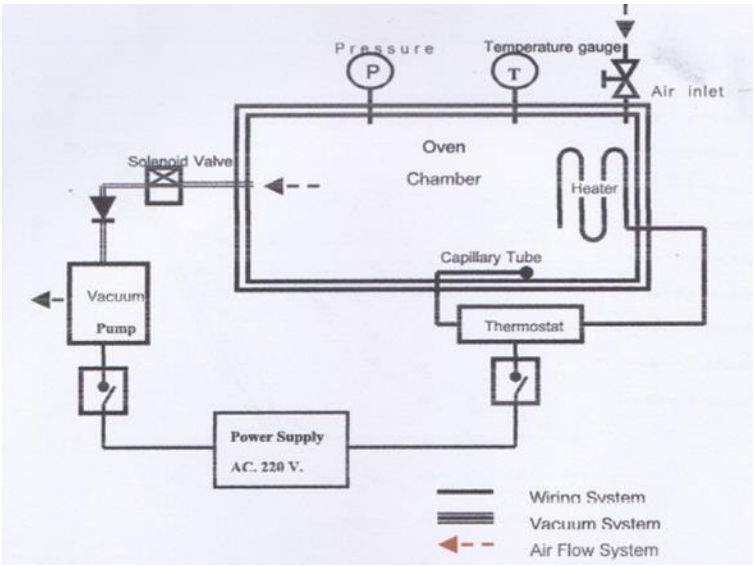
2. ความดันไอน้ำ (Vapour Pressure)

ความดันไอน้ำที่เกิดขึ้นบนผิวน้ำที่สัมผัสกับอากาศเป็นผลมาจากการระเหยของน้ำ อย่างต่อเนื่อง โดยการระเหยจะมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ ถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการเคลื่อนที่เป็นผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยลง น้ำจะระเหยกลายเป็นไอน้ำได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากโมเมนตัม เป็นผลให้ความเร็วของการเคลื่อนที่ของของไหลช้าลง

3. โพรงสุญญากาศ (Cavitation)

ถ้ามีการเกิดโพรงสุญญากาศในโครงสร้าง หรืออุปกรณ์ในการทำงาน จะเกิดการไหลที่มีฟองอากาศปนเข้ามาทำให้น้ำไหลไม่เต็มพื้นที่หน้าตัด เกิดเสียงดัง และกัดกร่อนใบพัดและผนังของเครื่องสูบน้ำ หรือผนังท่อที่ลดขนาดลงมาก ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

จากหลักการทำงานของระบบการอบแห้งแบบลดแรงดันจะมีส่วนประกอบสำคัญๆแบ่งได้ดังนี้ 1. ห้องอบแห้ง (Oven Chamber) 2. แหล่งความร้อน(Heater) 3. ปั๊มลดแรงดัน(Vacuum Pump) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 4.7 ระบบวงจรการอบแห้งแบบลดแรงดัน

ที่มา http://www.phtnet.org/download/FullPaper/pdf/2ndSeminarKKU/af050.pdf

<u>กรอบแนวคิดในการทำวิจัย</u> เนื่องจากพืชผักและสมุนไพรเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหาร และทางยารักษาโรค มาก เช่น วิตามินต่างๆ รวมทั้งความน่าสนใจในเรื่อง กลิ่น สี รูปลักษณ์ ที่จะมีผลต่อราคาในการจำหน่าย ซึ่งการทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูง มากกว่า 60-70 องศาเซลเซียส อาจไปทำลายให้คุณค่าต่างๆที่กล่าวมาแล้วให้ลดลง ทางแก้ทางหนึ่งที่เป็นไปได้คือการทำแห้งในห้องที่ลดบรรยากาศลงซึ่งจะมีผลต่อจุดเดือดของน้ำให้ลดลงด้วยทำให้การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำได้ผลดีตามไปด้วยส่วนจะมีจุดทำงานอยู่ตรงไหนอย่างไรขึ้นอยู่กับผลสรุปจากการทดลอง และเนื่องจากปั๊มที่จะมาลดความดันบรรยากาศลงเป็นหัวใจสำคัญและมีราคาแพง จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาสร้างให้มีราคาถูกลงและมีประสิทธิภาพ ซึ่งปั๊มที่จะนำมาพัฒนาคือ ปั๊มชนิด water jet นอกจากนี้วิธีการให้ความร้อนและการจัดการอากาศชื้นในห้องอบแห้งก็เป็นวิธีการที่สำคัญที่ต้องศึกษาทดลองให้ได้ประสิทธิภาพดี และเมื่องานวิจัยนี้สำเร็จก็จะได้เครื่องอบแห้งแบบลดความดันบรรยากาศต้นแบบที่มีการพัฒนา ปั๊มลดความดันอากาศแบบ water jet และสรุปผลการทดสอบอบแห้งพืชผักและสมุนไพร เช่น เห็ดชนิดต่างๆ ขิง พริกแห้งอินทรีย์ เครื่องเทศบางชนิด เป็นต้น พร้อมความสัมพันธ์ของความดันอากาศกับอุณหภูมิในห้องอบแห้งที่จะนำไปใช้ในการอบแห้งได้อย่างเหมาะสม

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ได้มีงานวิจัยที่นำระบบการปรับลดความดันอากาศมาใช้หลายงานวิจัยด้วยกัน ดังเช่น ชนิตา และคณะ ,2552 ได้ศึกษาการผลิตน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันโดยการอบแห้งแบบสุญญากาศและแบบแช่เยือกแข็ง (Production of Honey Powder from Sunflower Honey by Vacuum and Freeze Drying Techniques) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะการผลิตและปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำผึ้งดอกทานตะวัน โดยเติมมอลโทเด็กซ์ทริน (DE 11) ในอัตราส่วน 30, 40, 50% ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำผึ้ง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งแบบสุญญากาศคือ 60, 70, 80°C สภาวะการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งคือ อุณหภูมิ -43°C ภายใต้ความดัน <133×10-3 mbar ระยะเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้น วอเตอร์แอคทิวิตี้ และค่ามุมกองของน้ำผึ้งผงมีค่าลดลง ส่วนความสามารถในการละลาย อุณหภูมิกลาสทรานซิชันมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้น และค่ามุมกองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) การเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินสำหรับการทำแห้งน้ำผึ้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลให้ ปริมาณความชื้น ค่ามุมกองมีค่าลดลง และค่าความหนานแน่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำผึ้งผงผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศและแบบแช่เยือกแข็งพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำผึ้งผงคือ การอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80°C ระดับมอลโทเด็กซ์ทริน 50% ทำให้มีปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ความสามารถในการไหล (ค่ามุมกอง) ความสามารถในการละลาย ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นของอนุภาค และอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเท่ากับ 0.62±0.04%, 0.174±0.01, 27.33±0.82 องศา, 99.60±0.18%, 0.7652±0.03 g/ml, 1.81±0.03 g/ml และ 56.35±0.13°C ตามลำดับ, *วรเชษฐ และคณะ, 2555* นำเสนอการศึกษาสมรรถนะของอีเจ็คเตอรไอน้ำที่ประยุกตใชในการอบแหสุญญากาศ เพื่อศึกษาตัวแปรสภาวะเงื่อนไขทำงานที่มีอิทธิพลตอสมรรถนะของอีเจ็คเตอร จากชุดทดลองที่สรางขึ้น ตัวแปรที่ทำการศึกษา ไดแกความดันปฐมภูมิอัตราการไหลของอากาศที่ ไหลผานหองอบแหง ความดันปากทางออกของอีเจ็คเตอรและอุณหภูมิ ภายในหองอบแหง เกณฑในการศึกษาสมรรถนะของอีเจ็คเตอรไอน้ำที่ใชในการอบแหงระบบสุญญากาศ ไดแก่ ค่าความดันสุญญากาศ (Rs) อัตราสวนการเหนี่ยวนำ(Rm) และอัตราสวนความดันยก(PLR) จากผลการศึกษา พบวา(1) เมื่อความดันปฐมภูมิ เพิ่มขึ้นจาก1- 6 bar (ความดันเกจ) ความดันสุญญากาศภายในหองอบแหงจะมีแนวโนมเพิ่มขึ้น โดยที่ คาความดันสุญญากาศในหองอบแหงมีคาสูงสุดเทากับ-0.79 bar (ความดั นเกจ) ที่ ความดันปฐมภู มิ เท ากับ 5 bar (2) เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผานหองอบแหงมีคาเพิ่มขึ้นเปน 2,500 L/min จะทำใหความดันสุญญากาศมีแนวโนมลดลงซึ่งมีคาลดลงประมาณรอยละ 6-12 เมื่อเทียบกับการที่ไมปลอยอากาศใหไหลผานหองอบแหง (3) เมื่อความดันปากทางออกของอีเจ็คเตอรเพิ่มขึ้นจาก 0-0.6 bar (ความดันเกจ) ความดันสัมบูรณภายในหองอบแหงจะมีแนวโนมเพิ่มขึ้น แตอัตราสวนความดันยกจะมีแนวโนมลดลง และ (4) เมื่ออุณหภูมิภายในหองอบแหงมีคาสูงขึ้น โดยทำการทดลองที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 50 องศาเซลเซียส และ70 องศาเซลเซียส ตามลำดับคาอัตราสวนการเหนี่ยวนำจะมี คาสูงขึ้นดวยโดยที่ อุณหภูมิ ภายในหองอบแหงเทากับ 70 องศาเซลเซียส มี คาอัตราสวนการเหนี่ยวนำสูงที่สุด ประมาณ 0.24 ที่ ความดันปฐมภูมิเทากับ 4 barคำสำคัญ:อีเจคเตอรไอน้ำอบแหงสุญญากาศ, อำไพศักดิ์ และคณะ 2553 ได้ศึกษาการอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและหาสมการการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งขิง โดยทำการทดลองอบแห้งภายใต้เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิอบแห้ง 40, 50 และ60 องศาเซลเซียสซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาคืออัตราส่วนความชื้นอัตราการอบแห้งแ ล ะ ค ว า ม สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อลดความดันสัมบูรณ์หรือเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงนอกจากนั้นยังพบว่าสมการของ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดได้

ดีที่สุดโดยให้ค่าR2มากที่สุดและRMSEน้อยที่สุด, *ชาลีดา, 2555* การทำแห้งเป็นกระบวนแปรรูปและถนอมอาหารที่สำคัญโดยลดความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหาร และค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, aw) เพื่อยับยั้งต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลให้อาหารเสื่อมเสีย แต่การทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหารนั้นมักพบปัญหาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและองค์ประกอบที่สำคัญของอาหาร เช่น การหดตัว การสูญเสียสารหอมระเหย สี และคุณค่าทางโภชนาการ การทำแห้งแบบผสมผสาน (Hybrid drying) เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่นำมาแก้ไขข้อบกพร่องของการทำแห้งแบบขั้นตอนเดียวเช่น การใช้การทำแห้งแบบหลายขั้นตอน ซึ่งอาจจะใช้เครื่องอบแห้งชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ การเปลี่ยนอุณหภูมิของการทำแห้งในแต่ละขั้นตอน การเปลี่ยนความดัน หรือการนำวิธีการทำแห้งแบบต่างๆ มาใช้ร่วมกัน เพื่อผสมผสานข้อดีของเครื่องอบแห้งแต่ละชนิดทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้นในเอกสารนี้จะกล่าวถึงลักษณะของกระบวนการทำแห้งแบบผสมผสานตัวอย่างและผลของวิธีการทำแห้งแบบผสมผสานต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อนที่มีการนำมาใช้ในงานวิจัยและอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการศึกษาวิจัยการอบแห้งกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน, *สักกมน, 2555* ศึกษาการอบแห้งอาหารด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ ซึ่งหลักการของการอบแห้งของไอน้ำยวดยิ่งนี้ก็คือการใช้ไอน้ำ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำที่ความดันใดๆ มาใช้ในการอบแห้ง เพราะคำว่า ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ตามนิยามของมันคือ ไอน้ำอะไรก็แล้วแต่ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือด ซึ่งไม่สน ใจว่าจุดเดือดเท่าไหร่ ถ้าสมมติว่าสามารลดความดันที่ทำให้น้ำเดือดได้ที่ 40°C ถ้าอบแห้งที่ 50-60°C นั้นก็คือเป็น ไอน้ำร้อนยวดยิ่งแล้ว เมื่อต้อการที่จะอบในความร้อนระดับไหน ก็แค่ปรับความดันให้สัมพันธ์กันเท่านั้น ซึ่งจากความรู้พื้นฐานที่เรียนมาตั้งแต่เด็กๆ นั้นก็คือ การทำให้ไอน้ำจุดเดือดลดลงก็ต้องลดความดันลง เช่น เวลาขึ้นไปอยู่บนเขาจะสามรถต้มน้ำเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง แต่เมื่อเหไม่ได้ขึ้นไปอยู่บนเขา แนวทางก็คือ ต้องทำให้ความดันลดต่ำลงนั้นเอง นั้นก็คือหลักการของงานวิจัยนี้, *Suvarnakuta และคณะ, 2005* ศึกษาการทำแห้งแครอทด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำการทำแห้งด้วยระบบสุญญากาศ และการทำแห้งด้วยลมร้อน พบว่าการทำแห้งแครอทด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำจะมีการสูญเสีย β-carotene น้อยกว่าการทำแห้งด้วยระบบสุญญากาศและการทำแห้งด้วยลมร้อนตามลำดับ เนื่องจากในระบบการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำนั้นปราศจากออกซิเจนจึงป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า ในขณะที่การทำแห้งด้วยระบบสุญญากาศแม้ว่าจะทำการดูดอากาศออกแล้ว แต่ยังมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ในระบบจึงทำให้ยังคงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้บ้าง ส่วนการทำแห้งด้วยลมร้อนนั้นมีออกซิเจนอยู่มากในระบบจึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าวิธีอื่นๆปริมาณ β-carotene จึงมีค่าต่ำการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำเหมาะสมกับอาหารที่ไวต่อความร้อนที่ต้องการรักษาคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ สารหอมระเหย และที่สำคัญการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำให้ลักษณะความเป็นรูพรุนของอาหารที่ทำให้ชิ้นอาหารลดการหดตัวและมีการคืนตัวกลับที่ดี

จากงานวิจัยที่กล่าวมาสรุปได้ว่าการลดความดันอากาศมีผลต่อการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์แต่ยังไม่มีการวิจัยในเรื่องของค่าแรงดันอากาศที่ลดลงสัมพันธ์กับอุณหภูมิจุดเดือดน้ำที่จะส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ และยังขาดงานวิจัยที่มุ่งเน้นไปถึงการพัฒนาตัวปั้มในการลดความดันอากาศลงที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพ

ระเบียบวิธีการวิจัย

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นอากาศ

Data Logger รุ่น AP-17000, Sila Co., Ltd, Bangkok, Thailand ซึ่งใช้ร่วมกับหัววัดอุณหภูมิและความชื้น SHT11

2. เครื่องชั่งดิจิตอล พิกัดโหลด 5 kg

3. ตู้อบหาความชื้น

4. เครื่องวัดความเร็วรอบ

5. นาฬิกาจับเวลา

6. เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

7. เทอร์โมมิเตอร์

8. เครื่องอบแห้งลดแรงดัน(สุญญากาศ) แบบชั้นวาง

9. วัสดุเกษตรสำหรับการทดสอบอบแห้ง ได้แก่ พืชผักและสมุนไพรต่างๆ

วิธีการดำเนินการ

1. ทำการศึกษาข้อมูล ตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ทำการคำนวณออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบพร้อมทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น โดยเครื่องต้นแบบประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ

2.1 ออกแบบสร้าง ปั๊มลดความดันอากาศ แบบ water jet

2.2 ห้องอบแห้งออกแบบเป็นแบบชั้นวาง (Tray dryer)

2.3 ออกแบบติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าให้ความร้อนในห้องอบแห้งกระจายรอบๆ ชั้นวางผลิตภัณฑ์

2.4 ทดสอบระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งลดความดันอากาศ โดยทำการทดสอบการดูดอากาศของปั๊ม water jet หาค่าความดันบรรยากาศที่ลดลงกับอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ ซึ่งความดันสุญญากาศที่สัมบูรณ์จะอยู่ที่ 760 มิลลิเมตรปรอท

3. ทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งของเครื่องอบแห้งลดแรงดันอากาศแบบชั้นวางที่สร้างขึ้น

โดยนำพืชผักและสมุนไพรบางชนิด ได้แก่ ขมิ้นชัน, พริก, ใบบัวบก, มะเขือเทศ, ใบมะกรูด, ผักขะแยง เป็นต้น ทั้งนี้เป็นการทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพการอบแห้ง และมีบางพืชที่นำไปวิเคราะห์หาสาระสำคัญ ได้แก่ ขมิ้นชันเพื่อหาค่าสาร curcuminoid โดยส่งไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐาน และทำการทดสอบเก็บผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาเรื่องของการเสื่อมคุณภาพ อบแห้งพริกเพื่อส่งไปให้โครงการวิจัยสกัดหาสารแคปไซซินโดยเครื่องสกัดแบบคาร์บอนไดออกไซด์แรงดันสูง

4. ทำการวิเคราะห์ สรุปผลการวิจัย ทำเอกสารเผยแพร่

สถานที่ทำการทดลอง/ดำเนินการ

- ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
- สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

- กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี
- สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
- โรงงานเอกชน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

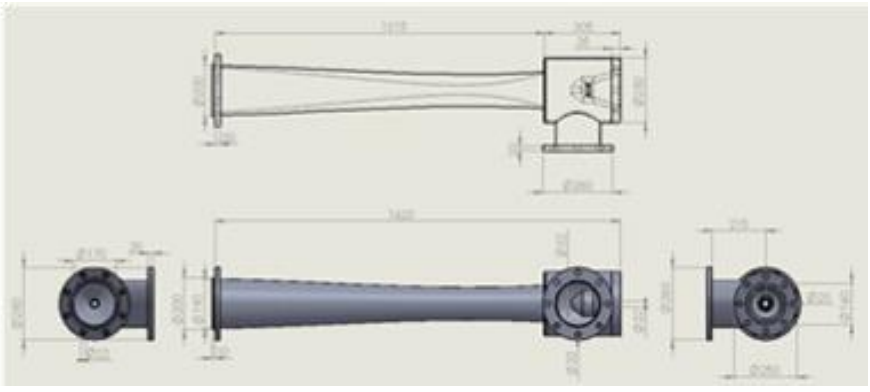
การสร้างเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศ แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ระบบปั๊มลดแรงดัน และห้องอบแห้งแบบชั้นวางพร้อมระบบความร้อน

1) ระบบปั๊มลดแรงดัน

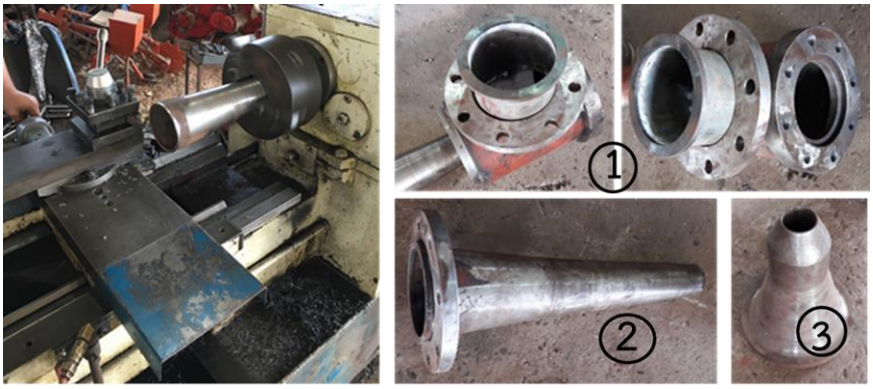
ทำการศึกษาข้อมูลการทำงาน และส่วนประกอบ ขนาดขึ้นส่วน ของระบบปั๊มลดแรงดันแบบ water jet ที่มีจากต่างประเทศ ดังภาพที่ 4.8

ภาพที่ 4.8 นำปั๊มลดแรงดันแบบ water jet มาศึกษาวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการสร้าง

ทำการแกะและวาดแบบปั๊มลดแรงดันแบบ water jet ดังภาพที่ 4.9 เพื่อทำการสร้าง โดยทำการสร้างส่วนของ water jet ทั้ง 3 ส่วน คือ 1.ชุดหน้าแปลนท่อพ่นน้ำเข้าและหน้าแปลนต่อพ่วงห้องอบแห้ง 2.ส่วนท่อลดและขยายออกพร้อมหน้าแปลน 3.ชุดหัวพ่นน้ำ (Jet nozzle) ดังภาพที่ 4.10 จากนั้นนำมาประกอบเป็นชุดปั๊มและมีขนาดเท่ากับของต่างประเทศ ดังภาพที่ 4.11 โดยมีความสามารถใช้งานได้กับห้องอบแห้ง ขนาด 1-1.5 ลบ.ม. หรือ น้ำหนักอาหารสด ก่อนอบแห้ง ไม่ต่ำกว่า 30 กก./ครั้ง สามารถสร้างแรงดันต่ำกว่าบรรยากาศไม่น้อยกว่า 700 ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที โดยความเร็วของน้ำผ่านหัวพ่น ประมาณ 25 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 4.9 เขียนแบบปั๊มลดแรงดันแบบ water jet เพื่อใช้ในการสร้างต้นแบบ

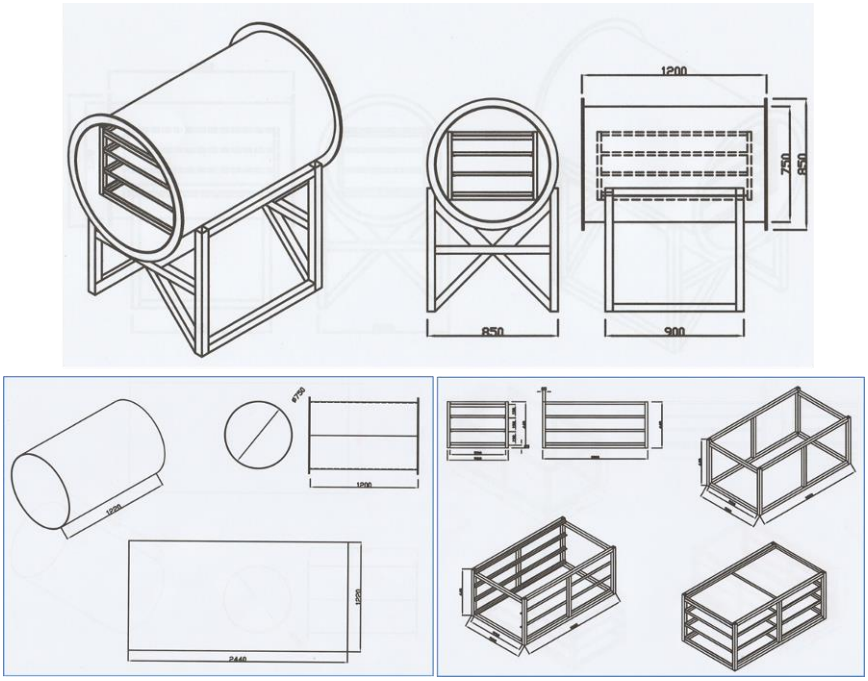


ภาพที่ 4.10 สร้างส่วนประกอบของหัวพ่นน้ำแรงดันสูง water jet ทั้ง 3 ส่วน

ภาพที่ 4.11 ประกอบเป็นชุดหัวพ่นน้ำแรงดันสูง และมีขนาดเท่ากับของต่างประเทศ

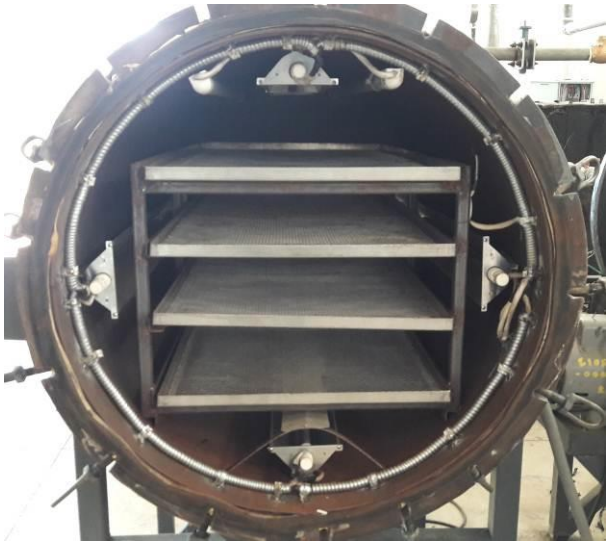
2) ห้องอบแห้งแบบชั้นวางพร้อมระบบให้ความร้อน

ทำการออกแบบและสร้างห้องอบแห้งและระบบให้ความร้อน เพื่อนำมาต่อพ่วงเข้าปั้มลดแรงดันอากาศแบบ water jet ที่สร้างขึ้น โดยออกแบบเครื่องอบแห้งลดแรงดันอากาศแบบชั้นวาง ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 4.12 การออกแบบห้องอบแห้งลดแรงดันอากาศแบบชั้นวาง และการวางฮีตเตอร์ความร้อน

การสร้างห้องอบแห้งแบบชั้นวาง จะม้วนผนังห้องอบแห้งด้วยเหล็กแผ่น ขนาด กว้าง x ยาว x หนา 2440 x 1220 x 6 มิลลิเมตร โดยม้วนเส้นรองวงเต็มแผ่นตามยาว 2440 มิลลิเมตร ได้เป็นทรงกระบอกกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 760 มิลลิเมตร ยาว 1220 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร ในส่วนของชั้นวางจะมีขนาดโครงสร้างชั้น กว้าง x ยาว x สูง 580 x 1000 x 440 มิลลิเมตร รองรับถาดตะแกรงสแตนเลส ขนาด กว้าง x ยาว x หนา 500 x 1000 x 20 มิลลิเมตร จำนวน 4 ถาด ระบบให้ความร้อนในห้องอบแห้งได้ทำการติดตั้งแท่งฮีตเตอร์ขนาด 1000 วัตต์ จำนวน 4 ชุด ในตำแหน่ง ด้านบน ด้านข้าง และด้านล่าง ดังภาพที่ 4.13



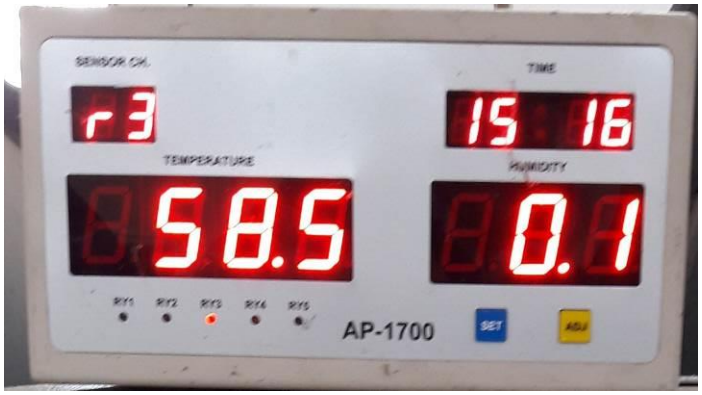
ภาพที่ 4.13 การปรับปรุงระบบสายไฟฟ้าและเซนเซอร์ของห้องอบแบบชั้นวางให้เรียบร้อย

ทำการทดสอบเบื้องต้นระบบเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศ

ทำการติดตั้งระบบอบแห้งแบบลดแรงดัน โดยมีการต่อพ่วงปั้มลดแรงดันอากาศแบบ water jet ที่สร้างขึ้น เข้ากับตู้อบแบบชั้นวาง โดยมีวาล์วในการควบคุมการปิดเปิดท่อดูดอากาศของแต่ละเครื่องอบแห้ง และจากการทดสอบประสิทธิภาพของปั้ม water jet ที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ดีเท่ากับของต่างประเทศ สามารถลดแรงดันได้มากกว่า 720 มิลลิเมตรปรอท ดังภาพที่ 4.14

ภาพที่ 4.14 การประกอบปั้มลดแรงดันอากาศแบบ water jet กับห้องอบแห้งแบบชั้นวาง

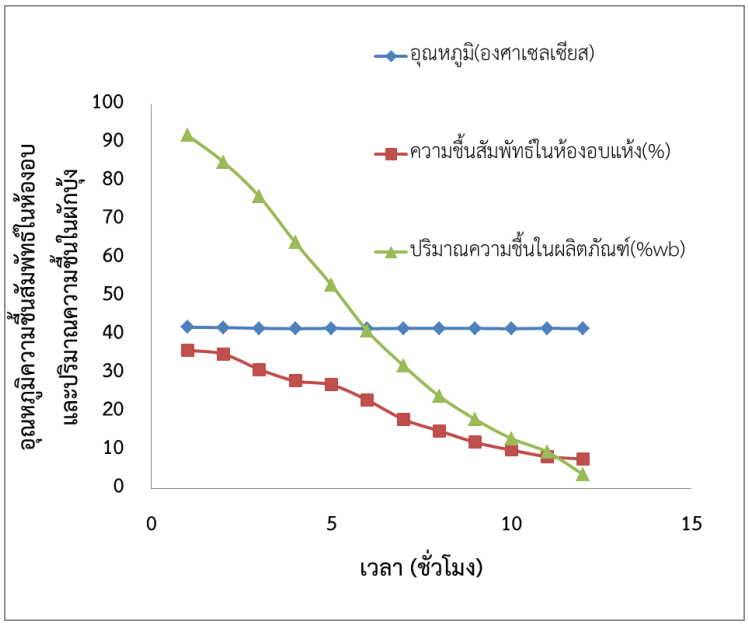
จากการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบลดความดันอากาศโดยวัดค่าของอุณหภูมิในห้องอบแห้งพบว่า เมื่อไม่มีผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบแห้งมีค่าเกือบจะเป็นศูนย์ ดังภาพที่ 4.15 และเมื่อใส่ผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้งซึ่งในการทดลองนี้ใช้ผักบุ้งเป็นผักสำหรับการทดสอบจะพบว่าขณะทำการอบแห้งค่าความชื้นในห้องอบมีค่าค่อนข้างสูงและค่อยๆ ลดลงเมื่อความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง จากความสัมพันธ์นี้จึงเป็นไปได้ว่าค่าความชื้นของอากาศในห้องอบแห้งสามารถทำนายค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เหลือในผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง



ภาพที่ 4.15 ความชื้นอากาศในห้องอบแห้งที่ไม่มีผลิตภัณฑ์ เข้าใกล้ศูนย์

ภาพที่ 4.16 ทดสอบอบแห้งผักบุ้งเพื่อหาความสัมพันธ์ของความชื้นในห้องอบแห้งกับความชื้นในผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 4.17 ค่าความชื้นในห้องอบแห้งผักบุ้งที่ผ่านการอบมา 10 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอากาศในห้องอบแห้งกับความชื้นในผักบุ้งที่อบแห้ง

จากกราฟภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ของความชื้นในห้องอบแห้งผักบุ้ง กับความชื้นในผักบุ้งพบว่า ที่ความชื้นอากาศในห้องอบ(RH) มีค่า 20% 15% 10% ค่าความชื้นของผักบุ้งเป็น 35% 25% และ 13% ตามลำดับ ดังภาพที่ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณของผักบุ้งที่อบแห้งด้วย จึงต้องมีการทดลองอีกหลายซ้ำเพื่อพิสูจน์ความเป็นไปได้ของพืชแต่ละชนิดและปริมาณที่อบแห้งแต่ละครั้ง

เมื่อทดสอบระบบเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศสำเร็จแล้วจึงได้ทำการทดสอบการอบแห้งผลิตภัณฑ์พืชผักสมุนไพรเพื่อเก็บข้อมูลต่างๆ แต่ในขณะทำการทดสอบเกิดปัญหาไฟฟ้าดับกะทันหัน ปั๊มสุญญากาศหยุดทำงาน ทำให้ภาวะสุญญากาศในห้องอบแห้งดูดน้ำกลับเข้าห้องอบ จึงจำเป็นต้องแก้ไขปรับปรุงระบบป้องกันเมื่อเกิดเหตุการไฟฟ้าดับกระทันหันโดยการใส่วาล์วกันน้ำย้อนกลับ ซึ่งก็สามารถป้องกันได้เป็นอย่างดีทั้งนี้ได้ทำการทดสอบปิดระบบไฟฟ้าให้ปั๊มสุญญากาศหยุดกระทันน้ำไม่สามารถย้อนกลับเข้าห้องอบแห้งได้ ดังภาพที่ 4.19

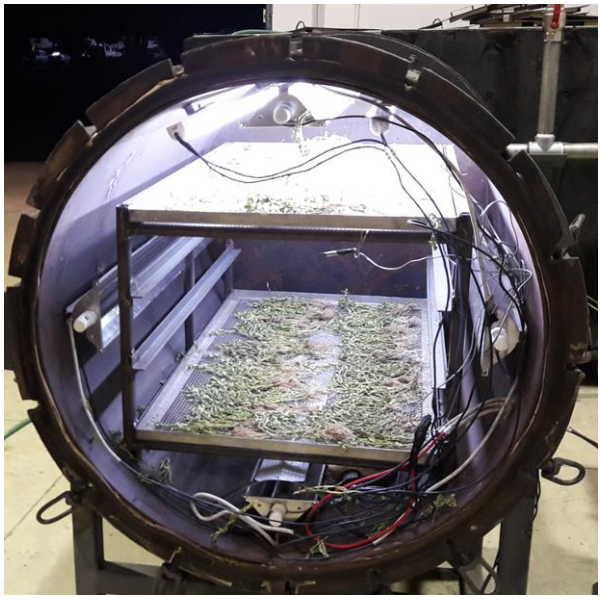
ภาพที่ 4.19 การติดตั้งวาล์วกันน้ำไหลย้อนกลับเข้าเครื่องอบแห้ง

<u>ทำการทดสอบอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศ</u>

เป็นการทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบ ได้แก่ การสร้างภาวะลดแรงดันอากาศ (สุญญากาศ) ประสิทธิภาพการอบแห้ง(การลดความชื้นของผลิตภัณฑ์) โดยใช้พืชในการทดสอบ ได้แก่ ใบบัวบก ผักขะแยง ใบมะกรูด พริก มะเขือเทศ ดังภาพที่ 4.20 - 4.24

ภาพที่ 4.20 การทดสอบอบแห้งพืชผักและสมุนไพรบางชนิด

ภาพที่ 4.21 การอบแห้งใบบัวบก



ภาพที่ 4.22 การอบแห้งผักขะแยง

ภาพที่ 4.23 การอบแห้งใบมะกรูด

ภาพที่ 4.24 การอบแห้งพริกและมะเขือเทศ

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลดแรงดันอากาศแบบชั้นวาง

พืช	ความชื้นเริ่มต้น % w.b.	ความดันลดลง มม.ปรอท	อุณหภูมิที่ใช้ องศาเซลเซียส	เวลาในการอบ ชั่วโมง	ความชื้นหลังอบ % w.b.
ใบบัวบก	85	700	45	3.5	2.5
ผักขะแยง	80	700	45	5	3
ใบมะกรูด	79	700	45	3.5	3
พริก	75	700	45	10	6
มะเขือเทศ	76	700	45	15	5

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบอบแห้งพืชผักและสมุนไพร ปรากฏค่าตามตารางเพื่อได้เป็นแนวทางในการสรุปความเหมาะสมในการที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่อไป และได้ทดสอบการนำผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งไปทดสอบบรรจุในถุงซีลสุญญากาศเพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ดังภาพที่ 4.25

ภาพที่ 4.25 การบรรจุผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งในถุงซีลสุญญากาศ

ทำการทดสอบการอบแห้งขมิ้นชัน

ทำการทดสอบอบแห้งขมิ้นชัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอบลดแรงดันและเก็บตัวอย่างไปหาสารสำคัญ โดยขมิ้นชัน จะมีสาร curcuminoid โดยเปรียบเทียบกับการตากแดด ดังภาพที่ ในการอบด้วยเครื่องลดแรงดันอากาศที่ 700 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เวลา 10 ชั่วโมง ดังภาพที่ 4.26 ขมิ้นชันความชื้นเริ่มต้น 71% มาตรฐานเปียก ลดลงเหลือ 13% มาตรฐานเปียก ซึ่งการหาความชื้นจะใช้ตู้อบลมร้อนในการหาความชื้น และทำการเก็บผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งเพื่อเก็บไว้หาสารสำคัญของขมิ้นชัน

ภาพที่ 4.26 ทดสอบการอบแห้งขมิ้นชัน

ภาพที่ 4.27 ขมิ้นชันตากแดด

ภาพที่ 4.28 เก็บตัวอย่างขมิ้นชันหลังการอบแห้งมาใส่ถุงฟรอยด์สุญญากาศ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการหาสารสำคัญในขมิ้นชันที่ทำให้แห้งในลักษณะต่างๆ

ตัวอย่างที่	Curcumin (%)	Demetoxy curcumin (%)	Bisdemetoxy curcumin (%)	Total curcuminoid (%)
ตากแดด	12.16	7.85	8.36	28.37
อบแห้งที่อุณหภูมิ 45 ^{O}C	14.44	7.87	8.40	30.71
อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 ^{O}C	12.01	6.39	7.52	25.92

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าสาระสำคัญที่เหลือจากการทำแห้ง 3 แบบด้วยกันคือ การตากแดด การอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ประกอบด้วยสารหลัก 3 ตัว คือ เคอร์คูมิน (curcumin; 75-81%), ดีเมทอกซี่เคอร์คูมิน (demethoxycurcumin; 15-19%) และบิสดีเมทอกซี่เคอร์คูมิน (bisdemethoxycurcumin; 2.2-6.6%) (Jayaprakasha et al., 2005) ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ที่พบในเหง้าขมิ้นชันแตกต่างกันในแต่ละแหล่งปลูก วัตถุดิบขมิ้นชันที่ดีควรมีเคอร์คูมินอยด์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ได้ศึกษาข้อมูลหลักการทำงานและประโยชน์ของการอบแห้งแบบลดความดันจะช่วยให้ประสิทธิภาพการอบแห้งได้ดีขึ้นที่อุณหภูมิต่ำเมื่อเทียบกับสภาวะปกติซึ่งจะเป็นการรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ และหัวใจของระบบการอบแห้งแบบลดแรงดันก็คือปั้มลดแรงดันจนเข้าใกล้สภาวะสุญญากาศ จึงได้ทำการศึกษาข้อมูลปั้มสุญญากาศแบบ water jet ขนาดผู้ประกอบการ และทำการเรียนรู้จากของต่างประเทศเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับที่จะสร้างเอง ออกแบบห้องอบแบบชั้นวาง เพื่อนำมาต่อพ่วงกับปั้มสุญญากาศ แบบ water jet ที่สร้างขึ้น ทำการออกแบบระบบให้ความร้อนในห้องอบแห้งโดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า ทำการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อได้ข้อมูลความสัมพันธ์ของการลดความดันอากาศกับจุดเดือดของน้ำซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดถึงอัตราการระเหยระหว่างการอบแห้ง ของอุณหภูมิ แรงดันอากาศ และอัตราหรือเวลาในการระเหย

น้ำจากวัสดุอบแห้ง ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์พืชผักและสมุนไพร ประเมินแนวโน้มประสิทธิภาพและความเหมาะสมของเครื่องอบแห้ง และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้ง และทดสอบการบรรจุผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งในถุงซีลสุญญากาศ ทดสอบการทำนายความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยดูจากความชื้นของอากาศในห้องอบแห้ง

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัยชุดโครงการเรื่องวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและเครื่องจักรสำหรับแปรรูปพืชผักและสมุนไพร ทำให้ได้เครื่องจักรต้นแบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยเครื่องตีแยกเมล็ดมะเขือเทศออกจากเปลือกเครื่องต้นแบบสามารถนำไปใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศได้ นอกเหนือจากการเตรียมเมล็ดและเนื้อสำหรับการ แยกเมล็ดและไส้ของพริกแห้งออกจากเปลือก และต้นแบบเครื่องจักรที่สามารถแยกเมล็ดมะเขือเทศสดออกจากเนื้อ เพื่อการเตรียมเมล็ดหรือไส้ไปเป็นวัตถุดิบสำหรับนำไปสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤต จะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพในการผลิต เป็นการส่งเสริมการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากผลิตผลการเกษตรที่มีจำนวนมากในประเทศ และลดการนำเข้าเครื่องจักรและวัตถุดิบจากต่างประเทศ เครื่องดองผักแบบใช้แรงดันอากาศช่วยให้สามารถดองผักได้เร็วและมีคุณภาพมากขึ้นกว่าการดองแบบปกติทำให้สามารถทำเป็นอุตสาหกรรมได้ ส่วนเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศซึ่งจะช่วยให้การอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำมีประสิทธิภาพมากกว่าการอบแห้งภาวะปกติและในการทำแห้งผักและสมุนไพรจะคงสารสำคัญไว้ได้มากจากการที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ซึ่งในการลดแรงดันอากาศจำเป็นต้องมีปั๊มสุญญากาศที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งในงานวิจัยสามารถสร้างปั๊มแบบ water jet ที่มีประสิทิภาพได้

บรรณานุกรม

บทที่ 1

-

บทที่ 2

ตะวันฉาย บ้านบางแก้ว.2557. ทำไมมาเลย์ชอบพริกขี้หนูจากเมืองไทย. เทคโนฯ เกษตร. แหล่งข้อมูล http://www.technologychaoban.com/news_detail.php?tnid=1164. สืบค้นเมื่อ 26 พฤษภาคม 2557.

น.ส.พ. กสิกร ปีที่ 83 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม 2553

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2557. vegetable / ผัก. ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. แหล่งข้อมูล http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1665/vegetable. สืบค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2557

พอพันธ์ สุทธิวัฒนะ. 2551. การพัฒนาเครื่องหั่นผักตบชวาจากเครื่องต้นแบบโดยการมีส่วนร่วมกับชุมชน. จันทบุรี. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

มณฑล หมายเคียงกลาง. 2544. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น,. 74 หน้า.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.2557. การปรับปรุงพันธุ์พริกเผ็ด. แหล่งข้อมูล http://www.nstda.or.th/nstda-r-and-d/11242-.breeding-pepper. สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2557.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. สถิติการนำเข้า/ส่งออก. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งข้อมูล. http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php.

บทที่ 3

วรพจน์ สุนทรสุข (2546).การผลิตขิงสามรสอย่างรวดเร็วด้วยวิธีความดันไฮโดรสแตติก. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์ ภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อลิษา วิลันโท (2545).การผลิตมะม่วงดองโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติกปัญหาพิเศษ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.

แก้วกานต์ บุญยะเพ็ญ(2548). ออกแบบและพัฒนาเครื่องดองมะม่วงโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก แบบความดันสูงและแบบสุญญากาศวิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กำแพงแสน นครปฐม.

บทที่ 4

ชนิตา ศิริรัตน์ และ พิไลรัก อินธิปัญญา. 2552. การผลิตน้ำผึ้งผงจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันโดยการอบแห้งแบบสุญญากาศและแบบแช่เยือกแข็ง. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยราชมงคลสุวรรณภูมิ.

ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล. 2555. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน : การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรเชษฐ แสงสีดา ธนรัฐ ศรีวีระกุล ชญานนท แสงมณี และ กุลเชษฐ เพียรทอง. 2555. การศึกษาสมรรถนะของอีเจ็คเตอรไอน้ำที่ใชในการอบแหงสุญญากาศ (Performance study of a steam ejector in vacuum drying application). KKU ENGINEERING JOURNAL. July-September 2012; 39(3): 291- 299 p.

สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. ท้อป, กรุงเทพฯ.

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และ ศักชัย จงจำ. 2553. การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 15 (2553) 2. หน้า 76-86..

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

สิงหนาท พวงจันทน์แดง. 2555. เทคโนโลยีการทำแห้งอาหาร. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

เสริม จันทร์ฉาย. 2547. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานรังสีอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

B. A. Averill. 2012. **Principles of General Chemistry**. Andy Schmitz, Michigan.

Suvarnakuta, S., Davahastin, S.,and Mujumdar, A.S, 2005,“Drying Kinetics and β-carotene Degradation in Carrot Undergoing Different Drying Processes”, Journal of Food Science, Vol.70, No.8, pp.520-526

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก 1 ขนาดความกว้าง (a) ความยาว (b) ความหนา (c) ของผลมะเขือเทศที่ใช้ในการทดสอบ (มิลลิเมตร)

รายการ	พันธุ์ อีเป้อ			พันธุ์ ท้อ			พันธุ์ สีดา		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
n	30	30	30	30	30	30	30	30	30
max	39.30	34.85	34.00	69.59	62.88	61.66	46.62	46.05	42.46
min	27.45	26.25	25.00	56.29	50.87	48.17	34.90	34.85	31.09
avg	31.65	30.75	30.83	60.84	56.57	54.09	42.56	39.82	35.92
std	2.59	2.05	2.08	3.05	2.83	2.88	2.98	2.62	2.65
GMD	31.07			57.10			39.34		
AMD	31.08			57.17			39.43		

GMD เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต = $(a*b*c)^{1/3}$

AMD เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเลขคณิต = (a + b + c)/3

ตารางที่ ก 2 ขนาดความกว้าง (a) ความยาว (b) ความหนา (c) ของเมล็ดมะเขือเทศที่ใช้ในการทดสอบ (มิลลิเมตร)

รายการ	พันธุ์ สีดา			พันธุ์ ท้อ			พันธุ์ อีเป้อ		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
n	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**
max	3.86	4.68	1.47	3.11	4.44	1.13	4.45	3.00	1.95
min	2.36	2.85	1.06	2.25	2.73	0.78	3.00	1.15	0.70
avg	3.14	4.08	1.23	2.79	3.63	0.99	3.64	2.48	1.00
std	0.34	0.45	0.14	0.24	0.37	0.11	0.32	0.34	0.26
GMD	2.51			2.16			2.08		
AMD	2.82			2.47			2.37		

GMD เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต = $(a*b*c)^{1/3}$

AMD เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเลขคณิต = (a + b + c)/3

ตารางที่ ก 3 มุมความเสียดทานบนพื้นสแตนเลสของผลมะเขือเทศที่ใช้ในการทดสอบ (องศา)

รายการ	**พันธุ์อีเป้อ**	**พันธุ์สีดา**	**พันธุ์ท้อ**
n	10	10	10
max	21	23.0	19.0
min	14	17.0	15.0
avg	16.8	19.2	17.6
std	1.8	1.7	1.2

ภาคผนวก ข

1.ข้อมูลการทำผักดองแบบวิธีชาวบ้าน

1.1 การดองผักกุ่ม

ก

ข

ภาพที่ ข 1 ผักกุ่มและการดองผักกุ่ม

ผักกุ่ม(ภาพที่ ข 1-ก) เป็นไม้ยืนต้นที่มักขึ้นอยู่ริมฝั่งแม่น้ำ ลำคลอง ขอบบึง ส่วนของกุ่มที่นำมารับประทานคือ ใบอ่อน และดอกอ่อน การรับประทาน ผักกุ่มต้องผ่านการดองเสียก่อน ไม่นิยมนำมากินดิบ เพราะผักกุ่มสดนั้นมีรสขม การเก็บใบอ่อนจะเก็บใน ช่วงฤดูร้อน มีนาคม – พฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่กุ่มแตกใบอ่อนพอดี

อุปกรณ์

ยอดใบอ่อนของกุ่ม
เกลือ
น้ำซาวข้าว
ข้าวสุก
อ่างหรือตุ่มสำหรับดอง

ขั้นตอนการดองกุ่ม

1. นำยอดใบอ่อนของกุ่มที่เก็บได้มาล้างน้ำให้สะอาด จากนั้นนำมาผึ่งแดด ให้แห้งพอหมาดๆ
2. นำใบอ่อนของกุ่มที่ผ่านการตากแดด มาแช่น้ำปลาทิ้งประมาณ 2 วัน จากนั้นนำมาบีบคั้น เอาน้ำออก 2-3 รอบ เพื่อไม่ให้กุ่มติดรสขม
3. นำเกลือมาละลายในอ่างที่มีน้ำเตรียมไว้พอประมาณ นำใบอ่อนของกุ่มไปใส่ลงในอ่าง เทน้ำซาวข้าวลงไปให้ท่วมใบกุ่ม (ถ้าน้ำไม่ท่วมใบกุ่มจะทำให้ใบกุ่มมีสีดำ ไม่น่ารับประทาน) ใส่ข้าวสุกลงไปเพื่อทำให้กุ่มมีรสเปรี้ยว ปิดฝา แล้วนำไปตากแดดไว้ ประมาณ 3 วัน เสร็จแล้วสามารถนำใบกุ่มมาบริโภคได้(ภาพที่ ข 1-ข)

1.2 การดองผักเสี้ยน

ก ข

ภาพที่ ข 2 ผักเสี้ยนและผักเสี้ยนดอง

วัสดุ-อุปกรณ์

1. เตรียมถังขนาด 200 ลิตร ที่มีฝาปิดมิดชิด
2. น้ำสะอาด จำนวน 150 ลิตร
3. เกลือ จำนวน 4 กิโลกรัม
4. น้ำตาลทราย จำนวน 2 กิโลกรัม
5. ผักเสี้ยน จำนวน 40 กิโลกรัม

ขั้นตอนการทำผักเสี้ยนดอง

- นำผักเสี้ยนสด (ภาพที่ ข 2-ก) มาล้างให้สะอาด พักให้สะเด็ดน้ำ
- นำน้ำสะอาดใส่ถังจากนั้นนำเกลือและน้ำตาลทรายลงในถังคนให้เข้ากันจนละลายหมด
- แล้วนำผักเสี้ยนใส่ตามลงไป ทำการปิดฝาให้สนิท
- เทคนิคการดองให้ได้คุณภาพดี จะต้องมีการเปิดฝาถังดอง เพื่อพลิกกลับผักเสี้ยนทุกวัน
- เพื่อให้ผักเสี้ยนที่อยู่ด้านบนได้ลงอยู่ด้านล่าง ผักเสี้ยนจะได้มีรสชาดที่ดีสม่ำเสมอกัน
- ใช้เวลา 3 วัน ก็สามารถนำผักเสี้ยนดอง(ภาพที่ ข 2-ข) บรรจุถุงเพื่อจำหน่ายได้

1.3 ผักกาดเขียวปลีดอง

ก ข

ภาพที่ ข 3 กะหล่ำปลี

วัสดุ-อุปกรณ์

กะหล่ำปลี	½	กิโลกรัม
เกลือ	½	ถ้วย
น้ำตาลปี๊บ	1	ช้อนโต๊ะ
น้ำส้มสายชู	1	ช้อนโต๊ะ
น้ำสะอาด	2 ½	ถ้วย

วิธีการทำผักกาดดอง

1. ล้างกะหล่ำปลี(ภาพที่ ข 3-ก) ให้สะอาด แล้วก็เอาไปใส่ตะแกรงผึ่งแดดสัก 1 แดด ผสมน้ำเกลือแล้วเทใส่โหลเตรียมไว้

2. นำกะหล่ำปลีที่ผึ่งแดดแล้วมาใส่ลงในโหลน้ำเกลือ หมักทิ้งไว้ 1 คืน ตอนเช้านำกะหล่ำปลีที่หมักน้ำเกลือ 1 คืนมาล้างน้ำให้สะอาดอีกครั้งแล้วพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ พักไว้ก่อน

3. นำน้ำตาลปี๊บ น้ำส้มสายชู เกลือ มาละลายในน้ำให้ส่วนผสมเข้ากันเป็นอย่างดีแล้วเทใส่ในโหลเปล่า จากนั้นนำกะหล่ำปลีที่สะเด็ดน้ำแล้วใส่ลงในโหลที่มีน้ำปรุง ปิดฝาโหลให้มิดชิด เก็บดองไว้ 1 สัปดาห์ คุณก็จะได้กะหล่ำปลีดอง(ภาพที่ ข 3-ข) รสชาติกลมกล่อมถูกใจ

1.4 แตงกวาดอง

ก ข

ภาพที่ ข 4 แตงกวาและแตงกวาดอง

ส่วนผสม

แตงกวา 10 ลูก
น้ำส้มสายชู 1 ถ้วย
น้ำตาล 1 ช้อนโต๊ะ
เกลือ 1 ช้อนโต๊ะ

วิธีทำ

1.ล้างแตงกวาสด(ภาพที่ ข 4-ก) ผ่าครึ่ง เซาะเอาไส้ออกใส่บนกระชอน ราดด้วยน้ำร้อน
2.จัดเรียงแตงกวาลงในขวด
3.ต้มน้ำส้มสายชู น้ำตาล และเกลือเข้าด้วยกัน พอเดือดยกลง พออุ่นเทใส่ขวดแตงกวา ปิดฝาขวดปล่อยไว้ 3 วัน เป็นใช้ได้ ได้แตงกวาดอง (ภาพที่ ข 4-ข) เมื่อจะเอาแตงกวาดองออกจากขวด ใช้ส้อมจิ้ม ส้อมที่สะอาดและแห้ง ห้ามใช้มือล้วง แตงกว่าจะขึ้นราได้เมื่อใช้แล้วปิดฝา เก็บไว้ได้นานวัน

1.5 หน่อไม้ดอง

ก ข

ภาพที่ ข 5 หน่อไม้สดและหน่อไม้ดอง

วิธีการทำหน่อไม้ดอง

ส่วนผสมในการทำหน่อไม้ดอง

1. หน่อไม้สดสะอาด 10 กิโลกรัม
2. เกลือเม็ด 1 กิโลกรัม
3. แป้งข้าวเจ้า 1/2 กิโลกรัม

ขั้นตอนการทำหน่อไม้ดอง

1.นำหน่อไม้สด(ภาพที่ ข 5-ก)ที่เราเตรียมเอาไว้มาปอกเปลือกและล้างให้สะอาด

2.หลังจากนั้นให้สับหรือหั่นหน่อไม้บางๆ หรือสับให้เป็นเส้นๆ

3.เมื่อเตรียมหน่อไม้เรียบร้อยแล้วให้เรานำหน่อไม้ไปแช่น้ำสะอาดในภาชนะที่สะอาดเช่นกัน และทำการปิดฝาให้มิดชิดกันแมลงหรือสิ่งแปลกปลอมตกลงไป แล้วทิ้งไว้ 1 คืน

4.เมื่อแช่นน่อไม้เอาไว้ได้ 1 คืนแล้ว ให้ตักขึ้นมาให้สะเด็จน้ำ

5.ให้นำเกลือเม็ด มาละลายกับน้ำต่างหากเตรียมเอาไว้

6.นำหน่อไม้มาที่สะเด็จน้ำแล้วมาเคล้ากับแป้งให้ทั่ว แล้วอัดลงในปี๊บให้เต็ม เสร็จแล้วเทน้ำเกลือ ที่เตรียมไว้ลงไปให้ท่วมหน่อไม้ เคล็ดลับ ใส่น้ำส้มสายชูลงไปด้วย เพื่อให้หน่อไม้ขาวสวยน่ากิน เสร็จแล้วปิดให้มิดชิด หมักเอาไว้ 2 อาทิตย์ก็จะได้หน่อไม้ดอง(ภาพที่ ข 5-ข)