

พัฒนาเครื่องบดแห้งและทอดทุเรียน

Development of Durian Miller and Vacuum Fryer

วิบูลย์ เทเพนทร์^{1/} ชัยวัฒน์ เผ่าสันทัตพาณิชย์^{1/}
เวียง อากรชี่^{1/} พุทธินันท์ จารุวัฒน์^{1/} สุภัทร หนูสวัสดิ์^{1/}

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องบดแห้งทุเรียนเพื่อทำทุเรียนผงและออกแบบพัฒนาเครื่องทอดสุญญากาศ โดยเครื่องบดต้นแบบที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือ ส่วนแรกชุดบดหยาบเป็นแบบใบมีดตีผ่านตะแกรงรูกกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มม. ส่วนที่สองเป็นชุดบดละเอียดแบบ Pin mill มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจานบด 240 มม. โดยที่จานบดมีซี่ฟันติดอยู่ ในการทดสอบซี่ฟัน 2 แบบคือ แบบแท่งสี่เหลี่ยมและแบบแท่งกลม ผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพการบดไม่แตกต่างกัน โดยจานบดหมุนด้วยความเร็วรอบ 2,900 รอบ/นาที ใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า โดยมีอัตราการบดที่ 80 กก./ชม. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยประมาณราคาเครื่องบดทั้งชุดที่ราคา 60,000 บาท มีต้นทุนการบด 1.11 บาท/กก.ทุเรียนผง มีจุดคุ้มทุนที่ 15,640 กก./ปีในกรณีรับจ้างบด ระยะเวลาคืนทุน 2.34 ปี สำหรับเครื่องทอดสุญญากาศที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นมีส่วนประกอบส่วนที่สำคัญทุกส่วนคือ ถังทอดแบบทรงกระบอกแนวตั้ง ภายในมีตะกร้าสำหรับใส่ทุเรียนที่จะทอดขนาดความจุได้ 5 กก. ตะกร้านี้จะติดอยู่กับเพลลาที่หมุนได้ ใช้ในการสลัดน้ำมันออกหลังการทอด โดยสามารถปรับความเร็วรอบได้ ส่วนที่สองเป็นระบบให้ความร้อนกับน้ำมันทอด แบบผ่านตัวกลางที่ใช้ น้ำมันถ่ายเทความร้อน เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นแก๊สหุงต้ม ส่วนที่สามเป็นถังพักและสำรองน้ำมันที่ใช้ในการทอดขนาดความจุ 100 ล. ส่วนที่สี่ระบบปั๊มหมุนเวียนน้ำมันทอดออกจากถัง ส่วนที่ห้าคือ ระบบชุดดักไอน้ำและน้ำมันที่ออกจากถังทอดไม่ให้เข้าไปยังปั๊มสุญญากาศ และส่วนที่หก เป็นระบบปั๊มสุญญากาศที่ทดสอบมี 2 แบบคือ แบบ Mechanical Booster Pump และแบบ Water Jet ผลการทดสอบใช้ทุเรียนดิบหั่นเป็นชิ้นจำนวน 5 กก.มีสภาวะการทอดที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 85 °ซ ที่ระดับสุญญากาศ 720-740 มม.ปรอท ใช้เวลาในการทอดนาน 35 นาที และสลัดน้ำมันออก 20 นาที ได้ผลิตภัณฑ์หลังการทอด 2 กก. และในการทดสอบทอดทุเรียนสุกหั่นเป็นชิ้นจำนวน 5 กก. อุณหภูมิการทอดที่เหมาะสมที่ 85 °ซ ที่ระดับสุญญากาศ 720-740 มม.ปรอท ใช้เวลาในการทอด 40 นาที และเวลาในการสลัดน้ำมัน 30 นาที ได้ผลิตภัณฑ์หลังทอดจำนวน 2.1 กก.

รหัสสารโครงการวิจัย 02-01-49-07

^{1/} กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

กาน้ำ

ทุเรียนเป็นผลไม้เศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ที่มีการขยายการผลิตอย่างสูงแทบทุกภาคของประเทศ โดยมีพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 เท่าจากจำนวนพื้นที่ปลูก 326,343 ไร่ ในปี พ.ศ. 2526 การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตก็เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 50% จากผลผลิตในปี พ.ศ. 2526 จำนวน 1,129.6 กก./ไร่ การส่งออกมีอัตราสูงขึ้น 8.5 เท่า จากจำนวน 2,819 ตัน ในปี พ.ศ. 2526 ปริมาณสินค้าทุเรียนในรูปผลสด แข็งแข็งและผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ส่งออกตลอดปี พ.ศ. 2544 ประมาณ 140,629 ตัน โดยมีมูลค่ารวม 2,593 ล้านบาท โดยตลาดส่งออกส่วนใหญ่อยู่ในภูมิภาคเอเชีย ได้แก่ ไต้หวัน จีน ฮองกง มาเลเซีย สิงคโปร์ รวมทั้ง ตลาดยุโรป อเมริกาเหนือและออสเตรเลีย ที่มีชาวเอเชียอาศัยอยู่ แต่การส่งออกดังกล่าวยังไม่เพียงพอต่อการระบายทุเรียนออกสู่ตลาด โดยเฉพาะช่วงกลางฤดูการผลิตซึ่งมีปริมาณผลผลิตมากเกินไป ทำให้ราคาตกต่ำต่อเนื่องติดต่อกันนาน ทำให้เกษตรกรมีรายได้ต่ำลง จนถึงขาดทุน เกิดปัญหาแก่เกษตรกร และผู้ผลิตเป็นอย่างมาก รวมทั้งการส่งออกทุเรียนอ่อนในช่วงต้นฤดูการผลิต ทำให้ตลาดส่งออกเสียหาย ดังนั้นปัญหาหลักของทุเรียนในปัจจุบันจึงได้แก่เกษตรกรขายได้ราคาต่ำ ทั้งนี้มีสาเหตุที่สำคัญจากการที่ทุเรียนมีคุณภาพและปริมาณไม่สอดคล้องกับความต้องการของตลาด รวมทั้งปัญหาอื่นๆอีกหลายประการ เช่น ทุเรียนเป็นโรคไส้ซึ่ม หนอนเจาะ และปัญหาคุณภาพผลิตภัณฑ์แปรรูป และการควบคุมคุณภาพตลอดจนเครื่องมือในการแปรรูป รวมทั้งข้อมูลการผลิต การตลาด และการสร้างตราสินค้า

การแปรรูปผลิตภัณฑ์ทุเรียนในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับครัวเรือนไม่สามารถปฏิบัติงานได้เร็วทันการณ์ ไม่สามารถพัฒนาหรือขยายกำลังการผลิตให้มีปริมาณมากเพียงพอสำหรับเป็นธุรกิจขนาดเล็กได้ เพราะเกษตรกรผู้ประกอบการ ยังขาดความรู้ความเข้าใจ และคำแนะนำที่ถูกต้องในการใช้เครื่องจักรกลด้านการแปรรูปอาหาร เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุเรียนแปรรูปต่างๆ ที่ได้คุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของตลาด และรูปแบบของเครื่องมือเครื่องทุ่นแรงด้านการแปรรูปอาหารที่มีอยู่ทั่วไป เป็นเครื่องนำเข้าจากต่างประเทศที่มีต้นทุนสูงหรือลอกเลียนแบบจากเครื่องที่นำเข้า ซึ่งยังขาดการพัฒนาปรับปรุงให้เหมาะสมกับการผลิตของผลิตภัณฑ์ทุเรียนแปรรูปต่างๆ เป็นต้น ทำให้ยังไม่มีการใช้เครื่องจักรกลแปรรูปทุเรียนกันอย่างแพร่หลาย แนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นด้วยการศึกษาสำรวจและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องมือแปรรูปที่มีอยู่ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทุเรียน และการวิจัยและพัฒนาเครื่องมือการผลิตทุเรียนแปรรูปที่มีคุณภาพ ให้มีการใช้อย่างแพร่หลายในการแปรรูปทุเรียนสดเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภค ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่า และเก็บไว้รอการจำหน่ายได้ รวมทั้งสามารถส่งไปจำหน่ายได้ในระยะทางไกลๆ ไม่เน่าเสียง่ายเหมือนเช่นทุเรียนสด จึงมีความจำเป็นในการแก้ปัญหาค่าการปฏิบัติงานด้านการแปรรูป และเป็นรากฐานของอุตสาหกรรมเกษตรในท้องถิ่นต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ออกแบบพัฒนาเครื่องบดแห้ง ที่เหมาะสมระดับกลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการแปรรูปทุเรียนดิบเป็นผลิตภัณฑ์ทุเรียนผง
2. ออกแบบพัฒนาเครื่องทอดสุญญากาศที่ทอดทุเรียนสุกได้ที่อุณหภูมิต่ำอย่างรวดเร็ว และผลิตภัณฑ์หลังการทอดมีคุณภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ในการแปรรูปทุเรียนสุกเป็นผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดสุญญากาศ

เวลาและสถานที่

| | |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ระยะเวลาของโครงการ | เริ่มต้น ตุลาคม 2548 สิ้นสุด กันยายน 2551 |
| สถานที่ทำการทดลอง | กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม - วิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกร อ.เมือง จ.จันทบุรี |

วิธีดำเนินการ

ในการดำเนินงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบพัฒนาเครื่องบดแห้งทุเรียน และการออกแบบพัฒนาเครื่องทอดสุญญากาศ โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนและการดำเนินงานในแต่ละส่วนดังนี้

1. ออกแบบพัฒนาเครื่องบดแห้งทุเรียน

- 1.1 สํารวจ ศึกษา ข้อมูล รูปแบบเครื่องบดแห้งที่มีใช้อยู่
- 1.2 ทดสอบเก็บข้อมูล เครื่องบดแห้งตัวอย่างศึกษา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบพัฒนา
- 1.3 ออกแบบพัฒนา สร้างเครื่องต้นแบบ
- 1.4 ทดสอบและปรับปรุงเครื่องต้นแบบ
- 1.5 ทดสอบ เก็บข้อมูล วิเคราะห์ผลการทดสอบ
- 1.6 วิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์
- 1.7 สรุปผล

2. ออกแบบพัฒนาเครื่องทอดสุญญากาศ

2.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานการทอดและแบบวิธีการทอดทุเรียน โดยการตรวจเอกสาร รวบรวมข้อมูล และบันทึกผลรายละเอียด จำแนกแบบวิธีการทอดและเปรียบเทียบแบบวิธีการทอดที่ใช้ทั่วไปกับแบบวิธีการทอดที่ศึกษาอยู่

2.2 ศึกษาและสํารวจข้อมูลการใช้งานเครื่องทอดสุญญากาศที่มีใช้กันอยู่ โดยการสํารวจจากกลุ่มผู้มีเครื่องทอดสุญญากาศใช้อยู่ รวบรวมข้อมูลและบันทึกผลรายละเอียด จำแนกรูปแบบเครื่องทอดสุญญากาศ และพิจารณาศึกษาข้อแก้ไขปัญหของส่วนประกอบในระบบที่ยังไม่เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบต้นแบบเครื่องทอดสุญญากาศ

2.3 ออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องทอดสุญญากาศ ตามรูปแบบและลักษณะที่เหมาะสมในการใช้งาน

2.4 ทดสอบเบื้องต้นและแก้ไขปรับปรุงต้นแบบ โดยการทดสอบเดินระบบการทำงานทั้งหมด และพิจารณาหาข้อแก้ไขปรับปรุงจุดบกพร่องของต้นแบบให้สามารถใช้งานได้ตามต้องการ

2.5 ทดสอบและประเมินผลหลังการปรับปรุง โดยการทดสอบหาสภาวะการทอดที่เหมาะสมของเนื้อทุเรียน รวบรวมข้อมูลและบันทึกผลรายละเอียด วิเคราะห์ผลการทอดทุเรียน

2.6 สรุปผล

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. ออกแบบพัฒนาเครื่องบดแห้งทุเรียน

จากการศึกษา ข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับการผลิตแปรงทุเรียน รวมทั้งผลิตภัณฑ์ มีขั้นตอนและเครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมทุเรียนดังนี้

การผ่าผลทุเรียนจะใช้เครื่องผ่าทุเรียนดังแสดงในภาพที่ 1 (ก) ผ่าตรงร่องระหว่างพูทุเรียน ไม่ใช่ผ่ากลางพู พนักงานที่โรงงานทำทุเรียนทอดกรอบสามารถผ่าผลทุเรียนได้ประมาณ 138 ผล/คน/ชม. จากนั้นจะแกะเปลือกและแกะเมล็ดออก สามารถทำได้ประมาณ 40 กก.ผลทุเรียน/คน/ชม. จากนั้นจะนำไปผานเป็นชั้นบาง โดยใช้เครื่องผานแผ่นทุเรียน ภาพที่ 1 (ข) แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงภาพที่ 1 (ค) ให้แห้งแล้วจึงนำไปบดด้วยเครื่องบด



(ก) การผ่าทุเรียน



(ข) เครื่องผานแผ่นทุเรียน



(ค) ตู้อบลมร้อนใช้แก๊สหุงต้ม

ภาพที่ 1 การผ่าผลทุเรียนจะใช้เครื่องผ่าทุเรียนจากนั้นนำไปผานแล้วอบแห้ง

จากการทดสอบ เครื่องบดแบบ Pin-mill ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางชุดบด 120 มม. รอบการหมุนในบด 5,680 รอบ/นาที ต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 3 แรงม้า มีอัตราการบดละเอียดประมาณ 17 กก./ชม. ปัญหาที่พบคือ ทุเรียนชิ้นใหญ่ ทำให้มีปัญหาการป้อนเข้าเครื่องบด ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องบดแบบ Pin mill คือ ชุดโครงสร้างสแตนเลสหล่อ งานบดหมุน (Rotor) งานบดอยู่กับที่ (Stator) และตะแกรง (Screen ring) (ภาพที่ 2)



งานบดหมุน (Rotor)



งานบดอยู่กับที่ (Stator)

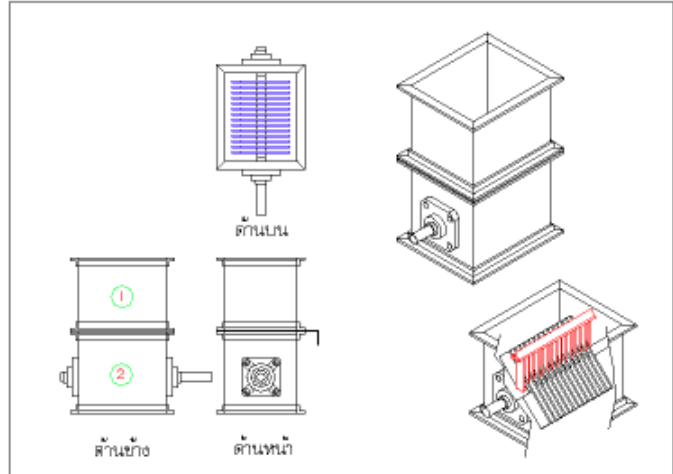


ตะแกรง (Screen ring)

ภาพที่ 2 ชุดบดหมุน ชุดบดอยู่กับที่ และตะแกรง

แนวทางในการพัฒนาได้ออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบ ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ชุดบดหยาบ อุปกรณ์ควบคุมการป้อนหรือควบคุมอัตราการบดละเอียด และชุดบดละเอียดที่มีอัตราการบดสูงขึ้น

จากการทดสอบชุดบดหยาบ (ภาพที่ 3) เพื่อย่อยชิ้นส่วนทุเรียนที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง พบว่า ความเร็วรอบใบตีบดหยาบที่เหมาะสมอยู่ที่ 500 รอบ/นาที



ภาพที่ 3 ชุดบดหยาบที่ออกแบบสร้างขึ้น พร้อมแบบแสดง

ในการออกแบบสร้างชุดบดละเอียด ได้ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางชุดบดเพิ่มขึ้นเป็น 240 มม. หรือ 2 เท่า ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนซี่ฟันบดจากเดิม งานหมุน จะมี 2 วง วงใน 4 ซี่ วงนอก 4 ซี่ เพิ่มเป็น 3 วง วงใน 8 ซี่ วงกลาง 16 ซี่ วงนอก 8 ซี่ งานอยู่กับที่ จากเดิม 1 วง 16 ซี่ เพิ่มเป็น 2 วง วงใน 22 ซี่ วงนอก 36 ซี่ และเพิ่มความยาวซี่ฟันบดขึ้นเป็น 2 เท่าเช่นกัน จากเดิมยาว 20 มม. เพิ่มเป็น 40 มม. ส่งผลให้พื้นที่ที่ตะแกรง มีพื้นที่ในการสัมผัสมากขึ้นเป็น 4 เท่าในการศึกษาซี่ฟันบดมี 2 ลักษณะ คือ ซี่ฟันบดแบบแท่งสี่เหลี่ยม และซี่ฟันบดแบบแท่งกลม ทั้งสองแบบใช้เกลียวลำเลียงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. ระยะเกลียว 50 มม. เป็นตัวควบคุมการป้อนเข้าสู่ชุดบดละเอียด



ชุดบดหยาบ

ชุดบดละเอียด

ภาพที่ 4 เครื่องบดแห่งทุเรียนที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 5 ลักษณะทุเรียนหลังการบดแต่ละชั้น

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบชุดบดละเอียด ที่พัฒนาขึ้น แบบซีฟขนาดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมและซีฟขนาดเป็นแท่งกลม รอบไบบิต 2,900 รอบ/นาที มอเตอร์ 3 แรงม้า

| ขนาดทุเรียน = x (มม.) | ซีฟขนาดแบบแท่งสี่เหลี่ยม | | ซีฟขนาดแบบแท่งกลม | |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| | อัตราการบดสูงสุด (กก./ชม.) | อุณหภูมิทุเรียนผง (องศาเซลเซียส) | อัตราการบดสูงสุด (กก./ชม.) | อุณหภูมิทุเรียนผง (องศาเซลเซียส) |
| 3 < x < 4 | 86.7 | 41.5 | 87.70 | 40.5 |
| 2 < x < 3 | 94.29 | 41.5 | 90.42 | 40.5 |
| 1 < x < 2 | 97.51 | 42.5 | 94.68 | 42 |
| 0 < x < 1 | 108.59 | 41 | 102.14 | 41 |
| รวมทุกขนาด | 96.77 | 42 | 93.74 | 41 |

ตารางที่ 2 แสดงการแยกขนาดทุเรียนผงที่ได้จากการบดละเอียด แบบซีฟขนาดเป็นแท่งสี่เหลี่ยม และซีฟขนาดเป็นแท่งกลม โดยใช้ความเร็วรอบไบบิต 2,900 รอบ/นาที ต้นกำลังมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า

| ขนาดทุเรียน ที่ป้อนเข้าเครื่องบด มม. | ซีฟขนาดแบบแท่งสี่เหลี่ยม | | | ซีฟขนาดแบบแท่งกลม | | |
|--------------------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|
| | 0.500 มม. (30 mesh) | 0.251 มม. (60 mesh) | ทึบ (0 mesh) | 0.500 มม. (30 mesh) | 0.251 มม. (60 mesh) | ทึบ (0 mesh) |
| | 3 < x < 4 | 1.28 | 55.16 | 43.57 | 2.35 | 55.26 |
| 2 < x < 3 | 1.28 | 55.32 | 43.40 | 2.04 | 56.25 | 41.72 |
| 1 < x < 2 | 1.03 | 52.73 | 46.25 | 1.47 | 55.24 | 43.30 |
| 0 < x < 1 | 0.88 | 55.64 | 43.49 | 0.95 | 55.29 | 43.76 |
| รวมทุกขนาด | 1.02 | 55.07 | 43.91 | 1.93 | 55.53 | 42.55 |

จากตารางที่ 1 และ 2 ผลการทดสอบการบดละเอียดของชุดบดละเอียด ซีฟนบดแบบแท่งสี่เหลี่ยมและแบบแท่งกลมให้ผลไม่แตกต่างกัน ทั้งอัตราการบดและเปอร์เซ็นต์ขนาดทุเรียนผง ที่ตกค้างบนตะแกรงโดยมีอัตราการบดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 96.77 และ 93.74 กก./ชม. ดังนั้น ในการใช้งานจริงจึงปรับอัตราการบดที่ 80 กก./ชม.

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยประมาณราคาเครื่องบดทั้งชุดที่ราคา 60,000 บาท มีต้นทุนการบด 1.11 บาท/กก.ทุเรียนผง มีจุดคุ้มทุนที่ 15,640 กก./ปีในกรณีรับจ้างบด ระยะเวลาคืนทุน 2.34 ปี

2. ออกแบบเครื่องทอดสุญญากาศ

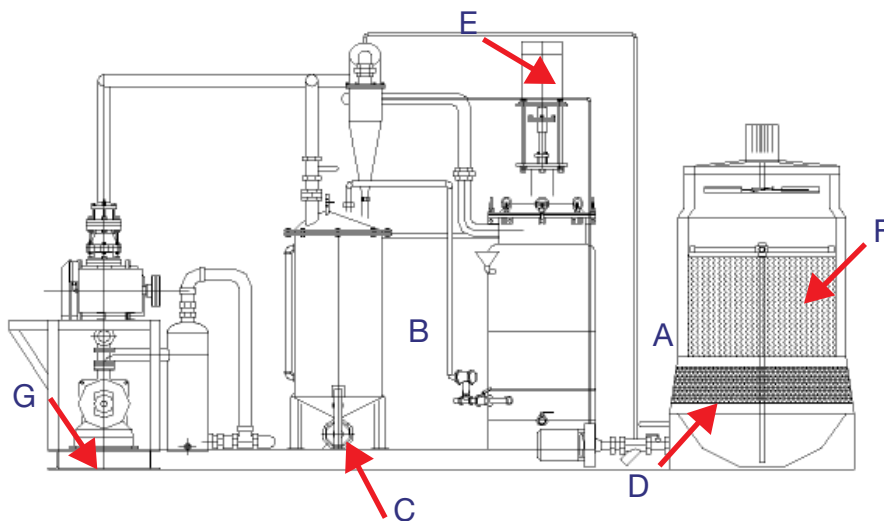
จากการศึกษาข้อมูล และสำรวจการใช้งานเครื่องทอดสุญญากาศ ได้ข้อมูลสำหรับเป็นข้อพิจารณาในการออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องทอดสุญญากาศ มีดังนี้

- เป็นต้นแบบขนาดเล็ก สามารถใช้กรณีศึกษาทดสอบการทอด ตัวอย่างพืชผักผลไม้ ฯลฯ ในปริมาณที่พอเหมาะต่อครั้ง ภายใต้การควบคุมระบบสุญญากาศได้ดี

- ความสามารถในการทอดเนื้อทุเรียน 5 กก./ครั้ง
- ประหยัดปริมาณน้ำมันพืชสำหรับการทอด
- ประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง ในระบบให้ความร้อนกับน้ำมันทอด
- มีการสลัดน้ำมันในถังทอด
- มีระบบการดักน้ำมันและไอน้ำจากถังทอด

ส่วนประกอบของเครื่องทอดสุญญากาศต้นแบบที่ออกแบบและพัฒนา

ก) ต้นแบบเครื่องทอดสุญญากาศที่ออกแบบสร้าง มีส่วนประกอบสำคัญ (ภาพที่ 6) ดังนี้



ภาพที่ 6 แสดงส่วนประกอบต้นแบบเครื่องทอดสุญญากาศ

1) ถังทอด (A)

- ถังทอด เป็นถังชนิด 3 ชั้น วัสดุเป็นสแตนเลส ความจุประมาณ 100 ล. ขนาดภายใน มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 525 มม. สูง 890 มม. หนา 3 มม. พนักชั้นแรกหล่อด้วยน้ำมันเก็บถ่ายความร้อน พนักชั้นที่ 2 หุ้มด้วยฉนวนใยแก้วกันความร้อน

- มีตะกร้าทอด วัสดุเป็นสแตนเลส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 350 มม. สูง 250 มม. ผนังเป็นรูตะแกรง ขนาด 3 มม. ติดตั้งภายในถังทอด ใช้หมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันได้

- มีต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 380 โวลท์ ขนาด 2 แรงม้า ใช้ขับเพลลาหมุนของตะกร้าทอดในถังทอด

2) ถังพักน้ำมันทอด (B)

- ถังพักน้ำมันทอด เป็นถังชนิดชั้นเดียว วัสดุเป็นสแตนเลส ความจุประมาณ 100 ล. ขนาดภายใน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 525 มม. สูง 890 มม. หนา 3 มม. ใช้เก็บพักและหมุนเวียนน้ำมันทอดจากถังทอด

3) ระบบปั๊มหมุนเวียนน้ำมันทอด (C)

- ท่อเดินน้ำมันทอด วัสดุเป็นสแตนเลส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. ใช้หมุนเวียนน้ำมันทอด ระหว่างถังทอดและถังพักน้ำมันทอด โดยให้ไหลผ่านชุดกรองแยกเศษผลิตผล ก่อนเข้าสู่ถังพักเป็นปั๊มหมุนเวียน น้ำมันทอด แบบ 380 โวลท์ ขนาด 1 แรงม้า อัตราไหล 5 ลบ.ม/ชม. สำหรับส่งน้ำมันทอดจากถังพักไปเข้าถังทอด

4) ระบบให้ความร้อนกับน้ำมันทอด (D)

- เป็นหัวเตาเผาเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม สำหรับให้ความร้อน ผ่านกันถังทอดและผ่านสู่ตัวกลางซึ่งเป็น น้ำมันเก็บถ่ายความร้อนสูง แล้วถ่ายเทความร้อนสู่น้ำมันทอด

- มีถังบรรจุแก๊สหุงต้ม และอุปกรณ์วาล์วควบคุมความดัน

- มีหัววัดและควบคุมอุณหภูมิน้ำมันทอด ชนิดเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบเค โดยการวัดและควบคุมระดับ อุณหภูมิความร้อนของน้ำมันทอดตามที่ต้องการ

- มีชุดสวิทช์เทอร์โมสแตทและโซลินอยด์วาล์ว ควบคุมการเปิด-ปิดของโซลินอยด์วาล์วซึ่งจ่ายการ ไหลของแก๊สผ่านท่อสู่หัวเตาเผา โดยใช้โซลินอยด์วาล์วเปิดปิดแก๊ส

5) อุปกรณ์ควบแน่นไอน้ำ (E)

- เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน วัสดุเป็นสแตนเลส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม. ยาว 500 มม. สำหรับดักไอน้ำและน้ำมันของอากาศที่ออกมาจากถังทอด โดยมีน้ำเย็นจากเครื่องลดอุณหภูมิน้ำมา หมุนเวียนแลกเปลี่ยนความร้อน

- มีท่อเดินอากาศ วัสดุเป็นสแตนเลส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. ใช้ดูดอากาศออกจากถังทอด และถังพัก เข้าสู่ปั๊มสุญญากาศโดยให้ไหลผ่านอุปกรณ์ควบแน่นไอน้ำก่อนเข้าปั๊มสุญญากาศ

6) เครื่องลดอุณหภูมิน้ำ (F)

- เป็นเครื่องหอหล่อเย็น (Cooling tower) ขนาด 5 ตัน สำหรับระบายความร้อนจากน้ำ

- มีพัดลมไฟฟ้าแบบ 380 โวลท์ ขนาด 1/6 แรงม้า ใช้เป่าลดอุณหภูมิน้ำให้เย็นลง

- มีปั๊มหมุนเวียนน้ำ แบบ 380 โวลท์ ขนาด 1 แรงม้า อัตราไหล 100 ล./ นาที ใช้ส่งน้ำเย็น หมุนเวียนระหว่างเครื่องลดอุณหภูมิน้ำและอุปกรณ์ควบแน่นไอน้ำ

- มีท่อเดินน้ำเย็น วัสดุเป็นท่อพลาสติก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. ใช้หมุนเวียนน้ำเย็น ระหว่างเครื่องลดอุณหภูมิน้ำและอุปกรณ์ควบแน่นไอน้ำ

7) ปั๊มสุญญากาศ แบบ Mechanical Booster Pump (G)

- เป็นปั๊มสุญญากาศ ระบบการปั๊มแบบผสม โดยมีการทำงาน 2 ขั้นตอน ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับแต่ละช่วงของความดัน

- ความสามารถดูดอากาศได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ประมาณ 5.7 ลบ.ม/นาที

จากการทดสอบเบื้องต้นในการใช้งานของต้นแบบเครื่องทอดสุญญากาศ ได้ข้อมูลสำหรับเป็นข้อพิจารณา และดำเนินการแก้ไขปรับปรุงจุดบกพร่องของต้นแบบ ดังนี้

- 1) ปรับปรุงส่วนฝาถังทอด ได้เพิ่มช่องมองกระจกและไฟส่องสว่าง ช่วยให้เห็นการทอดชัดเจนขึ้น
- 2) ปรับปรุงส่วนชุดควบแน่นไอน้ำ ได้เพิ่มไซโคลนดักน้ำมันจากไอน้ำที่ออกจากถังทอด ช่วยดักเก็บน้ำมันทอดที่เดือดล้นออกจากถังทอด และเพิ่มไซโคลนดักน้ำจากไอน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ช่วยดักเก็บน้ำที่กลั่นตัวออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
- 3) ปรับปรุงส่วนชุดหมุนเวียนน้ำมันทอด ได้เปลี่ยนไส้กรองเป็นขนาดใหญ่และยาวขึ้น ช่วยลดการอุดตันของเศษชิ้นผลิตภัณฑ์ที่ปนมาในน้ำมันทอด
- 4) ปรับปรุงส่วนตะกร้าทอด ได้เปลี่ยนตะกร้าทอดจากเดิมขนาดรูตะแกรง 9 มม. เป็นขนาดรูตะแกรง 3 มม.

ผลการทดสอบการทอดทุเรียนด้วยเครื่องต้นแบบที่ปรับปรุง

1. ผลการทดสอบพบว่า ชั้นเนื้อทุเรียนดิบหั่นมีสภาวะการที่ทอดเหมาะสมที่อุณหภูมิทอด 85 °ซ ใช้เวลาทอด 35 นาที และการสลัดน้ำมันใช้เวลา 20 นาที ระดับสุญญากาศ 740-760 มม.ปรอท และชั้นเนื้อสุกหั่นสี่ส่วนมีสภาวะการทอดเหมาะสมที่อุณหภูมิทอด 85 °ซ ใช้เวลาทอด 40 นาที และการสลัดน้ำมันใช้เวลา 30 นาที ที่ระดับสุญญากาศ 740-760 มม.ปรอท ส่วนการแช่แข็งก่อนการทอด พบว่า ชั้นเนื้อดิบหั่นแช่แข็งมีสภาวะการทอดเหมาะสมที่อุณหภูมิทอด 90 °ซ ใช้เวลาทอด 50 นาที และการสลัดน้ำมันใช้เวลา 20 นาที ที่ระดับสุญญากาศ 740-760 มม.ปรอท และชั้นเนื้อสุกหั่นสี่ส่วนแช่แข็งมีสภาวะการทอดเหมาะสมที่อุณหภูมิทอด 90 °ซ ใช้เวลาทอด 55 นาที และการสลัดน้ำมันใช้เวลา 30 นาที ที่ระดับสุญญากาศ 740-760 มม.ปรอทดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบรูปแบบชั้นทุเรียนดิบ-สุกและแช่แข็งก่อนทอด ทำการทอด ณ ระดับสุญญากาศ 740- 760 มม.ปรอท โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้น 5 กก.

| แบบชั้นทุเรียน | อุณหภูมิทอด (องศาเซลเซียส) | ระยะเวลา (นาที) | น้ำหนักสุดท้าย (กก.) |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|
| เนื้อดิบหั่น | 85 | 35 นาที | 2.0 |
| เนื้อสุกหั่นสี่ส่วน | 85 | 40 นาที | 2.1 |
| เนื้อดิบหั่นแช่แข็ง | 90 | 50 นาที | 2.0 |
| เนื้อสุกหั่นสี่ส่วนแช่แข็ง | 90 | 55 นาที | 2.3 |

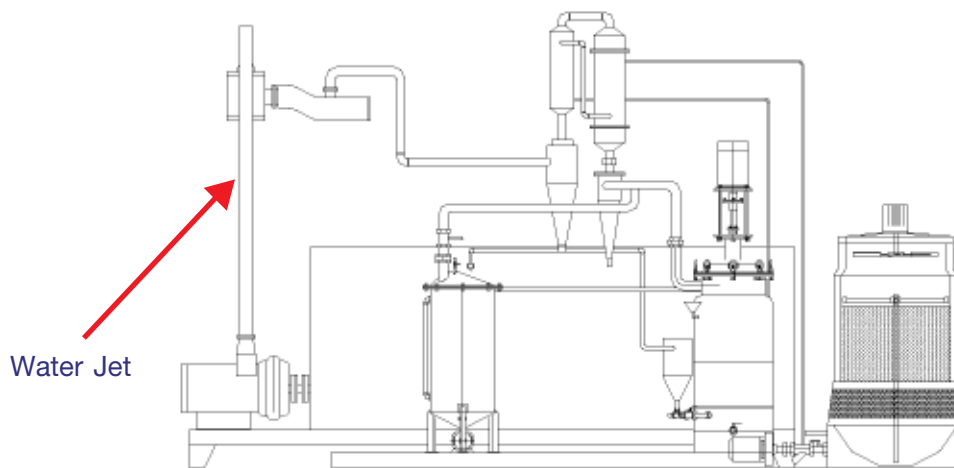
หมายเหตุ เนื้อดิบหั่น หนาสม่ำเสมอประมาณ 6-8 มม. เนื้อสุกหั่นสี่ส่วน หนาประมาณ 15-18 มม.

2. เนื้อทุเรียนสุกหลังทอดพบเศษเส้นฝอยมาก และเนื้อทุเรียนดิบหลังทอดพบเศษผงเนื้อละเอียดมาก โดยเฉลี่ยเนื้อทุเรียนสดเริ่มต้น 5 กก. เมื่อทอดเสร็จแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอด 2.1 กก.
3. ชุดควบแน่นไอน้ำสามารถดักน้ำมันจากถังทอดเฉลี่ยประมาณ 720 มล. คิดเป็น 24.83% ของน้ำหนักเนื้อทุเรียนที่หายไป
4. จากการทดสอบพบปัญหา เศษผงทุเรียนทอดค้างอยู่ที่ก้นถังรวมทั้งน้ำมันถ่ายเทความร้อนควบคุมอุณหภูมิได้ยาก จึงได้ปรับปรุงต้นแบบ โดยขยายขนาดจากท่อทางออกน้ำมันทอดจากถังทอด และเพิ่มชุดหมุนเวียน

น้ำมันถ่ายเทความร้อนออกจากตัวเลื้อยของถังทอด รวมทั้งปรับปรุงชุดควบแน่นไอเดือด การทดสอบประเมินผล ต้นแบบหลังการปรับปรุง พบว่า ชั้นเนื้อทุเรียนที่ความหนา 10 มม. มีสภาวะการทอดเหมาะสมที่อุณหภูมิทอด 85 °ซ และใช้เวลาทอด 40 นาที ที่ระดับสุญญากาศ 740-760 มม.ปรอท การสลัดน้ำมันใช้เวลา 30 นาที ส่วนที่ ความหนา 20 มม. มีสภาวะการทอดเหมาะสมที่อุณหภูมิทอด 85 °ซและใช้เวลาทอด 50 นาที ที่ระดับสุญญากาศ 740-760 มม.ปรอท การสลัดน้ำมันใช้เวลา 40 นาที และความหนาชั้นที่เท่ากันของเนื้อทุเรียนดิบและเนื้อทุเรียนสุก สามารถใช้เวลาการทอดที่เท่ากันได้ และใช้เวลาการสลัดน้ำมันที่เท่ากัน โดยเฉลี่ยเนื้อทุเรียนสดเริ่มต้น 5 กก. เมื่อ ทอดเสร็จแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอด 2.3 กก. ชุดควบแน่นไอเดือดที่พัฒนาใหม่สามารถดักน้ำจากถังทอดเฉลี่ย ประมาณ 968 มล. คิดเป็น 35.85% ของน้ำหนักเนื้อทุเรียนที่หายไปผลทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสภาวะการทอดที่เหมาะสมของเนื้อทุเรียนดิบและสุก ทำการทอด ณ ระดับสุญญากาศ 740-760 มม.ปรอท โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้น 5 กก.

| แบบชั้นทุเรียน | อุณหภูมิทอด (องศาเซลเซียส) | ระยะเวลา (นาที) | น้ำหนักสุดท้าย (กก.) |
|------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|
| เนื้อดิบชั้นหนา 10 มม. | 85 | 40 | 2.08 |
| เนื้อสุกชั้นหนา 10 มม. | 85 | 40 | 2.38 |
| เนื้อดิบชั้นหนา 20 มม. | 85 | 50 | 2.28 |
| เนื้อสุกชั้นหนา 20 มม. | 85 | 50 | 2.28 |



ภาพที่ 7 บั้มสุญญากาศแบบ Water Jet ใช้งานร่วมกับเครื่องทอด

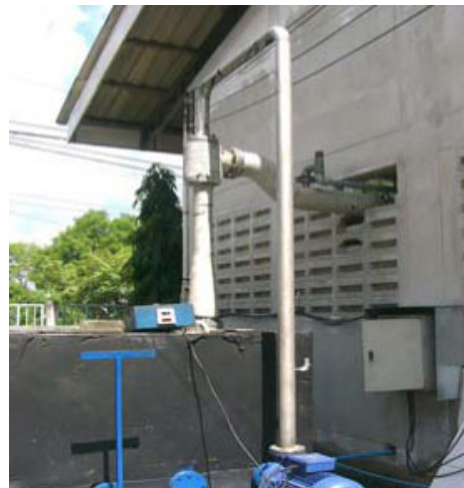
5. การศึกษาทดสอบบั้มสุญญากาศแบบ Water Jet (ภาพที่ 7) พบว่าสามารถใช้แทนบั้มสุญญากาศแบบ Mechanical Booster Pump ได้ โดยสร้างระดับสุญญากาศสูงสุดเพียง 720 มม.ปรอท สามารถทอดชั้นเนื้อ ทุเรียนดิบที่ความหนา 6-8 มม. ที่สภาวะการทอดเหมาะสม ที่อุณหภูมิทอด 85 °ซ ใช้เวลาทอด 30 นาที และการ สลัดน้ำมันใช้เวลา 20 นาที ผลทดสอบเปรียบเทียบการใช้ชุดสร้างสุญญากาศ (ภาพที่ 8 และ 9) ทั้ง 2 แบบ แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลทดสอบเปรียบเทียบการใช้งานปั๊มสุญญากาศ 2 แบบ ทำการทอดโดยใช้น้ำหนักเริ่มต้น 5 กก.

| แบบปั๊ม สุญญากาศ | ระดับสุญญากาศ (มม.ปรอท) | อุณหภูมิทอด (องศาเซลเซียส) | ระยะเวลา (นาที) | น้ำหนักสุดท้าย (กก.) |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Water Jet | 720 | 85 | 30 | 2.15 |
| Mechanical Booster Pump | 760 | 85 | 30 | 2.15 |



ภาพที่ 8 ต้นแบบเครื่องทอดสุญญากาศ



ภาพที่ 9 ปั๊มสุญญากาศแบบ Water Jet

สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ

ได้เครื่องบดแห้งทุเรียนต้นแบบที่สามารถบดได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง โดยเครื่องบดแห้งทุเรียนต้นแบบที่ออกแบบพัฒนาขึ้น ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ชุดบดหยาบ ที่ออกแบบสร้างเป็นเครื่องบดแบบใบมีดยึดติดกับเพลลา ตีบดผ่านตะแกรงรูกกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรู 3 มม. รอบการหมุนใบมีด 500 รอบ/นาที ต้นกำลัง 2 แรงม้า บดทุเรียนที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กกว่า 3 มม. จากนั้นส่งเข้าอุปกรณ์การบดแบบเกลียวลำเลียงเข้าชุดบดละเอียดแบบ Pin mill มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 240 มม. มีซี่ฟันบดส่วนที่หมุนบด (Rotor) 3 วงรอบ ซี่ฟันบดยึดอยู่กับที่ (Stator) 2 วงรอบ ลักษณะซี่ฟันบดได้ออกแบบเป็น 2 ลักษณะ คือแบบเป็นแท่งสี่เหลี่ยม และแบบเป็นแท่งกลม ทั้ง 2 แบบ มีการทำงานในส่วนที่หมุนบด หมุนด้วยความเร็วรอบ 2,900 รอบ/นาที มอเตอร์ต้นกำลัง 3 แรงม้า โดยมีอัตราการบดสูง 80 กก./ชม.

ได้ต้นแบบเครื่องทอดสุญญากาศขนาดเล็ก ประกอบด้วย 1) ปั๊มสุญญากาศแบบ Mechanical Booster Pump 2) ถังทอดแบบปิดสนิทลักษณะทรงกระบอกตั้ง มีตะกร้าทอดทรงกระบอกวางแนวตั้งภายในและมีแกนหมุนปรับเร็วและช้าได้ มีการสลัดน้ำมันในถังทอด 3) ระบบให้ความร้อนกับน้ำมันทอด แบบผ่านตัวกลางเป็นน้ำมันถ่ายเทความร้อนโดยใช้แก๊สสูงต้มเป็นเชื้อเพลิง 4) ถังพักและสำรองน้ำมันทอด 5) ระบบปั๊มหมุนเวียนน้ำมันทอดออกจากถังทอด 6) ระบบชุดควบคุมแน่นไอเดื่อดของอากาศ สำหรับดักไอน้ำและน้ำมันของอากาศที่ออกมาจากถังทอดก่อนเข้าปั๊มสุญญากาศ ความสามารถในการทอดชิ้นเนื้อทุเรียนได้ 5 กก./ชม. สามารถทอดและสลัดน้ำมันได้ภายในถังทอดครั้งเดียวโดยไม่ต้องนำออกมาเพื่อสลัดน้ำมันโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 2 แรงม้า เป็นต้นกำลัง

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เครื่องต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถนำไปพัฒนาเพื่อนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ได้

คำขอบคุณ

1. ขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรบ้านปลายคลอง อ.เมือง จ.จันทบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และให้ความร่วมมือในการทดสอบเก็บข้อมูล
2. ขอขอบคุณบริษัทเจ้าบผลไม้แปรรูป จ.จันทบุรี ที่ให้สถานที่ทดสอบ
3. ขอขอบคุณร้านแม่วรรณของฝาก จ.จันทบุรี ที่ให้สถานที่ทดสอบ
4. ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลทุ่งนนทรี จ.ตราด ที่ให้เยี่ยมชมและดูงาน
5. ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ที่ให้เยี่ยมชมและดูงาน
6. ขอขอบคุณบริษัทนาทวี เทคโนโลยีจำกัด จ.ฉะเชิงเทรา ที่ให้เยี่ยมชมและดูงาน
7. ขอขอบคุณชุมชนมุสกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่จำกัด จ.กระบี่ ที่ให้เยี่ยมชมและดูงาน