

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุดปี 2562

1. แผนงานวิจัย : แผนบูรณาการวิจัยและพัฒนาพืชสวนสร้างรายได้เพื่อความมั่นคงและยั่งยืน
2. ชุดโครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับสตรอเบอร์รี่
3. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่
กิจกรรมวิจัยที่ 1 : วิจัยและพัฒนาเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่
กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -
ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : วิจัยและพัฒนาเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Research and Development of Strawberry Weight Grading Machine
4. คณะผู้ดำเนินงาน
หัวหน้าการทดลอง : นายชัยวัฒน์ เผ่าสันตพาดิษฐ์ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่
ผู้ร่วมงาน :
นายมานพ รักญาติ¹, นายสนอง อมฤกษ์¹, นายธีรศักดิ์ โกเมฆ¹, นายสุเมธ กาศสกุล¹,
นายมานพ คันธามารัตน์¹,
5. บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสตรอเบอร์รี่ด้วยเครื่องจักรกลทดแทนแรงงานคนโดยการวิจัยและพัฒนาเครื่องมือคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ ด้วยวิธีการใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักแบบสเตรนเกจโหลดเซล (Strain gage Load cell) มาใช้ร่วมกับบอร์ดควบคุมอัตโนมัติแบบอาดุยโนบอร์ด (Arduino board) ซึ่งมีสมองกลไฟฟ้าสั่งการควบคุมการทำงานของเครื่องมือในระบบให้ทำการคัดแยกน้ำหนักแบบอัตโนมัติ ได้เครื่องต้นแบบ มีสัดส่วนขนาด 1500 x 1080 x 870 มิลลิเมตร มีส่วนประกอบสำคัญคือ 1) ชุดกลไกป้อนผลแบบจานหมุน ใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์เกียร์ทด 1:60 ขนาด 0.25 แรงม้า ชนิด 3 เฟส, 220 โวลต์ และใช้อินเวอร์เตอร์ ชนิด 1 เฟส, 220 โวลต์ มาควบคุมมอเตอร์ให้ปรับรอบหมุนได้ 2) ชุดเซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนักผล เชื่อมต่อแผงวงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า ADC มีหน้าปัดแสดงผลแบบจอสัมผัส และใช้เซอร์โวมอเตอร์ ควบคุมการเปิด-ปิด ลึ้นปล่อยผล 3) ชุดจ่ายคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก ใช้เซอร์โวมอเตอร์ขับเคลื่อนตำแหน่ง ท่อจ่ายผล 4) ชุดตู้ควบคุมหลัก มีตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหลัก และตู้ประมวลผลบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ ผลทดสอบหาประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนักที่ระดับความเร็วรอบจานหมุน 3 ระดับ คือ 3.5, 4 และ 4.3 rpm พบว่า ที่ความเร็วรอบ 4 rpm

ให้ผลทดสอบดีที่สุด มีอัตราการป้อนผล 1,920 ผล/ชั่วโมง ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์
ราคาเครื่อง 60,000 บาท มีจุดคุ้มทุน 7 ปี

1 ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

Abstract

The objective of research is to increase efficiency of strawberry production by using machines instead of labor by research and development strawberry weight grading machine. Prototype with dimensions of 1,500 x 1,080 x 870 mm. The main part of the prototype 1) The rotating plate feed mechanism use a power source as a gear motor 1:60, 0.25 horsepower, 3 phase, 220 volts and 1 phase, 220 volts inverter to control the motor to adjust the rotation. 2) Weighing sensor connect the ADC power amplifier circuit with a touch screen display. Use a servo motor Control the on-off of the strawberries. 3) Sorting unit by size use servo motor to drive picking position. Test for efficiency in sorting by weight 3 speeds of the rotating 3.5, 4 and 4.3 rpm. The results showed that the best speed of 4 rpm, with a feed rate of 1,920 strawberries/hour. 100 percent average efficiency. Machine price 60,000 baht. 7 year break even point

6. คำนำ

การปลูกสตรอเบอร์รี่ ใน อ.แม่สาย จ.เชียงราย และพื้นที่ใน จ.เชียงใหม่ เช่น อ.แม่แจ่ม อ.สะเมิง นั้นมูลค่าต้นทุนของการผลิตต่อไร่ตกประมาณ 25,000-30,000 บาท และรายได้ตอบแทนต่อไร่ 62,500 บาท (คิดจากค่าเฉลี่ย 2,500 กก.ต่อไร่ และ 25 บาทต่อกิโลกรัม) ขณะที่เกษตรกรบนดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ใช้ต้นทุนการผลิตไร่ละ 30,000-35,000 บาท และมีรายได้ไร่ละ 72,500 บาท(ณรงค์ชัย ,2544) เนื่องจากสามารถขายเป็นผลรับประทานสดแก่นักท่องเที่ยว และเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานกว่าพื้นราบ ปกติแล้วผลผลิตจะออกประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนพฤษภาคมในพื้นที่ปลูกบนที่สูง และระหว่างเดือนธันวาคม ถึงเมษายนในพื้นที่ปลูกบนพื้นราบ ผลผลิตที่ออกก่อนในเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมจะมีคุณภาพดีและขนาดใหญ่ ทำให้จำหน่ายได้ในราคาสูงประมาณ 70-80 บาทต่อกิโลกรัมในท้องตลาดทั่วไป หลังจากนั้นขนาดผลจะเล็กลง และจำหน่ายได้ในราคา 20-30 บาทต่อกิโลกรัม ในช่วงเดือนมกราคมถึงกลางเดือนมีนาคม ปัจจุบันยังมีความต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศเพื่อใช้

ผลิตภัณฑ์ของสตรอเบอร์รี่ในเชิงอุตสาหกรรมเป็นปริมาณมากต่อปี และกำลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนประชากร ประเทศญี่ปุ่นเป็นแหล่งใหญ่ของไทยในการนำเข้าผลสตรอเบอร์รี่ เพื่อใช้ในการแปรรูปมากที่สุด (ที่ผ่านมาประมาณ 1,000-3,000 ตันต่อปี) นอกจากนี้ยังเคยมีการขนส่งผลรับประทานสดไปจำหน่ายยังประเทศฮ่องกง สิงคโปร์ และบางประเทศในแถบยุโรปบ้างเล็กน้อยโดยมูลนิธิโครงการหลวงอีกด้วย (ณรงค์ชัย, 2544)

ปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกสตรอเบอร์รี่ในจังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย ยังต้องมานั่งคัดขนาดผลที่แก่เกินไปและผลที่ไม่สมบูรณ์ออกทิ้ง โดยยังไม่มีเครื่องจักรกลมาช่วยในการทำงาน ทำให้เกษตรกรทำงานลำช้า บางส่วนต้องขายขนาดคละกันซึ่งจะไม่ได้ราคา ส่วนที่คัดออกมาได้ที่แก่เกินไปจะคัดทิ้ง (จากการสัมภาษณ์เกษตรกร มีประมาณ 5-20%) เนื่องจากผลสตรอเบอร์รี่ซั้่ง่าย การเก็บเกี่ยวต้องคำนึงถึงระยะทางในการขนส่งสู่ตลาด ถ้าระยะทางไกลต้องเก็บผลสุกหรือเห็นสีแดง 50% ซึ่งจะได้ผลแข็งสะตวกแก่การขนส่ง ถ้าระยะทางใกล้ควรเก็บผลสุกหรือสีแดง 75% เวลาที่เก็บควรเก็บตอนเช้า เมื่อเก็บแล้วไม่ควรให้ผลถูกแสงแดด ซึ่งจะทำให้ผลเน่าเร็วควรเก็บทุก 1-2 วัน

สตรอเบอร์รี่จัดเป็นผลไม้ที่มีศักยภาพในการผลิตเชิงพาณิชย์ ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวสตรอเบอร์รี่เพื่อจำหน่ายผลสด พบปัญหาการคั้ดน้ำหนั้กผลแบบเกษตรกรขาดประสิทธิภาพ ต้องใช้แรงงานคนจำนวนมากและสิ้นเปลืองเวลา โดยเกษตรกรจะคั้ดน้ำหนั้กผลด้วยมือกับสายตาในขณะที่เก็บเกี่ยวทำให้ไม่สะดวกและไม่มีมาตรฐานตรวจวัด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงต้องดำเนินการวิจัยและพัฒนาเครื่องคั้ดน้ำหนั้กผลสตรอเบอร์รี่ โดยการศึกษาพัฒนาเครื่องจักรกลทดแทนแรงงานคนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสตรอเบอร์รี่ ให้ได้ต้นแบบเครื่องคั้ดน้ำหนั้กผลสตรอเบอร์รี่ที่มีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทำงานได้รวดเร็วกว่าแรงงานคนในการคั้ดน้ำหนั้กผล ซึ่งจะทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการคั้ดแยกผลสตรอเบอร์รี่ตามขนาดเกรดผลโดยน้ำหนั้กตามที่ตลาดต้องการและได้ราคาดีที่สูงขึ้น ในการวิจัยและพัฒนาเครื่องมือคั้ดน้ำหนั้กผลสตรอเบอร์รี่ จะใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนั้กทำงานร่วมกับบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งมีสมองกลไฟฟ้าสั่งงานควบคุมการคั้ดแยกน้ำหนั้กแบบอัตโนมัติ การคั้ดแยกขนาดผลโดยน้ำหนั้กจะใช้วิธีแบ่งเกณฑ์น้ำหนั้กออกตามชั้นมาตรฐานเกรดของมูลนิธิโครงการหลวง

จากนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการให้นำเครื่องจักรกลเกษตรมาช่วยแก้ไขปัญหาให้กับเกษตรกรในการผลิตพืชของประเทศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต สร้างความเข้มแข็งจากภายในเชื่อมโยงเศรษฐกิจไทยสู่โลกตามนโยบายประเทศไทย 4.0 และเนื่องด้วยสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรของเกษตรกร มีหน้าที่ในการวิจัย ค้นคว้า และพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตรที่เหมาะสมกับการผลิตพืช ทั้ง

ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือทางวิชาการแก่ผู้ผลิตด้วย ปัจจุบันเครื่องจักรกลการเกษตรมีบทบาทสำคัญมากขึ้นและเป็นรากฐานที่สำคัญในการพัฒนาภาคเกษตรของไทย และจากการระดมความคิดเห็นเพื่อการพัฒนางานวิจัยด้านเครื่องจักรกลเครื่องจักรกลเกษตรให้ตรงกับความต้องการของเกษตรกรผู้ใช้งานในเขตพื้นที่ภาคเหนือ ได้มีข้อเรียกร้องจากเกษตรกรให้หาเครื่องมือคัดขนาดผลเพื่อจำหน่ายผลสดสตรอเบอร์รี่ เนื่องจากเกษตรกรไม่มีเครื่องคัดขนาดผลสตรอเบอร์รี่ ยังใช้แรงงานคนเพื่อคัดแยกด้วยสายตาหรือใช้วิธีชั่งน้ำหนัก ดังนั้นแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงต้องดำเนินการวิจัยและพัฒนาเครื่องมือคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสตรอเบอร์รี่ ให้ได้ต้นแบบเครื่องมือคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ที่มีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทำงานได้รวดเร็วกว่าแรงงานคนในการคัดน้ำหนักผล ซึ่งจะทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการคัดแยกผลสตรอเบอร์รี่ตามขนาดเกรดผลโดยน้ำหนักตามที่ตลาดต้องการและได้ราคาที่สูงขึ้น

7. วิธีดำเนินการ

วิธีการดำเนินงานมี ดังนี้คือ

กิจกรรมวิจัยที่ 1 วิจัยและพัฒนาเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่

การทดลองที่ 1.1 วิจัยและพัฒนาเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่

- วิธีการ มีดังนี้ คือ:

- 1) สํารวจเก็บข้อมูลพื้นฐานและศึกษาวิธีปฏิบัติของเกษตรกร
- 2) ศึกษาเครื่องคัดขนาดผลไม้ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน วิเคราะห์ข้อมูลและหาแนวทางพัฒนาเครื่อง
- 3) ศึกษาออกแบบระบบสั่งการทำงานอัตโนมัติของกลไกต้นแบบเครื่อง
- 4) ศึกษาออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่อง
- 5) ศึกษาปรับปรุงพัฒนาต้นแบบเครื่องให้มีประสิทธิภาพทำงานได้อัตโนมัติ
- 6) ทดสอบการใช้งานเครื่องต้นแบบหลังการแก้ไขปรับปรุงแล้ว โดยทดสอบเก็บข้อมูล ได้แก่ ความสามารถและประสิทธิภาพในการทำงาน ความแม่นยำ และความเที่ยงตรง ของเครื่องต้นแบบ เป็นต้น
- 7) วิเคราะห์และสรุปผล รายงานผลการวิจัย

- เวลาและสถานที่	:
ระยะเวลาดำเนินงาน	2 ปี เริ่มต้นปี 2561 สิ้นสุดปี 2562
สถานที่ทำการวิจัย	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 ผลสำรวจเก็บข้อมูลพื้นฐานและศึกษาวิถีปฏิบัติของเกษตรกร

สตอเบอรี่ (Strawberry) มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ เป็นพืชเขตหนาว อายุประมาณ 3 ปี ลำต้นมีลักษณะเป็นกอพุ่มเตี้ย ลักษณะของใบเป็นกลุ่มที่ประกอบด้วยใบย่อย 3 ใบ ขอบใบหยัก ก้านใบยาว ระบบรากเป็นพืชที่มีระบบรากตื้น การสร้างตาดอกจะเกิดจากเหง้าที่เจริญขึ้นมาใหม่ สตอเบอรี่ พันธุ์พระราชทาน 80 เป็นสายพันธุ์ที่มีการพัฒนามาจากสายพันธุ์ของประเทศญี่ปุ่น เพื่อให้เหมาะสมกับอากาศประเทศไทย ซึ่งมีความทนทานต่อโรคและแมลงเป็นอย่างมาก ผลเนื้อแน่นสีแดงสด น้ำหนักเฉลี่ยต่อผล 12-15 กรัม มีรสหวาน และมีกลิ่นหอมเป็นที่นิยมของตลาด แหล่งปลูก อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่

เกษตรกรจะเก็บเกี่ยวผลผลิต 2 ช่วงเวลา คือช่วงเช้าตั้งแต่เวลา 05:00-10:00 น. และช่วงเย็นตั้งแต่เวลา 15:00-20:00 น. การเก็บเกี่ยวผลผลิตจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ถ้าอากาศร้อนจะเลื่อนเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไป เพื่อไม่ให้ผลผลิตได้รับความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นผลผลิตจะช้ำเสียหายง่าย การเก็บเกี่ยวผลผลิต ควรเก็บผลผลิตเมื่อสีผิวผลเปลี่ยนประมาณ 70-75 เปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากสีผลที่เปลี่ยนเป็นสีชมพูอมแดง เมื่อผลผลิตถูกเก็บเกี่ยวออกมาจำหน่าย ถ้าจำหน่ายแบบไม่คัดขนาด ไม่คัดสี จะได้ราคาไม่สูงมาก และมีบางส่วนที่แก่เกินไป ทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน ดังนั้นการคัดขนาดโดยน้ำหนักก่อน แล้วตามด้วยการคัดแยกสีผล จะเป็นการเพิ่มมูลค่าและราคาของผลผลิต ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพและมาตรฐานดีขึ้น

ในกระบวนการคัดบรรจุผลผลิตสตอเบอรี่ เพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพและจำหน่ายได้ราคาสูง จำเป็นต้องมีการคัดบรรจุผลผลิตตามคุณภาพเกรด โดยมีการคัดแยกผลผลิตตามเกรด (มูลนิธิโครงการหลวง, 2556) ดังนี้คือ

- เกรดพรีเมียม: ใช้ขนาดผล (โดยน้ำหนัก) = 35 กรัม/ผล
- เกรดพิเศษ: ใช้ขนาดผล (โดยน้ำหนัก) = 25-34 กรัม/ผล
- เกรด 1: ใช้ขนาดผล (โดยน้ำหนัก) = 16-24 กรัม/ผล
- เกรด 2: ใช้ขนาดผล (โดยน้ำหนัก) = 13-15กรัม/ผล

- เกรด 3: ใช้ขนาดผล (โดยน้ำหนัก) = 10-12 กรัม/ผล

- เกรด 4: ใช้ขนาดผล (โดยน้ำหนัก) = 7-9 กรัม/ผล

จากการสำรวจตลาดรับซื้อและขายสตรอเบอร์รี่ผลสดใน ต.บ่อแก้ว อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ พบวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในการคัดแยกสีและขนาดผลสดของสตรอเบอร์รี่ ดังแสดงในภาพที่ 1 เกษตรกรมีการคัดแยกสีและขนาดผลของสตรอเบอร์รี่ด้วยแรงงานคนโดยการใช้มือและสายตา ในการคัดแยกขนาดผลจากใหญ่ไปเล็ก จะแบ่งออกเป็นเกรดได้ 7 เกรด และมีการคัดแยกผลสุกสีแดงสวยออกเป็นเกรดสุดท้าย ดังนี้คือ 1) เกรดพิเศษ 2) เกรดจัมโบ้ 3) เกรดใหญ่ 4) เกรดกลาง 5) เกรดเล็ก 6) เกรดจิ๋ว 7) เกรดจิ๋วสุด และ :



ภาพที่ 1 การใช้แรงงานคนโดยใช้มือและสายตาเพื่อคัดแยกสีและขนาดผลของสตรอเบอร์รี่

จากการศึกษาลักษณะกายภาพของผลสตรอเบอร์รี่สดพันธุ์พระราชทาน 80 และหาความสัมพันธ์ของขนาดรูปร่างผลที่มีผลต่อน้ำหนักผล โดยศึกษาขนาดและน้ำหนักผลของสตรอเบอร์รี่จากตลาดทั่วไปดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักผล มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับชั้นเกรด จากเกรดจิ๋วสุดถึงเกรดพิเศษ ตามลำดับ ขนาดของการกระจายค่าที่ออกจากค่าเฉลี่ย มีแนวโน้มค่ากระจายมากขึ้นตามระดับชั้นเกรด จากเกรดจิ๋วสุดถึงเกรดพิเศษ ตามลำดับ โดยค่าน้ำหนักผลที่สูงสุดในแต่ละเกรด คือ 6.50,

8.71, 10.38, 12.72, 15.96, 19.89, และ 37.49 กรัม ตามลำดับจากเกรดจิวส์ต ถึงเกรดพิเศษ ขนาดด้านกว้าง มีค่าเฉลี่ย แปรตามค่าที่เพิ่มขึ้นตามระดับชั้นของน้ำหนักผลค่าเฉลี่ย จากน้อยไปหามาก โดยค่าขนาดด้านกว้างที่สูงสุดในแต่ละเกรด คือ 23.49, 26.51, 28.80, 31.33, 34.27, 34.89, และ 44.34 มิลลิเมตร ตามลำดับจากเกรดจิวส์ต ถึงเกรดพิเศษ ซึ่งผลวิเคราะห์จากตารางที่ 1 นี้ จะนำไปใช้เป็นแนวทางพื้นฐานในการออกแบบสร้างชิ้นส่วนกลไกการคัตน้ำหนักรูปร่างของสตรอเบอร์รี่ต่อไป

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ค่าขนาดและค่าน้ำหนักผลที่วัดได้ จากระดับเกรดจิวส์ต ถึงเกรดพิเศษ

ลำดับ เกรด	น้ำหนักผล				ขนาด ด้านกว้าง			
	ค่าเฉลี่ย (g)	ค่า สูงสุด (g)	ค่า ต่ำสุด (g)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า สูงสุด (มม.)	ค่า ต่ำสุด (มม.)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน
พิเศษ	22.24	37.49	15.73	3.52	35.11	44.34	30.29	2.14
จัมโบ้	15.14	19.89	11.36	1.71	30.99	34.89	27.04	1.57
ใหญ่	12.55	15.96	9.38	1.36	29.19	34.27	24.16	1.68
กลาง	9.92	12.72	7.70	1.00	27.53	31.33	21.99	1.46
เล็ก	7.95	10.38	5.96	0.91	25.28	28.80	20.99	1.40
จิว	6.60	8.71	4.73	0.78	23.29	26.51	19.77	1.20
จิวส์ต	4.21	6.50	2.85	0.69	19.32	23.49	16.57	1.38

การคัตแยกขนาดผลสตรอเบอร์รี่ในตลาดมาตรฐาน มีเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดยมูลนิธิโครงการหลวง แบ่งเป็นเกรดโดยน้ำหนักผล ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานกำหนดของมูลนิธิโครงการหลวง แบ่งตามเกรดโดยน้ำหนักผล

ลำดับเกรด	น้ำหนักผล (กรัม)
พรีเมียม	35
พิเศษ	25 – 34
เกรด 1	16 – 24
เกรด 2	13 – 15
เกรด 3	10 – 12
เกรด 4	7 – 9
ตกเกรด	น้อยกว่า 7

การพิจารณารูปร่างผลแบบมาตรฐานที่ใช้ในการคัดแยกขนาดผล เกษตรกรจะคัดแยกเฉพาะขนาดผลตามเกรด และคัดแยกสีของผลสุกสีแดงสวยออกเท่านั้น ยังไม่มีการคัดแยกรูปร่างผลของสตรอเบอร์รี่ที่จะแบ่งเป็นผลรูปทรงสวย กับผลรูปทรงไม่สวย ซึ่งจะมีแนวทางที่จะนำเทคโนโลยีของการประมวลผลภาพ (image processing) มาพัฒนาต่อยอดใช้ในการคัดแยกรูปทรงผลได้

8.2 ผลศึกษาเครื่องคัดขนาดผลไม้ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ได้ศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบการทำงานของกลไกการวัดน้ำหนัก พบว่า หลักการคัตน้ำหนักผลที่นิยมใช้กันมี 2 แบบ คือ

1) หลักการถ่วงน้ำหนักของผลไม้ที่จะคัตน้ำหนัก

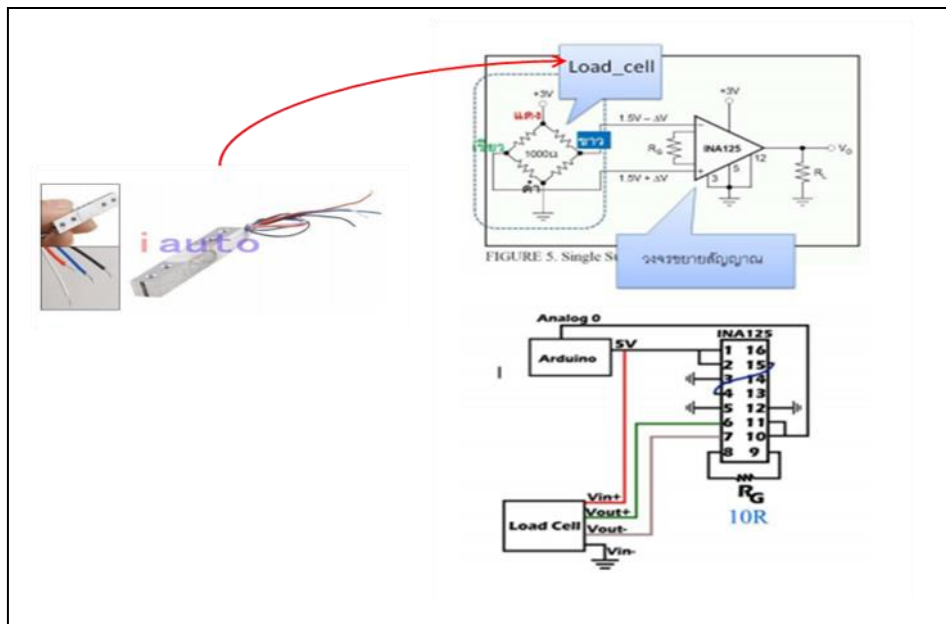
เครื่องคัตน้ำหนักแบบใช้หลักการถ่วงน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 2 มีกลไกการถ่วงน้ำหนักเหมือนตาชั่งแบบถ่วงตุลด้วยตุ้มน้ำหนักซึ่งตั้งเกณฑ์ไว้ ทำงานทางกลด้วยคานและลูกตุ้มน้ำหนัก ไม่เป็นสัญญาณไฟฟ้า และไม่สามารถส่งควบคุมเครื่องมืออื่นๆ ให้ทำงานระบบอัตโนมัติได้



ภาพที่ 2 การคัตน้ำหนักแบบใช้หลักการถ่วงน้ำหนัก

2) หลักการเซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก (load cell) และการประยุกต์ใช้ร่วมกับบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ

เครื่องคัตน้ำหนักแบบใช้หลักการเซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก มีอุปกรณ์เซ็นเซอร์ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ตรวจวัด ตรวจจับสัญญาณ หรือปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น อุณหภูมิ, แสง, แรงกดหรือแรงดึง ฯลฯ แล้วแปลงค่าเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าออกมา ซึ่งตัวเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักโดยใช้โหลดเซลนี้ จะส่งค่าที่เป็นสัญญาณไฟฟ้า ทำให้สะดวกรวดเร็วในการส่งควบคุมเครื่องมืออื่นๆ ให้ทำงานแบบอัตโนมัติได้โดยตรงเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 3 ดังนั้นจึงนำมาเป็นเกณฑ์พิจารณาแนวทางออกแบบการทำงานแบบอัตโนมัติของกลไกต้นแบบวิจัยต่อไป



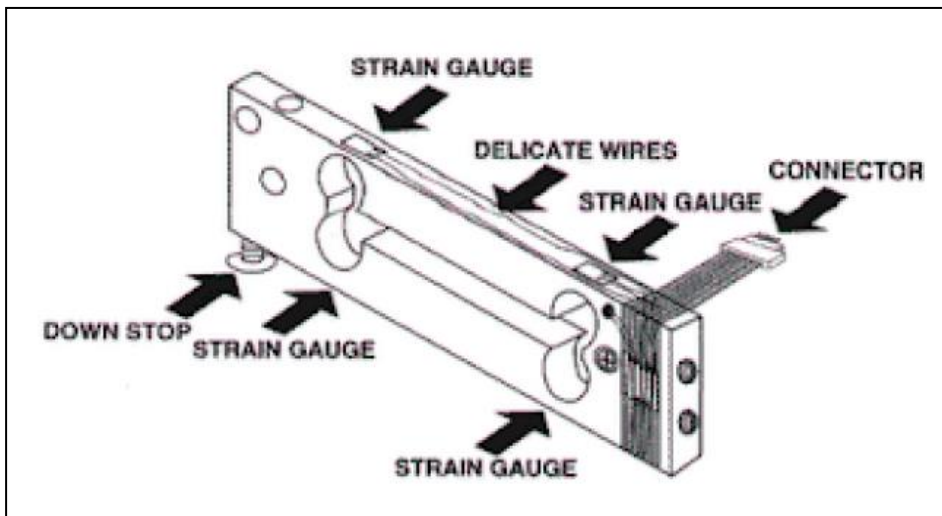
ภาพที่ 3 การคัตน้ำหนักแบบใช้หลักการเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักด้วยโหลดเซล (load cell)

8.3 ศึกษาออกแบบระบบสั่งการทำงานอัตโนมัติของกลไกต้นแบบเครื่อง

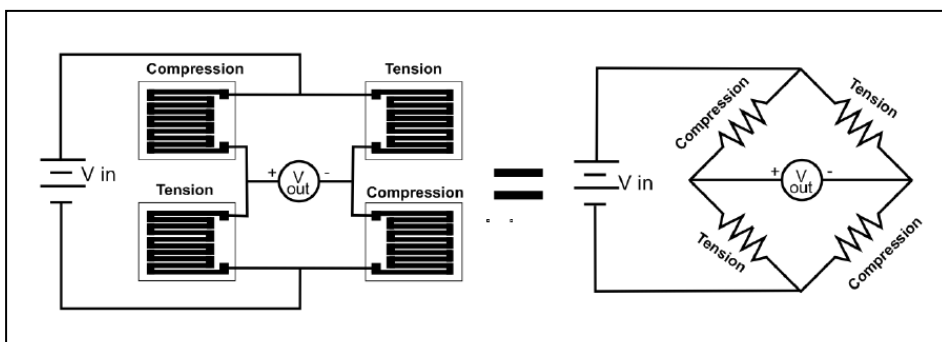
ออกแบบระบบสั่งการทำงานแบบอัตโนมัติของกลไกต้นแบบเครื่องคัตน้ำหนัก โดยใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก (Load cell) มาใช้ร่วมกับบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ (Arduino board) มีรายละเอียดดังนี้ คือ

- 1) โหลดเซลแบบสเตรนเกจ (Strain gauge load cell) เป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดน้ำหนัก สามารถแปลงค่าแรงกด หรือแรงดึง เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยใช้เกจตัวต้านทาน (strain gauge) จำนวน 4 ตัว ติดไว้บนโหลดเซล รูปทรงแบบ straight bar ดังแสดงในภาพที่ 4 แล้วถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันในลักษณะของวงจร Wheatstone Bridge Circuit ดังแสดงในภาพที่ 5 เมื่อมีแรงมากระทำกับตัวโหลดเซล จะทำให้สเตรนเกจ ที่ติดอยู่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลง

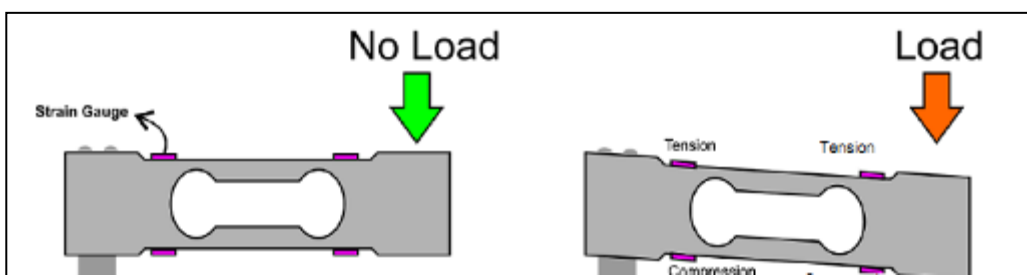
รูปทรง หดหรือยืด ตัว ทำให้ค่าความต้านทานที่ตัวสเตรนเกจเปลี่ยนไป ดังแสดงในภาพที่ 6 คือ ในจุดที่สเตรนเกจได้รับแรงกด (compression) จะทำให้สเตรนเกจ หดตัวเข้าหากัน และในจุดที่ได้รับแรงดึง (tension) จะทำให้สเตรนเกจ ถูกยืดออก จึงทำให้ค่าความต้านทานที่ตัวสเตรนเกจ เปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 4 แสดงโหนดเซลล์แบบสเตรนเกจ



ภาพที่ 5 แสดงสเตรนเกจ ทั้ง 4 ตัว ถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันในลักษณะของ วงจร Wheatstone Bridge Circuit

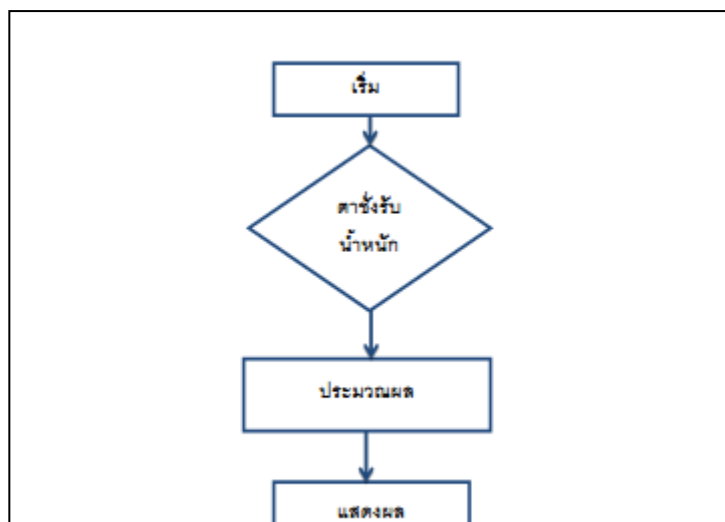


ภาพที่ 6 ในจุดที่ได้รับแรงกด (compression) จะทำให้สเตรนเกจหดตัวเข้าหากัน และในจุดที่ได้รับแรงดึง (tension) จะทำให้สเตรนเกจถูกยืดออก ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานของสเตรนเกจเปลี่ยนแปลงไป

2) บอร์ดควบคุมอัตโนมัติ (Arduino board) เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ที่ open-source platform (เปิดเผยแบบแปลนในการผลิต) ที่ง่ายต่อการใช้งาน ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้ ก) ส่วนที่เป็น Hardware คือ บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มี ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยบอร์ด Arduino ก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดตัวบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขาจับส่งสัญญาณ, แรงดันไฟฟ้าที่ใช้, ประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น สามารถเปรียบเทียบ และดูสเปคของบอร์ด Arduino แต่ละรุ่นได้ที่ <http://www.arduino.cc/en/Products/Compare> ข) ส่วนที่เป็น Software ได้แก่ ภาษา Arduino ซึ่งเป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม MCU, มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษา C/C++ และ Arduino IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Arduino, คอมไพล์โปรแกรม (Compile) และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด (Upload)

3) วางแผนขั้นตอนสั่งการควบคุมอัตโนมัติของบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ

เมื่อผลสตรอบอร์รี่ถูกส่งมาซึ่งน้ำหนัก ที่ส่วนของเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักโดยใช้โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ โหลดเซลล์จะส่งผลแสดงค่าน้ำหนักไปที่หน้าจอแสดงผล แล้วโปรแกรมในบอร์ด Arduino จะทำการประมวลผล แล้วสั่งการอัตโนมัติให้ชุดจ่ายคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก หมุนไปยังช่องที่กำหนด การทำงานจะทำวนอยู่ตลอด จนกว่าจะทำการหยุดเครื่อง



ภาพที่ 7 แผนผังขั้นตอนสั่งการควบคุมอัตโนมัติของบอร์ดควบคุม

8.4 ผลศึกษาออกแบบและสร้างต้นแบบ

ข้อพิจารณาแนวทางออกแบบพัฒนาสร้างเครื่องต้นแบบ มีดังนี้คือ

การออกแบบสร้างกลไกการคัตน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ จะประกอบด้วยโครงสร้างส่วนสำคัญ คือ

- 1) ชุดกลไกป้อนผลแบบจานหมุน ใช้มอเตอร์เกียร์ปรับรอบหมุนได้
- 2) ชุดเซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนักผล ใช้โหลดเซลล์ชั่งน้ำหนักผล
- 3) ชุดจ่ายคัตแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก ใช้สแตมป์มอเตอร์ ขับเคลื่อนได้ตำแหน่งเป็นองศาอย่างแม่นยำ
- 4) ชุดบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ ใช้สมองกลไฟฟ้าสั่งการควบคุมการทำงานของเครื่องมือในระบบให้ทำงานแบบอัตโนมัติได้

ส่วนประกอบและลักษณะเครื่องคัตน้ำหนักรผลสตรอเบอร์รี่ต้นแบบ มีรายละเอียดคือ

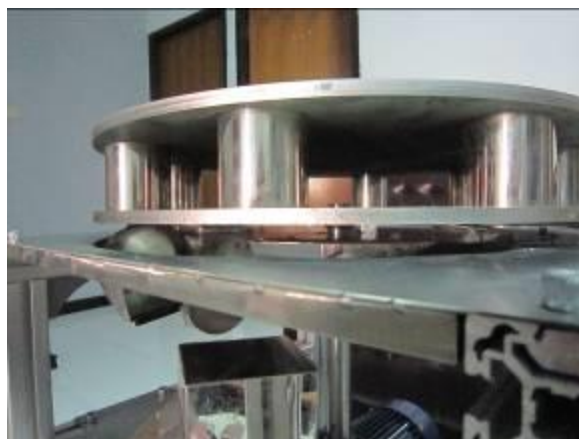
1) สัดส่วนขนาด กว้าง x ยาว x สูง = 500 x 800 x 870 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 รูปแบบการสร้างต้นแบบเครื่องคัดน้ำหนกผลสตรเบอร์รี่

2) ชุดกลไกป้อนผลแบบจานหมุน ดังแสดงในภาพที่ 9 ประกอบด้วย

จานหมุน เป็นวงล้อแนวอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 มม. ขอบสูง 68 มม. มีหลุมรูปกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. จำนวน 8 หลุม วางอยู่รอบแนวรัศมี ใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์เกียร์ทด 1: 60 ขนาด 0.25 แรงม้า ชนิด 3 เฟส, 220 โวลต์ และใช้อินเวอร์เตอร์ ชนิด 1 เฟส, 220 โวลต์ มาควบคุมมอเตอร์ให้ปรับรอบหมุนได้



ภาพที่ 9 กลไกป้อนผลแบบจานหมุน

3) ชุดเซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนักผล ดังแสดงในภาพที่ 10 ประกอบด้วย

แท่นกรวยชั่งน้ำหนักผล ขนาดปากกรวย 60 x 60 มม. ทางออกเป็นรางกว้าง 60 มม. พับขอบสูง 80 มม. วางเอียงเป็นมุม 45 องศา ยึดติดกับโพลตเซล ขนาดพิกัด 1 Kg , สัญญาณ rated output 1.0 ± 0.15 mv/V ใช้แผงวงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า ADC ยี่ห้อ AVIA รุ่น HX 711 และมีแผงหน้าปัดจอ LCD แสดงผลเป็นเลขดิจิตอล ใช้สแต็ปมอเตอร์ ควบคุมการเปิด-ปิด ลื่นปล่อยผลออกจากแท่นกรวย



ภาพที่ 10 เซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนักผล

4) ชุดจ่ายคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 11 ประกอบด้วย

ท่อจ่าย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76 มม. ยาว 320 มม. วางเอียงเป็นมุม 45 องศา ใช้เซอร์โวมอเตอร์ ขับเคลื่อนได้ตำแหน่งเป็นองศาอย่างแม่นยำและรวดเร็ว



ภาพที่ 11 ท่อจ่ายคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก

5) ชุดบอร์ดควบคุมระบบอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 12 ประกอบด้วย

บอร์ด Arduino รุ่น Uno-R3 เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นสมองกลไฟฟ้าสั่งการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ของเครื่องต้นแบบ โดยนำมาติดตั้งไว้ในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหลัก ทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณ ต่อกับแผงวงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า ADC ของโพลดเซลล์ ต่อกับแผงวงจร stepper motor driver board ของ

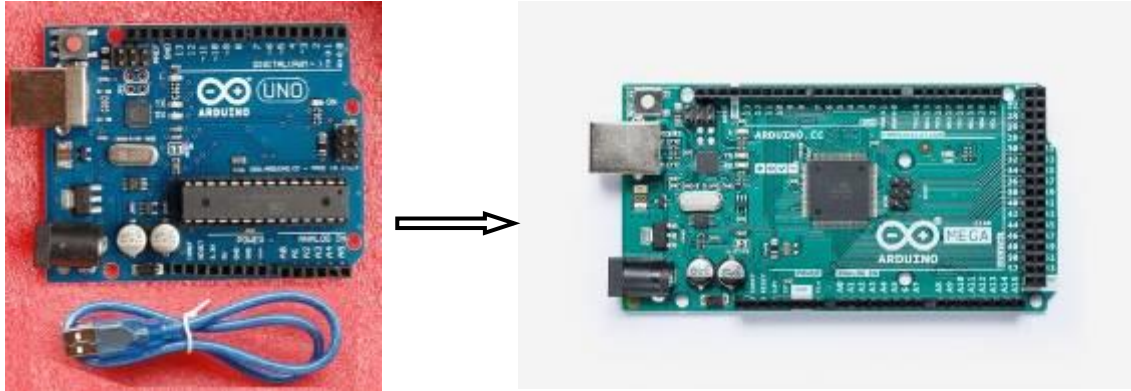


ภาพที่ 12 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหลักที่ติดตั้งบอร์ดควบคุมระบบอัตโนมัติ

8.5 ผลศึกษาปรับปรุงพัฒนาต้นแบบเครื่องให้มีประสิทธิภาพทำงานได้อัตโนมัติ

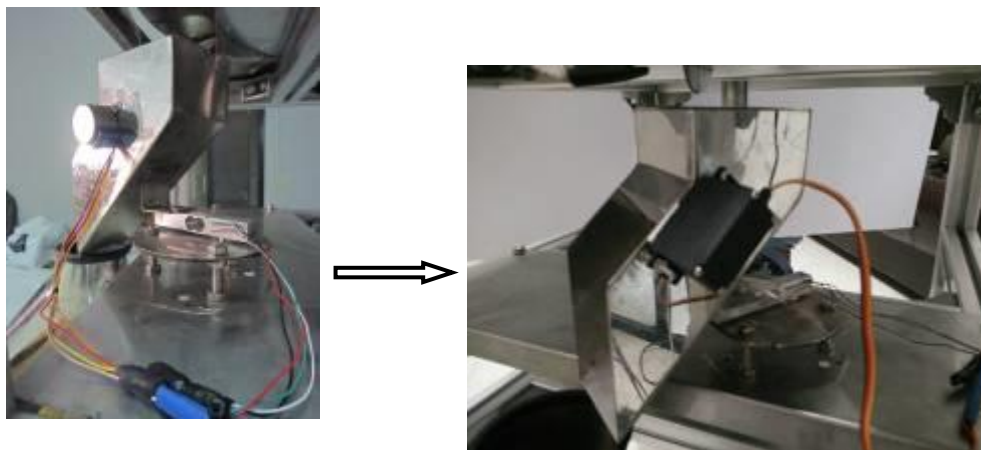
1) ได้ปรับปรุงระบบการทำงานอัตโนมัติของกลไกการคัดน้ำหนักรวมผลสตรอเบอร์รี่ ดังนี้ คือ

1.1) ปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ โดยเปลี่ยนบอร์ด Arduino จากเดิม รุ่น Uno-R3 มาเป็น รุ่น Mega 2560 ซึ่งมีหน่วยความจำสูงขึ้น ทำให้เก็บคำสั่งต่างๆ ได้จำนวนมากขึ้น และส่งประมวลผลได้รวดเร็วขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 13



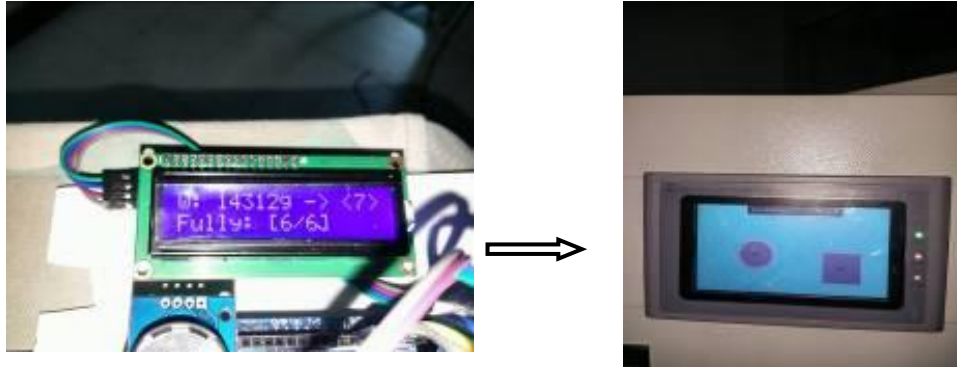
ภาพที่ 13 เพิ่มประสิทธิภาพบอร์ด Arduino
โดยเปลี่ยนบอร์ดจากเดิม รุ่น Uno-R3 มาเป็นรุ่น Mega 2560

1.2) ปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพชุดเซ็นเซอร์ซึ่งน้ำหนัก โดยเปลี่ยนมอเตอร์ควบคุมลิ้นการเปิด-ปิด การปล่อยผลออกจากแท่นกรวยซึ่งน้ำหนักลงสู่ท่อจ่ายคัดแยก จากเดิมใช้สตีปมอเตอร์ มาเป็น เซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งมีการขับเคลื่อนได้ตำแหน่งเป็นองศาอย่างแม่นยำและรวดเร็วกว่า ดังแสดงใน

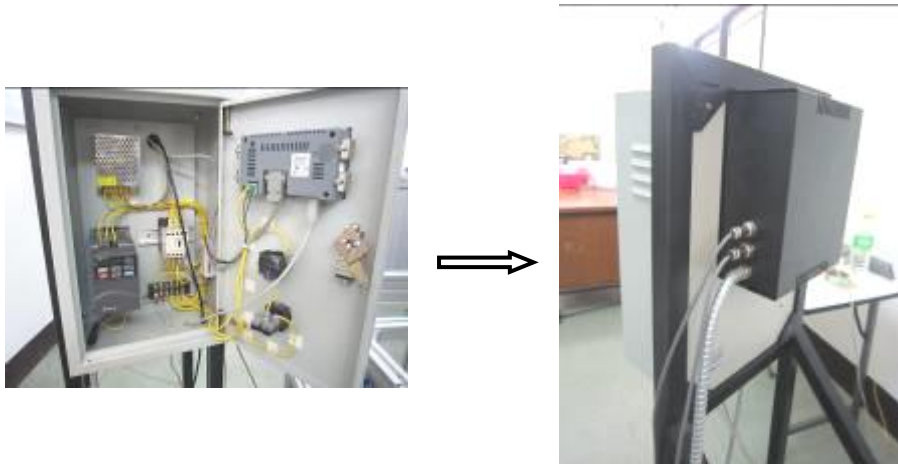


ภาพที่ 14 เพิ่มประสิทธิภาพควบคุมลิ้นเปิด-ปิด
โดยเปลี่ยนจากเดิม สตีปมอเตอร์ มาเป็น เซอร์โวมอเตอร์

1.3) ปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการแสดงผล โดยเปลี่ยนแผงหน้าปัดแสดงผล จากเดิมเป็น จอ LCD ธรรมดา แสดงผลได้เพียงค่าเดียว ไม่เกิน 16 ตัวอักษร จำนวน 2 บรรทัด มาเป็น จอแบบสัมผัส ซึ่งสามารถแสดงผล ได้จำนวนค่ามากกว่า และได้เกิน 16 ตัวอักษร ดังแสดงในภาพที่ 15



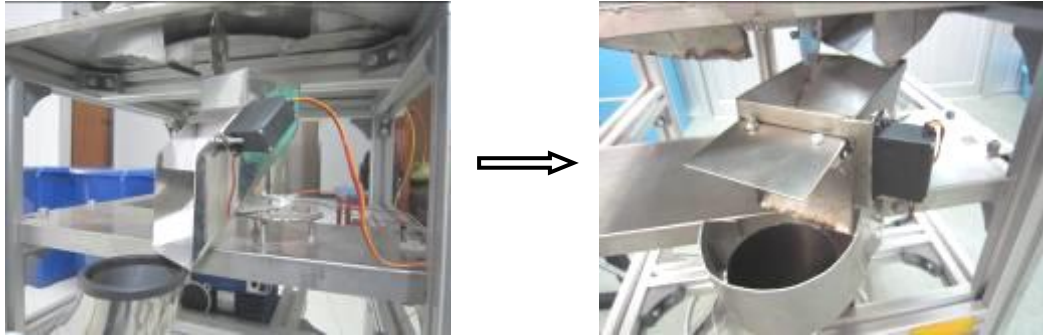
1.4) ปรับปรุงแก้ไขปัญหาสัญญาณไฟฟ้ารบกวนจากอินเวอร์เตอร์เข้าบอร์ด Arduino Mega ภาพที่ 15 เพิ่มประสิทธิภาพการแสดงผล โดยเปลี่ยนจากเดิม จอ LCD ธรรมดา มาเป็น แบบจอสัมผัส วงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า ADC ของโหนดเซลล์ ออกมาติดตั้งในตู้อีกใบต่างหาก ทำให้การส่งประมวลผลของบอร์ด Arduino ได้ประสิทธิภาพเร็วขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แก้ไขปัญหาสัญญาณไฟฟ้ารบกวน
โดยย้ายบอร์ด Arduino และแผงวงจรขยายไฟฟ้า ADC มาใส่ตู้อีกใบต่างหาก

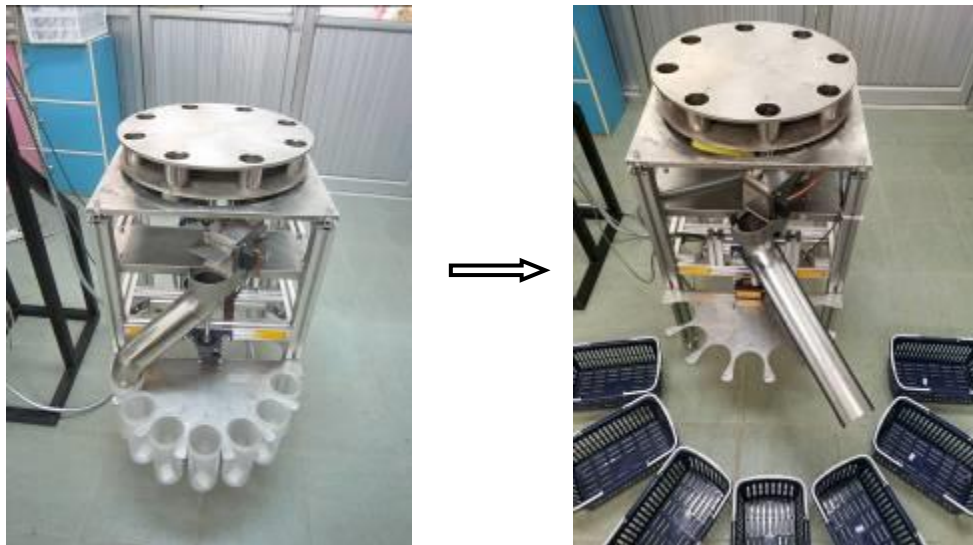
1.5) ปรับปรุงแก้ไขปัญหาการสั่นสะเทือนของชุดเซ็นเซอร์ซึ่งน้ำหนัก โดยแก้ไขเปลี่ยนแทนกรวยซึ่งน้ำหนักผล จากเดิมแบบปากกรวยขนาด 60 x 60 มม. ทางออกเป็นรางกว้าง 60 มม.พับขอบ

สูง 80 มม. เป็นแบบกรวยไม่มีรางที่ทางออก ปากกรวยทางเข้าขนาด 80 x 110 มม. ลึก 90 มม. ช่องปากทางออกกว้าง 80 มม. สูง 65 มม. โดยพื้นวางเอียงเป็นมุม 45 องศา เท่าเดิม ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แก้ไขปัญหาการสั่นสะเทือนของชุดเซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนัก โดยเปลี่ยนแทนกรวยชั่งน้ำหนักผล เป็นแบบกรวยไม่มีรางที่ทางออก

1.6) ปรับปรุงแก้ไขปัญหาการเบี่ยงมุมตำแหน่งของปลายท่อจ่าย ซึ่งจ่ายเคลื่อนจากกึ่งกลางช่องรับคัดแยกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76 มม. แบบชุดกระป๋อง 7 ใบ โดยแก้ไขเปลี่ยนแปลงท่อจ่าย จากเดิมแบบท่อกลมขนาด 76 มม. ยาว 320 มม. เป็นรางเปิดครึ่งวงกลมขนาด 76 มม. ยาว 430 มม. ให้จ่ายลงช่องรับคัดแยกขนาดที่มีพื้นที่กว้างขึ้นเป็น 160 มม. X 290 มม. แบบชุดตะกร้า 7 ใบ ดังแสดงในภาพที่ 18

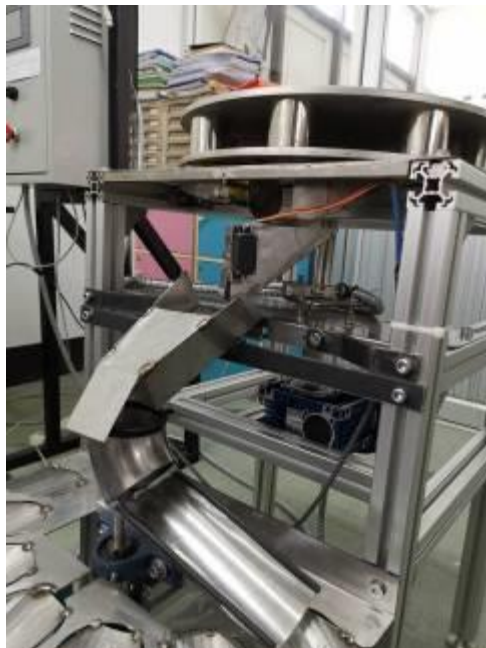


ภาพที่ 18 แก้ไขปัญหาการเบี่ยงมุมตำแหน่งของปลายท่อจ่าย โดยเปลี่ยนท่อจ่ายเป็นรางเปิด และเปลี่ยนช่องรับแนวชุดกระป๋อง 7 ใบ เป็นชุดตะกร้า 7 ใบ

1.7) ปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพห้องรับแบบชุดตะกร้า 7 ใบ โดยเพิ่มเติมติดตั้งรางจ่อตรงลงในแต่ละตะกร้า ดังแสดงในภาพที่ 19 และปรับปรุงแก้ไขที่ง่าย โดยเปลี่ยนเป็นรางสั้นลง พร้อมติดตั้งกรวยด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 19 ปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพห้องรับ
โดยเพิ่มเติมรางจ่อตรงลงในแต่ละตะกร้าทั้ง 7 ใบ

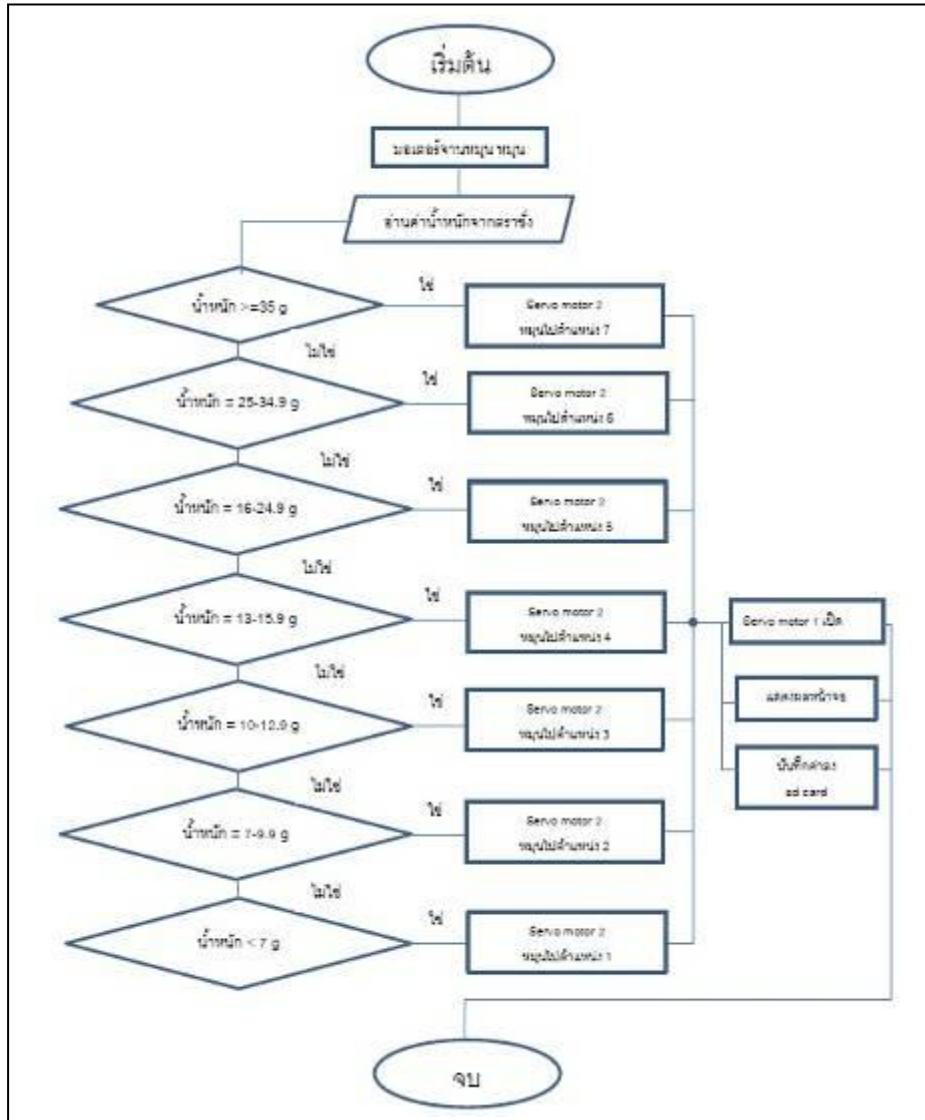


ภาพที่ 20 ปรับปรุงแก้ไขท่อจ่ายใหม่
โดยเปลี่ยนเป็นรางสั้นลง พร้อมเพิ่มเติมกรวยด้านบน

2) ได้ทดสอบการทำงานตามโปรแกรมคำสั่งการคัดแยกตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด ของบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ โดยมีขบวนการในการประมวลผลคำสั่ง ดังแสดงในภาพที่ 21 ตามขั้นตอนดังนี้ คือ

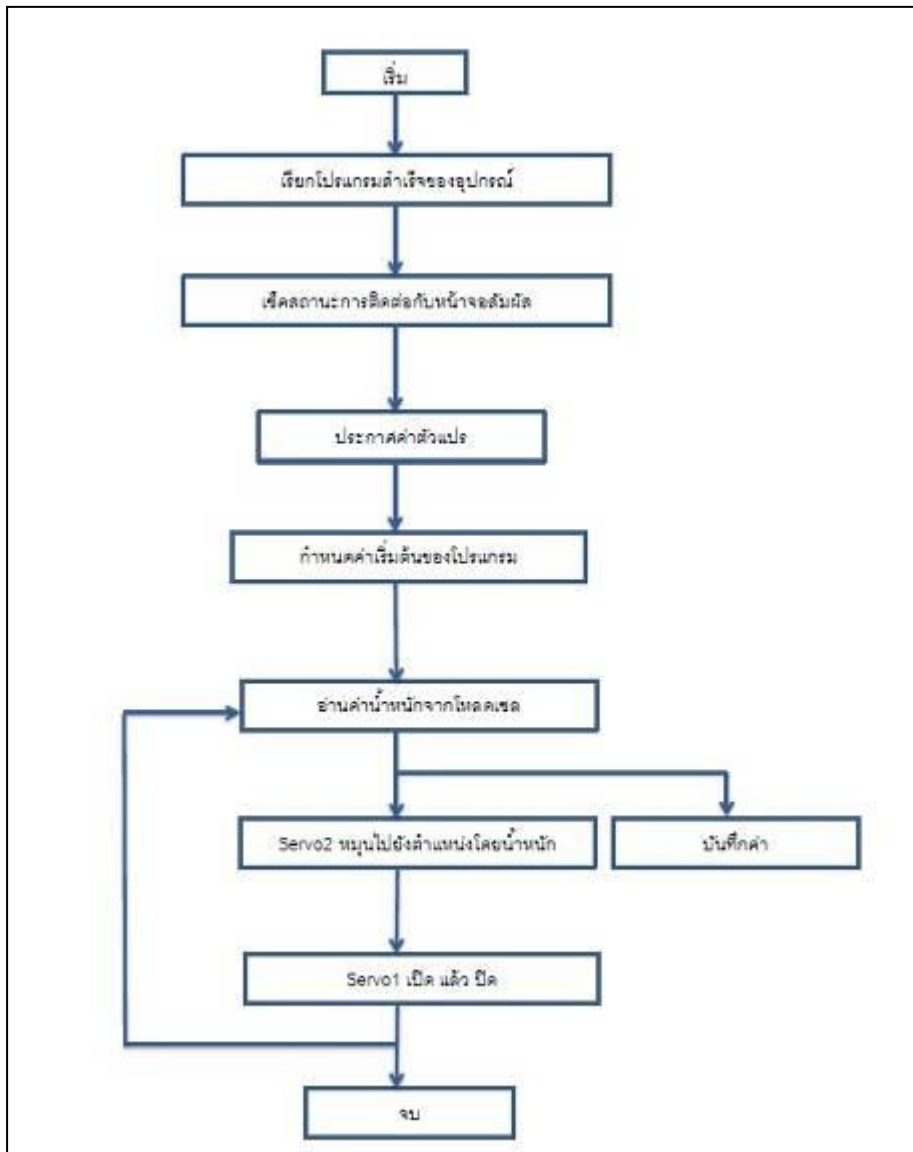
1. เมื่อผลสตรอบอร์รี่ถูกส่งมาซึ่งน้ำหนัก ที่ส่วนของเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักโดยใช้โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ โหลดเซลล์จะส่งสัญญาณผลค่าน้ำหนักเข้าสู่บอร์ด Arduino Mega 2560 และส่งสัญญาณผลค่าน้ำหนักดังกล่าว ไปแสดงที่หน้าจอแสดงผลแบบจอสัมผัส และเก็บบันทึกค่าลงใน SD card
2. หน่วยประมวลผลในบอร์ด Arduino Mega 2560 จะทำการประมวลผล ตามโปรแกรมคำสั่งการคัดแยกแบบตั้งเงื่อนไข ตรวจสอบตามเกณฑ์น้ำหนักที่กำหนดไว้ 7 เงื่อนไขตามลำดับ หากเงื่อนไขใดไม่ใช้ก็จะข้ามสู่เงื่อนไขต่อไปตามลำดับ โดยการทำงานจะทำวนอยู่ตลอด จนกว่าจะทำการหยุดเครื่อง ดังนี้คือ
 - 2.1 ถ้าค่าน้ำหนัก มากกว่า หรือ = 35 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 7 และสั่ง servo motor 1 เปิดลั่นกั้นปล่อยผลสตรอบอร์รี่ออกจากแท่นชั่ง
 - 2.2 ถ้าค่าน้ำหนัก = 25 ถึง 34.9 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 6 และสั่ง servo motor 1 เปิดลั่นกั้นปล่อยผลสตรอบอร์รี่ออกจากแท่นชั่ง
 - 2.3 ถ้าค่าน้ำหนัก = 16 ถึง 24.9 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 5 และสั่ง servo motor 1 เปิดลั่นกั้นปล่อยผลสตรอบอร์รี่ออกจากแท่นชั่ง
 - 2.4 ถ้าค่าน้ำหนัก = 13 ถึง 15.9 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 4 และสั่ง servo motor 1 เปิดลั่นกั้นปล่อยผลสตรอบอร์รี่ออกจากแท่นชั่ง
 - 2.5 ถ้าค่าน้ำหนัก = 10 ถึง 12.9 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 3 และสั่ง servo motor 1 เปิดลั่นกั้นปล่อยผลสตรอบอร์รี่ออกจากแท่นชั่ง
 - 2.6 ถ้าค่าน้ำหนัก = 7 ถึง 9.9 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 2 และสั่ง servo motor 1 เปิดลั่นกั้นปล่อยผลสตรอบอร์รี่ออกจากแท่นชั่ง

2.7 ถ้าค่าน้ำหนัก น้อยกว่า 7 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 1 และสั่ง servo motor 1 เปิดลิ้นกั้นปล่อยผลสตรอเบอร์รี่ออกจากแท่นซึ่ง



ภาพที่ 21 แผนผังขบวนการในการประมวลผลคำสั่งการคัดแยกตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด

2.1) แผนผังวงจรโปรแกรมการทำงานของเครื่องต้นแบบ ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 แผนผังวงจรโปรแกรมการทำงานของเครื่องต้นแบบ

2.2) รายละเอียดโปรแกรมการทำงาน

ใช้ภาษา arduino สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU)แสดงได้ดังนี้ คือ

2.2.1) เรียกโปรแกรมสำเร็จของอุปกรณ์มาใช้ และเช็คสถานะการติดต่อกับหน้าจอสัมผัส

เรียกโปรแกรมสำเร็จมาใช้

```
#include <ModbusRtu.h>

#include <Servo.h>

#include "HX711.h"
```

2.2.2) การประกาศค่าตัวแปร

การประกาศค่าตัวแปร

```
float calibration_factor = 395501.00;
#define zero_factor 863911
#define DOUT A0
#define CLK A1
#define DEC_POINT 0
#define servo1_on 90
#define servo1_off 0
Servo servo1;
Servo servo2;
HX711 scale(DOUT, CLK);
int16_t berry_count_array[7] = {0,0,0,0,0,0,0};
int16_t berry_pos = 0;
float offset=0;
float get_units_kg();
float berry_w;
int motor_run=0;
float Tare =0;
int currentWeight;
int clear_slot =0;
int state = 0;
int old_state =0;
int old_modbus_w = 0;
long count = 0;
int val =0;
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 500;
unsigned long currentMillis = 0;

#define servo2_slot1 15 w < 7
#define servo2_slot2 40 w >= 7
#define servo2_slot3 65 w >= 10
#define servo2_slot4 90 w >= 13
#define servo2_slot5 115 w >= 16
#define servo2_slot6 140 w >= 25
#define servo2_slot7 165 w >= 35
#define modbus_w modbus_array[2]
#define modbus_state_reset modbus_array[23]
#define modbus_state modbus_array[1]
#define door_close servo1.write(servo1_off)
#define door_open servo1.write(servo1_on)
#define servo_pos1 servo2.write(servo2_slot1)
#define servo_pos2 servo2.write(servo2_slot2)
#define servo_pos3 servo2.write(servo2_slot3)
#define servo_pos4 servo2.write(servo2_slot4)
#define servo_pos5 servo2.write(servo2_slot5)
#define servo_pos6 servo2.write(servo2_slot6)
#define servo_pos7 servo2.write(servo2_slot7)
```

2.2.3) กำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม

กำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  modbus_port = Modbus(1, 2, 0);
  modbus_port.begin(19200);
  servo1.attach(8);
  servo2.attach(9);
  state=0;
  modbus_w=0;
  servo_pos1;
  pinMode(7, OUTPUT);
  modbus_array[0]=0; // state
  modbus_array[1]=0; // servo2 position (dop berry to bin)
  modbus_array[2]=0; //berry_weight (loadcell)
  modbus_array[3]=0; //numbe of slot
  modbus_array[4]=0; // current berry number for bin 1
  modbus_array[5]=0; // current berry number for bin 2
  modbus_array[6]=0; //current berry number for bin 3
  modbus_array[7]=0; //current berry number for bin4
  modbus_array[8]=0; //current berry number for bin 5
  modbus_array[9]=0; //current berry number for bin 6
  modbus_array[10]=0; //current berry number for bin 7
  modbus_array[11]=0; //switch ON_OFF
  modbus_array[12]=0; //
  modbus_array[13]=0; //
  modbus_array[14]=0; //
  modbus_array[15]=0; //
  modbus_array[16]=0; //
  modbus_array[17]=0; //
  modbus_array[18]=0; //max berry number for bin 1
  modbus_array[19]=0; //max berry number for bin 2
  modbus_array[20]=0; //max berry number for bin 3
  modbus_array[21]=0; //max berry number for bin 4
  modbus_array[22]=0; //max berry number for bin 5
  modbus_array[23]=0; //max berry number for bin 6
  modbus_array[24]=0; //max berry number for bin 7
  modbus_array[25]=0; //record_flag
  modbus_array[26]=0; // record weight
  modbus_array[27]=0; // record slot
  modbus_array[28]=0; // record slot
  modbus_array[29]=0; // record slot
  modbus_array[30]=0; // record slot
  modbus_array[31]=0; // record slot
  modbus_array[32]=0; // record slot
  modbus_array[33]=0; // record slot
  modbus_array[34]=0; // record slot
  modbus_array[35]=0; // record slot
  modbus_array[36]=0; // record slot
  modbus_array[37]=0; // record slot
  modbus_array[38]=0; // record slot
  modbus_array[39]=0; // record slot
  modbus_array[40]=0; // record slot
  modbus_array[41]=0; // record slot
  modbus_array[42]=0; // record slot
  modbus_array[43]=0; // record slot
  modbus_array[44]=0; // record slot
  modbus_array[45]=0; // record slot
  modbus_array[46]=0; // record slot
  modbus_array[47]=0; // record slot
  modbus_array[48]=0; // record slot
  modbus_array[49]=0; // record slot
  modbus_array[50]=0; // record slot
  modbus_array[51]=0; // record slot
  modbus_array[52]=0; // record slot
  modbus_array[53]=0; // record slot
  modbus_array[54]=0; // record slot
  modbus_array[55]=0; // record slot
  modbus_array[56]=0; // record slot
  modbus_array[57]=0; // record slot
  modbus_array[58]=0; // record slot
  modbus_array[59]=0; // record slot
  modbus_array[60]=0; // record slot
  modbus_array[61]=0; // record slot
  modbus_array[62]=0; // record slot
  modbus_array[63]=0; // record slot
  modbus_array[64]=0; // record slot
  modbus_array[65]=0; // record slot
  modbus_array[66]=0; // record slot
  modbus_array[67]=0; // record slot
  modbus_array[68]=0; // record slot
  modbus_array[69]=0; // record slot
  modbus_array[70]=0; // record slot
  modbus_array[71]=0; // record slot
  modbus_array[72]=0; // record slot
  modbus_array[73]=0; // record slot
  modbus_array[74]=0; // record slot
  modbus_array[75]=0; // record slot
  modbus_array[76]=0; // record slot
  modbus_array[77]=0; // record slot
  modbus_array[78]=0; // record slot
  modbus_array[79]=0; // record slot
  modbus_array[80]=0; // record slot
  modbus_array[81]=0; // record slot
  modbus_array[82]=0; // record slot
  modbus_array[83]=0; // record slot
  modbus_array[84]=0; // record slot
  modbus_array[85]=0; // record slot
  modbus_array[86]=0; // record slot
  modbus_array[87]=0; // record slot
  modbus_array[88]=0; // record slot
  modbus_array[89]=0; // record slot
  modbus_array[90]=0; // record slot
  modbus_array[91]=0; // record slot
  modbus_array[92]=0; // record slot
  modbus_array[93]=0; // record slot
  modbus_array[94]=0; // record slot
  modbus_array[95]=0; // record slot
  modbus_array[96]=0; // record slot
  modbus_array[97]=0; // record slot
  modbus_array[98]=0; // record slot
  modbus_array[99]=0; // record slot
}

```


2.2.4) การทำงานของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรม

```

1   void loop() {
2   scale.set_scale(calibration_factor);
3   scale.set_offset(zero_factor);
4   currentMillis = millis();
5   modbus_port.poll(modbus_array, sizeof(modbus_array)/sizeof(modbus_array[0]));
6   String data = String((get_units_kg()+offset)*1000.0*, DEC_POINT);
7   delay (200);
8   berry_w = (((get_units_kg()+offset)*1000.0);
9   modbus_array[4] = berry_count_array[0];
10  modbus_array[5] = berry_count_array[1];
11  modbus_array[6] = berry_count_array[2];
12  modbus_array[7] = berry_count_array[3];
13  modbus_array[8] = berry_count_array[4];
14  modbus_array[9] = berry_count_array[5];
15  modbus_array[10] = berry_count_array[6];
16  alarm();
17  clear_slot();
18  if (modbus_array[26]==11 && state == 0){
19  Tare = berry_w;
20  modbus_array[26]=0;
21  }
22  currentWeight = (berry_w - Tare);
23  modbus_w = currentWeight;
24  modbus_state=state;

25  if (modbus_array[11]==77){
26  modbus_array[11]=0;
27  digitalWrite(7, HIGH);
28  motor_run=1;
29  }
30  if (modbus_array[11]==99){

```

```
53     if(state==4)
54     { if(state!=old_state){ ++berry_count_array[berry_pos]; old_state=state;}
55       state=5;
56     }
57     if(state==5){if(state!=old_state) { old_state=state;}
58       {state=0;}
59     }
60   }
```

โปรแกรมย่อย

```
61     float get_units_kg()
62     {
63       return(scale.get_units()*0.453592);
64     }
65     void delay_nextstate(long interval2)
66     {
67       if(state!=old_state){ currentMillis = millis(); old_state=state;}
68       if (currentMillis - previousMillis >= interval2) {
69         previousMillis = currentMillis;
70         state=state+1;
71       }
72     }
73     void delay_nextstate1()
74     {
75       if(state!=old_state){ currentMillis = millis(); old_state=state;}
```

```
111 void clear_slot() { if (modbus_array[29]==444){
112     if( berry_count_array[0]== modbus_array[18]){berry_count_array[0]=0;}
113     if( berry_count_array[1]== modbus_array[19]){berry_count_array[1]=0;}
114     if( berry_count_array[2]== modbus_array[20]){berry_count_array[2]=0;}
115     if( berry_count_array[3]== modbus_array[21]){berry_count_array[3]=0;}
116     if( berry_count_array[4]== modbus_array[22]){berry_count_array[4]=0;}
117     if( berry_count_array[5]== modbus_array[23]){berry_count_array[5]=0;}
118     if( berry_count_array[6]== modbus_array[24]){berry_count_array[6]=0;}
119     modbus_array[29]=0;
120     modbus_array[28]=0; } }
```

- บรรทัดที่ 1-8: ขั้นตอนการชั่งน้ำหนัก ให้โหนดเซลรับน้ำหนักก่อนแล้วรอ 200 ms จึงนำค่าน้ำหนักที่ชั่งได้ไปแสดง มีหน่วยวัดเป็นกรัม
- บรรทัดที่ 9-17: ขั้นตอนการนับจำนวนผลของแต่ละ slot เมื่อค่านับจำนวนได้เต็มเท่ากับจำนวนที่เราตั้งค่าไว้ก็จะส่งเสียงเตือนขึ้น แล้วก็ clear slot คือ ช่อง slot ที่เต็มจำนวน จะแสดงค่าเป็นศูนย์ ส่วนช่อง slot อื่นที่ยังไม่เต็มจำนวน ก็แสดงค่านับจำนวนค่าเดิม
- บรรทัดที่ 18-24 : ขั้นตอนการปรับตั้งค่าน้ำหนักชั่ง ให้เป็นค่าศูนย์ ก่อนเริ่มทำการชั่ง
- บรรทัดที่ 25-29 : ขั้นตอนการเดินเครื่อง เมื่อกดปุ่มฟังก์ชัน ON เครื่องก็เริ่มทำงาน
- บรรทัดที่ 30-35 : ขั้นตอนการหยุดเครื่อง เมื่อกดปุ่มฟังก์ชัน OFF เครื่องก็หยุดทำงาน
- บรรทัดที่ 36-60 : ขั้นตอนการตรวจสอบตามเงื่อนไขว่า state 0) เครื่องได้เปิดทำงานยัง state 1) servo motor 2 ของท่อจ่าย ได้หมุนไปยังตำแหน่งนั้นตามเกณฑ์น้ำหนักแล้วยัง state 2) servo motor 1 เปิดประตูลิ้นกั้นผลยัง state 3) servo motor 1 ปิดประตูลิ้นกั้นผลยัง state 4) ได้นับจำนวนผลของแต่ละ slot ยัง state 5) ให้ทำงานวนกลับไปเริ่มใหม่ที่ state 0
- บรรทัดที่ 61-64 : เป็นโปรแกรมย่อย การ calibration โหนดเซล
- บรรทัดที่ 65-85 : เป็นโปรแกรมย่อย การหน่วงเวลาแบบ interval
- บรรทัดที่ 86-87 : เป็นโปรแกรมย่อย การตรวจสอบเงื่อนไขการเปิด-ปิด ประตูลิ้นกั้นผล
- บรรทัดที่ 88-104 : เป็นโปรแกรมย่อย การตรวจสอบตามเกณฑ์น้ำหนักที่กำหนดไว้ 7 เงื่อนไขตามลำดับ ให้ servo motor 2 ของท่อจ่ายหมุนไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ 7 ตำแหน่งตามลำดับ
- บรรทัดที่ 105-110 : เป็นโปรแกรมย่อย การตรวจสอบเงื่อนไขการส่งเสียงเตือน เมื่อค่านับจำนวนได้เต็มเท่ากับจำนวนที่เราตั้งค่าไว้
- บรรทัดที่ 111-120 : เป็นโปรแกรมย่อย การปรับตั้งค่านับจำนวนผลของ slot ที่ได้เต็มจำนวนแล้ว ให้กลับเป็นค่าศูนย์

2.3) ผลทดสอบโปรแกรมการคัดแยกน้ำหนักจัดลง 7 Slot ตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด มีรายละเอียด
 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลทดสอบโปรแกรมการคัดแยกน้ำหนักจัดลง 7 Slot ตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด

Time	Weight(g)	Select Slot	Slot 1(Qty)	Slot 2(Qty)	Slot 3(Qty)	Slot 4(Qty)	Slot 5(Qty)	Slot 6(Qty)	Slot 7(Qty)
23:13:00	4.0	1	1	0	0	0	0	0	0
23:21:05	5.0	1	2	0	0	0	0	0	0
23:21:07	6.9	1	3	0	0	0	0	0	0
23:21:08	7.0	2	0	1	0	0	0	0	0
23:21:10	8.0	2	0	2	0	0	0	0	0
23:21:12	9.9	2	0	3	0	0	0	0	0
23:21:14	10.0	3	0	0	1	0	0	0	0
23:21:05	11.0	3	0	0	2	0	0	0	0
23:21:07	12.9	3	0	0	3	0	0	0	0
23:21:09	13.0	4	0	0	0	1	0	0	0
23:21:11	14.0	4	0	0	0	2	0	0	0
23:21:13	15.9	4	0	0	0	3	0	0	0
23:21:15	16.0	5	0	0	0	0	1	0	0
23:21:05	18.0	5	0	0	0	0	2	0	0
23:21:07	20.0	5	0	0	0	0	3	0	0
23:21:08	22.0	5	0	0	0	0	4	0	0
23:21:10	24.9	5	0	0	0	0	5	0	0
23:21:12	25.0	6	0	0	0	0	0	1	0
23:21:14	27.0	6	0	0	0	0	0	2	0
23:21:05	29.0	6	0	0	0	0	0	3	0
23:21:07	31.0	6	0	0	0	0	0	4	0
23:21:08	34.9	6	0	0	0	0	0	5	0
23:21:10	35.0	7	0	0	0	0	0	0	1
23:21:12	36.0	7	0	0	0	0	0	0	2
23:21:14	37.0	7	0	0	0	0	0	0	3
23:21:05	38.0	7	0	0	0	0	0	0	4

หมายเหตุ: slot 1 = น้ำหนักน้อยกว่า 7 g

slot 2 = น้ำหนัก 7 ถึง 9.9 g

slot 3 = น้ำหนัก 10 ถึง 12.9 g

slot 4 = น้ำหนัก 13 ถึง 15.9 g

slot 5 = น้ำหนัก 16 ถึง 24.9 g

slot 6 = น้ำหนัก 25 ถึง 34.9 g

slot 7 = น้ำหนัก 35 g ขึ้นไป

3) ได้ทดสอบการทำงานการคัดแยกตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด โดยการใช้งานผ่านแผงหน้าจอบแบบจอสัมผัส มีเมนูฟังก์ชันการใช้งานที่หน้าจอ ดังนี้ คือ

3.1) เมนูหน้าจอหลัก ดังแสดงในภาพที่ 23 มีรายละเอียดที่หน้าจอ ดังนี้ คือ

3.1.1) ON เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อเดินเครื่อง

3.1.2) OFF เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อหยุดเครื่อง

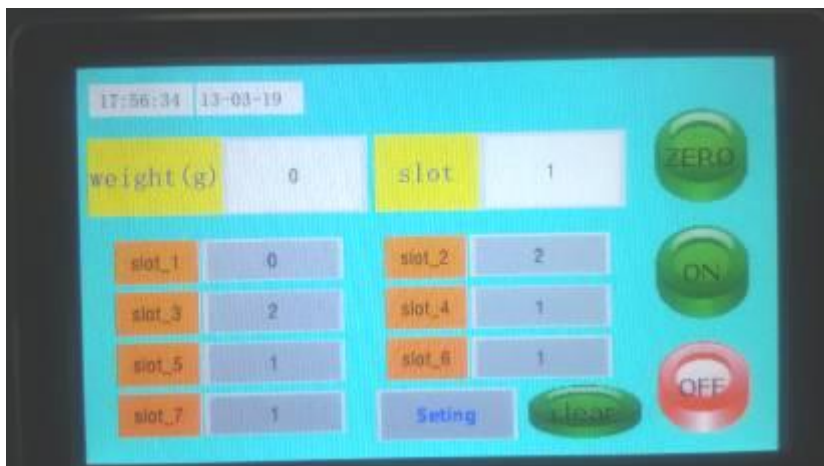
3.1.3) ZERO เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อปรับค่าน้ำหนักเริ่มต้นของแท่นกรวยชั่งน้ำหนักให้ = 0

3.1.4) แถบแสดงเวลา และ แถบแสดงวัน-เดือน-ปี

3.1.5) weight เป็นแสดงน้ำหนักหน่วยกรัม และ เลขช่อง slot เป็นแสดงผลการคัดแยกน้ำหนัก จัดลง 7 Slot ตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด

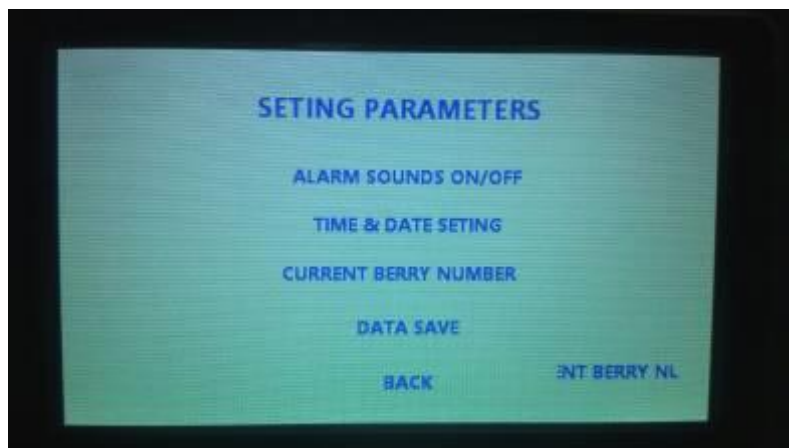
3.1.6) slot 1 ถึง 7 เป็นแสดงจำนวนผล ที่นับได้ในแต่ละ slot

3.1.7) setting เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อเข้าไปตั้งค่าพารามิเตอร์อื่นๆ



ภาพที่ 23 แสดงเมนูหน้าจอหลักของจอสัมผัส

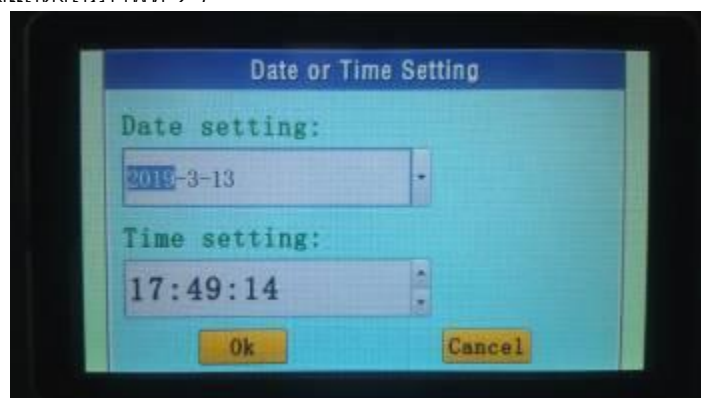
3.2) เมนู SETTING PARAMETERS ดังแสดงในภาพที่ 24 มีรายละเอียดที่หน้าจอ ดังนี้ คือ



ภาพที่ 24 แสดงเมนู SETTING PARAMETERS

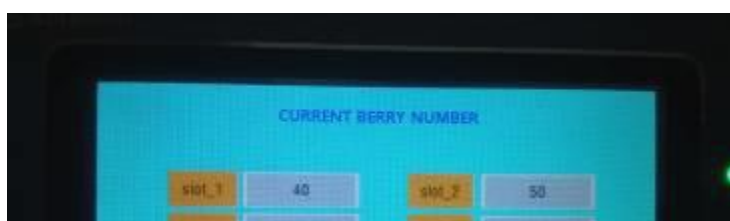
3.2.1) ALARM SOUNDS ON/OFF เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อ เปิด-ปิด เสียงเตือน

3.2.2) TIME & DATE SETING เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อเข้าไปปรับเปลี่ยนตั้งค่าเวลา และ วัน-เดือน-ปี ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 แสดงฟังก์ชันในเมนู Date or Time Setting

3.2.3) CURRENT BERRY NUMBER เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อเข้าไปปรับเปลี่ยนตั้งค่า จำนวนผลสูงสุดที่ต้องการให้แจ้งเตือน ในแต่ละ slot ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 แสดงฟังก์ชันในเมนู CURRENT BERRY NUMBER

3.2.4) DATA SAVE เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อเข้าไปเลือกทำการ Save to USB, Delete, หรือ Home เพื่อกลับสู่เมนูหลัก ดังแสดงในภาพที่ 27

	Time	Date	weight (g)	slot
1	17:41	13/03/19	6	1
2	17:42	13/03/19	7	2
3	17:42	13/03/19	10	3
4	17:42	13/03/19	13	4
5	17:42	13/03/19	16	5
6	17:42	13/03/19	25	6
7	17:42	13/03/19	35	7

save to usb Delete HOME

ภาพที่ 27 แสดงฟังก์ชันในเมนู DATA SAVE

8.6 ผลทดสอบการใช้งานเครื่องต้นแบบหลังการแก้ไขปรับปรุงแล้ว

1) ศึกษาหาอัตราการป้อนผลที่เหมาะสมสัมพันธ์กับการทำงานเปิด-ปิดลิ้น ปล่อยผลจากแท่นกรวยซึ่งน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลทดสอบหาอัตราการป้อนผลโดยปรับตั้งความถี่กระแสอินเวอร์เตอร์

ความถี่กระแส (Hz)	ความเร็วเพลาทด (rpm)	จำนวนป้อน (ผล)	เวลาการป้อน (วินาที)	อัตราการป้อน (ผล/ชั่วโมง)
9	3.5	8	17	1,694
10	4	8	15	1,920
11	4.3	8	14	2,057

12	4.6	8	13	2,215
----	-----	---	----	-------

พบว่า ทุกระดับอัตราการป้อน ทำงานได้สัมพันธ์กับการเปิด-ปิดลิ้น ปล่อยผลจากแท่นกรวยซึ่ง น้ำหนัก ได้ผลอัตราการป้อนที่มากที่สุด 2,215 ผล/ชั่วโมง อยู่ที่ความเร็วรอบ 4.6 rpm โดยการปรับ ความถี่กระแสที่ 12 Hz ถ้าปรับความถี่กระแสถึง 13 Hz จะได้ความเร็วรอบสูงขึ้นเป็น 5 rpm แต่ทำให้การป้อนผลเร็วขึ้นไม่สัมพันธ์กับการเปิด-ปิดลิ้น ที่ทำงานไม่ทันกัน

- 2) ทดสอบหาประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนักที่ระดับความเร็วรอบจานหมุน 3 ระดับ คือ 3.5 ,4 และ 4.3 rpm คัดแยกน้ำหนักตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด โดยทำการ ทดสอบครั้งละ 70 ผล จำนวน 3 ซ้ำ ดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ทดสอบเครื่องต้นแบบเพื่อการคัดแยกน้ำหนักตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด

ผลทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก

- 1) ผลทดสอบต้นแบบเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่

ที่ความเร็วรอบ 3.5 rpm มีอัตราการป้อน 1,694 ผล/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ยที่ 100% ดังแสดงในตารางที่ 5 ที่ความเร็วรอบ 4 rpm มีอัตราการป้อน 1,920 ผล/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ยที่ 100% ดังแสดงในตารางที่ 6 และที่ความเร็วรอบ 4.3 rpm มีอัตราการป้อน 2,057 ผล/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ยที่ 94.76% ดังแสดงในตารางที่ 7

ผลการเปรียบเทียบความเร็วรอบงานหมุนที่ 3 ระดับ ดังกล่าว ที่ระดับความเร็วรอบ 4 rpm ให้ผลการทดสอบดีที่สุด ซึ่งมีอัตราการป้อนสูงสุด 1,920 ผล/ชั่วโมง ที่ให้ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ หากเพิ่มความเร็วรอบขึ้นเป็น 4.3 rpm ประสิทธิภาพการคัดแยกลดลงเป็น 94.76%

ตารางที่ 5 ผลทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก ที่ความเร็วรอบ 3.5 rpm

ซ้ำที่	ความเร็วรอบ 3.5 rpm		ประสิทธิภาพการคัด (%)
	คัดถูกต้อง (ผล)	คัดผิดพลาด (ผล)	
1	70	-	100.00
2	70	-	100.00
3	70	-	100.00
ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย			100.00

ตารางที่ 6 ผลทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก ที่ความเร็วรอบ 4 rpm

ซ้ำที่	ความเร็วรอบ 4 rpm		ประสิทธิภาพการคัด (%)
	คัดถูกต้อง (ผล)	คัดผิดพลาด (ผล)	
1	70	-	100.00
2	70	-	100.00
3	70	-	100.00
ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย			100.00

ตารางที่ 7 ผลทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก ที่ความเร็วรอบ 4.3 rpm

ซ้ำที่	ความเร็วรอบ 4.3 rpm		ประสิทธิภาพการคัด (%)
	คัดถูกต้อง (ผล)	คัดผิดพลาด (ผล)	
1	65	5	92.86

2	69	1	98.57
3	65	5	92.86
ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย			94.76

ผลวิเคราะห์ทดสอบค่าความแม่นยำ

วิเคราะห์ทดสอบหาค่าความแม่นยำ (100-%RE) ของเครื่องต้นแบบ ที่ความเร็วรอบ 4 rpm อัตราการป้อน 1,920 ผล/ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยทำการทดสอบการอ่านค่าน้ำหนัก ที่จัดลง 7 Slot ตามเกณฑ์น้ำหนัก ใช้จำนวน 10 ผลต่อ slot

พบว่าค่าความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละเกณฑ์น้ำหนักตามขั้นมาตรฐาน ที่จัดลง 7 slot มีค่าตั้งแต่ 93.86%, ถึง 99.35% โดยคิดเป็นค่าความแม่นยำเฉลี่ยรวมคือ 97.21%

ตารางที่ 8 ผลวิเคราะห์ทดสอบค่าความแม่นยำ (100-%RE) เครื่องต้นแบบ

	Slot1: <7 g	Slot2: ≥7 g	Slot3: ≥10 g	Slot4: ≥13 g	Slot5: ≥16 g	Slot6: ≥25 g	Slot7: ≥35 g
No.ผล	100-%RE	100-%RE	100-%RE	100-%RE	100-%RE	100-%RE	100-%RE
1	94.34	89.74	100.00	95.89	100.00	99.64	99.76
2	94.34	98.90	98.21	94.59	98.59	98.18	99.74
3	92.59	95.74	93.22	95.24	99.57	99.28	99.20
4	93.75	92.78	94.83	97.90	99.50	99.63	98.96
5	94.34	95.74	95.24	97.22	98.31	99.63	99.54
6	100.00	97.83	95.65	99.29	100.00	98.95	98.90
7	90.91	95.24	95.65	97.90	99.54	99.66	99.20
8	87.72	95.24	97.35	98.59	97.44	98.64	99.74
9	92.59	97.56	96.49	95.24	98.99	98.64	99.33
10	98.04	98.90	99.17	94.59	99.41	98.92	99.10
เฉลี่ย	93.86	95.77	96.58	96.65	99.13	99.12	99.35
เฉลี่ยรวม	97.21						

วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายและหาจุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายและหาจุดคุ้มทุนในการลงทุนเครื่องจักรกลเกษตรเพื่อการคั้นน้ำหนักผลสตรอบเบอร์รี่ และคิดค่าเสื่อมราคาแบบวิธีเส้นตรง (Straight-line Method) เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้ การลงทุนซื้อของเกษตรกร และเพื่อการรับจ้าง หรือเพื่อการแนะนำส่งเสริมของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

กำหนดให้ราคาเครื่องคั้นน้ำหนักผลสตรอบเบอร์รี่ เท่ากับ 60,000 บาท อายุการใช้งาน 7 ปี ความสามารถในการทำงาน 57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือ 1,920 ผล/ชั่วโมง (คิดที่น้ำหนักผลสตรอบเบอร์รี่ เฉลี่ย 29 กรัม/ผล) การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{P-S}{N}$$

$$\text{ค่าดอกเบีย} = \frac{P-S}{2} \times \frac{i}{100}$$

โดย P = ราคาซื้อของเครื่องจักร, บาท

S = ราคาซากของเครื่องจักร, บาท

N = อายุการใช้งาน, ปี

i = อัตราดอกเบีย, เปอร์เซ็นต์

ค่าในการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องคั้นน้ำหนักผลสตรอบเบอร์รี่

ราคาเครื่องคั้นน้ำหนักผลสตรอบเบอร์รี่, P = 60,000 บาท

ราคาซาก = 10% ของ P บาท

อายุการใช้งาน = 7 ปี

อัตราดอกเบีย = 10 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

ค่าไฟฟ้า = 1.30 บาทต่อชั่วโมง

ค่าแรงคนงาน = 37.50 บาทต่อชั่วโมง

ค่าบำรุงรักษา = 0.5 % ของ P/100 บาทต่อชั่วโมง

ความสามารถในการทำงาน = 57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

อัตราการทำงานต่อปี = A กิโลกรัม

การคำนวณต้นทุนต่อปีของเครื่องคัดน้ำหนักรถบรรทุกเบอร์รี่

ราคาเครื่องคัดน้ำหนักรถบรรทุกเบอร์รี่ 60,000 บาท

ค่าต้นทุนคงที่

ค่าเสื่อมราคา 7,714.28 บาท/ปี

ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน 2,700.00 บาท/ปี

รวมต้นทุนคงที่ 10,414.28 บาท/ปี

ค่าต้นทุนผันแปร

ค่าไฟฟ้า 1.30 บาท/ชั่วโมง

ค่าแรงคนงาน 37.5 บาท/ชั่วโมง

ค่าบำรุงรักษา 3 บาท/ชั่วโมง

รวมต้นทุนผันแปรของเครื่องคัดน้ำหนักรถบรรทุกเบอร์รี่ 41.8 บาท/ชั่วโมง = 0.73 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องคัดน้ำหนักรถบรรทุกเบอร์รี่ = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร

จะได้ ต้นทุนต่อปีในการใช้งานเครื่องคัดน้ำหนักรถบรรทุกเบอร์รี่ = $(10,414.28)/A + (0.73)$

จากการเก็บข้อมูลเกษตรกรผู้ปลูกสตอเบอร์รี่ พบว่าจะเสียค่าใช้จ่ายในการคัดน้ำหนักรถบรรทุกเบอร์รี่ โดยใช้แรงงาน 2 คน สามารถคัดน้ำหนักรถบรรทุกเบอร์รี่ 400 กิโลกรัมต่อวัน คิดเป็น 1.5 บาท/กก. (ค่าแรง 300 บาทต่อคนต่อวัน)

วิเคราะห์กรณีเกษตรกรมีเครื่องคัดน้ำหนักรถบรรทุกเบอร์รี่ เป็นของตนเอง

$$\text{แทนค่า 1.5} = (10,414.28)/A+(0.73)$$

$$A = 13,525 \text{ กิโลกรัม/ปี}$$

จะเห็นได้ว่าการใช้เครื่องคับน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 13,525 กิโลกรัมต่อปี นั่นคือเกษตรกรหรือผู้รับจ้างจะต้องใช้เครื่องอย่างน้อย 30 วันต่อปี (ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง) ทุกปีเป็นระยะเวลา 7 ปี ซึ่งเครื่องคับน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ ทำงานได้ 57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือวันละ 456 กิโลกรัม ทำงานจริง 30 วันต่อปีก็คุ้มทุน ที่เหลือเป็นผลกำไรที่เกษตรกรจะได้รับเพิ่มเติม

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ได้ต้นแบบเครื่องคับน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่มีประสิทธิภาพ ทำงานได้กึ่งอัตโนมัติแบบใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก (Load cell) ทำงานร่วมกับบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ (Arduino board) ซึ่งมีสมองกลไฟฟ้าส่งงานควบคุมการคับน้ำหนักแบบอัตโนมัติ ตามเกณฑ์น้ำหนักที่แบ่งออกตามชั้นมาตรฐานเกรดของมูลนิธิโครงการหลวง ทดสอบหาประสิทธิภาพการคับน้ำหนักขนาดผลโดยน้ำหนัก ที่ระดับความเร็วรอบจานหมุน 3 ระดับ คือ 3.5, 4 และ 4.3 rpm ผลการทดสอบพบว่า ที่ความเร็วรอบ 4 rpm ให้ผลการทดสอบดีที่สุด มีอัตราการป้อนผล 1,920 ผล/ชั่วโมง ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการคัดสตรอเบอร์รี่เพื่อจำหน่ายผลสดได้ ให้แก่กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกสตรอเบอร์รี่ในภาคเหนือ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการคับน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ต่อไป

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เมื่อเสร็จสิ้นโครงการในปี 2562 กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกสตรอเบอร์รี่ จะได้รับการเผยแพร่และสาธิตการใช้ต้นแบบเครื่องคับน้ำหนักที่มีประสิทธิภาพ สำหรับการคัดแยกผลสตรอเบอร์รี่ตามขนาดเกรดผลโดยน้ำหนักตามที่ตลาดต้องการ ทำให้ได้ราคาดี เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

11. เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศิลานาม ณรงค์ศักดิ์ แสนละมุล สาธิต นิลโย และวีระชัย แก่นทรัพย์. 2545. เครื่องคัดผลมะม่วง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปี 2545, 1 หน้า แหล่งที่มา URL <http://www.kmutt.ac.th/rippc/best35.htm>. (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2559)
- ชูรัตน์ ธารารักษ์. 2537. การออกแบบและการพัฒนาเครื่องคัดผลมะม่วงโดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 131 หน้า. แหล่งที่มา URL http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=wf251. (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2559)
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวนศ์. 2544. การปลูกสตรอเบอร์รี่ แหล่งที่มา URL <http://www.ku.ac.th/e-magazine/january44/agri/strawberry/> (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2559)
- ไทยโพสต์. 2555. เครื่องคัดขนาดหอยแครงฟุ้งแรงงานคน. แหล่งที่มา URL http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0086/เครื่องคัดขนาดหอยแครงฟุ้งแรงงานคน. (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2559)
- บัณฑิต จริโมภาส และ กระจวี ตรีอำนรรค. 2551. การพัฒนาเครื่องกลคัดขนาดผลชมพู. รายงานผลโครงการวิจัย ฉบับสมบูรณ์, 80 หน้า. แหล่งที่มา URL <http://www.phtnet.org/download/phtic-research/s1.pdf> (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2559)
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. เครื่องคัดขนาด(Sizer). ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 1 หน้า. แหล่งที่มา URL <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2353>. (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2559)
- ภูษิต โพธิ์แสง. 2552. เครื่องคัดขนาดไข่. ผลงานสิ่งประดิษฐ์คิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2551 กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผู้ประดิษฐ์: นายนุ้ย แจ่มประจักษ์, 1 หน้า. แหล่งที่มา URL <http://www.most.go.th/main/index.php/org/114.html> (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2559)
- มูลนิธิโครงการหลวง. 2556. การปลูกสตรอเบอร์รี่ พันธุ์พระราชทาน 80, 58 หน้า. แหล่งที่มา URL <http://www.issuu.com/hrdi/docs/strawberry-variety80?e=7902068/11909842>
- สรยุทธ อุจจกฎ. 2555. เครื่องคัดขนาดกึ่งความเที่ยงตรงสูง. ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 1 หน้า. แหล่งที่มา URL http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0255/. (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2559)
-