



รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่

Research and Development of Strawberry Weight Grading

Machine

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย

ชัยวัฒน์ เผ่าสันทัตพานิชย์

Chaiwat Paosantadpanich

ปี พ.ศ. 2562



รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่

Research and Development of Strawberry Weight Grading  
Machine

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย

ชัยวัฒน์ เผ่าสันทัตพานิชย์

Chaiwat Paosantadpanich

ปี พ.ศ. 2562

### คำปรารภ

สตรอเบอร์รี่เป็นผลไม้ที่นำรับประทาน ผลของสตรอเบอร์รี่มีรสชาติหลากหลายขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ มีตั้งแต่รสหวานจนถึงเปรี้ยว ประเทศไทยปลูกมากในพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งอากาศในฤดูหนาวเหมาะสมกับการปลูก ปัจจุบันการคัดขนาดผลสตรอเบอร์รี่ยังใช้แรงงานคน ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง การที่จะลดต้นทุนการผลิตได้ทางเลือกหนึ่งก็คือการนำเครื่องจักรกลเกษตรมาทดแทนแรงงานคน ผลการวิจัยเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ เครื่องมีความสามารถในการทำงาน 1,920 ผลต่อชั่วโมง หรือประมาณ 57 กิโลกรัม/ชั่วโมง ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แรงงานคนทำงานได้ประมาณ 30 กิโลกรัม/ชั่วโมง

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เมื่อนำเทคโนโลยีที่ได้ไปขยายผลสู่เกษตรกรแล้ว จะสามารถช่วยให้เกษตรกรลดต้นทุนการผลิต ทำงานได้รวดเร็วและแม่นยำ ลดความเมื่อยล้าของเกษตรกร สุดท้ายนำไปสู่เกษตรกรมีผลกำไรเพิ่มขึ้นและมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

นายชัยวัฒน์ เฝ้าสันทัดพาณิชย์

หัวหน้าโครงการวิจัย

สารบัญ	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
ผู้วิจัย	ข
บทนำ	1
บทคัดย่อ	3
Abstract	4
การทบทวนวรรณกรรม	5
ระเบียบวิธีการวิจัย	10
ผลการวิจัย	11
อภิปรายผล	33
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	33
บรรณานุกรม	34
ภาคผนวก ก	35
ภาคผนวก ข	41
ภาคผนวก ค	43



## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเกษตรกร ตำบลบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการทดสอบเก็บข้อมูล และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ที่ช่วยในการสร้างต้นแบบเครื่องคัดน้ำหนักรวมผลสตรอเบอร์รี่ รวมถึงการทดสอบและเก็บข้อมูลจนเสร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์

### คณะผู้วิจัย

- |                                  |   |                |
|----------------------------------|---|----------------|
| 1. นายชัยวัฒน์ เผ่าสันทัตพาณิชย์ | วิศวกรการเกษตรชำนาญการพิเศษ<br>ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ | หัวหน้าโครงการ |
| 2. มานพ รักญาติ                  | วิศวกรการเกษตรปฏิบัติการ<br>ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่    | ผู้ร่วมงาน     |
| 3. สนนง อมฤกษ์                   | วิศวกรการเกษตรชำนาญการพิเศษ<br>ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ | ผู้ร่วมงาน     |
| 4. สุเมธ กาศสกุล                 | นายช่างเครื่องกลปฏิบัติงาน<br>ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่  | ผู้ร่วมงาน     |
| 5. นายสุพัฒน์ณกิจ โพธิ์สว่าง     | นักวิชาการเกษตรชำนาญการ<br>ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่         | ผู้ร่วมงาน     |

## บทนำ

การปลูกสตรอเบอร์รี่ในอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย และพื้นที่ในจังหวัดเชียงใหม่ เช่น อำเภอแม่แจ่ม นั้น มูลค่าต้นทุนของการผลิตต่อไร่ตกประมาณ 25,000-30,000 บาท และรายได้ตอบแทนต่อไร่ 62,500 บาท (คิดจากค่าเฉลี่ย 2,500 กก.ต่อไร่ และ 25 บาทต่อกิโลกรัม) ขณะที่เกษตรกรบนดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ใช้ต้นทุนการผลิตไร่ละ 30,000-35,000 บาท และมีรายได้ไร่ละ 72,500 บาท เนื่องจากสามารถขายเป็นผลรับประทานสดแก่นักท่องเที่ยว และเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานกว่าพื้นราบ ปกติแล้วผลผลิตจะออกประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนพฤษภาคมในพื้นที่ปลูกบนที่สูง และระหว่างเดือนธันวาคม ถึงเมษายนในพื้นที่ปลูกบนพื้นราบ ผลผลิตที่ออกก่อนในเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมจะมีคุณภาพดีและขนาดใหญ่ ทำให้จำหน่ายได้ในราคาสูงประมาณ 70-80 บาทต่อกิโลกรัมในท้องตลาดทั่วไป หลังจากนั้นขนาดผลจะเล็กลง และจำหน่ายได้ในราคา 20-30 บาทต่อกิโลกรัม ในช่วงเดือนมกราคมถึงกลางเดือนมีนาคม ปัจจุบันยังมีความต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศเพื่อใช้ผลิตภัณฑ์ของสตรอเบอร์รี่ในเชิงอุตสาหกรรมเป็นปริมาณมากต่อปี และกำลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนประชากร ประเทศญี่ปุ่นเป็นแหล่งใหญ่ของไทยในการนำเข้าผลสตรอเบอร์รี่ เพื่อใช้ในการแปรรูปมากที่สุด (ที่ผ่านมามีประมาณ 1,000-3,000 ตันต่อปี) นอกจากนี้ยังเคยมีการขนส่งผลรับประทานสดไปจำหน่ายยังประเทศฮ่องกง สิงคโปร์ และบางประเทศในแถบยุโรปบ้างเล็กน้อยโดยมูลนิธิโครงการหลวงอีกด้วย (ณรงค์ชัย, 2544)

สตรอเบอร์รี่จัดเป็นผลไม้ที่มีศักยภาพในการผลิตเชิงพาณิชย์ ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวสตรอเบอร์รี่เพื่อจำหน่ายผลสด พบปัญหาการคัดน้ำหนักรูปแบบเกษตรกร ต้องใช้แรงงานคนจำนวนมากและสิ้นเปลืองเวลาโดยเกษตรกรจะคัดน้ำหนักรูปแบบด้วยมือกับสายตาและไม่มีมาตรฐานตรวจวัด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงต้องดำเนินการวิจัยและพัฒนาเครื่องคัดน้ำหนักรูปแบบสตรอเบอร์รี่ โดยการศึกษาพัฒนาเครื่องจักรกลทดแทนแรงงานคนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสตรอเบอร์รี่ ให้ได้ต้นแบบเครื่องคัดน้ำหนักรูปแบบสตรอเบอร์รี่ที่มีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทำงานได้รวดเร็วกว่าแรงงานคนในการคัดน้ำหนักรูปแบบ ซึ่งจะทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการคัดแยกผลสตรอเบอร์รี่ตามขนาดเกรดผลโดยน้ำหนักรูปแบบที่ตลาดต้องการและได้ราคาดีที่สูงขึ้น

จากนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการให้นำเครื่องจักรกลเกษตรมาช่วยแก้ไขปัญหาให้กับเกษตรกรในการผลิตพืชของประเทศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต สร้างความเข้มแข็งจากภายในเชื่อมโยงเศรษฐกิจไทยสู่โลกตามนโยบายประเทศไทย 4.0 และเนื่องด้วยสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรของ



เกษตรกร มีหน้าที่ในการวิจัย ค้นคว้า และพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตรที่เหมาะสมกับการผลิตพืช ทั้งให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือทางวิชาการแก่ผู้ผลิตด้วยปัจจุบันเครื่องจักรกลการเกษตรมีบทบาทสำคัญมากขึ้นและเป็นรากฐานที่สำคัญในการพัฒนาภาคเกษตรของไทย และจากการระดมความคิดเห็นเพื่อการพัฒนางานวิจัยด้านเครื่องจักรกลเกษตรให้ตรงกับความต้องการของเกษตรกรผู้ใช้งานในเขตพื้นที่ภาคเหนือ ได้มีข้อเรียกร้องจากเกษตรกรให้หาเครื่องมือคัดขนาดผลเพื่อจำหน่ายผลสดสตรอเบอร์รี่ เนื่องจากเกษตรกรไม่มีเครื่องคัดขนาดผลสตรอเบอร์รี่ ยังใช้แรงงานคนเพื่อคัดแยกด้วยสายตาหรือใช้วิธีชั่งน้ำหนัก ดังนั้นแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงต้องดำเนินการวิจัยและพัฒนาเครื่องมือคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสตรอเบอร์รี่ ให้ได้ต้นแบบเครื่องมือคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ที่มีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทำงานได้รวดเร็วกว่าแรงงานคนในการคัดน้ำหนักผล ซึ่งจะทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการคัดแยกผลสตรอเบอร์รี่ตามขนาดเกรดผลโดยน้ำหนักตามที่ตลาดต้องการและได้ราคาที่สูงขึ้น

## วิจัยและพัฒนาเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่

ชัยวัฒน์ เผ่าสันตพัฒน์<sup>1</sup>      มานพ รักญาติ<sup>1</sup>  
 สมอง อมฤกษ์<sup>1</sup>                              สุเมธ กาศสกุล<sup>1</sup>  
 สุพรรณณิกิจ โพธิ์สว่าง<sup>2</sup>

**คำสำคัญ:** เครื่องคัดน้ำหนัก, สตรอเบอร์รี่

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสตรอเบอร์รี่ด้วยเครื่องจักรกลทดแทนแรงงานคนโดยการวิจัยและพัฒนาเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ ด้วยวิธีการใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักแบบสเตรนเกจโหลดเซลล์ (Strain gage Load cell) มาใช้ร่วมกับบอร์ดควบคุมอัตโนมัติแบบอาดุอินบอร์ด (Arduino board) ซึ่งมีสมองกลไฟฟ้าสั่งการควบคุมการทำงานของเครื่องมือให้ทำการคัดแยกน้ำหนักแบบอัตโนมัติ ได้เครื่องต้นแบบ มีสัดส่วนขนาด 1,500 x 1,080 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 ใช้เซอร์โวมอเตอร์ ควบคุมการเปิด-ปิด ลื่นปล่อยผล 3) ชุดจ่ายคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก ใช้เซอร์

<sup>1</sup> ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

<sup>2</sup> ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

โวมอเตอร์ขับเคลื่อนตำแหน่ง ท่อจ่ายผล 4) ชุดตู้ควบคุมหลัก มีตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหลัก และตู้บอร์ดควบคุมอัตโนมัติ ผลทดสอบหาประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนักที่ระดับความเร็วเชิงเส้นของจานป้อน 0.072, 0.082 และ 0.088 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วเชิงเส้น 0.082 เมตรต่อวินาที ให้ผลทดสอบดีที่สุด มีอัตราการป้อน 1,920 ผล/ชั่วโมง ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์มีจุดคุ้มทุนที่ 30,301.20 กิโลกรัม/ปี ระยะเวลาคืนทุน 1.4 ปี

## Research and Development of Strawberry Weight Grading Machine

Chaiwat Paosantadpanich<sup>1</sup>    Manop Rakyat<sup>1</sup>  
 Sanong Amaroek<sup>1</sup>                Sumet Kartsakul<sup>1</sup>  
 Supattanakij Posawang<sup>2</sup>

**Keywords:** Weight Grading Machine, strawberry

### 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 volt and 1 phase 220 volt 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 Weight use servo motor to drive picking position. Test for efficiency

machine at the linear velocity of the feed plates 0.072, 0.082 and 0.088 m/s resulted that at 0.082 m/s gave the best result with strawberry feed rate 1,920 /hour. 100 percent average efficiency. Breakeven point 30,301.20 kg/year. 1.4 year payback period.

---

<sup>1</sup> Chiang Mai Agricultural Engineering Research Center, Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture.

<sup>2</sup> Chiang Mai Royal Agricultural Research Center, Horticulture Research Institute, Department of Agriculture

### การทบทวนวรรณกรรม

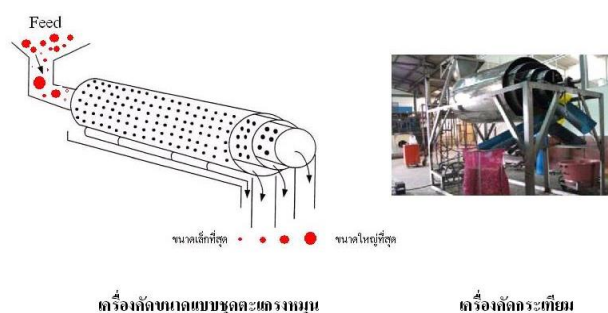
ปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกสตรอเบอร์รี่ในจังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย ยังต้องมานั่งคัดขนาดผลที่แก่เกินไป ผลที่ไม่สมบูรณ์ ออกทิ้ง โดยยังไม่มีเครื่องจักรกลมาช่วยในการทำงาน ทำให้เกษตรกรทำงานล่าช้า บางส่วนต้องขายขนาดคละกันซึ่งจะไม่ได้ราคา ส่วนที่คัดออกมาได้ที่แก่เกินไปจะคัดทิ้ง (จากการสัมภาษณ์เกษตรกร มีประมาณ 5-20%) เนื่องจากผลสตรอเบอร์รี่ขึ้นง่าย การเก็บเกี่ยวต้องคำนึงถึงระยะทางในการขนส่งสู่ตลาดถ้าระยะทางไกลต้องเก็บผลสุกหรือเห็นสีแดง 50% ซึ่งจะได้ผลแข็งสะตวกแก่ การขนส่ง ถ้าระยะทางใกล้ควรเก็บผลสุกหรือสีแดง 75% เวลาที่เก็บ ควรเก็บตอนเช้า เมื่อเก็บแล้วไม่ควรให้ผลถูกแสงแดด ซึ่งจะทำให้ผลเน่าเร็วควรเก็บทุก 1-2 วัน

พิมพ์เพ็ญ และคณะ (2559) ได้ลงบทความ เรื่องเครื่องคัดขนาด (Sizer) กล่าวว่า เครื่องคัดขนาด (Sizer) เป็นเครื่องคัดแยก (sorter) ที่ใช้เพื่อการคัดแยก (sorting) วัตถุดิบ โดยใช้ขนาด (size) เป็นเกณฑ์ การคัดขนาดเป็นขั้นตอนสำคัญเพื่อการเตรียมวัตถุดิบ (raw material preparation) หรือเป็นขั้นตอนระหว่างกระบวนการผลิต หรือหลังจากได้ผลิตภัณฑ์หลังแปรรูปที่มีขนาดแตกต่างกันออกจากกัน

การคัดขนาดด้วยการใช้ตะแกรง (มักใช้คำว่า sieving หรือ screening) เป็นการคัดขนาด โดยการใส่ตะแกรงที่มีช่องเปิด หรือแผ่นที่เจาะรูเป็นวงกลมให้ มีเส้นรอบวงเท่ากับเส้นรอบของวัตถุดิบ ตามเกณฑ์ที่

ต้องการวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่กว่าจะค้างอยู่บนตะแกรง วัตถุดิบที่มีขนาดเล็กกว่าจะหลุดรอดตะแกรงได้ ลักษณะของตะแกรง เป็นแผ่นแบน ที่เรียงเป็นชุดต่อเนื่องกัน หรือ เรียงซ้อนกันเป็นชั้น มีรูเปิดไล่ขนาดกัน มา เพื่อให้คัดได้หลายขนาด การคัดแยกด้วยตะแกรง มีการใช้ แรงกล เขย่าโยกหรือ หมุน ให้วัตถุดิบ เคลื่อนที่ เหมาะกับวัตถุดิบที่มีรูปทรงกลม หรือใกล้เคียงทรงกลม ที่กลิ้งได้ เช่น ส้ม ส้มโอ มะนาว ตาม ขนาดที่ต้องการตามรูปร่างของวัสดุ ข้อจำกัดของการคัดขนาดด้วยการใช้ตะแกรง คือวิธีนี้ไม่เหมาะกับ อาหารที่บอบช้ำง่าย แฉกหักง่าย เพราะวัตถุดิบจะต้องมีการชนกัน กระทบกัน ระหว่างการคัดขนาด

เครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงทรงกระบอก (drum screen) เครื่องคัดขนาดประเภทนี้ประกอบด้วย ตะแกรงทรงกระบอกหมุนได้ ขนาดรูเปิดของตะแกรงสอดคล้องกับขนาดของวัตถุดิบที่ต้องการคัด อาจ เป็นแบบทรงกระบอกเดี่ยว หรือทรงกระบอกที่เรียงซ้อนกันเป็นชุดจำนวน 3- 4 ชั้น ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของรูเปิดของตะแกรงชั้นในจะมีขนาดใหญ่สุด และเล็กลงมาตามลำดับ วัตถุดิบจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องคัดด้วย เกลียวลำเลียงและหมุนอยู่ในตะแกรง เมล็ดพืชที่มีขนาดใหญ่จะค้างอยู่บนตะแกรง และถูกลำเลียงออก เมล็ดขนาดเล็กจะรอดผ่านรูตะแกรง ผ่านออกมาชั้นนอก เครื่องคัดขนาดแบบเป็นชุด จะแยกขนาดของวัตถุดิบได้ ตามจำนวนของตะแกรง 3 ชั้นจะแยกวัตถุดิบได้ 3 ขนาด ตามขนาดรูเปิด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ เครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงทรงกระบอก เหมาะสำหรับ วัตถุดิบ ที่มีขนาดเล็ก ทนต่อแรงกระทบได้ดี ได้แก่ ถั่วเมล็ดแห้ง เช่น ถั่วลิสง เมล็ดธัญพืช กระเทียม เมล็ดกาแฟ โกโก้ ดังภาพที่ 1



เครื่องคัดขนาดแบบชุดตะแกรงหมุน

เครื่องคัดกระเทียม

ภาพที่ 1 เครื่องขนาดแบบตะแกรงทรงกระบอก (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2559)

เครื่องคัดขนาดโดยใช้การกระเด็น (bouncing properties) โดยใช้สมบัติของการกระเด็น (bouncing properties) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการคืนตัว (coefficient of restitution) โดยให้ เมล็ดพืช ตกจากที่สูงจากสายพานลำเลียง (conveyer) ไหลลงมาตามรางส่ง (laner) ตกลงกระทบกับ ลูกกลิ้ง (drum) ทำให้เมล็ดโกโก้กระเด็นออกไปตามวิถีโค้งตามขนาดของเมล็ด แล้วลงไปในห้องรับต่อไป

ไทยโพสต์ (2555) ได้ลงบทความ เรื่องเครื่องคัดขนาดหอยแครงหุ่ยแรงงานคน กล่าวว่า เครื่องคัด หอยแครงผลงานวิจัยของนายพรศักดิ์ จิตรอำไพ และนายยุทธพงษ์ ศรีทา นักศึกษาจากสาขาวิชา เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มี ผศ.สุเมธ พลัฒา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา จากมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ช่วยส่งเสริมทางการเกษตรและการแข่งขันก็คงไม่ ผิดหนัก แม้เจ้าของผลงานจะออกตัวว่าแรงบันดาลใจให้คิดเครื่องคัดหอยแครงเกิดจากความต้องการที่จะ ช่วยทุ่นแรง ทุ่นเวลา ค่าใช้จ่ายของเกษตรกรเท่านั้นก็ตามตัวเครื่องถูกออกแบบมาอย่างแข็งแรง ใช้งาน

ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน เพื่อให้เหมาะกับเกษตรกร อีกทั้งผู้วิจัยยังเลือกใช้วัสดุที่แข็งแรง คงทน ทั้งน้ำหนักแรงกระแทก และน้ำเค็ม ซึ่งเป็นจุดเด่นของผลงานส่วนหลักการทำงานของเครื่อง เจ้าของงานวิจัยอธิบายว่า เครื่องนี้ทำงานด้วยสกรูลำเลียง (screw conveyor) และเพลลากระรอก ซึ่งจะทำงานเป็นชุดเดียวกัน โดยสกรูจะทำหน้าที่ในการลำเลียงหอยแครงด้วยมอเตอร์ไปตามเพลลากระรอก และเพลลากระรอกจะเป็นตัวทำหน้าที่คัดขนาดของหอยแครงผ่านตะแกรง ซึ่งสามารถคัดได้ 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (1.5 ซม.) ขนาดกลาง (2.5 ซม.) ขนาดใหญ่ (3 ซม.) ตลอดการทำงานเครื่องจะมีฝาปิด มีเพียงหอยแครงที่ถูกคัดแยกแล้วเท่านั้นที่ไหลออกมาตามช่องคัดแยก จึงมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้อย่างแน่นอน นายพรศักดิ์ บอแก้ว จุดประสงค์ในการประดิษฐ์เครื่องคัดหอยแครงนี้ขึ้นมาก็เพื่อต้องการให้เกษตรกรนำไปใช้งานได้จริง เพราะถ้าจะเทียบกันแล้วปกติหอยแครง 1 ตันจะใช้คนคัดประมาณ 7 คนใน 1 ชั่วโมง ถ้าใช้เครื่องที่ประดิษฐ์ขึ้นจะสามารถทำงานแทนคนได้โดยใช้แรงงานเพียงคนเดียว คือคนที่ต้องเทหอยแครงลงไปเครื่องคัดแยก ก็จะสามารถแยกหอยได้ในปริมาณและเวลาเท่ากัน แต่หุ่นแรงงานไป 6 คนทั้งนี้ การคัดหอยแครงมีความสำคัญไม่น้อย เพราะนอกจากจะนำไปกำหนดราคาตามขนาดแล้ว ยังสร้างความมั่นใจให้ผู้บริโภคว่า ได้หอยในขนาดที่ต้องการและเป็นธรรม หอยที่ถูกคัดออกมาหมายถึงมีขนาดเล็กเกินไป คือ ขนาดเล็กกว่า 1.5 ซม. ก็จะถูกนำไปปล่อยเพื่อขยายพันธุ์ต่อไป ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เครื่องคัดขนาดหอยแครง (ไทยโพสต์, 2555)

สรยุทธ (2555) ได้ลงบทความ เรื่องเครื่องคัดขนาดกึ่งความเที่ยงตรงสูง กล่าวว่า กุ้ง จะต้องมีการคัดขนาดเพื่อที่สามารถนำไปเลือกผลิตสินค้าตามความต้องการในการผลิตสินค้าแต่ละชนิด การคัดขนาดกึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ การคัดขนาดตามขนาดกึ่งโดยปกติ โดยจะใช้ Roller Grader ซึ่งหลักการคัดขนาดกึ่งโดยแยกตามขนาดของกึ่ง ซึ่งจะได้ขนาดกึ่งออกมาค่อนข้างหยาบ และการคัดขนาดด้วย

น้ำหนักกึ่งโดยใช้เครื่องชั่งมาคัดซึ่งจะได้ความเที่ยงตรงที่สูงกว่ามากผลประโยชน์ที่ได้จากการคัดขนาดกึ่ง โดยแยกตามน้ำหนักกึ่งมีดังนี้ 1) ได้กึ่งขนาดที่เท่ากันทุกตัวในการบรรจุที่สวยงาม สามารถยกระดับสินค้า เป็น Premium product 2) ลด Give away ได้มากในการผลิตสินค้าเช่น ชูชิ เพราะการผลิตชูชิต้องนำ กึ่งมาตัดออกให้ได้ขนาดที่ต้องการ หากนำกึ่งขนาดใหญ่มาตัดออกมากก็จะเสียเนื้อกึ่งมาก ดังนั้นหากคัด ขนาดกึ่งมาดี มาก ๆ ก็จะได้ตัดกึ่งออกเพียงเล็กน้อยเพื่อตกแต่งให้ได้ขนาดพอดีในแต่ละขนาด 3) การตักกึ่งที่ คัดขนาดมาดี จะทำให้ได้ผลความสุขที่เท่ากันหลังการผ่านความร้อน เช่นถ้าหากลวกหรือต้มในเวลา ที่เท่ากันและที่อุณหภูมิเดียวกัน กึ่งขนาดต่างกันเพียงแค่ 3-4 กรัม ก็จะได้ผลความสุขของกึ่งที่ต่างกัน และที่สำคัญการต้มหรือลวกกึ่งที่ขนาดเท่ากันทำให้สามารถกำหนดเวลาและอุณหภูมิการลวกหรือต้มที่เหมาะสม คงที่เพื่อรักษา Yield ในตัวสินค้าให้ได้มากที่สุด 4) ในการผลิตสินค้าจำพวก Value added product โดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นซึ่งต้องการสินค้าคุณภาพสูง สวยดูดี น่ารับประทาน การได้กึ่งขนาดที่เท่ากันมาผลิต จึงมีความจำเป็นมากนอกจากนี้ผลประโยชน์ที่ได้จากการคัดขนาดกึ่งมีอีกมากมายตามแต่วิธีการผลิตในแต่ละ ชนิดสินค้าและในปัจจุบันเทรนการคัดขนาดกึ่งแบบกรัมต่อชิ้นมีความจำเป็นมากขึ้นเพื่อการผลิตเป็นสินค้า ต่างๆ ดังนั้นบริษัท Marel Carnitech (Thailand) Co.,Ltd จึงออกแบบเครื่องคัดขนาดกึ่ง ซึ่งที่เป็นหนึ่งใน กลุ่มเครื่องจักรของ Marel ซึ่งเป็นผู้นำและเชี่ยวชาญด้านการคัดขนาดสินค้าต่างๆด้วยน้ำหนัก มีความ เที่ยงตรงที่สูงถึง 0.2 กรัม ที่ 95% ขึ้นไป เช่น หากต้องการกึ่งขนาด 14-15 กรัมต่อตัว จะได้กึ่งที่ผ่านการ คัดขนาดจากเครื่องที่ 13.8-15.2 กรัม ที่มากกว่า 95 ตัวขึ้นไปใน 100 ตัว ระบบเครื่องชั่งนี้ออกแบบมา เพื่อคัดขนาดกึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งใช้ระบบ Static Load cell และอุปกรณ์ที่มีคุณภาพสูง ดังนั้น จึงให้ความ แม่นยำสูง ทนทานและ Maintenance cost ต่ำ และตัวเครื่องมีระบบ Software ต่อไปยัง Computer เพื่อสั่งงานและแสดงผลต่างๆเช่น น้ำหนักและจำนวนชิ้นรวม, น้ำหนักและจำนวนชิ้นในแต่ละขนาด, เวลา ทำงานของเครื่อง และที่สำคัญสามารถดูประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานแต่ละคนได้อย่างถูกต้อง ซึ่ง การใช้เครื่องคัดขนาดกึ่งนี้สามารถเพิ่ม Productivity ได้เพิ่มขึ้นประมาณ 300% เมื่อเทียบกับการคัด แบบใช้ Scale ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องคัดขนาดกึ่ง (สรยุทธ, 2555)

ภูษิต (2552) รายงานว่า เครื่องคัดขนาดไข่เปิดหรือไข่ไก่ ทำงานคัดขนาดโดยใช้น้ำหนักของไข่เป็นเกณฑ์ สามารถคัดขนาดไข่ให้ตรงตามความต้องการของท้องตลาด 7 ขนาด มีความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักไข่แต่ละขนาดไม่เกิน 5 กรัม เป็นเครื่องจักรที่มีคุณค่าต่อเกษตรกรรายย่อยและพ่อค้าคนกลาง เนื่องจากเครื่องคัดไข่มีประสิทธิภาพและสมรรถนะในการคัดขนาดไข่ดีกว่าคน โดยสามารถคัดขนาดไข่ได้ 1,500 ฟอง/ชั่วโมง บำรุงรักษาง่าย ช่วยลดแรงงานคนในการคัดขนาดไข่ มีความปลอดภัยสูงเนื่องจากได้ติดตั้งระบบ stop clutch เสริมเข้าไป ในกรณีมีสิ่งกีดขวางเข้าไปในเครื่อง เครื่องจะหยุดการทำงานทันที โดยไม่มีการสึกหรอใดๆ มอเตอร์และชิ้นส่วนต่างๆ ผลิตในประเทศไทยทั้งหมด เกษตรกรสามารถหาได้ในตลาดทั่วไป ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เครื่องคัดขนาดไข่ (ภูษิต, 2552)

ชูรัตน์ (2537) ได้ทำการวิจัยออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดผลมะม่วง โดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ เครื่องคัดขนาดต้นแบบสามารถทำงานได้รวดเร็ว ความเที่ยงสูง ใช้งานง่ายและราคาถูก เครื่องคัดขนาดผลมะม่วงนี้จะทำงานโดยการควบคุมของ Microprocessor หลักการทำงานจะนำผลมะม่วงมาวางบนถาดซึ่งที่ละผล ระบบควบคุมจะวัดและคำนวณน้ำหนักผลมะม่วง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักมาตรฐานของเกรดต่างๆ ที่เก็บไว้ในหน่วยความจำหลังจากนั้นจึงสั่งงานให้ Stepper Motor หมุนถาดวิ่งไปยังช่องเกรดนั้นๆ แล้วจึงสั่งงานให้ Motor หมุนขับลูกเบี้ยวตะให้ถาดซึ่งยกขึ้นเพื่อเทให้ผลมะม่วงไหลลงไปยังถุงผ้าที่รองรับ จากนั้นจะสั่งให้ถาดซึ่งหมุนกลับมายังจุดเริ่มต้นใหม่ เพื่อจะรับมะม่วงลูกต่อไป ผลการทดสอบพบว่า การคัดขนาดมะม่วงพันธุ์หนึ่งกลางวัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 เกรด (เกรดขนาดใหญ่พิเศษ น้ำหนักต่อผลมากกว่า 430 กรัม, เกรดขนาดใหญ่ น้ำหนักต่อผล 360-430 กรัม, เกรดขนาดกลาง น้ำหนักต่อผล 301-359 กรัม, เกรดขนาดเล็ก น้ำหนักต่อผล 250-300 กรัม, ขนาดเล็กตกเกรด น้ำหนักต่อผลน้อยกว่า 250 กรัม) การปฏิบัติงานใช้คนป้อนมะม่วงที่ละผล ได้ผลสรุปว่า ชีตความสามารถของเครื่องคัดขนาด สามารถคัดมะม่วงได้ 514 ผลต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพในการคัดเกรด 97.5% อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 1.74 บาทต่อวัน (ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง) และความชอกช้ำที่เกิดกับผลมะม่วง มีน้อยมาก ไม่ทำให้เกิดความเสียหาย

กล้าณรงค์ และคณะ (2545) ได้รายงานว่าได้ศึกษาและออกแบบเครื่องคัดผลมะม่วงโดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ ซึ่งมีคุณสมบัติและหลักการทำงานของเครื่องคัดมะม่วงดังนี้คือ เครื่องคัดมะม่วงจะรับกำลังจากมอเตอร์ส่งถ่ายกำลัง ไปขับเคลื่อนชุดตาซึ่งเคลื่อนที่ให้มีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม โดยมีชุดตาซึ่งอยู่กับที่อยู่ในระดับที่สูงกว่าชุดตาซึ่งเคลื่อนที่ เพื่อรักษาให้อยู่ในแนวระดับเพื่อการชั่งน้ำหนักโดยอาศัย



หลักการของโมเมนต์ จะมีลักษณะการทำงานของเครื่องคัดผลมะม่วงโดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ แบ่งได้ 3 ช่วงการทำงานคือ ช่วงการทำงานที่ 1) การวางผลมะม่วง ผลมะม่วงจะถูกนำมาวางที่บนจานของชุดตาซึ่งเคลื่อนที่ซึ่งจะอยู่ในแนวระดับและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งคัดเกรดที่มากที่สุดคือ เกรด AA ช่วงการทำงานที่ 2) การชั่งน้ำหนักของผลมะม่วง เมื่อน้ำหนักมะม่วงมีน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักมาตรฐานที่ตั้งไว้กับชุดตาซึ่งอยู่กับที่ ผลมะม่วงจะเทด้วยน้ำหนักของตัวผลมะม่วงเอง ถ้าผลมะม่วงมีน้ำหนักที่น้อยกว่าน้ำหนักมาตรฐานที่ตั้งไว้ ชุดตาซึ่งเคลื่อนที่ก็จะพาผลมะม่วงผ่านไปยังเกรดต่อไป คือเกรดที่มีน้ำหนักที่น้อยลงต่อไป ช่วงการทำงานที่ 3) การ Reset ผลมะม่วงที่ไม่ได้ขนาด จากผลมะม่วงที่ผ่านการชั่งจากเกรดต่างๆ จากน้ำหนักมากที่สุดไปยังน้ำหนักที่น้อยที่สุดจะมายังตำแหน่ง Reset อีก เพื่อให้สภาพของชุดตาซึ่งเคลื่อนที่ทำการ Reset เพื่อรอการวางผลมะม่วงใหม่อีกครั้ง (ผลมะม่วงที่ยังไม่ได้ทำการชั่งก็จะมา Reset ณ ช่วงนี้เช่นกัน) ลักษณะเด่นของเครื่องคือ ภาตที่ใช้วางลูกมะม่วงถูกออกแบบเป็นพิเศษ เพื่อให้การวางลูกมะม่วง ณ ตำแหน่งใดก็ตามจะไม่ส่งผลต่อตาซึ่ง สามารถนำผลงานไปใช้ประโยชน์ได้คือ 1) ทดแทนแรงงานคนที่ชำนาญ 2) เพิ่มอัตราการคัดผลมะม่วง 3) เพื่อส่งเสริมภาคเกษตรกรรมให้สามารถเป็นผู้นำเงินตราเข้าประเทศ 4) เพื่อเป็นเครื่องต้นแบบในการศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาเครื่องคัดผลมะม่วงให้สามารถใช้ในอุตสาหกรรมได้



ภาพที่ 5 เครื่องคัดมะม่วงโดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ (กล้าณรงค์ และคณะ, 2545)

บัณฑิต และกระวี (2551) ได้ทำการวิจัยออกแบบ สร้าง ทดสอบ ประเมินผล เครื่องต้นแบบเครื่องคัดขนาดผลชมพูเชิงการค้า เครื่องที่พัฒนาประกอบด้วย ก) เครื่องป้อนผล ขนาด กว้าง x ยาว x สูง เป็น  $598 \times 1,430 \times 520$  มิลลิเมตร ด้านบนติดตั้งเพลานขนาด 25.4 มิลลิเมตร ทั้งสองข้างเพื่อใช้เลื่อนปรับตำแหน่งของสายพานป้อนผลชมพู ขนาด กว้าง x ยาว เป็น  $100 \times 2,400$  มิลลิเมตร ที่วางตัวอยู่ในแนวนอนขนานกับพื้น สายพานนี้ติดตั้งแผ่นยางสำหรับวางผลชมพู เป็นช่องห่างกัน 80 มิลลิเมตร เท่าๆกัน และถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 0.25 แรงม้า ผ่านชุดทดรอบ อัตราส่วน 40:1 ข) เครื่องคัดขนาดผลชมพู ขนาด กว้าง x ยาว x สูง เป็น  $390 \times 1,510 \times 765$  มิลลิเมตร ติดตั้งสายพานคัดขนาด กว้าง x ยาว เป็น  $100 \times 1,270$  มิลลิเมตร บุด้วยโฟมยางหนา 4 มิลลิเมตร คู่กันและวางตัวในแนวตั้ง เป็นสายพานถ่างสำหรับคัดขนาด ซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 60 วัตต์ ผ่านชุดทดรอบอัตราส่วน 18:1 และได้สายพาน 200 มิลลิเมตร ติดตั้งถาดรับผลชมพูขนาด กว้าง x ยาว เป็น  $600 \times 1,100$  มิลลิเมตร บุด้วย

พองน้ำฉาบผ้าหนา 20 มิลลิเมตร เพื่อไม่ให้ผลชมพูเกิดความเสียหาย และติดตั้งถุงผ้า ปากขนาด 100 มิลลิเมตร เพื่อใช้รับผลชมพูจากเครื่องป้อนผลก่อนลงสู่เครื่องคัดขนาด วิธีการศึกษา ประกอบด้วย การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคัดขนาดของผลชมพู ได้แก่ มุมเอียง และความเร็วของสายพานคัดขนาด ความเร็วสายพานป้อน รูปแบบการวางผลชมพูบนสายพานป้อน ใช้ชมพู 3 พันธุ์ คือ ทูลเกล้า, ทับทิมจันทร์ , และทองสามสี หาความสัมพันธ์ของปัจจัย ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ Duncan Multiple Range Test (DMRT) การทดสอบประเมินผลต้นแบบ พบว่า ความเร็วและมุมเอียงสายพานมีอิทธิพลที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 5% ต่อ สมรรถนะการคัดขนาด, การคัดขนาดผิด ในชมพูทุกพันธุ์ มุมที่เหมาะสมต่อการคัดขนาดชมพูพันธุ์ทูลเกล้า, ทับทิมจันทร์ และทองสามสี คือ 85, 75 และ 80 องศา ตามลำดับ ที่ความเร็วสายพานป้อน และสายพานคัดขนาด 20 เมตร/ นาที การเลือกวางผลชมพูด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด ในชมพูพันธุ์ทูลเกล้า ทับทิมจันทร์ และทองสามสี ได้ค่า สมรรถนะการคัดขนาด และการคัดขนาดผิด เป็น  $179.87 \pm 4.90$  กก./ชม. และ  $09.84 \pm 1.93\%$ ,  $214.22 \pm 8.37$  กก./ชม. และ  $3.16 \pm 1.07\%$ ,  $187.44 \pm 5.69$  กก./ชม. และ  $8.66 \pm 1.80\%$  ตามลำดับ โดยความเสียหายของชมพูไม่แตกต่างจากชมพูชุดควบคุม ที่ไม่มีตำหนิ ใช้คนปฏิบัติงาน 1 คน เมื่อวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่า เมื่อเครื่องทำงานปีละ 1,600 ชั่วโมง อัตราค่าจ้าง 0.30 บาท/กิโลกรัม จะมีจุดคุ้มทุน 21.60 ต้น/ปี และระยะเวลาการคืนทุน 7 เดือน

ปัจจุบันเกษตรกรไทยยังไม่มีเครื่องคัดน้ำหนักรับผลสตรอเบอร์รี่ ยังต้องใช้สายตาคนในการคัดเครื่องคัดน้ำหนักรุ่นอื่นก็ไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงเนื่องจากสตรอเบอร์รี่เป็นผลไม้ที่มีขนาดเล็ก ลักษณะรูปร่างไม่ค่อยกลม บอบช้ำง่าย น้ำหนักแต่ละเกรดใกล้เคียงกัน การออกแบบและพัฒนาจึงต้องมีความประณีต ใช้วัสดุลำเลียงที่ยืดหยุ่นกันแรงกระแทกได้ดี โดยจะนำหลักการทำงานของเครื่องคัดขนาดโดยน้ำหนักรับมาใช้ จะใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักทำงานร่วมกับบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งมีสมองกลไฟฟ้าสั่งงานควบคุมการคัดแยกน้ำหนักรับแบบอัตโนมัติ

### วัตถุประสงค์

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสตรอเบอร์รี่ด้วยเครื่องจักรกลทดแทนแรงงานคน

### ระเบียบวิธีการวิจัย

#### - สิ่งที่ใช้ในการทดลอง

1. ต้นแบบเครื่องคัดน้ำหนักรับผลสตรอเบอร์รี่
2. ผลสตรอเบอร์รี่สด
3. ตะกร้าใส่ผลสตรอเบอร์รี่

4. เครื่องชั่งน้ำหนัก

5. นาฬิกาจับเวลา

#### - วิธีการดำเนินการ

- 1) สํารวจเก็บข้อมูลพื้นฐานและศึกษาวิธีปฏิบัติของเกษตรกร
- 2) ศึกษาเครื่องคัดขนาดผลไม้ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน วิเคราะห์ข้อมูลและหาแนวทางพัฒนาเครื่อง
- 3) ออกแบบระบบสั่งการทำงานอัตโนมัติของกลไกเครื่องต้นแบบ
- 4) ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่อง
- 5) ปรับปรุงพัฒนาเครื่องต้นแบบให้เครื่องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 6) ทดสอบการใช้งานเครื่องต้นแบบ โดยทดสอบเก็บข้อมูล ความสามารถของเครื่อง ประสิทธิภาพในการทำงาน และความแม่นยำของเครื่องต้นแบบ
- 7) วิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปผล

- สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่

แปลงและโรงคัดของเกษตรกรที่ปลูกสตรอเบอร์รี่ ในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเชียงราย

#### ผลการวิจัย

##### 1) สํารวจเก็บข้อมูลพื้นฐานและศึกษาวิธีปฏิบัติของเกษตรกร

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

จากการสำรวจตลาดรับซื้อและขายสตอเบอร์รี่ผลสดใน ต.บ่อแก้ว อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ พบวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในการคัดแยกสีและขนาดผลสดของสตอเบอร์รี่ ดังแสดงในภาพที่ 6 เกษตรกรมีการคัดแยกสีและขนาดผลของสตอเบอร์รี่ด้วยแรงงานคนโดยการใช้มือและสายตา ในการคัดแยกขนาดผลจากใหญ่ไปเล็ก จะแบ่งออกเป็นเกรดได้ 7 เกรด และมีการคัดแยกผลสุกสีแดงสวยออกเป็นเกรดสุดท้าย ดังนี้คือ 1) เกรดพิเศษ 2) เกรดจัมโบ้ 3) เกรดใหญ่ 4) เกรดกลาง 5) เกรดเล็ก 6) เกรดจิ๋ว 7) เกรดจิ๋วสุด และ 8) เกรดแดงสวย



ภาพที่ 6 การใช้แรงงานคนโดยใช้มือและสายตาคัดแยกขนาดผลสดสตอเบอร์รี่

จากการศึกษาลักษณะกายภาพของผลสดสตอเบอร์รี่สดพันธุ์พระราชทาน 80 และหาความสัมพันธ์ของขนาดรูปทรงผลที่มีผลต่อน้ำหนักผล โดยศึกษาขนาดและน้ำหนักผลของสตอเบอร์รี่จากตลาดทั่วไป ดังกล่าว 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 ตามลำดับจากเกรดจิ๋วสุด ถึงเกรดพิเศษ ขนาดด้านกว้าง มีค่าเฉลี่ย แปรตามค่าที่เพิ่มขึ้นตามระดับชั้นของน้ำหนักผลค่าเฉลี่ย จากน้อยไปหามาก โดยค่าขนาดด้านกว้างที่สูงสุดในแต่ละเกรด คือ 23.49, 26.51, 28.80, 31.33, 34.27, 34.89, และ 44.34 มิลลิเมตร ตามลำดับจากเกรดจิ๋วสุด ถึงเกรดพิเศษ

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ค่าขนาดและค่าน้ำหนักผลที่วัดได้ จากระดับเกรดจิ๋วสุด ถึงเกรดพิเศษ

	น้ำหนักผล	ขนาด ด้านกว้าง
--	-----------	----------------

ลำดับ เกรด	ค่าเฉลี่ย (กรัม)	ค่าสูงสุด (กรัม)	ค่า ต่ำสุด (กรัม)	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
จิ๋ว	6.60	8.71	4.73	0.78	23.29	26.51	19.77	1.20
จิ๋วสุด	4.21	6.50	2.85	0.69	19.32	23.49	16.57	1.38

การคัดแยกขนาดผลสตรอเบอร์รี่ในตลาดมาตรฐาน มีเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดยมูลนิธิโครงการหลวง แบ่งเป็นเกรดโดยน้ำหนักผล (มูลนิธิโครงการหลวง, 2556) โดยการคัดแยกขนาดผลสตรอเบอร์รี่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีมาตรฐานเกรดของมูลนิธิโครงการหลวง 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

## 2) ศึกษาเครื่องคัดขนาดผลไม้ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ได้ศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบการทำงานของกลไกการวัดน้ำหนัก พบว่า หลักการคัดน้ำหนักผลที่นิยมใช้กันมี 2 แบบ คือ

### 1. หลักการถ่วงน้ำหนักของผลไม้ที่จะคัดน้ำหนัก

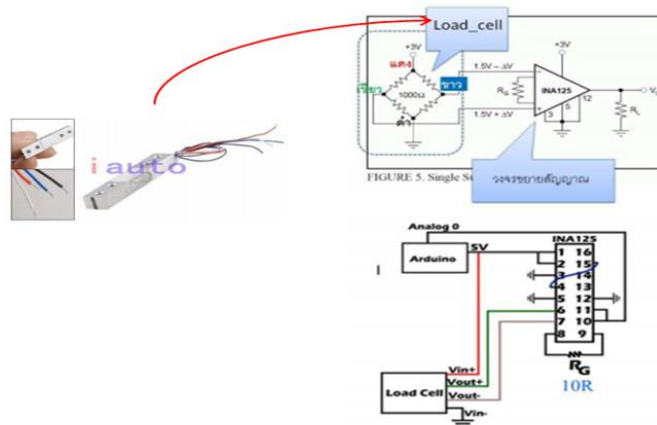
เครื่องคัดน้ำหนักแบบใช้หลักการถ่วงน้ำหนัก มีกลไกการถ่วงน้ำหนัก เหมือนตาชั่งแบบถ่วงดุล ด้วยตุ้มน้ำหนักซึ่งตั้งเกณฑ์ไว้ ทำงานทางกลด้วยคานและลูกตุ้มน้ำหนัก ไม่เป็นสัญญาณไฟฟ้า และไม่สามารถส่งควบคุมเครื่องมืออื่น ๆ ให้ทำงานระบบอัตโนมัติได้



ภาพที่ 7 การคัดน้ำหนักแบบใช้หลักการถ่วงน้ำหนัก

### 2. หลักการเซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก (load cell) และการประยุกต์ใช้ร่วมกับบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ

เครื่องคัดน้ำหนักแบบใช้หลักการเซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก มีอุปกรณ์เซ็นเซอร์ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ตรวจวัด ตรวจจับสัญญาณ หรือปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น อุณหภูมิ, แสง, แรงกดหรือแรงดึง ฯลฯ แล้วแปลงค่าเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าออกมา ซึ่งตัวเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักโดยใช้โหลดเซลล์นี้ จะส่งค่าที่เป็นสัญญาณไฟฟ้า ทำให้สะดวกรวดเร็วในการส่งควบคุมเครื่องมืออื่น ๆ ให้ทำงานแบบอัตโนมัติได้โดยตรงเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 8 จึงเลือกนำมาเป็นเกณฑ์พิจารณาแนวทางออกแบบการทำงานแบบอัตโนมัติของเครื่องต้นแบบในงานวิจัยนี้

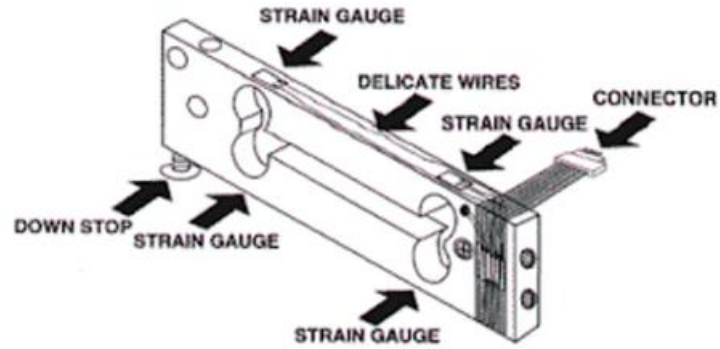


ภาพที่ 8 การคัดน้ำหนักแบบใช้หลักการเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักด้วยโหลดเซลล์ (load cell)

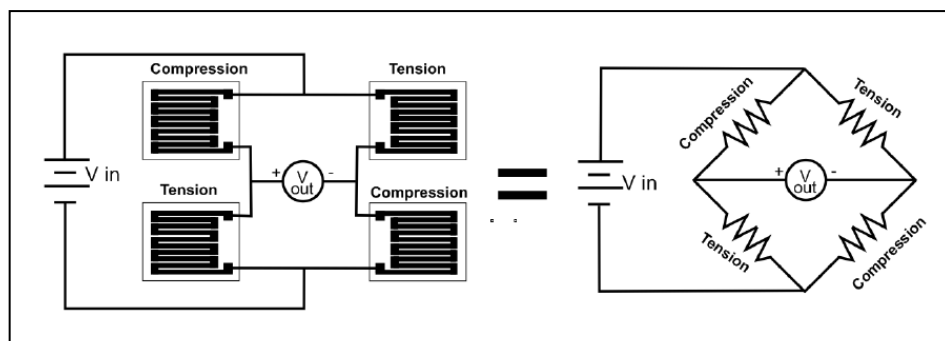
### 3) ศึกษาออกแบบระบบสั่งการทำงานอัตโนมัติของกลไกต้นแบบเครื่อง

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

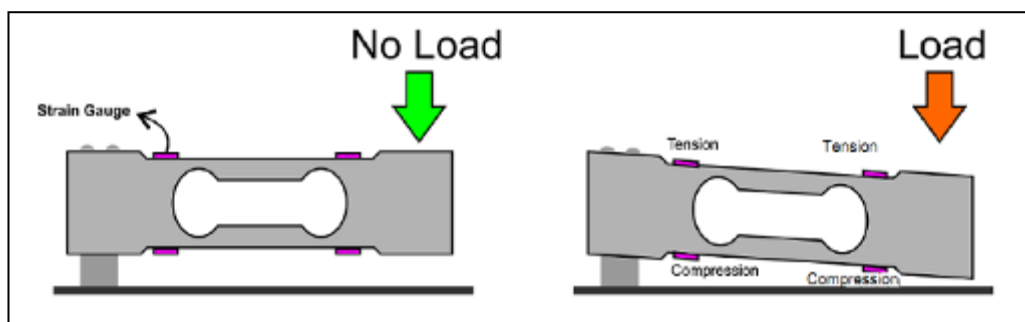
1. โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain gauge load cell) เป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดน้ำหนัก สามารถแปลงค่าแรงกด หรือแรงดึง เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยใช้เกจตัวต้านทาน (strain gauge) จำนวน 4 ตัว ติดไว้บนโหลดเซลล์ รูปทรงแบบ straight bar ดังแสดงในภาพที่ 9 แล้วถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันในลักษณะของวงจร Wheatstone Bridge Circuit ดังแสดงในภาพที่ 10 เมื่อมีแรงมากระทำกับตัวโหลดเซลล์ จะทำให้สเตรนเกจ ที่ติดอยู่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปทรง หดหรือยืด ตัว ทำให้ค่าความต้านทานที่ตัวสเตรนเกจเปลี่ยนไป ดังแสดงในภาพที่ 11 คือ ในจุดที่สเตรนเกจได้รับแรงกด (compression) จะทำให้สเตรนเกจ หดตัวเข้าหากัน และในจุดที่ได้รับแรงดึง (tension) จะทำให้สเตรนเกจ ถูกยืดออก จึงทำให้ค่าความต้านทานที่ตัวสเตรนเกจเปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 9 แสดงโหลดเซลแบบสเตรนเกจ



ภาพที่ 10 แสดงสเตรนเกจ ทั้ง 4 ตัว ถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันในลักษณะของ วงจร Wheatstone Bridge Circuit



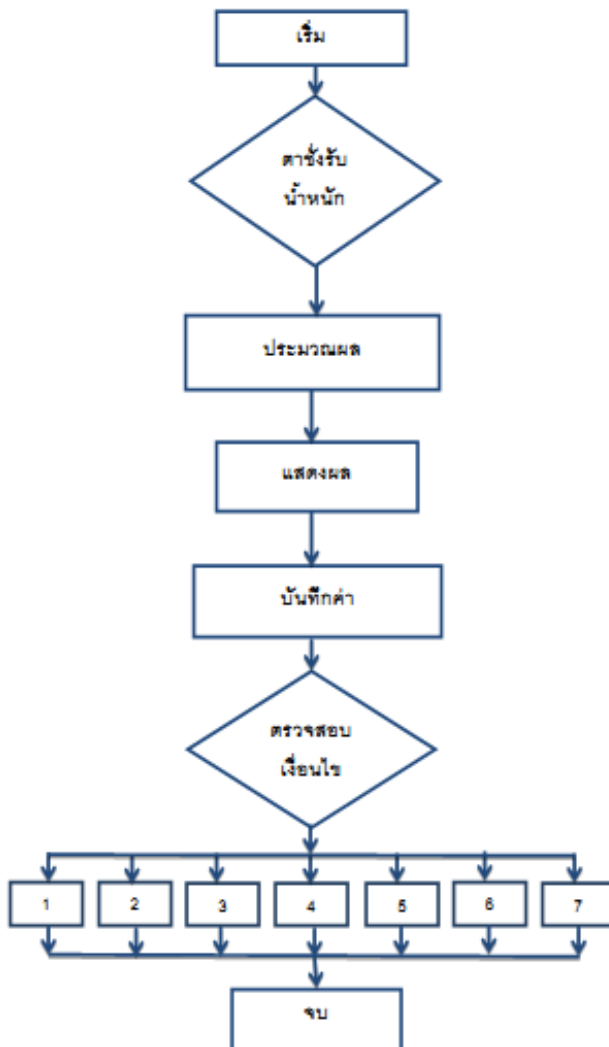
ภาพที่ 11 ในจุดที่ได้รับแรงกด (compression) จะทำให้สเตรนเกจหดตัวเข้าหากัน และในจุดที่ได้รับแรงดึง (tension) จะทำให้สเตรนเกจถกยืดออก ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานของสเตรนเกจเปลี่ยนแปลงไป



2. บอร์ดควบคุมอัตโนมัติ (Arduino board) เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ที่ open-source platform (เปิดเผยแบบแปลนในการผลิต) ที่ง่ายต่อการใช้งาน ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้ ก) ส่วนที่เป็น Hardware คือ บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยบอร์ด Arduino ก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดตัวบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขา รับส่งสัญญาณ, แรงดันไฟฟ้าที่ใช้, ประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น ข) ส่วนที่เป็น Software ได้แก่ ภาษา Arduino ซึ่งเป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม MCU, มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษา C/C++ และ Arduino IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Arduino, คอมไพล์โปรแกรม (Compile) และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด (Upload)

### 3. วางแผนขั้นตอนสั่งการควบคุมอัตโนมัติของบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ

เมื่อผลสตรอบอร์รี่ถูกส่งมาซึ่งน้ำหนัก ที่ส่วนของเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักโดยใช้โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ โหลดเซลล์จะส่งผลแสดงค่าน้ำหนักไปที่โปรแกรมที่เขียนลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) บอร์ดจะทำการประมวลผล แล้วสั่งการอัตโนมัติให้ชุดจ่ายคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก หมุนไปยังช่องที่กำหนด การทำงานจะทำวนอยู่ตลอด จนกว่าจะทำการหยุดเครื่อง



ภาพที่ 12 แผนผังขั้นตอนสั่งการควบคุมอัตโนมัติของบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ

#### 4) ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

ทำการออกแบบสร้างกลไกเครื่องคัตน้ำหนักรถบรรทุกผลสตรอเบอร์รี่เบื้องต้น โดยเครื่องมีส่วนประกอบ ดังนี้

1. ชุดกลไกป้อนผลแบบจานหมุน ใช้มอเตอร์เกียร์ปรับรอบหมุนได้
2. ชุดเซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนักผล ใช้โหลดเซลล์ชั่งน้ำหนักผล
3. ชุดจ่ายคัตแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก ใช้สเต็มมอเตอร์ขับเคลื่อน
4. ชุดบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ

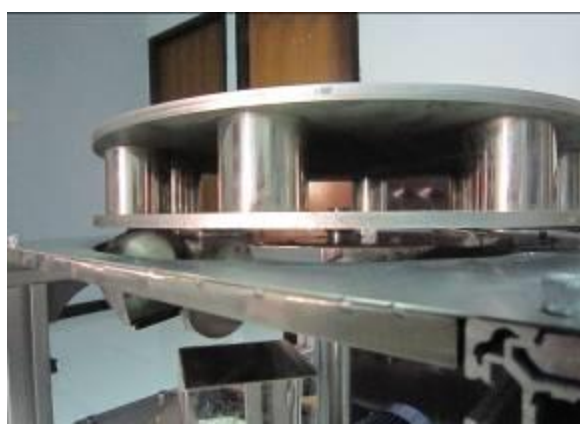
ส่วนประกอบและลักษณะเครื่องคัดน้ำหนักรวมผลสตรอเบอร์รี่ต้นแบบ มีรายละเอียดคือ

- สัดส่วนขนาด กว้าง x ยาว x สูง = 500 x 800 x 870 มิลลิเมตร



ภาพที่ 13 ต้นแบบเครื่องคัดน้ำหนักรวมผลสตรอเบอร์รี่เบื้องต้น

- ชุดกลไกป้อนผลแบบจานหมุน ดังแสดงในภาพที่ 14 ประกอบด้วย
  - จานป้อนผลสตรอเบอร์รี่ เป็นวงล้อแนวอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 มิลลิเมตร ขอบสูง 68 มิลลิเมตร มีหลุมรูปกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร จำนวน 8 หลุม วางอยู่รอบแนวรัศมี ใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์เกียร์ทด 1: 60 ขนาด 0.25 แรงม้า ชนิด 3 เฟส 220 โวลต์ และใช้อินเวอร์เตอร์ ชนิด 1 เฟส 220 โวลต์ มาควบคุมมอเตอร์ให้ปรับรอบหมุนได้



ภาพที่ 14 กลไกป้อนผลแบบจานหมุน

- ชุดเซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนักผล ดังแสดงในภาพที่ 15 ประกอบด้วย  
 แท่นชั่งน้ำหนักผล ขนาดปากกรวย 60 x 60 มิลลิเมตร ทางออกเป็นรางกว้าง 60 มิลลิเมตรพับ  
 ขอบสูง 80 มิลลิเมตร วางเอียงเป็นมุม 45 องศา ยึดติดกับโพลตเซล ขนาดพิกัด 1 Kg , สัญญาณ rated  
 output  $1.0 \pm 0.15$  mv/V ใช้แผงวงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า ADC ยี่ห้อ AVIA รุ่น HX 711 และมีแผง  
 หน้าปัดจอ LCD แสดงผลเป็นเลขดิจิตอล ใช้สแต็ปมอเตอร์ ควบคุมการเปิด-ปิด ลื่นปล่อยผลออกจากแท่น  
 กรวยชั่งน้ำหนักเข้าสู่ท่อจ่ายคัดแยก



ภาพที่ 15 เซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนักผล

- ชุดจ่ายคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 16 ประกอบด้วย  
 ท่อจ่าย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76 มิลลิเมตร ยาว 320 มิลลิเมตร วางเอียงเป็นมุม 45 องศา ใช้  
 เซอร์โวมอเตอร์ ขับเคลื่อนตำแหน่งเป็นองศา



ภาพที่ 16 ท่อจ่ายคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก

- ชุดบอร์ดควบคุมระบบอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 17 ประกอบด้วย

บอร์ด Arduino รุ่น Uno-R3 เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นสมองกลไฟฟ้าสั่งการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ของเครื่องต้นแบบ โดยนำมาติดตั้งไว้ในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหลัก ทำการเชื่อมสายสัญญาณ ต่อกับแผงวงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า ADC ของโหลดเซลล์ ต่อกับแผงวงจร stepper motor driver board ของสเต็ปมอเตอร์ ต่อกับแผงหน้าปัดจอ LCD แสดงผลเลขดิจิตอล และต่อกับเซอร์โวมอเตอร์

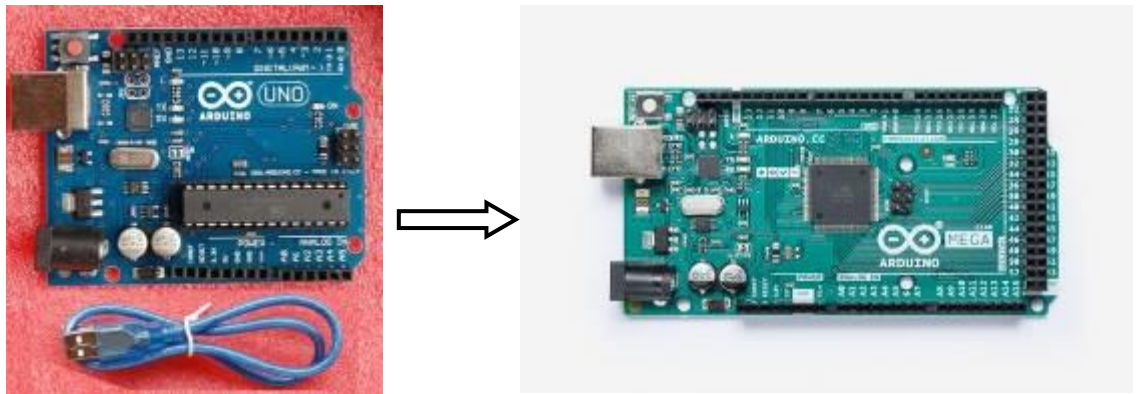


ภาพที่ 17 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหลักที่ติดตั้งบอร์ดควบคุมระบบอัตโนมัติ

#### 5) ปรับปรุงพัฒนาเครื่องต้นแบบให้เครื่องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

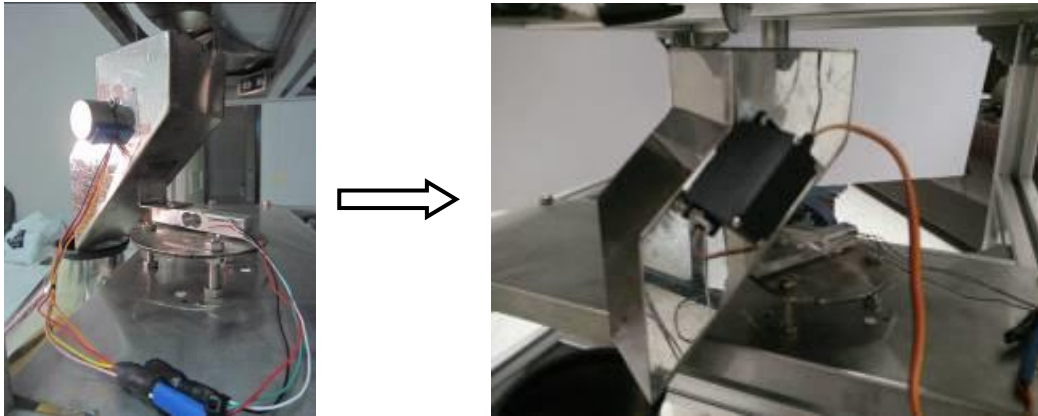
1) ได้ปรับปรุงระบบการทำงานของกลไกการคั่นน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ ดังนี้ คือ

1.1) ปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ โดยเปลี่ยนบอร์ด Arduino จากเดิม รุ่น Uno-R3 มาเป็น รุ่น Mega 2560 ซึ่งมีหน่วยความจำสูงขึ้น ทำให้เก็บคำสั่งต่างๆ ได้จำนวนมากขึ้น และส่งประมวลผลได้รวดเร็วขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 18



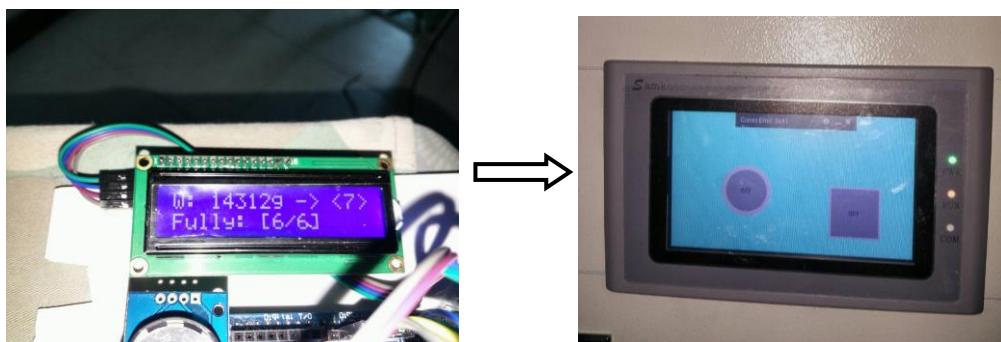
ภาพที่ 18 เพิ่มประสิทธิภาพบอร์ด Arduino  
โดยเปลี่ยนบอร์ดจากเดิม รุ่น Uno-R3 มาเป็นรุ่น Mega 2560

1.2) ปรับปรุงชุดเซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนัก โดยเปลี่ยนมอเตอร์ควบคุมลิ้นการเปิด-ปิด การปล่อยผลออกจากแท่นชั่งน้ำหนักลงสู่ท่อจ่ายคัดแยก จากเดิมใช้สแต็ปมอเตอร์ มาเป็นเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งการขับเคลื่อนตำแหน่งเป็นองศาแม่นยำและรวดเร็วกว่า ดังแสดงในภาพที่ 19



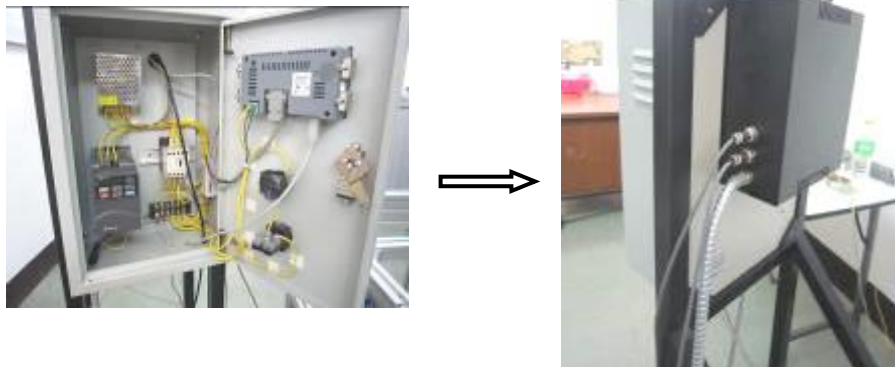
ภาพที่ 19 ปรับปรุงชุดเซ็นเซอร์ซึ่งน้ำหนัก  
โดยเปลี่ยนจากเดิม สเต็ปมอเตอร์ มาเป็น เซอร์โวมอเตอร์

1.3) ปรับปรุงระบบจอแสดงผล โดยเปลี่ยนแผงหน้าปัดแสดงผล จากเดิมเป็น จอ LCD ธรรมดา แสดงผลได้เพียงค่าเดียว ไม่เกิน 16 ตัวอักษร จำนวน 2 บรรทัด มาเป็นจอแบบสัมผัส ซึ่งแสดงผลจำนวน ตัวอักษรได้มากกว่า ดังแสดงในภาพที่ 20



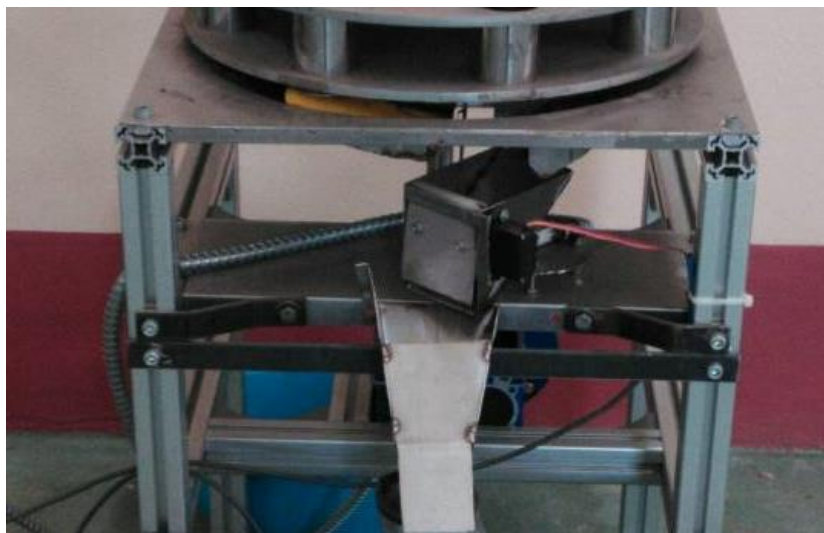
ภาพที่ 20 เพิ่มประสิทธิภาพการแสดงผล โดยเปลี่ยนจอ LCD ธรรมดา มาเป็นแบบจอสัมผัส

1.4) ปรับปรุงแก้ไขปัญหาสัญญาณไฟฟ้ารบกวนจากอินเวอร์เตอร์เข้าบอร์ด Arduino Mega 2560 ที่อยู่ในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหลัก โดยย้ายตัวบอร์ด Arduino Mega 2560 และแผงวงจรขยาย สัญญาณไฟฟ้า ADC ของโหลดเซลล์ ออกมาติดตั้งในตู้อีกใบต่างหาก เพื่อแก้ไขปัญหาสัญญาณไฟฟ้ารบกวน ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 แก้ไขปัญหาสัญญาณไฟฟ้ารบกวน  
โดยย้ายบอร์ด Arduino และแผงวงจรขยายไฟฟ้า ADC มาติดตั้งในตู้อีก 1 ใบ

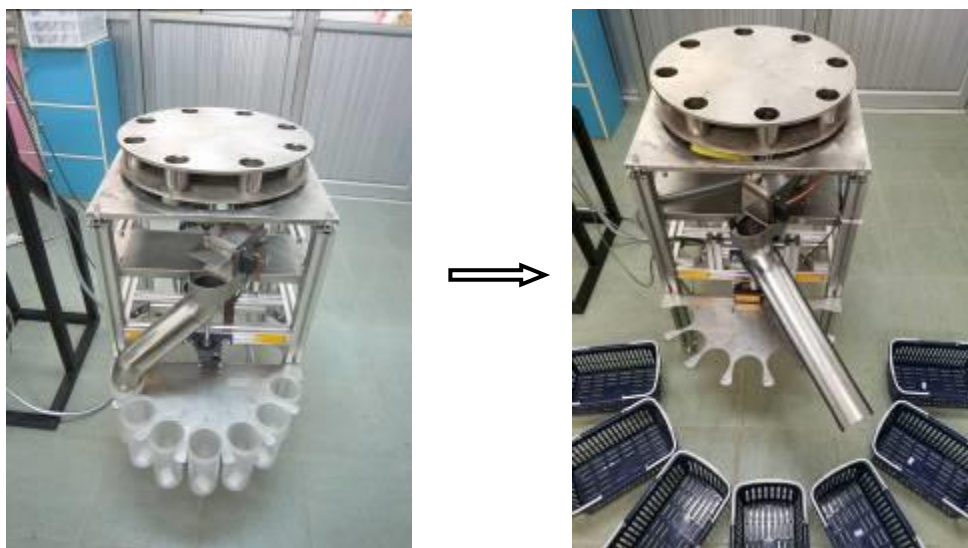
1.5) จากการทดสอบใช้งานเบื้องต้นพบปัญหาการสั่นสะเทือนของชุดเซ็นเซอร์ซึ่งน้ำหนัก ทำให้การอ่านค่าคลาดเคลื่อน จึงได้เสริมเหล็กยึดชุดเซ็นเซอร์ซึ่งน้ำหนักกับโครงสร้างเครื่องเพิ่มเติม ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 แก้ไขปัญหาการสั่นสะเทือนของชุดเซ็นเซอร์ซึ่งน้ำหนักโดยเสริมเหล็กยึดชุดเซ็นเซอร์ซึ่งน้ำหนักกับโครงสร้างเครื่องเพิ่มเติม



1.6) ปรับปรุงแก้ไขปัญหาการจ่ายผลสตรอเบอร์รี่ ซึ่งจ่ายเคลื่อนจากกึ่งกลางช่องรับคัดแยกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76 มิลลิเมตร แบบชุดกระป๋อง 7 ใบ โดยแก้ไขเปลี่ยนท่อจ่าย จากเดิมแบบท่อกลมขนาด 76 มิลลิเมตร ยาว 320 มิลลิเมตร เป็นรางเปิดครึ่งวงกลมขนาด 76 มิลลิเมตร ยาว 430 มิลลิเมตร จ่ายลงช่องคัดแยกให้มีพื้นที่กว้างขึ้นและใช้ตะกร้า 7 ใบรองรับ ดังแสดงในภาพที่ 23

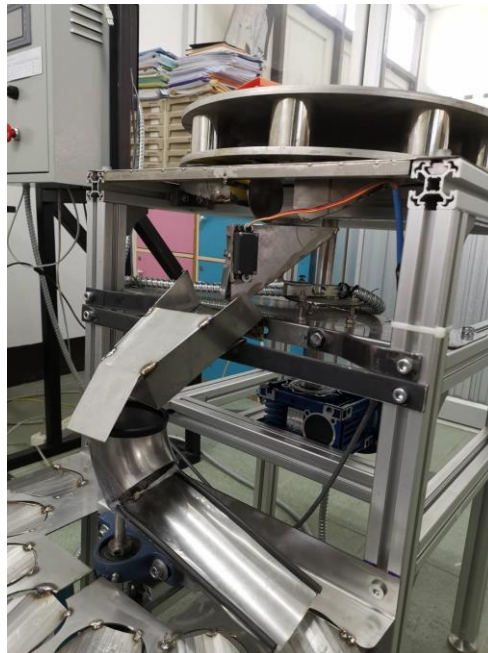


ภาพที่ 23 แก้ไขปัญหาการจ่ายผลสตรอเบอร์รี่  
โดยเปลี่ยนท่อจ่ายเป็นรางเปิด และเปลี่ยนช่องรับแบบกระป๋อง 7 ใบ เป็นตะกร้า 7 ใบ

1.7) ปรับปรุงช่องรับ โดยติดตั้งรางจ่อตรงลงในแต่ละตะกร้า ดังแสดงในภาพที่ 24 และปรับปรุงแก้ไขท่อจ่ายโดยเปลี่ยนเป็นรางสั้นลง และติดตั้งปากทางลง ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 24 ปรับปรุงช่องรับ โดยเพิ่มรางจ่อตรงลงในแต่ละตะกร้าทั้ง 7 ใบ



ภาพที่ 25 ปรับปรุงแก้ไขท่อจ่ายใหม่ โดยเปลี่ยนเป็นรางสั้นลงและติดตั้งปากทางลง

2) ได้ทดสอบการทำงานตามโปรแกรมคำสั่งการคัดแยกตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด ของบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ โดยมีกระบวนการในการประมวลผลคำสั่ง ดังแสดงในภาพที่ 26 ตามขั้นตอนดังนี้ คือ

1. เมื่อผลสตรอบเบอร์รี่ถูกส่งมาซึ่งน้ำหนัก ที่ส่วนของเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักโดยใช้โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ โหลดเซลล์จะส่งสัญญาณผลค่าน้ำหนักเข้าสู่บอร์ด Arduino Mega 2560

2. หน่วยประมวลผลในบอร์ด Arduino Mega 2560 จะทำการประมวลผล ตามโปรแกรมคำสั่งการคัดแยกแบบตั้งเงื่อนไข ตรวจสอบตามเกณฑ์น้ำหนักที่กำหนดไว้ 7 เกรดตามลำดับ หากเงื่อนไขใดไม่ใช้ก็จะข้ามสู่เงื่อนไขต่อไปตามลำดับ โดยการทำงานจะทำวนอยู่ตลอด จนกว่าจะทำการหยุดเครื่อง ดังนี้คือ

- 2.1 ถ้าค่าน้ำหนัก มากกว่า หรือ = 35 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 7 และสั่ง servo motor 1 เปิดลิ้นกั้นปล่อยผลสตรอบเบอร์รี่ออกจากแท่นซึ่ง

2.2 ถ้าค่าน้ำหนัก = 25 ถึง 34.9 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 6 และสั่ง servo motor 1 เปิดลิ้นกั้นปล่อยผลสตรอบอร์รี่ออกจากแท่นชั่ง

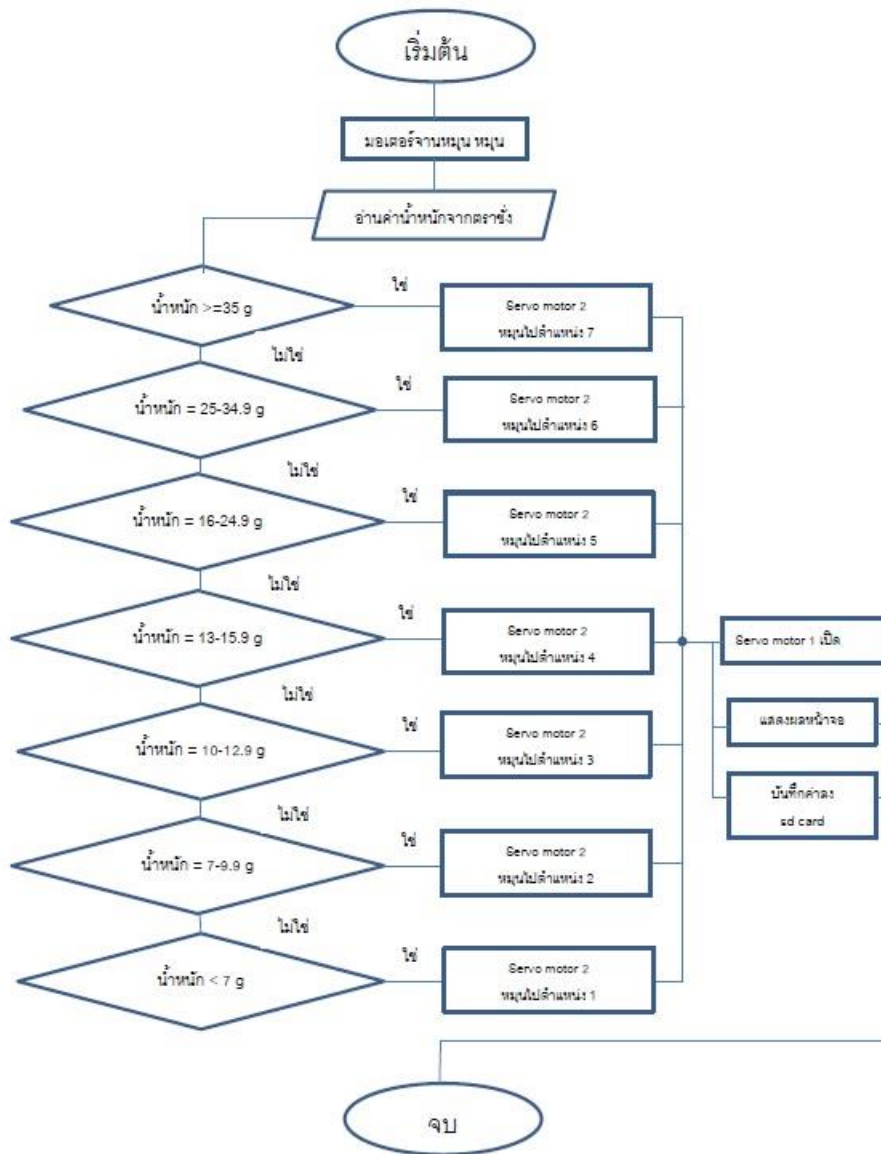
2.3 ถ้าค่าน้ำหนัก = 16 ถึง 24.9 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 5 และสั่ง servo motor 1 เปิดลิ้นกั้นปล่อยผลสตรอบอร์รี่ออกจากแท่นชั่ง

2.4 ถ้าค่าน้ำหนัก = 13 ถึง 15.9 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 4 และสั่ง servo motor 1 เปิดลิ้นกั้นปล่อยผลสตรอบอร์รี่ออกจากแท่นชั่ง

2.5 ถ้าค่าน้ำหนัก = 10 ถึง 12.9 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 3 และสั่ง servo motor 1 เปิดลิ้นกั้นปล่อยผลสตรอบอร์รี่ออกจากแท่นชั่ง

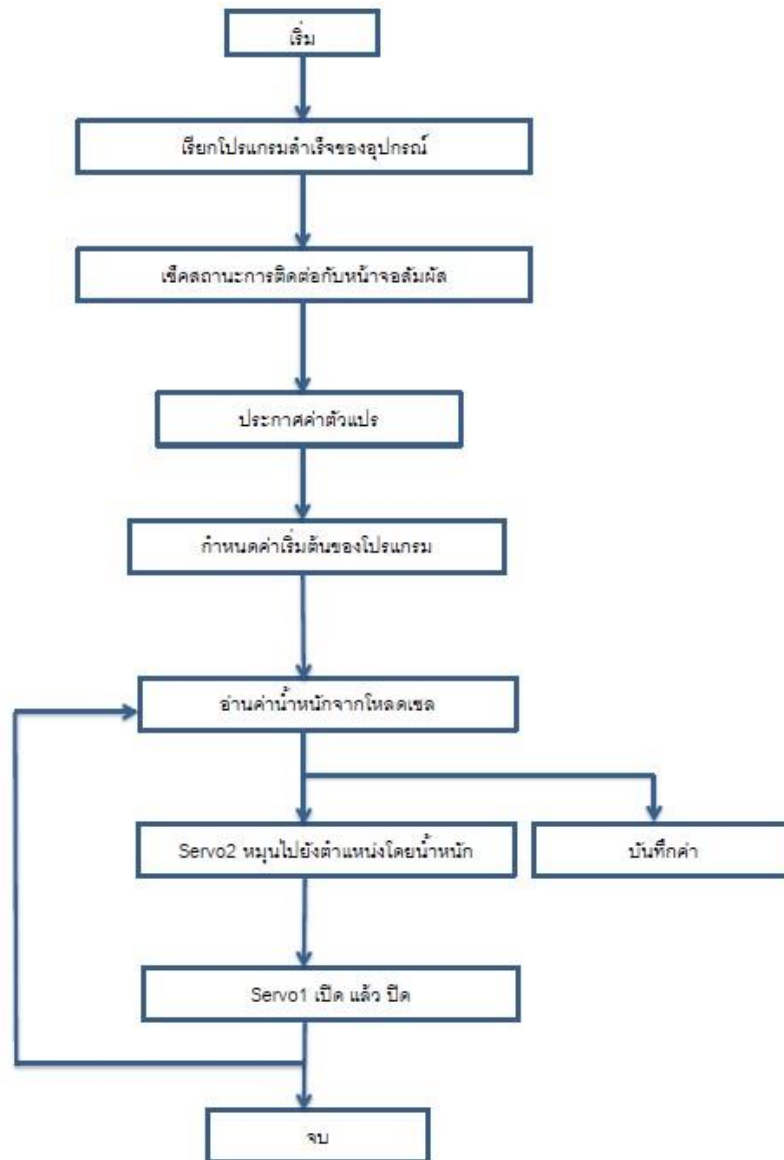
2.6 ถ้าค่าน้ำหนัก = 7 ถึง 9.9 กรัม จะสั่ง servo motor 2 ของท่อจ่าย หมุนไปยังตำแหน่งที่ 2 และสั่ง servo motor 1 เปิดลิ้นกั้นปล่อยผลสตรอบอร์รี่ออกจากแท่นชั่ง

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



ภาพที่ 26 แผนผังกระบวนการประมวลผลคำสั่งการคัดแยกตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด

## 2.1) แผนผังโปรแกรมการทำงานของเครื่องต้นแบบ



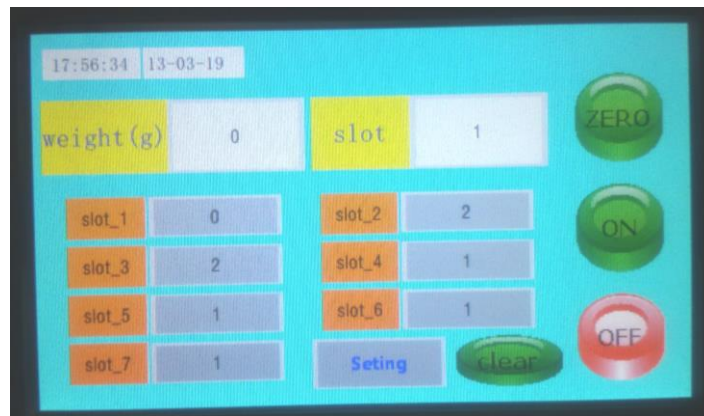
ภาพที่ 27 แผนผังโปรแกรมการทำงานของเครื่องต้นแบบ

## 2.2) โปรแกรมการทำงาน

ใช้ภาษา arduino สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) รายละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก

3) รายละเอียดเมนูฟังก์ชันแสดงผลทางหน้าจอแบบจอสัมผัส

3.1) เมนูหน้าจอหลัก ดังแสดงในภาพที่ 28 รายละเอียดที่หน้าจอ มีดังนี้



ภาพที่ 28 แสดงเมนูหน้าจอหลักของจอสัมผัส

3.1.1) ON เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อเดินเครื่อง

3.1.2) OFF เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อหยุดเครื่อง

3.1.3) ZERO เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อปรับค่าน้ำหนักเริ่มต้นของแท่นกรวยซึ่งน้ำหนักให้ = 0

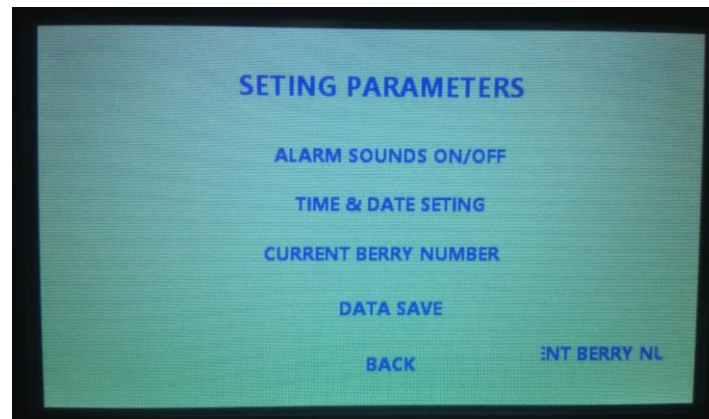
3.1.4) แถบแสดงเวลา และ แถบแสดงวัน-เดือน-ปี

3.1.5) Weight เป็นแสดงน้ำหนักหน่วยกรัม และ เลขช่อง slot เป็นแสดงผลการคัดแยก น้ำหนักจัดลง 7 Slot ตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด

3.1.6) Slot 1 ถึง 7 เป็นแสดงจำนวนผล ที่นับได้ในแต่ละ slot

3.1.7) Setting เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อเข้าไปตั้งค่าพารามิเตอร์อื่นๆ

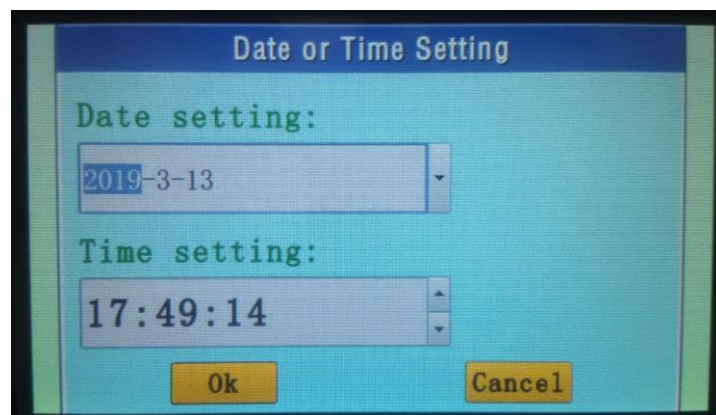
3.2) เมนู SETTING PARAMETERS มีรายละเอียดที่หน้าจอ ดังนี้ คือ



ภาพที่ 29 แสดงเมนู SETTING PARAMETERS

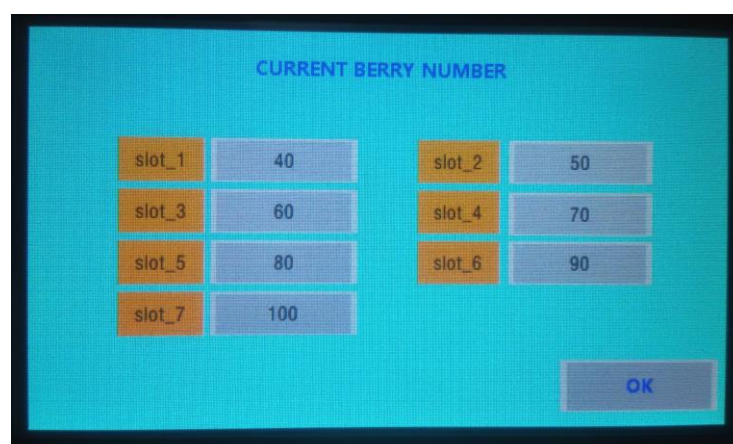
3.2.1) ALARM SOUNDS ON/OFF เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อ เปิด-ปิด เสียงเตือน

3.2.2) TIME & DATE SETING เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อเข้าไปปรับเปลี่ยนตั้งค่าเวลา และ วัน-เดือน-ปี ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 แสดงฟังก์ชันในเมนู Date or Time Setting

3.2.3) CURRENT BERRY NUMBER เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อเข้าไปปรับเปลี่ยนตั้งค่า จำนวนผล สูงสุดที่ต้องการให้แจ้งเตือน ในแต่ละ slot ดังแสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 แสดงฟังก์ชันในเมนู CURRENT BERRY NUMBER

3.2.4) DATA SAVE เป็นปุ่มฟังก์ชัน เพื่อเข้าไปเลือกทำการ Save to USB, Delete, หรือ Home เพื่อกลับสู่เมนูหลัก ดังแสดงในภาพที่ 32

	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

ภาพที่ 32 แสดงฟังก์ชันในเมนู DATA SAVE

## 6. ทดสอบการใช้งานเครื่องต้นแบบ

1) ทดสอบการป้อนผลที่เหมาะสมสัมพันธ์กับการทำงานเปิด-ปิดลิ้นปล่อยผลจากแท่นซึ่งน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลทดสอบหาอัตราการป้อนผล

ความถี่กระแส (Hz)	ความเร็วเชิงเส้นถาดป้อน (เมตร/วินาที)	จำนวนป้อน (ผล)	เวลาการป้อน (วินาที)	อัตราการป้อน (ผล/ชั่วโมง)
9	0.072	8	17	1,694
10	0.082	8	15	1,920
11	0.088	8	14	2,057
12	0.094	8	13	2,215

จากการทดสอบหาอัตราการป้อนผลสตรอเบอร์รี่ของเครื่องต้นแบบได้อัตราการป้อนที่มากที่สุด 2,215 ผล/ชั่วโมง ที่ความเร็วเชิงเส้น 0.094 เมตร/วินาที โดยการปรับความถี่กระแสที่ 12 Hz แต่การป้อนผลไม่สัมพันธ์กับการเปิด-ปิดลิ้น ทำงานไม่ทันกัน

ทดสอบหาประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก



ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนักที่ระดับความเร็วรอบงานป้อน 3 ระดับ คือ 0.072, 0.082 และ 0.088 เมตร/วินาที คัดแยกน้ำหนักตามเกณฑ์น้ำหนัก 7 เกรด โดยทำการทดสอบครั้งละ 70 ผล จำนวน 3 ซ้ำ



ภาพที่ 33 ทดสอบเครื่องต้นแบบเพื่อการคัดแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก 7 เกรด

ผลทดสอบต้นแบบเครื่องคัดน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่เพื่อหาประสิทธิภาพการคัดแยกโดยน้ำหนักที่ความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.072 เมตร/วินาที ดังตารางที่ 5 มีอัตราการป้อน 1,694 ผล/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ย 100% ที่ความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.082 เมตร/วินาที ดังตารางที่ 6 มีอัตราการป้อน 1,920 ผล/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ย 100% เช่นกัน และที่ความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.088 เมตร/วินาที ดังตารางที่ 7 มีอัตราการป้อน 2,057 ผล/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ย 94.76%

ตารางที่ 5 ผลทดสอบเครื่องที่ความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.072 เมตร/วินาที

ซ้ำ	คัดถูกต้อง (ผล)	คัดผิดพลาด (ผล)	ประสิทธิภาพ (%)
1	70	-	100.00
2	70	-	100.00
3	70	-	100.00
ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย			100.00

ตารางที่ 6 ผลทดสอบเครื่องที่ความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.082 เมตร/วินาที

ซ้ำ	คัดถูกต้อง (ผล)	คัดผิดพลาด (ผล)	ประสิทธิภาพ (%)
1	70	-	100.00
2	70	-	100.00
3	70	-	100.00
ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย			100.00

ตารางที่ 7 ผลทดสอบเครื่องที่ความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.088 เมตร/วินาที

ซ้ำ	คัดถูกต้อง (ผล)	คัดผิดพลาด (ผล)	ประสิทธิภาพ (%)
1	65	5	92.86
2	69	1	98.57
3	65	5	92.86
ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย			94.76

จากผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.072, 0.082 และ 0.088 เมตร/วินาที ที่ระดับความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.082 เมตร/วินาที ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด มีอัตราการป้อนสูงสุด 1,920 ผล/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการคัดเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ หากเพิ่มความเร็วเชิงเส้นงานป้อนเป็น 0.088 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการคัดแยกลดลงเป็น 94.76%

#### ทดสอบหาค่าความแม่นยำของเครื่องต้นแบบ

ทำการทดสอบหาค่าความแม่นยำ (%Accuracy) = (100-%Error) ของเครื่องต้นแบบที่ความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.082 เมตร/วินาที อัตราการป้อน 1,920 ผล/ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยทำการทดสอบการอ่านค่าน้ำหนัก ที่จัดลง 7 Slot ตามเกณฑ์น้ำหนัก ใช้จำนวน 10 ผลต่อ slot จำนวน 10 ซ้ำ พบว่าค่าความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละเกณฑ์น้ำหนักตามชั้นมาตรฐาน ที่จัดลง 7 slot มีค่า ตั้งแต่ 93.86%, ถึง 99.35% โดยคิดเป็นค่าความแม่นยำเฉลี่ยรวมคือ 97.21%

ตารางที่ 8 ผลวิเคราะห์ทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ (accuracy) เครื่องต้นแบบ

ซ้้า	Slot1: <7 g	Slot2: ≥7 g	Slot3: ≥10 g	Slot4: ≥13 g	Slot5: ≥16 g	Slot6: ≥25 g	Slot7: ≥35 g
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%						

ผลการตรวจเช็คความซ้้าของสตรอเบอร์รี่

ทำการทดสอบเพื่อตรวจเช็คความซ้้าของสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการคัดด้วยเครื่องต้นแบบ  
เปรียบเทียบการคัดด้วยแรงงานคน โดยเก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 34 ตรวจสอบเช็คความชื้นของผลสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการตัดด้วยเครื่องกับการตัดด้วยแรงงานคน

ตารางที่ 9 ผลการตรวจเช็คความชื้นของผลสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการตัดด้วยเครื่องต้นแบบเปรียบเทียบกับ การตัดด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ซ้ำ ซ้ำละ 20 ผล เก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

ซ้ำที่	ตัดด้วยเครื่องต้นแบบ			ตัดด้วยแรงงานคน		
	ซ้ำ (ผล)	ไม่ซ้ำ (ผล)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)	ซ้ำ (ผล)	ไม่ซ้ำ (ผล)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)
1	0	20	0	0	20	0
2	0	20	0	0	20	0
3	0	20	0	0	20	0
4	0	20	0	0	20	0
5	0	20	0	0	20	0
<b>เฉลี่ย</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>0</b>

ผลตรวจเช็คความชื้นของผลสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการคัมน้ำหนักด้วยเครื่องต้นแบบเปรียบเทียบกับ การตัดด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ซ้ำ ซ้ำละ 20 ผล เก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ผลการตรวจเช็คไม่พบความชื้นของผลสตรอเบอร์รี่ทั้งการตัดด้วยเครื่องต้นแบบและการตัดด้วยแรงงานคน สรุปได้ว่าการคัมน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ด้วยเครื่องต้นแบบและการตัดด้วยแรงงานคนไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องความชื้นของผลสตรอเบอร์รี่ ที่เก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

## 7. วิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปผล

จากผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.072, 0.082 และ 0.088 เมตร/วินาที ที่ระดับความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.082 เมตร/วินาที ให้ผลการทดสอบดีที่สุด มีอัตราการป้อนสูงสุด 1,920 ผล/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการคัมน้ำหนัก 100 เปอร์เซ็นต์ มีความแม่นยำเฉลี่ย 97.21% และไม่พบความชื้นของสตรอเบอร์รี่จากการคัมน้ำหนักด้วยเครื่องต้นแบบเมื่อเก็บไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

อภิปรายผล

จากการทดสอบต้นแบบเครื่องคัตน้ำหนักรวมผลสตรอเบอร์รี่ ที่ระดับความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 3 ระดับ คือ 0.072, 0.082 และ 0.088 เมตร/วินาที ที่ความเร็วเชิงเส้น 0.072 เมตร/วินาที มีอัตราการป้อน 1,694 ผล/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการคัตแยกเฉลี่ย 100% ที่ความเร็วเชิงเส้น 0.082 เมตร/วินาที มีอัตราการป้อน 1,920 ผล/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการคัตแยกเฉลี่ย 100% เช่นกัน และที่ความเร็วเชิงเส้น 0.088 เมตร/วินาที มีอัตราการป้อน 2,057 ผล/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการคัตแยก เฉลี่ยที่ 94.76% ผลการทดสอบเครื่องที่ความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 3 ระดับ ดังกล่าวที่ระดับความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.082 เมตร/วินาที ให้ผลการทดสอบดีที่สุด ซึ่งมีอัตราการป้อน 1,920 ผล/ชั่วโมง ที่ให้ประสิทธิภาพการคัตเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ หากเพิ่มความเร็วเชิงเส้นเป็น 0.088 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการคัตแยกจะลดลงเหลือ 94.76%

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ต้นแบบเครื่องคัตน้ำหนักรวมผลสตรอเบอร์รี่ ทำงานได้กึ่งอัตโนมัติแบบใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก (Load cell) ทำงานร่วมกับบอร์ดควบคุมอัตโนมัติ (Arduino board) มีสมองกลไฟฟ้าสั่งงานควบคุมการคัตแยก น้ำหนักแบบอัตโนมัติ คัตแยกตามเกณฑ์น้ำหนักที่แบ่งออกตามชั้นมาตรฐานเกรดของมูลนิธิโครงการหลวง ใช้คนทำงาน 1 คน ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพการคัตแยกขนาดผลโดยน้ำหนัก ที่ความเร็วเชิงเส้นงานป้อน 0.072, 0.082 และ 0.088 เมตร/วินาที ผลการทดสอบพบว่าที่ความเร็วเชิงเส้น 0.082 เมตร/วินาที ให้ผลการทดสอบดีที่สุด มีอัตราการป้อนผล 1,920 ผล/ชั่วโมง ประสิทธิภาพการคัตเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ ความแม่นยำเฉลี่ย 97.21% โดยเครื่องดังกล่าวมีราคาประมาณ 60,000 บาท จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 30,301.20 กิโลกรัม/ปี ระยะเวลาคืนทุน 1.4 ปี ซึ่งเครื่องจะช่วยแก้ไขปัญหาการขาดแคลนแรงงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการคัตน้ำหนักรวมผลสตรอเบอร์รี่ของเกษตรกรและโรงคัตบรรจุผลสตรอเบอร์รี่

### บรรณานุกรม

- กล้าณรงค์ ศิลานาม ณรงค์ศักดิ์ แสนละมุล สาธิต นิลโย และวีระชัย แก่นทรัพย์. 2545. เครื่องคัดผลมะม่วง. สืบค้นจาก: <http://www.kmutt.ac.th/rippc/best35.htm>. [10 มิถุนายน 2559]
- ชูรัตน์ ธารารักษ์. 2537. การออกแบบและการพัฒนาเครื่องคัดผลมะม่วงโดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์. สืบค้นจาก: [http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research\\_id=wf251](http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=wf251). [13 มิถุนายน 2559]
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวงค์. 2544. การปลูกสตอเบอรี่. สืบค้นจาก: <http://www.ku.ac.th/e-magazine/january44/agri/strawberry/>. [9 มิถุนายน 2559]
- ไทยโพสต์. 2555. เครื่องคัดขนาดหอยแครงทุนแรงงานคน. สืบค้นจาก: [http://www.foodnetworksolution.com/news\\_and\\_articles/article/0086/เครื่องคัดขนาดหอยแครงทุนแรงงานคน](http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0086/เครื่องคัดขนาดหอยแครงทุนแรงงานคน). [10 มิถุนายน 2559]
- บัณฑิต จริโมภาส และ กระจวี ตรีอำนาจ. 2551. การพัฒนาเครื่องกลคัดขนาดผลชมพู. สืบค้นจาก: <http://www.phtnet.org/download/phtic-research/s1.pdf>. [13 มิถุนายน 2559]
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2559. เครื่องคัดขนาด(Sizer). สืบค้นจาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2353>. [8 มิถุนายน 2559]
- ภูษิต โพธิ์แสง. 2552. เครื่องคัดขนาดไข่. สืบค้นจาก: <http://www.most.go.th/main/index.php/org/114.html>. [14 มิถุนายน 2559]
- มูลนิธิโครงการหลวง. 2556. การปลูกสตอเบอรี่ พันธุ์พระราชทาน 80. สืบค้นจาก: <http://www.issuu.com/hrdi/docs/strawberry-variety80?e=7902068/11909842>. [9 มิถุนายน 2559]
- สรยุทธ อุจจภู. 2555. เครื่องคัดขนาดกึ่งความเที่ยงตรงสูง. สืบค้นจาก: [http://www.foodnetworksolution.com/news\\_and\\_articles/article/0255/](http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0255/). [13 มิถุนายน 2559]

## ภาคผนวก ก

### รายละเอียดโปรแกรมการทำงาน โดยใช้ภาษา arduino สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU)

การเรียกโปรแกรมสำเร็จของอุปกรณ์มาใช้ และเช็คสถานะการติดต่อกับหน้าจอสัมผัส

#### เรียกโปรแกรมสำเร็จมาใช้

```
#include <ModbusRtu.h>
#include <Servo.h>
#include "HX711.h"
```

#### การติดต่อกับหน้าจอสัมผัส

```
Modbus modbus_port;
int16_t modbus_array[60] = {0,0,0,0,0,0,0};
```

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)

```

### การกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม

#### 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

```



### การกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม (ต่อ)

```

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; // alarm when current berry number for bin is full.
modbus_array[29]=0; //Clear when current berry number for bin is full
}

```

### 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);

```

การทำงานของโปรแกรม (ต่อ)

```

36     if(state==0){if(state!=old_state) {old_state=state;}
37     if(modbus_w >1 && motor_run==1){
38     delay_nextstate(300);
39     }
40     }
41     if(state==1)
42     {if(state!=old_state) { old_state=state;} //servo_position();
43     delay_nextstate(300);
44     }
45     if(state==2)
46     { if(state!=old_state) {wieht_checking_door_open(); modbus_array[26]=modbus_w;
47     modbus_array[25]=1; modbus_array[27]=modbus_array[3]; servo_position();
old_state=state;}
48     delay_nextstate(300);
49     }
50     if(state==3)
51     {if(state!=old_state) {wieht_checking_door_close(); old_state=state;}
52     { delay_nextstate(300); }}
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     }

```

การทำงานของโปรแกรม (ต่อ)

```

85     }}
86     void wieht_checking_door_open(){ if (modbus_w >3){ old_modbus_w=berry_w;
door_open; } }
87     void wieht_checking_door_close() { if(modbus_w != old_modbus_w){ door_close; } }
88     void servo_position()
89     { if( modbus_w >= 35 ) { modbus_array[3]= (7); servo_pos7; berry_pos = 7; }
90     else if( modbus_w >= 25 ) { modbus_array[3]= (6); servo_pos6; berry_pos = 6; }
100    else if( modbus_w >= 16 ) { modbus_array[3]= (5); servo_pos5; berry_pos = 5; }
101    else if( modbus_w >= 13 ) { modbus_array[3]= (4); servo_pos4; berry_pos = 4; }
102    else if( modbus_w >= 10 ) { modbus_array[3]= (3); servo_pos3; berry_pos = 3; }
103    else if( modbus_w >= 7 ) { modbus_array[3]= (2); servo_pos2; berry_pos = 2; }
104    else if( modbus_w < 7 ) { modbus_array[3]= (1); servo_pos1; berry_pos = 1; } }
105    void alarm()
106    { if((modbus_array[4]== modbus_array[18] )||(modbus_array[5]== modbus_array[19] )
107    ||(modbus_array[6]== modbus_array[20] ) ||(modbus_array[7]== modbus_array[21])
108    ||(modbus_array[8]== modbus_array[22] ) ||(modbus_array[9]== modbus_array[23] )
109    ||(modbus_array[10]== modbus_array[24] ))
110    { modbus_array[28]= 1 ; state=0; motor_run=0; digitalWrite(7, LOW); } }
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;}

```

### คำอธิบายการทำงานของโปรแกรม

บรรทัดที่ 1-8: ขั้นตอนการชั่งน้ำหนัก ให้ไหลดเซลรับน้ำหนักก่อนแล้วรอ 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) ใต้นับจำนวนผลของแต่ละ slot ยัง state 5) ให้ทำงานวนกลับไปเริ่มใหม่ที่ state 0

บรรทัดที่ 61-64 : เป็นโปรแกรมย่อย การ calibration โหลดเซล

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

## ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเครื่องคัตน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่

วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายและหาจุดคุ้มทุน

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

กำหนดให้ราคาเครื่องคั้นน้ำหนักรอบเบอร์รี่ เท่ากับ 60,000 บาท อายุการใช้งาน 7 ปี ความสามารถในการทำงาน 1,920 ผล/ชั่วโมง หรือประมาณ 57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

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

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

โดย  $P$  = ราคาซื้อของเครื่องจักร, บาท

$S$  = ราคาซากของเครื่องจักร, บาท

$N$  = อายุการใช้งาน, ปี

$i$  = อัตราดอกเบี้ย, เปอร์เซ็นต์

ค่าในการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องคั้นน้ำหนักรอบเบอร์รี่

ราคาเครื่องคั้นน้ำหนักรอบเบอร์รี่,  $P$  = 60,000 บาท

ราคาซาก,  $S$  = 10% ของ  $P$  บาท

อายุการใช้งาน,  $N$  = 7 ปี

อัตราดอกเบี้ย,  $i$  = 10 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

ค่าไฟฟ้า = 1.30 บาทต่อชั่วโมง

ค่าแรงคนงาน = 37.50 บาทต่อชั่วโมง

ค่าบำรุงรักษา = 0.5 % ของ  $P/100$  บาทต่อชั่วโมง

ความสามารถในการทำงานเครื่อง = 57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ฤดูเก็บผลผลิตสตรอเบอร์รี่ (เดือนธันวาคมถึงเมษายน) = 5 เดือน หรือ 150 วันต่อปี

ทำงานวันละ = 8 ชั่วโมง

การคำนวณต้นทุนต่อปีของเครื่องคั้นน้ำหนักรอบเบอร์รี่

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
รวมต้นทุนผันแปรของเครื่องคัตน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่	41.8	บาท/ชั่วโมง = 50,160 บาท/ปี

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนในการใช้เครื่องคัตน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่} &= \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนผันแปร} \\ &= 10,414.28 + 50,160 \text{ บาท/ปี} \\ &= 60,574.28 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลา 1 ฤดูกาลคัตผลสตรอเบอร์รี่ได้} &= 57 \times 8 \times 150 && \text{กิโลกรัม/ปี} \\ &= 68,400 && \text{กิโลกรัม/ปี} \\ \text{-ต้นทุนค่าใช้จ่าย} &= 60,574.28/68,400 && \text{บาท/กิโลกรัม} \\ &= 0.886 && \text{บาท/กิโลกรัม} \end{aligned}$$

#### การคำนวณจุดคุ้มทุน

$$\begin{aligned} \text{ราคาค่าจ้างในการคัตน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่} &= 2 && \text{บาท/กิโลกรัม} \\ \text{ต้นทุนค่าใช้จ่าย} &= 0.886 && \text{บาท/กิโลกรัม} \\ \text{มูลค่าเพิ่ม} &= 1.114 && \text{บาท/กิโลกรัม} \\ \text{ปริมาณที่เครื่องคัตได้} &= 68,400 && \text{กิโลกรัม/ปี} \\ \text{จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่อง} & && \\ \text{ดังนั้น} & \text{รายรับ} = \text{ต้นทุนค่าใช้จ่าย} \\ & 2 \times Q = 0.886 \times 68,400 \\ \text{โดยที่ } Q \text{ คือปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุน} &= 30,301.20 && \text{กิโลกรัม/ปี} \\ \text{คุ้มทุนเมื่อเครื่องคัตน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ได้} &= 30,301.20 && \text{กิโลกรัม/ปี} \\ \text{มูลค่าเพิ่มในการทำงานของเครื่อง} &= (68,400 - 30,301.20) \times 1.114 && \text{บาท/ปี} \\ &= 42,442.06 && \text{บาท/ปี} \\ \text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{ราคาเครื่อง/มูลค่าเพิ่ม} &= 60,000/42,442.06 && \text{ปี} \\ &= 1.4 && \text{ปี} \\ \text{ดังนั้นระยะเวลาคืนทุน} &= 1.4 \text{ ปี} \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่าการใช้เครื่องคัตน้ำหนักผลสตรอเบอร์รี่ จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 30,301.20 กิโลกรัม/ปี  
ระยะเวลาคืนทุน 1.4 ปี

## ภาคผนวก ค

รูปผลสตรอเบอร์รี่ที่ตัดด้วยแรงงานคนและที่ตัดด้วยเครื่องต้นแบบ  
เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในอุณหภูมิห้อง

## ตัดด้วยแรงงานคน



ตัดด้วยแรงงานคน R1



ตัดด้วยแรงงานคน R2





คัดด้วยแรงงานคน R3



คัดด้วยแรงงานคน R4



คัดด้วยแรงงานคน R5

คัดด้วยเครื่องต้นแบบ



ตัดด้วยเครื่องต้นแบบ R1



ตัดด้วยเครื่องต้นแบบ R2



ตัดด้วยเครื่องต้นแบบ R3



ตัดด้วยเครื่องต้นแบบ R4

