การพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวแมติก

นางสาวสินีนาฏ ตุลยธำรงกิจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

DEVELOPMENT OF SEMI-AUTOMATIC LONGAN SEED REMOVING MACHINE USING PNEUMATIC SYSTEM

Sineenat Tulyathamrongkit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Mechanical and Process System Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2020

การพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวแมติก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.ศุภกิตต์ สายสุนทร)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนรรค)
กรรมการ

(ผศ. ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสน)
กรรมการ

(อ. ดร.สามารถ บุญอาจ)
กรรมการ

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)
รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สินีนาฏ ตุลยธำรงกิจ : การพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวแมติก (DEVELOPMENT OF SEMI-AUTOMATIC LONGAN SEED REMOVING MACHINE USING PNEUMATIC SYSTEM) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 204 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติ และประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น โดยศึกษาพฤติกรรมของลำไยพันธุ์อีดอซึ่งประกอบด้วยสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล เพื่อนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในการออกแบบเครื่องต้นแบบ ซึ่งเครื่องต้นแบบนี้ประกอบด้วย 4 กลไก คือ กลไกการคว้านเมล็ด กลไกการป้อน กลไกการนำผลออก กลไกกระทุ้งเมล็ด ซึ่งใช้ระบบนิวแมติกในการขับเคลื่อนกลไก และควบคุมการทำงานด้วย PLC ลำไยขนาดที่ 1 และ 2 ถูกใช้สำหรับออกแบบ และทดสอบเครื่องต้นแบบ ผลการศึกษาพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวคว้าน และชุดเบ้ารองรับผลลำไยที่สัมพันธ์กับสมบัติทางกายภาพของลำไย มีค่าเท่ากับ 14 และ 28 มิลลิเมตร ตามลำดับ รูปแบบที่เหมาะสมของหัวคว้านคือ หัวคว้านแบบปากตรง โดยมีสภาวะการทำงานที่เหมาะสมคือ ความเร็วของกลไกการคว้านและการป้อนลำไยคือ 0.17 เมตรต่อวินาที และ 0.46 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ที่ความดันลม 6 บาร์ ซึ่งมีสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบคือ อัตราการทำงาน 19.02 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือ 1,731 ผลต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการคว้านเมล็ด 75.05 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายของลำไย 15.86 เปอร์เซ็นต์ และการใช้พลังงานของเครื่อง 43.48 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา สินีนาฏ ตุลยธำรงกิจ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

SINEENAT TULYATHAMRONGKIT : DEVELOPMENT OF SEMI-AUTOMATIC LONGAN SEED REMOVING MACHINE USING PNEUMATIC SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TAWARAT TREEAMNUK, D.Eng., 204 PP.

LONGAN FRUIT/LONGAN SEED REMOVING MACHINE/PLC/PNEUMATIC

The objective of this thesis is to design and build a semi-automatic longan seed removing machine and evaluate the performance of the prototype. The physical and mechanical properties were studied for the design parameters of the prototype. The prototype consists of 4 mechanisms, namely the seed removing mechanism, the feeding mechanism, the fruit takeout mechanism, and the seed thrust mechanism. The pneumatic system is used to drive the mechanisms and the machine operation is controlled with a PLC. Longan sizes 1 and 2 were used for the design and testing of the prototype. The results showed that the diameter of the boring head and the longan fruit socket set relative to the physical properties of the longan were 14 and 28 mm, respectively. The optimum of the seed removing-head is a straight jaw and the optimum operating conditions were the seed removing of 0.17 m/s, the feeding mechanism speeds of 0.46 m/s, and the compressed air pressure of 6 bar of compressed air pressure. the prototype performance consists of the working rate of 19.02 kg/h or 1,731 fruit/h, the efficiency of seed removing of 75.05%, the loss of the longan was 15.86%, and the energy consumption of the machine was 43.48 kg/kWh.

School of Agricultural Engineering

Academic Year 2020

Student's Signature Sineenat Tulyathamrongkit

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature krawee Treeamnuk

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสในการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา เมตตา ให้การอบรม สั่งสอน ชี้แนะแนวทาง ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย และวางแผนขั้นตอนการทำวิจัยต่าง ๆ อีกทั้ง ให้คำแนะนำในการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์แล้วเรียบเรียงในการเขียน และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ตลอดจนให้คำปรึกษา และแก้ไขเกี่ยวกับการนำงานวิจัยไปเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ จนเสร็จสมบูรณ์ลุล่วงด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กระวี ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำในหลักการความคิด และการออกแบบกลไกของเครื่อง ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวมทั้งชี้แนะแนวทางที่สามารถทำงานได้สำเร็จลุล่วง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิตต์ สายสุนทร ประธานกรรมการ ผู้เชี่ยวชาญทางกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งตรงกับงานวิจัยนี้ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำชี้แนะเกี่ยวกับการทำวิจัย ทางหลักการในการออกแบบและกลไกการทำงาน เพื่อให้ได้ผลการวิจัยออกมาสมบูรณ์ตามที่ต้องการ และตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องโดยสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำทางหลักการในการออกแบบเครื่อง และการใช้ต้นกำลัง รวมถึงตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องโดยสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สามารถ บุญอาจ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

รวมถึงคุณกรรณิกา ประเสริฐสังข์ ที่กรุณาช่วยดำเนินการ ประสานงานทางด้านเอกสารตลอดการวิจัยนี้ ดร.เกียรติศักดิ์ ใจโต อาจารย์ พรพิมล มูลแก้ว และพี่ ๆ น้อง ๆ บัณฑิตทุกท่านที่ช่วยในการทดสอบ และทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนการศึกษา รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้วิจัยตลอดมา และที่สำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ที่อบรมสั่งสอน ส่งเสริมการศึกษา ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่ เตือนสติ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

สินีนาฏ ตุลยธำรงกิจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ที่มา และความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2 ปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ลำไย 3
2.2 การแปรรูปลำไย 5
2.3 ขนาดตามมาตรฐานขนาดของสินค้าเกษตรของลำไย 7
2.4 วิธี และหลักการคว้านลำไยโดยใช้มีดคว้าน และตุ๊ดตู่ 7
2.5 เครื่องคว้านเมล็ดลำไย 8
2.6 ระบบนิวแมติก 10
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21

3 วิธีการดำเนินการวิจัย 30
3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของลำไย 30
3.2 การพัฒนา และปรับปรุงเครื่องคว้านเมล็ดลำไย 35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การทดสอบเครื่องต้นแบบ 48
3.4 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย 53
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และการอภิปรายผล 54
4.1 ผลการศึกษาค่าสมบัติทางกายภาพของลำไย 54
4.2 ผลการศึกษาค่าสมบัติทางกลของลำไย 61
4.3 ผลการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยระบบนิวแมติก 64
4.4 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ 74
4.5 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 83
5 สรุปผลการวิจัย 86
5.1 สรุปผลการวิจัย 86
5.2 ข้อเสนอแนะ 88
รายการอ้างอิง 89
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ และผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ 95
ภาคผนวก ข. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง และเวลา 168
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณ 179
ภาคผนวก ง. แบบเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติโดยระบบนิวแมติก 185
ภาคผนวก จ. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา 195
ประวัติผู้เขียน 204

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ข้อกำหนดเรื่องขนาดของลำไยช่อ และลำไยผลเดี่ยว 7
3.1 คะแนนการประเมินลักษณะของคุณภาพลำไย (Score) ที่ 1 2 3 และ 4 50
4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 แกน และค่าความกลมของลำไย 56
4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 แกน และค่าความกลมของเมล็ดลำไย 57
4.3 ค่าความหนาของเนื้อ และเปลือกลำไย 58
4.4 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยตามขนาด 59
4.5 ค่ามุมกลิ้งในพื้นผิวเรียบแต่ละชนิดตามขนาดลำไย 60
4.6 ผลการทดสอบแรงกด และแรงเฉือนเฉลี่ยสูงสุดที่ใช้ในการแยกเปลือก และเมล็ดออกจากผลลำไย 61
4.7 ผลการวิเคราะห์การหารูปแบบหัวคว้านลำไยที่เหมาะสม 75
4.8 ผลการวิเคราะห์การหาความเร็วหัวคว้านลำไย 77
4.9 คะแนนประเมิน และเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเชิงน้ำหนักของลำไยขนาดที่ 1 และ 2 เมื่อคว้านที่ความเร็วการป้อน และความดันต่าง ๆ 78
4.10 ผลการทดสอบต่อเนื่องของลำไยทั้ง 2 ขนาด 79
4.11 เปอร์เซ็นต์เนื้อที่ได้ในแต่ละระดับคะแนนคุณภาพเทียบกับน้ำหนักทั้งหมด 80
4.12 ความเสียหายเชิงน้ำหนักต่อผลลำไย 81
4.13 สมรรถนะของเครื่องต้นแบบ 81
4.14 การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องคว้านต่าง ๆ และการคว้านโดยคน 82
4.15 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไยด้วยระบบนิวแมติก 83

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 การใช้ตุ๊ดตู่ในการคว้านเมล็ดลำไย 8
2.2 เครื่องคว้านเมล็ดแบบมือจับ 9
2.3 อุปกรณ์คว้านเมล็ดลำไยที่ใช้มือบีบแบบสปริง 10
2.4 ระบบการทำงานของนิวแมติก 10
2.5 Air reservoirs รุ่น CRVZS 11
2.6 Filter รุ่น MS-LF 12
2.7 Regulator รุ่น MS-LR 12
2.8 Lubricator รุ่น MS-LR ของ FESTO 13
2.9 Directional control valve 13
2.10 Pressure control vales ของ FESTO 14
2.11 Flow control vales ของ FESTO 15
2.12 Shut-off vales ของ FESTO 15
2.13 ท่อลม 16
2.14 Couplings ของ FESTO 16
2.15 Proximity sensor 17
2.16 Pressure sensor 17
2.17 Flow sensor 18
2.18 ชนิดของความดัน 19
2.19 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้การจำลองพฤติกรรมเชิงกล 24
2.20 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบ 2 หัวคว้าน 25
2.21 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้สายพานลำเลียง 26
2.22 เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวก่อน และหลังกดคันโยก 27
2.23 Model of Semi-Automatic Rambutan Peeling and Seed Removing Machine 28
2.24 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบอัตโนมัติ 29
3.1 ตำแหน่งการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไย 31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.2 การวัดลำไยโดยใช้อุปกรณ์เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล....31
3.3 การคว้านลำไยโดยแยกส่วนต่าง ๆ ออกด้วยด้ามช้อน....32
3.4 ขั้นตอนการวัดหาค่าความถ่วงจำเพาะ....33
3.5 แผ่นเรียบทั้ง 4 ชนิด และการวัดค่ามุมกลิ้ง....33
3.6 เมล็ดลำไยที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง....34
3.7 การวัดแรงกด (Compression test) ของลำไย....35
3.8 การวัดแรงเฉือน (Shear test) ของลำไย....35
3.9 ส่วนประกอบของเครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะของอนุสรา ติดตารัมย์ ที่ถูกออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks 2016 ประกอบด้วยภาพฉาย 2 มุมมอง ได้แก่ Isometric View และ Front View....36
3.10 ส่วนประกอบของเครื่องคว้านเมล็ดลำไยด้วยภาพฉายมุมมอง Isometric View....37
3.11 สลักของกลไกการนำผลออกที่ติดตั้งกับเบ้ารองลำไย....39
3.12 ก้านกระทุ้งเมล็ดลำไยออกจากหัวคว้านลำไย....39
3.13 ตำแหน่งการปฏิบัติงาน....40
3.14 อะลูมิเนียมโปรไฟล์ V-slot ที่รองรับในการเลื่อนสำหรับกลไก....40
3.15 ตู้ควบคุมไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบ....41
3.16 สวิตช์เซนเซอร์ และปุ่ม Emergency....41
3.17 รูปแบบหัวคว้านเมล็ดลำไยแบบปากตรง และปากฉลาม....42
3.18 แผนภาพแสดงลำดับการทำงานของกลไกการป้อน และกลไกการคว้านเมล็ด ของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย (Sequence Operation)....42
3.19 ผังงานลำดับการทำงานของโปรแกรม (Flow chart)....44
3.20 แผนภาพการต่อสายไฟในตู้ควบคุมไฟฟ้า....45
3.21 Ladder Diagram สำหรับเขียนลงบน PLC โดยโปรแกรม GX Works2....46
3.22 การคัดขนาดลำไยโดยเครื่องคัดขนาดของ บริษัท ลิขิตชีวัน....49
4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 แกนของลำไยตามขนาดมกอช....55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 แกนของลำไยที่ปอกเปลือกตามขนาดมกอช.....55
4.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 แกนของเมล็ดลำไยตามขนาดมกอช 56
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และขนาดลำไยของผลก่อนปอกเปลือกตามมกอช 59
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของเนื้อ เปลือก และเมล็ดลำไย กับขนาดของลำไย.....61
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงกด (Compression force) กับระยะการกด ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย 63
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงเฉือน (Shear force) กับระยะการตัด ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย 63
4.8 เครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ.....65
4.9 รูปแบบหัวคว้านแบบปากตรง และแบบปากฉลาม.....66
4.10 เบ้ารองผลลำไยสำหรับกลไกการป้อนผลลำไย.....67
4.11 เบ้ารองผลลำไยสำหรับกลไกการป้อนผลลำไย และสลักกลไกการนำผลออก 67
4.12 ก้านกระทุ้งที่อยู่ข้างในหัวคว้านเมล็ดลำไย 68
4.13 ตำแหน่งการปฏิบัติงานของเครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะ 68
4.14 ตำแหน่งการปฏิบัติงานของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย.....69
4.15 วัสดุอะลูมิเนียมโปรไฟล์ V-slot ที่รองรับในการเลื่อนสำหรับกลไกการคว้าน เมล็ดลำไย และป้อนลำไย.....70
4.16 ตู้ควบคุมไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบ 71
4.17 สวิตช์เซนเซอร์ และปุ่ม Emergency 71
4.18 เครื่องต้นแบบสำหรับคว้านเมล็ดลำไย 72
4.19 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย.....73
4.20 เนื้อลำไยที่ได้จากการทดสอบการคว้านเมล็ดแบบปากตรง และปากฉลาม 76
4.21 การเปรียบเทียบน้ำหนักเนื้อลำไยที่ได้ในแต่ละระดับคะแนนทั้ง 4 ระดับ ในลำไยขนาดที่ 1 และ 2 80

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

D_{max}	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก
D_{min}	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย
H	=	ความสูง
d_i	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่มีขนาดปริมาตรเท่ากับวัตถุนั้น ๆ
d_c	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่ล้อมรอบวัตถุนั้นได้
Ap	=	พื้นที่ภาพฉายของวัตถุที่วางนิ่งในธรรมชาติ (Projected area)
Ac	=	พื้นที่เล็กที่สุดที่วงกลมสามารถล้อมรอบวัตถุนั้นได้ (Circumscribing circle)
ρ	=	ความหนาแน่น(density)
SG	=	ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)
W_d	=	น้ำหนักของลำไยที่ชั่งในอากาศ
W_f	=	น้ำหนักของลำไยที่ชั่งในน้ำ
$\%M_w$	=	เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก
$\%M_d$	=	เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง
P	=	ความดัน (Pressure)
F	=	แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น ๆ (Force)
A	=	พื้นที่ (Area)
Q	=	อัตราการไหลของปริมาตร
V	=	ความเร็วของการไหล
L	=	ระยะชัก หรือระยะที่หัวคว้านเคลื่อนที่ขึ้นลง
V_s	=	ปริมาตรก่อนการอัดตัว
π	=	ค่าคงที่ เท่ากับ 3.14
D	=	ขนาดเส้นผ้านศูนย์กลางของกระบอกสูบ
CPU	=	ส่วนที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Control Processing Unit)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

I/O	=	ส่วนที่เป็นอินพุต/เอาต์พุต (Input Output)
PLC	=	โปรแกรมควบคุม (Programmable Logic Controller)
PU	=	Polyurethane
NO	=	หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open)
NC	=	หน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally Close)
LED	=	แหล่งกำเนิดแสง (Light Emitting Diode)
NPN	=	Negative Positive Negative
PNP	=	Positive Negative Positive
R	=	ค่าเสียโอกาสในการลงทุน
FC	=	ต้นทุนคงที่ต่อปี
VC	=	ต้นทุนแปรผัน (Variable cost)
W	=	ค่าจ้างแรงงาน
E	=	ค่าไฟฟ้า
M	=	ค่าบำรุงรักษา
AC	=	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด
N^*	=	จุดคุ้มทุน
MC	=	ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญของปัญหา

ลำไยเป็นผลไม้ทางเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ ที่มีการส่งออกทั้งในรูปผลไม้สด และผลไม้แปรรูป โดยมีปริมาณการส่งออกโดยเฉลี่ย ในปี 2559 อยู่ที่ 458 ล้านกิโลกรัม รวมมูลค่าทั้งสิ้น 10,353 ล้านบาท ซึ่งจัดว่ามีปริมาณผลผลิตการส่งออกมากเป็นอันดับ 1 ของประเทศ (กลุ่มบริการส่งออกสินค้าเกษตร สคว. กวก., 2559)

ลำไยในไทยมีผลผลิตในปี 2560 เท่ากับ 1,027,493 ตัน และในปี 2561 เท่ากับ 1,076,939 ตัน ผลผลิตเพิ่มขึ้น 49,446 ตัน เนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนมาผลิตลำไยนอกฤดูเพิ่มขึ้น ประกอบกับสภาพภูมิอากาศที่เอื้ออำนวย (คณะกรรมการพัฒนาคุณภาพข้อมูลด้านการเกษตร, 2561) ตามหลักการทางเศรษฐศาสตร์หากผลผลิตสูงขึ้น ราคาก็จะยิ่งตกต่ำ ส่งผลให้เกษตรกรและผู้ผลิตลำไยประสบกับภาวะขาดทุน เนื่องจากลำไยล้นตลาด

จากเหตุดังกล่าว จึงพบเห็นลำไยแปรรูปเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ลำไยอบแห้ง, ลำไยกระป๋อง, ผงน้ำลำไย, ลำไยแห้ง เป็นต้น การแปรรูปลำไยมีความสำคัญมากขึ้นในภาวะเศรษฐกิจลำไยล้นตลาด ในการทำลำไยแปรรูปดังกล่าวมีขั้นตอนการคว้านเมล็ดที่ต้องใช้แรงงานคนจำนวนมาก เนื่องจากลำไยมีปริมาณมาก และต้องคว้านก่อนที่ลำไยจะเน่าเสีย ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญการในการคว้านเมล็ด ส่งผลให้มีคุณภาพ และมาตรฐานที่แตกต่างกัน

เมื่อต้องใช้แรงงานคนจำนวนมากจึงมีปัญหาทางด้านความสะอาด ซึ่งจะมีการใช้อุปกรณ์ที่มีความแหลมคมในการคว้านเมล็ดลำไย ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดบาดแผลกับผู้ปฏิบัติงาน

ดังนั้น เครื่องคว้านเมล็ดลำไยจึงเป็นวิธีการลดปัญหาดังกล่าว การใช้แรงงานคนในการคว้านเมล็ดลำไยให้น้อยลง และเป็นการเพิ่มมาตรฐานในการคว้านเมล็ดลำไย ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพให้สูงขึ้น ซึ่งในปัจจุบันเครื่องคว้านเมล็ดลำไยได้มีการออกแบบและสร้างขึ้นมาแล้ว ยังไม่เป็นที่นิยมของเกษตรกร เนื่องจาก ประสิทธิภาพในการคว้านเมล็ดลำไยยังมีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับการคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้แรงงานคน (ปิยะพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรวัฒน์ นามวงศ์พรหรม, 2555)

คณะผู้วิจัยจึงต้องการที่จะพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติที่ทำงานได้มีประสิทธิภาพสูง สามารถทำงานทดแทน แรงงานคนได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ และประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักรที่สร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ใช้ต้นกำลังเป็นระบบนิวแมติก และควบคุมด้วยระบบ PLC

1.3.2 ทดสอบการคว้านเมล็ดลำไยที่นิยมแปรรูปในปัจจุบัน

1.3.3 เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ และทำงานแบบกะ (Batch type)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถออกแบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้ระบบนิวแมติก ที่สามารถคว้านเมล็ดลำไยได้

1.4.2 เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัตินี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นเครื่องจักรอัตโนมัติได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปเผยแพร่ และใช้ได้จริงในอุตสาหกรรมในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลำไย

ชื่อวิทยาศาสตร์: Dimocarpus longan ชื่อภาษาอังกฤษ: Longan วงศ์ Sapindaceae เป็นไม้ยืนต้นในเขตร้อนและกึ่งร้อน ซึ่งทนอุณหภูมิได้ถึง 43 องศาเซลเซียส ลำต้นสีน้ำตาล ออกผลเป็นช่อ ลักษณะผลทรงกลม ผลที่ดิบเป็นสีเขียวอมน้ำตาล ผลสุกเป็นสีน้ำตาล เนื้อลำไยเป็นสีขาวนวลใส เมล็ดสีดำมันวาวซึ่งล่อนจากเนื้อ และสามารถปลูกได้ในหลาย ๆ ประเทศในแถบเอเชียพื้นที่ราบต่ำ เช่น ไทย พม่า จีนใต้ ลังกา อินเดียใต้ บังคลาเทศ เป็นต้น ลำไยมีลักษณะของเนื้อที่คล้ายกับลิ้นจี่และเงาะ ลำไยแต่ละสายพันธุ์นั้นมีขนาด และลักษณะของเนื้อแตกต่างกัน ดังนี้

2.1.1 ลำไยพันธุ์อีดอ จัดเป็นลำไยกะโหลก ทนแล้งได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูง ชาวสวนนิยมปลูกชนิดนี้มากที่สุด ลักษณะผลขนาดปานกลาง ซึ่งมีเมล็ดที่เล็ก มีรสหวาน ซึ่งออกดอก และเก็บผลผลิตก่อนพันธุ์อื่น ๆ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ลำไยอีดอ-ยอดแดง โดยใบอ่อนมีสีแดง เจริญเติบโตเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับอีดอยอดเขียวซึ่งไม่ค่อยนิยมปลูกเนื่องจากออกดอกติดผลไม่ดี ไม่สม่ำเสมอ

2.1.2 ลำไยสีชมพู จัดเป็นลำไยกะโหลก มีผลใหญ่เนื้อหนา เนื้อมีสีชมพู เมล็ดค่อนข้างเล็ก

2.1.3 ลำไยตลับนาค จัดเป็นลำไยกะโหลก มีผลใหญ่เนื้อหนาแห้ง เมล็ดเล็ก เปลือกบาง

2.1.4 ลำไยเบี้ยวเขียว หรือ ลำไยอีเขียว จัดเป็นลำไยกะโหลก ผลใหญ่กลมเบี้ยว เนื้อหนา เมล็ดเล็ก เนื้อล่อนจากเมล็ด

2.1.5 ลำไยอีแดง จัดเป็นลำไยกะโหลก เป็นพันธุ์ขนาดกลาง สีเปลือกแดง ผลกลมใหญ่ เมล็ดใหญ่ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ลำไยอีแดงเปลือกหนา ซึ่งมีใบป้อมใหญ่ผลใหญ่ และลำไยอีแดงเปลือกบาง ใบยาวผลเล็กกว่าอีแดงเปลือกหนา

2.1.6 ลำไยอีดำ จัดเป็นลำไยกะโหลก ผลใหญ่ ใบมีลักษณะสีดำ เนื้อหนา เมล็ดเล็ก

2.1.7 ลำไยอีแห้ว จัดเป็นลำไยกะโหลก เป็นลำไยพันธุ์หนัก ลำต้นอ่อนไม่แข็งแรงต้องใช้ไม้ค้ำ เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตดีมาก ทนแล้งได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ลำไยอีแห้ว-ยอดแดง มีใบอ่อนสีแดง เมล็ดมีขนาดปานกลาง และลำไยอีแห้ว-ยอดเขียว ใบอ่อนมียอดสีเขียว ผลกลมใหญ่ หัวเบี้ยว เนื้อกรอบแต่ไม่หวาน

2.1.8 ลำไยอีเหลือง จัดเป็นลำไยกะโหลก ลักษณะลำต้นมีทรงพุ่มกลม ออกผลจำนวนมาก ผลค่อนข้างกลมมีเนื้อสีขาวนวล

2.1.9 ลำไยพวงทอง จัดเป็นลำไยกะโหลก เป็นพันธุ์ที่ช่อดอกขนาดใหญ่กว้าง ผลทรงค่อนข้างกลม และเบี้ยวเล็กน้อย ผิวเปลือกสีน้ำตาลมีกระสีน้ำตาล เนื้อหนาสีขาวครีม เมล็ดขนาดปานกลาง และแบน นิยมปลูกมากในภาคกลางตอนล่าง ได้แก่ นครปฐม, สมุทรสาคร เป็นต้น กลายพันธุ์จากเมล็ดมาจากลำไยกะโหลกแท้ และลำไยพันธุ์อีดอ

2.1.10 ลำไยเพชรสาครทวาย จัดเป็นลำไยกะโหลก สามารถออกดอกมากกว่าหนึ่งครั้งต่อปี มีใบขนาดเล็ก เรียวแหลม ออกดอก และให้ผลผลิตปีละ 2 รุ่น คือรุ่นแรกออกดอกช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม เก็บผลได้ประมาณเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน, รุ่นที่สองออกดอกช่วงเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม เก็บเกี่ยวผลได้ในเดือนธันวาคม-มกราคม ผลมีลักษณะกลม เปลือกบาง เนื้อมีสีขาวฉ่ำน้ำ

2.1.11 ลำไยปู่มาตีนโค้ง จัดเป็นลำไยกะโหลก มีผลสวย ผลมีขนาดใหญ่สีเขียว ให้ผลจำนวนมาก มีกลิ่นคาว เป็นสายพันธุ์ที่ไม่นิยมปลูก จึงหายาก

2.1.12 ลำไยกระดูก หรือลำไยพื้นเมือง เป็นพันธุ์พื้นเมือง ทรงพุ่มกว้างใบหนาทึบ ผลเล็กมีน้ำมาก เนื้อน้อย มีน้ำตาลประมาณ 13.75 เปอร์เซ็นต์ ปลูกง่าย ชาวสวนไม่นิยมปลูก เนื่องจากไม่มีราคา มีหลายสายพันธุ์แต่นิยมเรียกรวมกันว่าลำไยพื้นเมือง

2.1.13 ลำไยกะลา หรือลำไยธรรมดา ลักษณะผลปานกลาง เนื้อหนากว่าลำไยพันธุ์กระดูกแต่บาง มีน้ำมาก ให้ผลเป็นจำนวนมาก

2.1.14 ลำไยสายน้ำผึ้ง ลักษณะคล้ายลำไยธรรมดา แต่เนื้อมีสีเหลืองอ่อน หอมกรอบ เมล็ดเล็ก

2.1.15 ลำไยเฉา หรือลำไยเครือ เป็นไม้เลื้อย ลำต้นไม่มีแก่นจึงพันเข้ากับรั้ว หรือหลัก ผลมีขนาดเล็ก เมล็ดใหญ่กว่าลำไยทั่วไป เนื้อหุ้มเมล็ดบางมีเนื้อน้อย รสชาติมีกลิ่นคล้ายกำมะถันจึงนิยมปลูกไว้ประดับไม่นิยมรับประทาน ขึ้นตามป่าเขา

2.1.16 ลำไยขาว เป็นลำไยพันธุ์โบราณ หาได้ยาก ซึ่งเชื่อว่าเคยสูญพันธุ์ไปแล้วจากประเทศไทย แต่ในปี พ.ศ. 2554 ได้มีการตอนกิ่งขยายพันธุ์อีกครั้งหนึ่ง ผลมีขนาดเล็กกว่าลำไยทั่วไป เปลือกสีน้ำตาลอ่อนเกือบขาว เนื้อสีขาวใส เมล็ดลีบ และยังมีลำไยอีกหลายสายพันธุ์ที่ยังไม่ถูกจำแนก เช่น ลำไยพวงเพชรบ้านแพ้ว, ลำไยใบหยก, ลำไยอีสร้อย, ลำไยตอหลวง, ลำไยเพชรน้ำเอก เป็นต้น (เศรษฐมันต์ กาญจนกุล, 2555)

การเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว ทำได้โดยการลดอุณหภูมิของลำไย โดยการนำลำไยที่เก็บเกี่ยวแล้วไปแช่น้ำเย็นในลักษณะไหลผ่าน เพื่อลดความร้อนในการหายใจของผลลำไย

ซึ่งแช่จนอุณหภูมิภายในผลลำไยลดลงเหลือ 13-15 องศาเซลเซียส จากนั้น นำลำไยขึ้นมาผึ่งลมจนแห้ง เมื่อแห้งจึงนำเก็บรักษาในห้องทำความเย็น ที่มีอุณหภูมิ 1.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อที่จะรอการขนส่ง ลำไยสดมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 21 วัน หรือ 3 สัปดาห์ (สำนักงานส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรที่ 6, 2553)

ลำไยทั่วไปให้ผลผลิตในช่วงปลายเดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายน ซึ่งเมื่อมีผลผลิตจำนวนมากจึงทำให้ราคาลำไยในช่วงนี้มีราคาที่ค่อนข้างถูก และเพื่อให้ลำไยสามารถบริโภคในฤดูกาลอื่น ๆ และเก็บได้นาน จึงมีการแปรรูปลำไยเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็น ลำไยอบแห้ง ลำไยในกระป๋อง เป็นต้น และลำไยถือว่าเป็นผลไม้เศรษฐกิจของไทย อีกด้วย

2.2 การแปรรูปลำไย

ลำไยที่ออกผลจำนวนมาก และมีหลากหลายสายพันธุ์นั้นส่งผลให้ลำไยล้นตลาด และราคาตกต่ำ ในการแปรรูปลำไยจึงเป็นตัวเลือกหนึ่งในการถนอมอาหาร เพื่อให้ลำไยสามารถบริโภคได้ในฤดูกาลอื่น และสามารถเพิ่มมูลค่าของลำไยได้ ซึ่งสามารถแปรรูปได้ดังนี้

2.2.1 เนื้อลำไยผสมน้ำตาลทรายแดงตากแห้ง เป็นการแปรรูปลำไยโดยการคว้านเมล็ดออกแล้วต้มน้ำตาลทรายแดงในน้ำเดือด ต้มประมาณ 5 นาที แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

2.2.2 ลำไยกวน เป็นการแปรรูปโดยการใช้ลำไยสด คว้านเมล็ดออก แล้วนำไปหั่น หรือสับเนื้อลำไยเป็นชิ้นเล็ก ๆ และเติมส่วนผสมได้แก่ น้ำตาลทราย, กรดซิตริก, เกลือ และชะเอม ตั้งไฟอ่อน ๆ กวนจนแห้ง แล้วเติมน้ำตาลทราย และแบะแซ คนให้ละลาย จากนั้นกวนจนได้ที่

2.2.3 เนื้อลำไยแห้ง เป็นการแปรรูปที่ทำแห้งลำไย โดยการคว้านเมล็ดออก และแช่เนื้อลำไยในน้ำที่มีโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ จากนั้น นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

2.2.4 ลำไยแช่อิ่ม คว้านเมล็ดออก ลวกเนื้อลำไยในน้ำเดือด นาน 2 นาที เตรียมน้ำเชื่อมให้มีความเข้มข้นร้อยละ 30 แล้วเติมกรดซิตริก หรือกรดมะนาวจำนวน 10 กรัม และโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 1 กรัม คนจนละลาย บรรจุเนื้อลำไยในขวดโหล เทน้ำเชื่อมลงไปให้ท่วมเนื้อลำไย ทิ้งไว้ 1 คืนแล้วเอาเนื้อลำไยขึ้นจากน้ำเชื่อม ต้ม และเติมน้ำตาลทรายรอบละ 100 กรัม ทำเช่นนี้จนกระทั่งได้น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70 เมื่อมีความเข้มข้นตามที่ต้องการ จึงนำเนื้อลำไยขึ้นตากลมให้แห้ง แล้วบรรจุในภาชนะที่แห้ง และปิดสนิท

2.2.5 เครื่องดื่มลำไย (ผง) คว้านเมล็ดออก แล้วเตรียมสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ โดยละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 1 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร นำเนื้อลำไยแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ นาน 15 นาที แล้วตากใส่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้ง

ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง นำขึ้นตากลมให้แห้ง ลวกเนื้อลำไยในน้ำเดือด 2 นาที เติมน้ำเพิ่มเล็กน้อย ปั่นเนื้อลำไยกับน้ำ แล้วกรองน้ำลำไยด้วยผ้าขาวบาง เมื่อกรองแล้วจึงนำตากน้ำลำไยในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จนน้ำลำไยข้น ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง เมื่อน้ำลำไยข้น จึงเติมน้ำตาลทรายขาวคลุกให้เข้ากัน ตากต่อจนแห้ง ใช้เวลาตากประมาณ 2 ชั่วโมง ตีแล้วจึงทำเป็นผง บรรจุในภาชนะที่แห้ง และปิดสนิท อาจสามารถทำเครื่องดื่มลำไยชนิดเม็ดจากลำไยสดได้เช่นเดียวกับลำไยแห้งโดยใช้วิธีเดียวกัน

2.2.6 น้ำลำไยหวานเข้มข้น คว้านเมล็ดออก นำเนื้อลำไยตีให้ละเอียดด้วยเครื่องตีไฟฟ้าผ่านตะแกรง หรือผ้ากรองอย่างหยาบ แล้วผสมน้ำลำไยกับน้ำเชื่อม จากนั้น เติมกรดซิตริกต้มให้เดือดก่อนบรรจุขวดที่ปิดจุกสนิท

2.2.7 ลำไยในน้ำเชื่อม คว้านเมล็ดออก จากนั้นเตรียมน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30-35 เติมแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.2 และกรดซิตริก ร้อยละ 0.2 คนให้ละลายบรรจุเนื้อลำไยลงในขวดแก้วที่ทนความร้อนได้ หรือกระป๋องเติมน้ำเชื่อมร้อน แล้วนึ่งไล่อากาศ ปิดฝากระป๋องหรือขวด จากนั้นนำไปต้มฆ่าเชื้อในน้ำเดือด

2.2.8 ลำไยแช่แข็ง คว้านเมล็ดออก เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และกรดแอสคอบิกโดยละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 กรัม และกรดแอสคอบิก 0.5 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร แล้วนำเนื้อลำไยแช่ในสารละลายที่เตรียมไว้นาน 15 นาที จากนั้น นำขึ้นจุ่มในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 35 นำวางบนตะแกรง ตากลมให้แห้ง แล้วบรรจุลงถุงพลาสติกอย่างหนา ปิดถุงให้สนิท นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสทันที เมื่อลำไยแข็งได้ที่แล้ว จึงนำไปเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

2.2.9 วุ้นลำไย คว้านเม็ดออก จากนั้น ต้มวุ้นใสโดยใช้ผงวุ้น ขนาด 160 กรัม 1 ซอง และน้ำ 820 กรัม ตั้งไฟกลาง หมั่นคนจนวุ้นเดือด สังเกต ถ้าไม่มีเม็ดวุ้นติดทัพพี ถือว่าใช้ได้ จากนั้น จึงแบ่งวุ้นใสที่ต้มไว้นำไปผสมสีต่าง ๆ แล้วนำวุ้นสีต่าง ๆ หยอดใส่เนื้อลำไยที่คว้านเมล็ดออกเรียบร้อยแล้ว จากนั้น รอจนวุ้นเซ็ตตัวในตู้เย็น อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส (กัลยา ปาลี, 2562)

การแปรรูปลำไยส่วนใหญ่มีขั้นตอนการคว้านเมล็ดลำไยออก ซึ่งโดยปกติแล้วการคว้านเมล็ดลำไยออกนั้น จะใช้ตุ๊ดตู่ในการคว้านเมล็ดออกซึ่งจะใช้แรงงานคน ด้วยเหตุนี้ทำให้ได้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ ดังนั้น ในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้อย่างลำไยจึงต้องมีการใช้เครื่องคว้านเมล็ดเพื่อให้ได้ผลผลิตที่รวดเร็วและปริมาณมาก

2.3 ขนาดตามมาตรฐานขนาดของสินค้าเกษตรของลำไย

การแปรรูปลำไยในโรงงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีมาตรฐานขนาดของสินค้าเกษตรเพื่อเป็นกฎเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพของตัวผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ลำไยแต่ละผลในทั่วไปมีขนาดที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะออกผลพร้อมกันก็ตาม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางได้มากกว่า 27 มิลลิเมตร และลำไยที่มีขนาดเล็กสุดมีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 19 มิลลิเมตร ชาวเกษตรกร และพ่อค้า มีการคัดขนาดของลำไย และจัดได้ 4 ขนาดเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ ดังนี้

1. ขนาด AA ลูกลำไยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 27 มิลลิเมตร
2. ขนาด A ลูกลำไยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 25 มิลลิเมตร ถึง 27 มิลลิเมตร
3. ขนาด B ลูกลำไยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 22 มิลลิเมตร ถึง 25 มิลลิเมตร
4. ขนาด C ลูกลำไยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 19 มิลลิเมตร

โดย AOAC ได้กำหนด มาตรฐานขนาดของสินค้าเกษตรของลำไย ตามมกอช. โดยแบ่งลำไยเป็นทั้งหมด 6 ขนาด ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดเรื่องขนาดของลำไยช่อ และลำไยผลเดี่ยว

รหัสขนาด	**จำนวนผล/กิโลกรัม**		**เส้นผ่านศูนย์กลางผล (mm)**
	ลำไยช่อ	**ลำไยผลเดี่ยว**	
1	<85	<91	>28
2	85-94	91-100	>27-28
3	95-104	101-111	>26-27
4	105-114	112-122	>25-26
5	≥115	≥123	>24-25
6	-	-	22-24

2.4 วิธี และหลักการคว้านลำไยโดยใช้มีดคว้าน และตุ๊ดตู่

ในการแปรรูปลำไยต่าง ๆ ล้วนมีขั้นตอนการคว้านเป็นสำคัญ ซึ่งวิธี และหลักการคว้านลำไยโดยใช้มีดคว้าน และตุ๊ดตู่ มีดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4.1 การใช้ด้ามช้อน หรือมีดคว้าน ด้ามช้อน หรือมีดคว้านเป็นเครื่องมือที่หาง่าย และมีไว้ทุกครัวเรือน วิธีการเริ่มจาก นำลำไยไปล้างในน้ำสะอาด ปอกเปลือกลำไยออก แล้วนำมือที่ถนัดจับด้ามช้อน หรือมีดคว้าน และมือที่ไม่ถนัดจับที่ผลลำไยที่ปอกเปลือกเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการนำปลายด้ามช้อน หรือมีดคว้านกดที่บริเวณขั้วของลำไยแล้วหมุนรอบขั้วของเมล็ดจนเนื้อขาดออกจากขั้ว แล้วจึงดันเมล็ดลำไยออกจากผลลำไย

2.4.2 การใช้ตุ๊ดตู่คว้าน "ตุ๊ดตู่" เป็นเครื่องมือในการช่วยคว้านลำไย เพื่อเอาเมล็ดออกจากเนื้อลำไย ทำให้รอยที่คว้านสวย กลม ไม่เหลือเศษขั้วลำไยติด เนื่องจากมีลักษณะหัวกลมปากตรง กดตรงลงไปที่ขั้ว แล้วดึงออก เวลาอบแห้ง นั้น จะออกมาสวยงามกลม ต่างจากการใช้ช้อน หรือมีดในการคว้านลำไย ออกแบบให้มีรูปทรงคล้ายปากกามีขนาดกว้าง 12 มิลลิเมตร ยาว 170 มิลลิเมตร ปลายด้ามทำเป็นร่องปลายแหลมสำหรับเจาะขั้วเมล็ดลำไย ส่วนหัวด้ามใช้สปริงเป็นตัวดันเมล็ดลำไยออกมา ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 การใช้ตุ๊ดตู่ในการคว้านเมล็ดลำไย
ที่มา: คมชัดลึก (2561)

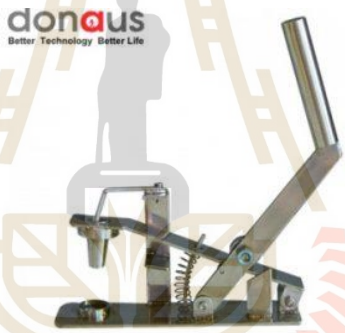
ในการคว้านเมล็ดโดยใช้แรงงานคนยังเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนและระดับกลาง ซึ่งมีความประณีต และแม่นยำมากกว่า การใช้เครื่องคว้านเมล็ดลำไย

2.5 เครื่องคว้านเมล็ดลำไย

เครื่องคว้านเมล็ดลำไยเป็นเครื่องจักรที่ออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและลดการใช้แรงงานคนในการคว้านเมล็ดลำไย โดยเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแต่ละแบบมีหลักการ

ทำงานคล้ายกันคือ จะเจาะคว้านเข้าไปยังลูกลำไย และดึงเมล็ดของลำไยออกมาจากนั้นเมล็ดลำไยและเปลือกจะถูกแยกออกจากเนื้อลำไยโดยอัตโนมัติ ส่วนเนื้อ และเปลือกลำไยจะติดไปกับเบ้าจับแล้วจะถูกนำออก ทำให้ส่วนเนื้อ และเปลือกลำไยจะตกแยกออกไปที่รางรับอีกทาง เครื่องคว้านเมล็ดลำไยแต่ละรุ่นจะคว้านเมล็ดลำไยได้ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการออกแบบของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย และระบบที่ติดตั้งในเครื่องคว้านเมล็ดลำไย ยิ่งเครื่องคว้านเมล็ดลำไยทำงานได้ดีและทำได้ในปริมาณมาก ๆ จะยิ่งลดเวลา แรงงาน และต้นทุนในการผลิตได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถยกตัวอย่างเครื่องคว้านลำไยทั่วไปที่ไม่มีระบบต้นกำลัง ดังนี้

2.5.1 เครื่องคว้านเมล็ดแบบมือจับ ของ Donaus การใช้งานคือ นำลำไยมาวางไว้ที่ตำแหน่งเบ้ารองลำไย แล้วใช้มือที่ไม่ถนัดประคองลำไยให้ตั้งในตำแหน่งที่ขั้วหันขึ้นบน และตรงกับหัวเจาะ แล้วมือที่ถนัดจับคันโยกลง ทำให้สปริงกดลง และหัวเจาะลงมาเจาะที่ตำแหน่งขั้วเมล็ดแล้วดึงเมล็ดขึ้นมาจากผลลำไย ซึ่งลักษณะเครื่อง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องคว้านเมล็ดแบบมือจับ
ที่มา: Donaus Thailand

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

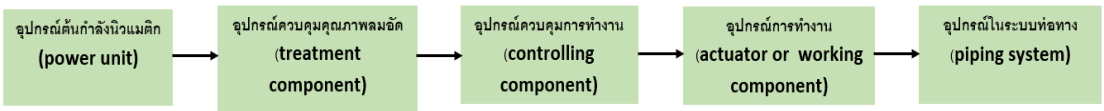
2.5.2 อุปกรณ์คว้านเมล็ดลำไยที่ใช้มือบีบแบบสปริง การใช้งานเครื่องคือ นำลำไยวางที่ฐานรองรับของอุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะกลมเพื่อรองรับผลลำไยพอดี ซึ่งมีลักษณะคล้ายที่ตักไอศกรีม โดยวางลำไยให้ขั้วเมล็ดหันขึ้นบนตรงตำแหน่งหัวคว้านพอดี จากนั้น จึงออกแรงบีบ ทำให้สปริงลดลง และส่งผลให้หัวคว้านลงมาเจาะที่ขั้วของลำไย เมื่อปล่อยมือเมล็ดจะติดขึ้นมากับหัวคว้านแล้วกลไกการกระทุ้งเมล็ดจะดันเมล็ดออกจากหัวคว้านพร้อมที่จะคว้านผลลำไยต่อไป ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 อุปกรณ์คว้านเมล็ดลำไยที่ใช้มือบีบแบบสปริง
ที่มา : ธนาธิป บุญลือ และคณะ (2559)

2.5.3 เครื่องคว้านเมล็ดแบบใช้เท้าเหยียบของ Donaus การใช้งานคือ เปิดสวิตช์ให้กลไกหัวคว้านหมุน แล้วนำผลลำไยวางที่เบ้าวางลำไย โดยหันด้านขั้วขึ้นบน จากนั้น ใช้เท้าเหยียบที่ฐานของเครื่องเพื่อให้หัวคว้านเคลื่อนที่ลงเจาะที่ขั้วเมล็ดลำไย เมื่อปล่อยเท้าที่เหยียบ หัวคว้านจะเคลื่อนที่ขึ้นพร้อมกับดึงเมล็ดลำไยขึ้นมาด้วย แล้วก้านกระทุ้งเมล็ดจะดันเมล็ดออกจากหัวคว้าน จากนั้นจึงนำผลออกจากเบ้ารองเพื่อคว้านผลลำไยต่อไป (Donaus Thailand, 2013)

2.6 ระบบนิวแมติก

นิวแมติก (Pneumatic) เป็นคำที่มาจาก Pneuma ซึ่งเป็นภาษากรีกโบราณ หมายความว่า “ก๊าซที่มองไม่เห็น” ในปัจจุบันนิวแมติก หมายถึง ระบบที่ใช้อากาศอัดส่งไปตามท่อลมเพื่อเป็นตัวกลางในการถ่ายทอดกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล โดยระบบการทำงานของนิวแมติกนั้นจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.4 ระบบการทำงานของนิวแมติก

2.6.1 อุปกรณ์ในระบบนิวแมติก

2.6.1.1 อุปกรณ์ต้นกำลังนิวแมติก (Power unit) ทำหน้าที่สร้างลมอัดเพื่อนำไปใช้ในระบบนิวแมติกประกอบไปด้วย

- อุปกรณ์ขับ (Driving unit) ทำหน้าที่ขับเครื่องอัดอากาศ
- เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) ทำหน้าที่อัดอากาศที่ความดันบรรยากาศ ให้มีความดันสูงกว่าบรรยากาศปกติ
- เครื่องกรองอากาศขาเข้า (Intake filter) ทำหน้าที่กรองอากาศก่อนที่จะนำไปเข้าเครื่องอัดอากาศ เพื่อให้อากาศที่จะอัดปราศจากฝุ่นละออง เพราะถ้าอากาศที่อัดมีฝุ่นละอองจะทำให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องอัดอากาศ และจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำได้
- เครื่องหล่อเย็น (Aftercooler) ทำหน้าที่ในการหล่อเย็นอากาศอัด ให้เย็นตัวลง
- เครื่องแยกน้ำมัน และความชื้น (Separator) อุปกรณ์ที่ช่วยแยกความชื้นและละอองน้ำมันที่มากับอากาศ ก่อนที่อากาศอัดจะถูกอัดเก็บลงในถังเก็บลม
- ถังเก็บลมอัด (Air receiver) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บอากาศอัดที่ได้จากเครื่องอัดอากาศ และทำหน้าที่ในการจ่ายอากาศอัดที่มีค่าคงที่ และสม่ำเสมอให้แก่ระบบนิวแมติก (รูปที่ 2.5)

รูปที่ 2.5 Air reservoirs รุ่น CRVZS

ถังเก็บลมรุ่น CRVZS ของ FESTO มีคุณภาพสูงสามารถใช้งานในอุณหภูมิที่สูงถึง 100 องศาเซลเซียส และสามารถทนต่อความดันได้ถึง 16 bar

2.6.1.2 อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพลมอัด (Treatment component) ชุดอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพลมอัด หรือชุดบริการลมอัด หรือ FRL Unit มีหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพลม ทำให้อากาศอัดปราศจากฝุ่นละอองคราบน้ำมัน และน้ำก่อนที่จะไปใช้ในระบบนิวแมติก ประกอบด้วย

- ตัวกรองลมอัด (Air filter: F) ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรก เช่น ไอน้ำ ฝุ่นผง หรือสารต่าง ๆ ที่ล่องลอยในบริเวณเครื่องอัดอากาศ (รูปที่ 2.6)

รูปที่ 2.6 Filter รุ่น MS-LF

Filter รุ่น MS-LF มีความสามารถในการกรองสิ่งสกปรกได้ละเอียดถึง 40 μm มีอัตราการไหลสูงถึง 1700 l/min มีให้เลือกหลากหลายขนาดทั้ง G1/8, G1/4, G3/8

- ชุดควบคุมความดัน (Air regulator: R) ทำหน้าที่ปรับ หรือควบคุมความดันจ่ายที่ออกมามีค่าคงที่ (รูปที่ 2.7)

รูปที่ 2.7 Regulator รุ่น MS-LR

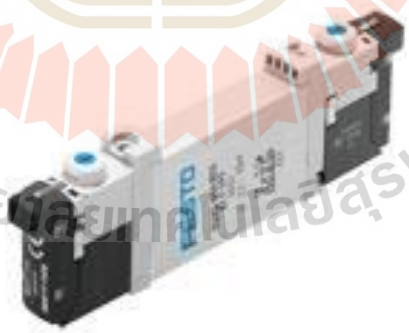
Regulator รุ่น MS-LR มีรูปแบบการควบคุมการไหลหลากหลายให้เลือก ไม่ว่าจะเป็น การควบคุมการไหลจากซ้ายไปขวา หรือจากขวาไปซ้าย ใช้กับความดันสูง ๆ ได้อย่างดี สามารถใช้กับอัตราการไหลสูงถึง 22000 l/min

- ตัวผสมละอองน้ำมันหล่อลื่น (Air lubricator: L) ทำหน้าที่ในการเติมน้ำมันหล่อลื่นให้กับลมอัด เพื่อหล่อลื่น ลดแรงเสียดทาน และป้องกันอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่สัมผัสกันโดยตรง (รูปที่ 2.8)

รูปที่ 2.8 Lubricator รุ่น MS-LR ของ FESTO

2.6.1.3 อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน (Controlling Component) หมายถึง ลิ้นควบคุมชนิดต่าง ๆ ในระบบนิวแมติก ทำหน้าที่ในการเริ่ม และหยุดการทำงานของวงจร ควบคุมทิศทางการไหลของลมอัด ควบคุมอัตราการไหลของลมอัด และควบคุมความดัน อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมในระบบนิวแมติก หรือวาล์วควบคุมในระบบนิวแมติก (Pneumatic valves) ในระบบนิวแมติกพื้นฐานจะแบ่งวาล์วควบคุมได้ ดังนี้

- วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional control valves) หรือที่เรียกกันว่าโซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) มีหน้าที่ในการควบคุมทิศทางลม สั่งงานด้วยขดลวดไฟฟ้า (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 Directional control valve

วาล์วชนิดนี้สามารถเปิด-ปิดการไหลของลมได้อย่างแม่นยำ นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งตามบ้านเรือนวาล์วลมอัดไหลทางเดียว (Non-return valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของลมอัดให้ไหลผ่านทางเดียว สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ประเภท คือ วาล์วกันกลับ (Check valve) หรือลิ้นกันกลับเป็นลิ้นที่ยอมให้ลมไหล

ผ่านเพียงแค่ทางเดียว มีทั้งแบบที่มีสปริงและไม่มีสปริงภายใน, วาล์วลมเดียว (Shuttle valve) จะเป็นวาล์วที่มีทางต่อลมเข้าได้สองทางแต่มีทางออกเพียงทางเดียว วาล์วประเภทนี้จะสามารถควบคุมลมออกได้หลายทาง เมื่อมีลมเข้าข้างใดข้างหนึ่ง ข้างที่มีความดันลมอัดสูงจะดันลูกปืนไปปิดทางลมที่ต่ำกว่าแล้วผลักดันไว้ไม่ให้ลมอัดรั่วจากนั้นก็จะส่งลมออกไปใช้งาน, วาล์วทิ้งลมเร็ว (Quick exhaust valve) หรือลิ้นเร่งระบาย ช่วยให้ลมภายในออกจากกระบอกสูบได้เร็วเพื่อเพิ่มความเร็วลูกสูบ โดยจะประกอบไว้ทางระบายลมใกล้กระบอกสูบที่สุดให้ระบายลมออกสู่ภายนอกได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านท่อยาง และสุดท้ายคือ วาล์วความดันสองทาง (Two pressure valve) วาล์วประเภทนี้จะคล้าย วาล์วลมทางเดียว ต่างกันตรงที่ ต้องมีลมเข้ามาทั้งสองทางจึงจะมีลมอัดออกไปใช้งาน

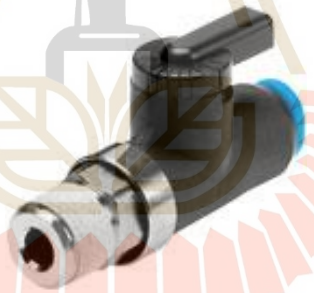
- วาล์วควบคุมความดัน (Pressure control vales) ทำหน้าที่ควบคุมความดันสูงสุดของระบบควบคุมการทำงานของปั๊ม ปรับความดันให้ได้ตามต้องการ ซึ่งวาล์วประเภทนี้ที่เป็นที่นิยมใช้ ได้แก่ วาล์วจำกัดความดัน (Relief valve) ทำหน้าที่จำกัดความดันในระบบ ป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากความดันที่สูงเกินไป และวาล์วลดความดัน (Pressure reducing valve) ทำหน้าที่ในการปรับลดความดันตามที่ปรับตั้งเอาไว้ (รูปที่ 2.10)

รูปที่ 2.10 Pressure control vales ของ FESTO

- วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control vales) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณการไหลของลมอัดที่จะส่งไปยังระบบนิวแมติกให้คงที่ สามารถควบคุมความเร็วของก้านสูบในขณะทำงานได้ โดยติดตั้งท่อทางลมอัดที่ต่อเข้าระหว่างกระบอกสูบกับวาล์วควบคุมทิศทาง (รูปที่ 2.11)

รูปที่ 2.11 Flow control vales ของ FESTO

- วาล์เปิด-ปิด และวาล์วผสม (Shut-off valves and Valve combination) วาล์วเปิด-ปิด (Shut-off vales) เป็นวาล์วควบคุมแบบสองทิศทาง ใช้ควบคุมการปิด-เปิดการไหลของลม ส่วนวาล์วผสม (Valve combination) เป็นวาล์วที่นำวาล์วนิวแมติกมารวมกัน วาล์วผสมนี้มีอยู่หลายแบบ เช่น วาล์วหน่วงเวลา (Time delay valve) วาล์วกำเนิดการสั่น (Vibrative impulse generator valve) หรือวาล์วชุดควบคุมการป้อน (Air control block) ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Shut-off vales ของ FESTO

2.6.1.4 อุปกรณ์การทำงาน (Actuator or working component) ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังกล เช่น กระบอกสูบลมชนิดต่าง ๆ เช่น กระบอกสูบทางเดียว (Single-acting cylinders), กระบอกสูบสองทิศทาง (Double-acting cylinders) หรือกระบอกสูบชนิดมีตัวกันกระแทก (Cushioned cylinders) หรือมอเตอร์ลม

2.6.1.5 อุปกรณ์ในระบบท่อทาง (Piping system) ใช้เป็นท่อทางไหลของลมอัดในระบบนิวแมติกท่อลมที่ใช้ในระบบนิวแมติก จะทำมาจาก ท่อเหล็ก ท่อทองแดง หรือท่อพลาสติก ซึ่งการนำไปใช้งานจะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานและความเหมาะสมในการใช้งาน นอกจากเรื่องวัสดุแล้วสิ่งที่ควรคำนึงคือ สภาพการทนต่อการใช้งานต่าง ๆ สิ่งที่ควรดูคือ การทนต่อความดันลม

ซึ่งไม่ควรให้น้อยกว่า 12 bar โดยท่อลมของ FESTO มีให้เลือกหลากหลายรูปแบบ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางให้เลือกตั้งแต่ 6 mm ถึง 28 mm ทนต่อความดันลมได้ถึง 30 Bar ทนต่ออุณหภูมิการใช้งานได้ถึง 75 องศาเซลเซียส (รูปที่ 2.13)

รูปที่ 2.13 ท่อลม

นอกจากท่อลมแล้ว ข้อต่อท่อลม (Couplings) ที่ดีก็จะช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพ และช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่การทำงานมากยิ่งขึ้น และอีกหนึ่งอุปกรณ์เสริมที่จะช่วยลดเสียงที่เกิดเนื่องจากการระบายลมทิ้งของวาล์วควบคุมได้ นั้นคือ อุปกรณ์เก็บเสียง (Silencers) (รูปที่ 2.14)

รูปที่ 2.14 Couplings ของ FESTO

2.6.1.6 อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของกระบอก (Sensor) อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของกระบอกที่ใช้กันนั้น คือ Proximity sensor เป็นเซนเซอร์ที่ถูกสร้างมาเพื่อใช้ตรวจจับวัตถุ โดยไม่ต้องสัมผัส วิธีการเลือกใช้นั้นให้พิจารณาจากหลาย ๆ ส่วน เช่น สัญญาณเอาท์พุตที่ใช้เป็นแบบ NPN หรือ PNP ต้องใช้สายแบบใด ความยาวเท่าไร ขนาดของหัว Sensor (รูปที่ 2.15)

รูปที่ 2.15 Proximity sensor

2.6.1.7 อุปกรณ์วัดความดันลมในระบบ (Pressure sensor) Pressure sensor อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันลมมีหน้าที่ในการควบคุม แสดงผลค่าแรงดันลมตามที่ต้องการได้ หน่วยในการแสดงผลมีให้เลือกหลายแบบ เช่น Bar, mbar, kPa, psi, mmHg มีสัญญาณ Output ให้เลือกหลายแบบ เช่น Analog4-20mA, 0-10VDC, NPN, PNP เป็นต้น (รูปที่ 2.16)

รูปที่ 2.16 Pressure sensor

2.6.1.8 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลในระบบ (Air flow sensor) อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow sensor) เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สำคัญในระบบนิวแมติก อุปกรณ์นี้ทำหน้าที่ในการวัดอัตราการเคลื่อนที่ของของไหล (Fluid) ที่ไหลผ่านภาชนะ (รูปที่ 2.17)

รูปที่ 2.17 Flow sensor

2.6.2 ความดันลม

ความดันเป็นปริมาณชนิดหนึ่งทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง แรงที่กระทำตั้งฉาก ซึ่งทำโดยของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของสารใด ๆ (ของแข็ง ของเหลว แก๊ส) ความดันเป็นปริมาณสเกลาร์ ซึ่งเป็นปริมาณที่มีแต่ขนาด ไม่มีทิศทาง จากความหมายสามารถเขียนเป็นสูตรคณิตศาสตร์(โดยทั่วไป) ได้ดังสมการ (2.1) นี้

$$P = \frac{F}{A} \tag{2.1}$$

กำหนดให้

P = ความดัน (Pressure); N/m^2

F = แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น ๆ (Normal Force); Newton (N)

A = พื้นที่ (Area) — หรืออาจใช้ S (Surface; พื้นผิว); m^2

2.6.2.1 ชนิดความดัน

ชนิดหรือรูปแบบของความดัน (Pressure) แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้

2.6.2.1.1 ความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) คือ ความดันรวมของระบบ ซึ่งเป็นผลบวกระหว่างความดันเกจ (Gauge pressure) กับความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) ณ จุดที่วัด

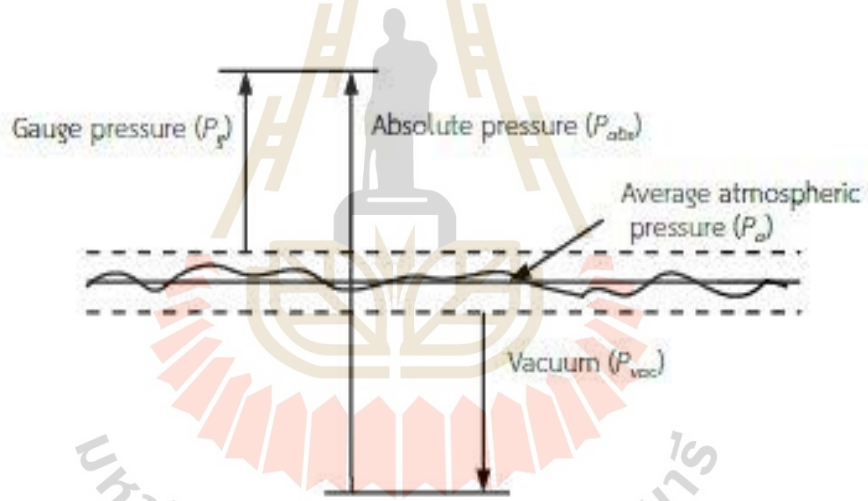
2.6.2.1.2 ความดันเกจ (Gauge pressure) คือ ความดันที่วัดได้จากเกจวัดความดัน (Pressure gauge) เป็นค่าความดันที่คิดความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) เป็นจุดศูนย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6.2.1.3 ความดันแตกต่าง หรือความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differential pressure, ΔP) เป็นค่าความแตกต่างของความดัน ระหว่างจุดสองจุด มีค่าเป็นศูนย์เมื่อความดันทั้งสองจุดที่วัดมีค่าเท่ากัน ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน เช่น การวัดความดันแตกต่างเพื่อคำนวณหาค่าอัตราการไหล (Flow measurement) หรือการวัดความดันแตกต่างที่ด้านหน้า และด้านหลังของตัวกรองเพื่อประเมินอายุการใช้งาน หากมีค่าความดันแตกต่างมากแสดงว่ามีสิ่งสกปรกติดค้างที่ตัวกรองมาก เป็นต้น

2.6.2.1.4 สุญญากาศ ที่ว่างซึ่งมีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) ความดันที่มีค่าน้อยกว่าความดันบรรยากาศปกติ เรียกว่า ความดันสุญญากาศ (Vacuum pressure, P_{vac})

ทั้งนี้ รูปแบบของความดันแต่ละชนิดมีจุดอ้างอิง (Reference) ที่มีค่าเป็นศูนย์แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ชนิดของความดัน

2.6.2.2 อัตราการไหล และระยะชักของกระบอกสูบ

การวัดอัตราการไหลของปริมาตร (Volumetric flow rate) ซึ่งมีหน่วยเป็น m^3/s ตาม SI หรือเท่ากับ ลูกบาศเมตรต่อวินาที โดยจะใช้สัญลักษณ์แทนด้วย Q การหาค่าอัตราการไหลของปริมาตรสามารถคำนวณได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$Q=VA \tag{2.2}$$

โดยที่

Q = อัตราการไหลของปริมาตร (m^3/s)

v = ความเร็วของการไหล (m/s)

A = พื้นที่หน้าตัดที่ของไหลวิ่งผ่าน (m^2)

ระยะชัก หรือระยะที่หัวคว้านเคลื่อนที่ขึ้นลง (Stroke) สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$L=\frac{4V_s}{(\pi D^2)} \quad (2.3)$$

โดยที่

L = ระยะชัก หรือระยะที่หัวคว้านเคลื่อนที่ขึ้นลง (m)

V_s = ปริมาตรก่อนการอัดตัว (m^3)

π = ค่าคงที่ เท่ากับ 3.14

D = ขนาดเส้นผ้านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (m)

2.6.3 ระบบ PLC

ระบบ PLC เป็น โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ (Programmable logic Control : PLC) เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ โดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญ PLC จะมีส่วนที่เป็น Input และ Output ที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ต่าง ๆ จะต่อเข้ากับ Input ส่วน Output จะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย สามารถสร้างวงจรหรือแบบของการควบคุมได้โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น เช่น เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Reader), เครื่องพิมพ์ (Printer) เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันนอกจากเครื่อง PLC จะใช้งานแบบเดี่ยว ยังสามารถต่อ PLC หลาย ๆ ตัวเข้าด้วยกัน (Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย การใช้งาน PLC มีความยืดหยุ่นมาก ดังนั้น ในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงนิยมเปลี่ยนมาใช้ PLC มากขึ้น

การใช้ PLC สำหรับควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม จะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบของรีเลย์ (Relay) PLC แบ่งออกได้ 3 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Control processing unit : CPU)

2. ส่วนที่เป็นอินพุต/เอาต์พุต (Input output : I/O)

3. ส่วนที่เป็นอุปกรณ์โปรแกรม (Programming device)

การใช้ระบบของรีเลย์ Relay ฉะนั้นเมื่อมีความจำเป็นที่ต้องเปลี่ยนกระบวนการผลิต หรือลำดับการทำงานใหม่ ก็ต้องเดินสายไฟฟ้าใหม่ ซึ่งเสียเวลา และเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ PLC แล้ว การเปลี่ยนกระบวนการผลิต หรือลำดับการทำงานใหม่นั้นทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรมใหม่เท่านั้น นอกจากนี้แล้ว PLC ยังใช้ระบบโซลิดสเตท ซึ่งน่าเชื่อถือกว่าระบบเดิม การกินกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า PLC การติดตั้ง PLC ทำได้โดย ตรวจสอบพื้นที่ในการติดตั้งมีเพียงพอหรือไม่ และต้องเผื่อไว้ขยายในอนาคต ต้องคำนึงถึงการซ่อมบำรุงง่าย ระบายความร้อนได้ดี ติดตั้งในที่ปลอดภัย

การต่อวงจรไฟฟ้า มีวิธีดังนี้

1. ต้องป้องกันไม่ให้ PLC เสียหายจากการใช้งาน หรือจากส่วนอื่น ๆ เช่น จากสิ่งแวดล้อม หรือสิ่งปนเปื้อนในอากาศ เช่น ความชื้น น้ำมัน ฝุ่นผง ก๊าซที่มีฤทธิ์ต่อการกัดกร่อน

2. มีขนาดใหญ่เพียงพอ สะดวกในการเดินสายไฟต่าง ๆ

3. ควรติดตั้งตู้ PLC ห่างจากแผงควบคุมไฟฟ้าแรงสูงอย่างน้อย 8 นิ้ว

4. ติดตั้งสายดิน

5. แยกการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

6. แยกการติดตั้งกับอุปกรณ์ที่มีความร้อนสูง เช่น ฮีทเตอร์ หม้อแปลง หรือตัวต้านทานขนาดใหญ่

7. ไม่ควรให้ PLC ติดตั้งอยู่บนเพดาน หรืออยู่กับพื้น

8. ถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่า 60°C ควรติดพัดลมเป่าระบายความร้อน (Advance electronic training center, 2017)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปฏิวัติ โพธิ์ชุ่ม และคณะ (2542) ได้ออกแบบ และสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้มอเตอร์ เป็นตัวส่งกำลังให้หัวเจาะ และใช้สเตปมอเตอร์ ควบคุมการทำงานด้วย ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และยังเป็นตัวควบคุมจังหวะการเคลื่อนที่ในการป้อนผลลำไย ให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ ผลการทดสอบได้ความเร็วรอบที่เหมาะสมคือ 13.5 รอบต่อนาที โดยสามารถคว้านเมล็ด ลำไยได้ 16.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คว้านเอาเมล็ดออกได้คิดเป็นร้อยละ 80 ของผลลำไยที่ใช้ในการทดสอบ แต่ยังไม่ได้คำนึงถึงความสมบูรณ์ของเนื้อลำไย ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้ คือความสมบูรณ์ของเนื้อลำไยหลังการคว้านมีค่าต่ำ และการจัดวางผลลำไยลงบนถาดลำเลียง ต้องใช้ความระมัดระวังในการจัดวางขั้วให้ตรง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิวัฒน์ คล่องพาณิช และคณะ (2543) ได้ทำการวิจัยสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไยขึ้น และได้ออกแบบส่วนที่ใช้สำหรับคว้านเมล็ดลำไยออก โดยให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก บริเวณปลายทำให้มีความคมเพื่อที่จะสามารถเจาะเปลือกเข้าไปในเนื้อลำไยได้ การทำงานของตัวคว้านจะทำงานโดยใช้กลไกลูกเบี้ยวเป็นตัวส่งผ่านแรงกด และจะติดสปริงไว้ที่ตัวคว้านเพื่อที่จะสามารถดันกลับได้ด้วยตัวเอง หลักการทำงานของเครื่องนี้ เมื่อเปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน ร่องที่ใช้ใส่ลำไยจะเคลื่อนที่เป็นวงกลม พร้อมหัวเจาะซึ่งหมุนรอบลูกเบี้ยว เมื่อป้อนลำไยลงในรูทีละลูก โดยการป้อนลำไยนี้จะต้องทำให้ขั้วลำไยตรงกับทิศทางการเจาะของตัวเจาะ เมื่อลำไยหมุนถึงจุดที่หัวเจาะทำงาน หัวเจาะจะเคลื่อนที่เจาะเปลือกลำไยเข้าไปในเนื้อ จนกระทั่งสุดระยะของลูกเบี้ยว ตัวเจาะจะถอยกลับเองโดย แรงของสปริง โดยเมล็ดของผลลำไยจะถูกดันออกจากหัวเจาะโดยก้านกระทุ้ง และเนื้อลำไยจะร่วงลงข้างล่าง เครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้สามารถคว้านได้ด้วยความเร็ว 37 ลูกต่อนาที หรือคิดเป็นปริมาณจะได้ 22.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ผลของการคว้านจะมีค่าความเสียหายมาก และคว้านเมล็ดลำไยออกได้น้อย เนื่องจากรูรับผลลำไยเคลื่อนที่ไปด้วยในระหว่างการเจาะ ทำให้ลำไยกลิ้งไปด้วยตำแหน่งในการเจาะจึงเกิดการผิดพลาด และรูรับผลลำไยมีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้ตำแหน่งการเจาะไม่ได้อยู่ตรงกลางของผลลำไย ลำไยจะถูกเจาะในตำแหน่งที่เยื้องไปด้านบน ทำให้ไม่สามารถเจาะเมล็ดลำไยออกมาได้

วิวัฒน์ คล่องพาณิช และคณะ (2543) ได้ทำการวิจัยสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไยขึ้น และได้ออกแบบส่วนที่ใช้สำหรับคว้านเมล็ดลำไยออก โดยเครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้จะมีการเจาะเมล็ดลำไยในแนวดิ่งจากด้านบน ถาดรองลำไยจะมีร่องบรรจุลำไย และจะควบคุมการหมุนด้วยสเตปมอเตอร์ที่รับสัญญาณมาจากแผงคอนโทรลเลอร์ ถาดรองลำไยจะหมุนระหว่างการเจาะของชุดเจาะ หลังจากเจาะเสร็จแล้ว สเตปมอเตอร์จะหมุนเอาลำไยผลใหม่มาเจาะต่อ ส่วนการเจาะจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนตัดขั้วของผลลำไย จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก บริเวณปลายจะทำให้คมเพื่อสามารถตัดขั้วลำไยได้ และส่วนเจาะเมล็ด จะเป็นแท่งเหล็กปลายแหลมติดอยู่ตรงกลางของส่วนตัดขั้ว หลักการทำงานของเครื่อง จะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก ส่วนควบคุมการหมุนของถาดรองผลลำไย โดยเมื่อเริ่มเดินเครื่องแผงควบคุมจะสั่งการไปยังสเตปมอเตอร์ซึ่งติดอยู่ใต้ถาดรองผลลำไย ให้หมุนไปยังตำแหน่งที่เหมาะสม โดยใช้ไมโครสวิทช์เป็นตัวหมุน และหยุดการหมุนของถาด โดยเมื่อหัวเจาะเคลื่อนที่ขึ้นสุดหัวเจาะก็จะไปแตะไมโครสวิทช์ ซึ่งไมโครสวิทช์นี้จะไปสั่งงานให้สเตปมอเตอร์หมุนไป 1 ครั้ง ครั้งละ 45 องศา เมื่อครบ 45 องศาก็จะหยุดหมุน ส่วนที่ 2 ส่วนขั้นตอนในการคว้านจะเริ่มจากข้อเหวี่ยงเริ่มหมุน หัวเจาะก็จะเริ่มเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง เมื่อเคลื่อนที่มาตำแหน่งล่างสุด หัวเจาะจะเริ่มกดลงไปในผลลำไย โดยผ่านขั้วลำไย และดึงเมล็ดลำไยออกมา เมล็ด และผลจะถูกแยกออกจากกัน เมื่อหัวเจาะเคลื่อนที่ขึ้นไปเมล็ดลำไยที่ติดขึ้น ไปด้วยก็จะถูกดันออกให้หลุดจากหัว

เจาะ โดยก้านดันเมล็ดที่ติดอยู่ข้างในหัวเจาะ เครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้สามารถคว้านลำไยได้ในอัตราเร็ว 13 ลูกต่อนาที และคิดเป็นปริมาณจะได้ 8.1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และสามารถคว้านเมล็ดลำไยออกได้คิดเป็นร้อยละ 75 ส่วนในการนำลำไยที่คว้านเมล็ดออกนั้น ทำได้ยาก และอาจจะทำให้เกิดความเสียหายให้กับเนื้อลำไยได้

วิวัฒน์ คล่องพาณิช และคณะ (2543) ได้ทำการวิจัยสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไยขึ้น และได้ออกแบบส่วนที่ใช้สำหรับคว้านเมล็ดลำไยออก โดยเครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้จะคว้านเมล็ดลำไยในแนวระดับ จะมีชุดสายพานลำเลียงที่มีร่องวางลำไยติดอยู่ โดยที่สายพานถูกควบคุมด้วยกลไกที่ทำให้ สายพานเคลื่อนที่ 1 จังหวะ และหยุด 1 จังหวะ ในจังหวะที่สายพานหยุดนั้น จะเป็นจังหวะที่ตัวเจาะ ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยหลักการของเพลาข้อเหวี่ยง เข้ามาเจาะเมล็ดลำไย และเมื่อตัวเจาะสามารถเจาะเมล็ดได้แล้วก็จะเคลื่อนที่กลับ ซึ่งเป็นจังหวะเดียวกับจังหวะที่สายพานเคลื่อนที่เพื่อนำลำไยใหม่มาเจาะต่อไป ส่วนเมล็ดลำไยที่ติดมากับตัวเจาะจะถูกดันออกด้วยก้านกระทุ้งในจังหวะที่ตัวเจาะเคลื่อนที่กลับ เครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้ใช้ มอเตอร์ 1 เฟส ขนาด 0.25 แรงม้า เป็นต้นกำลัง หลักการทำงานของเครื่องนี้โดยชุดสายพานลำเลียงจะมีร่องสำหรับวางลำไยติดอยู่ เมื่อเปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน สายพานจะถูกควบคุมด้วยกลไกที่ทำให้เคลื่อนที่ 1 จังหวะ และหยุด 1 จังหวะ ซึ่งจังหวะที่สายพานหยุดนั้น ก็เป็นจังหวะที่หัวเจาะเคลื่อนที่เข้าเจาะลำไย ด้วยหลักการทำงานของเพลาข้อเหวี่ยง โดยที่ต้องวางลำไยให้ขั้วลำไยอยู่ในแนวเดียวกับการเจาะ เพื่อให้หัวเจาะตัดขั้วลำไย แล้วดึงเมล็ดลำไยออกมาได้ ซึ่งเมื่อหัวเจาะเจาะเอาเมล็ดลำไยออกได้แล้ว จะเคลื่อนที่กลับ ซึ่งเป็นจังหวะเดียวกับที่สายพานเคลื่อนที่ ส่วนเมล็ดลำไยที่ติดมากับหัวเจาะนั้น จะถูกดันออกด้วยก้านกระทุ้งในจังหวะที่หัวเจาะเคลื่อนที่กลับ เครื่องคว้านลำไยนี้สามารถคว้านลำไยได้ในอัตราเร็ว 45 ลูกต่อนาที และคิดเป็นปริมาณจะได้ 27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และสามารถคว้านเมล็ดลำไยออกได้คิดเป็นร้อยละ 80 ซึ่งลำไยที่คว้านออกมานี้มีลักษณะสมบูรณ์ แต่ต้องมีความชำนาญในการวางผลของลำไยในร่องสายพาน เนื่องจากสายพานเคลื่อนที่เร็ว ถ้าไม่ชำนาญก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการคว้านได้

โรจนพงษ์ โลหะวัชระ และคณะ (2544) ได้ออกแบบ และสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไย ซึ่งผลลำไยที่ใช้คว้านต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.3–2.8 เซนติเมตร ใช้ระบบนิวแมติกเป็นต้นกำลังโดยใช้กระบอกสูบลมชนิดทำงานสองทิศทาง ติดตั้งเข้ากับชุดหัวเจาะ และถาดป้อนผลลำไย ผลการทดสอบได้อัตราการคว้านเมล็ดลำไยเท่ากับ 24 ลูกต่อนาที และคิดเป็นปริมาณจะได้ 14.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีจำนวนผลลำไยที่คว้านเอาเมล็ดออกได้คิดเป็นร้อยละ 72 ของจำนวนผลลำไยที่ทำการคว้านแต่ผลที่มีการคว้านเอาเมล็ดออกแล้วนั้น เนื้อลำไยสมบูรณ์มีค่าต่ำเพียงแค่ร้อยละ 32 เท่านั้น ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้ คือ ในบางครั้งลำไยที่มีเปลือกแข็งและเหนียว มากกว่าปกติ จะทำให้หัวเจาะไม่สามารถเจาะทะลุเปลือกลำไยได้ทันที ทำให้การทำงาน

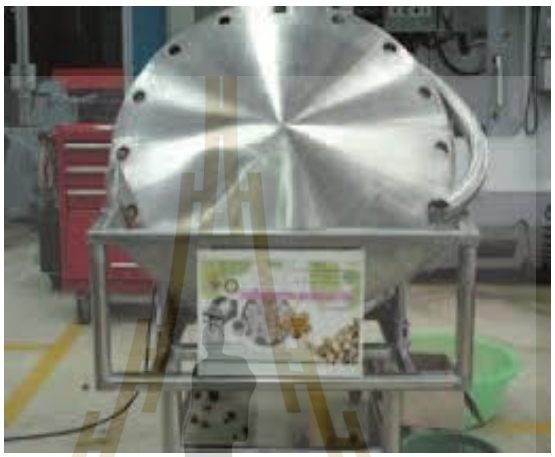
ของเครื่องหยุดชะงักจนกว่าหัวเจาะจะสามารถเจาะทะลุเข้าไปในผลลำไยได้แล้วเครื่องจึงจะทำงานต่อ ดังนั้น ควรมีการคัดขนาดลำไยที่จะนำมาคว้านให้มีลักษณะสด เพื่อให้ง่ายต่อการเอาเมล็ดลำไยออก

นิวัตร มูลปา และคณะ (2550) วิจัยพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยการจำลองพฤติกรรมเชิงกลของผลลำไยเมื่อถูกแรงกดจากชุดหัวเจาะ มีการออกแบบกลไกเจนีวาเพื่อทำให้ชุดจานหมุนและชุดหัวเจาะมีการเคลื่อนที่เป็นจังหวะสัมพันธ์กันดังรูปที่ 2.19 โดยมีมอเตอร์เป็นต้นกำลังแล้วทำการส่งกำลังเป็น 2 ส่วนคือ กลไกเจนีวาเพื่อให้ขับจานหมุนเคลื่อนที่ 1 จังหวะ และส่งกำลังไปยังเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อให้ชุดหัวเจาะมีการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง และยังมีออกแบบเบ้าเพื่อรองรับผลลำไยอีกด้วย จากการทดสอบพบว่าอัตราการคว้านอยู่ที่ 38 ผลต่อนาที คิดเป็นปริมาณได้ 23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความสามารถในการคว้านเมล็ดลำไยออกได้คิดเป็นร้อยละ 72 และเบ้าแบบที่มีฟองน้ำเป็นวัสดุรองรับส่งผลให้มีความเสียหายของเนื้อลำไยน้อยที่สุด ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องคว้านเมล็ดลำไยนี้คือ ความเฉื่อยจะมีค่าสูงเมื่อจานหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ส่งผลให้เกิดการกระแทกในขณะที่กลไกขบกัน

รูปที่ 2.19 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้การจำลองพฤติกรรมเชิงกล
ที่มา : นิวัตร มูลปา และคณะ (2550)

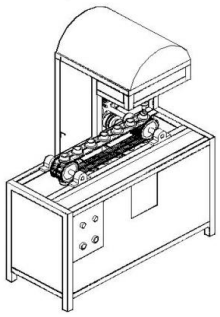
เกรียงไกร ธารพรศรี (2553)ได้ทำการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบ 2 หัวคว้าน เพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการของกลุ่มผู้แปรรูปอาหารจากลำไย จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมเข้าช่วย โดยมีหลักการทำงาน คือ มี 2 หัวคว้าน โดยการเจาะคว้านจะเคลื่อนที่เข้าเจาะคว้านพร้อมกันทั้ง 2 หัว และถอยออกมาพร้อมกับดึงเมล็ดของลำไยออกมาด้วย

และเมล็ดลำไยจะถูกดันเอาเมล็ดทิ้งออกไปในรางเพื่อแยกออกจากเนื้อและเปลือกลำไยโดยอัตโนมัติ ส่วนเนื้อ และเปลือกลำไยจะติดไปกับเบ้าจับแล้วจะถูกเขี่ยออกด้วยระบบกลไกของเครื่องทำให้ส่วนเนื้อและเปลือกลำไยตกแยกออกไปที่รางรับอีกทาง ซึ่งการออกแบบและการสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบ 2 หัวคว้าน สามารถนำไปใช้งานได้จริงและสามารถที่จะพัฒนาต่อยอดได้ต่อไปอีก รวมถึงยังช่วยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อันจะนำไปสู่เชิงพาณิชย์ได้ (รูปที่ 2.20)



รูปที่ 2.20 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบ 2 หัวคว้าน
ที่มา : เกรียงไกร ธารพรศรี (2553)

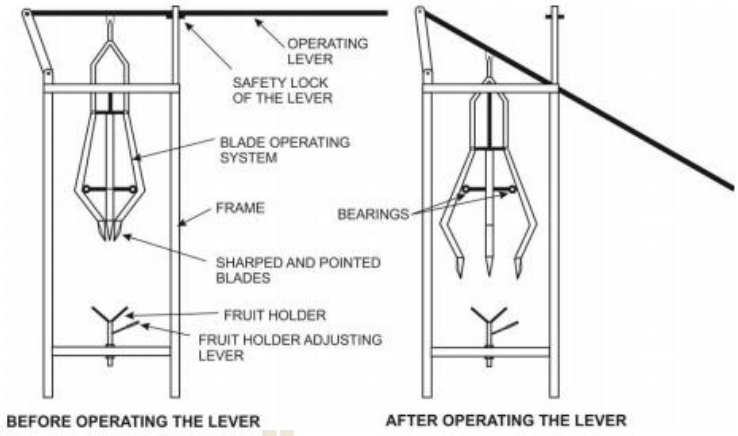
ปิยะพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรวัฒน์ นามวงศ์พรหม (2555) วิจัยพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้สายพานลำเลียงซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดจากเครื่องเดิมที่ลำเลียงโดยจานหมุนของ นิวัตร มูลปา (2550) โดยมีลักษณะการทำงานคือใช้แรงงานคน 1 คนในการป้อนผลลำไยลงในเบ้ารองรับดังรูปที่ 2.21 มีการใช้กลไกเจนีวาเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่จากการหมุนแบบสม่ำเสมอเป็นการหมุนแบบเป็นจังหวะ และใช้สายพานในการลำเลียงแทนการใช้จานหมุนเพื่อลดแรงเฉื่อยจากการเคลื่อนที่ จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องพบว่าความสามารถในการคว้านเมล็ดลำไยเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ จากเครื่องเดิม และเครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเดิมที่มีการใช้จานหมุนในการลำเลียง และยังพบอีกว่าความแม่นยำในการคว้านเมล็ดลำไยเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.21 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้สายพานลำเลียง
ที่มา: ปิยะพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรวัฒน์ นามวงศ์พรหม (2555)

กระวี ตรีอำนรรค และคณะ (2557) วิจัยทำการทดสอบและประเมินการคว้านเมล็ดลำไยด้วยเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้กระบอกสูบนิวแมติกเป็นอุปกรณ์ทำงานและใช้ลมอัดเป็นแหล่งกำลัง ทดสอบที่ความดันลม 6 8 และ 10 บาร์ จากผลการทดสอบพบว่า ที่ความดันลม 8 บาร์เป็นความดันลมที่เหมาะสม โดยมีความสามารถการทำงาน 9.7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เกิดความเสียหาย 2.9 เปอร์เซ็นต์ มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบที่ความดันลม 6 บาร์ แต่ให้อัตราการทำงานที่สูงกว่า และมีความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเพียง 0.04 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ผลลำไยที่ได้จากการคว้านยังคงมีเนื้อที่คว้านออกได้ทั้งแบบสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ซึ่งการใช้ลมอัดเป็นแหล่งกำลังที่สะอาด และปลอดภัยในแง่ของสิ่งปนเปื้อนทางอาหาร

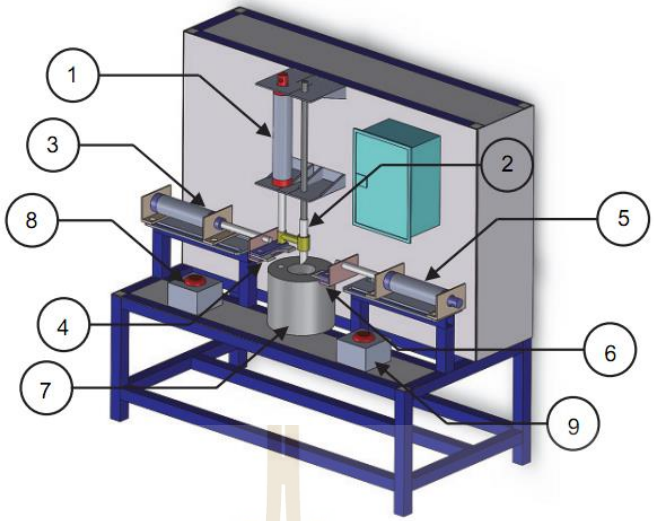
Piyathissa and Kahandage (2016) วิจัยเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวโดยมีลักษณะการกระจายตัวของใบมีดที่อยู่ส่วนบน เป็นส่วนประกอบหลักของเครื่อง และตัวจับมะพร้าวทำหน้าในการยึดให้ตรงตำแหน่งระหว่างปอกเปลือกขณะที่ลูกมะพร้าวหมุน โดยสามารถปรับตัวจับมะพร้าวได้ตามขนาดของลูกมะพร้าว ลักษณะเด่นของเครื่องนี้คือสามารถรักษาตาอ่อนของมะพร้าวไว้ได้ ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวก่อนและหลังกดคันโยก
ที่มา : Piyathissa *et al.* (2016)

ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต และคณะ (2559) ได้ศึกษาเครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะกึ่งอัตโนมัติ เพื่อสร้าง และทดสอบการทำงานขั้นต้น ต้นแบบเครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะกึ่งอัตโนมัติขนาดเล็ก โดยมีขนาด 800 x 400 x 800 มิลลิเมตร (รูปที่ 2.23) ใช้กระบอกสูบนิวแมติกเป็นอุปกรณ์ต้นกำลังการทำงาน ติดตั้งชุดมีดปอกเปลือกในแนวนอน 2 ชุด เคลื่อนที่เข้าหากันเพื่อทำหน้าที่จับผลเงาะ และกรีดเปลือกทีละผล หัวคว้านติดตั้งในแนวดิ่งเพื่อทำหน้าที่กดคว้านเมล็ด ควบคุมการทำงานด้วยวาล์วไฟฟ้า ทดสอบปอกคว้านเมล็ดเงาะที่ความดันลม 6 บาร์ กับผลเงาะคละขนาดจำนวน 50 ผล กลไกการปอกคว้านสร้างความเสียหายต่อผลเงาะสูงสุดคือ 7.43 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการทำงานสูงถึง 1,764 ผลต่อชั่วโมง ในขณะที่การปอกเปลือก และคว้านเมล็ดด้วยแรงงานชำนาญจะมีอัตราการทำงานเพียง 180 ผลต่อชั่วโมง สามารถเพิ่มอัตราการคว้านลำไยจากแรงงานคนถึง 9.8 เท่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.23 Model of Semi-Automatic Rambutan Peeling and Seed Removing Machine.
ที่มา: ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต และคณะ (2559)

ศราวุธ คำมี และคณะ (2560) ได้ออกแบบ และพัฒนาเครื่องคว้านลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติ และหาตัวแปรที่ส่งผล ต่อกระบวนการผลิต พร้อมทั้งหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง แก้ไขปัญหา ของขั้นตอนการคว้านลำไยที่ใช้เวลานาน โดยเครื่องต้นแบบมีขนาด 500 x 500 x 600 มิลลิเมตร โดยจะมีกลไกในการทำงานทั้งหมด 4 ส่วน คือ ชุดล้อหมุนเบ้าจับลำไย ชุดหัวคว้านลำไย ชุดที่เขี่ยผลลำไย และชุดควบคุมระบบการทำงาน โดยการใช้ PLC ควบคุมอุปกรณ์ และชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้ทำงานอัตโนมัติ ยิ่งความเร็วของชุดล้อหมุน และแรงดันลมของชุดหัวคว้านลำไยเพิ่มสูงขึ้นทำให้ใช้เวลาลดลง แต่คุณภาพของลำไยลดลง ซึ่งความเร็วของชุดล้อหมุนลำไย 11 รอบต่อนาที ใช้แรงดันลมของชุดหัวคว้านลำไย 7 บาร์ สามารถคว้านลำไยอย่างมีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งคุณภาพของเนื้อลำไย หลังการคว้านเมล็ดลำไยอยู่ที่ร้อยละ 80 ของน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ความสามารถในการผลิตอยู่ที่ 14.77 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีจุดคุ้มทุนของการลงทุนเครื่องคว้านลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติ ในกระบวนการคว้านลำไยที่ 6,016 กิโลกรัม ซึ่งมีต้นทุนรวมเท่ากับ 48,128 บาท สามารถเพิ่มอัตราการคว้านลำไยจากแรงงานคนได้ 3 ถึง 4 เท่า

ศิระพงศ์ ลือชัย (2561) ได้ทำการประดิษฐ์คิดค้น เครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบอัตโนมัติ โดยทำเป็นร่องขนาดพอดีสำหรับผลลำไย ลักษณะคล้ายถาดขนมครก (ซึ่งต้องใช้เครื่องคัดขนาดก่อน) ดังรูปที่ 2.24 จากนั้น ใช้ระบบสั่นทางกล เพื่อให้หัวคว้านตรงกับขั้วพอดี กลไกทางกลจะคว้านเมล็ดออกมาตรงกับบริเวณขั้วได้อย่างพอดี เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตลำไยอบแห้งเพื่อการส่งออก ลดการใช้แรงงานคน ลดต้นทุนการผลิตช่วยในเรื่องของแรงงานคน และมาตรฐาน

การผลิต อีกทั้งยังลดปัญหาการเน่าเสียของลำไยอันเนื่องมาจากการรอคอยในกระบวนการผลิต ทำให้เก็บลำไยได้นานขึ้น

รูปที่ 2.24 เครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบอัตโนมัติ
ที่มา : ศิระพงศ์ ลือชัย (2561)

อนุสรา ติดตามรัมย์ (2561) วิจัย และพัฒนาเครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ มีต้นกำลังเป็นระบบนิวแมติก มีอุปกรณ์ชุดหัวคว้านเมล็ดอยู่ในแนวดิ่ง และชุดมีดกรีดเปลือกอยู่ในแนวนอน ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอยู่ที่ 64.65 เปอร์เซ็นต์ อัตราการทำงานเท่ากับ 17.51 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือประมาณ 351 ผลต่อชั่วโมง การใช้พลังงานสูงสุดคือ 26.46 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3.47 ตันต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 6 ปี 3 เดือน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวแมติก นั้น มีวิธีการดำเนินการวิจัย โดยการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล เพื่อนำไปออกแบบ และพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไย โดยการออกแบบเครื่องคว้านด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS และเขียนโปรแกรม PLC ในการควบคุมระบบกลไกการทำงานของเครื่องรวมถึงการต่อสายในตู้ควบคุม เมื่อออกแบบ และพัฒนาแล้วจึงทดสอบเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น โดยประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบโดยประเมิน ประสิทธิภาพของเครื่อง ความสามารถในการคว้าน ความเสียหายเชิงน้ำหนัก อัตราการทำงาน และการใช้พลังงาน ดังนี้

3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของลำไย

ศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลลำไยพันธุ์อีดอ ที่เก็บเกี่ยวอยู่ในสภาวะเดียวกัน ต้นเดียวกัน เก็บเกี่ยวช่วงเดือน สิงหาคม-กันยายน ซื้อในลักษณะเป็นช่อแล้วนำมาคัดขนาดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ดิจิตอล ซึ่งคัดขนาดลำไยได้ 6 ขนาด ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร และอาหารแห่งชาติ มกอช. 1 -2546 (The National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2003) และทำการทดลองขนาดละ 50 ผล ดังนี้

3.1.1 การหาขนาดของลำไย

ในการหาขนาดของผลลำไยมีมิติของผลลำไย และเมล็ดลำไยที่ต้องวัด ดังนี้

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 แกน ที่ตั้งฉากกัน ของผลก่อนปอกเปลือก ผลหลังปอกเปลือก และเมล็ด ประกอบด้วย ความสูง (Height) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) ดังรูปที่ 3.1 ทำการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แบบดิจิตอล ความแม่นยำ ±0.01 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.2) แล้วบันทึกผล

ค่ามิติสามารถนำไปหาค่าความกลม (Sphericity) ได้โดยใช้สมการ (3.1) (Mohsenin, 1986)

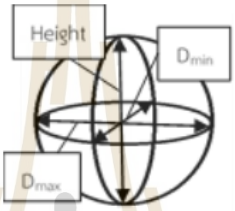
$$\text{Sphericity} = \left(\frac{D_{max} \times D_{min} \times H}{D_{max}}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.1)$$

โดยที่

D_{max} = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (มิลลิเมตร)

D_{min} = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (มิลลิเมตร)

H = ความสูง (มิลลิเมตร)



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไย

รูปที่ 3.2 การวัดลำไยโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล

2. ความหนาของเปลือก และเนื้อลำไย วัดความหนาของเนื้อที่ทำการคว้านเมล็ดออกแล้ว และความหนาของเปลือกลำไย โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล

3.1.2 น้ำหนักลำไย

ในการศึกษาน้ำหนักของลำไย ทำการชั่งน้ำหนักลำไยทั้งผล จากนั้น ทำการแยกส่วนต่าง ๆ ออกโดยใช้ด้ามช้อน หรือมีดปลายแหลมในการคว้านอย่างประณีต โดยปอกเปลือกลำไย ใช้ด้ามช้อน หรือมีดกดลงที่ขั้วลำไยด้านบนของผล แล้วทำการหมุนเป็นวงกลมรอบตัวเมล็ด

สุดท้ายดันเมล็ดออก ดังรูปที่ 3.3 แล้วจึงชั่งน้ำหนัก ได้แก่ น้ำหนักหลังปอกเปลือก เนื้อลำไย เมล็ด และเปลือก โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius, รุ่น BSA224S -CW ความแม่นยำ ±0.0001 กรัม

รูปที่ 3.3 การคว้านลำไยโดยแยกส่วนต่าง ๆ ออกด้วยด้ามช้อน

3.1.3 ค่าความถ่วงจำเพาะ

การหาค่าความถ่วงจำเพาะทำโดยวิธีการแทนที่น้ำโดยการชั่งน้ำหนักผลลำไยด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius, BSA3202S-CW ความแม่นยำ ±0.01 กรัม ในอากาศแล้วบันทึกค่า จากนั้น ทำการชั่งน้ำหนักอุปกรณ์ คือ บีกเกอร์ที่บรรจุน้ำ และตะกร้อสำหรับวัดค่าความถ่วงจำเพาะ แล้วบันทึกค่า จากนั้น จุ่มลำไยลงในตะกร้อในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 อ่านค่ามวลของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยผลลำไยแล้วนำมาคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะโดยใช้สมการ (3.2) (Jarimopas, 2002) ดังนี้

$$SG = \frac{W_d}{W_f} \tag{3.2}$$

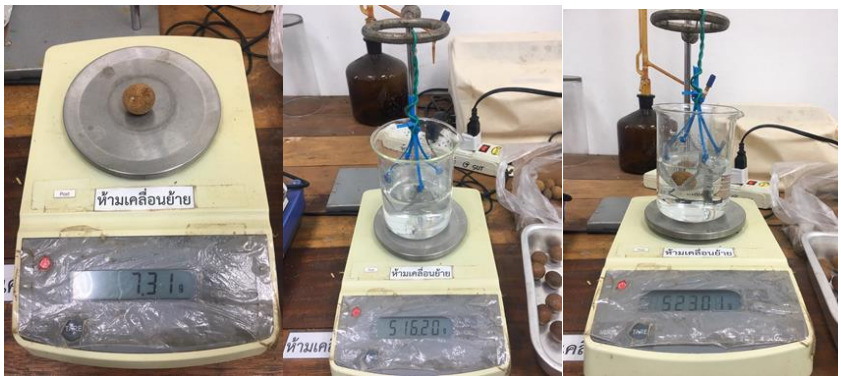
โดยที่

SG (Specific gravity) = ค่าความถ่วงจำเพาะ

W_d = น้ำหนักของลำไยที่ชั่งในอากาศ (g)

W_f = น้ำหนักของลำไยที่ชั่งในน้ำ (g)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการวัดหาค่าความถ่วงจำเพาะ

3.1.4 มุมกลิ้ง

การหามุมกลิ้งของผลลำไย โดยทดสอบกับวัสดุผิวราบทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นไม้ เหล็กกล้าไร้สนิม กัลวาไนซ์ และเหล็ก ทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ โดยวางผลลำไยบนวัสดุผิวเรียบดังแสดงในรูปที่ 3.5 แล้วจึงยกแผ่นไม้ขึ้นแล้วสังเกตตำแหน่งที่มีการกลิ้ง แล้วบันทึกผล โดยใช้ลำไยขนาดละ 50 ผล ทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ

รูปที่ 3.5 แผ่นเรียบทั้ง 4 ชนิด และการวัดค่ามุมกลิ้ง

3.1.5 ความชื้นของลำไย

การหาความชื้นของลำไย ทำโดยการสุ่มเลือกผลลำไยพันธุ์อีดอ ที่ใช้ในการทดลองขนาดละ 5 ผล โดยแยกเปลือก เนื้อ และเมล็ด โดยใช้ด้ามช้อน หรือมีดปลายแหลมคว้าน ทำการชั่งน้ำหนักเปลือก เนื้อและเมล็ด ก่อนเข้าตู้อบลมร้อน และหลังจากออกจากตู้อบลมร้อน ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ความแม่นยำ ±0.0001 กรัม แล้วจัดใส่อุปกรณ์ถาด และภาชนะ

ดังรูปที่ 3.6 จึงนำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (AOAC, 1995) อ้างถึงโดย Kansaard et al. (2018) จากนั้น นำไปพักไว้ใน โถดูดความชื้นแบบแก้ว (Desiccator glass) แล้วชั่งน้ำหนัก ทำการคำนวณค่าความชื้น ด้วยสมการ (3.3)

รูปที่ 3.6 เมล็ดลำไยที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

$$\%M_d = \frac{(w-d)}{d} \times 100 \qquad (3.3)$$

โดยที่

$\%M_d$ = เปอร์เซ็นต์ความชื้น (มาตรฐานแห้ง)

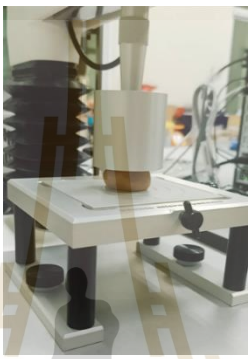
W = มวลก่อนนำเข้าตู้อบ (g)

d = มวลหลังออกจากตู้อบ (g)

3.1.6 แรงกด และแรงเฉือน โดยวัดจากเครื่อง Texture Analyzer

การศึกษาแรงกด และแรงเฉือนที่ใช้ในการแยกเปลือก และเมล็ดออกจากเนื้อลำไย ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (ศันสนีย์ นาเจริญ, 2558) การศึกษาแรงกด (Compression test) คือ ศึกษาพฤติกรรมการฉีกขาดของเปลือก เนื้อ ในขณะที่โดนกด เพื่อหาแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นในการนำไปเลือกใช้ระบบต้นกำลัง และขนาดของกระบอกสูบ โดยใช้หัวโพรบชนิด P/50 เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวโพรบคือ 50 มิลลิเมตร (ธีระพงค์ หมวดศรี, 2561) ซึ่งขนาดใหญ่กว่า และใกล้เคียงกับตัวอย่างลำไย โดยกดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ของความสูงของตัวอย่างลำไย การศึกษาแรงเฉือน (Shear test) คือ การศึกษาแรงเฉือน และแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่หัวคว้านกดโดนที่เปลือก เนื้อ และเมล็ดลำไย โดยใช้หัวโพรบชนิด Blades set with Warner- Bratzler เป็นลักษณะใบมีดมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมที่ขอบหัววัดกว้าง 32 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างลำไย ทำการตัดให้ใบมีดอยู่ในระดับเดียวกับฐาน

ในการศึกษาแรงกด (Compression test) และแรงเฉือน (Shear test) ทำการทดสอบกับลำไย 2 ขนาด คือ ขนาดที่ 1 และ 2 ตามมาตรฐานมกอช. เนื่องจากเป็นขนาดที่นิยมนำมาแปรรูปมากที่สุด โดยทดลองวัดค่า ขนาดละ 10 ตัวอย่าง จำนวน 3 ซ้ำ ด้วยการจัดวางลำไยในแนวตั้งฉาก โดยให้ขั้วของลำไยหันขึ้นด้านบน เพื่อให้สัมผัสกับหัวโพรบโดยตรงเป็นลำดับแรก เพื่อจำลองในการคว้านเมล็ดลำไย ดังรูปที่ 3.7 และ 3.8 โดยเครื่อง Texture Analyzer จะเก็บค่าที่สัมผัสกับลำไยในขณะนั้น ๆ คือ ค่าแรง, ระยะการเสียรูป และระยะเวลา แล้วนำค่าเหล่านั้นบันทึกลงตาราง



รูปที่ 3.7 การวัดแรงกด (Compression test) ของลำไย

รูปที่ 3.8 การวัดแรงเฉือน (Shear test) ของลำไย

3.2 การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องคว้านเมล็ดลำไย

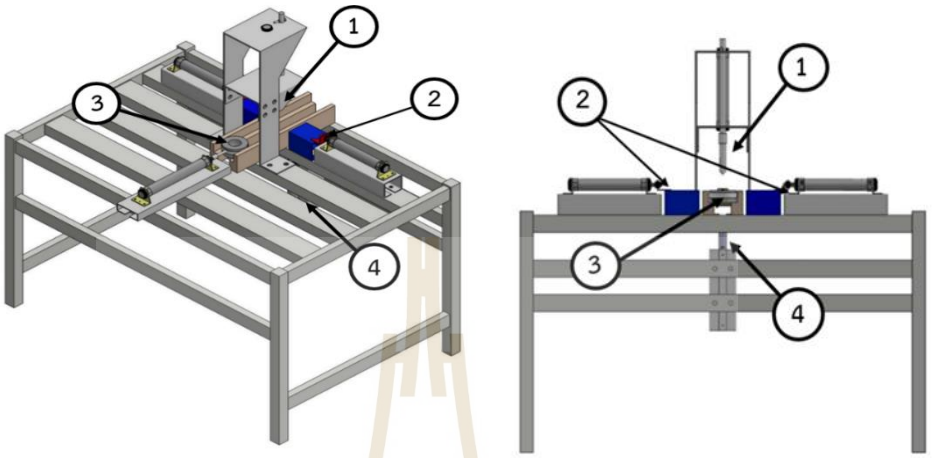
ในการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไย โดยใช้ระบบนิวแมติก ทำการพัฒนาจากเครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะของอนุสรา ติดตารัมย์ (2561) โดยมีกลไก ดังรูปที่ 3.9

(1) กลไกสำหรับป้อนผลเงาะ

(2) กลไกสำหรับปอกเปลือกเงาะ

(3) กลไกสำหรับคว้านเมล็ดเงาะ

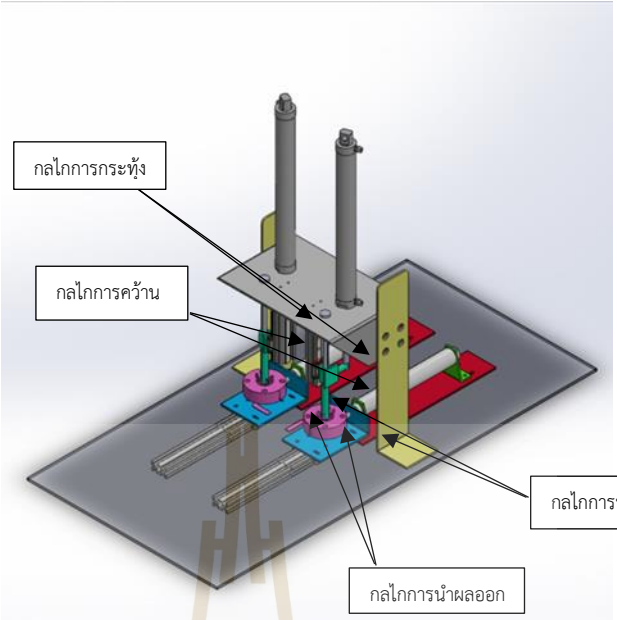
(4) กลไกสำหรับนำผลเงาะออก



รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบของเครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะของอนุสรา ติดตารัมย์ (2561) ที่ถูกออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks 2016 ประกอบด้วยรูปฉาย 2 มุมมอง ได้แก่ Isometric View และ Front View

ผู้วิจัยศึกษา และเห็นปัญหาของแต่ละกลไก จึงทำการพัฒนา ดังนี้

3.2.1 การออกแบบเครื่องต้นแบบ ใช้โปรแกรม Solid Works 2012 ในการออกแบบ และจำลองการทำงานของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย แบบกึ่งอัตโนมัติ ที่พัฒนาขึ้น (รูปที่ 3.10) โดยนำค่าสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลที่ศึกษามาทำการออกแบบกลไกต่าง ๆ ได้แก่ กลไกการคว้านเมล็ดลำไย, กลไกการป้อนลำไย โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวคว้านลำไยจะเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดลำไย คือ 14 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเบ้ารองลำไย มีค่าเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำไยที่ยังไม่ปอกเปลือก คือ 28 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.10 ส่วนประกอบของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย ด้วยรูปฉายมุมมอง Isometric View

กลไกต่าง ๆ ถูกขับเคลื่อนด้วยกระบอกสูบนิวแมติก และมีลมอัดเป็นระบบต้นกำลัง โดยออกแบบได้ดังนี้

3.2.1.1 กลไกการคว้านเมล็ดลำไย

จากการทดสอบแรงกด และแรงเฉือนสูงสุดด้วยเครื่อง Texture Analyzer พบว่าแรงเฉือนสูงสุดมีค่า 164.15 นิวตัน แรงดันลมที่เลือกใช้คือ 6 บาร์ (600,000 นิวตัน/เมตร^2) สามารถคำนวณหาขนาดกระบอกสูบได้ดังนี้

จากสมการ (2.1) $$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

จะได้ $$A = \frac{F}{P}$$

แทนค่า $$A = \frac{164.15\ N}{600{,}000\ N/m^2}$$

เพราะฉะนั้น $$A = 0.0002736\ m^2$$

เนื่องจากเป็นพื้นที่วงกลม $$A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

โดยที่ $d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$

แทนค่า $d = \sqrt{\frac{4\times0.0002736}{3.14}}$

จะได้ $d = 0.01866$ เมตร $= 18.66$ มิลลิเมตร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบนิวแมติกที่คำนวณได้คือ 18.66 มิลลิเมตร ดังนั้น สามารถใช้กระบอกสูบเดิมที่มีอยู่แล้วขนาด 32 มิลลิเมตรได้

3.2.1.2 กลไกการป้อนเข้า-ออกลำไย

เบ้ารองลำไยที่ทำจากวัสดุซุปเปอร์ลีนมีน้ำหนัก 49.82 กรัม เคลื่อนที่ไปพร้อม ๆ กับผลลำไย เพราะฉะนั้น จะต้องรวมกับน้ำหนักของลำไยด้วย ซึ่งน้ำหนักของลำไยที่มีขนาดใหญ่ที่สุด คือลำไยขนาดที่ 1 เท่ากับ 11.51 กรัม น้ำหนักรวมทั้งหมด 61.33 กรัม ซึ่งเมื่อแปลงเป็นหน่วยแรงจะได้เท่ากับ 0.6133 นิวตัน แรงดันลมที่เลือกใช้คือ 6 บาร์ (600,000 นิวตัน/เมตร^2)

จากสมการ (2.1) $P = \frac{F}{A}$ (2.1)

จะได้ $A = \frac{F}{P}$

แทนค่า $A = \frac{0.6133\ N}{600{,}000\ N/m^2}$

เพราะฉะนั้น $A = 1.0222\times10^{-6}\ m^2$

เนื่องจากเป็นพื้นที่วงกลม $A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$

โดยที่ $d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$

แทนค่า $d = \sqrt{\frac{4\times(1.0222\times10^{-6})}{3.14}}$

จะได้ $d = 0.00114$ เมตร $= 1.14$ มิลลิเมตร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบนิวแมติกที่คำนวณได้คือ 1.14 มิลลิเมตร และได้เลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นกระบอกสูบที่มีอยู่แล้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

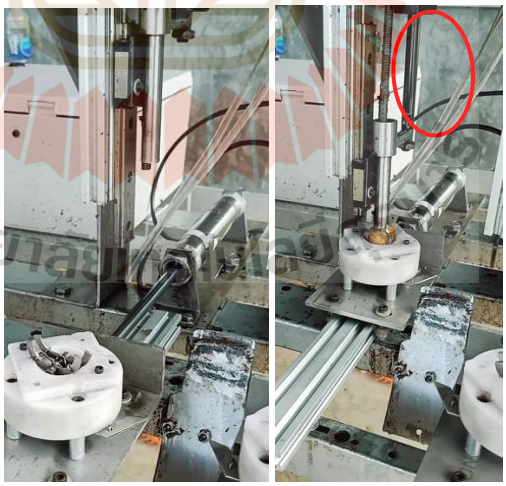
3.2.1.3 กลไกการนำผลออก

ออกแบบกลไกการนำผลออก โดยการติดสลักที่ ตัวหนีบผลลำไย ดังรูปที่ 3.11 เพื่อคลายล็อคตัวหนีบลำไย

รูปที่ 3.11 สลักของกลไกการนำผลออกที่ติดตั้งกับเบ้ารองลำไย

3.2.1.4 กลไกก้านกระทุ้ง

ออกแบบโดยยึดกับตัวโครงสแตนเลสด้านบนที่ยึดกระบอกสูบนิวแมติก เพื่อไม่ให้เคลื่อนที่ไปกับหัวคว้านลำไย (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 ก้านกระทุ้งเมล็ดลำไยออกจากหัวคว้านลำไย

3.2.1.5 ตำแหน่งการปฏิบัติงาน

ย้ายตำแหน่งการปฏิบัติงานเพื่อความสะดวก สบายต่อการปฏิบัติงาน และสามารถนั่งปฏิบัติงานได้ (รูปที่ 3.13)

รูปที่ 3.13 ตำแหน่งการปฏิบัติงาน

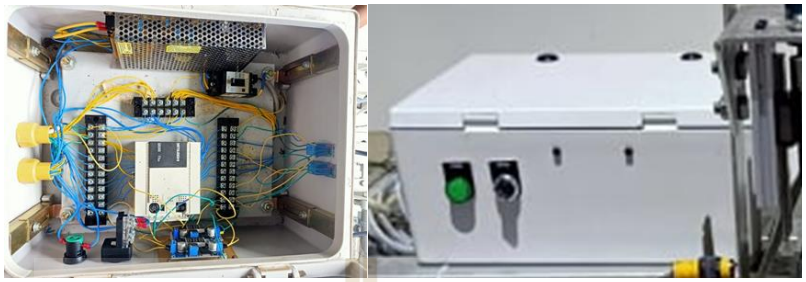
3.2.1.6 การปรับปรุงอื่น ๆ

- วัสดุที่รองรับในการเลื่อนสำหรับกลไกการคว้านเมล็ดลำไย และป้อนลำไย (รูปที่ 3.14)

รูปที่ 3.14 อะลูมิเนียมโปรไฟล์ V-slot ที่รองรับในการเลื่อนสำหรับกลไกการคว้านเมล็ดลำไย และป้อนลำไย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- ตู้ควบคุมไฟฟ้า ทำการจัดตำแหน่งแหล่งจ่ายไฟไว้ข้างในตู้ และเพิ่มอุปกรณ์รีเลย์, Step down, Filter และสวิตช์เปิดปิด (รูปที่ 3.15)



รูปที่ 3.15 ตู้ควบคุมไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบ

- เซนเซอร์ และปุ่ม Emergency เปลี่ยนชนิดเซนเซอร์เป็นเซนเซอร์แบบอินฟราเรด และเพิ่มปุ่ม Emergency เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ (รูปที่ 3.16)

รูปที่ 3.16 สวิตช์เซนเซอร์ และปุ่ม Emergency

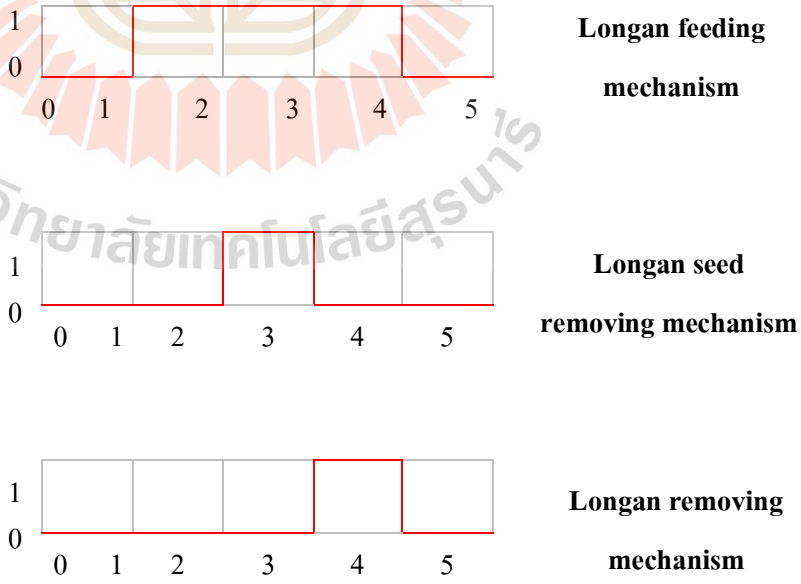
- หัวคว้านเมล็ดลำไย ซึ่งออกแบบหัวคว้านแบบปากตรง และปากฉลาม (รูปที่ 3.17)

รูปที่ 3.17 รูปแบบหัวคว้านเมล็ดลำไยแบบปากตรง และปากฉลาม

3.2.2 การควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบ

การทำงานของกลไกการป้อน และกลไกการคว้านเมล็ด ถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์ควบคุม PLC Mitsubishi โดยการเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของกลไกด้วย Ladder diagram โดยจะเขียนบนซอฟต์แวร์ GX Works 2

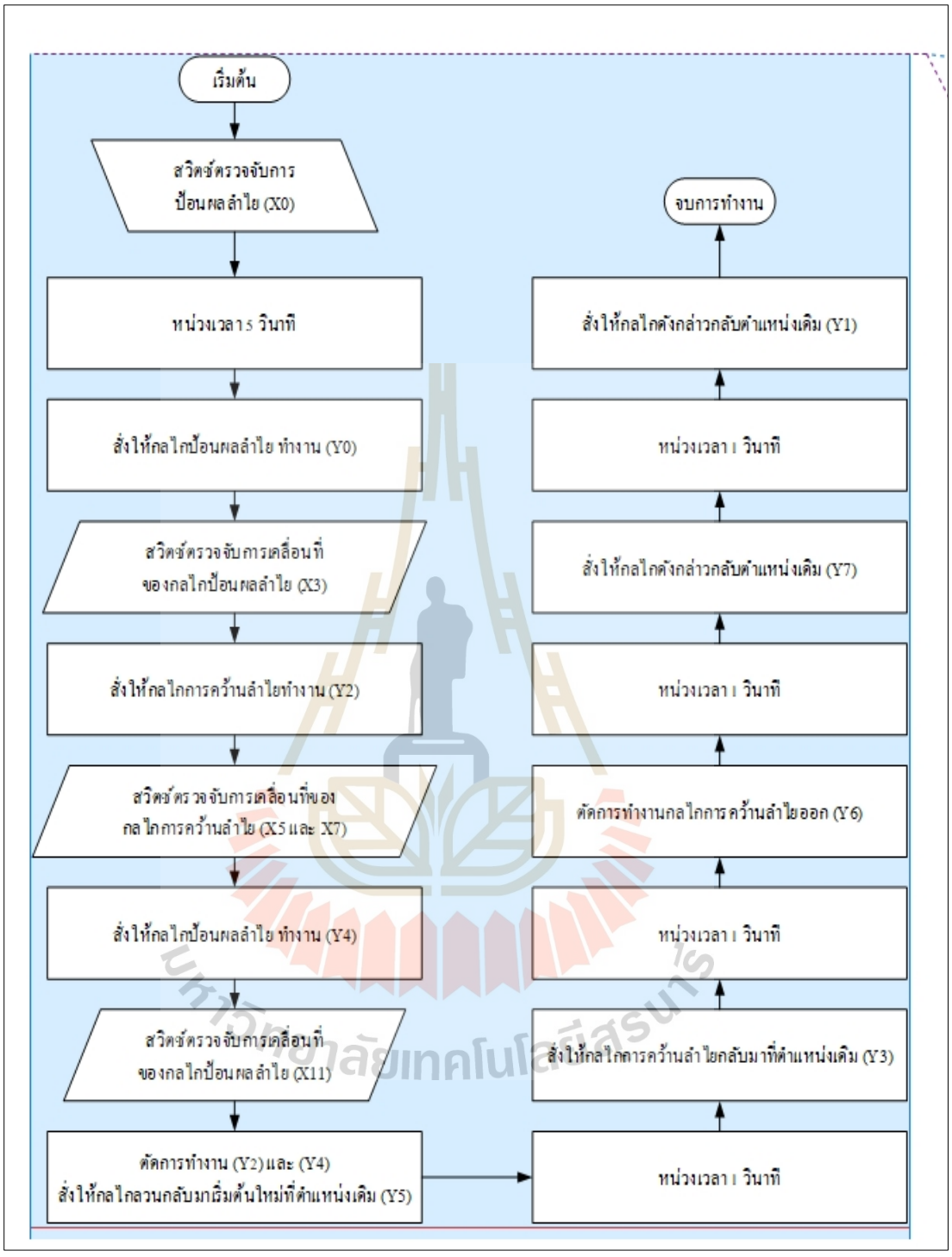
ลำดับการทำงานของกลไกการป้อน และกลไกการคว้านเมล็ดของเครื่อง สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพการทำงาน (Sequence Operation) ได้ดังรูปที่ 3.18 ดังนี้



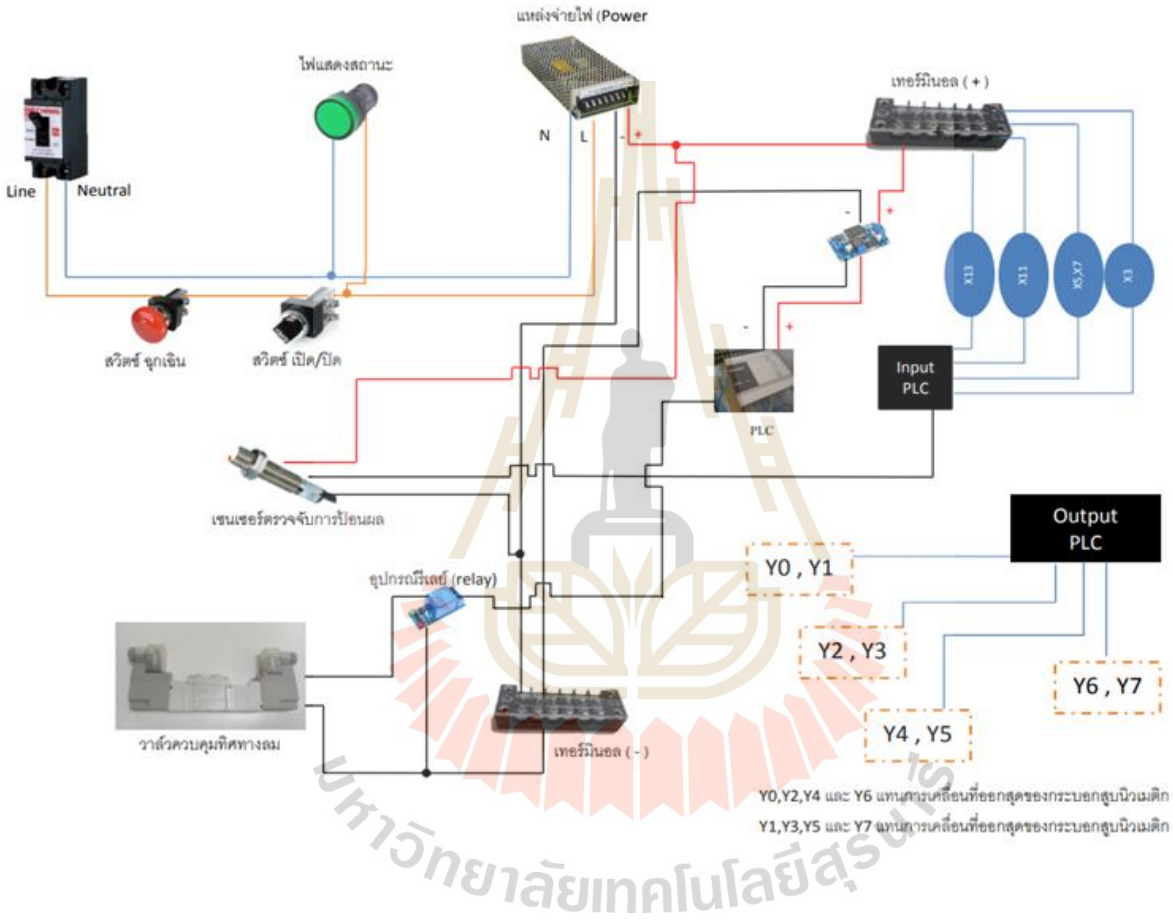
รูปที่ 3.18 แผนภาพแสดงลำดับการทำงานของกลไกการป้อน และกลไกการคว้านเมล็ด ของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย (Sequence Operation)

จากรูปที่ 3.18 แสดงลำดับขั้นตอนในการทำงานของกลไกการป้อน และกลไกการคว้านเมล็ด ของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย (Sequence Operation) กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากกลไกป้อนผลลำไยโดยป้อนให้ผลลำไยหันด้านขั้วลำไยขึ้นในแนวดิ่ง จากนั้น เมื่อกลไกป้อนผลลำไย (Longan feeding mechanism) เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งคว้านเมล็ด กลไกสำหรับคว้านเมล็ดลำไยเพื่อคว้านเมล็ดออก (Longan seed removing mechanism) เคลื่อนที่ลงมาในแนวดิ่งโดยการกดลงขั้วลำไยที่วางอยู่ในแนวดิ่งเพื่อคว้านเมล็ด จากนั้นกลไกการคว้านเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม และกลไกการป้อนลำไยเคลื่อนที่กลับมาที่ตำแหน่งเดิม พร้อมกับดันสลักนำผลลำไยออกจากเบ้ารองลำไย แล้วหยุดการทำงาน ในลำดับสุดท้ายเบ้ารองลำไยจะเคลื่อนกลับตำแหน่งเดิม และเป็นเบ้ารองเปล่า เพื่อรอรับผลลำไยผลต่อไป ซึ่งจากแผนภาพแสดงลำดับการทำงานดังกล่าวสามารถนำมาเขียนผังงานดังรูปที่ 3.19 เพื่อแสดงลำดับการทำงานของโปรแกรมก่อนทำการเขียน Ladder Diagram บนโปรแกรม GX Works2 ซึ่งก่อนที่จะถึงขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมลงบน PLC จำเป็นที่จะต้องต่อสายไฟให้ถูกต้องด้วย โดยแผนภาพแสดงการต่อสายไฟในตู้ควบคุมไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.20 และ Ladder Diagram ที่เขียนด้วยโปรแกรม GX Works2 แสดงในรูปที่ 3.21

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

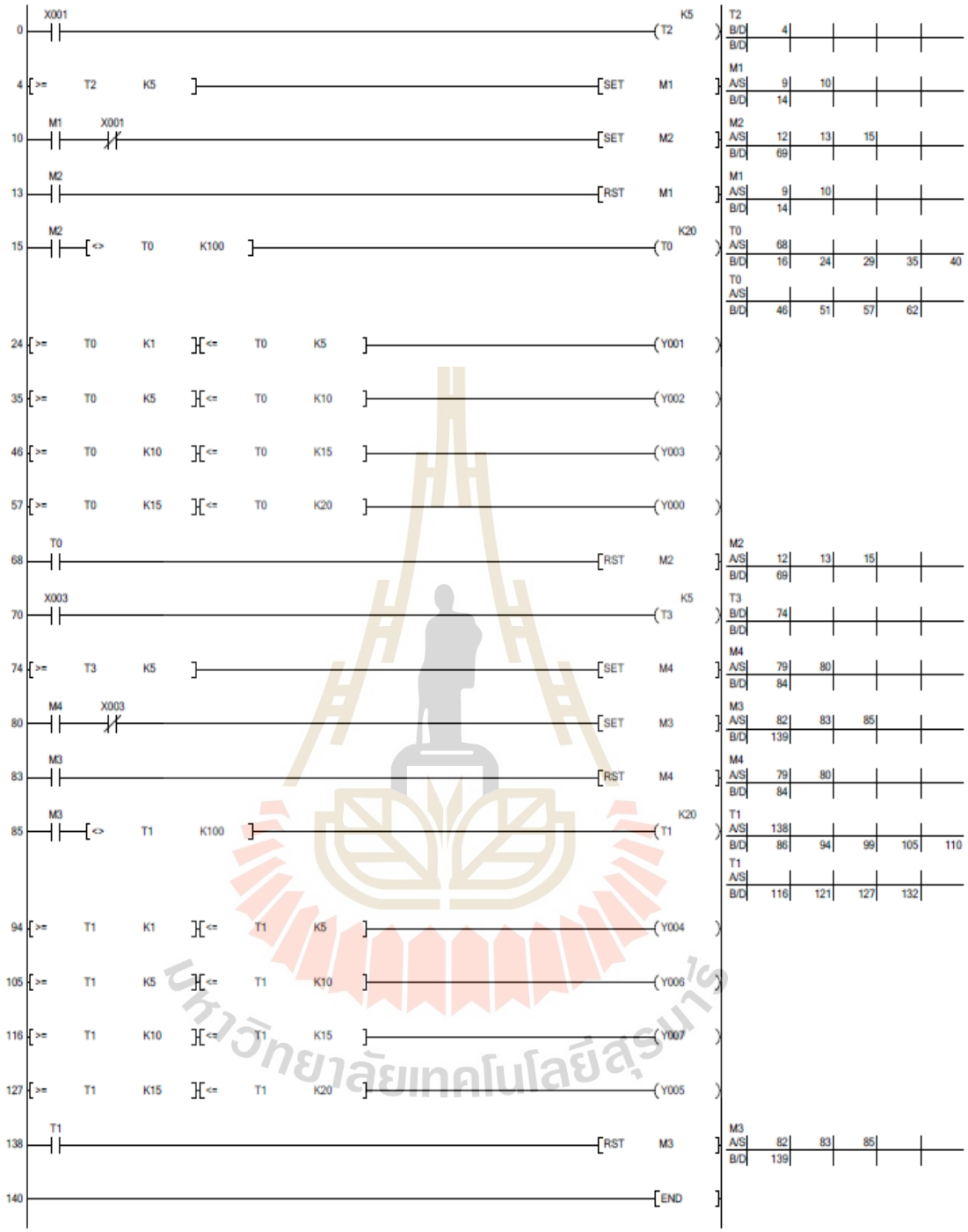


รูปที่ 3.19 ผังงานลำดับการทำงานของโปรแกรม (Flow chart)



รูปที่ 3.20 แผนภาพการต่อสายไฟในตู้ควบคุมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.21 Ladder Diagram สำหรับเขียนลงบน PLC โดยโปรแกรม GX Works2

จากรูปที่ 3.21 PLC จะทำการอ่าน Ladder diagram โดยเริ่มอ่านจากด้านซ้ายไปด้านขวา และอ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง จากรูปดังกล่าวนี้จะประกอบไปด้วยสวิตช์หลัก

(Main Switch) ของตู้คอนโทรล (X001) หากสวิตช์ X001 ไม่ทำงาน (OFF) อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น สวิตช์ตรวจจับผลลำไย เซนเซอร์ต่าง ๆ ก็จะไม่ทำงานเช่นเดียวกันถึงแม้จะได้รับสัญญาณ เมื่อกดสวิตช์ X001 ให้ทำงาน (ON) ระบบต่าง ๆ จะอยู่ในสภาพที่พร้อมทำงาน การทำงานของเครื่องต้นแบบจะเริ่มต้นจากเซนเซอร์ตรวจจับการป้อนผลลำไย X001 เมื่อมีการป้อนผลลำไย เซนเซอร์ X001 อยู่ในสถานะ ON โดยเซนเซอร์ X001 นี้จะทำการ SET M0 ขึ้น ซึ่งเป็นการให้รีเลย์ภายใน ON และคงสภาพนี้ไว้เนื่องจากเซนเซอร์ X001 มีการให้สัญญาณขาดหายไปเมื่อกลไกการป้อนผลลำไยเคลื่อนที่ จากนั้นรีเลย์ภายใน M0 นี้จะสั่งการให้หน่วงเวลา T0 เป็นเวลา 2 วินาที เมื่อครบ 2 วินาทีแล้ว T0 จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์ว Y000 สำหรับให้กระบอกสูบนิวแมติกของกลไกการป้อนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งการคว้าน และคว้าน เมื่อกระบอกสูบสำหรับกลไกการป้อนเคลื่อนที่ออกสุด เซนเซอร์ X003 จะสั่งการให้โซลินอยด์วาล์ว Y002 สำหรับให้กระบอกสูบนิวแมติกของกลไกคว้านลำไยเคลื่อนที่เพื่อมาคว้านลำไย เซนเซอร์ X011 สำหรับตรวจจับการทำงานของกระบอกสูบนิวแมติกสำหรับคว้านเมล็ดลำไยก็จะทำงาน แล้วทำการ SET M2 ทำให้รีเลย์ภายใน M2 อยู่ในสภาพ ON ซึ่ง M2 นี้จะไปตัดการทำงานของ Y004 และ Y002 ซึ่งจะส่งผลให้มีการหยุดจ่ายลมให้กระบอกสูบนิวแมติกสำหรับกลไกคว้านเมล็ด ขณะเดียวกันก็จะสั่งให้ T5 หน่วงเวลาไปอีก 1 วินาที และเมื่อครบ 1 วินาทีแล้วจะสั่งการให้โซลินอยด์วาล์ว Y005 ทำงาน ซึ่งจะส่งผลให้มีการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกสำหรับกลไกคว้านเมล็ดเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม และ T5 นี้ยังไปสั่งการ SET M3 เพื่อให้รีเลย์ภายใน M3 ทำการหน่วงเวลา T6 ไปอีก 1 วินาที จากนั้นเมื่อครบ 1 วินาที T6 จะสั่งการให้โซลินอยด์วาล์ว Y003 ทำงาน โดยจะทำการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกสำหรับกลไกคว้านให้เคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม นอกจากนี้ T6 ยังส่งการให้ทำการ SET M4 เพื่อให้เคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิม และ T7 นี้ยังทำการ SET M5 เพื่อทำการหน่วงเวลา T8 ไป 1 วินาที เมื่อครบ 1 วินาทีแล้ว T8 จะทำการสั่งโซลินอยด์วาล์ว Y001 ให้ทำงานโดยการจ่ายลมให้กับกระบอกสูบนิวแมติกสำหรับกลไกป้อนผลลำไยให้เคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมเพื่อรอรับผลลำไยผลต่อไป

จากแผนภาพแสดงลำดับการทำงานต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าจะมีการหน่วงเวลา 1 วินาทีเป็นระยะ ๆ ทั้งนี้ ก็เพื่อให้กลไกได้ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ เนื่องจากหากตัดการหน่วงเวลาออกจาก Ladder Diagram กลไกจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วเกินไป ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ไม่สัมพันธ์กัน และสามารถอธิบายผลจากการอ่าน Ladder Diagram ได้ดังนี้

บรรทัดที่ 0-4: เมื่อกด X001 (ON) จะเป็นการทำให้ T2 ทำการนับถึง 5 หลังจากนั้น ระบบจะทำการ Set M1 ตามเงื่อนไขถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขระบบจะไปที่คำสั่ง Set M1 คือทำให้ M1 จากปกติเป็น NO จะกลายเป็น NC หรือกลับกันก็ได้

บรรทัดที่ 10-13: เมื่อผ่านบรรทัดที่ 4 ไป จะสังเกตว่า M1 ตอนแรกเป็น NC จะกลายเป็น NO ทำให้ผ่านไปที่ Set M2 บรรทัดถัดมาเมื่อ M2 Set จะ Reset ค่า M1 ไปเป็น NO อีกครั้ง

บรรทัดที่ 15: M2 มีสถานะเป็น NO ทำงานไปจนถึงคำสั่ง T0 ทำการนับถึง 100 จะทำให้ Output ที่ได้คือ T0 ทำการนับถึง 20

บรรทัดที่ 24: หลังจากบรรทัดที่ 15 T0 จะทำการนับตั้งแต่ 1 ถึง 5 Output Y001 จะทำงาน

บรรทัดที่ 35: เมื่อ T0 ทำการนับจาก 5 ถึง 10 Output Y002 จะทำงาน

บรรทัดที่ 46: เมื่อ T0 ทำการนับจาก 10 ถึง 15 Output Y003 จะทำงาน

บรรทัดที่ 57: เมื่อ T0 ทำการนับจาก 15 ถึง 20 Output Y000 จะทำงาน

บรรทัดที่ 68: T0 จะมีสถานะเป็น NO และจะทำการ Reset ค่า M2

บรรทัดที่ 70: เมื่อทำการกดสวิตช์ X003 (ON) Output ที่ได้คือ T3 จะทำการนับ 5 ครั้ง

บรรทัดที่ 74: T3 ทำการนับ 5 ครั้ง จะไป Set M4

บรรทัดที่ 80: จากเงื่อนไขของ Ladder ในบรรทัดที่ 74 จะทำให้ N4 จากปกติเป็น NO จะกลายเป็น NC หรือกลับกันก็ได้เมื่อเงื่อนไขสำเร็จจะไปทำการ Set M3

บรรทัดที่ 83: เมื่อ M3 มีสถานะเป็น NO จะไปทำการออกคำสั่ง Reset M4

บรรทัดที่ 85: เมื่อ M3 มีสถานะเป็น NO จะทำการสั่งให้ T1 ทำการนับถึง 100 ครั้ง Output ที่ได้คือ T1 ทำการนับไปอีก 20 ครั้ง

บรรทัดที่ 94: เมื่อ T1 ทำการเริ่มนับจาก 1 ถึง 5 Output ที่ได้ Y004 จะทำงาน

บรรทัดที่ 105: เมื่อ T1 ทำการเริ่มนับจาก 5 ถึง 10 Output ที่ได้ Y006 จะทำงาน

บรรทัดที่ 116: เมื่อ T1 ทำการเริ่มนับจาก 10 ถึง 15 Output ที่ได้ Y007 จะทำงาน

บรรทัดที่ 127: เมื่อ T1 ทำการเริ่มนับจาก 15 ถึง 20 Output ที่ได้ Y005 จะทำงาน

บรรทัดที่ 138: เมื่อ T1 อยู่ในสถานะ NO จะทำการ Reset M3

บรรทัดที่ 140: จบการทำงาน (End)

3.3 การทดสอบเครื่องต้นแบบ

ในทุกการทดสอบเครื่องต้นแบบจะต้องคัดขนาดของลำไยก่อนเสมอ การเก็บเกี่ยวจากลำไยพันธุ์อีดอที่เป็นลักษณะช่อ ต้องดึงผลออกจากช่อให้เป็นผลเดี่ยวแล้วจึงใช้เครื่องคัดขนาดของบริษัท ลิขิตชีวัน คัดขนาดที่ 1 และขนาดที่ 2 ดังรูปที่ 3.22 แล้วเก็บในห้องเย็นอุณหภูมิ 1.5 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้เกิดการเน่าเสีย เมื่อจะทดสอบนำมาผึ่งลมให้แห้งก่อนทำการคว้าน ซึ่งการทดสอบ ประกอบไปด้วย การทดสอบรูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสม การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหา

ความเร็วหัวคว้าน การทดสอบสำหรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการคว้านเมล็ดลำไย และการทดสอบเพื่อประเมินหาสมรรถนะของเครื่องต้นแบบ

รูปที่ 3.22 การคัดขนาดลำไยโดย เครื่องคัดขนาดของ บริษัท ลิขิตชีวัน

การทดสอบเครื่องต้นแบบจะทำการเก็บผล เป็น คะแนนลักษณะของคุณภาพของลำไย (Score) ที่ 1 2 3 และ 4 ดังนี้

คะแนนที่ 1 หมายถึง ไม่สามารถคว้านเมล็ดออกได้อย่างสมบูรณ์ ยังมีส่วนของเมล็ดติดอยู่ที่ผลของลำไย ลักษณะเปลือก คือไม่มีรอยขาด หรือต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ของผล, เมล็ด คือ มีส่วนเนื้อติดส่วนบน และล่างของเมล็ด, เนื้อลำไย คือ มีรอยขาดมาก และมีส่วนของเมล็ดติดอยู่ มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ของผล

คะแนนที่ 2 หมายถึง ลักษณะเปลือก คือ มีรอยขาดเกือบครึ่งของผล หรือ 25-50 เปอร์เซ็นต์ ของผล, เมล็ด คือ เนื้อติดส่วนบนมองไม่เห็นขั้วสีขาวเนื้อลำไย และมีเศษเมล็ด หรือเปลือกสีดำติดอยู่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์, เนื้อลำไย คือ มีรอยขาด และมีส่วนของเมล็ด 50-75 เปอร์เซ็นต์

คะแนนที่ 3 หมายถึง ลักษณะเปลือก คือ มีรอยขาดเกินครึ่งของผล หรือ 50-75 เปอร์เซ็นต์ ของผล, เมล็ด คือ เนื้อติดส่วนบนเล็กน้อย สามารถมองเห็นขั้วสีขาวได้, เนื้อลำไย คือ มีรอยขาดเล็กน้อย 25-50 เปอร์เซ็นต์ของผลอาจจะมีรอยขาดที่ก้นผลเล็กน้อย และมีส่วนของเมล็ดสีดำเป็นจุด 25-50 เปอร์เซ็นต์

คะแนนที่ 4 หมายถึง ลักษณะเปลือก คือ มีรอยขาดเกินครึ่งทั้ง 2 ฝั่ง หรือหลุดออกจากผล 75-100 เปอร์เซ็นต์ ของผล, เมล็ด คือ ไม่มีส่วนเนื้อติดที่เมล็ด, เนื้อลำไย คือ มีความสมบูรณ์ ไม่มีรอยขาด หรือน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทะลุที่ก้นผล ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คะแนนการประเมินลักษณะของคุณภาพลำไย (Score) ที่ 1 2 3 และ 4

ลักษณะแต่ละส่วนของลำไย	**คะแนนที่ 1**	**คะแนนที่ 2**	**คะแนนที่ 3**	**คะแนนที่ 4**
1. ลักษณะเปลือกลำไย	ไม่มีรอยขาดหรือต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของผล	มีรอยขาดเกือบครึ่งของผล หรือ 25-50 เปอร์เซ็นต์ของผล	มีรอยขาดเกินครึ่งของผล หรือ 50-75 เปอร์เซ็นต์ของผล	มีรอยขาดเกินครึ่งทั้ง 2 ฝั่ง หรือหลุดออกจากผล
2. ลักษณะเนื้อลำไย	ไม่สามารถคว้านเมล็ดออกได้อย่างสมบูรณ์ มีรอยขาด และมีส่วนของเมล็ด 50-75 เปอร์เซ็นต์	มีรอยขาดและมีส่วนของเมล็ด 50-75 เปอร์เซ็นต์และมีเศษเมล็ด และเปลือกสีดำ ติดอยู่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์	มีรอยขาด 25-50 เปอร์เซ็นต์ของผล มีรอยขาดที่ก้นผล และมีส่วนของเมล็ดสีดำเป็นจุด 25-50 เปอร์เซ็นต์	สมบูรณ์ ไม่มีรอยขาด หรือน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทะลุที่ก้นผล ไม่มีส่วนของเมล็ดสีดำเป็นจุด

ตารางที่ 3.1 คะแนนการประเมินลักษณะของคุณภาพลำไย (Score) ที่ 1 2 3 และ 4 (ต่อ)

ลักษณะแต่ละส่วนของลำไย	คะแนนที่ 1	คะแนนที่ 2	คะแนนที่ 3	คะแนนที่ 4
3. ลักษณะเมล็ดลำไย	มีส่วนเนื้อติดส่วนบนและล่างของเมล็ด	เนื้อติดส่วนบน มองไม่เห็นขั้วสีขาว	เนื้อติดส่วนบนเล็กน้อย สามารถมองเห็นขั้วสีขาวได้	ไม่มีส่วนเนื้อติดที่เมล็ด

3.3.1 การทดสอบรูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสม

หัวคว้านที่ได้จากการรออกแบบมี 2 แบบ คือ แบบปากตรง และแบบปากฉลาม ดังรูปที่ 3.17 ในการทดสอบรูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสม จะทำการทดสอบโดยตั้งค่าลมอัดที่ 6 บาร์ อ้างโดยธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต และคณะ (2559) และตั้งความเร็วของกลไกการป้อนเข้า และออกเท่ากับ 0.46 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่เครื่องทำได้ การทดสอบหารูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสมนี้ ทดสอบกับลำไยขนาด 1 และ 2 ขนาดละ 20 ผล และทดสอบ 3 ซ้ำ แล้วทำการประเมินลักษณะของคุณภาพลำไย ให้คะแนนของแต่ละส่วน ดังตารางที่ 3.1 แล้วนำผลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อหารูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสมเพื่อทดสอบในขั้นต่อไป

3.3.2 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาความเร็วหัวคว้าน

เมื่อได้รูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการทดสอบเบื้องต้นนี้เพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมของกระบอกสูบนิวแมติกสำหรับกลไกการคว้านทั้ง 2 หัวคว้าน โดยทำการปรับวาล์วควบคุมความเร็ว 3 ระดับ ซึ่งให้ความเร็วของกลไกการคว้านเมล็ด 3 ระดับ คือ 0.12 0.17 และ 0.31 เมตรต่อวินาที ตั้งค่าลมอัดที่ 6 บาร์

การทดสอบหาความเร็วกลไกการคว้านที่เหมาะสมนี้ ทดสอบกับลำไยขนาด 1 และ 2 ขนาดละ 3 กิโลกรัม และทดสอบ 3 ซ้ำ จากนั้น ทำการประเมินลักษณะของคุณภาพลำไย ให้คะแนนของแต่ละส่วน ดังตารางที่ 3.1 แล้วนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อหาความเร็วหัวคว้านที่เหมาะสมเพื่อทดสอบในขั้นต่อไป

3.3.3 การทดสอบสำหรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการคว้านเมล็ดลำไย

เมื่อได้รูปแบบ และค่าความเร็วของหัวคว้านที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการทดสอบสำหรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการคว้านเมล็ดลำไย โดยทดสอบกับลำไยขนาด 1 และ 2 ขนาดละ 3 กิโลกรัม จำนวน 3 ซ้ำ ปรับวาล์วความดันลม 3 ระดับ คือ 6 7 และ 8 บาร์ และปรับวาล์วควบคุมความเร็วกลไกการป้อน 3 ระดับ โดยระดับความเร็วของกลไกการคว้านเมล็ด แปรค่า 3 ระดับ คือ 0.18 0.25 และ 0.46 เมตรต่อวินาที รวมการทดลองทั้งสิ้น 54 การทดลอง จากนั้น ทำการประเมินลักษณะของคุณภาพลำไย ให้คะแนนของแต่ละส่วน ดังตารางที่ 3.1 แล้วนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการคว้านเมล็ดลำไย

3.3.4 การทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบ

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมต่อการคว้านเมล็ดลำไยแล้ว จึงนำไปทดสอบต่อเนื่องเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องคว้านเมล็ดลำไยต้นแบบ โดยใช้ลำไยขนาดที่ 1 และ 2 ขนาดละ 10 กิโลกรัม ทำการประเมินลักษณะของคุณภาพลำไย ให้คะแนนของแต่ละส่วน ดังตารางที่ 3.1 จับเวลาการทำงาน และวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยกิโลวัตต์ชั่วโมง ผ่านจากการอ่านค่ามิเตอร์ไฟฟ้า แล้วนำผลที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาค่าสมรรถนะของเครื่อง ดังนี้

3.3.4.1 ความสามารถในการคว้านเมล็ดลำไย อัตราการทำงานต่อชั่วโมง และเปอร์เซ็นต์ของลำไยที่คว้านได้

3.3.4.2 ความสามารถของเครื่องคว้านเมล็ดลำไยเมื่อมีการทำงานอย่างต่อเนื่อง อัตราการทำงานต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ของลำไยที่คว้านได้ และเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเชิงน้ำหนัก

3.3.4.3 การใช้พลังงานของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย

การคำนวณเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพโดยการนำผลรวมของน้ำหนักเนื้อลำไยที่ได้ในแต่ละระดับคุณภาพ เทียบกับน้ำหนักลำไยทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ

ความสามารถในการคว้านลำไยคิดจากเปอร์เซ็นต์เนื้อลำไยที่ได้โดยใช้ผลรวมระหว่างน้ำหนักเนื้อลำไยระดับคุณภาพ 2 3 และ 4 เทียบกับอัตราส่วนน้ำหนักเนื้อลำไยทั้งหมดดังแสดงในสมการ (3.4)

$$\%\text{Efficiency of removing} = \frac{\sum (\text{Weight of longan flesh score2 3 and 4 })}{\sum (\text{Total Weight of flesh fruit})} \times 100 \qquad (3.4)$$

การหาประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ (Efficiency of Prototype) โดยใช้ผลรวมระหว่างน้ำหนักเนื้อลำไยระดับคุณภาพ 3 และน้ำหนักเนื้อลำไยระดับคุณภาพ 4 เทียบกับผลรวมของน้ำหนักเนื้อลำไยทั้งหมดดังสมการ (3.5)

$$\%\text{Efficiency of Prototype} = \frac{\sum (\text{Weight of flesh score 3 and 4})}{\sum (\text{Weight of Longan})} \times 100 \quad (3.5)$$

การหาเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเชิงน้ำหนักต่อผลลำไย โดยใช้น้ำหนักลำไยที่สูญเสีย หรือคว้านไม่ได้ คือระดับคุณภาพที่ 1 เทียบกับ ผลรวมของน้ำหนักเนื้อลำไยทั้งหมด ดังสมการ (3.6)

$$\text{Loss percentage} = \frac{\text{Weight of lossed flesh}}{\text{Weight of longan flesh}} \times 100 \quad (3.6)$$

การคำนวณเพื่อหาอัตราการทำงาน (Capacity) หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยประเมินจากน้ำหนักของลำไยที่ใช้ทดสอบทั้งหมดเทียบกับเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ดังสมการ (3.7)

การคำนวณหาการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Energy Consumption) หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยคิดจากน้ำหนักของลำไยใช้ทดสอบทั้งหมดเทียบกับพลังงานไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมงที่วัดค่าจากมิเตอร์ไฟฟ้า ดังสมการ (3.8)

อัตราการทำงาน (Capacity)

$$\text{Capacity}\left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}}\right) = \frac{\text{Quantity}}{\text{Time}} \quad (3.7)$$

การใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Energy Consumption)

$$\text{Specific Energy Consumption}\left(\frac{\text{kg}}{\text{kW.hr}}\right) = \frac{\text{Weight of Longan}}{\text{Electrical energy}} \quad (3.8)$$

3.4 สถานที่ในการศึกษาวิจัย

3.4.1 สถานที่ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทดสอบเครื่องต้นแบบ อาคารปฏิบัติการจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4.2 สถานที่ในการทดสอบสมบัติทางกล ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ 14 (F14) อาคารเกษตรภิวัฒน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการศึกษา และการอภิปรายผล

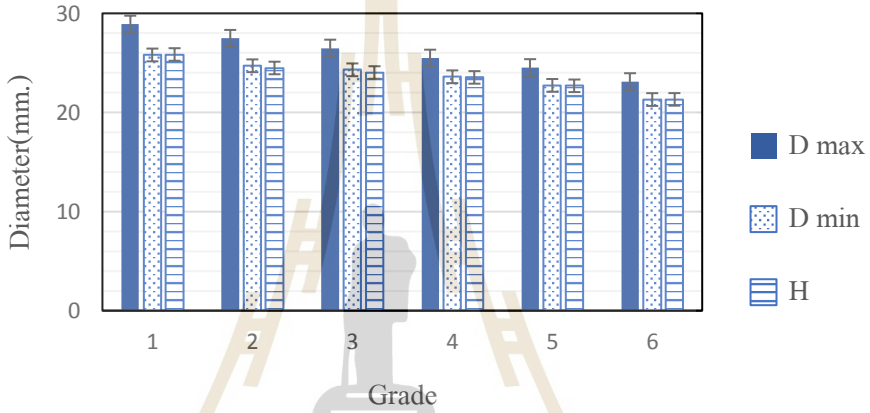
ในบทนี้นำเสนอผลของการศึกษาค่าสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของลำไยพันธุ์อีดอ การพัฒนา และปรับปรุงเครื่องคว้านเมล็ดลำไย จากเครื่องคว้านเมล็ดเงาะของอนุสรา ติดตารัมย์ (2561) ในส่วนของหัวคว้านเมล็ด, เบ้ารองลำไย, กลไกการนำผลออก, กลไกการกระทุ้ง, ตำแหน่งการทำงาน, วัสดุที่ปรับปรุงรองรับในการเลื่อนขึ้น-ลง ความเร็วที่เหมาะสมของแต่ละชุดกลไก ได้แก่ กลไกการป้อนเข้า-ออก, กลไกการคว้านเมล็ด และความดันลมที่เหมาะสมต่อการคว้านเมล็ดลำไย รวมถึงผลของการประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบสำหรับคว้านเมล็ดลำไยด้วยการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อลำไย ที่ได้เทียบกับน้ำหนักผลลำไยทั้งหมด เปอร์เซ็นต์เนื้อลำไยที่ได้ในแต่ละระดับคุณภาพเทียบกับเนื้อลำไยที่ได้ทั้งหมด อัตราการทำงานของเครื่อง เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเนื้อลำไย ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องต้นแบบ ซึ่งได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาค่าสมบัติทางกายภาพของลำไย

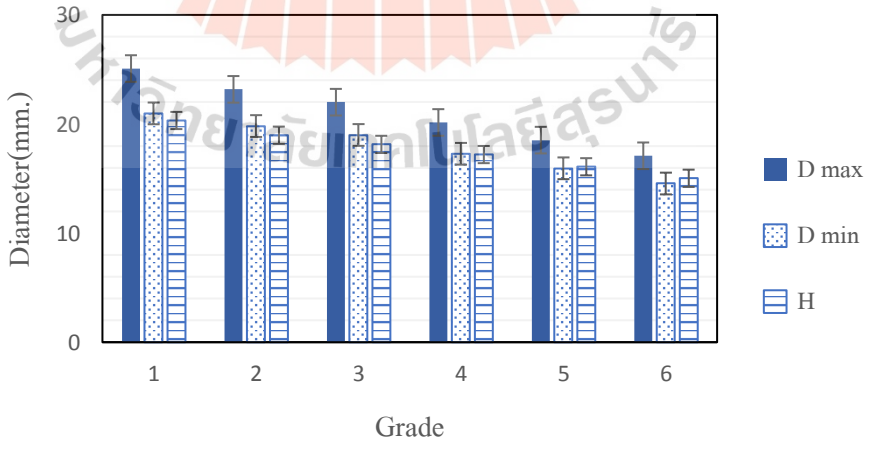
4.1.1 ขนาดต่าง ๆ ของผลลำไยพันธุ์อีดอ

ลำไยที่คัดขนาดแล้วมาวัดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 แกนที่ตั้งฉากของผลลำไย ทั้ง 6 ขนาด ได้แก่ ผลก่อนปอกเปลือก ผลหลังปอกเปลือก และเมล็ด ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของผลก่อนปอกเปลือกมี ความสูงเฉลี่ย (Height) เท่ากับ 25.85, 24.49, 24.03, 23.54, 22.69 และ 21.32 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) เท่ากับ 28.91, 27.48, 26.50, 25.49, 24.53 และ 23.11 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) เท่ากับ 25.80, 24.71, 24.30, 23.60, 22.73 และ 21.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่าขนาดมิติของผลลำไยทั้งเปลือกมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อตัวเลขขนาดมากขึ้น ดังแสดงใน รูปที่ 4.1 นั่นคือเมื่อตัวเลขขนาดมากขึ้นผลลำไยจะมีขนาดเล็กลง ตรงตามมาตรฐานมกอช.ของลำไย สำหรับขนาดของผลหลังปอกเปลือกพบว่า มีค่า ความสูงเฉลี่ย (Height) เท่ากับ 20.32, 18.98, 18.13, 17.20, 16.08 และ 15.03 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) เท่ากับ 25.09, 23.18, 22.00, 20.14, 18.52

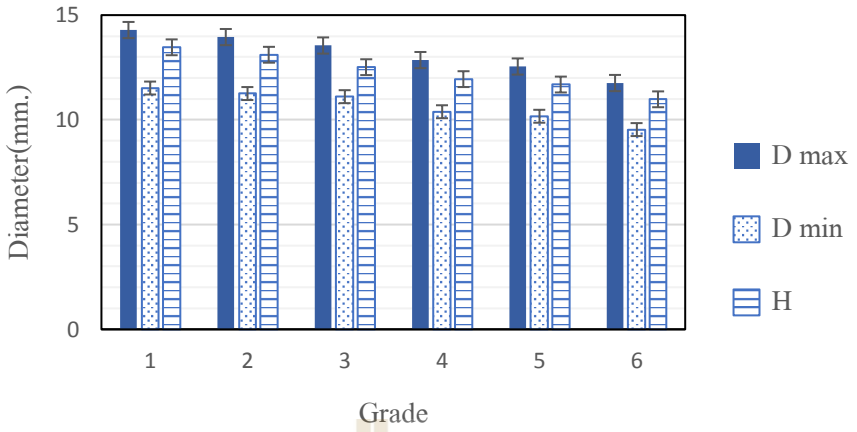
และ 17.09 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) เท่ากับ 20.97, 19.81, 19.00, 17.27, 15.94 แ ล ะ 14.54 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 เส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดขนาด 1-6 มีความสูงเฉลี่ย (Height) เท่ากับ 13.46, 13.11, 12.52, 11.94, 11.69 และ 10.98 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) เท่ากับ 14.29, 13.95, 13.55, 12.85, 12.55 และ 11.76 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) เท่ากับ 11.52, 11.26, 11.11, 10.39, 10.17 และ 9.53 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นว่าเมล็ดของลำไยมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดของลำไยเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 แกนของลำไยตามขนาดมกอช.



รูปที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 แกนของลำไยที่ปอกเปลือกตามขนาดมกอช.



รูปที่ 4.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 แกนของเมล็ดลำไยตามขนาดมกอช.

ลักษณะผลก่อนปอกเปลือก และหลังจากปอกเปลือก มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของความสูง (Height) ใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) และมีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ที่มากที่สุด ลำไยจึงมีลักษณะเป็นทรงแป้น ซึ่งมีค่าความกลม (Sphericity) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เท่ากับ 0.93, 0.93, 0.94, 0.95, 0.95 และ0.95 ตามลำดับ

รูปร่างลำไยที่มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ ค่าความกลมมีค่ามากขึ้น ในทางกลับกันลักษณะของเมล็ดลำไย มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ใกล้เคียงกับ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของความสูง (Height) แต่ค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) มีค่าที่น้อยที่สุด เมล็ดจึงมีลักษณะค่อนข้างกลม (Wilhelm et al., 2005)

ตารางที่ 4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 แกน และค่าความกลมของลำไย

ขนาดลำไย	**ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)**			**ค่าความกลม**
(grade)	**D_{max}**	**D_{min}**	**H**	**(Sphericity)**
1	28.91	25.80	25.85	0.93
2	27.48	24.71	24.49	0.93
3	26.50	24.30	24.03	0.94
4	25.49	23.60	23.54	0.95
5	24.53	22.73	22.69	0.95
6	23.11	21.31	21.32	0.95

ตารางที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 แกน และค่าความกลม ของเมล็ดลำไย

ขนาดลำไย (grade)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)			ค่าความกลม (Sphericity)
	D_{max}	D_{min}	H	
1	14.29	11.52	13.46	0.91
2	13.95	11.26	13.11	0.91
3	13.55	11.11	12.51	0.91
4	12.85	10.39	11.94	0.91
5	12.55	10.17	11.69	0.91
6	11.76	9.54	10.98	0.91

สำหรับขนาดมิติของเมล็ดลำไย นั้น สามารถนำไปใช้เพื่อการพัฒนาออกแบบหัวคว้านเมล็ดลำไย สำหรับเครื่องมือช่วยในการคว้านเมล็ด ในการออกแบบหัวคว้านเมล็ดลำไย จะใช้ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) เป็นหลัก ซึ่งได้ค่าเท่ากับ 14.29 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจะสามารถนำไปออกแบบหัวคว้านเมล็ดลำไยต่อไป

4.1.2 ความหนาของเนื้อและเปลือกลำไย

สำหรับค่าความหนาของเปลือกลำไยทั้ง 6 ขนาด มีค่าเท่ากับ 0.75 ±0.20, 0.80±0.17, 0.96±0.18, 0.90±0.15, 0.81±0.12 และ 0.84±0.14 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยความหนาของเนื้อลำไย มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.07 ±0.74, 2.89±0.58, 3.03±0.53, 3.38±0.70, 2.63±0.74 และ 2.01±0.75 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าความหนาของเปลือก และเนื้อมีผลต่อแรงที่ใช้ในการคว้านทำให้ฉีกขาด ซึ่งถ้าความหนามากจะต้องใช้แรงมาก นอกจากนี้ ความหนาของเปลือก และเนื้อยังมีผลต่อระยะการกรีด และความลึกของใบมีด ที่ใช้ในการกรีดเปลือก และคว้านเนื้อเพื่อแยกเมล็ดออก ผลจากการศึกษา พบว่า ความหนาเปลือกไม่ขึ้นอยู่ กับขนาดตามมาตรฐานสินค้าเกษตรมกอช. นั่นคือความหนาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ความหนาของเนื้อขนาดที่ 1 2 3 และ 4 มีขนาดที่หนากว่าเนื้อลำไย ขนาดที่ 5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แสดงว่าแรงที่ใช้ในการคว้านที่เปลือกไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อคว้านถึงเนื้อ แรงที่ใช้ในการคว้านของขนาดที่ 1 2 3 และ 4 มีค่ามากกว่า แรงที่ใช้คว้านในขนาดที่ 5 และ 6 ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความหนาของเนื้อและเปลือกลำไย

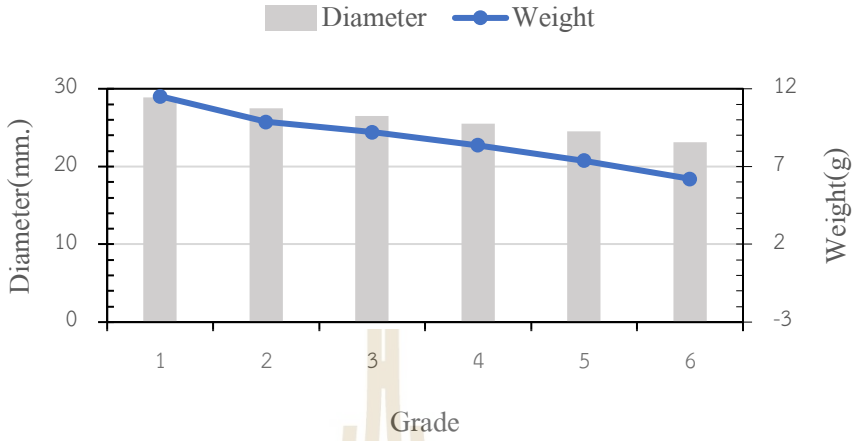
ขนาดลำไย (grade)	ความหนา (มิลลิเมตร)	
	เปลือกลำไย	เนื้อลำไย
1	0.75 ±0.20[a]	3.07 ±0.74[a]
2	0.80±0.17[a]	2.89±0.58[a]
3	0.96±0.18[a]	3.03±0.53[a]
4	0.90±0.15[a]	3.38±0.70[a]
5	0.81±0.12[a]	2.63±0.74[b]
6	0.84±0.14[a]	2.01±0.75[b]

หมายเหตุ: - แต่ละค่าที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรในคอลัมน์เดียวกันที่แตกต่างกัน หมายความว่า ข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

4.1.3 น้ำหนักของผลลำไย

น้ำหนักของลำไย ทั้ง 6 ขนาด ได้แก่ น้ำหนักผลก่อนปอกเปลือก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.78, 9.55, 9.21, 8.36, 7.38 และ 6.21 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักผลหลังปอกเปลือก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.11, 7.58, 7.25, 6.58, 5.75 และ 4.66 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเนื้อลำไยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.41, 6.64, 6.45, 5.72, 4.48 และ 4.06 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเมล็ด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.69, 1.44, 1.32, 1.23, 1.16 และ 1.00 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเปลือกมี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.64, 1.37, 1.29, 1.20, 1.15 และ 0.95 กรัม ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เนื้อเทียบผลลำไยขนาดที่ 1 เท่ากับ 55.38 เปอร์เซ็นต์ ขนาดที่ 2 เท่ากับ 52.99 เปอร์เซ็นต์ ขนาดที่ 3 เท่ากับ 48.32 เปอร์เซ็นต์ ขนาดที่ 4 เท่ากับ 50.48 เปอร์เซ็นต์ ขนาดที่ 5 เท่ากับ 47.15 เปอร์เซ็นต์ และ ขนาดที่ 6 เท่ากับ 41.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการใช้มีดในการคว้านหาน้ำหนักส่วนประกอบต่าง ๆ ของ ลำไยเป็นวิธีมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพ และมีความประณีต ค่าน้ำหนักของเนื้อ เปลือก และเมล็ดของลำไยสามารถใช้ เพื่อที่เป็นเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพ และสมรรถนะของเครื่องจักรหรือเครื่องมือสำหรับการคว้านเมล็ดลำไยได้ เมื่อพิจารณาน้ำหนักของผลลำไยเทียบกับขนาดมิติของผลลำไย พบว่าน้ำหนักมีความสัมพันธ์กับขนาดของลำไย โดยแนวโน้มไปทางเดียวกันคือลำไยที่ผลใหญ่กว่า จะมีน้ำหนักมากกว่า ผลที่มีขนาดเล็กกว่า ดังแสดงใน รูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และขนาดลำไยของผลก่อนปอกเปลือก ตามมกอช.

4.1.4 ค่าความถ่วงจำเพาะ

ค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของผลลำไย (Specific Gravity, SG) ทั้ง 6 ขนาด มีค่าเท่ากับ 0.97±0.15 ข้อมูลในตารางที่ 4.4 แสดงว่าลำไยมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำ ส่งผลให้ ลำไยอยู่ในระดับลอยปริ่มน้ำ และค่าความถ่วงจำเพาะบ่งบอกถึงความแก่ของผลลำไยที่ใกล้เคียงกัน (อารี ใจเพชร, 2530 ; Subramanyam et al., 1976) ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของผลลำไย

ตารางที่ 4.4 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยตามขนาด

ขนาดลำไย	ความถ่วงจำเพาะ
1	1.02±0.23
2	0.95±0.05
3	0.97±0.05
4	0.96±0.08
5	0.90±0.15
6	1.03±0.32

หมายเหตุ: แต่ละค่าที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.5 มุมกลิ้ง

ผลการศึกษามุมกลิ้งของผลลำไยเฉลี่ยทั้ง 6 ขนาดที่ได้จากการนำไปทดสอบกับวัสดุผิวเรียบประเภท แผ่นไม้ เหล็กกล้าไร้สนิม กัลวาไนซ์ และเหล็ก คือ 6.72°, 7.29°, 7.58° และ 6.87° ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งไม่ขึ้นกับขนาดของผล วัสดุผิวเรียบประเภทแผ่นไม้ และเหล็ก มีมุมกลิ้งใกล้เคียงกัน วัสดุประเภทกัลวาไนซ์มีมุมกลิ้งที่มากที่สุด และค่ามุมกลิ้งของเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ ระหว่าง กัลวาไนซ์ แผ่นไม้ และเหล็ก มุมกลิ้งที่มีค่าสูง หมายถึง มีแรงเสียดทานมาก ซึ่งลำไยทั้ง 6 ขนาด สามารถกลิ้งได้ดีในทุกสภาพพื้นผิว แต่ในสายการผลิตอาหารนิยมใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้าไร้สนิม หรือ สแตนเลส (Stainless steel) เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่น คือ แข็งแรง ทนทาน และต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง จึงไม่เป็นสนิม ไม่ทำปฏิกิริยากับกรด และเกลือที่มีอยู่ในอาหาร รวมทั้งเหล็กกล้าไร้สนิม ยังทนความร้อน ความเย็น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดี ง่ายต่อการดูแลรักษาและทำความสะอาด

ตารางที่ 4.5 ค่ามุมกลิ้งในพื้นผิวเรียบแต่ละชนิด ตามขนาดลำไย

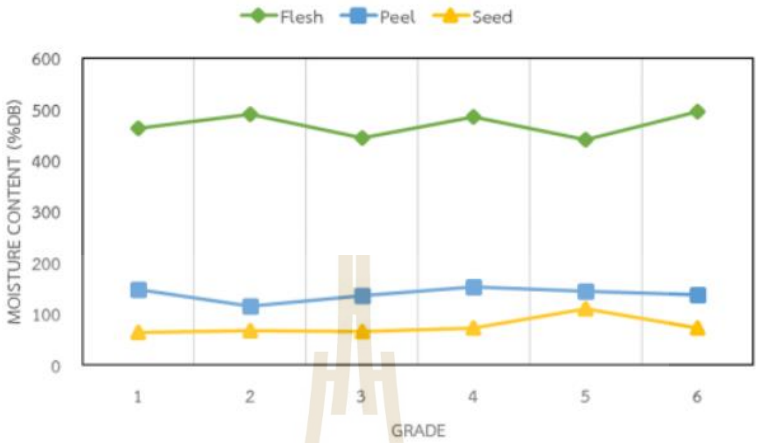
ขนาดลำไย	ค่ามุมกลิ้ง			
	แผ่นไม้ (°)	เหล็กกล้าไร้สนิม (°)	กัลวาไนซ์ (°)	เหล็ก (°)
1	5.85±2.36	7.28±2.81	8.57±2.09	8.57±1.98
2	6.09±1.99	6.45±1.82	6.01±1.40	6.31±1.85
3	5.90±1.77	6.26±1.80	5.90±1.45	5.77±1.55
4	7.72±1.55	8.79±1.44	9.58±1.53	5.83±1.40
5	7.89±1.41	7.37±1.59	8.13±1.54	7.27±1.39
6	6.88±1.48	7.57±1.54	7.32±1.34	7.43±1.46

หมายเหตุ: แต่ละค่าที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.6 ปริมาณความชื้น

ผลการศึกษาเพื่อหาปริมาณความชื้น พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของลำไยทั้ง 6 ขนาด ของเนื้อลำไยมีค่าเท่ากับ 469.80± 22.07 %db. ความชื้นเปลือกลำไยมีค่าเท่ากับ 138.80± 11.71 %db. และความชื้นเมล็ดลำไยมีค่าเท่ากับ 75.69±16.05 %db. ซึ่งจากผลการศึกษาเห็นได้ชัดว่าปริมาณความชื้นของเนื้อลำไย มีมากกว่า ปริมาณความชื้นที่เปลือก และปริมาณความชื้นที่เมล็ด ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.5 ความชื้นของเปลือก มีผลต่อการปอกเปลือก หรือการกดผ่านเปลือกของ

หัวคว้าน ซึ่งเปลือกที่มีความชื้นสูง สามารถปอกเปลือกได้ดีกว่า (Rakthawangworg and Pichaithong, 2015)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของเนื้อ เปลือก และเมล็ดลำไย กับขนาดของลำไย

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกลของลำไย

ผลการศึกษาสมบัติทางกลของลำไยในการทดสอบโดยใช้แรงกด (Compression test) และแรงเฉือน (Shear test) เฉลี่ยสูงสุด ในการแยกเปลือก และเมล็ดออกจากลำไย พบว่า แรงกดเฉลี่ยสูงสุดใช้ในการแยกเปลือก เมล็ด ออกจากลำไย ของขนาดที่ 1 และ 2 เท่ากับ 125.64 และ123.01 นิวตัน ตามลำดับ และแรงเฉือนเฉลี่ยสูงสุดที่ใช้ในการแยกเปลือก เมล็ด ออกจากลำไย ของขนาดที่ 1 และ 2 คือ 102.59 และ164.15 นิวตัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.6

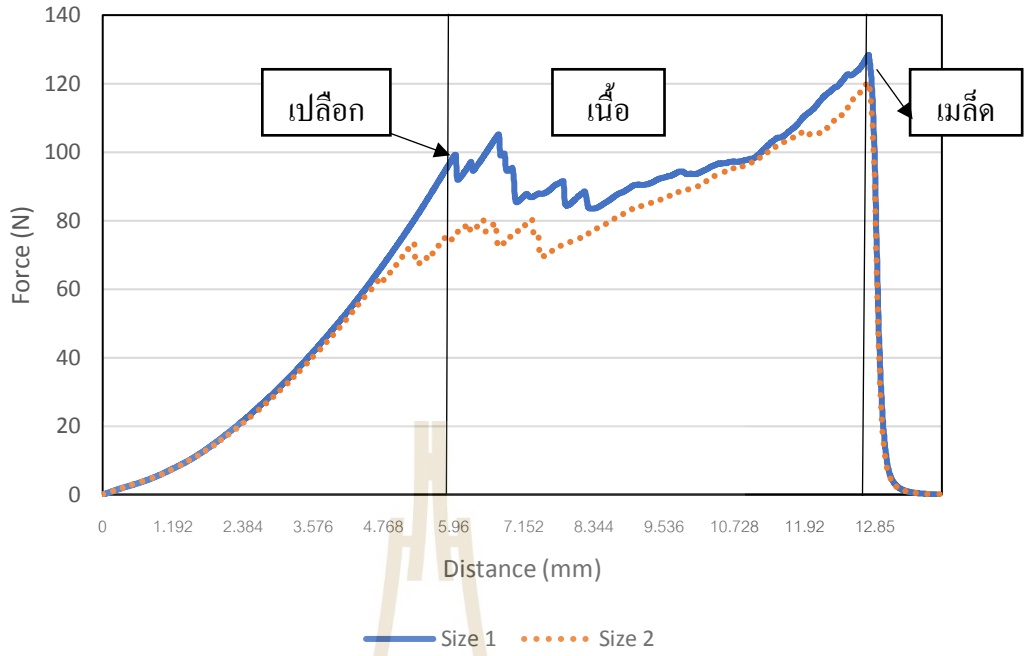
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบแรงกด และแรงเฉือนเฉลี่ยสูงสุดที่ใช้ในการแยกเปลือก และเมล็ดออกจากผลลำไย

ขนาดของลำไย	แรงกดเฉลี่ยสูงสุด (นิวตัน)	แรงเฉือนเฉลี่ยสูงสุด (นิวตัน)
ขนาดที่ 1	125.64	102.59
ขนาดที่ 2	123.01	164.15

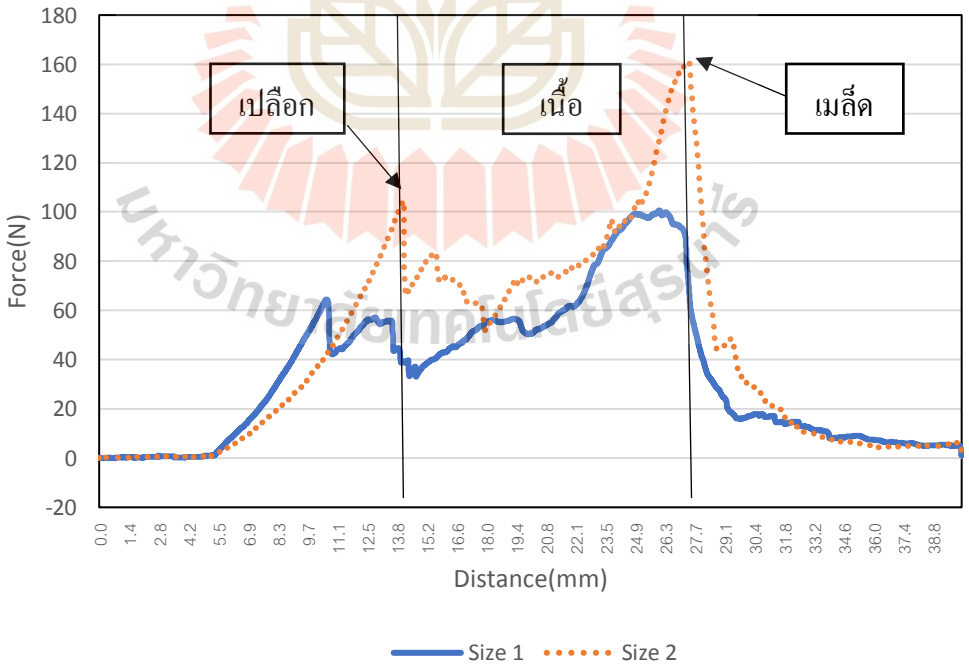
แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการแยกเปลือก และเมล็ดออกจากลำไย คือ 125.64 นิวตัน ซึ่งเป็นค่าแรงกดสูงสุดเมื่อทดสอบกับลำไยขนาด 1 พบว่า เมื่อขนาดผลลำไยมีขนาดเล็กลง แรงที่ใช้กดเพื่อแยกเปลือก และเมล็ดออกจากลำไย จะใช้แรงกดน้อยลง เนื่องจากผลลำไยที่มีขนาดใหญ่มีพื้นที่รับแรงที่มากกว่าลำไยที่มีขนาดเล็ก แรงที่ใช้กดจึงมีขนาดน้อยลง และแรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการแยกเปลือก และเมล็ดออกจากลำไย คือ 164.15 นิวตัน ซึ่งเป็นค่าแรงเฉือนสูงสุดเมื่อทดสอบกับลำไยขนาด 2 พบว่า เมื่อผลลำไยมีขนาดเล็กลง แรงเฉือนที่ใช้ตัดเพื่อแยกเปลือก และเมล็ดออกจากลำไย จะใช้แรงเฉือนมากขึ้น เนื่องจากพื้นที่รับแรงยิ่งมากขึ้น ความเค้นจากแรงเฉือนจะยิ่งน้อยลงซึ่งผลลำไยขนาดที่ 1 พื้นที่รับแรงมากกว่า ขนาดที่ 2 ส่งผลให้แรงเฉือนในลำไยขนาดที่ 1 น้อยกว่า ขนาดที่ 2 ดังตารางที่ 4.6

ผลการศึกษาแรงกดที่ใช้สำหรับการแยกเปลือก และเมล็ดออกจากลำไย ของขนาดที่ 1 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรง และระยะการกด ซึ่งเป็นไปตามรูปที่ 4.6 จากรูปดังกล่าวนี้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อหัวโพรบเคลื่อนที่ไปได้ระยะเวลาประมาณ 3 วินาที แรงที่ใช้ในการกดอยู่ที่ 96.06 นิวตัน ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้เปลือกขาดเป็นลำดับแรก ขาดแค่ 1 ฝั่ง ของลูกลำไยในฝั่งส่วนสูงที่อยู่ต่ำกว่าเสมอ ซึ่งระยะการกด คือ 6 มิลลิเมตร คือ อัตราส่วนหนึ่งในสี่ของผลลำไย และเมื่อหัวโพรบเคลื่อนไปได้ระยะเวลาประมาณ 5 วินาที แรงที่ใช้ในการกดอยู่ที่ 90.08 นิวตัน ซึ่งระยะการกด คือ 10 มิลลิเมตร เป็นระยะที่หัวโพรบเคลื่อนที่ผ่านเนื้อลำไย จากนั้นหัวโพรบเคลื่อนที่สัมผัสส่วนของเมล็ด และพบว่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการแยกเนื้อออกจากเมล็ดลำไย คือ 125.64 นิวตัน ซึ่งอยู่ที่ระยะการกดประมาณ 12 มิลลิเมตร นั่นคือครึ่งหนึ่งของความสูงผลลำไย (Height) เมื่อสังเกตพบว่าค่าแรงกดเมื่อสัมผัสกับเมล็ดนี้เป็นค่าแรงกดสูงสุด ซึ่งส่วนที่เจอเมล็ดจะใช้แรงมากกว่า ส่วนเปลือก และเนื้อของลำไย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงกด (Compression force) กับระยะการกด ใน การกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงเฉือน (Shear force) กับระยะการตัด ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย

แรงเฉือนใช้สำหรับการแยกเปลือกและเมล็ดออกจากผลลำไย ของขนาดที่ 2 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรง และระยะการตัด ดังรูปที่ 4.7 อธิบายได้ว่า เมื่อระยะเวลาประมาณ 3.5 วินาที ในระยะการตัดที่ 14 มิลลิเมตร แรงเฉือนที่ใช้คือ 106.09 นิวตัน ซึ่งเป็นแรงเฉือนที่ทำให้เปลือกขาด และเมื่อหัวโพรบเคลื่อนไปได้ระยะเวลาประมาณ 5 วินาที แรงที่ใช้ในการกดอยู่ที่ 55.60 นิวตัน ซึ่งระยะการกด คือ 18 มิลลิเมตร เป็นที่ระยะที่หัวโพรบเคลื่อนที่ผ่านเนื้อลำไย

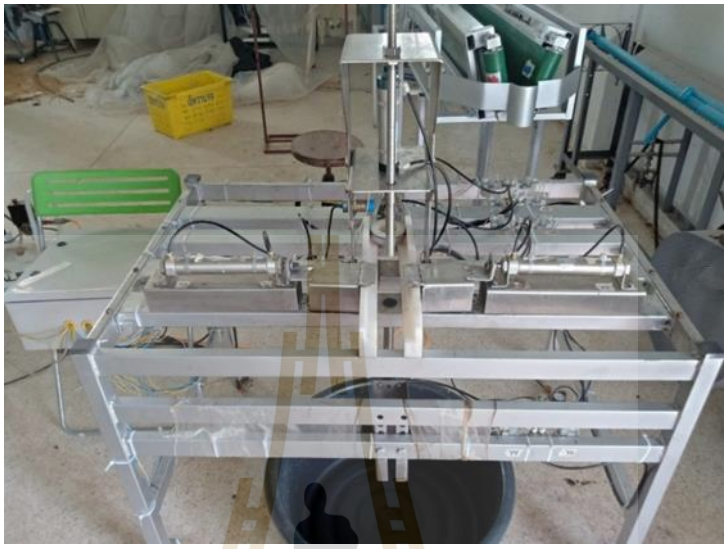
จากนั้น หัวโพรบเคลื่อนที่สัมผัสส่วนของเมล็ดที่ระยะเวลาประมาณ 7 วินาที ในระยะการกด ที่ 28 มิลลิเมตร คือ ตัดไปทั้งลูกจนถึงฐาน แรงสูงสุดที่ใช้ในการแยกเนื้อออกจากเมล็ดลำไย คือ 164.15 นิวตัน สามารถตัดส่วนของเมล็ดได้ เมื่อสังเกต พบว่า ค่าแรงเฉือนเมื่อสัมผัสกับเมล็ดจะมีแรงเฉือนสูงสุด เนื่องจากเมล็ดมีความแข็งกว่า ส่วนเปลือกและเนื้อลำไย ซึ่งส่วนที่ตัดโดนเมล็ดจะใช้แรงเฉือนมากกว่า ส่วนเปลือก และเนื้อของลำไย

ค่าสมบัติทางกลของลำไย เป็นการศึกษาแรงกด และแรงเฉือนที่ใช้สำหรับแยกเปลือก และเมล็ดออกจากเนื้อลำไย ด้วยเครื่อง Texture Analyzer ซึ่งใช้แรงสูงสุดในการกด คือ 125.64 นิวตัน และแรงเฉือนสูงสุดที่ทำให้เมล็ดแตกขาด คือ 164.15 นิวตัน ซึ่งสามารถนำค่าแรงเหล่านี้ไปออกแบบเครื่องคว้านลำไยต่อไป

4.3 ผลการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยระบบนิวแมติก

เมื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของผลลำไยแล้ว สามารถนำผลการศึกษาดังกล่าวไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยระบบนิวแมติก โดยทำการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไย มาจาก เครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะ ของ อนุสรา ติดตารัมย์ (2561) ดังรูปที่ 4.8 โดยปรับให้เข้ากับสภาวะ และพฤติกรรมของลำไยในขณะเคลื่อนที่ ซึ่งเครื่องต้นแบบนี้ ยังมีปัญหา คือ กลไกการนำผลออกไม่สามารถนำผลออกจากเบ้ารองผลได้ ยังต้องหยิบออกจากเบ้ารองผล ไม่สามารถกระทุ้งเมล็ดที่ติดกับหัวคว้านได้ ในการทำงานต้องดึงเมล็ดออก ทำให้การคว้านไม่ได้ประสิทธิภาพเท่าที่ควร และอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุกับผู้ปฏิบัติงานได้ ตำแหน่งการปฏิบัติงานยังไม่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานในระยะเวลาหลายชั่วโมง มีความเมื่อยล้าในการทำงาน วัสดุอุปกรณ์ในการรองรับการเลื่อน ของกลไกการป้อนเข้า-ออก คือ ซุปเปอร์ลีน (Superlene) ถึงแม้จะมีสมบัติมีความแข็ง เหนียว เหมาะสำหรับงานรับแรงมาก ๆ ทนต่อการกัดกร่อน และทนต่อการเสียดสี (ยงไทยโลหะภัณฑ์, 2013) แต่ปัญหา คือ เมื่อใช้ไปในระยะเวลานาน แรงจากกระบอกสูบที่ควบคุมกลไกการป้อนเข้า-ออก จะไปดันให้ซุปเปอร์ลีน เสียรูป และสึกหรอลง ทำให้การเคลื่อนที่ไม่เสถียร ในทำนองเดียวกัน กลไกหัวคว้านมีเหล็กเป็นแกนให้หัวคว้านยึดใน

การเคลื่อนที่ ซึ่งเมื่อทดสอบไปในระยะเวลานาน ๆ น็อต หรือตัวยึดแกนจะหลวม ทำให้แกนมีการเคลื่อนที่ หรือไม่แม่นยำในการคว้าน



รูปที่ 4.8 เครื่องต้นแบบสำหรับปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ
(อนุสรา ติดตารัมย์, 2561)

เนื่องจากขนาดของลำไยที่นิยมนำไปแปรรูป คือ ขนาดที่ 1 และ 2 เพราะฉะนั้นจึงเลือกนำลำไยขนาดที่ 1 และ 2 มาใช้ในออกแบบหัวคว้าน และกลไกต่าง ๆ ดังนี้

4.3.1 กลไกการคว้านเมล็ดลำไย

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวคว้านเมล็ดลำไยจะพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ของเมล็ดลำไย จากตารางที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ของเมล็ดลำไย ขนาด 1 และ 2 มีค่า 14.29 และ 13.95 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าไม่ต่างกันมากจึงเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์ภายนอกของหัวคว้านขนาดเดียวกัน ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งหัวคว้านเมล็ดลำไยนี้เป็น สแตนเลสแบบกลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเป็น 14 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร และที่ปลายของหัวคว้านแบบปากฉลามจะถูกตัดเป็นทรงกระบอกปากเฉียงสองด้านทำมุม 45° (ทรงธรรม ไชยพงษ์ และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนาอุบล, 2554) และที่ปลายของหัวคว้านแบบปากตรงจะลับให้มีความคมเพื่อให้คว้านเมล็ดได้ง่าย (รูปที่ 4.9)

รูปที่ 4.9 รูปแบบหัวคว้านแบบปากตรง และแบบปากฉลาม

4.3.2 กลไกสำหรับป้อนผลลำไย และกลไกการนำผลออก

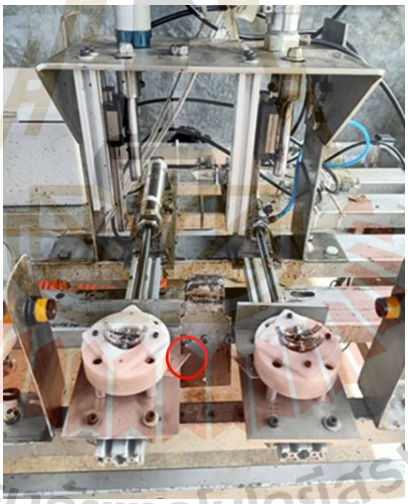
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเบ้ารองลำไยจะพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไยทั้งผลโดยที่ยังไม่ปอกเปลือก โดยจะนำค่า เส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ของขนาดที่ 1 และ 2 คือ 28.91 และ 27.48 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งค่ามีความใกล้เคียงกัน จึงเลือกค่าเฉลี่ยที่ 28 มิลลิเมตร มาใช้ในการออกแบบเบ้ารองลำไย และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวหนีบผลลำไย ซึ่งทำจาก สแตนเลส ออกแบบที่ขนาดเท่ากับ 28 มิลลิเมตร เช่นเดียวกันกับขนาดของเบ้ารองลำไย ตัวหนีบนี้มีแนวคิดมาจาก งานวิจัยเครื่องปอกเปลือกมะพร้าว โดยจะมีตัวยึดที่ส่วนบนของมะพร้าว ในขณะลูกมะพร้าวหมุน จะทำให้ไม่เคลื่อนที่ไปผิดตำแหน่ง (Piyathissa *et al.*, 2016) เนื่องจากลำไยมีค่าความกลมที่เกือบจะเท่ากับทรงกลมจึงต้องมีตัวล็อคเพื่อไม่ให้เคลื่อนที่ในขณะที่กลไกทำงาน ซึ่งตัวหนีบลูกลำไยนี้ ทำการลับคมเพื่อให้สามารถตัดเปลือกลำไยให้ขาดได้ในขณะที่คว้านเมล็ดลำไย และกลไกนี้สามารถปรับใช้กับขนาดของลำไยที่เล็กลงได้ โดยการปรับน็อตที่ยึดอยู่แล้วเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นซุปเปอร์ลีนให้เล็กลงตามขนาดของลำไยได้ ดังรูปที่ 4.10(ก)

ซึ่งกลไกในการหนีบผลลำไยไว้ นั้น ทำการติดตั้งสลักในการนำผลออกจากเบ้ารองลำไยออกไว้ด้วย โดยการทำงานคือ เมื่อเตรียมป้อนลำไย สลักจะคลายตัวออก เมื่อป้อนลำไยเข้าไป สลักจะหนีบผลลำไยไว้ ดังรูปที่ 4.10(ข) เมื่อตัวหนีบลำไยหนีบผลแล้วกลไกการทำงานของกระบอกสูบลมในส่วนของการป้อนเข้าจะเคลื่อนที่ไป เพื่อให้กลไกการคว้านเมล็ดทำงานต่อ เมื่อกลไกการคว้านเมล็ดทำงานเสร็จสิ้น กระบอกสูบลมจึงดันกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น ในขณะที่ดัน

ออกมาจะมีแผ่นสแตนเลสดันสลักเพื่อให้คลายตัว ทำให้ลำไยออกจากเบ้ารองผลลำไยได้ ดังรูปที่ 4.11

(ก) (ข)

รูปที่ 4.10 เบ้ารองผลลำไยสำหรับกลไกการป้อนผลลำไย



รูปที่ 4.11 เบ้ารองผลลำไยสำหรับกลไกการป้อนผลลำไย และสลักกลไกการนำผลออก

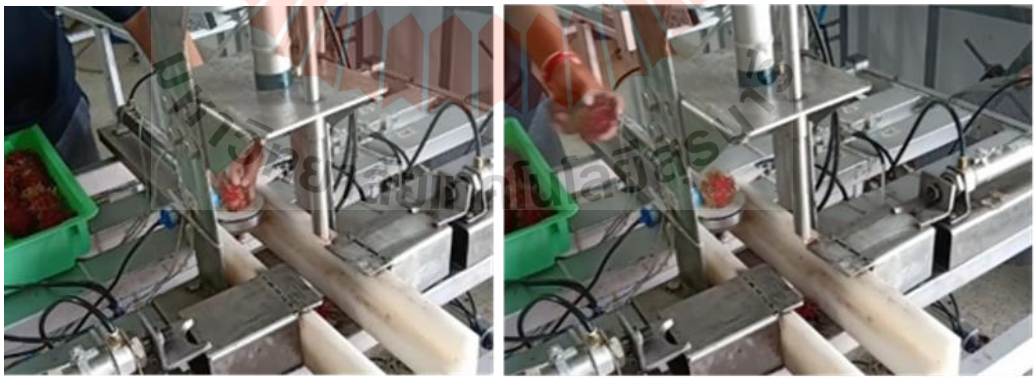
4.3.3 กลไกการกระทุ้ง

ในการทำงานของหัวคว้านเมล็ดลำไย หัวคว้านเมล็ดลำไยจะเคลื่อนกดลงที่ขั้วของลำไยแล้วจึงเคลื่อนที่ขึ้น เมื่อหัวคว้านเมล็ดลำไยเคลื่อนที่ขึ้นจะมีเมล็ดติดที่ปากหัวคว้านเสมอ เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวคว้านมีค่าเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ด ผู้วิจัยจึงเพิ่มกลไกการกระทุ้งเมล็ดขึ้นมา โดยยึดน็อตเข้ากับโครงสแตนเลสด้านบน (รูปที่ 4.12) เพื่อทำให้อยู่นิ่งไม่

เคลื่อนที่ไปพร้อมกับหัวคว้าน และทำการลดขนาดจากเดิม ลง 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อไม่ให้เกิดการเสียดสีขณะหัวคว้านเมล็ดลำไยเคลื่อนที่

รูปที่ 4.12 ก้านกระทุ้งที่อยู่ข้างในหัวคว้านเมล็ดลำไย

4.3.4 ตำแหน่งการปฏิบัติงาน



รูปที่ 4.13 ตำแหน่งการปฏิบัติงานของเครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะ
(อนุสรา ติดตารัมย์, 2561)

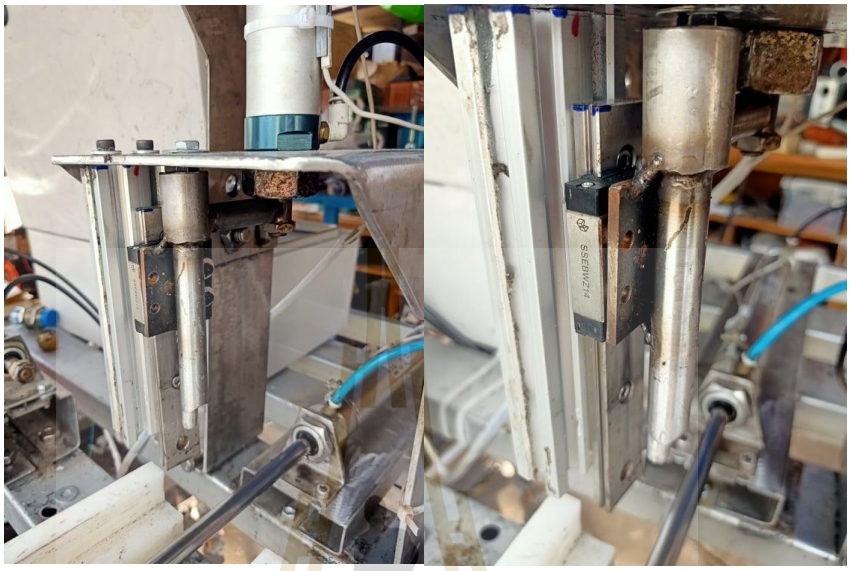
จากเครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะ ผู้ปฏิบัติงานทำการป้อนเงาะหลังเครื่อง และเป็นการยืนแบบเอื้อม หรือเอี้ยวตัว ซึ่งไม่เหมาะกับสรีระมนุษย์ เมื่อปฏิบัติงานหลายชั่วโมงอาจเกิดความเมื่อยล้า และเกิดการผิดพลาดจากการป้อนผลเงาะได้ ดังรูปที่ 4.13 ผู้วิจัยจึงปรับปรุงตำแหน่งการปฏิบัติงานโดยย้ายมาปฏิบัติงานที่หน้าเครื่อง และปรับให้เบ้ารองลำไยเคลื่อนที่กลับมาที่หน้าเครื่อง เพื่อให้สะดวกต่อการปฏิบัติงาน และสามารถนั่งปฏิบัติงานได้ ดังรูปที่ 4.14

รูปที่ 4.14 ตำแหน่งการปฏิบัติงานของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย

4.3.5 วัสดุที่รองรับในการเลื่อนสำหรับกลไกการคว้านเมล็ดลำไย และป้อนลำไย

จากเครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะ วัสดุอุปกรณ์ในการรองรับการเลื่อนของกลไกการป้อนเข้า-ออก คือ ซุปเปอร์ลีน (Superlene) ซึ่งปัญหาคือ เมื่อใช้ไปในระยะเวลานาน แรงจากกระบอกสูบที่ควบคุมกลไกการป้อนเข้า-ออก จะไปดันให้ซุปเปอร์ลีนเสียรูป และสึกหรอลง ทำให้การเคลื่อนที่ไม่เสถียร ในทำนองเดียวกัน กลไกหัวคว้านมีเหล็กเป็นแกนให้หัวคว้านยึดในการเคลื่อนที่ ซึ่งเมื่อทดสอบไปในระยะเวลานาน ๆ น็อต หรือตัวยึดแกนจะหลวม ทำให้แกนมีการเคลื่อนที่ หรือไม่แม่นยำในการคว้าน ผู้วิจัยจึงปรับปรุงโดยการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการรองรับการเลื่อน จากซุปเปอร์ลีน หรือการใช้น็อตยึด เปลี่ยนเป็นอะลูมิเนียมโปรไฟล์แบบ V-slot ซึ่งเป็นราง

เลื่อนในแนวแกนเส้นตรงที่มีความแม่นยำ แข็งแรง ลื่น ไม่ขึ้นสนิม ราคาไม่แพง และง่ายต่อการติดตั้งใช้งาน ดังรูปที่ 4.15



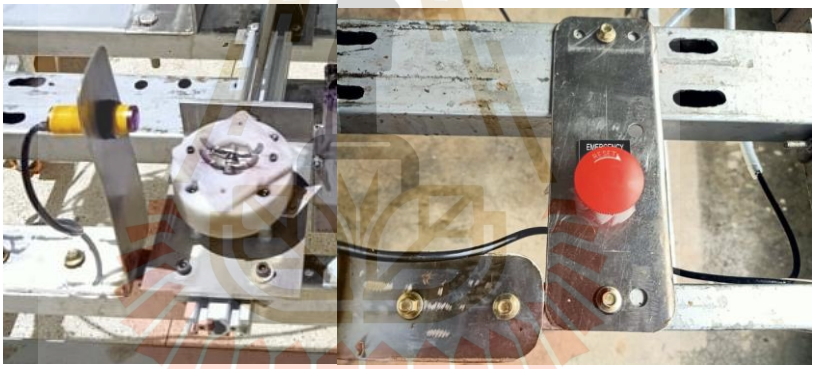
รูปที่ 4.15 วัสดุอะลูมิเนียมโปรไฟล์ V-slot ที่รองรับในการเลื่อนสำหรับกลไกการคว้านเมล็ดลำไยและป้อนลำไย

4.3.6 ตู้ควบคุมไฟฟ้า เซนเซอร์ และปุ่ม Emergency

การควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของกลไก จะถูกควบคุมโดยโปรแกรม PLC ซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่ในตู้ควบคุมไฟฟ้าที่จะทำการเดินสายไฟ ตามรูปที่ 4.16 โดยสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) จะย้ายเข้าไปในตู้ เนื่องจากถ้าสัมผัสอาจจะเกิดไฟดูดได้ และเพิ่มสวิตช์ปิดเปิด และสวิตช์ไฟเขียวสถานะการทำงาน ภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า จะเพิ่มคือ รีเลย์ (Relay) ที่ช่วยตรวจสอบการทำงานของวงจรไฟฟ้าที่มีความผิดปกติจากการเกิดกระแสไฟฟ้าขาด หรือกระแสไฟฟ้าเกิน และเกิดแรงดันต่ำ-แรงดันสูงได้ โดยรีเลย์นั้น จะทำหน้าที่ตัดวงจรส่วนที่ผิดปกติออกทันที เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ และส่วนประกอบต่าง ๆ ของไฟฟ้าเกิดความเสียหายได้, วงจรลดแรงดันแบบ Step downใช้ลดแรงดันจากแรงดันสูงให้ต่ำลง ใช้หลักการสวิตชิ่ง-ตัวเหนี่ยวนำ (L) จึงทำให้มีความร้อน และความสูญเสียกำลังไฟน้อย ตัวกรอง(Filter) ช่วยลดผลกระทบของสิ่งรบกวน ที่จะถูกส่งย้อนกลับไปที่แหล่งจ่ายไฟ (รูปที่ 4.16) ทำการเปลี่ยนเซนเซอร์ จากเดิมซึ่งเป็นเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ ตรวจจับวัสดุประเภทโลหะ สามารถตรวจโลหะได้ในระยะ 8 มิลลิเมตร เป็น เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุผ่านด้วยอินฟาเรด แบบปรับค่าได้ในระยะ 3-80 เซนติเมตร

และเพิ่มสวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency) เพื่อรองรับกับเหตุการณ์ฉุกเฉินที่อาจเกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.17

รูปที่ 4.16 ตู้ควบคุมไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบ



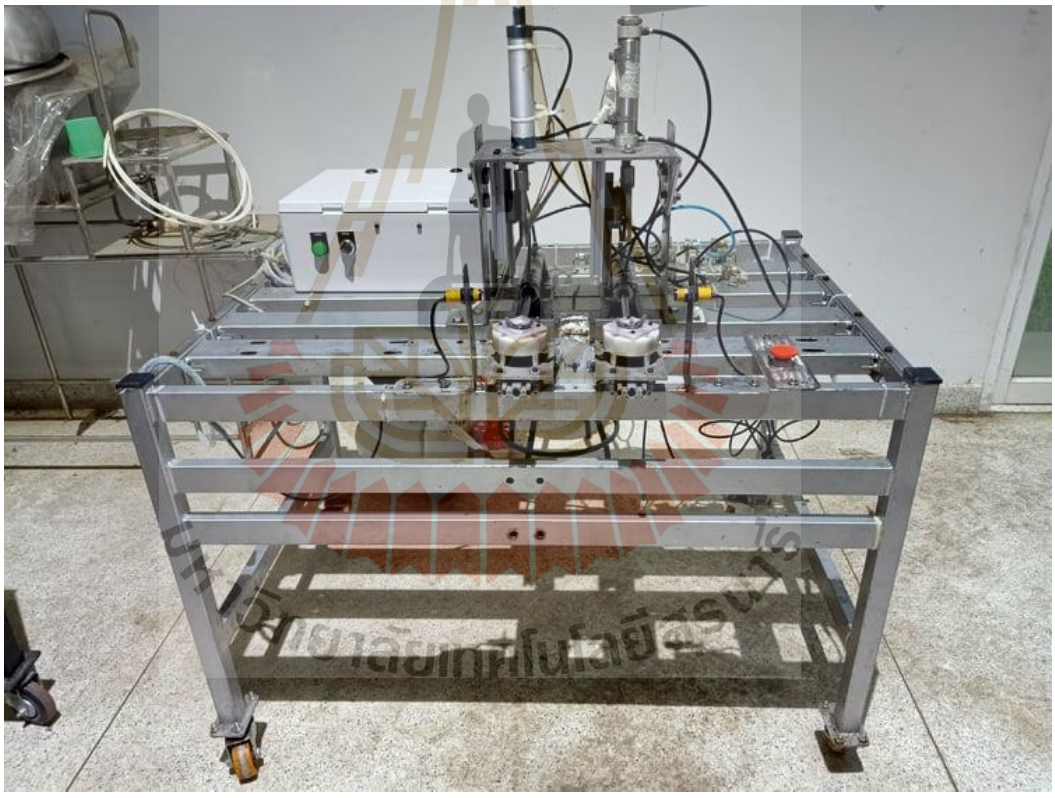
รูปที่ 4.17 สวิตช์เซนเซอร์ และปุ่ม Emergency

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

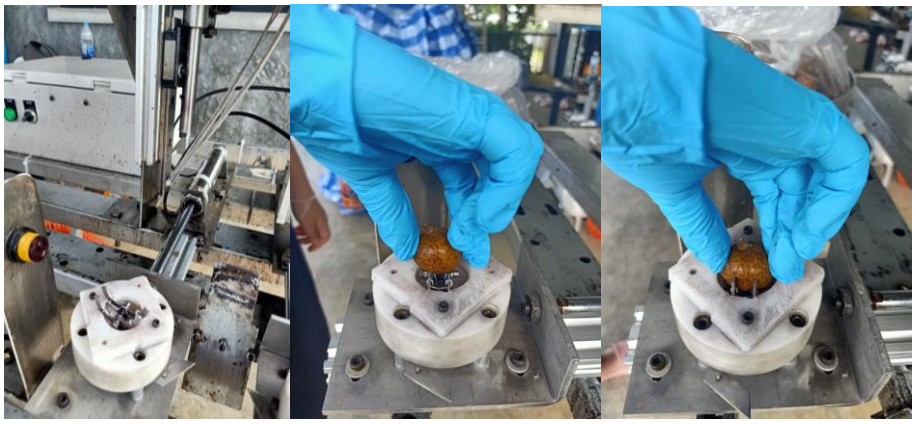
4.3.7 การทำงานของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

สำหรับเครื่องต้นแบบสำหรับคว้านเมล็ดลำไยที่ได้พัฒนาขึ้น มีลักษณะดังรูปที่ 4.18 โดยมี 2 หัวคว้าน เพื่อเพิ่มอัตราการทำงานมากขึ้น และประกอบด้วยกลไกต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น โดยใช้ลมอัดเป็นต้นกำลัง ใช้แรงงาน 1 คน ในการปฏิบัติงาน ก่อนที่จะเริ่มปฏิบัติงานจะต้องทำการเตรียมลำไยพันธุ์อีดอก่อน โดยดึงออกจากช่อแล้วคัดขนาดให้เรียบร้อย ก่อนจะปฏิบัติงานเก็บรักษาลำไยไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 1.5 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้เกิดการเน่าเสีย ขั้นตอนการทำงาน การป้อนลำไย เมื่อเบ้ารองลำไยอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกับสวิตช์เซนเซอร์ ดังรูปที่ 4.19 (ก) ป้อนลำไยลงไปที่เบ้ารองลำไย โดยให้ขั้วของลำไยหันขึ้น ดังรูปที่ 4.19 (ข) (ค) เมื่อสวิตช์

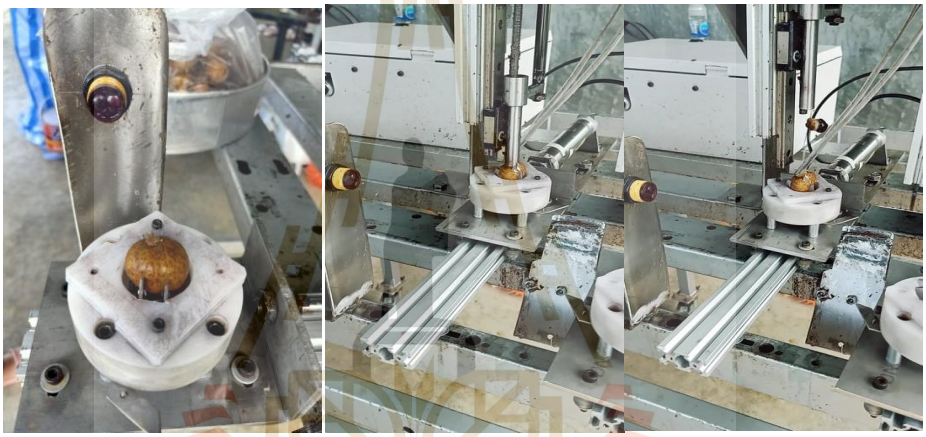
เซนเซอร์ตรวจจับการป้อนลำไย ได้รับสัญญาณจะทำการหน่วงเวลาไป 5 วินาที ดังรูปที่ 4.19 (ง) เมื่อครบเวลาแล้ว จะส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ควบคุมทำงานต่อไป โดยให้อุปกรณ์ควบคุมนี้ส่งสัญญาณให้เบ้ารองลำไยเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งการคว้านเมล็ด จากนั้นชุดคว้านเมล็ดลำไยที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะทำการคว้านเมล็ด ดังรูปที่ 4.19 (จ) และชุดหัวคว้านจะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมทันที พร้อมกับเมล็ดที่หลุดออกจากการกระทุ้งของก้านกระทุ้งภายในชุดหัวคว้าน ดังรูปที่ 4.19 (ฉ) จากนั้นกลไกการป้อน จึงเลื่อนกลับมาในตำแหน่งเดิม ในขณะที่เคลื่อนที่กลับมา กลไกการนำผลออกจะดันสลักล็อคผลลำไยให้คลายตัวด้วย ส่งผลให้ ผลลำไยออกจากเบ้ารองลำไยได้โดยที่ไม่ต้องหยิบออก ดังรูปที่ 4.19 (ช) ในขั้นตอนสุดท้ายเบ้ารองลำไยเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเดิม ดังรูปที่ 4.19 (ซ) เพื่อรอการป้อนลำไยในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.18 เครื่องต้นแบบสำหรับคว้านเมล็ดลำไย



(ก) (ข) (ค)



(ง) (จ) (ฉ)

(ช) (ซ)

รูปที่ 4.19 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย

4.4 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

การทดสอบเครื่องคว้านเมล็ดลำไย จำเป็นจะต้องหาอัตราส่วนในแต่ละส่วนของลำไย ได้แก่ น้ำหนักทั้งผล น้ำหนักเนื้อ น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนักเปลือก เพื่อเทียบคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องจักร ตามข้อที่ 4.1.3 ในที่นี้ทดสอบกับลำไยขนาด 1 และ 2 ที่นิยมแปรรูป จากการทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบสำหรับการคว้านเมล็ดลำไยได้ผลดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลการทดสอบเบื้องต้น

การทดสอบเบื้องต้นจะทำการทดสอบเพื่อหารูปแบบ และความเร็วหัวคว้านที่เหมาะสมโดยควบคุมด้วยกระบอกสูบนิวแมติก ต้นกำลังลมอัดอยู่ที่ 6 บาร์ (ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต, 2559) และตั้งความเร็วกลไกการป้อนเข้าออกอยู่ที่ 0.46 เมตรต่อวินาที ให้เท่ากัน เพื่อให้สัมพันธ์กับความเร็วหัวคว้านที่ตั้งค่าในแต่ละค่า ได้แก่ 0.12, 0.17 และ 0.31 เมตรต่อวินาที เพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมของหัวคว้าน โดยผลการทดสอบเป็นดังนี้

4.4.1.1 ผลการทดสอบการหารูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสม

ในการทดสอบเพื่อหารูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสม จะทำการทดสอบกับรูปแบบลักษณะหัวคว้านปากตรง และปากฉลาม โดยตั้งค่าความเร็วของกลไกต่าง ๆ เป็นค่าเดียวกัน และความดันลมอยู่ที่ 6 บาร์ (ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต, 2559) แล้วแยกทดสอบกับลำไยขนาดที่ 1 และ 2

จากข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบ และตัวแปรที่ใช้ทั้งหมดของการทดสอบซ้ำจำนวน 3 รอบ รอบละ 20 ผล โดยแยกวิเคราะห์ประเมินคุณภาพคะแนนของเปลือก เมล็ด และเนื้อลำไย พบว่า การทดสอบโดยใช้หัวคว้านแบบปากตรง มีคะแนนเฉลี่ยของเปลือก เนื้อ และเมล็ดลำไย อยู่ระหว่าง 2.05 ถึง 2.95 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.69 ถึง 1.05 แจกแจงได้ดังนี้ คะแนนเฉลี่ยของเปลือกลำไยเท่ากับ 2.95 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.69 คะแนนเฉลี่ยของเมล็ดลำไยเท่ากับ 2.70 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.73 และคะแนนเฉลี่ยของเนื้อลำไยเท่ากับ 2.60 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.88 ในขนาดที่ 2 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของเปลือกลำไยเท่ากับ 2.75 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.72 คะแนนเฉลี่ยของเมล็ดลำไยเท่ากับ 2.05 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.76 และคะแนนเฉลี่ยของเนื้อลำไยเท่ากับ 2.95 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.05 และการทดสอบโดยใช้หัวคว้านแบบปากฉลาม ในขนาดที่ 1 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของเปลือก เนื้อ และเมล็ดลำไย อยู่ระหว่าง 2.50 ถึง 2.90 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.60 ถึง 1.28 แจกแจงได้ ดังนี้ คะแนนเฉลี่ยของเปลือกลำไยเท่ากับ 2.55 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.76 คะแนนเฉลี่ยของเมล็ดลำไยเท่ากับ 2.60 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.60 และคะแนนเฉลี่ยของเนื้อลำไยเท่ากับ 2.90 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.17 ในขนาดที่ 2 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของเปลือกลำไยเท่ากับ 2.85 และส่วนเบี่ยงเบน

มาตรฐานเท่ากับ 0.88 คะแนนเฉลี่ยของเมล็ดลำไยเท่ากับ 2.50 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.69 และคะแนนเฉลี่ยของเนื้อลำไยเท่ากับ 2.55 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.28 ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์การหารูปแบบหัวคว้านลำไยที่เหมาะสม

คะแนนประเมิน/ลักษณะหัวคว้าน		**ปากตรง**	**ปากฉลาม**
ขนาดที่ 1	เปลือกลำไย	2.95±0.69	2.55±0.76
	เมล็ดลำไย	2.70±0.73	2.60±0.60
	เนื้อลำไย	2.60±0.88	2.90±1.17
ขนาดที่ 2	เปลือกลำไย	2.75±0.72	2.85±0.88
	เมล็ดลำไย	2.05±0.76	2.50±0.69
	เนื้อลำไย	2.95±1.05	2.55±1.28

หมายเหตุ: - แต่ละค่าที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.7 ค่าคะแนนประเมินลักษณะทางกายภาพของเปลือก เนื้อ และเมล็ดลำไย มีคะแนนที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05) และการกระจายตัวของข้อมูลดูได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งข้อมูลเกาะกลุ่มกัน

ผู้วิจัยจึงสังเกตและประเมินจากลักษณะของรอยคว้านของลูกลำไย เมื่อพิจารณาที่รอยคว้านของการทดสอบการคว้านด้วยหัวคว้านแบบปากตรงมีลักษณะที่เรียบ และสวยงามมากกว่าการทดสอบการคว้านด้วยหัวคว้านแบบปากฉลาม ดังรูปที่ 4.20

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(ก) (ข)

รูปที่ 4.20 (ก) เนื้อลำไยที่ได้จากการทดสอบการคว้านเมล็ดแบบปากตรง
(ข) เนื้อลำไยที่ได้จากการทดสอบการคว้านเมล็ดแบบปากฉลาม

4.4.1.2 ผลการทดสอบความเร็วหัวคว้านที่เหมาะสม

เมื่อได้ค่าผลการทดสอบการหารูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสมแล้ว คือ การคว้านด้วยหัวคว้านแบบตรง ดังข้อที่ 4.4.1.1. โดยตั้งค่าความเร็วของกลไกการป้อนลำไยเข้าออกเท่ากับ 0.46 เมตรต่อวินาที เป็นค่าเดียวกัน และความดันลมอยู่ที่ 6 บาร์ โดยกำหนดค่าความเร็วของหัวคว้านเมล็ดลำไยไว้ 3 ค่า ดังนี้ 0.12, 0.17 และ 0.31 เมตรต่อวินาที แยกทดสอบกับลำไยขนาดที่ 1 และ 2 ได้ค่า ดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์การหาความเร็วของหัวคว้านที่เหมาะสมจากข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบและตัวแปรที่ใช้ทั้งหมดของการทดสอบซ้ำจำนวน 3 รอบ รอบละ 30 ผล โดยแยกวิเคราะห์ประเมินคุณภาพคะแนนของเปลือก เมล็ดและเนื้อลำไย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ได้ผลวิเคราะห์ดังนี้
จากการวิเคราะห์การหาความเร็วหัวคว้านที่เหมาะสม มีรายละเอียด ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ คือ คะแนนประเมินคุณภาพของ เนื้อ เปลือก และเมล็ดลำไย จำแนกตามการทดสอบ ได้แก่ การทดสอบโดยใช้หัวคว้านแบบปากตรงที่ความเร็ว 0.12, 0.17 และ0.31 เมตรต่อวินาที ในลำไยขนาดที่ 1 พบว่า คะแนนค่าเฉลี่ยของเนื้อลำไยเท่ากับ 2.59, 2.79 และ 2.78 ตามลำดับ คะแนนค่าเฉลี่ยของเปลือกลำไยเท่ากับ 2.61, 2.93 และ 2.99 ตามลำดับ และคะแนนค่าเฉลี่ยของเมล็ดลำไยเท่ากับ 2.83, 2.59 และ 2.40 ตามลำดับ

ในลำไยขนาดที่ 2 พบว่า คะแนนค่าเฉลี่ยของเนื้อลำไยเท่ากับ 1.99, 2.11 และ 2.06 ตามลำดับ คะแนนค่าเฉลี่ยของเปลือกลำไยเท่ากับ 2.18, 2.43 และ 2.38 ตามลำดับ และคะแนนค่าเฉลี่ยของเมล็ดลำไยเท่ากับ 2.39, 2.56 และ 2.58 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.8

จากตารางที่ 4.8 ค่าคะแนนประเมินลักษณะทางกายภาพของเปลือก เนื้อและเมล็ดลำไย มีคะแนนที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และการกระจายตัวของข้อมูลดูได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งข้อมูลเกาะกลุ่มกัน ดังตารางที่ 4.8

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกค่าเฉลี่ยของความเร็วที่ตั้งไว้ทั้ง 3 ค่า ซึ่งเท่ากับ 0.17 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์การหาความเร็วหัวคว้านลำไย

ความเร็วหัวคว้าน (m/s)		คะแนนประเมิน (Score)	
		ขนาดที่ 1	ขนาดที่ 2
เนื้อลำไย	0.12	2.59±0.074[a]	1.99±0.074[a]
	0.17	2.79±0.105[a]	2.11±0.105[a]
	0.31	2.78±0.087[a]	2.06±0.087[a]
เปลือกลำไย	0.12	2.61±0.073[a]	2.18±0.073[a]
	0.17	2.93±0.100[a]	2.43±0.100[a]
	0.31	2.99±0.089[a]	2.38±0.089[a]
เมล็ดลำไย	0.12	2.83±0.069[a]	2.39±0.069[a]
	0.17	2.59±0.072[a]	2.56±0.072[a]
	0.31	2.40±0.064[a]	2.58±0.064[a]

หมายเหตุ: - แต่ละค่าที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

4.4.2 ผลการทดสอบสำหรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการคว้านเมล็ดลำไย

พบว่า ที่ความดันลมที่ 6 และ 7 บาร์ ทุก ๆ พารามิเตอร์มีค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากันอยู่ที่ 2.50 และ 1.291 ตามลำดับ และที่ความดันลม 8 บาร์ มีค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.00 และ 1.581 ตามลำดับ ดังนั้น ความดันที่เหมาะสมสำหรับการคว้านเมล็ดลำไย คือ 6 และ 7 บาร์ แต่เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเชิงน้ำหนัก พบว่า ที่ความดัน 6 บาร์ และความเร็วการป้อน 0.46 เมตรต่อวินาที มีความเหมาะสมมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 คะแนนประเมิน และเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเชิงน้ำหนักของลำไยขนาดที่ 1 และ 2 เมื่อคว้านที่ความเร็วการป้อน และความดันต่าง ๆ

ความดัน (บาร์)	ความเร็วการป้อน (m/s)	ขนาด	คะแนนประเมิน (Score)	เปอร์เซ็นต์ความเสียหายเชิงน้ำหนัก
6	0.18	1	2.50± 1.291[a]	8.93± 1.32[b]
		2	2.50± 1.291[a]	11.07 ± 1.03[c]
	0.25	1	2.50± 1.291[a]	7.56 ± 0.85[b]
		2	2.50± 1.291[a]	11.24± 6.41[c]
	0.46	1	2.50± 1.291[a]	3.99± 1.05[a*]
		2	2.50± 1.291[a]	7.97± 2.10[b*]
7	0.18	1	2.50± 1.291[a]	6.21± 1.78[b]
		2	2.50± 1.291[a]	15.09 ± 1.23[c]
	0.25	1	2.50± 1.291[a]	7.73± 0.67[b]
		2	2.50± 1.291[a]	20.34±1.74[d]
	0.46	1	2.50± 1.291[a]	6.23 ± 4.92[b]
		2	2.50± 1.291[a]	17.77 ± 1.52[d]
8	0.18	1	2.00± 1.581[b]	4.46± 0.71[a]
		2	2.00± 1.581[b]	9.83 ± 0.95[c]
	0.25	1	2.00± 1.581[b]	3.95± 1.52[a]
		2	2.00± 1.581[b]	10.45 ± 3.78[c]
	0.46	1	2.00± 1.581[b]	4.03 ± 1.26[a]
		2	2.00± 1.581[b]	6.86 ± 0.87[b]

หมายเหตุ:- แต่ละค่าที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)
- เครื่องหมาย * คือค่าที่เหมาะสม

4.4.3 ผลการทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องคว้านลำไย

ผลการทดสอบต่อเนื่องเป็นการนำผลที่ได้จากการทดสอบสำหรับสภาวะที่เหมาะสม ต่อการคว้านเมล็ดลำไยในลำไยขนาดที่ 1 และ2 มาทดสอบต่อเนื่องจำนวนขนาดละ 10 กิโลกรัม ได้ค่าดังนี้ ลำไยขนาดที่ 1 และ 2 สภาวะเหมาะสมอยู่ที่ 6 บาร์ ความเร็วของกลไกหัวคว้านที่ 0.17 เมตรต่อวินาที และความเร็วของกลไกการป้อนเข้าและออก คือ 0.46 เมตรต่อวินาที ลำไยขนาดที่ 1 ใช้เวลาไป 31.54 นาที และใช้พลังงานไฟฟ้า 0.23 กิโลวัตต์ชั่วโมง และลำไยขนาดที่ 2 ใช้เวลาไป 35.55 นาที และใช้พลังงานไฟฟ้า 0.32 กิโลวัตต์ชั่วโมง เวลาที่ใช้ในการทดสอบลำไยขนาดที่ 1 จะน้อยกว่า ทดสอบกับลำไยขนาดที่ 2 เนื่องจากในจำนวนน้ำหนัก 10 กิโลกรัมเท่ากัน ลำไยขนาดที่ 1 มีน้ำหนักต่อผลที่มากกว่าลำไยขนาดที่ 2 จึงส่งผลให้จำนวนผลของลำไยขนาดที่ 1 น้อยกว่า ขนาดที่ 2 ตามไปด้วย ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าจะแปรตามเวลาที่ใช้ไป ดังตารางที่ 4.10

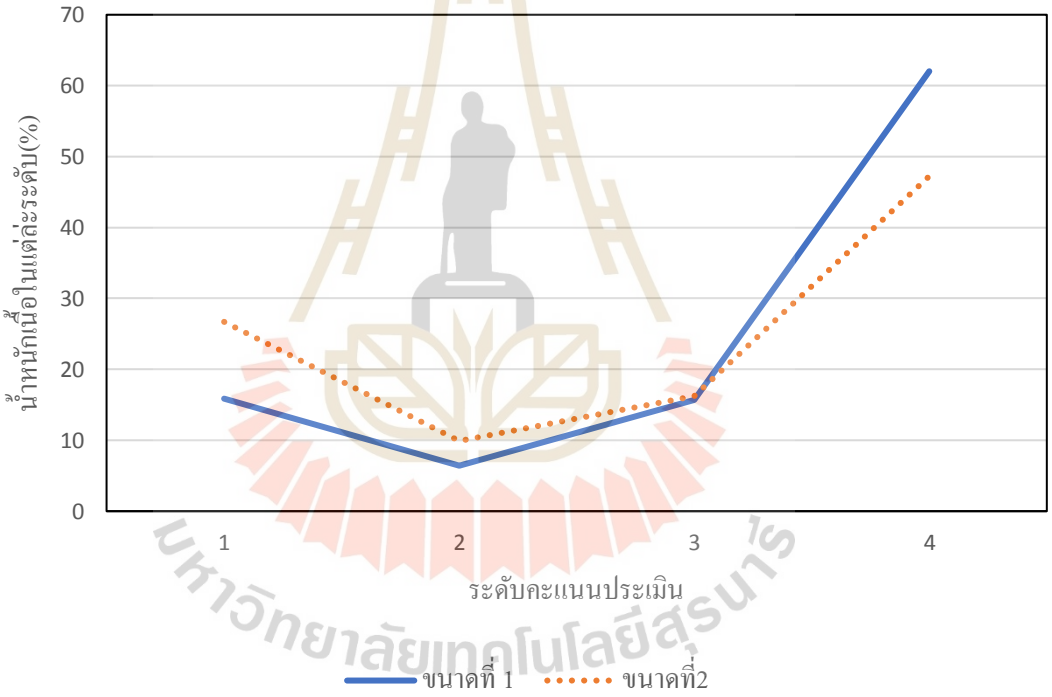
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบต่อเนื่องของลำไยทั้ง 2 ขนาด

ขนาดลำไย	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ความเร็วหัวคว้าน (เมตรต่อวินาที)	ความเร็วเข้ารองรับ(เมตรต่อวินาที)	ความดันลม (บาร์)	เวลา (นาที)	ค่ามิเตอร์ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)
1	10	0.17	0.46	6	31.54	0.23
2	10	0.17	0.46	6	35.55	0.32

เมื่อคำนวณน้ำหนักเนื้อลำไยแต่ละระดับคุณภาพที่ได้เปรียบเทียบกับน้ำหนักเนื้อทั้งหมดใน 4 ระดับคุณภาพ จะได้เปอร์เซ็นต์เนื้อลำไยตามระดับคุณภาพ เทียบกับเนื้อลำไยที่ได้ทั้งหมดดังตารางที่ 4.11 พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อที่ได้ในระดับคะแนนที่ 1 และ 2 มีแนวโน้มลดลง ตามขนาดของลำไย แต่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ได้ในระดับคะแนนที่ 3 และ 4 กลับมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามรูปที่ 4.21 ยิ่งขนาดเล็กลง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อที่ได้คุณภาพก็จะแย่ลง เมื่อพิจารณาจากคะแนนที่ 1 และ 2 เป็นคะแนนที่ลำไยไม่สามารถคว้านได้และเสียหายมาก ยิ่งค่ามากแสดงว่าไม่ดี เมื่อพิจารณาจากคะแนนระดับที่ 3 และ 4 เป็นคะแนนที่คว้านมาแล้วได้เนื้อที่ค่อนข้างสมบูรณ์ และเสียหายน้อย ยิ่งค่ามากแสดงว่ามีผลดี

ตารางที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์เนื้อที่ได้ในแต่ละระดับคะแนนคุณภาพ เทียบกับ น้ำหนักทั้งหมด

ระดับคะแนนคุณภาพ	**น้ำหนักเนื้อในแต่ละระดับ (เปอร์เซ็นต์)**	
	ขนาดที่ 1	**ขนาดที่2**
ระดับคะแนนที่ 1	15.86453	26.66667
ระดับคะแนนที่ 2	6.417112	9.904762
ระดับคะแนนที่ 3	15.68627	16.19048
ระดับคะแนนที่ 4	62.03209	47.2381



รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบน้ำหนักเนื้อลำไยที่ได้ในแต่ละระดับคะแนนทั้ง 4 ระดับ ในลำไยขนาดที่ 1 และ 2

ตารางที่ 4.12 ความเสียหายเชิงน้ำหนักต่อผลลำไย

ขนาดลำไย	ความเสียหายเชิงน้ำหนักต่อผลลำไย (เปอร์เซ็นต์)
ขนาดที่ 1	15.86
ขนาดที่ 2	26.67

จากตารางที่ 4.12 การหาความเสียหายเชิงน้ำหนักต่อผลลำไย โดยใช้น้ำหนักลำไยที่สูญเสียหรือคว้านไม่ได้ คือระดับคุณภาพที่ 1 เทียบกับ ผลรวมของน้ำหนักเนื้อลำไยทั้งหมด ดังสมการ (3.6) เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของลำไยขนาดที่ 1 เท่ากับ 15.86 และเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของลำไยขนาดที่ 2 เท่ากับ 26.67 โดยจะเห็นว่าลำไยขนาดที่ 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความเสียหายที่ต่ำกว่าลำไยขนาดที่ 2 อาจขึ้นอยู่กับหัวคว้าน และเบ้ารองลำไยที่ออกแบบมีความเหมาะสมในลำไยขนาดที่ 1 มากกว่า และอาจเป็นเพราะจำนวนลำไย โดยขนาดที่ 2 จะมีจำนวนลำไยที่มากกว่าขนาดที่ 1 ในจำนวน 10 กิโลกรัมเท่ากัน

ตารางที่ 4.13 สมรรถนะของเครื่องต้นแบบ

Size	%Efficiency of prototype	%Efficiency of seed removing	Capacity (kg/h)	Capacity (fruit/h)	Power consumption (kg/kWh)
1	69.33	75.05	19.02	1,731	43.48
2	56.42	65.22	16.90	1,689	31.25

หมายเหตุ: ลำไยใน 1 กิโลกรัมกรัม ขนาดที่ 1 = 91ผล ,ขนาดที่ 2 = 100 ผล ตามมาตรฐานมกอช.

จากตารางที่ 4.13 เมื่อพิจารณาอัตราการทำงานของการคว้านเมล็ดลำไย ดังสมการ (3.7) พบว่าอัตราการทำงานเมื่อทดสอบกับขนาด 1 คือ 19.02 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าอัตราการทำงานของขนาด 2 เนื่องจากลำไยขนาดที่ 2 มีน้ำหนักน้อยกว่าลำไยขนาดที่ 1 ทำให้จำนวนผลลำไยมากกว่าอยู่ 9 ผล ใน 1 กิโลกรัม จึงส่งผลให้ขนาดที่ 2 ใช้เวลามากกว่าขนาดที่ 1 อยู่ 4 นาที และนอกจากนี้ยังส่งผลไปถึงเรื่องของการใช้พลังงานของเครื่องอีกด้วย ซึ่งพบว่าพลังงานของการทดสอบต่อเนื่องของขนาดที่ 1 ในจำนวน 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ทำได้ 43.48 กิโลกรัม ซึ่งมากกว่าขนาดที่ 2 ซึ่งทำได้ 31.25 กิโลกรัม ทำให้ขนาดที่ 1 สิ้นเปลือง น้อยกว่า ขนาดที่ 2 เนื่องจากมีอัตราการทำงานที่สูงกว่า ในจำนวนลำไยที่เท่ากัน การทดสอบต่อเนื่องจะทำงานเสร็จก่อน จึงทำให้ปั๊มลมทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาน้อยลงไปด้วย และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องดัง

สมการ (3.5) โดยใช้ผลรวมระหว่างน้ำหนักเนื้อลำไยระดับคุณภาพ 3 และน้ำหนักเนื้อลำไยระดับคุณภาพ 4 เทียบกับผลรวมของน้ำหนักเนื้อลำไยทั้งหมด พบว่า ได้ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 69.33 เปอร์เซ็นต์ และ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเมื่อดูที่การคว้านเมล็ดออกได้ ดังสมการ (3.4) โดยใช้ผลรวมระหว่างน้ำหนักเนื้อลำไยระดับคุณภาพ 2 3 และ 4 เทียบกับผลรวมสัดส่วนของน้ำหนักเนื้อลำไยทั้งหมด พบว่า ได้ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 75.05 เปอร์เซ็นต์

จากงานวิจัยการออกแบบ และพัฒนาเครื่องคว้านชนิดต่าง ๆ พบว่า เครื่องต้นแบบมีประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ อยู่ที่ 69.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่า เครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะ ของอนุสรา ติดตามรัมย์ (2561) ส่วนประสิทธิภาพที่สามารถคว้านเมล็ดได้ของเครื่องต้นแบบอยู่ที่ 75.05 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าเครื่องคว้านอื่น ๆ แต่ยังต่ำกว่าเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้มอเตอร์ (ปฏิวัติ โพธิ์ชุ่ม, 2542) และแรงงานคนคว้านซึ่งคว้านได้ 80 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการทำงานใน 1 ชั่วโมง ทำได้ที่ 19.02 กิโลกรัม ซึ่งสามารถคว้านได้ไวกว่าเครื่องคว้านชนิดอื่น ๆ แต่เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยการจำลองพฤติกรรมเชิงกลของผลลำไยเมื่อถูกแรงกดจากชุดหัวเจาะ (นิวัตร มูลปา, 2550) จะมีค่าสูงกว่า อยู่ที่ 23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องคว้านต่าง ๆ และการคว้านโดยคน

ชื่อเครื่อง	%Efficiency of prototype	%Efficiency of seed removing	Capacity (kg/h)
เครื่องคว้านเมล็ดลำไยด้วยระบบนิวแมติก (สินีนาฏ ตุลยธำรงกิจ, 2563)	69.33	75.05	19.02
เครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะ (อนุสรา ติดตามรัมย์, 2561)	64.65	-	14.05
เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยการจำลองพฤติกรรมเชิงกลของผลลำไยเมื่อถูกแรงกดจากชุดหัวเจาะ (นิวัตร มูลปา, 2550)	-	72	23
เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้มอเตอร์ (ปฏิวัติ โพธิ์ชุ่ม, 2542)	-	80	16.2
เครื่องคว้านเมล็ดลำไย (วิวัฒน์ คล่องพาณิช, 2543)	-	75	8.1

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องคว้านต่าง ๆ และการคว้านโดยคน (ต่อ)

ชื่อเครื่อง	%Efficiency of prototype	%Efficiency of seed removing	Capacity (kg/h)
เครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้ระบบนิวแมติก (โรจนพงษ์ โลหะวัชระ, 2544)	-	72	14.5
แรงงานคนชำนาญการ ที่มา: คมชัดลึก (2561).	-	100	12

4.5 ผลการวิเคราะห์ และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ตารางที่ 4.15 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไยด้วยระบบนิวแมติก

รายการวัสดุ	จำนวนเงิน
1. สแตนเลสกล่อง 2"x 1"	4,200
2. สแตนเลสกล่อง 1"x 1"	1,200
3. สแตนเลสกล่อง 4"x 2"	8,000
4. แผ่นสแตนเลสหนา 4.5 มม.	7,200
5. แผ่นสแตนเลสหนา 4 มม.	5,500
6. สแตนเลสกลวง ขนาด 0.5"	3,000
7. ชุดรางเลื่อนอะลูมิเนียมโปรไฟล์แบบ V-Slot	1,200
8. ซุปเปอร์ลีนกลม 2"	1,000
9. ลูกล้อ 1 ชุด	1,000
10. ตลับลูกปืน Line Bearing	1,500
11. เพลาตันสแตนเลส แบบเกลียว 1"	200
12. ค่าแรงงานและประกอบเครื่อง	5,000
13. PLC ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX3S-30MT/DSS	6,500
14. กระบอกสูบนิวแมติกพร้อมสวิตซ์	9,700
15. วาล์วควบคุมการไหล	2,200
16. วาล์วควบคุมทิศทางลม 5/2	13,000
17. ข้อต่อทองแดงและสายไฟ	500
18. ปั๊มลม Masaki ขนาด 30 ลิตร	2,600
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่อง	73,500

สำนักวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.5.1 การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่อง คำนวณได้จากต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการคว้านเมล็ดลำไยต่อกิโลกรัมสามารถหาได้ ดังนี้

กำหนดให้ ราคาเครื่องคว้านเมล็ดลำไย มีราคา 73,500 บาท (ตารางที่ 4.15)

มูลค่าซากเครื่องมือเมื่อสิ้นสุดปีที่ 10 คงเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ ของราคาเครื่อง

อัตราดอกเบี้ยต่อปี = 3 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี (ณ 11 เมษายน 2564 จากธนาคารแห่งประเทศไทย)

ดังนั้น ราคาซากเครื่อง $= \left(\frac{10}{100}\right) \times 73,500 = 7,350$ บาท

ค่าเสื่อมราคา $= \left(\frac{73,500-7,350}{10}\right) = 6,615$ บาทต่อปี

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน $= \left(\frac{73,500+7,350}{2}\right) \times \left(\frac{3}{100}\right) = 1,212.75$ บาทต่อปี

รวมต้นทุนคงที่ต่อปี $= 7,350+1,212.75=8,562.75$ บาทต่อปี

ต้นทุนแปรผัน (Variable cost)

ค่าบำรุงรักษา (Maintenance) คิดร้อยละ 6 ของราคาเครื่อง

ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.25 บาท สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.43 หน่วยต่อชั่วโมง ใน 1 ปีทำงาน 203 วัน

อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 325 บาท ทำงาน 1 คน

ดังนั้น ต้นทุนแปรผัน = ค่าจ้างแรงงาน + ค่าไฟฟ้า + ค่าบำรุงรักษา

ค่าจ้างแรงงาน $= 1 \times 203 \times 325 = 65,975$ บาทต่อปี

ค่าไฟฟ้า $= 0.43 \times 3.25 \times 8 \times 203 = 2,269.54$ บาทต่อปี

ค่าบำรุงรักษา $= \left(\frac{6}{100}\right) \times 73,500 = 4,410$ บาทต่อปี

รวมต้นทุนแปรผัน $= 65,975 + 2,269.54 + 4,410 = 72,654.54$ บาทต่อปี

ดังนั้น

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนแปรผัน

$= 8,562.75 + 72,654.54$ บาท

$= 81,217.29 \approx 81,217$ บาทต่อปี

4.5.2 จุดคุ้มทุนของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย

กำหนดให้ค่าจ้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไยเท่ากับ 5 บาทต่อกิโลกรัม (นิรนาม, 2542) ใน 1 ปีเครื่องทำงาน 203 วัน วันละ 8 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 19.02 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังนั้น เครื่องสามารถทำงานได้

$$203 \times 8 \times 19.02 = 30,888.48 \text{ กิโลกรัมต่อปี}$$

ดังนั้น จุดคุ้มทุนของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย $= \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ราคาขายต่อหน่วย} - \text{ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย}}$

จะได้ จุดคุ้มทุนของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย $= \frac{8,562.75}{[5-(81,217/30,888.48)]} = 3,612$ กิโลกรัมต่อปี

หรือ จุดคุ้มทุนของเครื่องคว้านเมล็ดลำไย $\approx$ 3.61 ตันต่อปี

4.5.3 ระยะเวลาคืนทุน

จากรายได้ค่ารับจ้างใช้เครื่องคว้านเมล็ดลำไย เท่ากับ 5 บาทต่อกิโลกรัม ใน 1 ปี เครื่องทำงาน 203 วัน วันละ 8 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 19.02 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นเครื่องสามารถทำงานได้ 30,888.48 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น จึงมีรายได้ 5 x 30,888.48 = 154,442.4 บาทต่อปี เพราะฉะนั้นการคำนวณระยะคืนทุนจะได้

กำไร = 154,442.4 – 81,217 บาทต่อปี

กำไร = 73,225.4 บาทต่อปี

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง / กำไร

= 73,500 / 73,225.4

= 1.004 ปี $\approx$ 12 เดือน

จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่า การสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไย ราคาทั้งหมด 73,500 บาท และรับจ้างคว้านเมล็ดลำไยที่ราคา 5 บาทต่อกิโลกรัม พบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3.61 ตันต่อปี และระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 12 เดือน

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้ระบบนิวแมติก เริ่มจากทำการศึกษาพฤติกรรมของลำไยจากสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของลำไยพันธุ์อีดอ เพื่อนำข้อมูล หรือค่าที่ได้นำไปใช้ในการออกแบบเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้ระบบนิวแมติก ซึ่งเครื่องต้นแบบมีกลไกดังนี้ กลไกการคว้านเมล็ดลำไย กลไกการป้อนลำไย กลไกการนำผลออกจากเบ้ารองลำไย กลไกการกระทุ้งเมล็ด ซึ่งใช้ลมอัดเป็นระบบต้นกำลัง และใช้กระบอกสูบนิวแมติกในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ ควบคุมโดยใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ จากนั้น ทำการทดสอบเพื่อประเมินหาสมรรถนะของเครื่องต้นแบบโดยการทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคว้านเมล็ดลำไย โดยทดสอบหารูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสม ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้าน และกลไกการป้อนลำไย และความดันลมของต้นกำลังที่เหมาะสม เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมจึงทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องโดยแยกขนาดที่ 1 และ 2 จำนวนขนาดละ 10 กิโลกรัม เพื่อวิเคราะห์หาอัตราการทำงาน ประสิทธิภาพ ความเสียหายของลำไย และการใช้พลังงานของเครื่อง พร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และอัตราการทำงาน ของเครื่องคว้านเมล็ดอื่น ๆ ด้วย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

5.1.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของลำไย

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลลำไย ได้ทำการศึกษาลำไยพันธุ์อีดอ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบ และพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยด้วยระบบนิวแมติก โดยลำไยแบ่งออกเป็น 6 ขนาดตามมาตรฐานมกอช. พบว่า ค่าขนาดมิติทั้ง 3 แกน ของผลลำไย และเมล็ดลำไย รวมถึงน้ำหนักของผลลำไย เมล็ด เนื้อ และเปลือกลำไย มีความสัมพันธ์กับขนาดของลำไยโดยค่าเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามากของเมล็ดเท่ากับ 14.29 มิลลิเมตร ซึ่งใช้ออกแบบขนาดของหัวคว้าน ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามากของผลก่อนปอกเปลือกเท่ากับ 28.91 มิลลิเมตร ซึ่งใช้ออกแบบขนาดของเบ้ารอง ส่วนความหนาของเนื้อ และเปลือกลำไยมีผลต่อแรงที่ใช้ในการคว้านทำให้เกิดการฉีกขาด ความถ่วงจำเพาะ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.97±0.15 และค่ามุมกลิ้งสามารถกลิ้งได้ดีในทุกสภาพพื้นผิวทั้ง 4 ประเภทได้แก่ แผ่นไม้ เหล็กกล้าไร้สนิม กัลวาไนซ์ และแผ่นเหล็ก และปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยเท่ากับ 469.80±22.07%db. มีมากกว่า ปริมาณความชื้นที่เปลือก

เท่ากับ 138.80±11.71%db. และปริมาณความชื้นที่เมล็ดเท่ากับ 75.69± 16.05%db. พบว่าค่าเหล่านี้ไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดของลำไย

การศึกษาสมบัติทางกลของผลลำไย โดยการศึกษาแรงกด และแรงเฉือน ที่ใช้สำหรับแยกเปลือก และเมล็ดออก ด้วยเครื่อง Texture Analyzer ซึ่งใช้แรงกดสูงสุดเท่ากับ 125.64 นิวตัน และแรงเฉือนในการตัดสูงสุดเท่ากับ 164.15 นิวตัน

5.1.2 การพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยด้วยระบบนิวแมติก

การพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยด้วยระบบนิวแมติก ใช้กระบอกสูบนิวแมติกเป็นอุปกรณ์ทำงาน ซึ่งถูกควบคุมด้วยโปรแกรม PLC โดยเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานบนซอฟต์แวร์ GX Works2 ปรับให้เข้ากับสภาวะและพฤติกรรมของลำไยในขณะเคลื่อนที่ มีส่วนประกอบของเครื่อง 4 กลไก ดังนี้ กลไกสำหรับการคว้านเมล็ด กลไกสำหรับการป้อนลำไย กลไกการนำผลออก และกลไกการกระทุ้งเมล็ด หัวคว้านเป็นแบบปากตรง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวคว้านลำไยเป็น 14 มิลลิเมตร กลไกการป้อนลำไยโดยเบ้ารองลำไยทำจากซุปเปอร์ลีน และมีแผ่นสแตนเลสหนีบรองรับผลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 28 มิลลิเมตร กลไกการนำผลออกเป็นแผ่นสแตนเลสหนีบรองรับผลพร้อมติดสลักเพื่อดันลำไยออกจากเบ้ารองลำไย โดยลับคมที่แผ่นสแตนเลสหนีบเพื่อให้ตัดเปลือกขาดได้ และกลไกการกระทุ้งเมล็ดสำหรับดันเมล็ดออกจากหัวคว้าน

5.1.3 การทดสอบเครื่องคว้านเมล็ดลำไยด้วยระบบนิวแมติก

การทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคว้านเมล็ดลำไย พบว่าที่ความดันลมที่เหมาะสมสำหรับการคว้านเท่ากับ 6 บาร์ ความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการป้อนลำไยเท่ากับ 0.46 เมตรต่อวินาที และความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านเท่ากับ 0.17 เมตรต่อวินาที การทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะ พบว่า เครื่องต้นแบบมีอัตราการทำงานเท่ากับ 19.02 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำงานได้เท่ากับ 69.33 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายของลำไยเท่ากับ 15.86 เปอร์เซ็นต์ และการใช้พลังงานของเครื่อง เท่ากับ 43.48 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ

5.1.4 การวิเคราะห์ และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การออกแบบ และสร้างเครื่องคว้านเมล็ดลำไยด้วยระบบนิวแมติก ราคาทั้งหมด 73,500 บาท และรับจ้างคว้านเมล็ดลำไยที่ราคา 5 บาทต่อกิโลกรัม พบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3.61 ตันต่อปี และระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 12 เดือน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 พัฒนากลไกการป้อนใหม่ต่อไปได้ เพื่อให้เป็นการทำงานแบบระบบอัตโนมัติ โดยไม่ต้องใช้แรงงานคนป้อน โดยให้มีกลไกการแยกขนาดของผล และเตรียมผลต่อเนื่องไปที่กลไกการป้อนเพื่อเตรียมสู่การคว้าน แต่เนื่องจากลำไยเป็นผลไม้ที่มีการกลิ้งได้ง่าย จึงยากที่จะให้ลูกลำไยคว้านได้อย่างตรงขั้ว

5.2.2 พัฒนาต่อได้โดยการใส่กล่องคอปเปอร์ครอบไม่ให้น้ำลำไยกระเด็นเลอะ หรือบังคับทิศทางให้ออกมาสู่กล่องคอปเปอร์นี้ได้

5.2.3 พัฒนาเพิ่มกลไกการนำเปลือกออกจากผลโดยการดันผลออกจากเปลือกโดยใช้รางหมุน หรือวิธีการปั่นเหวี่ยงในน้ำ สามารถทำให้เปลือกหลุดจากผลได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2546). ลำไยผง. สืบค้นจาก. http://library.dip.go.th/multim/ edoc/ 08766.doc, สืบค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2562

กระวี ตรีอำนรรค, สถาพร แตงลี่, วรุฒ เนตรสว่าง และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. (2557). การทดสอบและประเมินผลเครื่องคว้านเมล็ดลำไยกึ่งอัตโนมัติ. ว. วิทย์. กษ. 45 : 3/1 (พิเศษ) : 317-320 (2557).

กัลยา ปาลี 2562). เมนู “วุ้นลำไยอัญมณี”. สืบค้นจาก https://www.woonkanlaya.com/content/, สืบค้นเมื่อ 24 กรกฎาคม 2564.

เกศกาญจน์ บุญเพ็ญ. (2561, 21 สิงหาคม). ตุ๊ดตู่คู่ใจ คว้านเมล็ดลำไย วท.ลำพูนตอบโจทย์ชุมชน. คมชัดลึก, หน้า 11.

เกรียงไกร ธารพรศรี. (2558). เครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบสองหัวคว้าน.วารสารแก้วปัญญา, 2(1), 18-19.

เจษฎา รักษ์ถาวรวงศ์ และนิศากร พิชัยทอง. (2558). การพัฒนากลไกปอกเปลือกเงาะแบบกลไก 5 ลิงค์. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.

ชนินันท์ พฤกษ์ประมูล, นัฏฐิกา เจริญตะคุ และสิวะโชติ ศรีสุทธิยากร. (2563). ประสิทธิภาพของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน สเปียร์แมน และเคนดอลล์เมื่อข้อมูลแจกแจงแบบไม่ปกติ OJED, Vol. 15, No. 2, 2020. Article ID: OJED-15-02-040 วารสารอิเล็กทรอนิกส์ทางการศึกษา นิสิตมหาบัณฑิตสาขาวิชาสถิติและสารสนเทศการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษาคณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยา.

ชุติมา อัศวเสถียร. (2551). การผลิตลำไยสอดไส้เนื้อมะม่วงในน้ำเชื่อม และลำไยในน้ำส้มบรรจุกระป๋อง สำหรับสถาบันเกษตร. กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 10 หน้า.

ณัฐพล แนวจำปา, จักรกฤษณ์ โปณะทอง และจารุวรรณ สกุลดู. (2559). การวิเคราะห์องค์ประกอบเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์. Veridian E-Journal Silpakorn University, 9(3)/1676-1691.

ธีระพงศ์ หมวดศรี. (2561). วิธีการใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส(Texture Analyzer). สืบค้นจาก http://agro-industry.rmutsv.ac.th/agro/from/Machine-Noom/9, สืบค้นเมื่อ 23 เมษายน 2564.

ธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต, ไพฑูลย์ สกุลแพทย์, ธันวา แสงเจริญโรจน์, ฉันทพัฒน์ บุญลาด, กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. (2559). เครื่องปอกเปลือกและคว้านเมล็ดเงาะกึ่งอัตโนมัติ. ว.วิทย์.กษ. 47:3 (พิเศษ) : 405-408 (2559).

ธีรศักดิ์ โกเมฆ, สนอง อมฤกษ์ และชัยวัฒน์ เผ่าสันทัดพาณิชย์. (2559). วิจัยและพัฒนาเครื่องมือคว้านเมล็ดลิ้นจี่. รายงานโครงการวิจัย กรมวิชาการเกษตร.

นิดดา หงส์วิวัฒน์ และทวีทอง หงส์วิวัฒน์. (2550). ผลไม้ 11 ชนิด: คุณค่าอาหารและการกิน. กทม. แสงแดด. หน้า 203 – 205.

นิรนาม. (2531). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลำไยในภาชนะบรรจุ มอก. 68-2531. กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ. 18 หน้า.

นิรนาม. (2542). ลำไย และอุตสาหกรรมลำไยอบแห้ง, สืบค้นจาก https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2542/econ0542td_ch3.pdf, สืบค้นเมื่อ 24 กรกฎาคม 2564.

นิรานาม. (2554). อัตราส่วนกำลังอัดเครื่องยนต์. สืบค้นจาก http://www.techniccar.com/engine-compression-ratio/, สืบค้น 23 มิถุนายน 2564.

บริษัท นิวม่า ซิสเต็มส์ จำกัด. (2554). Pneumatic TYPE. สืบค้นจาก http://www.pneuma.co.th, สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2564.

บัวเรียม มณีวรรณ์, ทองเลียน บัวจูม, เผ่าพงษ์ ปูระณะพงษ์ และ โยธิน นันตา.(2554). การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การย่อยได้ของโภชนะ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของเมล็ดลำไย และเนื้อในเมล็ดลำไยในไก่พื้นเมือง.การประชุมวิชาการนเรศวรวิจัยครั้งที่ 7, 29 – 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2554.

ปิยะพงษ์ ยืนยงกุล และภัทรวัฒน์ นามวงศ์พรหม. (2555). การพัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลำไยโดยใช้สายพานลำเลียง. ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่.

พรสวรรค์ นักดนตรี. (2557). การใช้โปรแกรมสถิติวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น มหาวิทยาลัยแม่โจ้. สืบค้นจาก https://it.mju.ac.th/goverment/20111119104835_MJU_itc/ Doc_25570417101909_119440.pdf, สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2564.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนวภัทรา หนูนาค. (2555). Pressure type / ชนิดของความดัน., สืบค้นจาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4314/ pressure-type, สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2564.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). ความชื้น. สืบค้นจาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0830/ moisture-content/, สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2564.

ภาสกิจ วัณณาวิบูล. (2555). รู้เลือกรู้ใช้ 100 ยาจีน., ทองเกษม., กทม.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์, เทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และบริษัท พรีม่าเอเชีย เทคโนโลยี จำกัด. (2553). ใช้แสง"อินฟราเรด"อบแห้งลำไย ย่นเวลาเท่าตัว-คุณภาพเต็มร้อย. สืบค้นจาก http://www.ndoae.doae.go.th/article2010/longan/longan2010.html, สืบค้นเมื่อ 13 มิถุนายน 2562.

ยงไทยโลหะภัณฑ์. (2556). พลาสติกวิศวกรรม. สืบค้นจาก https://www.yongthaimetal.com/, สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2564.

โรจนพงษ์ โลหะวัชระ และวิชิระ แซ่กัง. (2544). การใช้ระบบนิวเมติกส์สำหรับเครื่องคว้านเมล็ดลำไย. ปริญญานิพนธ์ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิวัฒน์ คล่องพานิช และคณะ (2543). เครื่องคัดขนาด และคว้านเมล็ดลำไย. ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศุภศิษฎ์ สุนทรกิจพาณิชย์, สุดสายสิน แก้วเรือง และศุภกิตต์ สายสุนทร. (2558). สมบัติทางกายภาพบางประการของเงาะที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องคว้านเม็ดเงาะ. ว.วิทย์.กษ.46:3/1 (พิเศษ) : 501-504 (2558).

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2549). การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture Analysis. สืบค้นจาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0524/texture-analysis, สืบค้นเมื่อ 25 มกราคม 2561.

เศรษฐมันต์ กาญจนกุล. (2555). ลำไยเครือในผลไม้ในเมืองไทย. กทม. เศรษฐศิลป์. หน้า 94-95

เศรษฐมันต์ กาญจนกุล. (2555). ลำไยขาวในผลไม้ในเมืองไทย. กทม. เศรษฐศิลป์. หน้า 104 – 105.

สำนักส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยี (สส.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). 8 วิธีแปรรูปลำไย สร้างมูลค่าเพิ่ม. สืบค้นจาก http://www.ttc.most.go.th/journal/food/lamyai.htm, สืบค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2562.

อนุสรา ติดตารัมย์, กระวี ตรีอำนรรค, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนาอุบล. (2561). การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของผลเงาะ. การประชุมวิชาการสมาคมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 16. โรงแรมแซนด์ ดูนส์ เจ้าหลาว บีช รีสอร์ท จังหวัดจันทบุรี. วันที่ 12-13 กรกฎาคม พ.ศ. 2561. หน้า 97-100.

อนุสรา ติดตารัมย์, กระวี ตรีอำนรรค, และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. (2561). เครื่องปอกเปลือก และคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20. โรงแรมฮาร์ดร็อค พัทยา จังหวัดชลบุรี. วันที่ 14-15 มีนาคม 2562. จำนวน 7 หน้า.

อารี ใจเพชร, สายชล เกษุตา, วิจิตร วังใน และฉลองชัย แบบประเสริฐ. (2530). การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของผลมะม่วงมัน. ว.เกษตรศาสตร์(วิทย.) 21:249-254.

AOAC, Official Method of Analysis of AOAC International. (1995). Virginia: Association of Official Analytical Chemists.

Bolboacă, S. D., & Jäntschi, L. (2006). Pearson versus Spearman, Kendall's Tau correlation analysis on structure-activity relationships of biologic active compounds. Leonardo Journal of Sciences, 9, 179-200.

Chok, N. S., (2010). Pearson's versus Spearman's and Kendall's correlation coefficients for continuous data [Unpublished master's thesis]. University of Pittsburgh.

Donaus Thailand. (2013). *DONAUS D2.1*. Retrieved from. https://www.youtube.com/watch?v=mQebyFGPBuw, Accessed on 20 June 2021.

Factomart company. (2021). Emergency Switch. Retrieved from https://my.factomart.com/products/push-button-pilot-lamp-industrial-control-station-equipment/emergency-switch, Accessed on 2 June 2021.

Factomart Private Limited. (2019). Principle of pneumatics control. Retrieved from. https://www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-pneumatics-control/, Accessed on 2 June 2019.

Hauke, J., & Kossowski, T. (2011). Compare of value of Pearson's and Spearman's correlation coefficient on the same sets of data. Quaestiones Geographicae, 30(2), 1-2.

Jarimopas B. (2002). Physical properties of agricultural products 1: theory. Department of agricultural engineering. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, 150p. (In Thai)

Jiang, Y., Zhang Z., Joyce, D. C., &Ketsa, S. (2002). Postharvest biology and handling of longan fruit (Dimocarpus longan Lour.). Postharvest Biology and Technology 26: 241–252.

Kansaard N., Khruakaew A., Seasong P., &Sa-adchom P. (2018). Effect of hot air velocity on preservedtomatoes drying using combined conveyor system and hot air. RMUTP. Research Jounal., Vol 12, No.1, January-June.

Katatheponsri. (2019). Pneumatic device. Retrieved from https://www.factorymartonline.com., Accessed on 24 June 2021.

Krawee. T., Siwalak, P., Anupun, T., Chanida, B., &Teerawat, T. (2010). Design of machine to size java apple fruit with minimal damage. Biosystems Engineering 107 (2010) 140-148.

Misumi Thailand Technical Center. (2021). Misumitechnical, what is Relay. Retrieved from https://misumitechnical.com/technical/electrical/relay-working-principles/, Accessed on 12 July 2021.

Mohsenin, Nuri N., (1986). Physical properties of plant and animal materials. 2ndGorgen and Breach,Science Publishers: reviced 891pp.

Office of Agricultural Extension and Development. (2010). Varieties of longan. Retrieved from http://www.ndoae.doae.go.th/article2010/longan/longan_intro.html, Accessed on 6 December 2018.

Office of Agricultural Economics. (2018). The production schedule of longan in Thailand from 2015 to 2017. Retrieved from http://aginfo.oae.go.th, Accessed on 6 December 2018.

Service group exporting agricultural products. (2016). Data export fresh fruit (list type) to go. abroad. In 2016 (only the phytosanitary certificate). Retrieved from http://www.doa.go.th., Accessed on 20 September 2018.

Subramanyam, H., S. Gouri, &S. Krishnamurthy. (1976). Ripening Behavior of mango fruits graded on specific gravity basis. J. Food Sci. Technol. 13:84-86.

Thai Education Jobs. (2021). Pressure. Retrieved from https://www.thaiedujobs.com/ lessons/ elementary/science/content/22, Accessed on 22 June 2021.

Thai Convertor. (2021). *DC-STEP DOWN*. Retrieved from https://www.thaiconverter.com/category/ 2/dc-step-down, Accessed on 12 July 2564.

The National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2003).: Longans. Thai Agricultural Commodity and Food Standard TACFS 1-2003, 6p. (In Thai).

Wilhelm, L. R., Suter, D. A., Brusewitz, G. H. 2005. Physical Properties of Food Materials. Chapter 2 in Food & Process Engineering Technology, 23-52. St. Joseph, Michigan: ASAE. © American Society of Agricultural Engineers.

Zonemakerthai**.,** (2021). V-Slot aluminium profile. Retrieved from https://www.zonemaker.com/ article/ 1-v-slot-aluminium-profile. /, Accessed on 12 July 2021.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ และการทดสอบเครื่องต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 1

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
1	28.02	24.57	24.95	29.41	24.14	24.09	15.02	12.34	14.37
2	28.65	25.49	26.81	25.99	21.08	19.91	13.01	12.84	11.44
3	29.07	26.46	28.57	24.42	22.31	21.29	13.99	12.12	13.2
4	30.29	26.79	27.44	25.05	22.41	21.73	15.22	12.02	13.93
5	28.64	26.24	25.38	24.22	20.93	19.35	14.93	12.02	13.77
6	29.31	25.57	27.07	25.4	21.1	20.3	13.74	11.56	12.68
7	29.25	27.34	27.52	26.11	22.24	21.37	14.77	12.45	13.46
8	29.25	26.43	25.83	25.89	19.18	20.35	13.85	10.98	12.71
9	28.51	24.93	24.9	24.78	20.27	18.73	14.22	10.92	12.96
10	28.08	27.15	25.69	21.31	18.03	20.14	14.77	11.46	14.57
11	28.7	24.99	25.57	23.49	22.65	19.44	13.68	11.03	13.23
12	28.82	25.27	25.19	23.79	22.65	19.51	12.56	9.17	11.7
13	28.98	26.8	26.16	26	21.35	19.96	13.48	11.98	11.45
14	29.99	27.5	26.39	25.05	21.27	18.84	14.75	12.45	14.73
15	28.47	25.49	26.15	24.88	20.83	19.44	15.03	11.59	14.19
16	28.8	27.51	25.94	23.65	18.1	19.03	14.48	10.99	13.77
17	30.44	26.9	26.94	24.77	21.34	20.68	13.8	12.56	13.6
18	28.13	25.2	24.69	24.8	21.88	19.61	14.33	12.27	13.37
19	28.51	25.27	25.18	23.99	23.18	21.23	15.03	11.75	13.72
20	28.53	26.36	25.25	26.36	22.59	20.07	13.2	9.63	12.51
21	28.05	25.02	25.23	23.96	19.65	19.17	14.54	11.92	13.44
22	29.54	27.03	26.33	23.56	20.78	19.79	14.38	11.69	13.08
23	28.37	26.77	25.98	26.77	22.17	20.09	13.92	11.44	13.27
24	28.23	25.02	24.42	24.94	22.08	19.13	14.68	11.7	13.78
25	28.56	25.56	25.5	27.04	22.11	21.63	14.58	11.4	14.16

ตารางผนวกที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 1 (ต่อ)

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
26	28.71	25.3	24.64	24.98	19.84	20.97	14.88	12.99	14.22
27	28.31	25.84	25.75	22.32	21.84	20.88	13.31	10.44	12.49
28	29.18	26.35	25.61	28.92	23.38	23.51	15.87	11.62	14.4
29	29.45	25.65	25.08	23.97	21.64	20.85	14.63	11.13	12.85
30	28.15	25.45	26.25	25.36	19.8	18.15	14.73	12.2	14.53
31	28.38	24.49	25.3	24.65	20.34	21.37	16.34	11.26	14.95
32	28.57	24.48	24.72	26.35	19.57	18.85	14.09	12.7	13.59
33	28.3	25.27	26.34	25.47	20.89	19.14	15.84	11.78	13.97
34	28.29	26.19	26.56	24.07	19.55	19.39	14.96	12.03	13.65
35	28.29	25.92	26.79	22.64	20.56	20.7	13.69	12.08	13.08
36	29.56	25.74	24.82	26.4	21.38	21.76	14.85	11.44	14.24
37	28.79	26.58	27.15	22.37	20.54	20.75	14.75	11.62	13.83
38	29.55	26.25	26.59	24.75	19.96	20.26	14.05	11.5	13.44
39	29.37	24.97	25.3	26.29	22.52	20.33	6.54	6.01	9.2
40	28.01	24.83	26.25	26.02	20.34	19.39	14.14	11.45	13.35
41	28.13	24.47	25.14	22.71	19.3	20.35	14.73	11.87	14.21
42	31.18	27.33	28.09	25.94	22.15	21.83	15.61	12.13	13.78
43	28.94	25.01	26.58	25.54	19.58	18.75	14.14	10.79	12.45
44	31.79	27.46	28.91	27.7	21.49	19.41	14.33	10.8	14.92
45	30.2	25.09	24.51	24.56	18.52	20.17	13.7	11.7	12.8
46	29.27	25.02	26.21	25.8	19.76	21.58	14.18	12.4	16.05
47	28.18	24.41	23.47	24.19	20.49	20.45	14.35	10.93	13.58
48	28.23	26.01	24.32	26.06	20.29	20.32	14.68	11.54	13.72
49	29.05	24.88	24.27	24.59	19.61	21.5	15.06	11.41	13.34
50	28.58	25.48	24.85	26.96	21.05	20.57	14.94	11.85	13.43

ตารางผนวกที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 2

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
1	27.91	24.73	23.94	24.82	21	20.04	13.65	10.81	13.41
2	27.39	25.62	25.19	23.49	20.22	18.6	14.18	11	12.37
3	27.65	24.48	24.65	24.36	18.8	19.01	14.37	11.41	13.87
4	27.86	25.3	25.6	23.72	19.28	18.17	14.64	11.25	13.04
5	27.44	25.3	24.28	22.35	20.67	17.18	14.61	11.43	13.72
6	27.72	25.13	25.1	21.47	19.19	18.36	13.97	10.52	12.4
7	27.31	25.35	26.18	23.67	18.32	18.69	14.84	13.01	13.55
8	27.37	24.42	24.49	23.84	18.58	18.63	12.74	9.92	12.21
9	27.01	25.11	24.77	21.95	20.35	19.11	13.84	11.56	14.53
10	27.56	24.98	25.33	23.22	20.12	20.97	14.01	11.93	13.4
11	27.64	25.32	24.53	21.93	20.77	16.58	14.43	11.21	13.4
12	27.53	25.02	24.21	22.19	18.99	20.26	14.91	11.35	13.88
13	27.6	25	25.89	20.91	16.8	19.79	14.51	11.71	14.19
14	27.39	25.17	24.23	24.15	18.87	17.91	13.93	12.19	13.7
15	27.25	24.86	23.45	22.25	17.91	18.6	13.35	10.87	11.43
16	27.34	24.6	24.65	23.74	18.72	17.64	13.92	11.3	12.89
17	27.08	24.83	25.38	18.75	17.85	18.37	13.97	11.45	13.1
18	27.75	24.85	24.33	22.66	16.73	18.33	13.77	10.95	12.44
19	27.39	25.54	23.8	21.96	29.66	18.92	14.06	10.97	12.89
20	27.31	24.68	25.94	22.81	17.41	18.72	13.7	10.99	12.71
21	27.8	24.42	24.02	22.18	18.51	18.35	13.48	9.98	12.39
22	27.56	25.19	24.46	23.81	18.67	20.28	14.83	11.24	13.29
23	27.59	26.21	24.87	21.12	18.26	18.6	13.8	11.56	13.33
24	27.53	24.57	24.66	22.65	18.56	18.44	12.54	11.01	12.52
25	27.85	24.79	22.95	22.57	19.2	18.62	14.69	12.18	15.1

ตารางผนวกที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 2 (ต่อ)

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
26	27.3	24.28	25.13	23.93	21.73	19.52	14.73	12.57	13.84
27	27.76	24.18	24.84	23.79	20.41	18.66	14.45	11.52	12.88
28	27.26	24.12	23.81	21.72	18.35	17.57	14.17	10.89	13.13
29	27.96	24.54	24.5	23.65	20.28	19.67	13.9	11.34	13.8
30	27.07	24.58	24.05	23.42	20.84	19.16	14.15	11.57	12.78
31	27.01	25.02	24.59	23.84	19.51	16.81	14.12	11.41	13.08
32	27.01	24.04	24.45	23.19	20.13	19.7	13.77	11.58	13.09
33	27.03	23.99	23.99	23.09	20.66	20.2	13.97	11.75	13.25
34	27.14	23.88	23.93	24.15	21.14	19.55	13.47	11.79	13
35	27.07	24.37	24.77	24.29	20.78	17.01	14.72	11.19	12.81
36	27.13	23.7	23.75	24.45	20.26	19.6	13.31	10.6	12.3
37	27.36	23.92	24.33	23.06	18.92	17.15	14.58	11.13	13.64
38	27.63	24.65	23.94	25.43	22.5	21.4	15.17	11.87	14.11
39	27.56	26.25	24.07	24.68	21.32	21.12	13.72	11.56	13.34
40	27.96	24.61	24.39	22.53	19.23	17.88	13.47	10.96	13.66
41	27.5	25.29	24.51	22.94	21.6	20.52	14.45	11.55	13.75
42	27.81	24.27	23.39	22.28	18.93	17.79	14.68	11.58	13.33
43	27.29	23.28	23.8	23.01	22.49	21.89	14.08	12.57	14.05
44	27.65	24.15	24.26	22.51	19.57	18.94	13.79	10.64	12.26
45	27.98	24.72	24.69	25.5	19.46	18.66	13.25	10.54	11.92
46	27.19	24.7	24.81	24.05	19.71	19.77	14.7	11.49	14.48
47	27.91	24.6	24.97	24.79	20.59	20.32	13.52	10.09	11.96
48	27.15	24.11	24.1	24.38	18.79	19.44	14.14	11.1	11.93
49	27.55	23.91	24.43	23.56	19.78	18.45	9.62	8.37	9.08
50	27.88	25.03	24.03	24.05	20.24	19.86	12.89	11.32	14.13

ตารางผนวกที่ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 3

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
1	26.34	23.27	23.29	24.66	20.19	20.26	13.69	10.56	12.71
2	26.35	24.37	24.28	21.91	21.12	18.57	14.12	11.86	13.49
3	26.4	23.95	24.33	23.93	18.21	19.06	14.31	10.38	12.41
4	26.75	24.32	25.52	22.9	18.57	17.86	13.86	12.58	13.23
5	26.77	25.44	24.03	22.53	18.8	18.55	13.91	13.05	12.31
6	26.25	24.1	24.08	23.6	19.8	17.41	13.79	11.1	12.2
7	26.66	25.45	24.51	23.07	19.97	17.88	13.46	11.38	14.67
8	26.74	25.81	25.41	21.53	19.78	18.97	13.62	11.81	12.48
9	26.57	24.21	24.34	19.91	18.89	18.8	14.02	10.79	12.83
10	26.83	23.97	25.06	24.29	19.86	17.89	13.75	11.17	12.76
11	26.2	24.3	24.29	21.27	18.72	12.33	13.33	12.57	12.17
12	26.96	24.8	23.77	23.33	19.02	19.51	14.26	11	13.04
13	26.1	24.44	23.69	22.71	20.76	19.3	13.59	10.7	12.41
14	26.62	24.19	24.35	21.52	18.02	18.53	13.13	13.05	12.2
15	26.1	25.01	24.04	22.29	19.63	18.04	13.87	10.7	12.59
16	26.5	23.71	24.68	20.44	16.62	15.85	12.3	8.97	11.8
17	26.97	24.6	22.86	21.69	18.52	17.31	12.96	12.03	12.39
18	26.02	24.11	24.49	23.1	19.43	18.03	13.38	11.02	12.56
19	26.63	24.81	23.96	21.4	18.57	17.93	14.72	11.52	12.73
20	26.89	24.64	24.74	21.85	18.26	18.37	11.73	8.76	9.74
21	26.75	24.76	25.31	23.25	19.92	18.85	13.77	10.97	11.53
22	26.37	24.94	24.69	19.5	18.08	19.42	13.83	10.98	11.7
23	26.86	24.39	24.63	24.32	18.62	17.73	13.57	10.3	12.41
24	26.63	24.81	24.38	22	19.86	19.78	12.52	10.24	11.09
25	26.52	25.17	23.66	23.42	18.78	18.33	14.04	11.02	12.07

ตารางผนวกที่ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 3 (ต่อ)

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
26	26.62	25.53	23.5	20.54	20.08	19.53	13.38	10.79	12.84
27	26.91	24.54	24.22	20.68	18.2	17.21	12.59	11.18	12.73
28	26.04	24.06	23.61	22.64	17.5	16.49	13.44	10.99	13
29	26.85	24.79	24.2	21.43	18.14	17.27	14.77	11.2	12.55
30	26.92	24.02	24.96	22.07	19.93	19.41	13.33	12.07	12.73
31	26.85	24.53	23.52	23.18	18.93	18.84	13.3	10.79	12.53
32	26.51	24.03	23.29	22.37	18.13	17.67	12.95	11.85	12.44
33	26.4	26.03	24.86	19.6	17.94	16.52	13.14	11.46	12.55
34	26.24	24.27	24.38	20.68	17.9	16.01	14.22	11.61	13.3
35	26.52	23.83	24.08	19.29	17.25	18.67	14.03	11.18	13.04
36	26.21	23.8	24.16	19.79	18.82	17.72	13.64	11.61	12.82
37	26.91	24.09	22.93	22.13	19.86	18.2	13.22	10.18	11.99
38	26.03	23.71	23.83	23.45	19.92	19.96	13.67	10.8	13.02
39	26.24	24.08	24.01	23.04	18.53	18.02	14.41	10.92	12.15
40	26.7	23.66	22.85	21.31	19.69	19.57	12.79	10.6	12.56
41	26.55	23.77	23.8	19.99	18.83	17.64	13.84	11.12	12.66
42	26.21	23.64	24.31	20.24	16.74	17.02	13.87	10.8	14.28
43	26.34	23.78	23.57	24.11	19.92	18.66	13.66	11.86	12.57
44	26.81	24.38	23.26	22.43	20.54	18.75	13.67	10.43	11.75
45	26.32	24.08	23.49	20.56	18.67	17.45	13.24	11.62	12.36
46	26.38	22.84	23.64	21.67	19.51	17.89	13.39	9.97	13.27
47	26.17	24.23	24.41	21.59	19.12	18.43	13.76	11.51	12.02
48	26.17	22.72	22.46	20.76	18.43	17.7	12.88	11.21	11.86
49	26.1	23.73	22.98	22.65	19.9	19.04	13.45	10.46	12.74
50	26.12	23.52	22.94	23.43	19.34	18.42	13.26	10.61	12.46

ตารางผนวกที่ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 4

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
1	25.8	23.11	23.52	21.02	18	17.56	13.22	11.19	12.12
2	25.27	24.19	23.81	19.9	16.82	18.16	12.88	12.02	12.45
3	25.04	23.07	23.82	18.88	15.71	16.8	12.42	10.98	11.56
4	25.37	23.9	23.2	19.9	17.53	16.46	13.52	10.92	12.88
5	25.66	23.66	22.43	19.34	15.93	17.23	13.73	10.7	12
6	25.35	24.08	23.45	19.27	15.3	14.38	12.72	11.45	12.65
7	25.45	23.45	23.67	20.48	16.56	16.62	13.92	11.97	13.09
8	25.34	24	23.33	20.41	16.91	17.51	12.05	9.15	11.38
9	25.09	23.54	24.28	19.58	15.48	16.32	12.79	10.61	11.83
10	25.27	23.1	22.59	18.45	17.31	17.57	13.29	10.53	12.78
11	25.61	23.41	23.55	20.4	16.79	15.95	14.39	10.49	13.11
12	25.85	24.97	23.89	20.11	16.06	16.57	12.41	11.16	11.49
13	25.36	23.1	23.56	21.86	18.66	17.12	13.32	11.08	12.48
14	25.46	23.7	23.45	19.93	17.22	16.64	14.02	10.83	12.47
15	25.34	23.39	22.94	20.38	16.89	16.86	13.21	10.11	13.53
16	25.38	24.38	23.66	21.28	16.38	16.09	13.23	10.41	11.66
17	25.34	23.22	24.08	18.22	15.38	17.89	12.03	9.69	11.17
18	25.97	24	24.06	19.78	16.73	16.14	12.95	10.24	11.43
19	25.84	24.06	23.55	21.24	18.29	17.48	12.3	10.15	11.1
20	25.67	22.3	22.72	17.92	16.2	17.07	12.78	10.61	11.94
21	25.64	23.91	23.29	19.68	17.39	16.89	13.17	9.71	11.64
22	25.98	23.83	24.41	18.34	16.25	16.93	12.44	10.67	12.13
23	25.18	23.92	23.48	19.1	16.2	16.73	12.55	9.84	11.27
24	25.92	22.89	23.01	19.35	16.52	16.2	13.34	10.37	12.9
25	25.23	24.3	23.83	18.77	17.04	16.85	12.81	10.46	11.66

ตารางผนวกที่ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 4 (ต่อ)

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
26	25.57	24.04	22.9	18.92	16.11	17.22	12.31	10.67	11.52
27	25.49	23.35	23.27	20.34	17.56	18.32	12.76	10.4	11.98
28	25.49	24.12	23.72	19.51	16.74	16.31	12.89	10.27	11.24
29	25.18	22.89	23.52	21.01	16.95	17.22	12.07	10.01	12.51
30	25.15	23.58	23.31	19.11	16.87	16.66	11.55	9.77	10.29
31	25.18	23.43	23.73	19.76	16.91	16.44	12.38	11.08	11.88
32	25.64	23.46	23.4	19.14	16.29	17.21	12.47	10.14	11.85
33	25.75	23.43	23.76	20.01	16.52	16.95	13.59	10.75	13.16
34	25.27	22.85	23.43	21.35	18.69	17.79	12.14	9.18	10.43
35	25.2	22.81	22.69	20.24	17.56	16.69	13.47	9.55	12.54
36	25.9	23.29	23.82	22.36	20.75	19.9	12.62	9.84	11.79
37	25.39	23.75	23.95	21.93	18.36	19.27	12.18	9.88	11.37
38	25.88	23.95	23.36	20.29	18.15	17.88	12.18	9.77	11.9
39	25.41	23.72	22.91	19.69	16.87	16.57	12.85	9.7	11.88
40	25.73	23.24	23.18	21.53	18.32	18.19	13.6	10.47	12.08
41	25.55	23.9	24	20.34	16.86	17.4	12.76	10.31	11.73
42	25.81	23.89	23.76	19.3	17.98	17.31	13.22	9.98	10.83
43	25.62	23.06	23.36	20.58	17.52	16.73	13.37	10.06	11.9
44	25.54	23.89	23.69	21.68	19.22	18.54	12.76	11.03	12.14
45	25.28	23.93	24.2	21.89	18.21	17.1	11.66	10.41	12.38
46	25.11	23.23	24.18	18.45	17.14	16.87	13.09	10.11	11.69
47	25.1	22.78	23.23	20.43	18.65	17.03	12.77	9.49	11.34
48	25.68	24.21	24	21.36	19.32	18.78	12.73	10.38	12.2
49	25.49	23.88	24.17	21.54	17.98	17.67	12.69	9.8	12.05
50	25.45	23.92	23.8	22.79	20.51	19.99	13.07	11	11.77

ตารางผนวกที่ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 5

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
1	24.39	22.9	22.79	22.33	16.54	16.95	13.77	10.47	13.19
2	24.84	23.6	22.63	20.91	17.34	15.21	13.41	10.3	12.03
3	24.42	22.68	21.1	19.477	15.76	15.5	11.19	8.3	9.77
4	24.56	23.37	22.58	19.42	16.46	15.69	13.79	10.93	12.91
5	24.38	23.82	22.54	17.5	15.64	15.4	12.44	8.91	11.8
6	24.57	22.92	22.3	18.76	15.85	15.78	12.97	10.28	11.74
7	24.73	23.73	23.82	20.14	16.15	16.62	12.28	10.09	11.27
8	24.45	22.6	23	19.27	16	16.46	12.28	9.67	11.28
9	24.24	23.07	23.76	20.21	16.9	16.97	12.81	9.93	12.58
10	24.16	22.42	22.1	17.62	14.58	16.74	13.42	10.79	12.22
11	24.99	22.99	22.9	18.05	15.46	17.84	13.32	10.5	12.61
12	24.48	21.99	22.95	18.92	15.45	16.46	13.52	11.94	12.19
13	24.96	23.77	23.27	19.11	16.53	17.23	12.44	9.98	11.88
14	24.53	22.62	22.77	16.04	14.94	14.17	12.88	10.53	11.94
15	24.58	23.7	23.57	17.5	13.82	14.47	11.83	9.72	11.19
16	24.89	22.45	22.38	18.31	16.12	16.15	13.6	10.27	12.83
17	24.49	22.3	24.14	17.38	16.44	16.21	12.07	10.12	11.39
18	24.13	22.71	22.7	18.05	16.23	16.81	12.85	9.73	11.56
19	24.97	23.13	23.09	16.41	15.99	16.49	12.12	10.27	11.55
20	24.46	22.73	22.88	16.87	15.94	16.01	13.64	9.88	12.68
21	24.71	22.45	22.12	17.79	16.18	16.24	12.46	10.14	11.36
22	24.19	22.75	22.25	18.01	14.88	16.63	12.12	9.78	11.06
23	24.58	23.18	23.26	17.8	15.1	17.09	12.58	9.66	11.49
24	24.23	23.93	22.94	17.5	14.74	16.38	12.77	9.1	11.09
25	24.03	21.95	22.28	18.23	14.88	16.71	11.88	10.89	11.15

ตารางผนวกที่ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 5 (ต่อ)

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
26	24.2	21.59	22	18.13	14.56	16.6	9.88	9.18	9.84
27	24.61	22.28	22.34	17.92	15.12	15.94	11.74	10.84	11.55
28	24.76	22.77	23.25	18.08	16.11	16.48	12.5	10.15	11.57
29	24.67	22.57	22.94	17.76	16.51	16.47	11.59	8.97	10.74
30	24.84	22.59	21.82	19.34	16.66	16.47	13.57	11.05	12.19
31	24.78	23.17	22.78	18.37	17.66	17.07	12.12	9.21	11.8
32	24.13	21.59	22.36	18.54	16.54	16.11	12.37	9.63	11.01
33	24.91	23.14	23.1	18.71	15.44	14.5	11.83	10.53	10.94
34	24.44	21.91	22.5	18.85	16.6	14.93	11.87	9.24	10.69
35	24.8	22.5	21.72	19.46	14.73	16.44	12.09	11.1	11.8
36	24.27	22.07	23.19	18.22	14.93	16.45	12.85	10.78	12.09
37	24.12	22.41	22.55	19.33	16.73	14.73	12.88	10.28	13.01
38	24.9	21.9	22.63	18.57	16.15	16.8	12.57	10.37	11.67
39	24.02	22.07	22.55	17.65	15.34	15.9	12.55	10.28	11.68
40	24.76	22.23	23.24	18.47	16.9	15.12	12.12	11.05	11.21
41	24.78	22.42	22.27	18.66	15.45	14.87	12.12	9.77	11.89
42	24.57	23.06	23.26	19.34	16.19	15.24	12.51	10.12	11.47
43	24.3	22.64	23.05	18.12	17.32	16.29	12.48	9.84	11.6
44	24.1	22.75	21.74	19.44	16.28	15.12	12.67	10.06	11.29
45	24.97	22.52	23.52	17.52	15.97	15.11	13.29	10.81	12.6
46	24.45	23.44	21.87	20.23	17.51	17.32	12.29	11.34	10.74
47	24.5	23.16	22	18.98	16.23	15.07	11.99	9.39	11.69
48	24.92	22.73	22.91	17.85	15.72	15.74	13.25	10.68	13.17
49	24.42	22.41	22.27	19.63	16.27	16.13	12.84	11.02	11.27
50	24.23	22.88	22.56	17.44	16.23	16.91	12.93	10.71	12.05

ตารางผนวกที่ 6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 6

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
1	23.7	21.81	22.3	18.47	16.67	14.96	12.92	10.34	12.75
2	23.36	21.81	21.64	18.76	14.98	14.9	12.63	11.14	11.75
3	23.88	21.31	21.84	16.94	13.1	14.11	12.39	10.85	12.43
4	22.74	21.01	19.78	18.5	15.63	16.01	10.7	8.9	11.47
5	22.86	21.54	20.5	16.83	16.39	16.59	12.97	11.6	13.08
6	23.29	22.04	22.58	17.94	13.57	15.92	12.28	9.86	11.67
7	23.7	21.47	21.3	16.58	14.37	15.51	12.79	10.43	11.6
8	22.59	20.2	19.73	15.88	12.44	10.79	13.11	9.62	12.51
9	23.38	22.31	22.29	15.82	14.85	14.68	11.4	9.1	10.22
10	23.47	22.83	22.52	15.25	14.29	16.46	10.59	7.03	10.08
11	23.8	21.71	23	17.35	13.21	15.24	13.35	11.33	12.02
12	23.22	21.61	22.47	17.19	13.32	12.8	12.71	10.48	12.17
13	23.05	20.83	21.19	18.31	14.17	15.45	11.75	9.13	10.55
14	22.94	20.77	21.03	17.04	14.42	14.41	9.65	7.62	9.93
15	23.1	21.9	21.16	16.06	12.81	14.4	11.5	9.35	10.5
16	22.65	20.13	19.77	16.41	14.21	14.51	10.84	9.74	11.06
17	23.85	21.94	21.6	14.04	13.5	14.79	12.43	9.73	12.4
18	22.98	21.57	22.44	18.85	14.22	13.22	12.98	9.78	11.75
19	22.91	21	20.03	15.3	13.23	15.08	13.52	11.74	13.21
20	23.23	20.94	22.16	17.28	15.11	16.34	11.65	9.61	11.27
21	23.31	21.51	21.98	16.49	14.57	16.09	13.1	9.91	11.28
22	22.46	20.93	21.01	16.97	14.08	13.2	12.13	9.7	11.19
23	22.08	19.99	20.25	15.56	12.8	15.27	10.42	8.62	9.99
24	23.18	21.18	21.45	16.58	13.65	14.19	12.55	10.04	11.53
25	23.87	22.75	21.7	16.65	12.53	14.62	12.95	10.39	11.64

ตารางผนวกที่ 6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือก และเมล็ดของลำไย ขนาด 6 (ต่อ)

No	Dimension with peel (mm)			Dimension without peel (mm)			Dimension of seed (mm)		
	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height	D_{max}	D_{min}	Height
26	23.98	22.07	21.8	17.62	13.31	16.01	12.3	9.69	12.04
27	22.7	20.75	21.47	16.95	13.36	14.22	13.1	10.24	11.64
28	22.29	20.25	20.66	16.52	13.49	16.28	10.04	8.11	9.74
29	22.49	20.01	20.55	19	16.45	16.91	12.76	10.72	12.13
30	22.73	20.23	20.71	18.59	16.2	16.04	13.66	10.51	11.99
31	22.84	22.09	20.61	16.18	13.62	14.06	8.03	7.11	5.53
32	23.46	20.14	21.78	16.35	16.06	16.2	12.52	10.34	11.7
33	23.39	20.58	20.9	16.92	13.99	14.66	12	9.79	10.74
34	23.81	21.57	21.1	18.32	17.61	16.61	12.07	9.6	10.99
35	23.32	21.87	22.26	17.75	16.15	16.02	11.61	9.16	10.45
36	23.3	21.3	20.9	17.98	15.17	16.06	10.64	8.62	9.61
37	23.98	22.62	21.71	17.91	13.58	14.91	11.81	9.04	11.1
38	23.18	21.17	21.89	15.14	13.9	14.13	11.75	10.11	10.68
39	22.29	20.68	21.26	16.75	14.57	12.25	12.12	9.33	10.65
40	22.08	20.07	19.95	17.7	14.44	14.32	12.54	9.69	11.53
41	22.78	21.26	21.9	16.53	14.56	14.98	10.71	8.58	11.89
42	22.6	20.54	19.69	17.43	14.87	14.41	11.06	10.34	10.31
43	23.25	21.82	22.21	18.41	16.1	16.32	12.2	10.06	11.45
44	23.52	22.84	21.94	18.11	17.45	16.92	11.39	8.88	9.63
45	22.92	21.59	22.14	17.54	15.49	15.97	12.62	10.01	11.39
46	23.38	22.58	21.96	16.33	14.32	13.76	9.58	7.59	9.32
47	23.16	22.46	21.77	17.52	15.51	14.98	11.82	9.33	11.02
48	23.56	20.1	19.86	18.12	17.31	16.61	11.55	9.23	10.6
49	22.51	21.29	21.21	16.92	14.48	14.82	8.86	7.39	8.4
50	22.44	20.32	20.14	16.79	13.11	14.42	7.83	7.25	6.49

ตารางผนวกที่ 7 ความหนาของเนื้อของลำไยทั้ง 6 ขนาด

No	ความหนาของเนื้อ (mm)					
	Size1	Size2	Size3	Size4	Size5	Size6
1	2.5	2.83	3.92	3.9	2.58	1.57
2	2.08	3.14	2.67	3.4	2.24	1.43
3	2.91	2.66	3.29	3.57	1.44	2.42
4	2.45	2.79	2.86	3.69	4.36	2.54
5	2.76	2.16	2.8	4.28	2.86	2.34
6	2.3	2.87	2.89	4.88	1.66	1.89
7	2.56	2.62	2.61	3.18	2.15	2.65
8	3.28	2.48	2.9	3.51	2.68	2.45
9	3.84	2.38	2.72	3.3	2.82	2.16
10	3.43	2.46	2.54	3.66	4.17	3.03
11	2.68	3.8	3.18	3.41	2.56	2.9
12	2.98	2.18	2.83	3.38	1.77	3.83
13	2.68	2.24	2.16	3.06	1.1	2.85
14	3.41	3.15	2.58	2.9	3.54	2.14
15	2.32	3.61	3.21	1.93	3.53	1.47
16	3.27	2.59	3.42	2.31	2.89	1.18
17	2.65	2	3.29	3.17	2.25	1.27
18	2.96	3.3	3.46	3.56	2.23	1.1
19	3.27	3.05	2.21	3.73	2.46	1.64
20	2.78	2.2	2.37	3.83	2.64	2.6
21	3.02	3.12	2.25	3.97	2.31	1.75
22	3.18	3.09	2.44	3.32	1.91	1.42
23	3.05	2.95	2.73	2.42	3.08	1.61
24	3.33	2.44	3.43	4.42	2.65	1.88
25	2.72	2.99	2.1	3.89	3.76	1.68

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 7 ความหนาของเนื้อของลำไยทั้ง 6 ขนาด (ต่อ)

No	ความหนาของเนื้อ (mm)					
	Size1	**Size2**	**Size3**	**Size4**	**Size5**	**Size6**
26	2.42	3.01	2.31	3.69	3.41	1.97
27	2.24	3.61	3.27	3.13	2.94	1.86
28	3.77	3.35	3.66	3.18	3.33	1.25
29	3.17	3.49	3.13	2.9	2.08	1.07
30	4.33	2.92	3.39	2.9	1.95	1.18
31	2.47	3.01	3.51	3.24	3.54	2.31
32	2.59	3.56	3.99	4.2	2.35	1.21
33	2.06	3.25	2.34	3.92	3.01	0.54
34	3.66	2.5	3.61	2.85	2.62	2.74
35	3.23	2.16	3.54	2.03	1.64	1.89
36	2.61	3.17	3.27	2.15	3.05	1.91
37	3.13	1.83	2.37	2.97	3.03	0.85
38	3.01	3.56	2.27	3.54	2.21	3.75
39	2.1	1.47	3.33	4.27	3.42	2.27
40	1.77	3.08	3.79	2.56	1.56	1.17
41	3.71	3.28	2.79	2.34	2.24	0.68
42	3.48	2.52	3.6	3.75	2.78	1.72
43	4.9	2.86	3.89	3.02	2.11	2.99
44	4.51	3.57	3.33	4.43	3.46	3.21
45	4.32	2.91	4	3.05	3.82	2.24
46	3.94	2.76	3.3	4.07	1.87	2.35
47	5.55	3.31	3.21	5.11	1.28	1.87
48	2.77	3.84	3.27	3.77	3.12	1.98
49	2.83	4.5	3.02	2.46	2.75	2.56
50	2.79	2.03	2.56	2.98	2.22	3.12

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 8 ความหนาของเปลือกของลำไยทั้ง 6 ขนาด

No	ความหนาของเปลือก (mm)					
	Size1	**Size2**	**Size3**	**Size4**	**Size5**	**Size6**
1	1.4	0.86	1.01	0.88	0.62	0.75
2	0.52	0.69	1.45	0.98	0.91	0.81
3	0.42	0.69	0.75	1.01	0.68	0.94
4	1.09	0.6	0.97	0.79	0.76	1.1
5	0.6	0.73	0.72	0.92	0.78	0.89
6	0.9	0.73	0.93	1.17	1.06	0.88
7	0.74	0.5	0.86	0.88	0.91	0.75
8	1.49	0.6	1.13	0.89	1.01	0.79
9	0.83	0.6	0.9	0.7	0.74	0.98
10	0.6	0.61	0.88	0.94	1.01	0.93
11	0.52	0.77	0.89	1.09	0.87	0.78
12	0.88	0.63	0.84	0.91	1.02	0.69
13	0.7	0.61	1.07	1.17	0.91	0.83
14	0.75	0.88	1.02	0.98	0.95	1.07
15	0.95	0.57	1.11	0.81	0.8	0.81
16	0.63	0.61	0.95	0.84	0.81	0.95
17	0.79	1.19	1.01	0.96	0.81	0.91
18	0.65	0.68	0.65	0.81	0.84	0.66
19	0.73	0.67	0.9	0.77	0.76	1.07
20	0.68	0.57	0.88	0.66	0.79	0.74
21	0.58	0.89	1.02	1.12	0.72	1.02
22	0.45	0.72	1	0.77	0.9	0.79
23	0.79	0.69	0.92	0.87	0.76	0.75
24	0.73	0.58	0.92	0.99	0.96	0.56
25	0.76	0.93	0.97	0.78	0.63	0.86

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 8 ความหนาของเปลือกของลำไยทั้ง 6 ขนาด (ต่อ)

No	ความหนาของเปลือก (mm)					
	Size1	Size2	Size3	Size4	Size5	Size6
26	0.58	0.74	1.24	0.82	0.86	0.78
27	1.05	0.63	0.94	0.84	0.89	1.01
28	0.56	0.82	1.11	0.82	0.7	0.64
29	0.73	0.85	1.23	0.96	1	0.81
30	0.65	1.17	0.87	0.66	0.85	0.59
31	0.71	0.81	0.37	0.91	0.7	0.82
32	0.72	0.72	0.91	1	0.55	0.95
33	0.61	1.1	0.9	0.73	0.76	0.83
34	0.9	1.12	0.7	1.2	0.54	0.94
35	0.75	0.98	0.88	1.4	0.86	0.82
36	0.55	0.78	1.05	0.65	0.85	1.09
37	0.85	0.99	0.81	0.99	0.91	0.67
38	0.66	0.74	1.03	0.82	0.72	0.71
39	0.94	0.75	1.11	1.09	0.75	0.66
40	0.83	0.91	1.05	0.97	0.85	0.87
41	0.67	0.77	0.83	0.86	0.66	0.97
42	0.59	0.84	0.91	0.95	0.75	1.2
43	0.94	1.05	0.94	0.85	0.71	0.82
44	0.7	0.89	0.82	0.83	0.61	0.65
45	0.75	0.87	0.98	0.68	0.97	0.77
46	0.67	1.16	1.57	0.73	0.63	0.93
47	0.81	0.87	1.12	1.07	0.86	0.81
48	0.76	0.72	0.89	0.73	0.86	0.63
49	0.74	1	0.94	0.95	0.76	0.72
50	0.7	0.82	1.03	0.97	0.67	0.84

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 9 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 1

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
1	13.42	4.92	1.5	1.2403
2	12.79	7.74	1.57	1.6212
3	10.44	5.75	1.77	1.4504
4	13.4	6.8	1.39	1.1195
5	11.87	6.63	1.27	1.5331
6	10.22	9.41	1.62	1.4968
7	11.43	5.21	1.8	2.0153
8	10.41	4.94	1.5	1.3476
9	11.85	5.59	1.39	2.1399
10	11.37	6.95	1.51	1.474
11	10.04	4.84	0.82	2.3967
12	10.51	5.98	1.56	1.6401
13	11.24	6.77	1.95	2.0339
14	11.33	7.13	1.61	1.6489
15	10.22	6.68	1.53	1.1221
16	10.35	6.18	1.33	2.2044
17	11.59	7.09	1.53	1.4711
18	12.17	3.34	1.42	1.5418
19	11.79	4.55	1.12	1.5347
20	14.78	6.24	1.39	1.4186
21	11.61	5.3	1.53	1.7256
22	10.5	5.7	1.71	1.6431
23	11.64	5.67	1.14	1.7737
24	10.54	7.27	1.8	1.5957
25	10.76	6.07	1.69	1.6378

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 9 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 1 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
26	11.35	5.3	1.36	1.9833
27	9.83	6.61	1.88	2.1446
28	10.39	5.78	1.35	1.1362
29	12.37	8.35	1.65	1.1728
30	11.97	6.19	0.22	1.3913
31	10.64	3.67	1.64	1.4511
32	11.92	6.54	1.4	1.5961
33	10.93	5.42	1.78	1.3912
34	10.86	7.15	1.34	1.5538
35	12.47	6.35	1.43	1.944
36	10.78	6.13	1.76	1.1993
37	12.38	7.73	1.59	1.7518
38	11.23	6.38	1.44	1.5092
39	13.32	6.18	1.48	1.9175
40	10.81	6.67	1.63	1.5956
41	12.17	6.63	1.48	1.6914
42	11.82	7.21	1.64	1.5968
43	10.94	6.87	1.14	1.5064
44	10.44	5.45	1.76	1.5022
45	10.12	7.56	1.66	1.4372
46	12.38	7.1	1.5	1.3913
47	11.2	8.78	1.33	1.8877
48	11.7	8.98	1.72	1.7789
49	15.65	6.54	1.34	1.8719
50	12	6.54	1.36	1.322

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 10 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 2

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
1	8.94	4.53	1.51	1.3013
2	9.33	4.78	1.38	2.1762
3	10.25	6.01	1.71	1.2732
4	10.19	5.07	1.51	1.2282
5	11.74	5.86	1.16	1.3035
6	8.65	5.29	1.46	1.6313
7	11.2	5.58	1.18	1.4366
8	8.89	3.86	1.29	1.666
9	9.36	5.94	1.49	0.8893
10	10.26	4.3	1.36	1.4822
11	10.08	5.57	1.38	1.3202
12	10.3	5.54	1.1	1.0162
13	10.56	4.92	1.24	1.4351
14	9.35	4.14	1.45	1.582
15	9.52	5.59	1.38	1.2044
16	10.4	5.6	1.49	1.4762
17	10.33	5.29	1.59	1.7889
18	9.13	6.07	1.81	1.1799
19	9.58	5.91	1.3	1.4927
20	9.72	6.21	1.33	1.2413
21	9.38	5.25	1.32	1.3326
22	9.64	5.24	1.52	1.2338
23	9.89	5.01	1.26	1.5424
24	10.38	3.68	1.19	1.1539
25	9.8	5.25	1.06	1.2263

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 10 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 2 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
26	8.8	5.26	0.98	1.3731
27	9.86	6.13	0.31	1.7415
28	10.06	5.76	1.67	1.1738
29	8.86	4.51	1.77	1.5972
30	9.59	3.52	1.42	1.6797
31	9.11	4.33	1.51	1.2559
32	10.7	4.74	1.48	1.8655
33	9.94	5.44	1.2	1.2065
34	10.32	4.73	1.37	1.8659
35	10.69	5.65	1.51	1.2473
36	9.83	4.87	1.21	1.0212
37	10.58	5.63	1.59	1.6672
38	10.93	6.88	1.73	1.2444
39	9.73	5.25	1.51	1.5518
40	10.06	4.73	1.52	1.4698
41	10.01	4.77	1.63	1.5658
42	9.19	4.89	1.43	1.4132
43	9.78	4.78	1.55	1.0644
44	9.28	7.01	1.82	1.6197
45	10.33	4.18	1.43	1.9155
46	9.81	5.13	1.53	1.0431
47	9.57	5.72	1.54	1.6601
48	10.56	4.66	1.28	1.5695
49	9.84	5.97	1.36	1.5165
50	9.33	6.43	1.42	1.5678

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 11 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 3

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
1	9.89	4.23	1.35	1.28
2	9.35	4.54	0.96	1.22
3	10.03	5.21	1.4	1.27
4	8.96	5.04	1.34	1.35
5	9.24	4.64	1.33	1.36
6	9.59	4.81	1.38	1.14
7	9.7	5.01	1.25	1.18
8	8.41	4.44	1.43	1.19
9	9.25	3.7	1.24	1.32
10	9.03	4.42	1.55	1.17
11	9.29	2.67	1.25	1.29
12	8.88	4.87	1.3	1.24
13	9.08	5.46	1.36	1.23
14	9.16	5.03	1.27	1.34
15	9.1	4.92	1.26	1.21
16	9.14	3.65	1.24	1.3
17	8.85	6.01	1.47	1.32
18	9.87	4.14	1.32	1.33
19	9.96	6.28	1.38	1.14
20	9.24	4.55	1.22	1.4
21	9.23	4.11	1.51	1.41
22	9.07	5.25	0.94	0.85
23	8.68	4.21	1.29	1.13
24	9.17	5.91	1.32	1.17
25	9.45	4.75	1.37	1.16

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 11 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 3 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
26	9.37	4.53	1.27	1.38
27	9.05	4.31	1.44	1.37
28	9.57	3.83	1.28	1.19
29	9.02	4.72	0.63	1.27
30	8.96	5.57	1.13	1.53
31	9.6	4.85	1.18	1.05
32	8.82	5.25	1.4	1.21
33	8.82	4.5	1.38	1.12
34	8.85	5.32	1.26	1.34
35	9.21	3.05	1.34	0.89
36	9.46	4.13	1.29	1.17
37	9.69	3.88	1.52	1.28
38	10.43	4.24	1.37	1.17
39	8.41	2.65	1.34	1.27
40	9.31	4.72	1.38	1.21
41	9.17	4.52	1.37	1.19
42	9.04	4.18	1.45	1.2
43	8.18	5.54	1.54	1.49
44	8.44	3.98	1.3	1.23
45	9.98	2.1	1.31	1.28
46	8.08	2.97	1.53	1.05
47	9.86	3.57	1.42	1.15
48	9.84	4.21	1.27	1.38
49	8.56	3.17	1.42	1.22
50	9.29	4.8	1.53	0.91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 12 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 4

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
1	8.5	4.34	1.38	1.14
2	9.27	4.62	1.37	1.17
3	8.61	4.83	1.19	1.13
4	8.21	3.97	1.27	1.18
5	8.41	3.6	1.53	1.06
6	8.14	4.87	1.05	1.45
7	8.26	4.68	1.21	1.15
8	8.33	3.97	1.12	1.17
9	8	5.54	1.34	1.44
10	7.89	4.4	0.89	1.18
11	7.71	3.78	1.17	1.14
12	7.84	4.79	1.28	1.15
13	9.07	4.04	1.17	1.1
14	8.33	3.99	1.27	1.42
15	8.4	4.77	1.21	1.54
16	8.44	4.76	1.19	1.23
17	8.01	5.08	1.2	1.44
18	8.09	3.77	1.49	1.18
19	7.98	4.99	1.23	1.24
20	8.37	4.43	1.28	1.2
21	8.83	3.65	1.05	0.63
22	7.95	3.05	1.15	1.14
23	8.79	4.59	1.38	1.08
24	8.48	4.58	1.22	0.97
25	8.04	3.92	0.91	1.21

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 12 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 4 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
26	8.54	4.13	1.28	1.14
27	8.17	3.07	1.22	1.24
28	8.5	5.05	1.27	1.23
29	8.48	3.79	1.35	1.01
30	7.84	4.37	1.36	1.39
31	8.24	3.12	1.14	1.26
32	7.65	3.39	1.18	1.45
33	8.6	4.19	1.19	1.06
34	8.84	3.66	1.32	1.34
35	7.62	4.23	1.17	1.14
36	8.75	3.32	1.29	1.1
37	9.25	4.17	1.24	1.03
38	8.54	4.39	1.23	0.98
39	8.83	5.01	1.34	0.87
40	8.43	4.76	1.21	0.64
41	8.6	4.03	1.3	0.33
42	7.96	4.28	1.32	0.95
43	8.44	3.74	1.33	1.24
44	8.58	4.62	1.14	1.46
45	8.42	3.66	1.4	1.25
46	7.85	3.94	1.41	1.31
47	8.17	3.29	0.85	1.37
48	7.93	5	1.13	1.13
49	9.32	4.65	1.17	0.98
50	8.45	3.96	1.16	1.14

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 13 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 5

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
1	7.34	3.21	1.14	0.44
2	7.26	3.07	1.17	0.55
3	7.27	3.44	1.13	1.23
4	6.94	3.3	1.18	1.19
5	7.74	3.47	1.06	1.09
6	7.14	3.63	1.45	1.27
7	7.27	3.91	1.15	1.23
8	7.31	3.37	1.17	1.38
9	7.05	2.05	1.44	1.05
10	7.79	3.08	1.18	1.29
11	7.15	3.97	1.14	0.58
12	7.12	3.47	1.15	1.29
13	7.06	3.8	1.1	0.92
14	7.3	2.77	1.42	1
15	7.14	3.34	1.54	1.17
16	8.09	4.49	1.23	1.14
17	7.59	3.17	1.44	0.51
18	7.65	3.62	1.18	1.18
19	7.37	3.03	1.24	1.15
20	7.29	3.21	1.2	1.09
21	7.29	3.64	0.63	0.75
22	7.42	4.22	1.14	1.1
23	7.88	3.29	1.08	0.75
24	7.33	2.69	0.97	1.33
25	8.09	3.72	1.21	1.13

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 13 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 5 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
26	7.28	3.04	1.14	0.96
27	6.47	2.94	1.24	1.18
28	7.58	2.91	1.23	1.01
29	7.88	2.91	1.01	0.98
30	7.04	3.9	1.39	0.6
31	7.75	3.64	1.26	0.78
32	7.32	3.86	1.45	0.75
33	6.89	3.32	1.06	0.73
34	8.02	2.37	1.34	1.15
35	7.32	4.49	1.14	1.25
36	7.54	3.38	1.1	0.92
37	7.51	3.55	1.03	1.62
38	7.75	3.48	0.98	1.04
39	7.87	2.87	0.87	1.07
40	7.77	3.84	0.64	0.22
41	6.65	4.02	0.33	0.86
42	7.94	3.5	0.95	1.07
43	6.8	3.89	1.24	0.31
44	7.21	4.38	1.46	1.36
45	7.01	3.95	1.25	0.97
46	7.64	4.21	1.31	1.42
47	7.36	3.54	1.37	1.12
48	7.17	4.8	1.13	0.9
49	6.67	3.34	0.98	0.99
50	7.47	2.96	1.14	0.94

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 14 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 6

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
1	5.66	2.85	0.96	0.3
2	6.60	2.21	1.18	0.41
3	5.07	3.06	1.01	1.09
4	6.61	2.09	0.98	1.05
5	5.76	2.32	0.6	0.95
6	6.61	2.83	0.78	1.13
7	6.16	3.08	0.75	1.09
8	5.44	3.96	0.73	1.24
9	5.56	1.85	1.15	0.91
10	5.83	2.61	1.25	1.15
11	5.98	2.3	0.92	0.44
12	6.60	3.34	1.62	1.15
13	5.77	2.35	1.04	0.78
14	6.83	1.99	1.07	0.86
15	7.14	2.32	0.22	1.03
16	6.23	3.71	0.86	1
17	6.44	2.32	1.07	0.37
18	5.49	3.38	0.31	1.04
19	5.50	2.7	1.36	1.01
20	6.93	3.22	0.97	0.95
21	5.05	2.15	1.42	0.61
22	5.60	1.95	1.12	0.96
23	5.83	2.1	0.9	0.61
24	6.76	2.63	0.99	1.19
25	5.68	2.81	0.94	0.99

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 14 น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อ เมล็ด เปลือก ของลำไยขนาด 6 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	with peel	flesh	seed	longan peel
26	6.59	2.56	0.44	0.84
27	6.77	2.31	0.55	1.06
28	6.60	2.31	1.23	0.89
29	6.07	3.36	1.19	0.86
30	6.70	2.53	1.09	0.48
31	6.44	1.91	1.27	0.66
32	6.47	2.62	1.23	0.63
33	6.04	2	1.38	0.61
34	6.13	1.94	1.05	1.03
35	6.40	3.16	1.29	1.13
36	5.99	2.43	0.58	0.8
37	5.20	2.24	1.29	1.5
38	7.09	3.07	0.92	0.92
39	5.72	2.61	1	0.95
40	6.52	2.84	1.17	0.1
41	6.40	2.42	1.14	0.74
42	7.04	3.37	0.51	0.95
43	6.77	2.12	1.18	0.19
44	6.40	2.51	1.15	1.24
45	7.16	2.98	1.09	0.85
46	6.56	2.35	0.75	1.3
47	6.44	2.54	1.1	1
48	6.41	3.12	0.75	0.78
49	5.38	1.98	1.33	0.87
50	6.27	2.43	1.13	0.82

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 15 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 1

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water}(g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$ (g)
1	13.42	617.74	631.22	13.48
2	12.79	616.01	629.4	13.39
3	10.44	616.5	627.87	11.37
4	13.4	615.3	629.3	14
5	11.87	616.71	628.67	11.96
6	10.22	615.56	626.35	10.79
7	11.43	615.7	626.76	11.06
8	10.41	615.68	626.33	10.65
9	11.85	617.2	627.18	9.98
10	11.37	616.13	627.41	11.28
11	10.04	614.26	625.82	11.56
12	10.51	614.38	625.83	11.45
13	11.24	612.7	626.45	13.75
14	11.33	614.22	625.56	11.34
15	10.22	615.14	625.06	9.92
16	10.35	613.25	623.07	9.82
17	11.59	613.64	625.66	12.02
18	12.17	615.48	627	11.52
19	11.79	612.91	625.12	12.21
20	14.78	613.06	627.52	14.46
21	11.61	612.84	624.91	12.07
22	10.5	612.85	623.2	10.35
23	11.64	612.89	623.54	10.65
24	10.54	612.26	622.72	10.46
25	10.76	612.85	622.6	9.75

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 15 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 1 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water} (g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$(g)
26	11.35	610.55	623.69	13.14
27	9.83	611.88	620.93	9.05
28	10.39	612.48	622.07	9.59
29	12.37	611.57	623.19	11.62
30	11.97	610.79	623.13	12.34
31	10.64	610.76	621.05	10.29
32	11.92	611.24	622.34	11.1
33	10.93	610.15	620.94	10.79
34	10.86	610.25	620.7	10.45
35	12.47	603.07	622.92	19.85
36	10.78	608.42	620.15	11.73
37	12.38	609.46	621.4	11.94
38	11.23	608.8	620.19	11.39
39	13.32	609.03	622.96	13.93
40	10.81	609.88	619.75	9.87
41	12.17	607.94	612.86	4.92
42	11.82	608.07	620.69	12.62
43	10.94	606.55	619.34	12.79
44	10.44	607.63	618.81	11.18
45	10.12	607.64	617.88	10.24
46	12.38	608.7	620.05	11.35
47	11.2	607.76	618.43	10.67
48	11.7	607.4	619.25	11.85
49	15.65	606.26	622.51	16.25
50	12	606.59	619.2	12.61

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 16 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 2

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water} (g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$ (g)
1	8.94	560.67	569.42	8.75
2	9.33	558.65	568.55	9.9
3	10.25	559.1	569.6	10.5
4	10.19	558.96	568.59	9.63
5	11.74	559.14	570.84	11.7
6	8.65	558.47	568.7	10.23
7	11.2	558.02	569.99	11.97
8	8.89	558.43	568.19	9.76
9	9.36	557.7	568.05	10.35
10	10.26	558.11	568.34	10.23
11	10.08	558.12	568.02	9.9
12	10.3	557.53	567.31	9.78
13	10.56	556.17	568.24	12.07
14	9.35	556.63	565.85	9.22
15	9.52	557.07	566.91	9.84
16	10.4	556.8	567.46	10.66
17	10.33	556.35	567.02	10.67
18	9.13	555.45	565.42	9.97
19	9.58	555.78	565.63	9.85
20	9.72	555.55	565.23	9.68
21	9.38	555.05	565.81	10.76
22	9.64	554.92	565.26	10.34
23	9.89	554.44	566.32	11.88
24	10.38	554.84	565.16	10.32
25	9.8	554.5	564.99	10.49

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 16 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 2 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water} (g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$(g)
26	8.8	553.88	563.1	9.22
27	9.86	553.58	564.44	10.86
28	10.06	553.64	564.75	11.11
29	8.86	553.81	562.56	8.75
30	9.59	553.29	563.45	10.16
31	9.11	553.47	563.03	9.56
32	10.7	552.68	564.34	11.66
33	9.94	552.54	563.04	10.5
34	10.32	553.45	563.12	9.67
35	10.69	552.29	563.19	10.9
36	9.83	552.11	562.4	10.29
37	10.58	551.85	562.32	10.47
38	10.93	551.9	563.44	11.54
39	9.73	550.83	561.93	11.1
40	10.06	551.28	562.42	11.14
41	10.01	551.09	561.62	10.53
42	9.19	550.56	560.66	10.1
43	9.78	550.03	560.95	10.92
44	9.28	550.04	559.97	9.93
45	10.33	550.52	560.99	10.47
46	9.81	549.59	559.88	10.29
47	9.57	549.43	559.46	10.03
48	10.56	549.5	559.69	10.19
49	9.84	548.45	559.2	10.75
50	9.33	548.69	558.93	10.24

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 17 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 3

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water} (g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$ (g)
1	9.89	548.49	558.2	9.71
2	9.35	548.95	558.32	9.37
3	10.03	547.48	558.95	11.47
4	8.96	547.74	557.44	9.7
5	9.24	547.9	557.6	9.7
6	9.59	547.14	556.5	9.36
7	9.7	546.77	557.5	10.73
8	8.41	547.59	555.62	8.03
9	9.25	547.11	556.7	9.59
10	9.03	546.94	555.39	8.45
11	9.29	546.24	555.8	9.56
12	8.88	545.1	554.66	9.56
13	9.08	545.43	555.11	9.68
14	9.16	544.96	555.11	10.15
15	9.1	545.3	554.5	9.2
16	9.14	544.57	554.43	9.86
17	8.85	544.87	553.35	8.48
18	9.87	544.55	555.18	10.63
19	9.96	543.92	555.19	11.27
20	9.24	543.67	553.81	10.14
21	9.23	543.84	553.1	9.26
22	9.07	543.36	552.95	9.59
23	8.68	543.35	552.4	9.05
24	9.17	543.32	551.98	8.66
25	9.45	542.97	552.54	9.57

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 17 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 3 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water} (g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$(g)
26	9.37	542.38	552.36	9.98
27	9.05	541.97	552.19	10.22
28	9.57	542.42	552.17	9.75
29	9.02	541.86	551.12	9.26
30	8.96	541.83	550.91	9.08
31	9.6	541.3	551.29	9.99
32	8.82	541.76	550.23	8.47
33	8.82	540.65	550.17	9.52
34	8.85	540.79	550.06	9.27
35	9.21	540.77	550.43	9.66
36	9.46	540.83	550.15	9.32
37	9.69	540.41	550.06	9.65
38	10.43	539.98	551.18	11.2
39	8.41	540.72	548.81	8.09
40	9.31	539.75	549.52	9.77
41	9.17	539.77	548.83	9.06
42	9.04	539.25	548.7	9.45
43	8.18	538.57	547.51	8.94
44	8.44	538.56	547.02	8.46
45	9.98	538.57	549	10.43
46	8.08	538.62	546.9	8.28
47	9.86	537.67	548.28	10.61
48	9.84	537.63	548.38	10.75
49	8.56	537.63	546.54	8.91
50	9.29	537.6	546.9	9.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 18 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 4

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water} (g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$ (g)
1	8.5	561.28	570.09	8.81
2	9.27	561.32	571.45	10.13
3	8.61	561.35	570.54	9.19
4	8.21	561.36	570.11	8.75
5	8.41	560.84	570.44	9.6
6	8.14	560.65	568.59	7.94
7	8.26	560.78	569.78	9
8	8.33	560.28	569.46	9.18
9	8	559.02	567.66	8.64
10	7.89	558.97	568.79	9.82
11	7.71	559.57	567.93	8.36
12	7.84	559.22	568.36	9.14
13	9.07	559.1	569.5	10.4
14	8.33	559.51	567.89	8.38
15	8.4	558.32	568.69	10.37
16	8.44	559.64	567.15	7.51
17	8.01	558.72	566.47	7.75
18	8.09	558.94	566.18	7.24
19	7.98	558.2	566.36	8.16
20	8.37	557.85	566.94	9.09
21	8.83	557.55	567.06	9.51
22	7.95	557.58	566.15	8.57
23	8.79	557.11	566.18	9.07
24	8.48	556.86	565.72	8.86
25	8.04	556.91	564.68	7.77

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 18 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 4 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water} (g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$(g)
26	8.54	556.4	564.79	8.39
27	8.17	556.04	565.22	9.18
28	8.5	556.09	565.01	8.92
29	8.48	555.86	564.37	8.51
30	7.84	555.57	563.84	8.27
31	8.24	554.99	563.38	8.39
32	7.65	554.9	563.45	8.55
33	8.6	554.8	563.99	9.19
34	8.84	554.64	563.95	9.31
35	7.62	554.62	561.09	6.47
36	8.75	553.82	563.32	9.5
37	9.25	553.44	563.53	10.09
38	8.54	553.39	561.95	8.56
39	8.83	553.45	562.98	9.53
40	8.43	553.51	562.51	9
41	8.6	552.99	561.37	8.38
42	7.96	552.66	561.22	8.56
43	8.44	553	560.46	7.46
44	8.58	552.22	560.79	8.57
45	8.42	552.38	560.01	7.63
46	7.85	551.36	559.7	8.34
47	8.17	551.69	560.56	8.87
48	7.93	552.11	560.2	8.09
49	9.32	552.28	561.16	8.88
50	8.45	551.13	559.83	8.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 19 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 5

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water} (g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$(g)
1	7.34	514.86	623.9	109.04
2	7.26	516.38	522.62	6.24
3	7.27	515.61	523.99	8.38
4	6.94	515.63	523.26	7.63
5	7.74	515.4	523.84	8.44
6	7.14	513.42	523.64	10.22
7	7.27	514.04	524.36	10.32
8	7.31	516.2	523.01	6.81
9	7.05	515.16	523.51	8.35
10	7.79	514.31	523.23	8.92
11	7.15	514.06	522.12	8.06
12	7.12	514.52	522.48	7.96
13	7.06	514.74	521.91	7.17
14	7.3	514.58	520.92	6.34
15	7.14	513.63	521.71	8.08
16	8.09	513.42	522.59	9.17
17	7.59	513.25	521.95	8.7
18	7.65	513.66	522.11	8.45
19	7.37	513.07	521.2	8.13
20	7.29	512.29	520.82	8.53
21	7.29	513	520.66	7.66
22	7.42	513.05	520.41	7.36
23	7.88	512.36	519.83	7.47
24	7.33	511.55	520.45	8.9
25	8.09	511.51	520.26	8.75

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 19 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 5 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water} (g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$(g)
26	7.28	511.95	520.76	8.81
27	6.47	511.73	519.5	7.77
28	7.58	512.44	520.23	7.79
29	7.88	511.98	520.46	8.48
30	7.04	512.25	519.6	7.35
31	7.75	510.68	519.83	9.15
32	7.32	510.94	518.83	7.89
33	6.89	510.68	518.09	7.41
34	8.02	510.6	518.33	7.73
35	7.32	509.99	518.74	8.75
36	7.54	509.7	517.98	8.28
37	7.51	509.51	517.96	8.45
38	7.75	509.06	517.34	8.28
39	7.87	508.94	518.04	9.1
40	7.77	508.87	517.34	8.47
41	6.65	509.1	515.6	6.5
42	7.94	508.61	517.17	8.56
43	6.8	508.49	515.87	7.38
44	7.21	508.05	516.48	8.43
45	7.01	507.79	515.82	8.03
46	7.64	507.2	516.33	9.13
47	7.36	507.47	515.61	8.14
48	7.17	506.75	514.87	8.12
49	6.67	507.02	514.12	7.1
50	7.47	506.57	514.89	8.32

ตารางผนวกที่ 20 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 6

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water} (g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$(g)
1	5.66	580.59	587.18	6.59
2	6.6	586.6	590.15	3.55
3	5.07	586.66	590.83	4.17
4	6.61	581.34	587.4	6.06
5	5.76	582.68	589.07	6.39
6	6.61	581.42	584.19	2.77
7	6.16	579.79	586.32	6.53
8	5.44	581.25	586.05	4.8
9	5.56	581.57	585.34	3.77
10	5.83	579.02	582.48	3.46
11	5.98	576.71	582.97	6.26
12	6.6	577.32	583.91	6.59
13	5.77	579.06	582.51	3.45
14	6.83	574.2	579.57	5.37
15	7.14	577.76	583.63	5.87
16	6.23	572.17	580.02	7.85
17	6.44	573.15	580.79	7.64
18	5.49	574.43	580.56	6.13
19	5.5	574.67	579.59	4.92
20	6.93	572.49	580.65	8.16
21	5.05	572.98	578.38	5.4
22	5.6	570.46	578.86	8.4
23	5.83	572.61	578.9	6.29
24	6.76	573.39	578.37	4.98
25	5.68	571.41	578.7	7.29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 20 ค่าความถ่วงจำเพาะของลำไยขนาดที่ 6 (ต่อ)

No	Weight (g)			
	W_{air} (g)	W_{water} (g)	$W_{water+fruit}$ (g)	$W_{displace.water}$(g)
26	6.59	571.61	578.69	7.08
27	6.77	572.53	579.63	7.1
28	6.6	572.23	579.46	7.23
29	6.07	570.47	577.72	7.25
30	6.7	571.69	578.66	6.97
31	6.44	572.73	578.21	5.48
32	6.47	571.04	578.86	7.82
33	6.04	572.39	577.17	4.78
34	6.13	570.74	578.2	7.46
35	6.4	570.58	578.35	7.77
36	5.99	570.64	578.55	7.91
37	5.2	570.97	575.56	4.59
38	7.09	569.36	576.83	7.47
39	5.72	568.08	576.07	7.99
40	6.52	568.13	575.93	7.8
41	6.4	568.64	575.85	7.21
42	7.04	567.41	575.81	8.4
43	6.77	569.8	576.34	6.54
44	6.4	568.01	575.85	7.84
45	7.16	568.03	576.48	8.45
46	6.56	568.25	575.99	7.74
47	6.44	568.25	575.37	7.12
48	6.41	567.68	575.8	8.12
49	5.38	566.86	573.95	7.09
50	6.27	567.54	574.39	6.85

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 21 ปริมาณความชื้นของ เนื้อ เปลือก และเมล็ดลำไย ทั้ง 6 ขนาด

Size	No	Flesh			Peel			Seed		
		M_W (g)	M_d (g)	$\%D_b$	M_W (g)	M_d (g)	$\% D_b$	M_W (g)	M_d (g)	$\% D_b$
1	1	6.57	1.17	461.54	1.33	0.55	141.82	1.46	0.9	62.22
	2	5.71	1.07	433.64	1.41	0.62	127.42	1.61	0.96	67.71
	3	8.81	1.61	447.21	1.42	0.49	189.80	1.3	0.81	60.49
	4	7.13	1.15	520	1.24	0.53	133.96	1.73	1.07	61.68
	5	6.31	1.14	453.51	1.29	0.53	143.40	1.28	0.76	68.42
2	1	4.69	0.83	465.06	0.94	0.42	123.81	1.27	0.73	73.97
	2	6.35	1.16	447.41	0.8	0.33	142.42	1.5	0.87	72.41
	3	5.05	0.89	467.42	1.06	0.5	112	1.33	0.8	66.25
	4	5.11	0.93	449.46	1.25	0.68	83.82	1.42	0.87	63.22
	5	5.37	0.74	625.68	1.24	0.57	117.54	1.46	0.89	64.04
3	1	4.59	0.85	440	1.15	0.57	101.75	1.49	0.92	61.96
	2	5.13	0.94	445.74	0.95	0.4	137.5	1.27	0.77	64.94
	3	4.83	0.89	442.70	1.06	0.44	140.91	1.27	0.76	67.11
	4	4.47	0.87	413.79	1.35	0.55	145.45	1.4	0.81	72.84
	5	3.93	0.68	477.94	0.91	0.36	152.78	1.3	0.79	64.56
4	1	4.54	0.76	497.37	1.13	0.41	175.61	1.27	0.79	60.76
	2	3.62	0.59	513.56	0.91	0.36	152.78	1.38	0.75	84
	3	4.27	0.76	461.84	1.04	0.41	153.66	1.13	0.68	66.18
	4	4.93	0.88	460.23	1.33	0.54	146.30	1.42	0.81	75.31
	5	4.65	0.78	496.15	1.19	0.51	133.33	1.22	0.7	74.29
5	1	4.05	1.15	252.17	0.82	0.35	134.29	1.4	0.81	72.84
	2	2.8	0.46	508.70	1.32	0.51	158.82	1.3	0.79	64.56
	3	4.04	0.74	445.95	0.77	0.3	156.67	0.94	0.36	161.11
	4	3.57	0.56	537.5	0.86	0.39	120.51	1.22	0.63	93.65
	5	4.28	0.77	455.84	0.73	0.29	151.72	0.84	0.32	162.5

ตารางผนวกที่ 21 ปริมาณความชื้นของ เนื้อ เปลือก และเมล็ดลำไย ทั้ง 6 ขนาด (ต่อ)

Size	No	Flesh			Peel			Seed		
		M_W (g)	M_d (g)	$\%D_b$	M_W (g)	M_d (g)	$\% D_b$	M_W (g)	M_d (g)	$\% D_b$
6	1	6.57	1.17	461.54	0.41	0.18	127.78	1.13	0.65	73.85
	2	5.71	1.07	433.64	0.92	0.37	148.65	1.03	0.59	74.58
	3	8.81	1.61	447.21	0.85	0.36	136.11	1.12	0.65	72.31
	4	7.13	1.15	520	0.69	0.28	146.43	1.04	0.6	73.33
	5	6.31	1.14	453.51	0.59	0.26	126.92	0.73	0.43	69.77

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 22 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 1 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลส สังกะสี และเหล็ก

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	4	3	3	7	7	3	7	7	11	10	10
2	3	4	7	13	12	13	4	7	5	11	10	9
3	3	7	7	7	12	10	7	6	5	10	8	7
4	4	6	4	12	10	10	10	7	5	7	7	8
5	3	4	3	7	7	6	4	4	7	12	9	11
6	6	7	6	9	6	5	5	6	8	9	8	10
7	5	6	5	6	9	6	4	6	11	7	7	10
8	3	3	5	4	5	6	6	9	10	11	11	13
9	4	3	6	11	8	9	8	7	11	8	8	7
10	4	4	4	9	7	8	8	8	10	11	9	9
11	3	3	3	8	7	9	9	10	13	9	7	8
12	3	3	2	8	5	4	8	11	11	10	9	13
13	6	6	5	7	14	7	8	9	10	7	7	10
14	7	5	7	11	10	7	7	9	7	8	8	9
15	5	4	5	7	9	4	10	10	7	13	15	10
16	9	8	7	9	6	10	6	7	8	8	8	9
17	6	4	4	10	9	9	8	9	8	10	5	9
18	6	5	5	4	6	7	8	7	8	11	9	9
19	6	4	5	6	4	5	8	9	8	8	8	7
20	5	4	11	8	11	6	10	12	14	10	9	6
21	3	10	4	11	9	11	7	7	9	5	5	4
22	3	3	4	4	4	5	8	7	10	5	6	5
23	4	5	4	6	5	15	9	9	10	4	6	8
24	3	4	3	4	8	7	11	9	11	4	8	9
25	3	11	6	7	6	7	9	8	10	3	6	4

ตารางผนวกที่ 22 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 1 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลส สังกะสี และเหล็ก (ต่อ)

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
26	6	5	7	7	7	11	11	9	7	7	8	5
27	7	9	11	4	4	6	10	9	13	5	8	9
28	9	7	7	5	4	4	9	9	4	7	7	8
29	7	13	11	10	11	7	13	8	11	7	7	7
30	7	11	6	6	6	5	10	10	11	8	9	10
31	5	4	5	4	4	6	8	9	11	11	10	11
32	7	6	6	8	8	5	11	10	10	9	8	11
33	4	4	6	5	5	4	7	10	8	8	10	10
34	6	8	13	6	5	6	7	10	11	8	10	8
35	6	7	6	4	6	7	10	11	11	8	9	10
36	5	6	7	5	6	6	10	9	8	8	10	10
37	5	4	6	8	9	7	6	8	9	8	9	8
38	6	7	6	9	8	8	9	10	7	9	7	8
39	10	11	6	8	8	11	8	9	9	8	9	10
40	6	7	15	11	16	19	5	7	9	8	9	9
41	5	6	5	4	7	4	5	7	8	9	9	6
42	9	7	8	4	7	4	11	11	10	7	8	10
43	8	5	5	7	6	3	6	9	8	8	9	11
44	6	4	7	8	4	8	7	10	6	9	9	10
45	5	5	5	8	5	4	7	8	9	10	8	10
46	10	9	8	4	5	5	11	8	7	8	9	9
47	9	4	4	5	5	13	13	7	10	7	10	11
48	4	8	9	12	9	4	9	8	10	8	13	14
49	10	7	5	6	6	12	9	11	13	9	9	9
50	5	7	5	6	10	8	7	10	12	9	7	9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 23 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 2 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลส สังกะสี และเหล็ก

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	7	6	5	6	5	7	6	6	6	5	5	5
2	6	7	7	5	9	7	5	6	9	7	6	8
3	10	9	7	4	5	5	9	7	7	9	6	8
4	5	10	5	5	7	6	5	5	6	8	7	6
5	4	5	4	6	7	6	5	6	5	8	6	7
6	6	6	4	4	5	7	6	9	6	5	4	6
7	5	5	6	7	8	7	6	8	5	5	4	7
8	5	5	9	8	7	6	5	7	6	5	4	5
9	5	5	5	8	7	7	5	5	6	4	9	5
10	5	5	8	5	5	6	5	5	5	12	13	14
11	5	4	5	7	6	6	5	9	6	5	5	4
12	7	6	6	6	6	5	5	7	6	6	6	7
13	5	4	6	5	4	5	5	7	7	9	8	6
14	4	5	6	7	7	6	6	7	7	10	9	10
15	5	6	6	13	12	12	6	9	8	6	6	5
16	5	6	7	6	6	4	5	5	6	5	5	5
17	6	5	9	6	5	5	5	6	5	5	5	4
18	8	7	8	7	7	6	9	8	10	5	9	8
19	4	5	4	8	7	5	8	8	6	5	5	8
20	6	8	6	6	8	5	4	6	5	9	9	10
21	6	7	9	5	5	7	7	5	6	6	9	6
22	6	5	7	6	5	5	7	7	6	7	7	5
23	13	13	10	5	6	5	5	5	9	7	5	5
24	9	10	8	5	5	7	6	5	6	4	5	4
25	5	6	5	4	5	5	6	6	5	5	8	5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 23 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 2 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลสสังกะสี และเหล็ก (ต่อ)

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
26	5	5	5	5	6	6	5	5	5	6	7	5
27	6	5	5	7	6	7	4	5	5	6	6	7
28	5	7	5	5	5	5	4	5	4	10	8	7
29	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	8	5
30	4	5	4	10	10	9	5	6	5	9	9	8
31	5	4	5	7	6	7	5	4	5	6	8	6
32	5	5	6	5	5	6	7	6	7	5	8	6
33	6	8	6	7	6	7	5	5	4	9	8	9
34	5	12	7	7	7	7	5	6	5	5	5	4
35	5	7	5	5	5	4	5	5	6	6	7	8
36	4	7	6	7	6	7	5	5	6	5	6	6
37	4	5	7	6	5	5	9	11	11	6	6	7
38	4	6	10	15	10	14	8	8	6	7	7	5
39	9	8	8	6	6	7	6	5	6	8	7	8
40	5	5	4	6	6	5	6	5	5	5	4	7
41	5	5	4	6	8	6	4	8	6	5	5	6
42	5	4	5	9	7	8	4	5	6	5	5	4
43	5	5	5	8	7	10	5	5	5	6	6	4
44	5	6	5	9	7	7	6	6	7	6	5	6
45	5	5	6	6	7	6	6	5	4	4	5	5
46	5	6	8	5	5	7	5	5	7	5	7	7
47	11	4	4	6	5	6	6	5	6	5	6	8
48	7	4	4	9	9	8	6	7	6	4	6	5
49	8	5	4	5	5	6	9	7	8	5	4	5
50	11	14	10	6	6	5	6	6	5	4	5	4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 24 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 3 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลส สังกะสี และเหล็ก

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	10	10	7	7	6	4	5	6	5	5	6	5
2	7	6	5	11	7	6	6	7	6	5	6	6
3	7	5	5	6	5	9	6	4	6	5	8	7
4	4	4	8	5	12	5	7	7	5	5	5	10
5	6	3	5	10	8	8	6	6	5	4	5	4
6	5	5	6	7	6	8	9	9	5	5	5	11
7	5	6	5	7	5	8	8	8	7	5	7	5
8	5	4	6	6	6	5	4	5	7	7	4	5
9	4	6	7	5	4	7	7	6	5	4	5	5
10	5	5	7	4	9	4	9	6	8	4	4	5
11	7	4	4	6	9	5	5	6	5	5	6	6
12	6	11	7	5	4	8	6	5	8	5	4	4
13	6	9	5	4	8	7	5	6	8	9	7	5
14	7	9	11	8	4	5	5	6	6	6	6	5
15	6	8	8	7	8	5	5	6	5	5	5	4
16	10	5	7	4	5	7	5	7	6	6	6	11
17	8	5	8	7	13	5	5	6	9	6	8	8
18	5	6	5	5	5	5	4	4	5	4	4	9
19	7	5	7	6	5	5	5	5	4	5	7	5
20	6	5	6	6	5	8	4	4	6	4	5	7
21	8	5	4	10	6	5	5	5	7	5	6	5
22	5	5	10	4	6	5	8	5	7	4	4	5
23	5	6	13	5	10	11	5	5	4	6	5	4
24	4	5	4	4	5	5	5	6	8	4	5	6
25	6	5	6	5	9	8	7	5	7	6	5	6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 24 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 3 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลสสังกะสีและเหล็ก (ต่อ)

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
26	5	7	4	10	8	5	5	4	6	8	7	7
27	4	5	10	5	6	5	5	5	6	5	7	6
28	5	9	7	7	8	6	6	6	4	6	7	5
29	4	4	5	7	8	7	4	5	7	8	5	5
30	9	5	7	6	7	7	4	7	6	4	5	5
31	6	9	5	7	7	10	4	5	5	9	7	6
32	5	4	6	7	5	6	10	6	6	9	8	6
33	6	6	5	5	8	7	10	6	7	5	4	5
34	6	6	4	4	5	7	6	5	7	5	6	5
35	5	4	6	7	6	7	5	5	6	6	5	5
36	5	4	4	7	5	5	4	6	5	5	5	7
37	4	5	5	5	5	5	5	5	6	7	6	7
38	4	5	5	5	6	9	5	5	5	8	6	7
39	5	6	7	5	6	5	5	6	7	6	5	5
40	4	4	5	5	8	5	8	9	7	9	5	5
41	4	5	4	11	6	6	10	7	8	5	4	5
42	5	5	10	6	6	4	4	4	5	5	6	8
43	6	7	6	4	5	6	6	6	4	7	6	5
44	5	4	4	7	6	6	6	6	6	5	4	5
45	4	4	5	4	5	5	8	4	4	5	5	4
46	5	5	5	7	8	4	11	8	5	5	5	5
47	7	9	7	4	5	4	7	7	6	13	8	8
48	6	9	6	5	5	6	5	6	5	6	6	5
49	6	7	6	5	5	5	4	7	4	4	5	7
50	5	5	7	6	8	7	5	5	6	6	4	5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 25 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 4 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลส สังกะสี และเหล็ก

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	5	6	8	9	9	10	7	6	10	5	5	7
2	10	8	7	9	8	10	11	10	8	6	7	6
3	6	7	4	9	10	8	12	11	8	8	7	6
4	4	6	5	9	10	11	7	8	10	6	6	7
5	4	6	5	9	8	10	11	11	10	5	5	5
6	7	7	9	10	11	10	11	7	10	5	5	4
7	7	8	7	9	10	8	9	11	11	7	7	7
8	9	5	9	7	6	8	8	11	11	7	4	5
9	8	8	5	8	8	10	6	9	11	9	6	7
10	4	3	4	6	9	10	10	11	10	7	7	5
11	5	7	6	8	9	10	11	9	11	8	7	5
12	7	9	10	8	10	8	10	11	9	9	5	8
13	8	9	8	9	10	8	11	13	13	7	6	6
14	7	4	5	10	10	8	10	10	7	8	8	9
15	5	6	8	6	4	5	7	9	10	6	11	5
16	8	7	8	15	8	10	8	9	10	5	4	8
17	4	6	8	8	11	10	8	10	8	4	5	4
18	8	7	9	9	10	6	9	8	11	5	4	9
19	8	9	10	8	9	10	9	11	8	4	5	4
20	8	8	7	8	9	9	13	7	7	7	7	6
21	8	7	8	9	6	9	10	9	10	4	4	5
22	7	9	7	8	9	9	8	10	11	5	5	5
23	8	9	11	8	10	7	9	11	11	4	5	4
24	7	5	6	9	10	11	9	9	11	6	6	4
25	7	8	9	9	11	10	9	10	10	6	4	5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 25 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 4 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลส สังกะสี และเหล็ก (ต่อ)

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
26	9	9	6	9	10	9	10	7	7	4	8	5
27	8	9	9	9	10	8	8	8	10	4	5	7
28	7	9	10	6	7	9	10	10	13	5	5	6
29	8	9	7	8	8	9	9	10	10	8	6	7
30	8	9	8	7	8	10	9	10	11	6	6	5
31	8	9	10	9	10	8	9	9	10	5	5	6
32	8	7	9	8	10	11	10	8	11	5	6	4
33	8	10	9	11	10	8	9	10	11	7	8	5
34	9	8	9	9	11	9	10	11	9	6	7	4
35	8	9	8	9	10	11	9	9	11	5	5	5
36	8	8	7	8	9	10	9	7	9	9	5	5
37	8	9	10	8	11	9	11	13	12	8	6	6
38	8	9	10	9	8	8	10	10	10	6	5	4
39	8	10	9	8	10	7	10	11	7	5	5	6
40	7	8	8	7	9	7	7	7	5	7	4	5
41	8	9	8	8	9	10	6	10	10	4	5	5
42	9	9	8	7	8	9	11	12	9	6	5	9
43	9	10	7	7	9	10	10	11	10	6	6	8
44	8	9	7	8	9	7	10	10	8	8	5	5
45	8	9	10	7	7	9	10	9	11	5	5	6
46	8	9	9	8	10	9	9	10	11	7	6	5
47	9	7	9	10	9	10	9	10	8	6	7	5
48	8	9	8	6	7	8	9	11	8	7	5	8
49	9	7	8	9	7	8	9	9	11	4	6	7
50	7	7	9	11	9	7	9	10	11	4	5	5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 26 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 5 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลส สังกะสี และเหล็ก

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	5	6	8	8	7	8	6	5	5	5	7	8
2	6	8	7	7	7	8	6	7	8	5	7	8
3	5	6	8	6	8	6	7	8	8	7	12	9
4	5	6	6	6	7	7	8	6	6	9	8	8
5	6	8	8	4	6	5	6	7	7	7	9	6
6	7	8	7	5	6	4	6	5	7	5	6	7
7	7	9	9	4	7	9	6	7	7	6	6	7
8	8	8	9	6	6	9	7	8	9	7	8	9
9	8	10	10	5	7	7	6	8	9	7	8	9
10	9	8	7	6	7	8	8	8	10	10	9	7
11	7	9	9	8	9	9	8	8	10	6	7	8
12	7	8	7	9	9	9	8	10	10	6	7	7
13	8	9	8	5	6	6	6	7	7	4	5	5
14	8	9	10	6	7	8	7	7	8	6	8	7
15	7	10	9	6	7	7	8	8	8	5	8	5
16	8	7	7	7	8	9	8	7	9	5	7	7
17	9	7	8	6	7	8	7	8	8	7	7	6
18	8	7	6	8	7	8	7	8	9	7	7	8
19	5	5	6	8	8	9	8	8	9	7	8	8
20	7	9	6	6	7	7	8	8	9	7	8	8
21	7	9	9	6	7	7	8	9	10	8	8	7
22	7	7	8	7	7	7	7	8	9	9	8	7
23	7	8	9	8	8	8	8	8	10	7	7	8
24	9	8	9	4	5	6	9	7	7	8	9	9
25	9	8	8	6	7	6	8	13	14	9	7	7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 26 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 5 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลส สังกะสี และเหล็ก (ต่อ)

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
26	9	8	9	13	13	13	8	7	9	8	9	10
27	7	9	8	8	7	8	7	9	9	8	8	6
28	7	6	6	5	6	7	7	7	9	5	6	5
29	5	7	10	9	7	8	9	9	10	6	6	7
30	7	6	11	12	8	8	8	8	9	8	8	9
31	11	8	7	8	7	9	8	9	8	7	7	8
32	5	6	8	8	9	10	9	8	7	8	8	7
33	8	8	9	7	8	7	7	7	9	8	9	8
34	7	9	8	8	9	10	7	9	9	8	8	8
35	7	14	9	8	8	9	11	12	11	6	6	8
36	8	8	9	6	6	7	12	10	10	6	7	7
37	8	9	9	5	6	7	8	9	10	6	7	8
38	8	9	10	6	7	8	7	8	9	7	6	8
39	8	10	10	7	8	9	7	7	9	7	7	7
40	7	9	10	7	8	8	9	8	8	6	5	7
41	7	8	9	8	8	7	5	7	7	7	6	7
42	8	7	9	5	11	7	7	8	8	10	8	5
43	8	7	7	6	8	9	7	8	8	8	5	7
44	10	7	5	7	8	8	6	7	8	5	4	6
45	6	7	8	11	8	9	7	7	9	6	6	7
46	8	9	7	8	7	7	6	9	10	7	7	8
47	9	9	8	6	6	7	8	8	9	7	9	8
48	9	9	8	6	7	8	8	8	14	8	9	7
49	8	8	10	5	9	5	7	9	9	12	10	11
50	7	10	7	7	8	8	9	10	12	6	8	8

ตารางผนวกที่ 27 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 6 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลส สังกะสี และเหล็ก

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	4	7	7	4	5	4	4	6	6	7	7	8
2	5	7	6	4	6	7	5	7	8	6	10	7
3	5	6	7	6	6	8	7	5	6	6	6	7
4	5	5	6	6	7	7	5	6	7	7	7	8
5	5	7	7	10	7	12	7	7	8	8	7	7
6	7	6	7	6	9	11	7	8	8	6	7	7
7	4	4	6	6	9	8	5	6	7	5	8	8
8	5	6	5	5	9	7	6	7	7	5	7	8
9	5	7	8	6	6	8	5	6	7	5	7	7
10	6	7	9	7	7	9	5	7	8	8	8	9
11	8	6	6	7	12	8	6	8	11	6	6	7
12	5	6	6	5	8	9	8	9	10	7	6	9
13	5	6	6	7	7	9	7	9	10	7	5	7
14	9	8	7	7	8	8	8	9	10	6	9	9
15	9	6	7	7	7	9	7	9	10	8	10	7
16	7	15	12	6	8	7	8	9	10	5	13	8
17	7	8	8	6	8	8	8	9	9	6	6	6
18	7	8	8	6	9	7	7	9	9	8	6	7
19	6	7	7	8	9	9	8	8	9	6	7	9
20	7	7	8	8	7	7	8	9	7	7	8	8
21	7	8	8	8	7	8	7	8	9	8	9	10
22	5	5	6	6	7	7	6	8	7	9	9	13
23	6	6	6	6	8	8	8	9	9	9	7	7
24	5	7	8	8	8	7	9	9	8	4	7	8
25	6	6	7	7	9	7	8	8	9	5	6	8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 27 มุมกลิ้งของลำไยขนาด 6 บนวัสดุแผ่นราบประเภทไม้ สแตนเลส สังกะสี และเหล็ก (ต่อ)

No	มุมกลิ้ง (°)											
	ไม้			สแตนเลส			สังกะสี			เหล็ก		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
26	7	7	6	7	8	6	8	6	9	5	7	7
27	8	10	9	7	8	9	6	5	10	3	5	8
28	8	12	8	7	8	8	7	5	8	7	7	7
29	7	8	9	7	15	9	7	8	9	5	6	7
30	5	9	8	5	7	7	7	8	8	9	8	7
31	6	7	6	6	7	7	8	9	8	6	7	8
32	5	6	7	6	8	8	6	7	8	7	9	8
33	6	7	7	6	9	8	6	7	8	8	7	6
34	6	6	7	8	8	12	6	7	7	8	7	8
35	5	6	5	8	9	12	5	6	8	7	8	9
36	6	6	7	8	10	9	7	8	9	4	5	7
37	7	7	8	7	7	7	7	7	8	10	7	8
38	6	7	8	7	8	8	5	7	8	10	7	8
39	8	7	8	8	8	8	8	7	8	7	8	8
40	6	6	7	7	7	8	5	8	7	7	9	9
41	7	7	8	7	8	8	7	9	7	7	7	8
42	5	6	7	6	6	6	5	6	7	8	8	9
43	6	7	6	6	7	7	5	6	8	6	7	8
44	6	7	7	6	7	10	6	6	6	6	8	9
45	7	8	8	9	9	8	7	7	8	7	9	9
46	8	8	9	8	9	9	7	6	6	8	8	9
47	7	8	8	8	9	7	6	7	8	9	9	9
48	7	6	7	9	7	8	6	7	6	8	9	9
49	5	7	9	6	7	7	6	6	7	6	7	8
50	9	7	9	6	7	8	7	6	8	7	8	9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 28 ผลการทดสอบรูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสมของกลไกการคว้าน-หัวคว้านปากตรงของขนาดที่ 1 และ 2

No	Score					
	Size 1			Size 2		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	1	1	1	1
3	2	2	2	2	1	2
4	3	2	2	2	1	2
5	3	2	2	3	1	2
6	3	2	2	3	2	2
7	3	2	2	3	2	2
8	3	3	2	3	2	3
9	3	3	2	3	2	3
10	3	3	3	3	2	3
11	3	3	3	3	2	3
12	3	3	3	3	2	3
13	3	3	3	3	2	4
14	3	3	3	3	2	4
15	3	3	3	3	3	4
16	3	3	3	3	3	4
17	3	3	3	3	3	4
18	4	3	4	3	3	4
19	4	4	4	3	3	4
20	4	4	4	4	3	4

**หมายเหตุ 1-4 แทนด้วยระดับคะแนนทความสมบูรณ์ของลำไย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 29 ผลการทดสอบรูปแบบหัวคว้านที่เหมาะสมของกลไกการคว้าน-หัวคว้าน ปากฉลามของขนาดที่ 1 และ 2

No	Score					
	Size 1			Size 2		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
1	1	2	1	1	1	1
2	2	2	1	2	2	1
3	2	2	1	2	2	1
4	2	2	1	2	2	1
5	2	2	2	2	2	1
6	2	2	2	2	2	1
7	2	2	3	2	2	2
8	2	2	3	3	3	2
9	2	2	3	3	3	2
10	2	3	3	3	3	2
11	3	3	3	3	3	3
12	3	3	3	3	3	3
13	3	3	4	3	3	3
14	3	3	4	3	3	4
15	3	3	4	3	3	4
16	3	3	4	4	3	4
17	3	3	4	4	3	4
18	3	3	4	4	3	4
19	4	3	4	4	3	4
20	4	4	4	4	1	4

**หมายเหตุ 1-4 แทนด้วยระดับคะแนนทความสมบูรณ์ของลำไย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 30 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 1 รอบ 1

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
1	1	1	1	3	1	1	1	1	4
2	1	1	1	4	1	3	1	1	4
3	1	1	1	3	1	2	1	1	4
4	1	1	1	1	1	3	1	1	3
5	1	1	2	3	1	2	2	2	3
6	1	1	2	2	1	3	3	2	3
7	1	2	2	2	1	3	3	2	3
8	1	2	2	4	1	2	3	2	3
9	1	2	2	3	1	2	3	2	3
10	1	2	2	4	2	2	3	2	3
11	1	2	2	3	2	1	3	3	3
12	1	3	2	4	2	2	3	3	3
13	4	3	2	1	2	4	3	3	3
14	4	3	3	4	3	3	3	3	2
15	4	3	3	4	3	3	3	3	2
16	4	3	3	3	3	3	3	3	2
17	4	3	3	3	3	3	3	3	2
18	4	3	3	3	4	4	4	3	2
19	3	3	4	4	4	3	4	3	2
20	3	3	4	3	4	2	4	3	2
21	3	4	4	2	4	3	4	3	2
22	3	4	4	3	4	3	4	3	2
23	3	4	4	2	4	3	4	3	2
24	3	4	4	2	4	2	4	4	2
25	3	4	4	3	4	3	4	4	2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 30 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 1 รอบ 1 (ต่อ)

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
26	3	4	4	3	4	2	4	4	1
27	3	4	4	1	4	3	4	4	1
28	3	4	4	1	4	2	4	4	1
29	3	4	4	2	4	1	4	4	1
30	3	4	4	4	4	2	4	4	1

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไกการคว้านเมล็ดลำไย

V1 = 0.12 m/s

V2 = 0.17 m/s

V3 = 0.31 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 31 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 1 รอบ 2

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
1	1	1	1	4	1	3	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	1	1	1
3	1	1	1	3	1	3	1	1	1
4	1	1	1	4	2	1	1	2	1
5	1	1	2	4	2	3	1	2	1
6	1	1	2	4	2	2	1	2	1
7	3	1	2	4	2	4	1	2	2
8	3	2	2	2	3	4	3	2	2
9	3	2	2	3	3	1	3	2	2
10	3	2	2	3	3	1	3	3	2
11	3	2	2	2	3	1	3	3	2
12	3	2	2	2	3	2	3	3	2
13	3	2	3	2	3	2	3	3	2
14	3	2	3	2	3	2	3	3	2
15	3	2	3	4	3	2	3	3	3
16	3	2	3	4	4	2	3	3	3
17	3	2	3	2	4	2	3	3	3
18	3	2	3	3	4	2	3	3	3
19	3	3	4	2	4	3	3	3	3
20	3	3	4	3	4	3	3	3	3
21	2	3	4	4	4	3	3	4	3
22	2	3	4	4	4	3	4	4	3
23	4	3	4	4	4	3	4	4	3
24	4	3	4	3	4	3	4	4	3
25	4	4	4	4	4	3	4	4	3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 31 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 1 รอบ 2 (ต่อ)

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
26	4	4	4	2	4	3	4	4	3
27	4	4	4	3	4	3	4	4	3
28	4	4	4	3	4	3	4	4	4
29	4	4	4	3	4	4	4	4	4
30	4	4	4	4	4	4	4	4	4

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไกการคว้านเมล็ดลำไย

V1 = 0.12 m/s

V2 = 0.17 m/s

V3 = 0.31 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

\

ตารางผนวกที่ 32 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 1 รอบ 3

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
1	1	1	4	3	1	3	1	1	1
2	1	1	4	4	1	2	1	1	1
3	1	1	4	4	1	3	1	1	1
4	1	1	4	3	1	2	2	1	1
5	1	1	4	3	1	2	2	1	1
6	1	1	4	3	1	3	2	1	1
7	1	2	4	4	1	2	2	1	2
8	1	2	3	3	1	2	2	1	2
9	3	2	3	2	2	3	3	2	2
10	3	2	3	3	2	3	3	2	2
11	3	2	3	4	2	2	3	2	2
12	3	2	3	3	2	2	3	2	2
13	3	2	3	4	2	3	3	2	2
14	3	2	3	2	2	3	3	3	3
15	3	3	3	1	3	3	3	3	3
16	3	3	3	2	3	2	3	3	3
17	3	3	3	4	3	4	3	3	3
18	3	3	2	3	3	3	3	3	3
19	3	3	2	3	3	2	3	3	3
20	4	3	2	3	3	3	4	3	3
21	4	3	2	1	3	3	4	4	3
22	4	4	2	3	3	3	4	4	3
23	4	4	2	3	3	2	4	4	3
24	4	4	2	3	4	2	4	4	3
25	4	4	2	2	4	4	4	4	3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 32 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 1 รอบ 3 (ต่อ)

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
26	4	4	2	3	4	3	4	4	3
27	4	4	2	4	4	2	4	4	3
28	2	4	2	3	4	4	4	4	3
29	2	4	2	2	4	3	4	4	3
30	2	4	2	3	4	3	4	4	4

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไกการคว้านเมล็ดลำไย

V1 = 0.12 m/s

V2 = 0.17 m/s

V3 = 0.31 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 33 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 2 รอบ 1

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
1	1	1	1	1	4	3	1	1	4
2	1	1	1	1	4	3	1	1	4
3	1	1	1	1	4	3	1	1	4
4	1	1	1	1	3	3	1	1	3
5	1	1	1	1	3	3	1	1	3
6	1	1	1	1	3	3	1	1	3
7	1	1	2	1	3	3	1	1	3
8	1	1	2	1	2	3	1	1	3
9	1	1	2	1	2	3	1	1	3
10	1	1	2	1	2	3	1	1	3
11	1	1	2	1	2	3	1	1	2
12	2	1	2	1	2	3	1	1	2
13	2	1	2	1	2	3	1	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	1	2
15	2	2	3	1	2	3	2	2	2
16	2	2	3	4	2	3	2	2	2
17	2	2	3	4	2	2	3	2	2
18	2	2	3	4	1	2	3	3	3
19	2	3	1	4	1	2	3	3	3
20	2	3	1	4	1	2	4	3	3
21	3	3	1	2	1	2	4	3	3
22	3	3	1	2	1	2	4	3	3
23	3	3	1	2	1	2	4	3	2
24	3	3	4	2	1	2	4	3	2
25	3	3	4	2	1	1	4	3	2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 33 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 2 รอบ 1 (ต่อ)

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
26	3	3	4	3	1	1	4	3	2
27	3	4	4	3	1	1	4	4	1
28	4	4	4	3	1	1	4	4	1
29	4	4	4	3	1	4	4	4	1
30	4	4	4	3	1	4	4	4	4

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไกการคว้านเมล็ดลำไย

V1 = 0.12 m/s

V2 = 0.17 m/s

V3 = 0.31 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 34 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 2 รอบ 2

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
1	1	1	1	1	4	4	1	1	4
2	1	1	1	1	3	4	1	1	4
3	1	1	1	1	3	4	1	1	4
4	1	1	1	1	3	4	1	1	1
5	1	1	1	1	3	4	1	1	1
6	1	1	1	1	3	1	1	1	2
7	1	1	1	2	3	1	1	1	2
8	1	1	1	2	3	1	1	1	2
9	1	1	2	2	3	1	1	1	2
10	1	1	2	2	2	2	1	1	2
11	1	1	2	4	2	2	1	1	2
12	1	1	2	4	2	2	1	1	2
13	1	1	2	4	2	2	2	1	2
14	2	1	3	4	2	2	2	1	2
15	2	1	3	4	2	2	3	1	2
16	2	1	3	4	2	2	3	1	2
17	2	1	3	4	2	2	3	1	2
18	3	2	3	4	2	3	3	1	3
19	3	2	3	4	1	3	3	2	3
20	3	2	1	3	1	3	3	2	3
21	3	2	1	3	1	3	3	2	3
22	3	3	1	3	1	3	3	2	3
23	3	3	4	3	1	3	3	3	3
24	3	3	4	3	1	3	3	3	3
25	3	3	4	3	1	3	4	3	3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 34 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 2 รอบ 2 (ต่อ)

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
26	3	3	4	3	1	3	4	3	3
27	4	3	4	3	1	3	4	4	3
28	4	4	4	3	1	3	4	4	3
29	4	4	4	3	1	3	4	4	3
30	4	4	4	3	1	3	4	4	3

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไกการคว้านเมล็ดลำไย

V1 = 0.12 m/s

V2 = 0.17 m/s

V3 = 0.31 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 35 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 2 รอบ 3

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	2
5	1	1	1	1	1	1	1	1	2
6	1	1	1	1	1	2	1	1	2
7	1	1	1	1	2	2	1	1	2
8	1	1	1	1	2	2	1	1	2
9	1	1	2	1	2	2	1	1	2
10	1	1	2	4	2	2	2	1	2
11	1	1	2	4	2	2	2	1	3
12	2	1	2	4	2	2	1	1	2
13	2	1	2	4	2	2	4	4	2
14	2	1	3	4	2	3	4	4	2
15	2	2	3	4	4	3	4	4	3
16	2	2	3	4	4	3	4	4	3
17	3	2	3	2	4	3	4	4	3
18	3	2	3	2	4	3	3	2	3
19	3	2	3	2	4	3	2	2	3
20	3	3	3	3	3	3	2	2	3
21	3	3	3	3	3	3	4	3	3
22	3	3	3	3	3	3	4	3	3
23	3	3	3	3	3	3	3	3	3
24	4	3	4	3	3	3	3	3	3
25	4	3	4	3	3	3	3	3	3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 35 ผลการทดสอบความเร็วที่เหมาะสมของกลไกการคว้านลำไยขนาด 2 รอบ 3 (ต่อ)

No	Score								
	V1			V2			V3		
	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด	เปลือก	เนื้อ	เมล็ด
26	4	3	4	3	3	3	3	3	3
27	4	4	4	3	3	3	3	3	4
28	4	4	4	3	3	4	3	3	4
29	4	4	4	3	3	4	3	3	4
30	4	4	4	3	3	4	3	3	4

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไกการคว้านเมล็ดลำไย

V1 = 0.12 m/s

V2 = 0.17 m/s

V3 = 0.31 m/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 36 ผลการทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการคว้านลำไย โดยใช้ความดันลมที่ 6 bar โดยทดสอบขนาดละ 3 kg

V(m/s)	Size	Rev.	Score(kg)			
			Score1	Score2	Score3	Score4
0.18	1	rev1	0.825	0.125	0.5	0.77
		rev2	1.1	0.125	0.4	0.72
		rev3	0.92	0.1	0.32	0.99
	2	rev1	1.12	0.12	0.27	0.73
		rev2	1.03	0.2	0.125	0.78
		rev3	1.24	0.16	0.29	0.6
0.25	1	rev1	0.72	0.14	0.49	0.91
		rev2	0.79	0.14	0.22	1.12
		rev3	0.899	0.185	0.22	1.04
	2	rev1	0.81	0.075	0.48	0.56
		rev2	1.9	0.13	0.28	0.51
		rev3	0.73	0.065	0.58	0.78
0.46	1	rev1	0.38	0.22	0.76	0.7
		rev2	0.34	0.242	0.575	0.883
		rev3	0.55	0.22	0.32	1.035
	2	rev1	0.68	0.075	0.34	0.645
		rev2	1.06	0.22	0.34	0.615
		rev3	0.7	0.15	0.39	0.87

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไกการป้อนลำไย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 37 ผลการทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการคว้านลำไย โดยใช้ความดันลมที่ 7 bar โดยทดสอบขนาดละ 3 kg

V(m/s)	Size	Rev.	Score(kg)			
			Score1	Score2	Score3	Score4
0.18	1	rev1	0.46	0.12	0.68	0.91
		rev2	0.685	0.13	0.35	1.14
		rev3	0.835	0.09	0.4	0.97
	2	rev1	1.41	0.13	0.22	0.635
		rev2	1.66	0.19	0.21	0.58
		rev3	1.55	0.11	0.21	0.58
0.25	1	rev1	0.742	0.259	0.26	0.85
		rev2	0.881	0.178	0.219	1.055
		rev3	0.841	0.158	0.189	1.14
	2	rev1	1.87	0.24	0.18	0.23
		rev2	2.19	0.199	0.08	0.148
		rev3	2.165	0.18	0.08	0.148
0.46	1	rev1	0.072	0.158	0.51	0.845
		rev2	1.07	0.125	0.382	0.83
		rev3	0.842	0.18	0.265	1.065
	2	rev1	1.671	0.198	0.228	0.37
		rev2	1.79	0.185	0.152	0.369
		rev3	1.978	0.2	0.188	0.19

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไกการป้อนลำไย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 38 ผลการทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการคว้านลำไย โดยใช้ความดันลมที่ 8 bar โดยทดสอบขนาดละ 3 kg

V(m/s)	Size	Rev.	Score (kg)			
			Score1	Score2	Score3	Score4
0.18	1	rev1	0.43	0.08	0.36	0.87
		rev2	0.43	0.1	0.64	1.07
		rev3	0.56	0.13	0.92	0.62
	2	rev1	1.11	0.07	0.48	0.46
		rev2	0.98	0.04	0.22	0.78
		rev3	0.92	0.27	0.24	0.52
0.25	1	rev1	0.4	0.19	0.22	1.2
		rev2	0.27	0.12	0.23	1.45
		rev3	0.59	0.09	0.38	1.04
	2	rev1	0.69	0.12	0.21	0.58
		rev2	1.05	0.13	0.24	0.57
		rev3	1.46	0.12	0.17	0.51
0.46	1	rev1	0.465	0.252	0.29	1.07
		rev2	0.54	0.205	0.25	1.18
		rev3	0.28	0.518	0.72	0.48
	2	rev1	0.715	0.213	0.425	0.555
		rev2	0.605	0.18	0.349	0.73
		rev3	0.78	0.08	0.33	0.925

**หมายเหตุ V แทน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบกลไกการป้อนลำไย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 39 น้ำหนักเนื้อลำไยที่ได้จากการทดสอบเครื่องต้นแบบอย่างต่อเนื่อง ขนาดละ 10 กิโลกรัม

Score	Weight of Longan flesh (kg)	
	Size 1	Size 2
1	0.89	1.4
2	0.36	0.52
3	0.88	0.85
4	3.48	2.48

**หมายเหตุ Size 1 ทดสอบที่ความเร็ว 0.18 m/s

Size 2 ทดสอบที่ความเร็ว 0.46 m/s

ตารางผนวกที่ 40 เวลาที่ใช้ และการใช้พลังงานในการทดสอบต่อเนื่องขนาดละ 10 กิโลกรัม

	Size 1	Size 2
Time (hour)	0.53	0.59
Energy consumption (kW.h)	0.23	0.32

**หมายเหตุ Size 1 ทดสอบที่ความเร็ว 0.18 เมตรต่อวินาที

Size 2 ทดสอบที่ความเร็ว 0.46 เมตรต่อวินาที

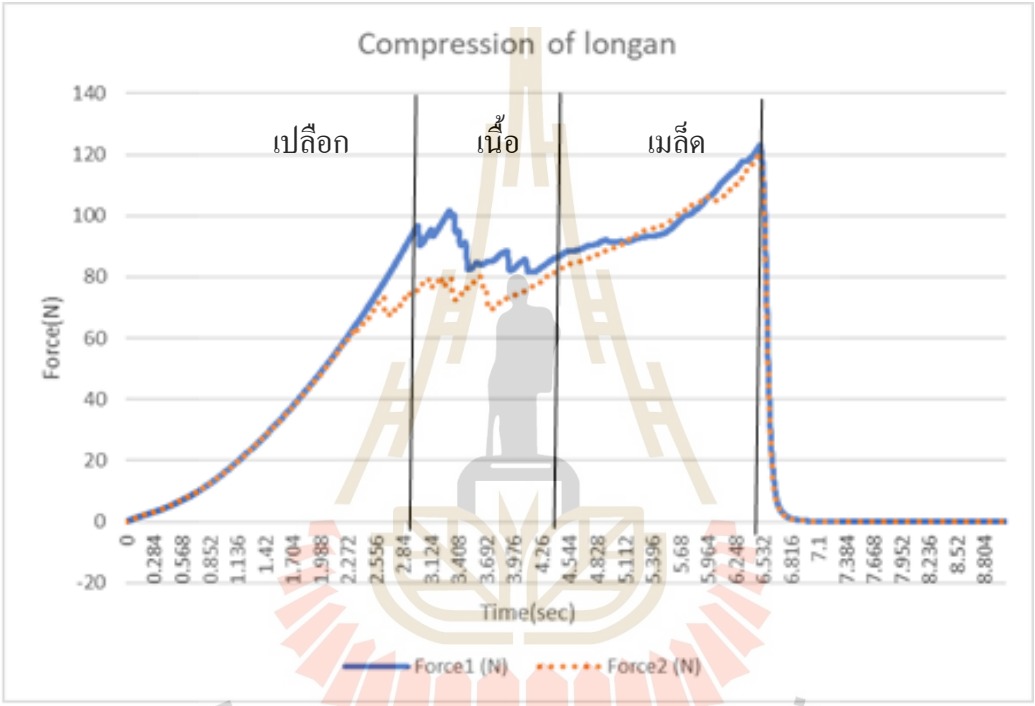
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง และเวลา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

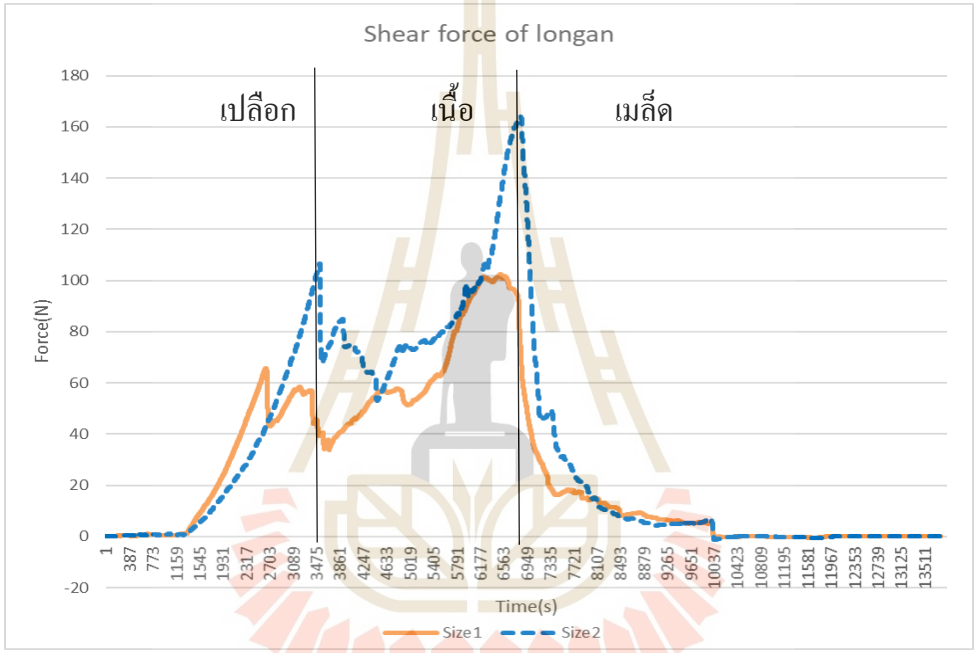
ตัวอย่างรูปสำหรับการทดสอบแรงกด (Compression force) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย เพื่อจำลองการคว้านลำไย



รูปภาคผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงกด (นิวตัน) กับระยะเวลา (วินาที) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย ของลำไยขนาดที่ 1 และ 2

จากรูปภาคผนวกที่ 1 สามารถอธิบายลักษณะกายภาพผลลำไยภายใน เพื่อจำลองการคว้านลำไย ซึ่งจากกราฟดังกล่าวจะเห็นได้ว่าแรงกดสูงสุดที่ใช้ในการกดถึงเมล็ดที่บริเวณขั้วของผลลำไยที่ยึดกันระหว่างเปลือก เนื้อและเมล็ด และที่ด้านหลังของกราฟจะเห็นว่ากราฟต่ำ ลงจนเป็น 0 เนื่องจากเมื่อกดโดนเมล็ดแล้วหัวโพรบจะยกตัวขึ้นไปในแนวระดับกลับสู่ตำแหน่งเดิม

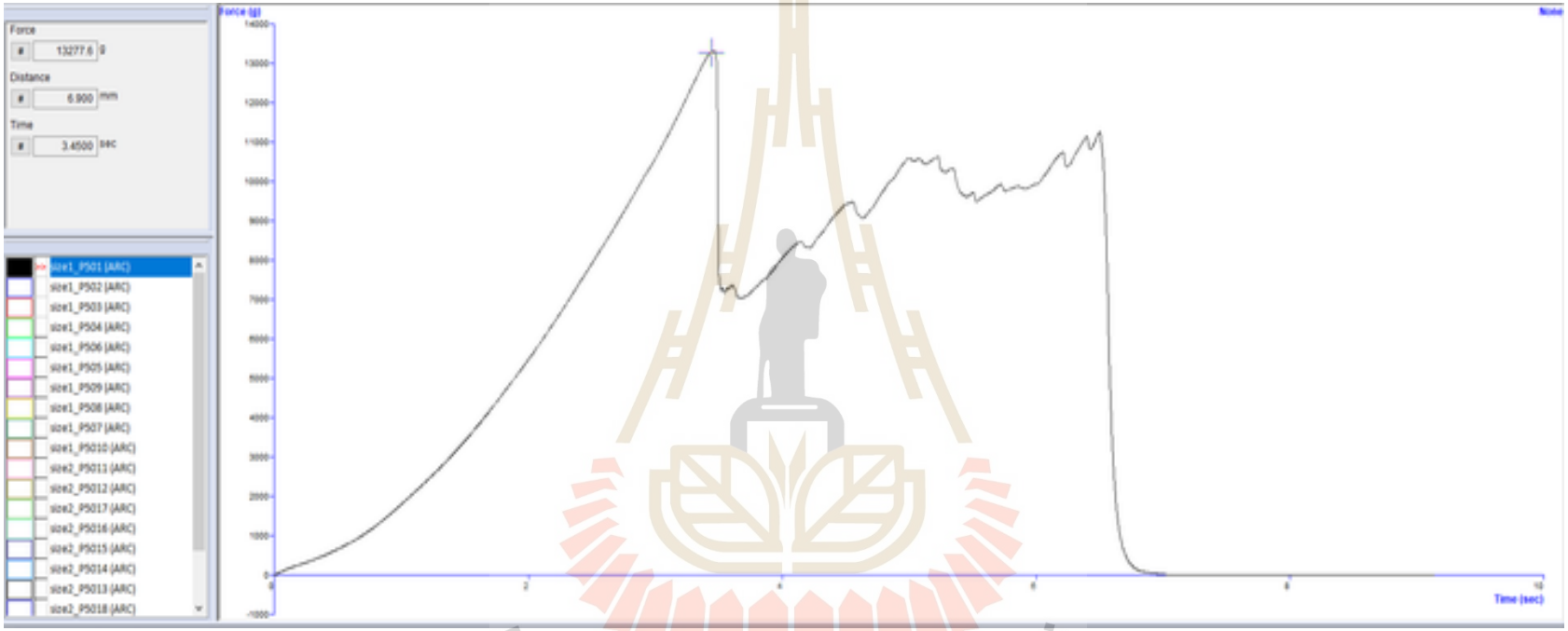
ตัวอย่างรูปสำหรับการทดสอบแรงเฉือน/ แรงตัด (Shear force) ในการตัดลงแต่ละส่วนของผลลำไย เพื่อจำลองการคว้านลำไย



รูปภาคผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงเฉือน (นิวตัน) กับระยะเวลา (วินาที) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไยของลำไยขนาดที่ 1 และ 2

จากภาคผนวกที่ 2 สามารถอธิบายลักษณะกายภาพผลลำไยภายใน เพื่อจำลองการคว้านลำไย ซึ่งจากกราฟดังกล่าวจะเห็นได้ว่าแรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดผ่านแกนกลางของเมล็ด และพีคกราฟแรงที่รองลงมาอยู่ที่บริเวณขั้วของผลลำไยที่ยึดกันระหว่างเปลือก เนื้อและเมล็ด และที่ด้านหลังของกราฟจะเห็นว่ากราฟต่ำ ลงจนเป็น 0 เนื่องจากเมื่อกดผ่านเมล็ด และเนื้อลำไยจนขาดแล้ว หัวโพรบจะยกตัวขึ้นไปในแนวระดับกลับสู่ตำแหน่งเดิม

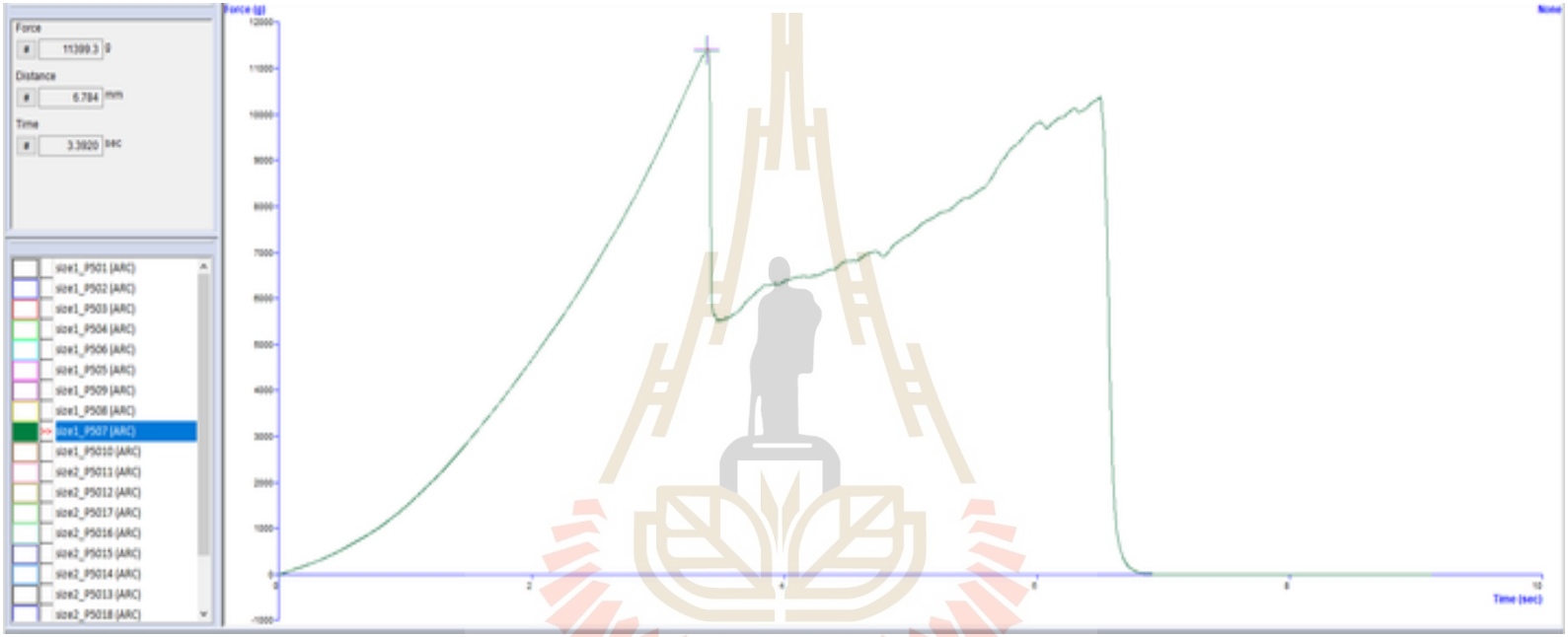
ตัวอย่างรูปสำหรับการทดสอบแรงกด (Compression force) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย เพื่อจำลองการคว้านลำไย



รูปภาคผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงกด (นิวตัน) กับระยะเวลา (วินาที) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย ของลำไยขนาดที่ 1 ผลที่ 4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

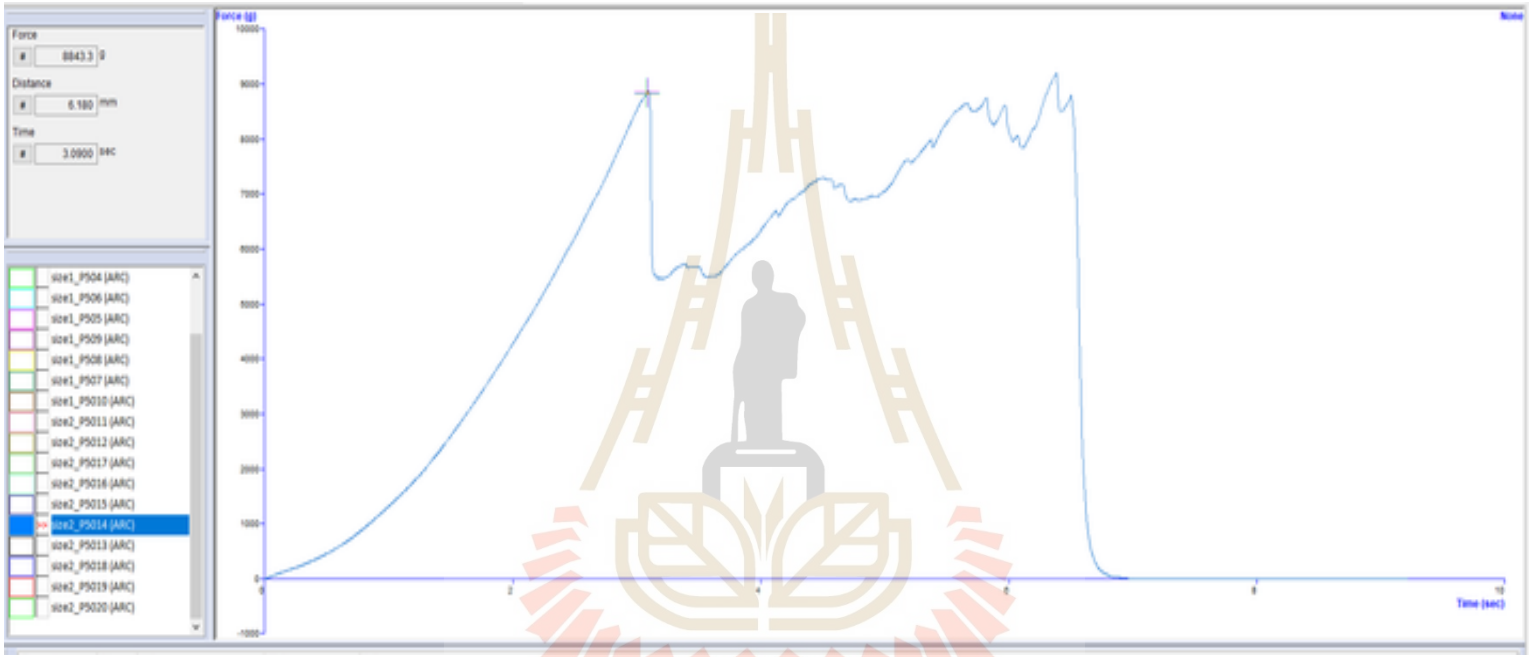
ตัวอย่างรูปสำหรับการทดสอบแรงกด(Compression force) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย เพื่อจำลองการคว้านลำไย



รูปภาคผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงกด (นิวตัน) กับระยะเวลา (วินาที) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย ของลำไย ขนาดที่ 1 ผลที่ 7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

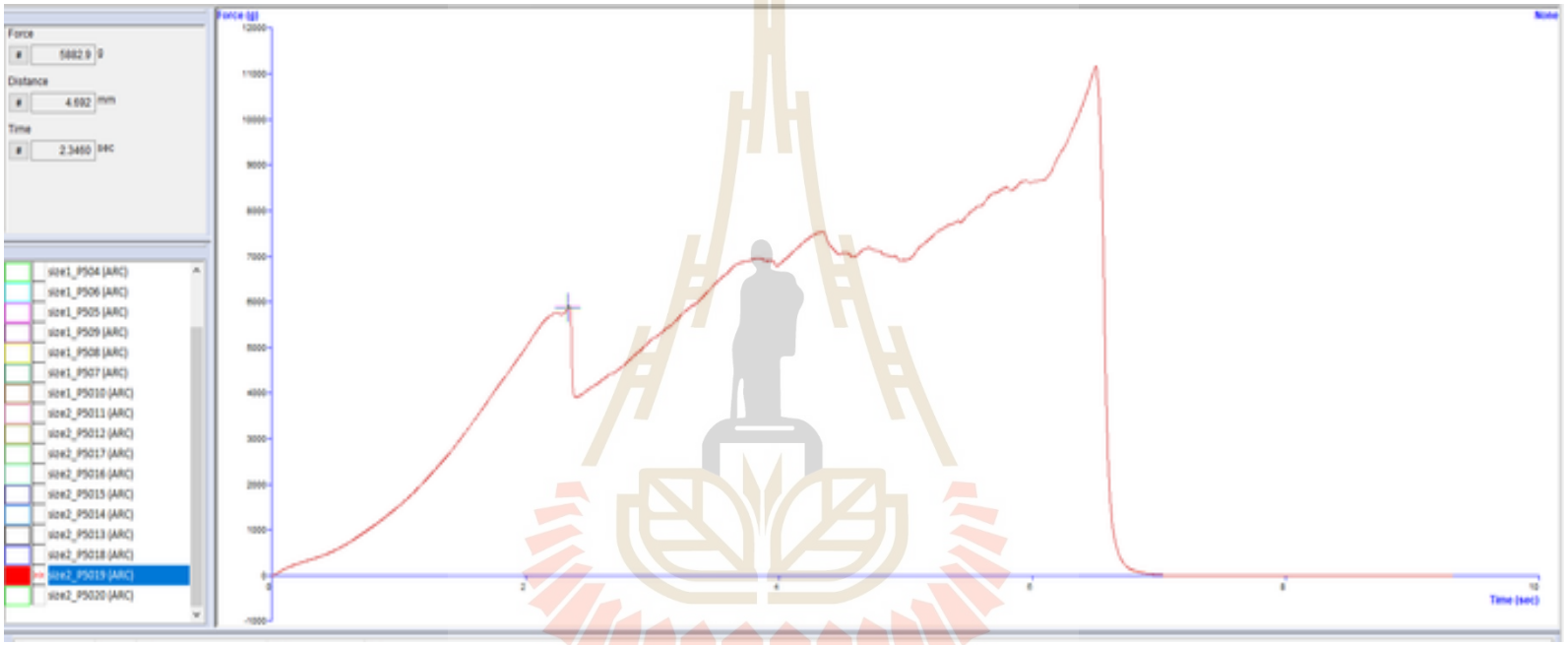
ตัวอย่างรูปสำหรับการทดสอบแรงกด(Compression force) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย เพื่อจำลองการคว้านลำไย



รูปภาคผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงกด (นิวตัน) กับระยะเวลา (วินาที) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย ของลำไยขนาดที่ 2 ผลที่ 2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

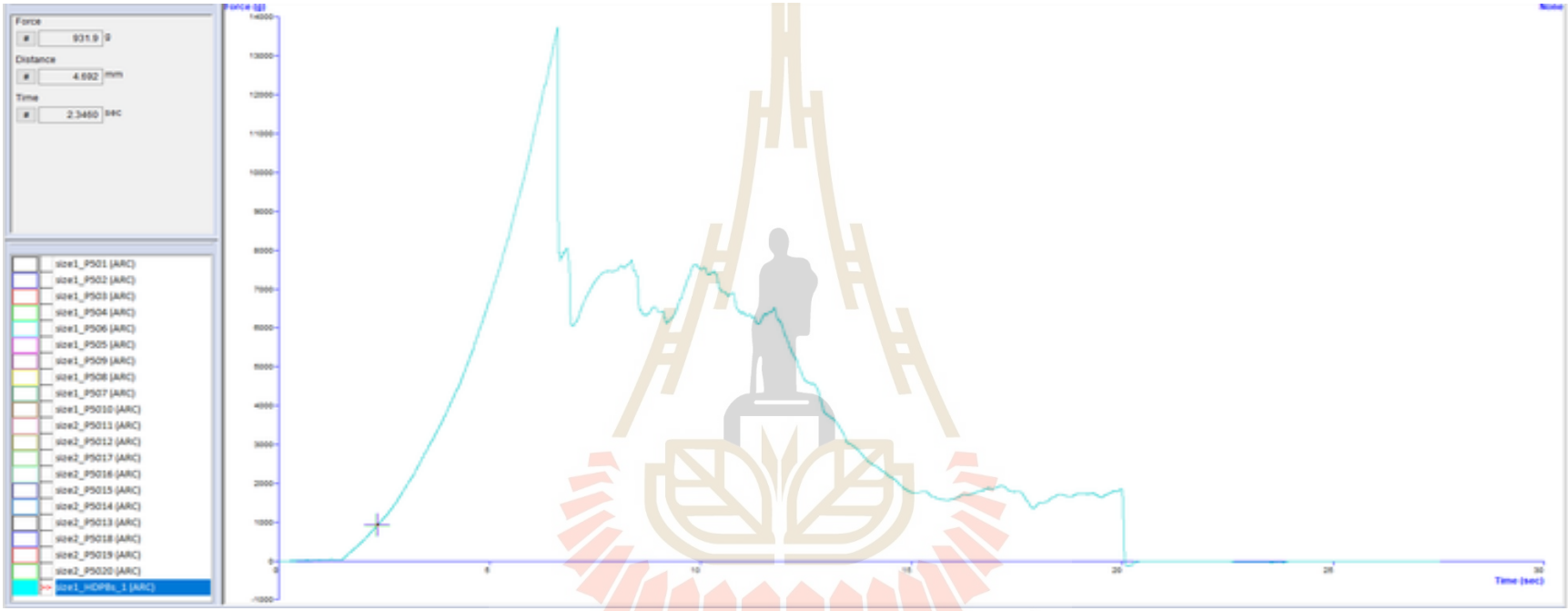
ตัวอย่างรูปสำหรับการทดสอบแรงกด(Compression force) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย เพื่อจำลองการคว้านลำไย



รูปภาคผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงกด (นิวตัน) กับระยะเวลา (วินาที) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไย ของลำไยขนาดที่ 2 ผลที่ 10

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างรูปสำหรับการทดสอบแรงเฉือน/ แรงตัด(Shear force) ในการตัดลงแต่ละส่วนของผลลำไย เพื่อจำลองการคว้านลำไย

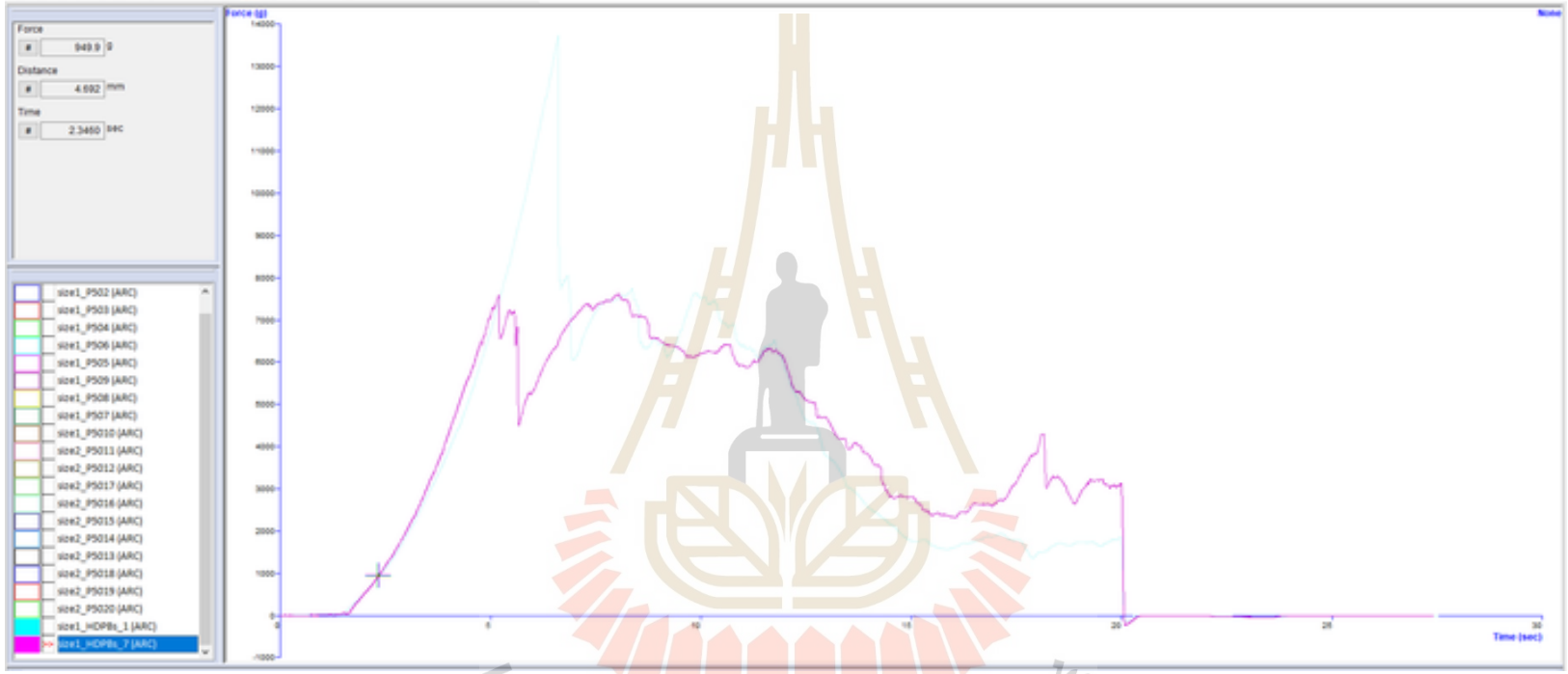


รูปภาคผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงเฉือน (นิวตัน) กับระยะเวลา (วินาที) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไยของลำไยขนาดที่ 1

ผลที่ 1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

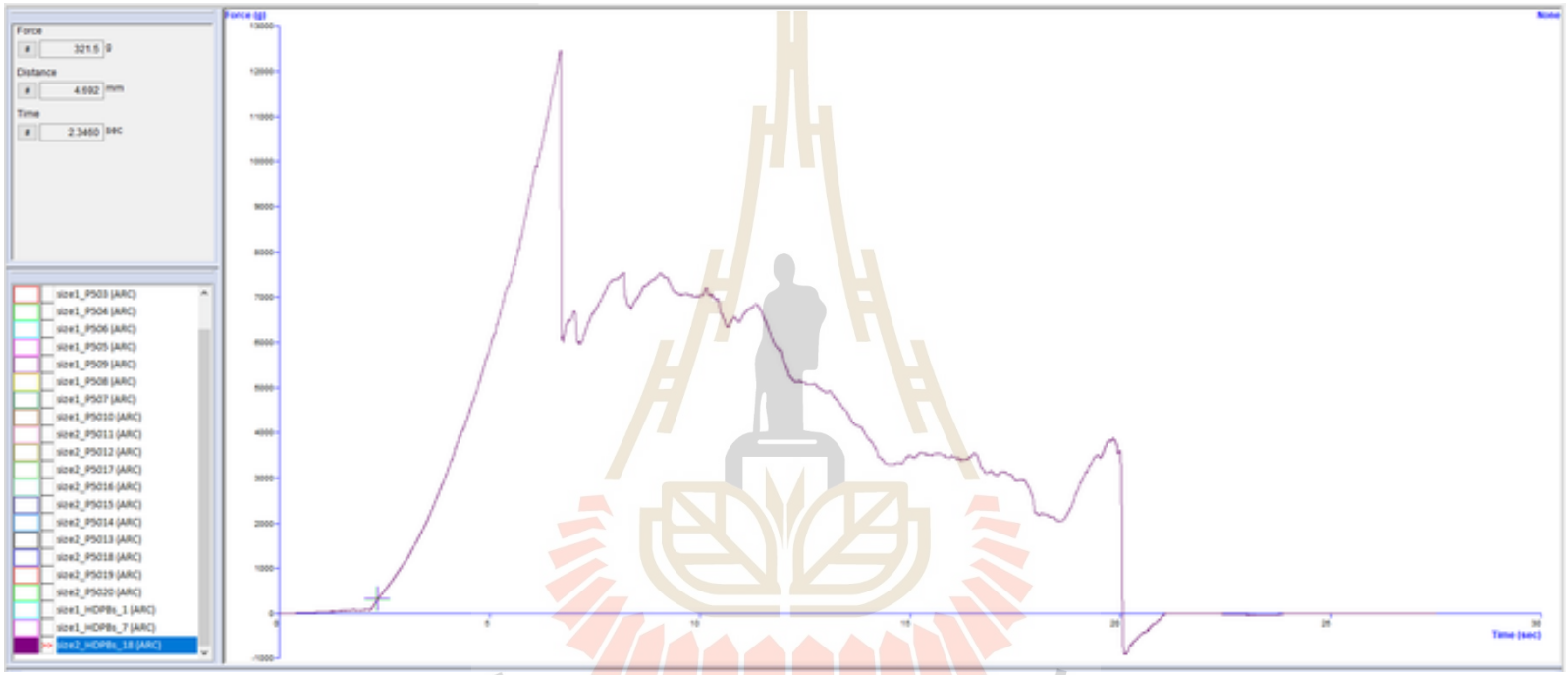
ตัวอย่างรูปสำหรับการทดสอบแรงเฉือน/ แรงตัด(Shear force) ในการตัดลงแต่ละส่วนของผลลำไย เพื่อจำลองการคว้านลำไย



รูปภาคผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงเฉือน (นิวตัน) กับระยะเวลา (วินาที) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไยของลำไยขนาดที่ 1

ผลที่ 6

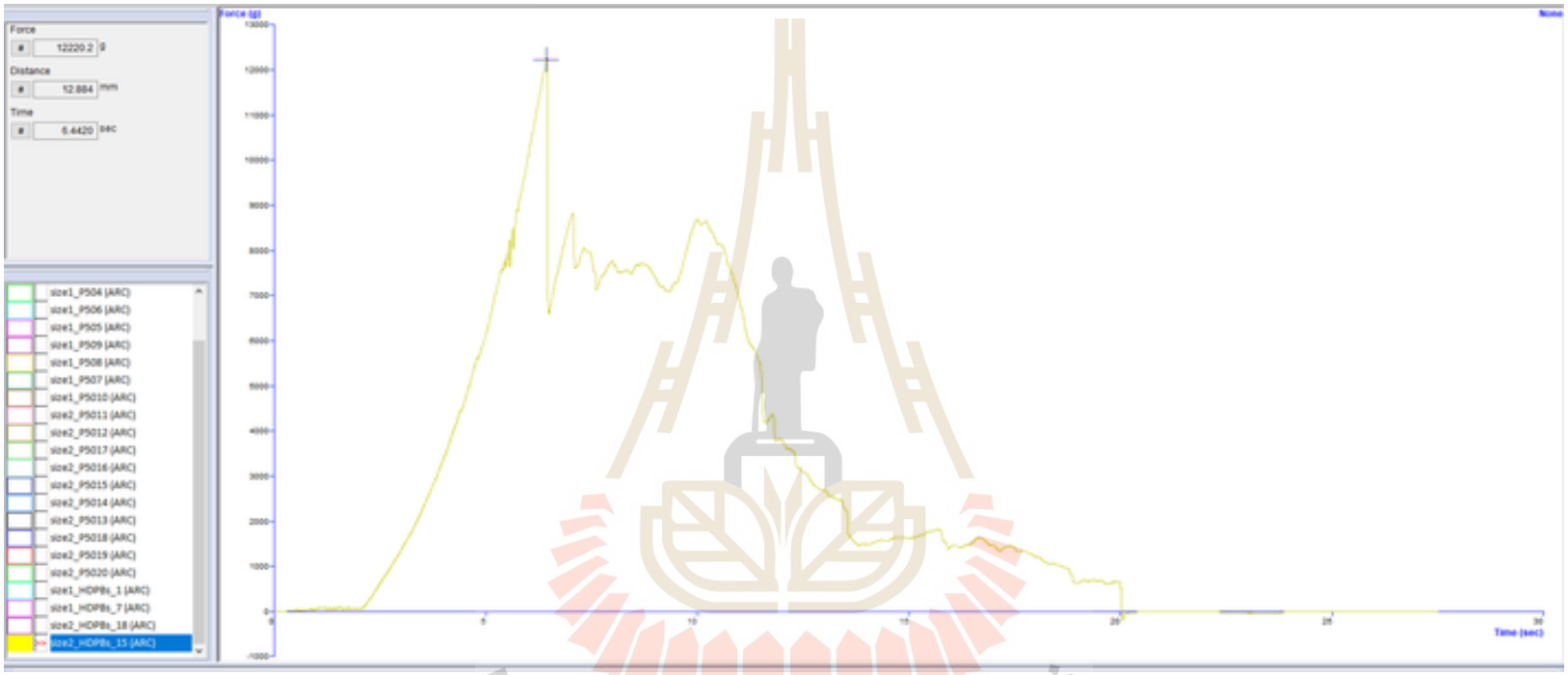
ตัวอย่างรูปสำหรับการทดสอบแรงเฉือน/ แรงตัด(Shear force) ในการตัดลงแต่ละส่วนของผลลำไย เพื่อจำลองการคว้านลำไย



รูปภาคผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงเฉือน (นิวตัน) กับระยะเวลา (วินาที) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไยของลำไยขนาดที่ 2 ผลที่ 5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างรูปสำหรับการทดสอบแรงเฉือน/ แรงตัด(Shear force) ในการตัดลงแต่ละส่วนของผลลำไย เพื่อจำลองการคว้านลำไย



รูปภาคผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงเฉือน (นิวตัน) กับระยะเวลา (วินาที) ในการกดลงแต่ละส่วนของผลลำไยของลำไยขนาดที่ 2 ผลที่ 9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การหาค่าความกลม (Sphericity)

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าความกลมของผลลำไย และเมล็ดลำไย สำหรับขนาด 1 ผลที่ 1 โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง D_{max} D_{min}และHeight ของผลลำไยคือ 28.02 24.57 และ 24.95 mm ตามลำดับ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ D_{max} D_{min} และ Height ของเมล็ดลำไย คือ15.02 12.34 และ14.37 mm ดังตารางภาคผนวกที่ 1

จากสมการ (3.1) $$\text{Sphericity}= \left(\frac{D_{max}\times D_{min}\times H}{D_{max}}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.1)$$

ผลลำไย จะได้ $$\text{ความกลม (Sphericity)}= \left(\frac{28.02\times 24.57\times 24.95}{28.02}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{ความกลม (Sphericity)}= \left(\frac{17,176.86}{28.02}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{ความกลม (Sphericity)}= \left(613.0215\right)^{\frac{1}{3}}$$

ดังนั้น ความกลมของผลลำไยขนาดที่ 1 ผลที่ 1 = 8.49

เมล็ดลำไย จะได้ $$\text{ความกลม (Sphericity)}= \left(\frac{15.02\times 12.34\times 14.37}{15.02}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{ความกลม (Sphericity)}= \left(\frac{2,663.43}{15.02}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{ความกลม (Sphericity)}= \left(177.3258\right)^{\frac{1}{3}}$$

ดังนั้น ความกลมของเมล็ดลำไยขนาดที่ 1 ผลที่ 1 = 5.62

2. การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผลลำไยที่ชั่งในอากาศต่อน้ำหนักผลลำไยที่ชั่งในน้ำ ณ อุณหภูมิ 25°C จากตารางผนวกที่ 15 ลำไยขนาดที่ 1 ผลที่ 1 ได้ผลของการชั่งน้ำหนักของลำไยในอากาศเท่ากับ 13.42 g ผลการชั่งน้ำหนักของน้ำเท่ากับ 617.74 g และน้ำหนักที่นำลำไยไปชั่งรวมกับน้ำเท่ากับ 631.22 g

จากสมการ (3.2) $$SG = \frac{W_d}{W_f} \quad (3.2)$$

โดย น้ำหนักที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำหาได้จาก = น้ำหนักที่นำลำไยไปชั่งรวมกับน้ำ – น้ำหนักของน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จะได้ Weight of displaced water = 631.22– 617.74

Weight of displaced water = 13.48 g

เพราะฉะนั้น $SG = \frac{13.42}{13.48}$

ดังนั้น ค่าความถ่วงจำเพาะลำไยขนาดที่ 1 ผลที่ 1 = 0.9955

3. การหาปริมาณความชื้นของเปลือก เนื้อ และเมล็ดลำไย

จากตารางผนวกที่ 21 ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาปริมาณความชื้นนี้ ในลำไยขนาดที่ 1 ผลที่ 1 จะได้น้ำหนักของเปลือกลำไยก่อน และหลังการอบด้วยตู้อบลมร้อนเท่ากับ 6.57 g และ 1.17 g ตามลำดับ น้ำหนักของเนื้อลำไยก่อน และหลังการอบด้วยตู้อบลมร้อนเท่ากับ 1.33 g และ 0.55 g ตามลำดับ และน้ำหนักของเมล็ดลำไยก่อน และหลังการอบด้วยตู้อบลมร้อนเท่ากับ 1.46 g และ 0.9 g ตามลำดับ

จากสมการ (3.3) $$\%M_d = \frac{(w-d)}{d} \times 100 \quad (3.3)$$

จะได้ สำหรับปริมาณความชื้นเปลือกลำไย

$$\%M_d = \frac{(6.57-1.17)}{1.17} \times 100$$

$$\%M_d = 461.54$$

สำหรับปริมาณความชื้นเนื้อลำไย

$$\%M_d = \frac{(1.33-0.55)}{0.55} \times 100$$

$$\%M_d = 141.82$$

และสำหรับปริมาณความชื้นเมล็ดลำไย

$$\%M_d = \frac{(1.46-0.9)}{0.9} \times 100$$

$$\%M_d = 62.22$$

ดังนั้น ค่าความชื้นเปลือก เนื้อ และเมล็ดของลำไยขนาดที่ 1 ผลที่ 1 คือ 461.54, 141.82 และ 62.22 %

4. การหาค่าความเร็วของกลไกต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ

เนื่องจากในการปรับความเร็วจะทำการปรับที่วาล์วความดัน เป็น 4, 8 และ 12 รอบ จึงต้องทำการแปลงค่าให้เป็นหน่วยสากล เมื่อทำการคำนวณหาความเร็วกลไกของหัวคว้าน ได้ดังนี้

จากสมการ $$V = \frac{S}{T}$$

โดยที่ V = ความเร็วของกลไก (m/s)

S = ระยะชักของกระบอกสูบลมนิวแมติก (m)

T = ระยะเวลาที่ใช้ใน 1 ระยะการชักของกระบอกสูบ(s)

ระยะชักของกระบอกสูบลมนิวแมติกของกลไกการคว้านเท่ากับ 110 mm=0.11m

ระยะเวลาที่ใช้ใน 1 ระยะการชักของกระบอกสูบ เท่ากับ 0.647 s

จะได้ $$V = \frac{0.11}{0.647}$$

ดังนั้น ความเร็วกลไกของหัวคว้านคือ V= 0.17 m/s

5. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อลำไยที่ได้เทียบกับน้ำหนักลำไยทั้งหมด

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เนื้อลำไยที่ได้เทียบกับน้ำหนักของเนื้อลำไยทั้งหมด โดยนำข้อมูลคะแนนจากตารางผนวกที่ 39 ยกตัวอย่างเช่น สำหรับลำไยขนาดที่ 1 น้ำหนักของเนื้อลำไยที่ได้จากการทดสอบอย่างต่อเนื่อง โดยการประเมินผลคะแนนเท่ากับ 4 เป็น 3.48 kg และสัดส่วนน้ำหนักของเนื้อลำไยทั้งหมด 6.2888 kg

จากสมการ $$\%\text{Efficiency of flesh longan} = \frac{\sum(\text{Weight of longan flesh})}{\sum(\text{Total Weight of fruit})} \times 100$$

จะได้ $$\%\text{Efficiency of flesh longan} = \frac{3.48}{6.2888} \times 100$$

ดังนั้น ลำไยขนาดที่ 1 เนื้อลำไยที่สมบูรณ์ (คะแนน = 4)

$$\%\text{Efficiency of flesh fruit} = 15.86\%$$

6. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ โดยนำข้อมูลคะแนนจากตารางผนวกที่ 39

ยกตัวอย่างเช่น ลำไยขนาดที่ 1 ได้ผลรวมของน้ำหนักเนื้อลำไยที่ได้จากการทดสอบต่อเนื่อง โดยการประเมินผลคะแนนเท่ากับ 3 และ 4 เป็น 4.36 kg และสัดส่วนน้ำหนักของเนื้อลำไยทั้งหมดเท่ากับ 6.2888 kg

จากสมการ (3.5)

$$\%\text{Efficiency of Prototype} = \frac{\sum(\text{Weight of flesh score 3 and 4})}{\sum(\text{Weight of Longan})} \times 100 \qquad (3.5)$$

จะได้ $$\%\text{Efficiency of Prototype} = \frac{4.36}{6.2888} \times 100$$

ดังนั้น การทดสอบต่อเนื่องของลำไยขนาดที่ 1 ที่ได้เนื้อที่สมบูรณ์นำไปแปรรูปได้ (คะแนน = 3 และ 4)

$$\%\text{Efficiency of prototype} = 69.33\%$$

7. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการคว้านได้

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพประสิทธิภาพของการคว้านได้โดยนำข้อมูลคะแนนจากตารางผนวกที่ 39

สำหรับลำไยขนาดที่ 1 การคว้านได้คือ การประเมินที่ระดับคะแนน 2 3 และ 4 ซึ่งเมื่อรวมน้ำหนักจะได้ผลรวมของน้ำหนักเนื้อลำไยเท่ากับ 4.72 kg และสัดส่วนน้ำหนักของเนื้อลำไยทั้งหมด เท่ากับ 6.2888 kg

จากสมการ (3.4)

$$\%\text{Efficiency of removing} = \frac{\sum(\text{Weight of flesh score 2 3 and 4})}{\sum(\text{Weight of Longan})} \times 100 \qquad (3.4)$$

จะได้ $$\%\text{Efficiency of removing} = \frac{4.72}{6.2888} \times 100$$

ดังนั้น การทดสอบต่อเนื่องของลำไยขนาดที่ 1 ที่ได้เนื้อที่สมบูรณ์นำไปแปรรูปได้ (คะแนน = 3 และ 4)

$$\%\text{Efficiency of prototype} = 75.05\%$$

8. ความเสียหายเชิงน้ำหนักต่อผลลำไย

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทำงานของเครื่องต้นแบบ จากข้อมูลในตารางผนวกที่ 39 ลำไยที่ใช้ในการทดสอบอย่างต่อเนื่องในขนาดที่ 1 เท่ากับ 10 kg และเนื้อลำไยที่ได้ทั้งหมด คือ 5.61 kg มีความเสียหาย หรือคะแนนระดับที่ 1 (ไม่สามารถคว้านเมล็ดออกได้) เท่ากับ 0.89 kg

จากสมการ (3.6) $$\text{Loss percentage} = \frac{\text{Weight of lossed flesh}}{\text{Weight of longan flesh}} \times 100 \qquad (3.6)$$

จะได้ $$\text{Loss percentage} = \frac{0.89}{5.61} \times 100$$

ดังนั้น การทดสอบต่อเนื่องลำไยขนาด 1 จะได้ความเสียหายเชิงน้ำหนักต่อผลลำไย

Loss percentage = 15.86%

9. การวิเคราะห์หาอัตราการทำงานของเครื่องต้นแบบ

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทำงานของเครื่องต้นแบบ จากข้อมูลตารางผนวกที่ 40 ลำไยที่ใช้ในการทดสอบอย่างต่อเนื่องในขนาดที่ 1 เท่ากับ 10 kg

ใช้เวลาในการทำงานเป็น 31.54 second = $\frac{31.54}{60}$ =0.52567 hour

จากสมการ (3.7) $$\text{Capacity}\left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}}\right)=\frac{\text{Quantity}}{\text{Time}} \quad (3.7)$$

จะได้ $$\text{Capacity} = \frac{10\ \text{kg}}{0.52567\ \text{h}}$$

ดังนั้น การทดสอบต่อเนื่องลำไยขนาด 1 จะได้อัตราการทำงาน

Capacity = 19.02 kg/h

10. การวิเคราะห์หาความสิ้นเปลืองพลังงาน

ใช้ตัวอย่างการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงาน จากข้อมูลในตารางผนวกที่ 40 ลำไยที่ใช้ในการทดสอบอย่างต่อเนื่องในขนาดที่ 1 เท่ากับ 10 kg ใช้พลังงานที่ได้จากการวัดด้วยกิโลวัตต์มิเตอร์ โดยการอ่านมิเตอร์ไฟฟ้าเท่ากับ 0.23 kWh.

จากสมการ (3.8) $$\text{Energy Consumption}\left(\frac{\text{kg}}{\text{kW.hr}}\right)=\frac{\text{Weight of Longan}}{\text{Electric energy}} \quad (3.8)$$

จะได้ $$\text{Energy consumption} = \frac{10\ \text{kg}}{0.23\ \text{kWh}}$$

ดังนั้น การทดสอบต่อเนื่องลำไยขนาด 1 จะได้อัตราการทำงาน

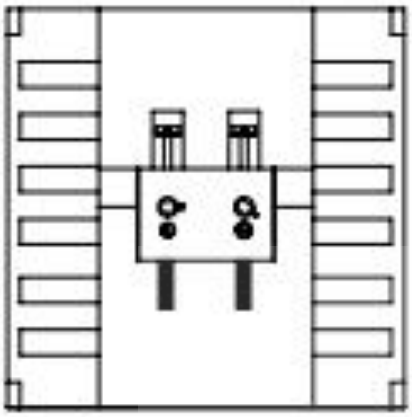
Energy consumption = 43.48 kg/kWh

ภาคผนวก ง

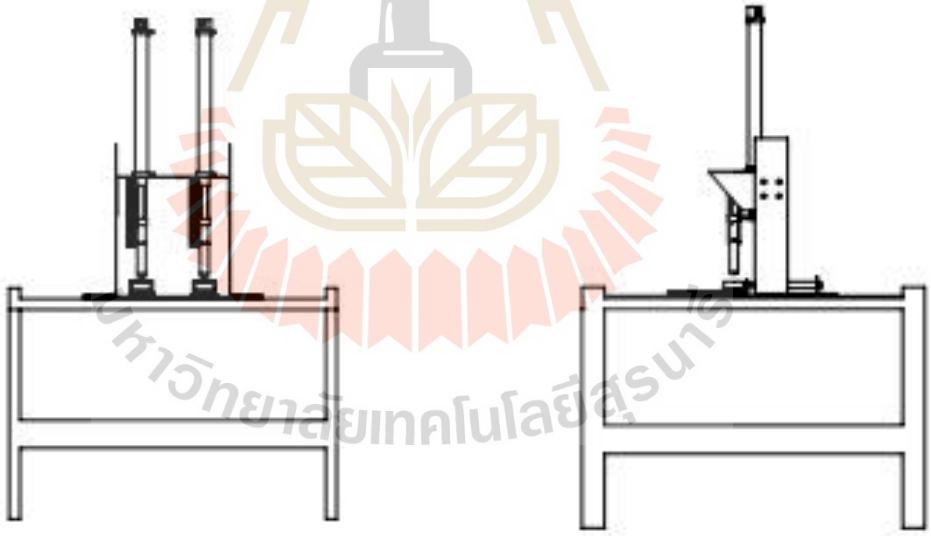
แบบเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติโดยระบบนิวแมติก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แบบเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้ระบบนิวแมติก



Top view

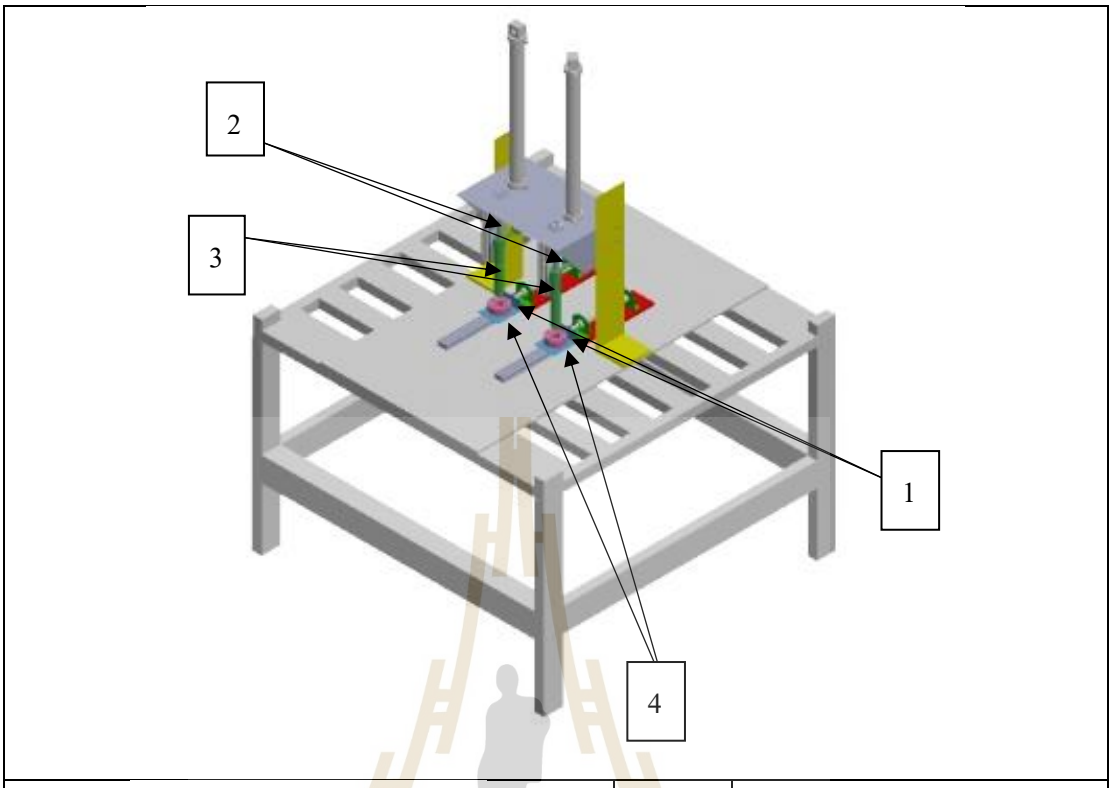


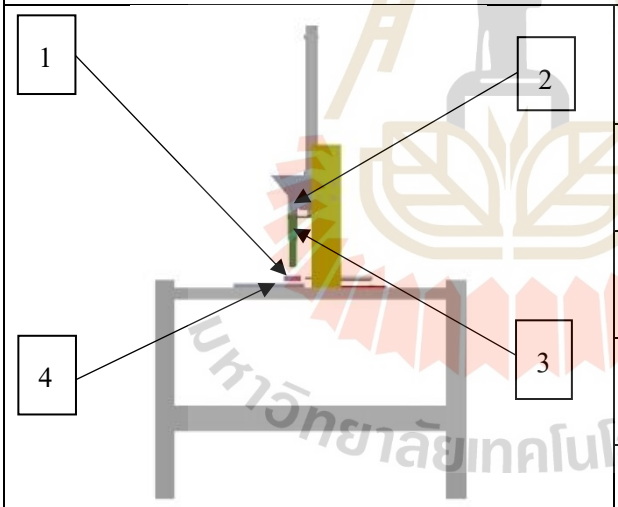
Front View

Right Side View

รูปภาคผนวกที่ 1 แบบเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้ระบบนิวแมติก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



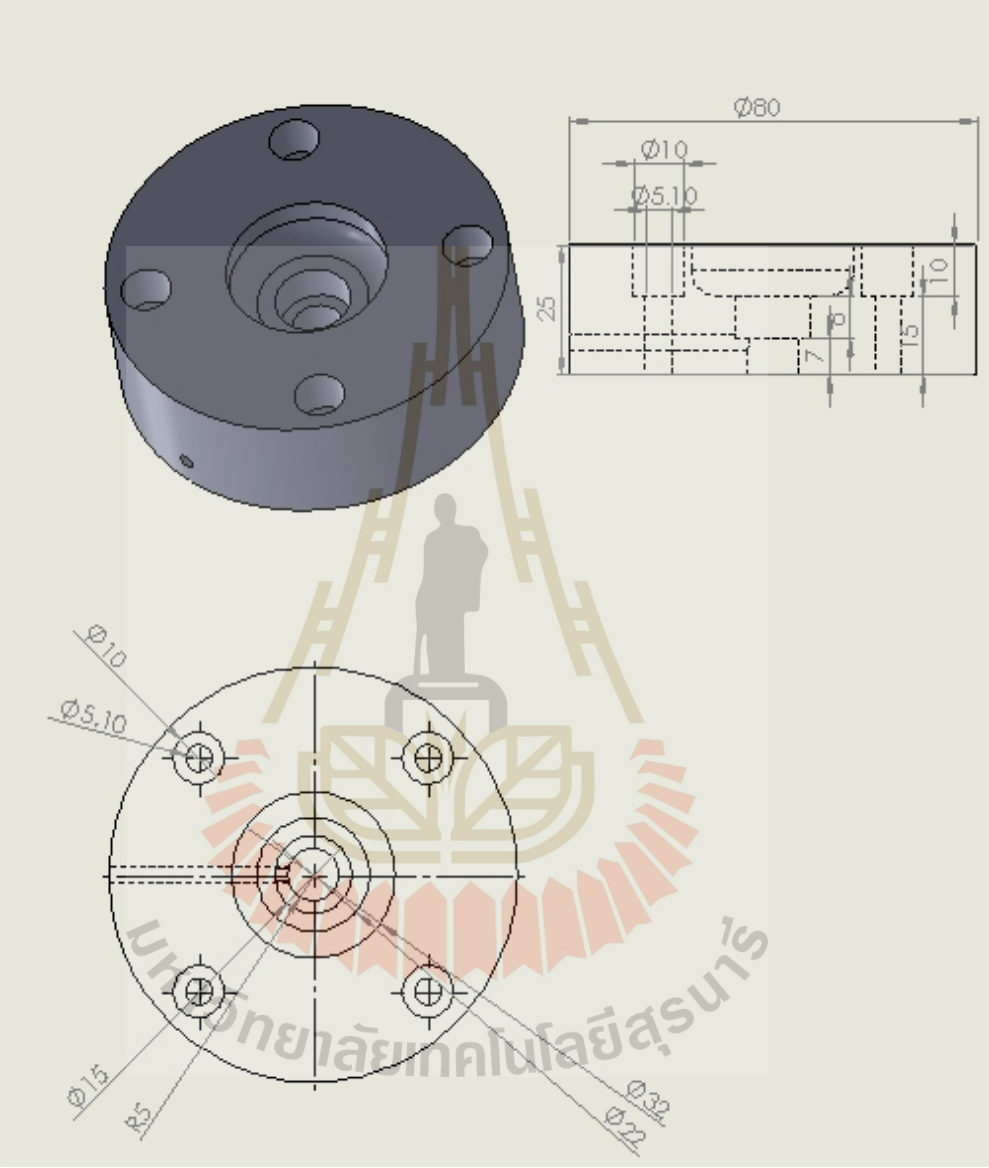


ITEM No.	Description
1	กลไกการป้อนผลลำไย
2	กลไกการกระทุ้ง
3	กลไกการคว้านเมล็ดลำไย
4	กลไกสำหรับนำผลลำไยออก

รูปภาคผนวกที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องคว้านเมล็ดลำไยแบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้ระบบนิวแมติก

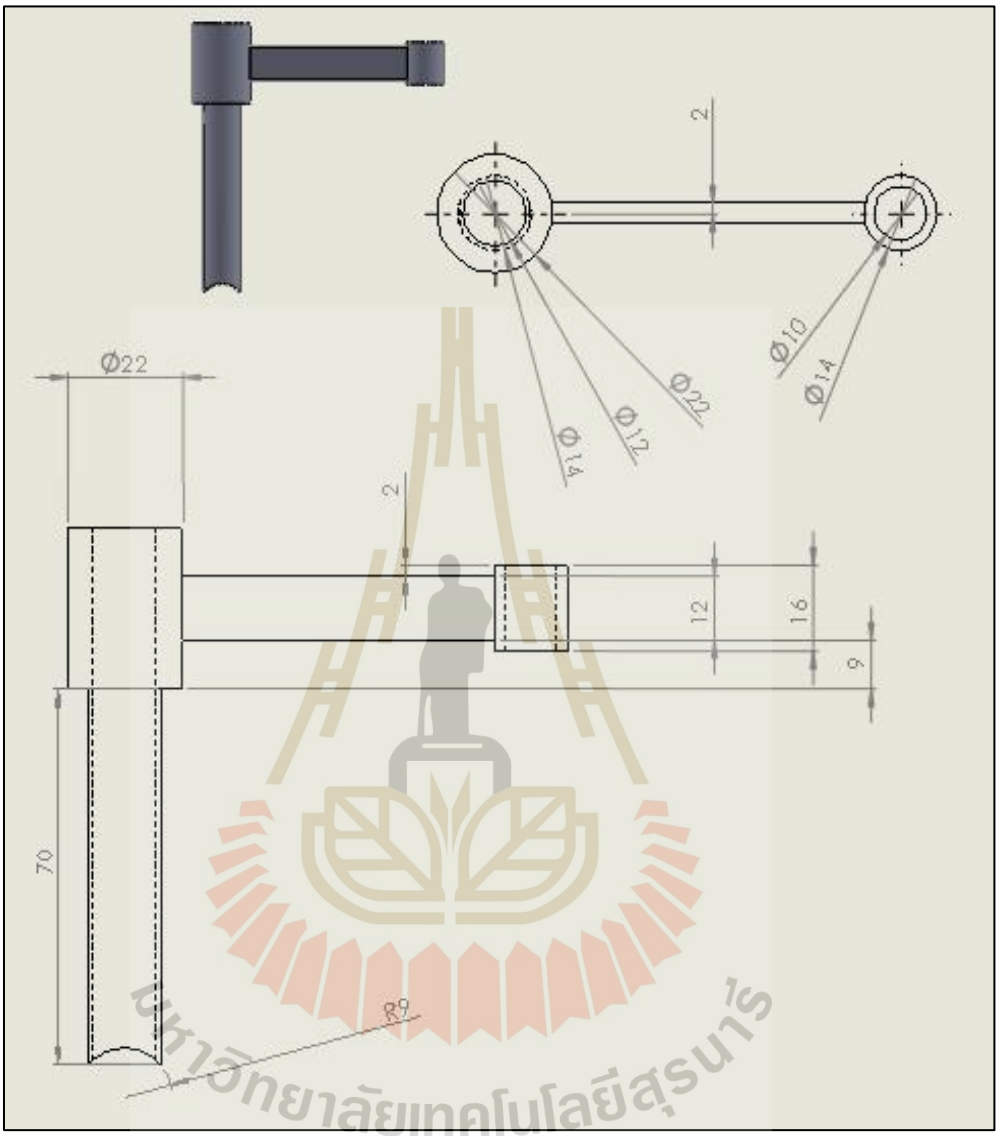
รายละเอียดของแบบงานสำหรับกลไกต่าง ๆ ประกอบด้วย

1.กลไกการป้อนผลลำไย (Feed Mechanism)

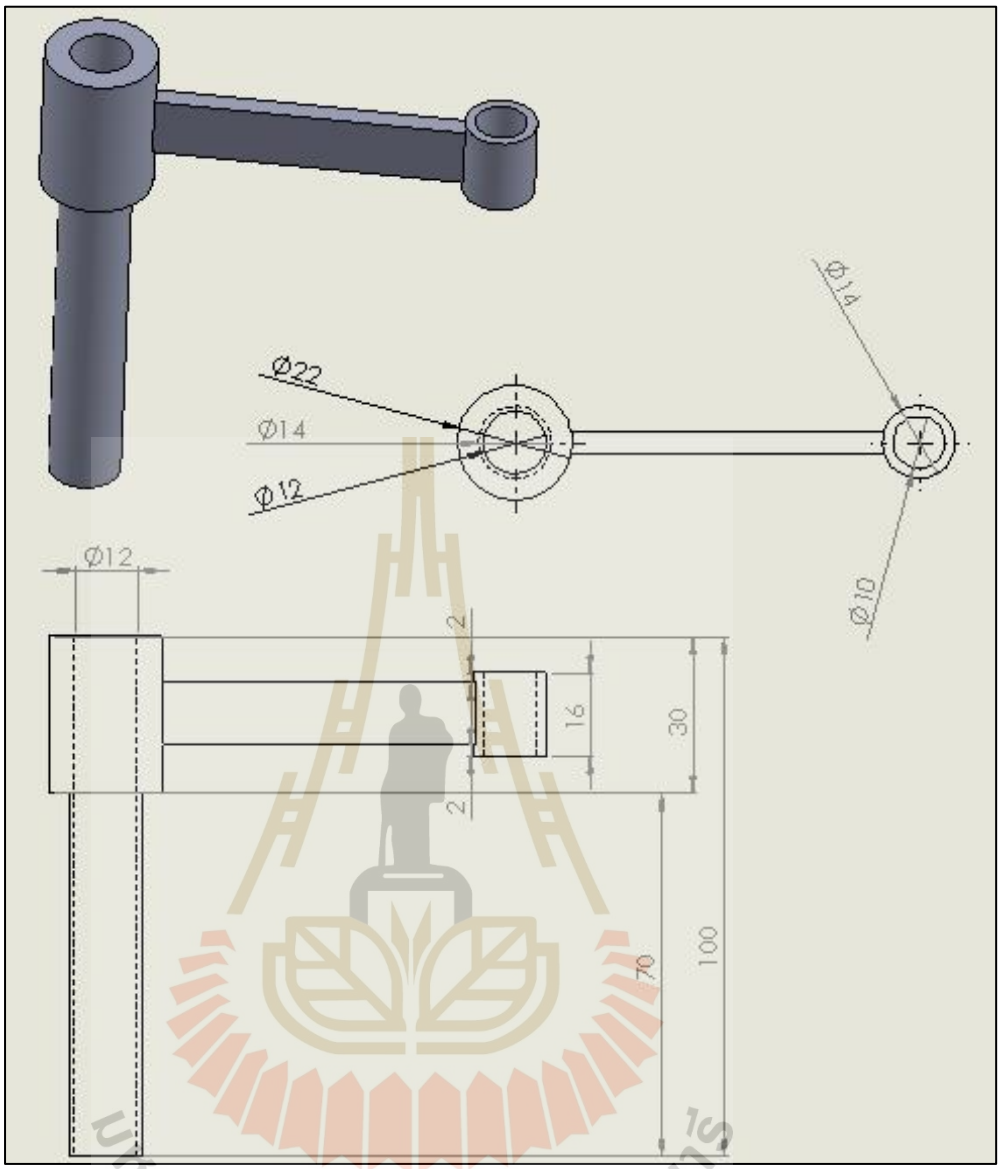


รูปภาคผนวกที่ 3 เบ้ารองรับผลลำไยของกลไกการป้อนผลลำไยขนาดที่ 1 และ 2

2.กลไกนำผลลำไยออก (Fruit Removing Mechanism)

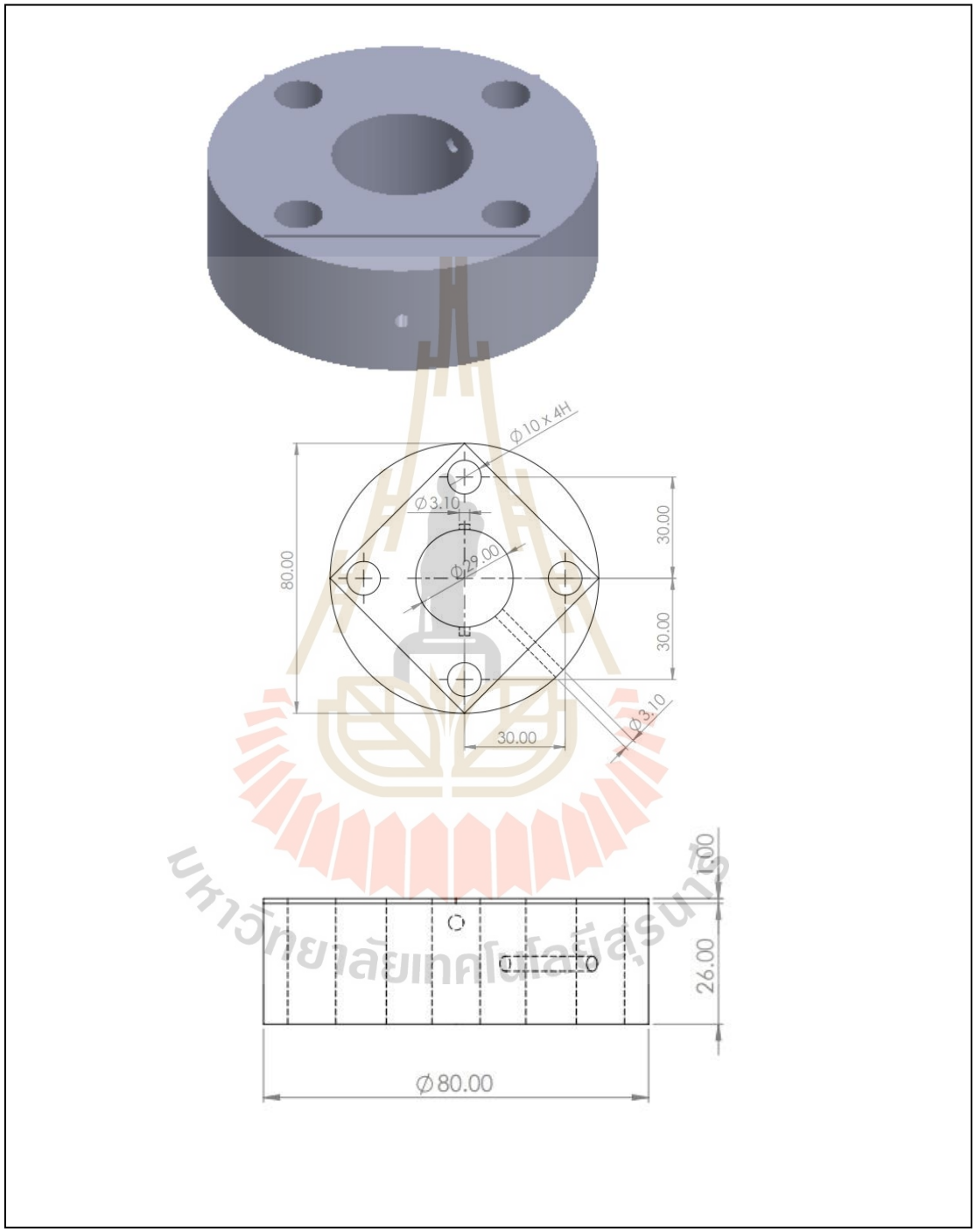


รูปภาคผนวกที่ 4 หัวคว้านลำไยแบบปากฉลามของกลไกคว้านเมล็ดลำไยสำหรับลำไยขนาด 1 และ 2

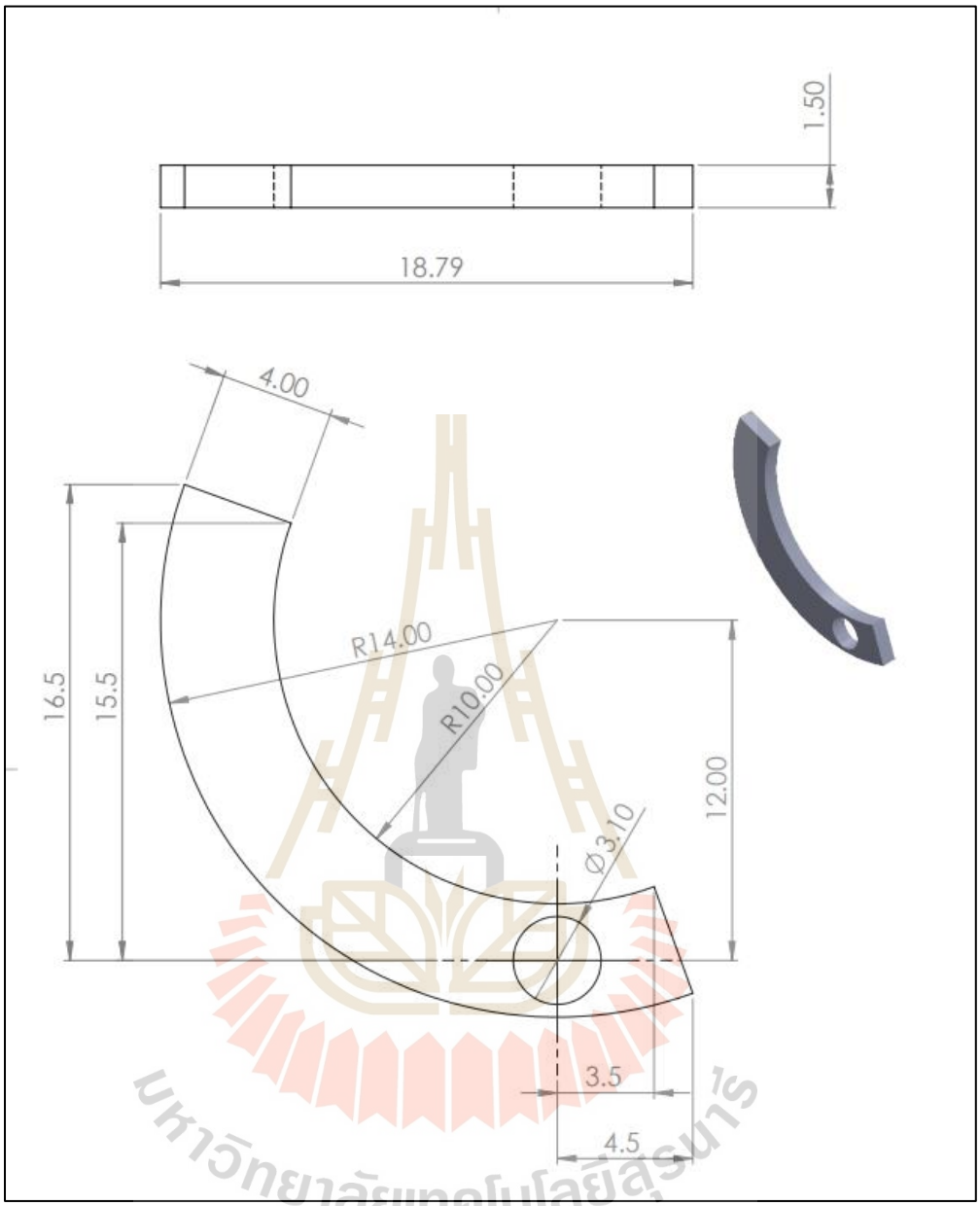


รูปภาคผนวกที่ 5 หัวคว้านลำไยแบบปากตรงของกลไกคว้านเมล็ดลำไยสำหรับลำไยขนาด 1 และ 2

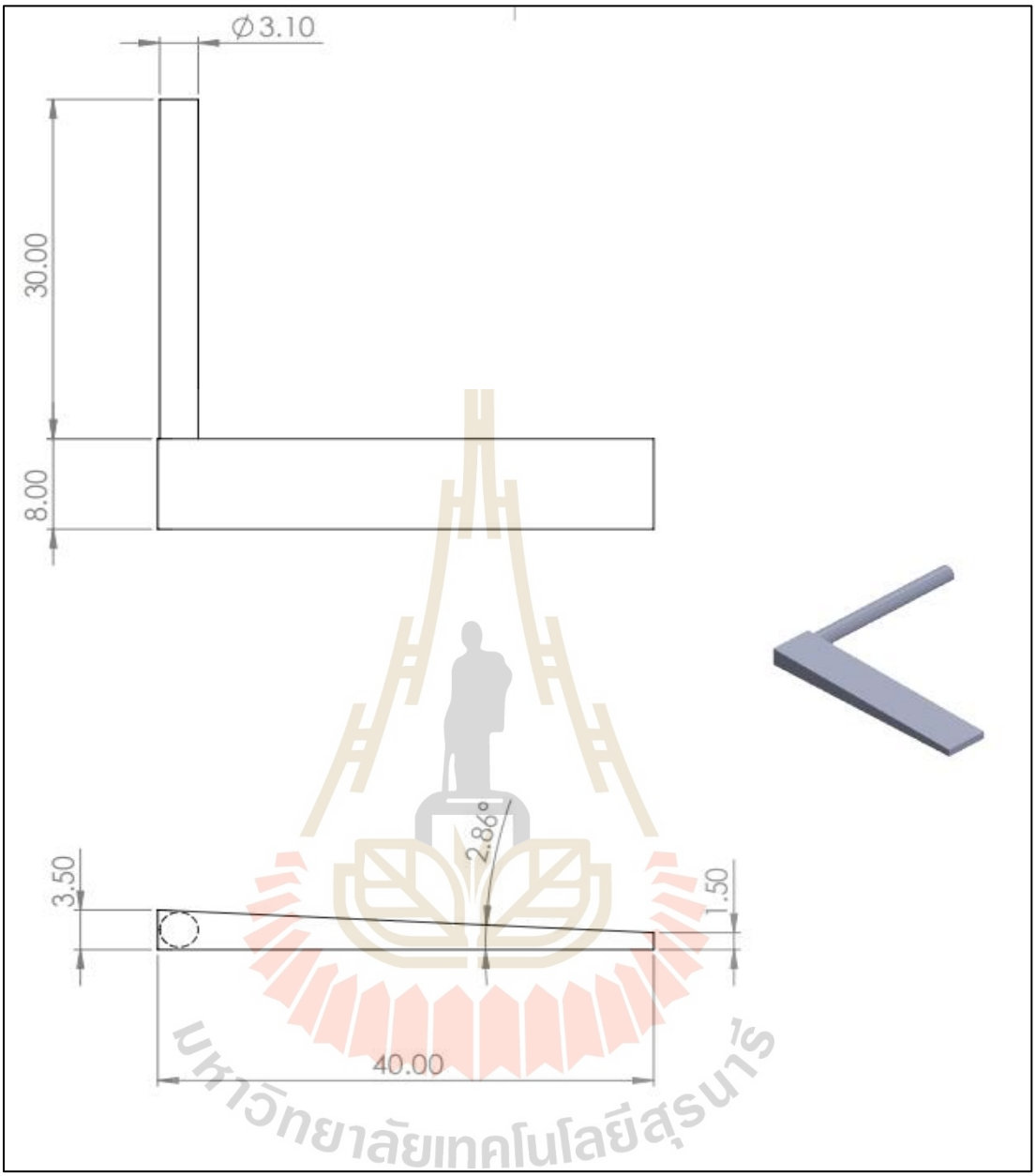
4. กลไกการนำผลลำไยออก



รูปภาคผนวกที่ 6 เบ้ารองลำไยของกลไกการนำผลลำไยออก

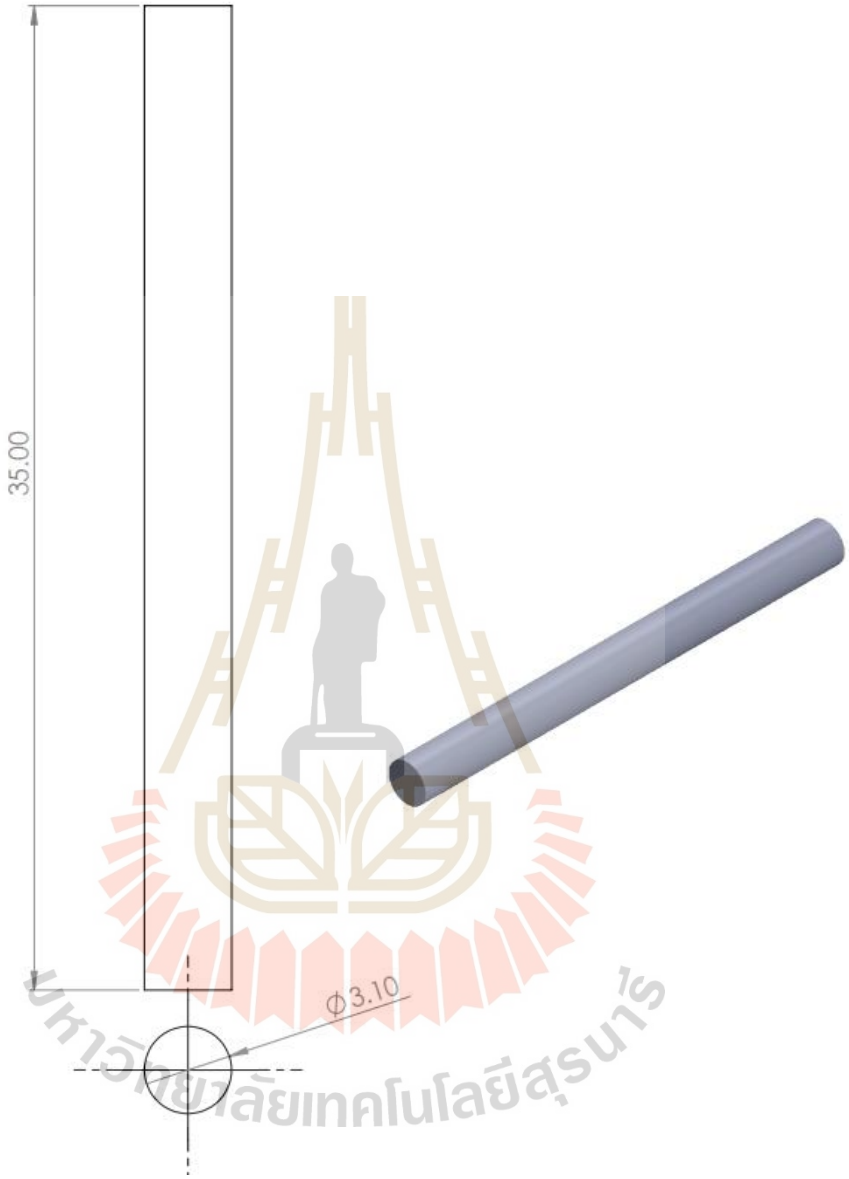


รูปภาคผนวกที่ 7 ตัวหนีบผลลำไยของกลไกการนำผลลำไยออก



รูปภาคผนวกที่ 8 สลักของกลไกการนำผลออกที่ติดตั้งกับเบ้ารองลำไย

5. กลไกการกระทุ้งเมล็ดลำไย



รูปภาคผนวกที่ 9 ก้านกระทุ้งเมล็ดลำไยออกจากหัวคว้านลำไย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างการศึกษา

สินีนาฏ ตุลยธำรงกิจ, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, และกระวี ตรีอำนรรค. (2561). **สมบัติทางกายภาพของลำไยพันธุ์อีดอที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยว.** การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20. โรงแรมฮาร์ดร็อค พัทยา จังหวัดชลบุรี. วันที่ 13-15 มีนาคม 2562. จำนวน 7 หน้า.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 13-15 มีนาคม 2562
ณ โรงแรมฮาร์ดร็อค พัทยา จังหวัดชลบุรี
Available online at www.tsae.asia

สมบัติทางกายภาพของผลลำไยพันธุ์อีดอที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยว

Physical properties of Edor longan fruit on affect to postharvest machinery design

สินีนาฏ ตุลยธำรงกิจ[1]*, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค[1], กระวี ตรีอำนรรค[2]

Sineenat Tulyathamrongkit[1]*, Tawarat Treeamnuk [1], Krawee Treeamnuk [2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

[1] School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

[2] School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

*Corresponding author: Tel: +66-6-1941-9164, E-mail: yai_lol@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลลำไยพันธุ์อีดอซึ่งมีผลต่อการออกแบบและประเมินสมรรถนะเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ ค่าความสูง (H) เส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) และเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย(D_{min}) ของผลก่อนปอกเปลือกและเมล็ด ค่าน้ำหนักผลก่อนปอกเปลือก เนื้อ เปลือกและเมล็ด ค่าความหนาของเนื้อและเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ มุมกลิ้งของผลลำไยบนพื้นผิวเรียบประเภท แผ่นไม้ เหล็กกล้าไร้สนิม กัลวาไนซ์และเหล็ก ค่าความชื้น ของเนื้อ เปลือก และเมล็ด โดยทำการแบ่งผลลำไยออกเป็น 6 ขนาด คือ 1 2 3 4 5 และ 6 โดยเรียงจากขนาดใหญ่ไปเล็ก ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ทำการทดลองที่ขนาดละ 50 ผล ผลจากการศึกษาพบว่าค่า H, D_{max}, D_{min} และน้ำหนักของผลลำไยก่อนปอกเปลือก เนื้อและเมล็ด มีค่าลดลงตามตัวเลขขนาดของลำไยที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความหนาเนื้อและเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่ามุมกลิ้ง มีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยไม่ขึ้นกับขนาดของผลลำไย สำหรับค่าความชื้นพบว่าความชื้นของเนื้อมีค่าสูงสุด รองมาคือ เปลือก และเมล็ด ตามลำดับ ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบและประเมินสมรรถนะเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยวลำไยพันธุ์อีดอต่อไป

คำสำคัญ: ลำไย, สมบัติทางกายภาพ, เครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยว

Abstract

This research aims to study the physical properties of Edor longan fruit that affect to design and performance evaluation of postharvest machinery. The 50 fruits of each longan grade (1, 2 ,3 ,4 ,5, and 6 according to TAFS 1-2003 longans) were used to study physical properties such as the dimension of longan fruit i.e. height (H), the large diameter (D_{max}) and the minimum diameter (D_{min}) of fruit and seed, the weight of whole fruit, flesh, shell and seed, the thickness of the flesh and shell, specific gravity, the rolling angle of fruit on a flat surface i.e. wood, stainless-steel, galvanized steel, steel and the moisture of the flesh, shell and seed. The results shown that H, D_{max},D_{min} of fruit and seed, weight of the fruit, flesh, shell, and seed are decrease when grade number increase. The thickness of flesh and shell, specific gravity, rolling angle do not have relations with grade. The moisture content of flesh is the highest and seed is the lowest, these data can be used to design and performance evaluation of postharvest machinery.

Keywords: Edor longan, Physical properties, Postharvest machinery.

1 บทนำ

ลำไยเป็นผลไม้ทางเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ ที่มีการส่งออกทั้งในรูปผลสดและแปรรูป โดยมีปริมาณการส่งออกโดยเฉลี่ย ในปี 2559 อยู่ที่ 458 ล้านกิโลกรัม รวมมูลค่าทั้งสิ้น 10,353 ล้านบาท ซึ่งจัดว่ามีปริมาณการส่งออกมากเป็นอันดับ 1 ของประเทศในกลุ่มของผลไม้ (Service group exporting agricultural products, 2016) ลำไยที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่หลายพันธุ์โดยสายพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากคือสายพันธุ์ดอหรืออีดอ เนื่องจากเจริญเติบโตได้ดี และทนทานต่อสภาพแวดล้อม (Office of Agricultural Extension and Development, 2010)

ลำไยในไทย มีผลผลิตในปี 2559 เท่ากับ 0.76 ล้านตัน ในปี 2560 เท่ากับ 1.02 ล้านตันและในปี 2561 เท่ากับ 1.06 ล้านตัน ผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี เนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนมาผลิตลำไยนอกฤดูเพิ่มขึ้น ประกอบกับสภาพภูมิอากาศที่เอื้ออำนวย (Office of Agricultural Economics, 2018) ตามหลักการทางเศรษฐศาสตร์หากผลผลิตสูงขึ้น ราคาก็จะยิ่งตกต่ำ ส่งผลให้เกษตรกรและผู้ผลิตลำไยประสบกับภาวะขาดทุน เนื่องจากลำไยล้นตลาด

เมื่อผลผลิตลำไยสดมีมากจึงจำเป็นต้องทำการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า และยังเป็นการถนอมรักษาก่อนที่ลำไยจะเกิดการเสียหายหรือเน่าเสียขึ้นซึ่งจากรายงานของ Jiang et al.(2002) ได้รายงานว่าผลลำไยสดหากเก็บไว้ที่สภาพบรรยากาศปกติจะมีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 3-4 วัน จึงจำเป็นต้องแปรรูปก่อนเน่าเสีย โดยผลิตภัณฑ์แปรรูปลำไยที่พบเห็นโดยทั่วไป ได้แก่ ลำไยอบแห้งทั้งผล ลำไยกระป๋อง ผงน้ำลำไย และเนื้อลำไยอบแห้ง เป็นต้น การแปรรูปลำไยจึงมีความสำคัญมากขึ้นในภาวะที่ลำไยล้นตลาด ในการทำลำไยแปรรูปดังกล่าวมีขั้นตอนอยู่หลายขั้นตั้งแต่ทำการเก็บเกี่ยว การคัดขนาด ไปจนถึง ขั้นตอนการคว้านเมล็ด จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือเครื่องจักรเข้ามาช่วย โดยเครื่องจักรที่นำมาใช้กับลำไยได้แก่ เครื่องเก็บเกี่ยวผลลำไย เครื่องคัดขนาดลำไย เครื่องคว้านเมล็ดลำไย (Trecamnuk et al., 2014) เป็นต้น ซึ่งในการออกแบบเครื่องจักรกลหรืออุปกรณ์การเกษตรมาทำงานแทนคน จำเป็นที่จะต้องรู้จักสมบัติทางกายภาพผลิตผลก่อนการออกแบบสร้างเครื่องจักรกลที่จะทำงานกับผลิตผลเกษตรนั้น (Jarimopas, 2002) ดังนั้นเพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยวลำไย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลลำไย โดยศึกษากับผลลำไยพันธุ์อีดอ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากในประเทศไทย

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ลำไย

ศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลลำไยพันธุ์อีดอ จากตลาดสุรนคร อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา อยู่ในสภาพเดียวกัน เก็บเกี่ยวช่วงเดือน สิงหาคม-กันยายน ซื้อในลักษณะเป็นช่อแล้วนำมาคัดขนาดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ซึ่งคัดขนาดลำไยได้ 6 ขนาด ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช 1 -2546 (The National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2003) และทำการทดลองขนาดละ 50 ผล

2.2 การวัดขนาด

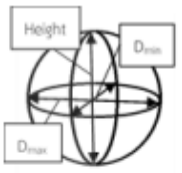


Figure 1. Dimensions of longan.

ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลลำไยมีมิติของผลลำไย และเมล็ดลำไยที่ต้องวัดดังนี้

2.2.1 <u>ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไยทั้ง 3 แกน</u>

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 แกน ที่ตั้งฉากกัน ได้แก่ ผลก่อนปอกเปลือก ผลหลังปอกเปลือก และเมล็ด ประกอบด้วย ความสูง (Height) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย(D_{min}) (ดังแสดงใน Figure 1) ทำการวัดโดยใช้อุปกรณ์เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล ความแม่นยำ ±0.01mm (Figure 2)

Figure 2. Measurement of the dimension of longan by using a digital caliper.

ค่ามิติสามารถนำไปหาค่าความกลม(Sphericity) ได้โดยใช้สมการที่ 1 (Mohsenin,1986)

$$Sphericity = \frac{(D_{max} x D_{min} x H)^{\frac{1}{3}}}{D_{max}} \quad (1)$$

2.2.2 <u>ความหนา</u>

วัดความหนาของเนื้อที่ทำการคว้านเมล็ดออกแล้วและเปลือกของผลลำไย โดยใช้อุปกรณ์เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล

2.3 น้ำหนักของผลลำไย

ทำการศึกษาน้ำหนักของลำไยพันธุ์อีดอที่มีผลต่อการออกแบบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักร ได้แก่ น้ำหนักผลก่อนปอกเปลือก ผลหลังปอกเปลือก เนื้อผลลำไย เมล็ด และเปลือก โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius, BSA3202S-CW ผลิตจากประเทศ Germany ความละเอียด ±0.01

2.4 ความถ่วงจำเพาะ (SG)

Figure 3. Weighing in water for specific gravity Measurement.

หาค่าความถ่วงจำเพาะโดยวิธีการแทนที่น้ำโดยการชั่งน้ำหนักผลลำไยในอากาศแล้วขั้นที่กค่า จากนั้นทำการจุ่มลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำดังแสดงใน Figure 3 อ่านค่ามวลของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยผลลำไยแล้วนำมาคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะโดยใช้สมการที่ 2 (Jarimopas, 2002) ดังนี้

$$SG = \frac{W_a}{W_f} \quad (2)$$

SG คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ

W_a คือ น้ำหนักของผลลำไยที่ชั่งในอากาศ

W_f คือ น้ำหนักของผลลำไยที่ชั่งในน้ำ

2.5 มุมกลิ้ง

หามุมกลิ้งของผลลำไยพันธุ์อีดอ โดยทดสอบกับวัสดุผิวราบทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นไม้ เหล็กกล้าไร้สนิม กัลวาไนซ์ และ เหล็ก ทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ดังแสดงใน Figure 4 โดยใช้ลำไยขนาดละ 50 ผล ทดสอบ 3 ซ้ำ

Figure 4. Rolling test.

2.6 การหาปริมาณความชื้นของผลลำไยพันธุ์อีดอ

สุ่มเลือกผลลำไยพันธุ์อีดอ ที่ใช้ในการทดสอบขนาดละ 5 ผล โดยแยกเปลือก เนื้อ และเมล็ด โดยใช้มีดคว้าน ทำการชั่งน้ำหนักเปลือกเนื้อและเมล็ด ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius, รุ่น BSA224S -CW ความแม่นยำ ±0.0001g ประเทศ Germany แล้ว นำไปอบในตู้อบลมร้อน ยี่ห้อFRANCE ETUVES รุ่น XU058 ประเทศฝรั่งเศส ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 72 h (AOAC,1995) อ้างถึงโดย Kansaard et al. (2018) จากนั้นนำไปพักไว้ใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก ทำการคำนวณค่าความชื้น ด้วยสมการ (3)

$$\%M_d = \frac{W - d}{d} \times 100 \quad (3)$$

$\%M_d$ คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง

W คือ มวลก่อนนำเข้าตู้อบลมร้อน (g)

d คือ มวลหลังออกจากตู้อบลมร้อน (g)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการหาขนาดต่าง ๆ ของผลลำไยพันธุ์อีดอ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 แกนที่ตั้งฉากของผลลำไยพันธุ์อีดอทั้ง 6 ขนาด ได้แก่ ผลก่อนปอกเปลือก ผลหลังปอกเปลือกและเมล็ด ซึ่งขนาดของผลก่อนปอกเปลือกมีความสูงเฉลี่ย (Height) เท่ากับ 25.85, 24.49, 24.03, 23.54, 22.69 และ 21.32 mm. ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) เท่ากับ 28.91, 27.48, 26.50, 25.49, 24.53 และ 23.11 mm. ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) เท่ากับ 25.80, 24.71, 24.30, 23.60, 22.73 และ 21.31 mm. ซึ่งพบว่าขนาดมิติของผลลำไยทั้งเปลือกมีแนวโน้มลดลงเมื่อตัวเลขขนาดมากขึ้น ดังแสดงใน Figure 5 นั่นคือเมื่อตัวเลขขนาดมากขึ้นผลลำไยจะมีขนาดเล็กลง สำหรับขนาดของผลหลังปอกเปลือกพบว่ามีค่าความสูงเฉลี่ย (Height) เท่ากับ 20.32, 18.98, 18.13, 17.20, 16.08 และ 15.03 mm. ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) เท่ากับ 25.09, 23.18, 22.00, 20.14, 18.52 และ 17.09 mm. ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) เท่ากับ 20.97, 19.81, 19.00, 17.27, 15.94 และ 14.54 mm. ดัง Figure 6 ขนาดของเมล็ดมีความสูงเฉลี่ย (Height) เท่ากับ 13.46, 13.11, 12.52, 11.94, 11.69 และ 10.98 mm. ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) เท่ากับ 14.29, 13.95, 13.55, 12.85, 12.55 และ 11.76 mm. ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) เท่ากับ 11.52, 11.26, 11.11, 10.39, 10.17 และ 9.53 mm. ดัง Figure7

Table 1. Dimensions and Sphericity index of longan.

Grade	Diameter (mm.)			
	D_{max}	D_{min}	H	Sphericity
Grade 1	28.91	25.80	25.85	0.93
Grade 2	27.48	24.71	24.49	0.93
Grade 3	26.50	24.30	24.03	0.94
Grade 4	25.49	23.60	23.54	0.95
Grade 5	24.53	22.73	22.69	0.95
Grade 6	23.11	21.31	21.32	0.95

ลักษณะผลก่อนปอกเปลือกและหลังจากปอกเปลือกมีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของความสูง (Height) ใกล้เคียงกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min}) และมีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ที่มากที่สุด ลำไยจึงมีลักษณะทรงแป้น ซึ่งมีค่าความกลม(sphericity) ดังแสดงในTable 1 เท่ากับ 0.93,0.93,0.94,0.95,0.95 และ0.95 ตามลำดับ รูปร่างลำไยยิ่งเล็กลง ส่งผลให้ค่าความกลมมีค่ามากขึ้น

ในทางกลับกันลักษณะของเมล็ดลำไย มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max}) ใกล้เคียงกับ ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของความสูง (Height) แต่ ค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางค่าน้อย (D_{min})เป็นค่าที่น้อยที่สุด เมล็ดจึงมีลักษณะค่อนข้างกลม (Wilhelm et al., 2005)

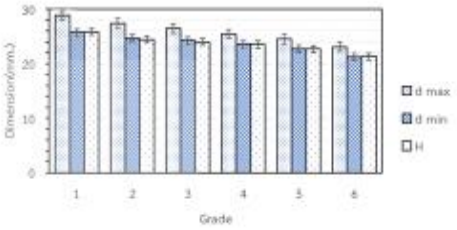


Figure 5. Dimensions of whole longan fruit.

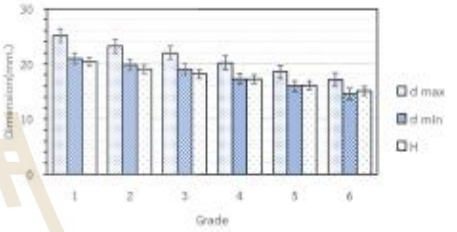


Figure 6. Dimensions of longan without shell.

ผลการศึกษาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดลำไยพันธุ์อีดอขนาดต่าง ๆ พบว่ามิติของเมล็ดลำไยมีการเปลี่ยนแปลงตามขนาดผลที่แบ่งเป็นเกรดต่าง ๆ ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติดัง แสดงใน Figure 7

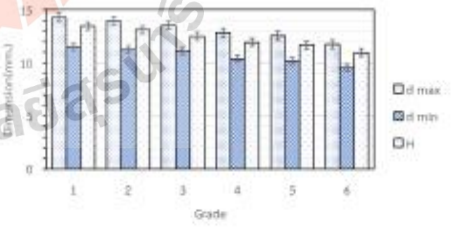


Figure 7. Dimensions of longan seed.

สำหรับขนาดมิติของเมล็ดลำไยนั้นสามารถนำไปใช้เพื่อการพัฒนาออกแบบหัวคว้านเมล็ดลำไยสำหรับเครื่องจักรหรือเครื่องมือช่วยในการคว้านเมล็ด ซึ่งเนื้อลำไย

ที่ผ่านการนำเมล็ดออกแล้วสามารถนำมาใช้ต่อยอดในอุตสาหกรรมลำไยกระป๋อง หรือเนื้อลำไยอบแห้งต่อไปได้ เมื่อพิจารณาเฉพาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดแล้ว พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก (D_{max})และค่าน้อย (D_{min}) ของเมล็ดลำไย ซึ่งในการออกแบบหัวคว้านเมล็ด จะใช้ ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่ามาก(D_{max}) เป็นหลัก ซึ่งได้ค่าเท่ากับ 14.29 mm. (Table 2) ซึ่งจะสามารถนำไปออกแบบหัวคว้านเมล็ดลำไยต่อไป

Table 2. Dimensions and Sphericity index of longan seed.

Grade	Diameter (mm.)			
	D_{max}	D_{min}	H	Sphericity
Grade 1	14.29	11.52	13.46	0.91
Grade 2	13.95	11.26	13.11	0.91
Grade 3	13.55	11.11	12.51	0.91
Grade 4	12.85	10.39	11.94	0.91
Grade 5	12.55	10.17	11.69	0.91
Grade 6	11.76	9.54	10.98	0.91

สำหรับค่าความหนาของเนื้อลำไยทั้ง 6 ขนาด มีค่าเฉลี่ยความหนาของเนื้อของลำไย เท่ากับ 3.07 ±0.74, 2.89± 0.58, 3.03±0.53, 3.38±0.70, 2.63±0.74 และ 2.01±0.75mm. ส่วนค่าเฉลี่ยความหนาของเปลือกลำไย มีค่าเท่ากับ 0.75 ±0.20, 0.80±0 . 17, 0.96±0 . 18, 0.90±0 . 15, 0.81±0 . 12 และ 0.84±0.14mm. ซึ่งค่าความหนาของเนื้อและเปลือกมีผลต่อแรงที่ใช้ในการคว้านทำให้ขาด ซึ่งถ้าหนามากจะต้องใช้แรงมาก นอกจากนี้ความหนาของเปลือกและเนื้อยังมีผลต่อระยะการกรีดและความลึกของใบมีด ที่ใช้ในการกรีดเปลือกและคว้านเนื้อเพื่อแยกเมล็ดออก ผลจากการศึกษาพบว่าความหนาเปลือกไม่ขึ้นอยู่กับขนาดตามเกรดนั่นคือความหนาไม่มีความแตกต่างกันต่างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ความหนาของเนื้อขนาดที่ 1, 2, 3 และ 4 มีขนาดที่หนากว่าเนื้อลำไย ขนาดที่ 5และ 6 อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แสดงว่าแรงที่ใช้ในการคว้านที่เปลือกไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อถึงเนื้อ แรงที่ใช้ในการคว้านของขนาดที่ 1-4 มีมากกว่า แรงที่ใช้คว้านในขนาดที่ 5-6

Table 3. The thickness of flesh and shell of longan.

Grade	Thickness (mm.)	
	flesh	shell
Grade 1	3.07 ±0.74^{a}	0.75 ±0.20^{c}
Grade 2	2.89±0.58^{a}	0.80±0.17^{c}
Grade 3	3.03±0.53^{a}	0.96±0.18^{c}
Grade 4	3.38±0.70^{a}	0.90±0.15^{c}
Grade 5	2.63±0.74^{b}	0.81±0.12^{c}
Grade 6	2.01±0.75^{b}	0.84±0.14^{c}

Note: - Each value shown in the table was an average of triplicates ± standard deviation

- a-c in the same column with different superscripts mean that the data are significantly different ($P < 0.05$)

3.2 น้ำหนักของผลลำไย

น้ำหนักของลำไยพันธุ์อีดอ ทั้ง 6 ขนาด ได้แก่ น้ำหนักผลก่อนปอกเปลือกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.52, 9.87, 9.21, 8.36, 7.38และ 6.21 g น้ำหนักผลหลังปอกเปลือก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.19, 7.95, 7.25, 6.58, 5.75 และ 4.66 g น้ำหนักเนื้อผลลำไยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.38, 5.23, 4.45, 4.22, 3.48 และ 2.60 g น้ำหนักเมล็ด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.49, 1.40, 1.32, 1.23, 1.16 และ 1.00 g น้ำหนักเปลือกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.12, 1.65, 1.69, 1.60, 1.46 และ 1.25 g ซึ่งการใช้มิดในการคว้านหาน้ำหนักส่วนประกอบต่าง ๆ ของลำไยเป็นวิธีมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพและมีความประณีต ค่าน้ำหนักของเนื้อ เปลือก และเมล็ดของลำไยสามารถใช้เพื่อที่เป็นเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องจักรหรือเครื่องมือสำหรับการคว้านเมล็ดลำไยได้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักของผลลำไยเทียบกับขนาดมิติของผลลำไยพบว่าน้ำหนักมีความสัมพันธ์กับขนาดของลำไย โดยแนวโน้มไปทางเดียวกันคือลำไยที่ผลโตกว่า (ขนาด 1) จะมีน้ำหนักมากผลที่มีขนาดเล็กกว่า (ขนาด 6) ดังแสดงใน Figure 8

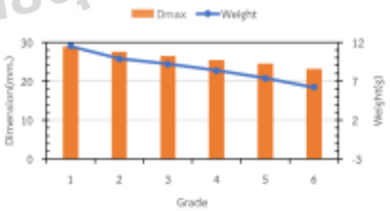


Figure 8. The relationship between the weight and size of longan fruit.

3.3 ค่าความถ่วงจำเพาะ

ค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของผลลำไย(Specific Gravity ,SG) ทั้ง 6 ขนาด มีค่าเท่ากับ 0.97±0.15 ข้อมูลใน Table 4 แสดงว่าลำไยมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำส่งผลให้ลำไยอยู่ในระดับลอยปริ่ม น้ำ และค่าความถ่วงจำเพาะบ่งบอกถึงความแก่ของผลลำไย ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของผลลำไย

Table 4. Specific gravity of longan and ratio of flesh per hole fruit and flesh per seed longan.

Grade	Specific Gravity, SG	flesh per hole fruit	flesh per seed longan
Grade 1	1.02±0.23	0.55	4.29
Grade 2	0.95±0.05	0.53	3.72
Grade 3	0.97±0.05	0.48	3.37
Grade 4	0.96±0.08	0.50	3.43
Grade 5	0.90±0.15	0.47	3.01
Grade 6	1.03±0.32	0.42	2.60

Note: - Each value shown in the table was an average of triplicates ± standard deviation

3.4 มุมกลิ้ง

ผลการศึกษามุมกลิ้งของผลลำไยเฉลี่ยทั้ง 6 ขนาดที่ได้จากการนำไปทดสอบกับวัสดุผิวเรียบประเภท แผ่นไม้ เหล็กกล้าไร้สนิม กัลวาไนซ์ และเหล็ก คือ 6.72°, 7.29°, 7.58° และ 6.87° ตามลำดับ (Table 5) ซึ่งไม่ขึ้นกับขนาดของผล วัสดุผิวเรียบประเภทแผ่นไม้และเหล็ก มีมุมกลิ้งใกล้เคียงกัน วัสดุประเภทกัลวาไนซ์มีมุมกลิ้งที่มากที่สุด และค่ามุมกลิ้งของเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ระหว่าง กัลวาไนซ์และแผ่นไม้กับเหล็ก มุมกลิ้งที่มีค่าสูงหมายถึงมีแรงเสียดทานมาก ซึ่งลำไยทั้ง 6 ขนาดสามารถกลิ้งได้ดีในทุกสภาพพื้นผิว แต่ในสายการผลิตอาหารนิยมใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้าไร้สนิม หรือ สแตนเลส (Stainless) เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือ ความแข็งแรง ความทนทาน และต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง จึงไม่เป็นสนิม ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดและเกลือที่มีอยู่ในอาหาร รวมทั้งเหล็กกล้าไร้สนิม ยังทนความร้อน ความเย็น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดี ง่ายต่อการดูแลรักษาและทำความสะอาด

Table 5. Angle of rolling affect on different kinds of materials.

Grade	Friction			
	Wood (°)	Stainless (°)	Galvanize steel (°)	Steel (°)
Grade 1	5.85±2.36	7.28±2.81	8.57±2.09	8.57±1.98
Grade 2	6.09±1.99	6.45±1.82	6.01±1.40	6.31±1.85
Grade 3	5.90±1.77	6.26±1.80	5.90±1.45	5.77±1.55
Grade 4	7.72±1.55	8.79±1.44	9.58±1.53	5.83±1.40
Grade 5	7.89±1.41	7.37±1.59	8.13±1.54	7.27±1.39
Grade 6	6.88±1.48	7.57±1.54	7.32±1.34	7.43±1.46

Note: - Each value shown in the table was an average of triplicates ± standard deviation

3.5 ผลการศึกษาปริมาณความชื้น

ผลการศึกษาเพื่อหาปริมาณความชื้น พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของลำไยทั้ง 6 ขนาด ของเนื้อมีค่า 469.80± 22.07%db. ความชื้นเปลือกมีค่า 138.80± 11.71%db. และความชื้นเมล็ดลำไยมีค่า 75.69±16.05%db. ซึ่งจากการศึกษาเห็นได้ชัดว่าปริมาณความชื้นของเนื้อลำไย มีมากกว่า ปริมาณความชื้นที่เปลือก และ ปริมาณความชื้นที่เมล็ด ตามลำดับ (Figure 9) ความชื้นของเปลือก มีผลต่อการปอกเปลือก หรือการกดผ่านเปลือกในกรณีที่ของหัวค้าน ซึ่งเปลือกที่มีความชื้นสูงสามารถปอกเปลือกได้ดีกว่า (Rakthawangworg and Pichaithong, 2015)

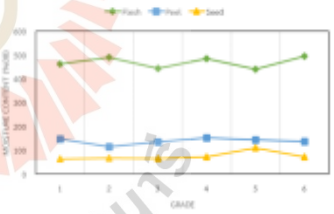


Figure 9. Moisture content of flesh, shell and seed of longan.

4 สรุป

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของลำไยพันธุ์อีดอ โดยการแบ่งขนาดเป็น 6 ขนาด ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช 1 -2546 (ลำไย) สมบัติทางกายภาพของประกอบด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลและเมล็ดลำไยทั้ง 3 แกน ทั้งก่อนและหลังปอกเปลือก

น้ำหนักของลำไยก่อนปอกเปลือกและหลังปอกเปลือกมีความสัมพันธ์กับขนาด ส่วนความหนาของเนื้อและเปลือก ความถ่วงจำเพาะ และมุมกลิ้งไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของลำไย โดยมุมกลิ้งจะขึ้นอยู่กับพื้นผิววัสดุแผ่นราบ ค่าความชื้นของเนื้อลำไยสดโดยเฉลี่ย 469.80±22.07%db. เปลือกลำไย 138.80±11.71%db. และเมล็ด 75.69± 16.05%db. ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

Jarimopas B. 2002. Physical properties of agricultural products 1: theory. Department of agricultural engineering. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, 150p. (In Thai)

Jiang, Y., Zhang Z., Joyce, D. C., Ketsa, S. 2002. Postharvest biology and handling of longan fruit (Dimocarpus longan Lour.). Postharvest Biology and Technology 26: 241–252.

Kansaard N., Khruakaew A., Seasong P., Sa-adchom P. 2018.Effect of hot air velocity on preserved tomatoes drying using combined conveyor system and hot air.RMUTP Research Jounal.,Vol 12,No.1, January-June.

Mohsenin, N. N., 1986. Physical properties of plant and animal materials.2ndGorgen and Breach,Science Publishers: reviced 891pp

Treeamnuk, K., Tangli, S., Neatsawang, W., Treeamnuk, T. 2014. Testing and Evaluation of Semi-automatic Longan Seed Removing Machine. Agricultural Sci. J. 45: 3/1 (Suppl.): 317-320. (In thai)

Office of Agricultural Extension and Development. 2010. Varieties of longan. Available at: http://www.ndoae.doae.go.th/article2010/longan/longan_intro.html. Accessed on 6 December 2018.

Office of Agricultural Economics. 2018. The production schedule of longan in Thailand from 2015 to 2017. Available at: http://aginfo.oae.go.th. Accessed on 6 December 2018.

Rakthawangworg J. and Pichaithong N. 2015. Development of mechanical mechanism for rambutan peeled by 5-link mechanism. The Agricultural Engineering Project, Department of Agricultural Engineering. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus. 73p. (In Thai)

Service group exporting agricultural products. 2016. Data export fresh fruit (list type) to go abroad. In 2016. (only the phytosanitary certificate). Available at: http://www.doa.go.th. Accessed on 20 September 2018.

Soonthornkijpanich S., Kaewrueng S., Sayasoonthorn S. 2015. Some Physical Properties of Rambutan for Designing Rambutan Seed Remover. Agricultural Sci. J. 46: 3/1 (Suppl.): 501-504. (In Thai)

The National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2003.: Longans. Thai Agricultural Commodity and Food Standard TACFS 1-2003, 6p. (In Thai)

Wilhelm, L. R., Suter, D. A., Brusewitz, G. H. 2005. Physical Properties of Food Materials. Chapter 2 in Food & Process Engineering Technology, 23-52. St. Joseph, Michigan: ASAE. © American Society of Agricultural Engineers.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ: นางสาวสินีนาฏ ตุลยธำรงกิจ

วันเกิด: 22 ธันวาคม พ.ศ. 2538

ภูมิลำเนา : 159/227 หมู่ 1 ตำบลไชยมงคล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

ที่อยู่ปัจจุบัน: 159/227 หมู่ 1 ตำบลไชยมงคล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

ประวัติการศึกษา:

- ปี พ.ศ. 2551 สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่โรงเรียนอนุบาลนครราชสีมา จังหวัดนครราสีมา
- ปี พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่โรงเรียนสุรนารีวิทยา จังหวัดนครราชสีมา
- ปี พ.ศ. 2557 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้านครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา
- ปี พ.ศ. 2560 สำเร็จการศึกษา ปริญญาตรี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- ปี พ.ศ. 2561 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

ทุนการศึกษา: ทุนสำหรับนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มีผลการเรียนดี

ผลงานวิจัย

- นำเสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20, 13-15 มีนาคม พ.ศ. 2562, โรงแรมฮาร์ดร็อค พัทยา จังหวัดชลบุรี. สมบัติทางกายภาพของผลลำไยพันธุ์อีดอที่มีผลต่อการออกแบบเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยว