

เครื่องคัดแยกดักแด้โดยอาศัยวิชั่น

A Vision-based Pupa Grading Machine

เกียรติสิน กาญจนานิชกุล,^{1*} ปริชญ์ ชูปวา,² อนันต์ ช่างสี,³ จักรชัย ชินโคตร,⁴ ศิวินทร์ ศรีโลห้อย,⁵
ชนภัทร นวลทูน⁶

Kiattisin Kanjanawanishkul,^{1*} Prarin Chupawa,² Anan Changsri,³ Jakrachai Chinnakotr,⁴
Siwanut Sreelohor,⁵ Thanaphat Nuantoon⁶

บทคัดย่อ

การคัดแยกดักแด้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ สำหรับการทำดักแด้ใหม่อีกรุ่นป้องกัน ในอดีตที่ผ่านมา ดักแด้จะถูกคัดแยกด้วยมือ ซึ่งใช้เวลามากและไม่มีความแน่นอน ดังนั้นเป้าหมายของโครงการวิจัยนี้ คือ การสร้างเครื่องคัดแยกที่สามารถคัดแยกดักแด้เสีย และคัดแยกดักแด้ดีออกเป็น 3 ขนาด คือ เล็ก กลาง และใหญ่ เครื่องคัดแยกที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย ชุดกลไกลำเลียง, ชุดคัดแยก และชุดแมชชีนวิชั่น โดยชุดกลไก จะทำหน้าที่ลำเลียงดักแด้จากภาชนะบรรจุจุกัดแด้ด้วยสายพานเอียงแบบมีสั่น ไปยังตำแหน่งที่ติดตั้งชุดแมชชีนวิชั่น หลังจากชุดแมชชีนวิชั่น ประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ชุดกลไกจะนำดักแด้ตัวดังกล่าวไปจัดเก็บลงในภาชนะที่ตรงกับผลที่ได้จากการประมวลผล ซึ่งได้แก่ ดักแด้ดีขนาดเล็ก ดักแด้ดีขนาดกลาง ดักแด้ดีขนาดใหญ่ และดักแด้เสีย ชุดแมชชีนวิชั่น ประกอบด้วยกล้องเว็บแคม และชุดให้แสง โดยมี Raspberry Pi single board computer ทำหน้าที่ประมวลผลภาพที่ได้ ลักษณะที่สำคัญที่ใช้ในการคัดแยก คือ ขนาดและสีของดักแด้ จากผลการทดลอง เครื่องคัดแยกดักแด้ สามารถคัดแยกดักแด้ได้ 734.4 ตัวต่อชั่วโมง ในขณะที่ความสามารถสูงสุดในการคัดแยก คือ 835.2 ตัวต่อชั่วโมง ดังนั้น คิดเป็น 87.93% เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพสูงสุดในการคัดแยกของเครื่องและความคลาดเคลื่อนในการคัดแยกเฉลี่ย คือ 5.54%

คำสำคัญ: เครื่องคัดแยก ดักแด้ใหม่อีกรุ่น สายพานลำเลียง แมชชีนวิชั่น

Abstract

Pupa sorting is one of the most important steps in canned Eri silkworm manufacturing. Traditionally, pupae have been sorted manually, resulting in time-consuming and inconsistency. Therefore, the aim of this research project is to construct a pupa sorting machine that can sort pupae into bad, small-sized, medium-sized, and large-sized. This machine consists of a sorting and transporting mechanism and a machine vision module. The mechanism transports pupae from a pupa hopper to the location of the machine vision module using an inclined cleated belt conveyor. After the machine vision module completes performing the proposed image processing algorithm, the mechanism takes that pupa to the corresponding container. The machine vision module consists of a webcam and a lighting source. The Raspberry Pi single board computer is used for image processing. The main features extracted in this project are size and color of pupae. The experimental results showed that the actual capacity of the pupa sorting machine was 734.4 pupae/h, while

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ² อาจารย์, ³ นิสิตปริญญาตรี, ^{4,5,6} นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Assistant Professor, ² Lecturer, ³ Undergraduate student, ^{4,5,6} Graduate students Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand, 44150

* Corresponding author: Kiattisin Kanjanawanishkul, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand, 44150, E-mail : kiattisin.k@msu.ac.th

the maximum capacity was 835.2 pupae/h. Thus, the singulation rate was 87.93% compared to the maximum capacity. The average sorting accuracy was 5.54%.

Keywords: A sorting machine, Eri silkworm pupae, conveyor belts, machine vision

บทนำ

หนอนไหมอี่รี (*Samia ricini*) เป็นสปีชีส์ของผีเสื้อกลางคืนป่า นิยมนำมาเลี้ยงเพื่อเอาเส้นไหมมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในขณะที่ ตัวด้กตัวเอง สามารถนำไปใช้ในการบริโภคสำหรับมนุษย์หรือเป็นอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนที่สูง^{1,2} เพื่อพัฒนาด้กด้ใหม่อี่รีเป็นผลิตภัณฑ์เชิงการค้าและเพื่อเก็บรักษาให้ได้นาน วิธีหนึ่งที่ยิยมใช้ คือ การทำด้กด้ด้กป้อง³ คุณภาพของด้กด้ด้ จึงเป็นสิ่งสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะขนาดและสี ซึ่งผู้บริโภคสามารถสัมผัสได้โดยตรง นอกจากนี้ การคัดแยกขนาด ยังช่วยให้การกำหนดระยะเวลาในการทอดและการอบด้กด้ด้ง่ายขึ้น เนื่องจาก ขนาดของด้กด้ด้ที่ต่างกัน จะต้องใช้ระยะเวลาที่ต่างกัน เพื่อรักษาคุณภาพให้ใกล้เคียงกัน ดังนั้น จากการสอบถามกับผู้ผลิต ผู้ผลิตได้กำหนดขนาดด้กด้ด้ ดัง Table 1 โดยแบ่งแยกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ เล็ก กลาง และ ใหญ่ ดังแสดงใน Figure 1 ส่วนด้กด้ด้ที่มีขนาดเล็กเกินไป หรือ มีขนาดใหญ่เกินไป ก็จะถูกคัดออกไป เช่นเดียวกับด้กด้ด้เสีย ดังตัวอย่างด้กด้ด้ ที่แสดงใน Figure 2

ในปัจจุบัน ผู้ผลิตด้กด้ด้กป้อง จะใช้แรงงานคนในการคัดแยก ซึ่งมีข้อเสีย คือ ความถูกต้องในการคัดแยกต่ำและไม่แน่นอน อีกทั้งยังได้ปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น โครงการวิจัยนี้ จึงมีความประสงค์ที่จะสร้างเครื่องคัดแยกด้กด้ด้โดยอาศัยวิชัน ที่สามารถคัดแยกด้กด้ด้เสีย (เกรด 0) และ คัดแยกด้กด้ด้ด้ออกเป็น 3 ขนาด คือ เล็ก (เกรด 1) กลาง (เกรด 2) และ ใหญ่ (เกรด 3) ตาม Table 1

เครื่องคัดแยกด้กด้ด้โดยอาศัยวิชันที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ชุดกลไกลำเลียงและคัดแยก และชุดแมชชีนวิชัน โดยที่ชุดกลไกลำเลียงและคัดแยก ทำหน้าที่ลำเลียงด้กด้ด้จากภาชนะบรรจุด้กด้ด้ด้ด้วยสายพานเอียงแบบมีสัน ไป

ยังตำแหน่งที่ติดตั้งชุดแมชชีนวิชัน หลังจากชุดแมชชีนวิชัน ประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ชุดกลไกจะนำด้กด้ด้ด้กด้ไปจัดเก็บลงในภาชนะที่ตรงกับผลที่ได้จากการประมวลผล ชุดแมชชีนวิชัน ประกอบด้วยกล้องเว็บแคม และชุดให้แสง โดยมี Raspberry Pi single board computer ทำหน้าที่ประมวลผลภาพที่ได้ ลักษณะที่สำคัญที่ใช้ในการคัดแยก คือ ขนาด และสีของด้กด้ด้

Table 1 Pupae graded based on length

Size	Size	Pupa Length (L)
Grade	Description	(mm)
1	Small	20 < L ≤ 24
2	Medium	24 < L ≤ 28
3	Large	28 < L ≤ 32



Figure 1 Pupae with different size, from right to left: size grade 1, 2, and 3, respectively



Figure 2 Pupae considered bad pupae due to a large dark area on the skin

ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับเครื่องคัดแยกโดยใช้กระบวนการประมวลผลภาพเพื่อทำการคัดแยกผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอาหาร ตัวอย่าง เช่น ผลไม้ ผัก เมล็ดธัญพืช และเนื้อ เป็นต้น⁴⁻⁸ แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับเครื่องคัดแยกดังกล่าว ยังมีผู้วิจัยน้อย ตัวอย่างเช่น เกียรติสินและคณะ⁹ พัฒนาเครื่องคัดแยกขนาดดักแด่ โดยประกอบด้วยชุดแมชชีนวิชั่นและชุดกลไกคัดแยก แต่เนื่องจากความเร็วในการคัดแยกไม่สูงมากนักและไม่สามารถคัดแยกดักแด่เสียได้

วิธีการดำเนินงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องคัดแยกดักแด่ ซึ่งประกอบด้วยชุดกลไกลำเลียงและคัดแยก และชุดแมชชีนวิชั่น แผนภาพของอุปกรณ์หลักทั้งหมดแสดงใน Figure 3 และโครงสร้างทั้งหมด ถูกออกแบบดัง Figure 4

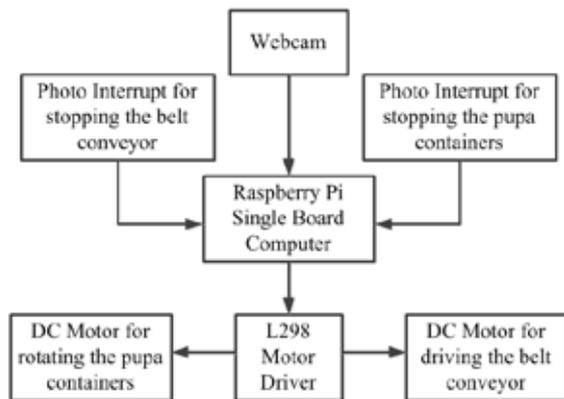
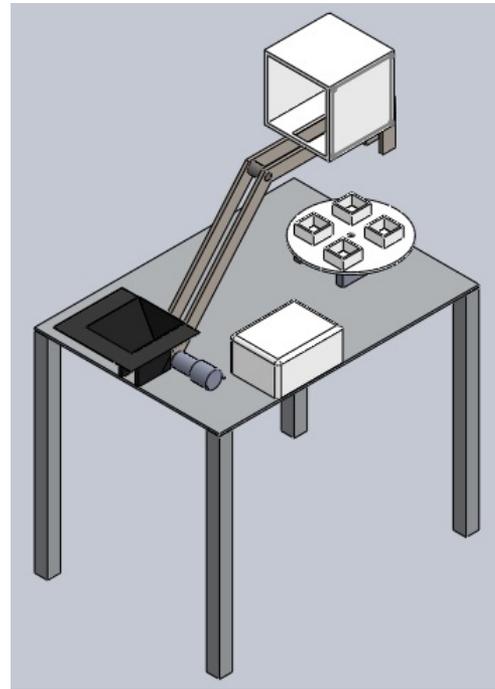
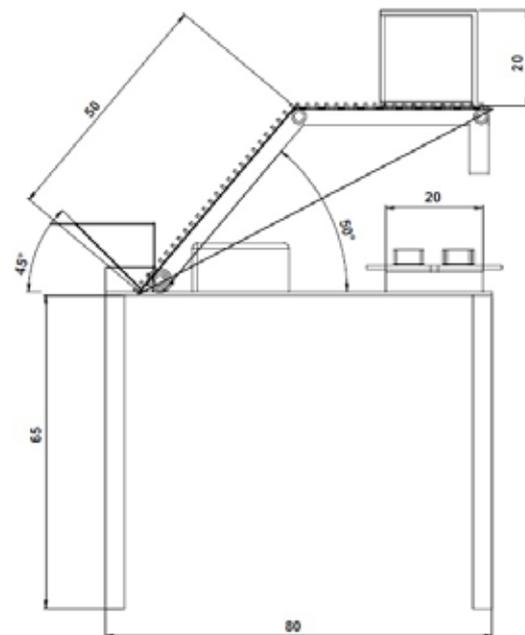


Figure 3 Block diagram of main components



(a)



(b)

Figure 4 Design drawing showing (a) layout of major components and (b) dimension (side view)

เมื่อทำการจัดสร้างจริง เป็นดัง Figure 5 โดยชุดกลไกลำเลียงและคัดแยก ใช้ DC Motor ขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 V ความเร็ว 30 rpm เป็นตัวขับเคลื่อนสายพานลำเลียง



Figure 5 The constructed pupa grading machine

สายพานลำเลียงจะมีการติดตั้งกระบะสีขาว เป็นเส้นทำมุมเอียง 124 องศา มีความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 3.5 เซนติเมตร ดังแสดงใน Figure 6 เพื่อทำหน้าที่ช้อนตักคัดแยกจากภาชนะบรรจุตักแต่ พร้อมทั้งมีส่วนของแผ่นกัน เพื่อไม่ให้มีตักแต่เกิน 1 ตัวในแต่ละกระบะ การเคลื่อนที่ของสายพาน จะเคลื่อนที่เป็นจังหวะเพื่อให้ ตักแต่เคลื่อนที่ยังตำแหน่ง ถ่ายภาพของชุดแมชชีนวิชั่น โดยมี Photo Interrupter เป็นเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งการหยุดของสายพาน

Figure 7 แสดงส่วนของภาชนะที่ใช้รับตักแต่ โดยจะใช้ DC Motor ขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 V ความเร็ว 10 rpm เป็นตัวหมุน และมี Photo Interrupter เป็นเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งการหยุด หมุน



Figure 6 The inclined cleated belt conveyor



Figure 7 Four pupa containers corresponding to four grades of pupa sorting

Figure 8 แสดงชุด แมชชีนวิชั่น ซึ่ง ประกอบด้วยกล้อง webcam และแหล่งจ่ายแสง พร้อมทั้งมีกล่องครอบเพื่อป้องกันไม่ให้แสงจากภายนอกมารบกวนการทำงานของชุดแมชชีนวิชั่น



Figure 8 The Machine vision module consisting of a webcam and a lighting source

ตัวประมวลผลหลักของเครื่องคัดแยกในโครงการวิจัยนี้ คือ Raspberry Pi single board computer โปรแกรมควบคุมการทำงานทั้งหมด เขียนด้วยโปรแกรม Qt พร้อมทั้งใช้ OpenCV library สำหรับการประมวลผลภาพ ส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งานเป็นดัง Figure 9



Figure 9 Graphical user interface written by using Qt running on the Raspberry Pi single board computer

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องคัดแยกเป็นดังนี้

- (1) มอเตอร์ขับสายพานจนกว่าจะได้รับสัญญาณจาก Photo Interrupter จึงสั่งหยุดสายพาน
- (2) ดักแด่ที่อยู่ใต้กล้อง Webcam จะถูกถ่ายภาพแล้วทำการประมวลผลภาพเพื่อระบุเกรดของดักแด่แล้วทำการบันทึกไว้
- (3) มอเตอร์ขับภาชนะที่ใช้รับดักแด่ตามเกรดของดักแด่ตัวที่พร้อมจะตกลงจากสายพาน
- (4) กลับไปขั้นตอนที่ (1)

ในส่วนของการประมวลผลภาพ จะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ การระบุขนาด และการระบุดักแด่เสีย ในที่นี้ จะเริ่มจากการระบุขนาดก่อน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- (1) ทำการตัดภาพเฉพาะส่วนที่สนใจ นั่นคือ ตัวดักแด่ โดยมีพื้นหลังเป็นสีขาว
- (2) ทำภาพขาวดำจากภาพสี (RGB) ที่ได้ โดยทำเป็นภาพโทนสีเทา (Gray) แล้วทำเป็นภาพขาวดำด้วยค่า threshold ที่ 220 เนื่องจากดักแด่มีสีคล้ำ ขณะที่พื้นหลังเป็นสีขาว แล้วทำการกลับสีขาวเป็นสีดำ สีดำเป็นสีขาว
- (3) ทำการกำจัดวัตถุที่มีพื้นที่เล็กออกไปจากภาพ
- (4) คำนวณ Minimum Bounding Box (MBB) และใช้ความยาวของ MBB แทนความยาวของดักแด่
- (5) ทำการแปลงหน่วยจาก pixel เป็น มิลลิเมตร พร้อมทั้งระบุระดับเกรดตาม Table 1 ถ้าหากดักแด่ มีขนาดเล็กเกินไป หรือใหญ่เกินไป จะระบุเป็นเกรด 0

ตัวอย่างเช่น Figure 10 แสดงผลที่ได้จากขั้นตอนการประมวลผลภาพข้างต้น ซึ่งผลลัพธ์คือ เกรด เท่ากับ 3

ขั้นตอนต่อไป คือ การนำดักแด่เกรด 1-3 มาวิเคราะห์ว่าเป็นดักแด่เสียหรือไม่ ซึ่งจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- (1) ทำการตัดภาพเฉพาะส่วนที่สนใจ นั่นคือ ตัวดักแด่ โดยมีพื้นหลังเป็นสีขาว
- (2) นำภาพสี (RGB) ที่ได้ มาทำเป็นภาพโทนสีเทา (Gray) แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของโทนสีเทา ถ้าหากค่าเฉลี่ยของโทนสีเทามีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ถือว่าเป็นดักแด่เสีย ได้เกรด 0



(a)



(b)

Figure 10 An example of how to extract information from pupa samples: (a) an origin image, (b) a segmented image with a minimum bounding box

ผลการทดลอง

เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องคัดแยกที่ได้พัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้ การทดลองสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของกรรมวิธีทางด้านการประมวลผลภาพ และส่วนของเครื่องคัดแยกดักแด่

การทดสอบกรรมวิธีทางด้านการประมวลผลภาพ

ภาพของดักแด่ใหม่อีรีที่ถูกถ่ายด้วยกล้อง webcam จะถูกประมวลผลและวิเคราะห์ด้วยกรรมวิธีที่นำเสนอใน วิธีการดำเนินงานวิจัย ข้อมูลที่ได้จากการประมวล คือ เกรดของดักแด่ ดังแสดงใน Figure 11

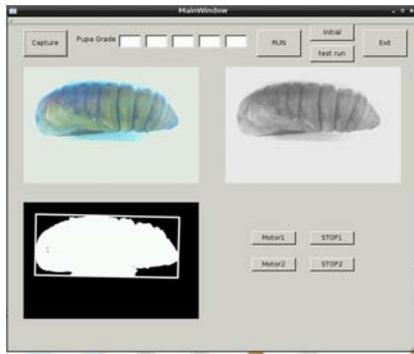


Figure 11 The resulting image after being processed

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลและการวัดขนาดตัดด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของกรรมวิธีประมวลผลภาพที่นำเสนอ ได้ผลดัง Table 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก และสามารถแยกตัดได้เสียโดยใช้ค่าเฉลี่ยของ Gray ได้

Table 2 Comparison results between pupa length measured by using Vernier Caliper and pupa length measured through image processing techniques.

No	Grade 1		Grade 2		Grade 3		Grade 0		Average Gray
	Vernier Caliper	The proposed methods							
1	22.2	22.5	26.7	27.0	31.2	31.8	22.2	22.7	97.6
2	21.5	22.8	27.3	27.7	30.3	30.7	22.2	22.7	95.3
3	22.5	23.1	24.6	25.2	30.1	30.6	25.1	24.4	96.4
4	23.5	23.8	26.4	26.9	28.2	28.8	30.2	30.8	98.7
5	22.5	22.9	25.8	26.2	29.4	30.2	17.5	17.8	-
6	23.2	23.9	26.7	27.3	29.4	30.2	18.2	18.8	-
7	21.8	22.6	26.2	26.8	30.0	30.5	19.6	20.1	-
8	22.5	23.2	26.8	27.4	30.1	30.8	18.8	19.3	-
9	22.7	23.4	24.7	25.8	29.5	30.2	19.7	20.2	-
10	23.6	23.9	25.5	26.3	28.2	28.9	27.0	27.7	96.0

การทดสอบเครื่องตัดแยกดักแด้

เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องตัดแยกดักแด้โดยภาพรวม จะใช้ดักแด้จำนวน 200 ตัว ถูกนำมาเทใส่ในภาชนะใส่ดักแด้ในปริมาณที่เหมาะสม เมื่อเครื่องตัดแยกทำการตัดแยกได้ 10 นาที ทำการหยุดเครื่อง เพื่อนับจำนวนดักแด้ที่ถูกตัดแยกตามเกรดที่ถูกต้อง ซึ่งได้แก่ เสีย, เล็ก, กลาง, และ ใหญ่ ผลการทดสอบเป็นดัง Table 3 พร้อมกับทำการนับจำนวน

ดักแด้ทั้งหมดที่สามารถตัดได้ และ ความสามารถสูงสุดในการตัดแยกได้ ดังแสดงใน Table 4

จาก Table 3 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 5.54% สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของสายพานลำเลียง ทำให้ดักแด้อยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพและเงาของดักแด้ทำให้ดักแด้มีขนาดใหญ่กว่าปกติ สำหรับเวลาในการตัดแยกเฉลี่ยนั้น จาก Table 4 อยู่ที่ 122.4 ตัวใน 10 นาที



ดังนั้นคิดเป็น 734.4 ตัว/ชั่วโมง ในขณะที่ความสามารถ
สูงสุดในการคัดแยก คือ 835.2 ตัว/ชั่วโมง

Table 3 The accuracy of the sorting and transporting mechanism

No	Grade No.				No. of false grading	%
	1	2	3	0		
1	25	31	31	28	5	4.17
2	28	30	30	28	8	6.45
3	26	31	27	29	7	5.83
4	31	28	25	31	6	4.96
5	26	27	28	38	8	6.30
Average						5.54

Table 4 Singulation rate of the sorting and transporting mechanism

No	No. of Pupae	Maximum	Singulation Rate (%)
		No. of Pupae	
1	120	136	88.24
2	124	152	81.58
3	120	130	92.31
4	121	138	87.68
5	127	140	90.71
Average		122.4	87.93

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากผู้ประกอบการดัดแก้กระป๋องต้องการดัดแก้ที่มีคุณภาพและมีขนาดใกล้เคียงกัน ซึ่งจะทำให้การตั้งเวลาสำหรับการอบแห้งและการทอดสะดวกมากขึ้น จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ คือ การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกดักแด้ไหมอีรี่ โดยจะทำการคัดแยกเป็น 4 เกรด คือ เสี้ย, เล็ก, กลาง, และใหญ่

จากการทดสอบ พบว่า ชุดแมชชีนนิวซีแลนด์สามารถประเมินเกรดของดักแด้ได้อย่างแม่นยำ ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเครื่องอยู่ที่

5.54% ความสามารถในการคัดแยก คือ 734.4 ตัว/ชั่วโมง ดังนั้น เครื่องคัดแยกดักแด้นี้ สามารถนำมาพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต ซึ่งเพิ่มความถูกต้องในการคัดแยก และช่วยลดเวลาในการคัดแยกได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด พงษ์เพชร อินเตอร์ฟาร์ม ที่เอื้อเฟื้อดักแด้ที่ใช้ในการทดสอบ และโครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2559 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณ มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Wang W, Shen S, Chen Q, Tanga B, He G, Ruan H, Das UN. Hydrolyzates of silkworm pupae (*Bombyx mori*) protein is a new source of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides (ACEIP). *Curr Pharm Biotechnol* 2008;9(4):307-14.
2. Zhou J, Han DX. Proximate, amino acid and mineral composition of pupae of the silkworm *Antheraea pernyi* in China. *J Food Compos Anal* 2006;19(8):850-3.
3. ขวธิ์ ศรีแก้ว, สิริชัย ส่งเสริมพงษ์. กระบวนการแปรรูปดักแด้ไหมอีรี่. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ; 2555. หน้า 234 – 43.
4. Davies ER. The application of machine vision to food and agriculture: a review. *The Imaging Sci J* 2009;57(4):197-217.
5. Patel KK, Kar A, Jha SN, Khan MA. Machine vision system: a tool for quality inspection of food and agricultural products. *J Food Sci Technol* 2012;49(2):123-41.



6. Brosnan T, Sun D. Improving quality inspection of food products by computer vision - a review. *J Food Eng* 2004;61(3):3-16.
7. Costa C, Antonucci F, Pallottino F, Aguzzi J, Sun D, Menesatti P. Shape analysis of agricultural products: a review of recent research advances and potential application to computer vision. *Food Bioprocess Technol* 2011;4(5):673-92.
8. Gomes JFS, Leta FR. Applications of computer vision techniques in the agriculture and food industry: a review. *Eur Food Res Technol* 2012;235:989-1000.
9. เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล, ธนาคาร หมายมัน, พรทวี ศรีชุมเหล็ก. เครื่องคัดแยกสำหรับตัดแต่งไหมอีรีโดยใช้แมชชีนวิชั่น. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม* 2558; ฉบับพิเศษ: 335-342.