บทความวิจัย

เครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติ

ณัฐนันต์ ทองสาย และ ธนสาร อินทรกำธรชัย*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รามิล เกศวรกุล
ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 1646 5626 อีเมล: thanasan.i@eng.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.08.009
รับเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2566 แก้ไขเมื่อ 24 เมษายน 2566 ตอบรับเมื่อ 25 พฤษภาคม 2566 เผยแพร่ออนไลน์ 19 สิงหาคม 2567
© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถทำงานแบบต่อเนื่องบนสายพานลำเลียงได้ โดยสามารถคัดเกรดไข่ไก่ได้ตั้งแต่เบอร์ 0–3 และสามารถแยกไข่ไก่เบอร์ 0 แบบแฝดกับแบบปกติได้ งานวิจัยนี้ได้ดำเนินงานจากการศึกษากระบวนการคัดเกรดไข่ไก่และไข่ไก่แฝด ทำการกำหนดสมบัติของเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และทำการออกแบบ เมื่อได้แบบแล้วจึงทำการสร้างเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติ ควบคู่กับการพัฒนาโปรแกรมการคัดเกรดไข่ไก่และไข่ไก่แฝด สุดท้าย คือ การทดสอบการทำงานของเครื่องและการประมวลผล แต่ก่อนจะเข้าทำการประมวลผลได้สร้างระบบทำความสะอาดเปลือกไข่ เพื่อให้ได้ไข่ไก่ที่เหมาะสมก่อนที่จะไปทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดด้วยกล้อง ค่าน้ำหนักจะเป็นเกณฑ์ในการคัดเกรดไข่ไก่ในแต่ละเบอร์ตั้งแต่เบอร์ 0–3 ในขณะที่น้ำหนักและรูปร่างในที่นี้ หมายถึง อัตราความยาวแกนหลักกับแกนรองของไข่ไก่นำมาประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อพิจารณาความเป็นไข่ไก่แฝด ผลการทดสอบเครื่องพบว่า เครื่องสามารถลำเลียงไข่ไก่ทุก ๆ เบอร์ไปทำความสะอาดและเป่าแห้งได้ โดยน้ำหนักที่ชั่งได้บนสายพานลำเลียงผ่านโหลดเซลล์มีความผิดพลาดเพียง ±0.1 กรัม เมื่อเทียบกับตาชั่งยา ในขณะที่ค่าอัตราความยาวแกนหลักกับแกนรองของไข่ไก่ ที่ได้จากการประมวลผลด้วยภาพมีความถูกต้องแม่นยำเมื่อเทียบกับการวัดด้วยเวอร์เนียร์ ในส่วนของการประมวลผลพบว่า เครื่องสามารถคัดเกรดไข่ไก่ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์ ทุกเบอร์ ในขณะที่การคัดแยกไข่ไก่แฝดยังคงมีความผิดพลาดอยู่บ้างคือ 1 ใน 24 ฟอง

คำสำคัญ: ไข่ไก่แฝด เครื่องคัดแยกไข่ไก่ ตรรกศาสตร์คลุมเครือ ประมวลผลด้วยภาพ กึ่งอัตโนมัติ

การอ้างอิงบทความ: ณัฐนันต์ ทองสาย, ธนสาร อินทรกำธรชัย และ รามิล เกศวรกุล, "เครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 35, ฉบับที่ 1, หน้า 1–15, เลขที่บทความ 251-126776, ม.ค.–มี.ค. 2568.

Research Article

Semi-automatic Grading Chicken Eggs and Separating Double Yolk Eggs Machine

Natthanan Thongsai and Thanasan Intarakumthornchai*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

Ramil Kesvarakul
Department of Production Engineering, Faulty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 1646 5626, E–mail: thanasan.i@eng.kmutnb.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.08.009
Received 6 February 2023; Revised 24 April 2023; Accepted 25 May 2023; Published online: 19 August 2024
© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

A semi-automated grading and separating double yolk chicken egg machine was developed by cleaning, grading, and separating egg No.0, No.1, No.2, and No.3 continuously on a conveyer. In order to conduct this research, we reviewed the grading criteria for chicken eggs and separated double yolk eggs first. Then the specifications for the machine were defined, and design began. After receiving the design, the machine was constructed couple with the development of a grading for chicken eggs and a separating double yolk eggs program. The machine operation was tested and tuned for properly works. The egg shell was needed to clean for precision weight and shape. As a result, the weight value will be used to grade eggs into egg No.0, No.1, No.2 and No.3, respectively, while shape refers to the ratio between the major and minor axis lengths of the eggs and weight is used as both parameters for determining a double yolk egg based on fuzzy logic algorithms. Test results indicate that the machine is capable of cleaning and blow drying chicken eggs in any number of eggs. The weight values from the load cell were calibrated from a standard scale. The weight value on the load cell has an error of only ±0.1 grams when compared with the standard scale. While, the ratio of the major and minor axis lengths of the eggs that measure from image processing were accurate compared to the Vernier caliper measurements. The results of the measurements by both methods generated no significant differences. The process of grading the eggs and sorting the double yolk eggs were tested continuously on conveyer and found that the machine was able to grade eggs with 100% accuracy in all numbers, while sorting double yolk eggs still had some errors of 1 in 24 eggs.

Keywords: Double Yolk Egg, Chicken Eggs Grading Machine, Fuzzy Logic, Image Processing and Semi-automation

Please cite this article as: N. Thongsai, T. Intarakumthornchai, and R. Kesvarakul, "Semi-automatic grading chicken eggs and separating double yolk eggs machine," *The Journal of KMUTNB*, vol. 35, no. 1, pp. 1–15, ID. 251-126776, Jan.–Mar. 2025 (in Thai).

1. บทนำ

ไข่ไก่เป็นสินค้าบริโภคที่มีความจำเป็นต่อคนส่วนใหญ่ เนื่องจากราคาถูกและมีคุณค่าทางอาหารที่สูง จึงเป็นสินค้าที่มีความต้องการจำนวนมาก ต้นทุนไข่ไก่ส่วนหนึ่งเกิดจากค่าแรงในการคัดแยกเกรด จนบางรัฐบาลต้องเสนอนโยบายในการซื้อขายไข่ไก่แบบชั่งน้ำหนักแทนการซื้อแบบคัดแยกไข่ไก่เป็นเกรด เพื่อทำให้ไข่ไก่ราคาลดลง นอกจากนั้นไข่ไก่แฝด ซึ่งมีมูลค่าสูงกว่าไข่ไก่ปกติ จำเป็นต้องอาศัยผู้ชำนาญการในการคัดแยก

การคัดแยกเกรดไข่ จะทำการพิจารณาภายนอกและภายใน [1] การพิจารณาภายนอกจะพิจารณาจากรูปร่าง น้ำหนัก ความสะอาดและลักษณะของเปลือก ในส่วนของการพิจารณาภายใน จากจุดเลือดที่เกิดขึ้นโดยการส่องไฟ เมื่อผู้เชี่ยวชาญทำการพิจารณาแล้ว ทำการแบ่งเกรดไข่ออกเป็น AA, A และ B ตามลำดับ

การคัดแยกไข่แฝดเช่นเดียวกัน คือ อาศัยความชำนาญและประสบการณ์ของคนในการตัดสินใจ โดยพิจารณาจากขนาด น้ำหนัก และรูปร่างของไข่ รวมไปถึงการใช้ไฟในการส่องดูลักษณะภายในของไข่ ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนและเวลาในการแยกค่อนข้างสูง [2]

เครื่องแยกเกรดไข่ไก่ ปัจจุบันในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ตุ้มน้ำหนักแต่ละขนาดมาเป็นตัวเทียบกับไข่ไก่ โดยเรียงจากน้ำหนักมากไปหาน้อย ถ้าไข่ไก่น้ำหนักมากกว่าเกณฑ์แรก คือ 70 กรัม ไข่ไก่ก็จะไหลตกไปในราง ถ้าน้ำหนักเบากว่าถูกยกไปวางกับตุ้มน้ำหนักถัดไป คือ 65 กรัม ทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงน้ำหนักที่ 45 กรัม ซึ่งนักวิจัยหลายท่านพยายามพัฒนาเครื่องคัดเกรดไข่ไก่แบบใช้ภาพถ่ายเนื่องจากสะดวก รวดเร็ว และลดการสัมผัส Thipakorn และคณะ [3] ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ภาพไข่ไก่เทียบกับเหรียญที่ทราบขนาดร่วมกับการใช้วิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทข้อมูลด้วยเครื่องเวกเตอร์ค้ำยัน (SVM) มาทำการแบ่งกลุ่มไข่แต่ละขนาด แต่ได้ผลลัพธ์ความแม่นยำที่ไม่ดี คือ 80.4 เปอร์เซ็นต์ของทุก ๆ ขนาด ในส่วนของการคัดแยกไข่ไก่แฝดนั้น Intarakumthornachai และ Kesvarakul [4] ได้พัฒนาเครื่องคัดแยกไข่ไก่แฝด โดยนำน้ำหนักของไข่ไก่กับอัตราระยะของแกนหลักเทียบกับแกนรองมาเป็นตัวแปรนำเข้าแล้วทำการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อคัดแยกไข่ไก่แฝด แต่เครื่องดังกล่าวยังเป็นการดำเนินงานทีละฟอง ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมได้ สำหรับเครื่องคัดไข่ไก่ที่มีผลิตขึ้นมาใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป [5] นอกจากจะไม่มีการแยกไข่แฝดแล้ว ยังไม่มีการทำความสะอาดเปลือกรวมถึงการเป่าแห้งก่อนทำการคัดแยกอีกด้วย ซึ่งทำให้ต้องใช้บุคลากรในส่วนนี้เพิ่มขึ้น

ดังนั้น งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถทำงานแบบต่อเนื่องบนสายพานลำเลียงได้ โดยสามารถทำความสะอาดเปลือกรวมถึงการเป่าแห้งและทำการคัดเกรดไข่ไก่ได้ตั้งแต่เบอร์ 0–3 และสามารถแยกไข่ไก่เบอร์ 0 แบบแฝดกับแบบปกติได้ด้วย

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

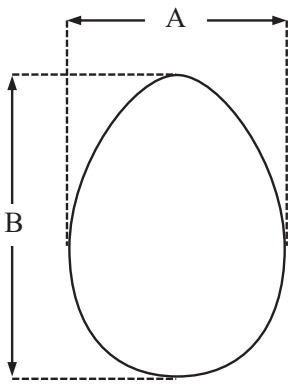
ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้แบ่งเนื้อหาสำคัญเป็น 4 หัวข้อ ได้แก่ 1) การศึกษากระบวนการคัดเกรดไข่ไก่และไข่ไก่แฝด 2) การกำหนดสมบัติของเครื่องและการออกแบบ 3) การสร้างและพัฒนาเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ และ 4) การพัฒนาโปรแกรมการคัดเกรดไข่ไก่และไข่ไก่แฝด

2.1 การศึกษากระบวนการคัดเกรดไข่ไก่และไข่ไก่แฝด

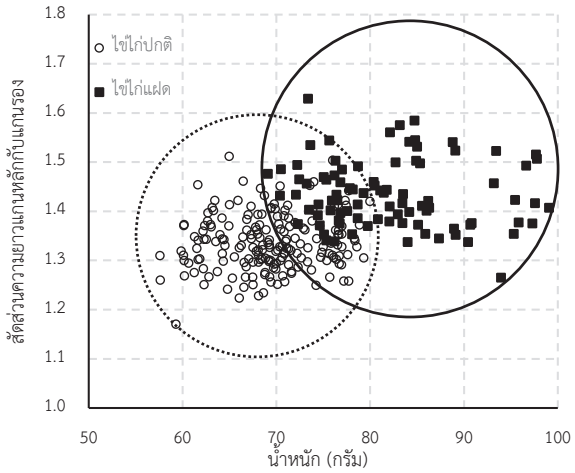
การศึกษากระบวนการคัดเกรดไข่ไก่และไข่ไก่แฝด โดยเบอร์ของไข่ไก่ที่ทำการศึกษามีขนาดไข่ไก่แฝด ไข่ไก่เบอร์ 0 ไข่ไก่เบอร์ 1 ไข่ไก่เบอร์ 2 และไข่ไก่เบอร์ 3 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางน้ำหนักไข่ไก่ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร

เบอร์	ขนาด	น้ำหนักขั้นต่ำต่อฟอง (กรัม)
ไข่ไก่แฝด	ไข่ไก่แฝด	มากกว่า 75
0	จัมโบ้	มากกว่า 70 ถึง 75
1	ใหญ่พิเศษ	มากกว่า 65 ถึง 70
2	ใหญ่	มากกว่า 60 ถึง 65
3	กลาง	มากกว่า 55 ถึง 60



รูปที่ 1 ด้านกว้าง Minor (A) และด้านยาว Major (B) ของไข่ไก่



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความยาวแกนหลักกับแกนรองกับน้ำหนัก [4]

2.1.1 การคัดแยกเกรดไข่ไก่

กระบวนการคัดแยกเกรดไข่ไก่ในปัจจุบันใช้การชั่งเทียบกับตุ้มน้ำหนัก โดยไข่ไก่ สามารถจำแนกเป็น เบอร์ 0 ขนาดจัมโบ้ มีน้ำหนักระหว่าง 65 ถึง 70 กรัม เบอร์ 1 ขนาดใหญ่พิเศษ มีน้ำหนักระหว่าง 60 ถึง 65 กรัม เบอร์ 2 ขนาดใหญ่ มีน้ำหนักระหว่าง 55 ถึง 60 กรัม และ เบอร์ 3 ขนาดกลาง มีน้ำหนักระหว่าง 50 ถึง 55 กรัม

2.1.2 การตรวจไข่ไก่แฝด

ไข่ไก่แฝด คือ ไข่ไก่ที่มีไข่แดงมากกว่าหนึ่งลูก มีน้ำหนักมากกว่าปกติ ส่วนใหญ่จะมากกว่า 70 กรัม แต่ถ้ามากกว่า 80 กรัม ขึ้นไป สามารถบ่งชี้ได้แน่ชัดว่าเป็นไข่แฝด ซึ่งโดยปกติไข่ไก่ที่มีไข่แดงมากกว่าหนึ่งลูกจะมีลักษณะอัตราของความยาวแกนหลัก (Major; B) ต่อความยาวแกนรอง (Minor; A) มากกว่าปกติ ดังรูปที่ 1 ซึ่งถ้าพิจารณาจากภายนอกจะมีลักษณะเรียว ๆ

ในงานวิจัยของ Intarakumthornachai และ Kesvarakul [4] ได้นำไข่ไก่ปกติ 180 ฟอง และไข่แฝด 99 ฟอง มาชั่งน้ำหนักและวัดอัตราความยาวแกนหลักเทียบกับความยาวแกนรองแล้วนำมาจัดกลุ่มแบบ k-mean ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 จะแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มด้านซ้ายค่อนล่างจะเป็นไข่ไก่ปกติ ส่วนกลุ่มด้านขวาค่อนบนเป็นไข่ไก่แฝด และจะมีอีกกลุ่ม ซึ่งเป็นกลุ่มที่พื้นที่ร่วมกัน (Intersection) จะมีทั้งไข่ไก่ปกติและไข่ไก่แฝดปะปนกัน การแยกไข่ไก่ 2 กลุ่มนี้ ออกจากกันจึงเป็นเรื่องที่ท้าทาย การใช้ประสบการณ์เป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งต้องแลกมาด้วยค่าคัดแยกที่แพงขึ้น

2.2 การกำหนดสมบัติของเครื่องและการออกแบบ

ได้ทำการกำหนดองค์ประกอบของเครื่องไว้ 5 องค์ประกอบหลัก ๆ คือ 1) โครงสร้าง 2) ระบบลำเลียงไข่ไก่ 3) ระบบทำความสะอาดไข่ไก่ 4) ชุดชั่งน้ำหนัก และ 5) ชุดถ่ายภาพ ดังระบบที่ออกแบบแสดง ดังรูปที่ 3

2.2.1 โครงสร้าง

ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างของเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติ ต้องมีน้ำหนักเบา กันน้ำได้และจะต้องรับน้ำหนักส่วนต่าง ๆ ทั้งหมดประมาณ 20 กิโลกรัม ดังนี้

1) ระบบสายพานลำเลียง มีน้ำหนัก 8 กิโลกรัม

2) จิ๊กวางไข่ไก่และไข่ไก่ มีน้ำหนัก 3 กิโลกรัม

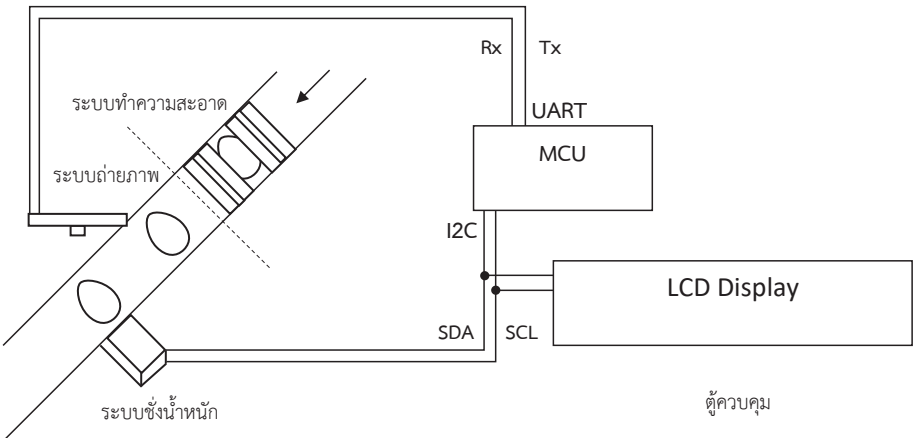
3) ระบบทำความสะอาดไข่ไก่ มีน้ำหนัก 3 กิโลกรัม

4) ระบบกล้องตรวจสอบคุณภาพไข่ไก่ มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

5) ตู้ควบคุม มีน้ำหนัก 5 กิโลกรัม

2.2.2 ระบบลำเลียงไข่ไก่

ข้อกำหนดการออกแบบระบบขับเคลื่อนของสายพาน



รูปที่ 3 ระบบของเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติ

ลำเลียง ในเบื้องต้นกำหนดให้เครื่องสามารถตรวจวัดได้ 60 ฟองต่อนาที โดยระยะห่างระหว่างไข่ไก่แต่ละฟองอยู่ที่ 10 เซนติเมตร ดังนั้นความเร็วของสายพานที่กำหนดไว้อยู่ที่ 10 เซนติเมตร/วินาที

ข้อกำหนดระบบชุดจิ๊กฟิกเจอร์บนสายพานลำเลียง ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1) ต้องสามารถรองรับขนาดไข่ไก่แฝด ไข่ไก่เบอร์ 0 ไข่ไก่เบอร์ 1 ไข่ไก่เบอร์ 2 และไข่ไก่เบอร์ 3

2) ไข่ไก่ที่กำลังลำเลียงบนสายพานต้องสามารถหมุนรอบตัวเองได้จะได้ทำความสะอาดได้อย่างทั่วถึง

3) ไข่ไก่ที่อยู่ในชุดจิ๊กฟิกเจอร์ต้องอยู่ในตำแหน่งที่กล้องถ่ายภาพได้อย่างครอบคลุม เนื่องจากไข่ไก่จะต้องเข้ากระบวนการตรวจสอบคุณภาพโดยใช้ชุดกล้อง ซึ่งต้องให้ไข่ไก่อยู่ในจุดศูนย์กลาง เพื่อให้การตรวจสอบคุณภาพมีประสิทธิภาพ

4) จิ๊กสามารถยึดกับสายพานได้ไม่ทำให้สายพานติด

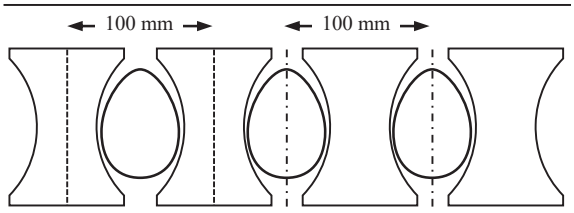
5) สีของจิ๊กต้องเป็นสีเดียวกับสายพาน ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้สีเขียว โดยจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

จากข้อกำหนดดังกล่าวได้ออกแบบจิ๊กไว้ แสดงดังรูปที่ 4

2.2.3 ระบบทำความสะอาดไข่ไก่

ข้อกำหนดระบบทำความสะอาดไข่ไก่ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1) การทำความสะอาดไข่ไก่ โดยใช้แปรงขัดควรทำความสะอาดอย่างน้อย 2 รอบ



รูปที่ 4 ลักษณะของสายพานและจิ๊กในการลำเลียงไข่ไก่

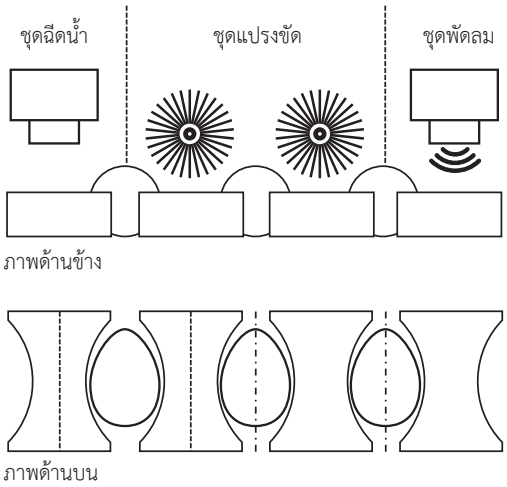
2) ชุดแปรงขัดต้องมีความอ่อนนุ่ม และไม่ทำให้ผิวไข่ไก่เกิดความเสียหายหรือแตก และต้องมีความแข็งพอที่จะปัดฝุ่นที่เกาะอยู่บนผิวไข่ไก่ได้

3) อุปกรณ์ที่นำมาใช้ทำความสะอาดต้องเป็นอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานและสามารถหาซื้อได้

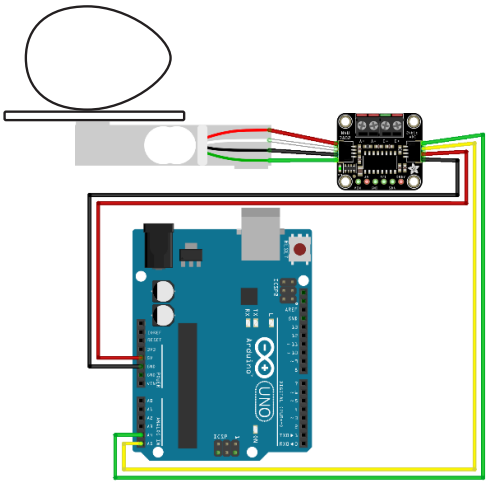
4) ต้องออกแบบให้สามารถเปลี่ยนชุดแปลงทำความสะอาดได้

5) ชุดฉีดน้ำต้องมีละอองน้ำที่กระจายไปทั่วบริเวณผิวของไข่ไก่ เพื่อให้ฝุ่นที่เกาะบนผิวไข่ไก่มีความอ่อนตัว และหลุดออกแต่จะไม่ทำให้ผิวของไข่ไก่เกิดความเสียหาย หรือแตกได้

6) ข้อกำหนดของพัดลม คือ ต้องให้น้ำที่เคลือบบนผิวของไข่ไก่นั้นแห้งสม่ำเสมอ และสามารถนำภาพมาวิเคราะห์ขนาดได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 5 ระบบแปรงขัดทำความสะอาดและลมเป่า



รูปที่ 6 จุดติดตั้งเครื่องชั่งน้ำหนัก

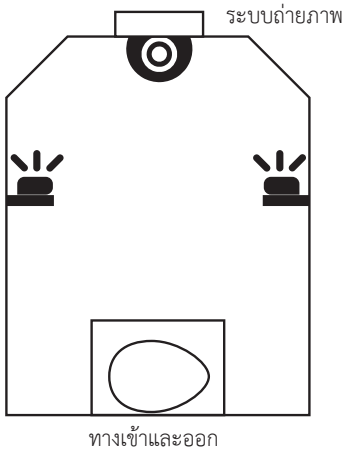
จากข้อกำหนดดังกล่าว ได้ออกแบบระบบทำความสะอาดไว้ แสดงดังรูปที่ 5

2.2.4 ชุดชั่งน้ำหนัก

เนื่องจากไข่ถูกลำเลียงผ่านสายพานลำเลียง ดังนั้น การชั่งน้ำหนักไข่ไก่ ต้องสามารถชั่งได้บนสายพานด้วยความเร็วที่ 0.1 เมตร/วินาที และต้องสามารถชั่งน้ำหนักได้ในช่วง 1–500 กรัม ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โหลดเซลล์ที่มีพิกัด 500 กรัม จากไข่ขนาดใหญ่สุดที่มีน้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม ดังนั้น จึงมีช่วงน้ำหนักสำหรับติดตั้งชุดฐานวางไข่ รวมถึงการสั่นของไข่ในช่วงเวลาลงจุดชั่งอีก 400 กรัม

ต่อเข้ากับชุดขยายสัญญาณที่มีความละเอียด 24 บิท ซึ่งประกอบไปด้วย 16,777,216 ช่วงข้อมูล จากพิกัด 500 กรัม ของโหลดเซลล์ และช่วงใช้งานของน้ำหนักไข่ 100 กรัม ทำให้ชุดชั่งน้ำหนักมีความละเอียดที่ 33,554 ช่วงข้อมูลต่อกรัม

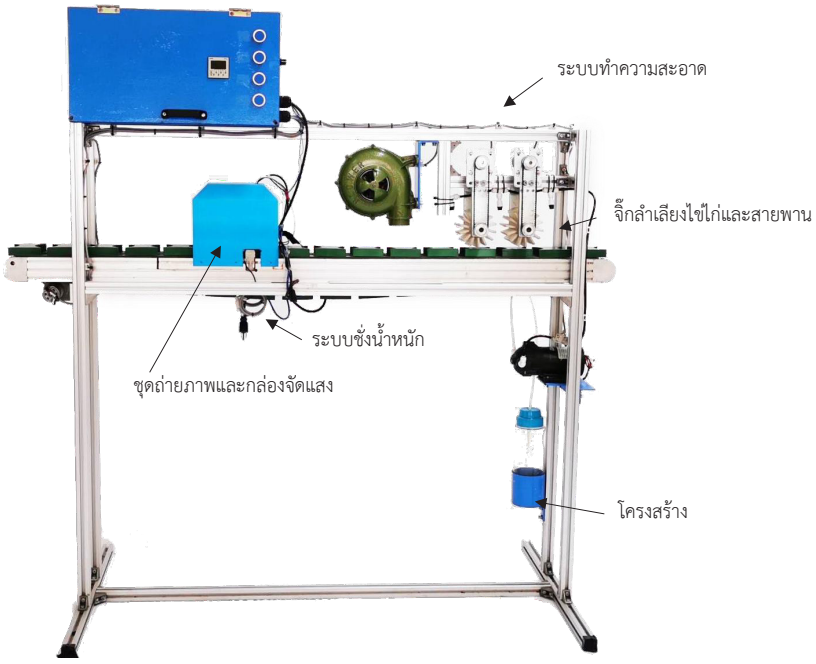
อย่างไรก็ตาม ด้วยสัญญาณไฟและการสั่น ทำให้ข้อมูลที่เข้าสู่ระบบชั่งน้ำหนักประกอบไปด้วยข้อมูลจริงและข้อมูลจากสัญญาณรบกวน จึงจำเป็นในการใส่ตัวกรองสัญญาณเพื่อทำการกรองสัญญาณรบกวนออก ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) มาใช้ ซึ่งตัวกรองดังกล่าวเป็นการประมาณตัวแปรที่มีความคลาดเคลื่อน โดยใช้การประมาณโดยการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นลง ชุดชั่งน้ำหนักดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 7 กล่องสำหรับให้แสงสะท้อนทางอ้อม

2.2.5 ชุดถ่ายภาพ

ในการหาอัตราความยาวแกนหลักเทียบกับความยาวแกนรองจะทำการหาจากภาพถ่าย ดังนั้นภาพที่ได้จะต้องสามารถเห็นเส้นรอบรูปของไข่ไก่ได้ทั้งใบ การให้แสงในงานนี้ได้เลือกใช้การให้แสงทางอ้อม (Indirect Lights) แทนการให้แสงทางตรง (Direct Lights) ซึ่งการให้แสงทางอ้อมหมายถึง แสงที่เดินจากแหล่งกำเนิดแสง โดยสะท้อนจากวัตถุหรือพื้นผิวเพื่อส่องไปยังตัวชิ้นงาน จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าแสงจากไดโอดเรืองแสง จะส่องไปยังชุดกล่องควบคุมแสง จากนั้นแสงจะสะท้อนลงมายังไข่ตามลำดับ การให้แสง



รูปที่ 8 โครงสร้างที่ทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์

ลักษณะนี้ช่วยลดแสงจ้าบริเวณพื้นผิวที่อาจทำให้ภาพมีสีที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งอาจส่งผลต่อการประมวลผลต่อไป

2.3 การสร้างและพัฒนาเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ

จากข้อกำหนดการออกแบบ ได้ทำการสร้างและพัฒนาระบบต่าง ๆ ดังนี้

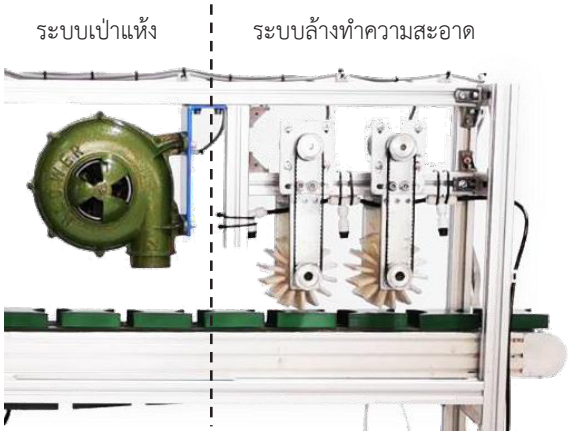
2.3.1 โครงสร้าง จากข้อกำหนดต้องมีน้ำหนักเบากันน้ำได้ และสามารถรองรับน้ำหนักได้ไม่ต่ำกว่า 20 กิโลกรัม เพื่อความสะดวกและรวดเร็ว ได้สร้างจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminum Profile) หน้าตัด 30 × 30 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 8

2.3.2 จิ๊กลำเลียงไข่ไก่และสายพาน ได้พัฒนาจิ๊กตามรูปที่ 9 โดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ มาทำการผลิตโดยนำจิ๊กดังกล่าวมายึดกับสายพานที่จะเป็นตัวขับเคลื่อนไข่ไก่ไปด้านหน้าโดยมีจิ๊กคอยประคอง แต่เนื่องจากพื้นที่ของสายพานที่รองรับไข่ไก่เคลื่อนที่ตามไข่ไปด้วยทำให้ไข่ไก่ไม่เกิดการหมุน จึงจำเป็นต้องมีการตัดสายพานบริเวณดังกล่าวออก เพื่อให้ไข่ไก่สัมผัสกับพื้นรองรับสายพานที่ทำจาก

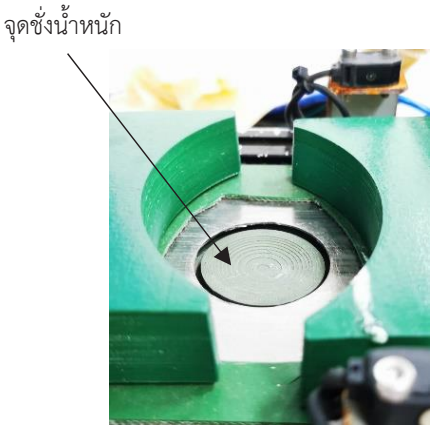
รูปที่ 9 จิ๊กลำเลียงไข่ไก่ติดตั้งบนสายพาน

สแตนเลส เมื่อไข่หมุนการทำความสะอาดจะได้ทั่วถึงมากขึ้น

2.3.3 ระบบทำความสะอาด ในเบื้องต้นระบบฉีดน้ำจะใช้ปั๊มน้ำขนาดแรงดัน 82 PSI และหัวสเปรย์พ่นให้เป็นละอองฝอยเพื่อให้เคลือบที่ผิวไข่ น้ำจะไปทำให้สิ่งสกปรกที่ติดอยู่กับไข่ไก่อ่อนตัว หลังจากนั้นจึงใช้แปรงขนอ่อนทำการ



รูปที่ 10 ชุดทำความสะอาด

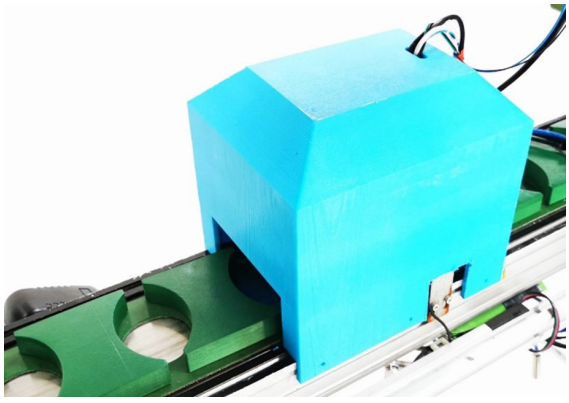


รูปที่ 11 ระบบชั่งน้ำหนัก

ปัดทำความสะอาด 2 ชุด โดยการกำหนดระยะห่างของแปรงกับไข่เท่ากับ 20 เซนติเมตร ซึ่งถ้าน้อยหรือมากกว่านี้อาจส่งผลต่อความเสียหายของไข่ และความสะอาดของไข่ได้ ขั้นตอนทำความสะอาดขั้นสุดท้ายคือการเป่าแห้ง โดยใช้โบล์เวอร์ (Blower) ที่เน้นการให้แรงดันลมมากกว่าปริมาณลม มาทำให้น้ำที่เกาะอยู่บนผิวไข่แห้งสนิทก่อนที่จะส่งไปชั่งน้ำหนักและถ่ายรูปต่อไป ชุดทำความสะอาดที่พัฒนาแล้วเสร็จ แสดงดังรูปที่ 10

2.3.4 ระบบชั่งน้ำหนัก

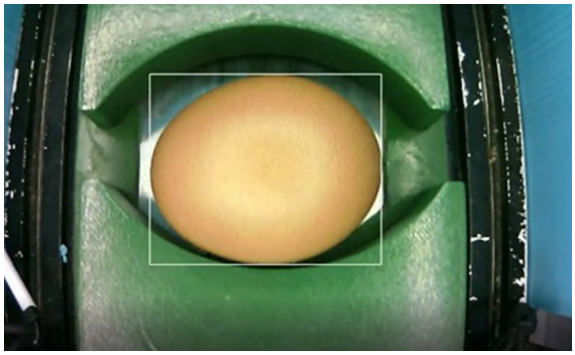
ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้เซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนัก เพื่อวัดน้ำหนักของไข่ในแต่ละฟอง โดยเลือกใช้เซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนัก (รูปที่ 11) ที่มีพิกัด 500 กรัม ซึ่งเพียงพอต่อการวัดน้ำหนักของไข่ ตัวโหลดเซลล์ถูกต่อเข้ากับตัวขยายสัญญาณและแปลงข้อมูลเพื่อส่งผ่านช่องทาง ไอสแควร์ซี (I2C หรือ Inter-Integrated Circuit) ไปสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับมาประกอบไปด้วยข้อมูล และสัญญาณรบกวน จึงทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนมีความจำเป็นที่ต้องใช้ตัวกรองสัญญาณ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวกรองคาลมาน เพื่อกรองสัญญาณขาเข้าก่อนนำไปประมวลผล โดยกำหนดค่าความแปรปรวน ซึ่งได้มาจากการเก็บข้อมูลขาเข้าที่ 0.998 หลังจากผ่านตัวกรองแล้วน้ำหนักที่วัดได้ถูกนำไปใช้เป็นหนึ่งในข้อมูลขาเข้าของตรรกศาสตร์คลุมเครือ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ 2.4



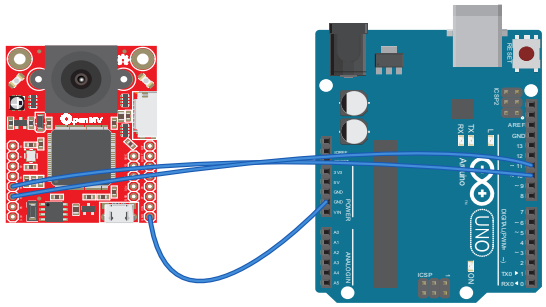
รูปที่ 12 ชุดถ่ายภาพและกล่องจัดแสง

2.3.5 ชุดถ่ายภาพและกล่องจัดแสง

ขณะเครื่องทำงาน มอเตอร์จะทำงานเพื่อลำเลียงไข่ไปยังจุดตรวจวัด เมื่อไข่ถึงจุดตรวจวัดเซ็นเซอร์อินฟาเรดส่งสัญญาณไปให้ PLC เพื่อหยุดการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งบริเวณจุดตรวจวัดได้ทำการสร้างกล่องคลุมไข่ไว้ เนื่องจากการให้แสงไฟกับไข่โดยตรงจะทำให้ได้ภาพไข่ที่ได้เป็นสีขาว ทำให้ไม่สามารถประมวลผลด้วยภาพได้ จึงจำเป็นต้องให้แสงผ่านการสะท้อนจากกล่อง เพื่อมากระทบกับไข่จึงได้ภาพที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้ รูปที่ 12 แสดงลักษณะของกล่องที่ได้จากการพิมพ์แบบ 3 มิติ ในขณะที่รูปที่ 13 แสดงภาพของไข่ที่ได้จากกล้อง



รูปที่ 13 เซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 14 การเชื่อมต่อกล้องเพื่อส่งข้อมูลไปไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านช่องทางยูอาร์ท

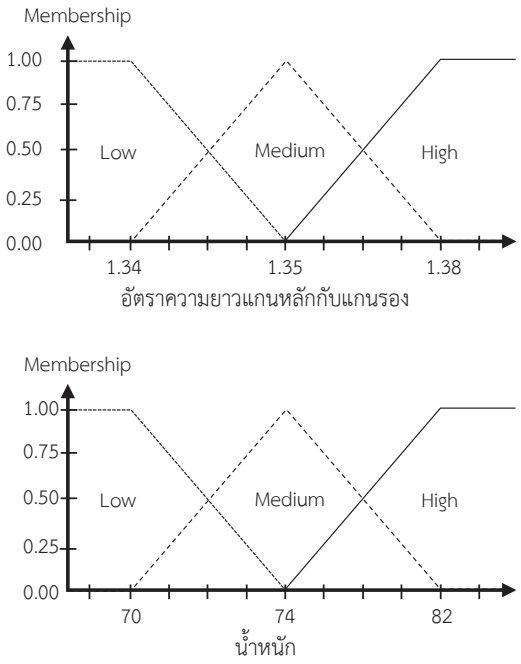
ในขณะเดียวกัน กล้องจะส่งข้อมูลส่วนที่ได้จากการวัดอัตราส่วนของไข่ไปสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในขณะเดียวกันตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าจากโหลดเซลล์ และนำข้อมูลที่ได้นำข้อมูลอัตราส่วนจากกล้องและน้ำหนักที่ได้จากโหลดเซลล์ไปประมวลผลผ่านตรรกศาสตร์คลุมเครือ ที่ถูกเขียนไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากเสร็จสิ้นการประมวลผลจะได้ข้อมูลการตัดสินใจว่าเป็นไข่แฝดหรือไม่แฝด และขนาดของไข่เกรดใด จากนั้นผลลัพธ์ดังกล่าวจะถูกส่งไปแสดงยังจอแสดงผล เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการดังกล่าวที่ผ่านมา PLC จะสั่งการให้มอเตอร์ลำเลียงไข่ฟองต่อไป เพื่อนำมาประมวลผลในวงรอบต่อไป

ในส่วนของการวัดอัตราส่วนของไข่ จะใช้กล้องระบบสมองกลฝังตัว (กล้อง OpenMV) โดยกล้องดังกล่าวเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก ซึ่งช่วยให้สามารถสร้างโปรแกรมไปใช้งานได้อย่างง่ายดายโดยใช้ภาษาไพธอนในการควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ ซึ่งกล้องจะทำการจับภาพไข่ที่อยู่บนสายพาน จากนั้นจะทำการค้นหาย่านสีของไข่ โดยใช้ระบบสีแอลเอบี หลังจากที่กล้องค้นหาย่านสีของไข่เจอแล้วจะทำการวัดขนาดพิกเซลของค่าความกว้าง ความยาว และส่งต่อไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านช่องทางทางยูอาร์ท (UART- Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) ดังแสดงในรูปที่ 14 โดยยูอาร์ทคือรูปแบบการสื่อสารที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ซึ่งเป็นการสื่อสารอนุกรม ที่ไม่ต้องใช้สัญญาณนาฬิกาในการควบคุมจังหวะ แต่จะใช้วิธีกำหนดรูปแบบของข้อมูลขึ้นมาแทน และกำหนดความเร็วของการรับส่งข้อมูลขึ้นมาทั้งฝั่งรับและฝั่งส่ง ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือ สามารถสื่อสารแบบรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน ในการเชื่อมต่อทำได้โดยใช้เพียงสองสายเท่านั้น คือ สัญญาณขารับ (RX) และสัญญาณขาส่ง (TX)

2.4 การพัฒนาโปรแกรมการคัดเกรดไข่ไก่และไข่ไก่แฝด

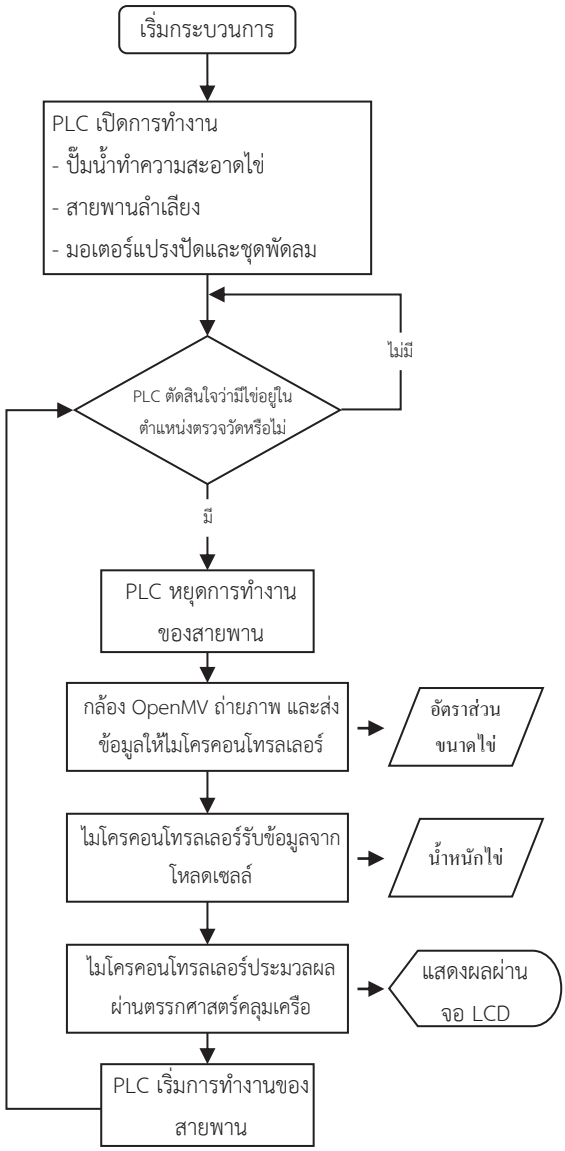
งานวิจัยของ Intarakumthornachai และ Kesvarakul [4] ได้ใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือในการตรวจจับไข่แฝด โดยใช้ปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัย คือ อัตราความยาวแกนหลักกับแกนรองและน้ำหนักเข้ามาประมวลผล โดยทำการเปลี่ยนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอัตราความยาวแกนหลักกับแกนรองและน้ำหนัก 20 รูปแบบ เพื่อประเมินความถูกต้อง ของการประมวลไข่ไก่เบอร์ 0 แบบปกติกับแบบแฝดโดยรูปแบบที่ 3 [4] ให้ค่าความผิดพลาดรวมอยู่ที่ 9.68 เปอร์เซ็นต์ แต่ให้ค่าความผิดพลาดในการระบุไข่ปกติเป็นไข่แฝดที่ต่ำ คือ 1.43 เปอร์เซ็นต์ แต่ในงานวิจัยนี้ได้ใช้รูปแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของน้ำหนักและอัตราความยาวแกนหลักกับแกนรองในรูปแบบที่ 13 ดังรูปที่ 15 เนื่องจากได้ค่าความผิดพลาดรวมที่ต่ำที่สุด คือ 8.60 เปอร์เซ็นต์

หลังจากได้พัฒนาตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับการประมวลผลแล้วเสร็จ จึงทำการกำหนดลำดับขั้นตอนการทำงาน โดยใช้ PLC เป็นตัวควบคุม โดยเริ่มจากการให้สายพานลำเลียงเริ่มทำงานพร้อมกับเปิดระบบปั๊มน้ำ มอเตอร์แปรงขัดและชุดพัดลมให้ทำงาน ในขณะที่ตำแหน่งชั่งไข่ PLC



รูปที่ 15 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของน้ำหนักและอัตราความยาวแกนหลักกับแกนรอง

จะทำการพิจารณาว่า มีไข่ไก่มาที่ตำแหน่งนี้หรือยัง ถ้ายังไม่มีระบบสายพานดำเนินการต่อ แต่ในกรณีที่มีไข่ไก่ ณ ตำแหน่งนี้ PLC จะสั่งให้สายพานหยุดการทำงาน หลังจากนั้นกล้อง OpenMV จะทำการถ่ายไข่ไก่ในขณะที่โหลดเซลล์ทำการชั่งน้ำหนักไข่ไก่ แล้วส่งข้อมูลทั้งสองไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลค่าอัตราไข่และน้ำหนัก เพื่อนำไปคัดเกรดด้วยเกณฑ์น้ำหนัก ในส่วนไข่ไก่เบอร์ 0 จะนำไปประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อระบุว่าเป็นไข่แฝดหรือไม่ หลังจากนั้นข้อมูลที่ถูกประมวลผลแล้ว จะนำไปแสดงที่หน้าจอแสดงผล เมื่อประมวลผลเสร็จ สายพานจะเริ่มทำงานอีกครั้ง ขั้นตอนดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง

3. ผลการทดลอง

หลังจากได้มีการสร้างและพัฒนาเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติแล้ว จึงนำมาทดสอบการทำงานของระบบการประมวลผลและการคัดแยก

ในเบื้องต้นได้ทำการทดสอบไข่ไก่เบอร์ 3, 2, และ 1 อย่างละ 20 ฟองก่อน โดยได้นำไข่ไก่มาชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งชั่งยา เพื่อเป็นน้ำหนักอ้างอิงความถูกต้อง ก่อนที่จะนำไปประมวลผล ซึ่งผลของน้ำหนักของไข่ทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 2 หลังจากนั้นได้นำไข่ไก่ทั้ง 60 ฟอง ไปทำการคัดเกรดด้วยเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาแล้วเสร็จ ผลการประมวลผลการคัดเกรดไข่ไก่ของไข่ไก่เบอร์ 3, 2 และ 1 แสดงดังรูปที่ 17, 18 และ 19 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 น้ำหนักของไข่ไก่แต่ละเบอร์

จำนวนไข่ไก่	น้ำหนักของไข่ไก่แต่ละเบอร์ที่ชั่งจากเครื่องชั่งยา		
	เบอร์ 3	เบอร์ 2	เบอร์ 1
1	57.06	61.47	66.05
2	54.01	63.61	68.70
3	59.27	64.30	67.17
4	58.31	61.34	65.27
5	55.74	60.84	66.84
6	59.67	62.21	67.42
7	58.18	64.37	68.29
8	51.70	63.84	69.45
9	57.39	61.46	66.26
10	54.73	64.17	68.41
11	56.64	63.52	66.76
12	57.39	61.34	68.47
13	55.74	60.73	67.40
14	58.06	63.17	69.14
15	59.47	62.20	66.39
16	56.34	64.57	67.74
17	54.43	61.03	69.27
18	59.73	63.73	68.04
19	59.51	62.24	66.81
20	54.52	64.46	65.27

```
Weight 57.05, Ratio 1.28, Decision =Single, Size 3
Weight 54.06, Ratio 1.27, Decision =Single, Size 3
Weight 59.28, Ratio 1.29, Decision =Single, Size 3
Weight 58.36, Ratio 1.27, Decision =Single, Size 3
Weight 55.75, Ratio 1.24, Decision =Single, Size 3
Weight 59.65, Ratio 1.32, Decision =Single, Size 3
Weight 58.15, Ratio 1.31, Decision =Single, Size 3
Weight 51.81, Ratio 1.30, Decision =Single, Size 3
Weight 56.32, Ratio 1.29, Decision =Single, Size 3
Weight 54.33, Ratio 1.27, Decision =Single, Size 3
Weight 56.35, Ratio 1.32, Decision =Single, Size 3
Weight 57.36, Ratio 1.31, Decision =Single, Size 3
Weight 55.71, Ratio 1.28, Decision =Single, Size 3
Weight 55.71, Ratio 1.30, Decision =Single, Size 3
Weight 59.44, Ratio 1.35, Decision =Single, Size 3
Weight 56.39, Ratio 1.34, Decision =Single, Size 3
Weight 54.39, Ratio 1.32, Decision =Single, Size 3
```

รูปที่ 17 ผลการทดสอบไข่ไก่เบอร์ 3

```
Weight 61.37, Ratio 1.28, Decision =Single, Size 2
Weight 63.63, Ratio 1.31, Decision =Single, Size 2
Weight 64.40, Ratio 1.27, Decision =Single, Size 2
Weight 61.34, Ratio 1.22, Decision =Single, Size 2
Weight 60.87, Ratio 1.26, Decision =Single, Size 2
Weight 62.19, Ratio 1.32, Decision =Single, Size 2
Weight 64.41, Ratio 1.27, Decision =Single, Size 2
Weight 63.88, Ratio 1.35, Decision =Single, Size 2
Weight 61.41, Ratio 1.26, Decision =Single, Size 2
Weight 64.16, Ratio 1.28, Decision =Single, Size 2
Weight 63.24, Ratio 1.29, Decision =Single, Size 2
Weight 61.14, Ratio 1.28, Decision =Single, Size 2
Weight 60.39, Ratio 1.27, Decision =Single, Size 2
Weight 63.74, Ratio 1.29, Decision =Single, Size 2
Weight 61.45, Ratio 1.28, Decision =Single, Size 2
Weight 64.67, Ratio 1.30, Decision =Single, Size 2
Weight 61.52, Ratio 1.27, Decision =Single, Size 2
```

รูปที่ 18 ผลการทดสอบไข่ไก่เบอร์ 2

```
Weight 66.02, Ratio 1.23, Decision =Single, Size 1
Weight 68.67, Ratio 1.29, Decision =Single, Size 1
Weight 67.17, Ratio 1.34, Decision =Single, Size 1
Weight 65.24, Ratio 1.24, Decision =Single, Size 1
Weight 66.83, Ratio 1.24, Decision =Single, Size 1
Weight 67.42, Ratio 1.28, Decision =Single, Size 1
Weight 68.28, Ratio 1.31, Decision =Single, Size 1
Weight 69.44, Ratio 1.28, Decision =Single, Size 1
Weight 66.26, Ratio 1.27, Decision =Single, Size 1
Weight 68.43, Ratio 1.29, Decision =Single, Size 1
Weight 66.78, Ratio 1.24, Decision =Single, Size 1
Weight 68.89, Ratio 1.31, Decision =Single, Size 1
Weight 67.39, Ratio 1.30, Decision =Single, Size 1
Weight 69.13, Ratio 1.33, Decision =Single, Size 1
Weight 66.38, Ratio 1.22, Decision =Single, Size 1
Weight 67.73, Ratio 1.30, Decision =Single, Size 1
Weight 69.28, Ratio 1.32, Decision =Single, Size 1
```

รูปที่ 19 ผลการทดสอบไข่ไก่เบอร์ 1

จากผลการทดสอบการคัดเกรดไข่ไก่ตั้งแต่เบอร์ 3–1 พบว่า ค่าน้ำหนักที่ได้จากเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติ มีความถูกต้องแม่นยำ ผิดพลาด ในระดับ ±0.01 กรัม ทำให้ผลการคัดแยกเกรดไข่ไก่ทั้ง 3 เบอร์ มีความถูกต้องแม่นยำทั้ง 60 ฟอง

หลังจากนั้นได้ทำการทดสอบกับไข่ไก่เบอร์ 0 โดยได้ทำการแบ่งเป็นไข่เบอร์ 0 ออกเป็นแบบปกติจำนวน 20 ฟอง และแบบแฝดจำนวน 20 ฟอง ก่อนทำการประมวลผลได้นำไข่ไก่เบอร์ 0 แบบปกติทั้ง 20 ฟอง ไปชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งยา และวัดความยาวแกนหลักและความยาวแกนรองด้วยเวอร์เนียร์ เพื่อหาค่าอัตราส่วนแนวแกนหลักกับแกนรอง แล้ว

นำผลลัพธ์ทั้งสองค่าไปประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือที่ได้ประดิษฐ์ไว้ ผลลัพธ์ของน้ำหนัก อัตราส่วนแนวแกนหลักกับแกนรอง ค่าดีฟัซซี่ไฟด์ และผลการประมวลแสดงดังตารางที่ 3 โดยค่าดีฟัซซี่ไฟด์ที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ระบบประมวลผลเป็นไข่ไก่แบบปกติ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบไข่ไก่เบอร์ 0 แบบปกติ

ลำดับ	น้ำหนัก	อัตราส่วน	ค่าดีฟัซซี่ไฟด์	ผลลัพธ์
1	72.89	1.25	0	ไข่เดี่ยว
2	70.34	1.19	0	ไข่เดี่ยว
3	73.98	1.27	0	ไข่เดี่ยว
4	75.21	1.34	0.222498	ไข่เดี่ยว
5	74.36	1.35	0.081012	ไข่เดี่ยว
6	73.86	1.25	0	ไข่เดี่ยว
7	75.94	1.33	0.311685	ไข่เดี่ยว
8	70.67	1.21	0	ไข่เดี่ยว
9	73.41	1.32	0	ไข่เดี่ยว
10	70.13	1.21	0	ไข่เดี่ยว
11	71.52	1.20	0	ไข่เดี่ยว
12	76.76	1.32	0.393247	ไข่เดี่ยว
13	74.86	1.31	0.17069	ไข่เดี่ยว
14	75.24	1.30	0.226614	ไข่เดี่ยว
15	74.24	1.34	0.05585	ไข่เดี่ยว
16	75.54	1.32	0.265426	ไข่เดี่ยว
17	76.31	1.34	0.350257	ไข่เดี่ยว
18	75.38	1.35	0.245233	ไข่เดี่ยว
19	74.42	1.34	0.092992	ไข่เดี่ยว
20	75.53	1.32	0.264195	ไข่เดี่ยว

หลังจากนั้นได้นำไข่ไก่เบอร์ 0 แบบปกติทั้ง 20 ฟอง ไปทำการคัดเกรดด้วยเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาแล้วเสร็จ ผลการประมวลผลการคัดเกรดไข่ไก่เบอร์ 0 แบบปกติ ดังรูปที่ 20 จากผลการทดสอบการคัดเกรดไข่ไก่เบอร์ 0 แบบปกติ พบว่า ทั้งค่าน้ำหนักและอัตราส่วนแนวแกนหลักกับแกนรองที่ได้จากเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติ มีความถูกต้องแม่นยำ

```
Weight 72.89, Ratio 1.25, Decision =Single, Size 0
Weight 70.34, Ratio 1.19, Decision =Single, Size 0
Weight 73.98, Ratio 1.27, Decision =Single, Size 0
Weight 75.21, Ratio 1.34, Decision =Single, Size 0
Weight 74.36, Ratio 1.35, Decision =Single, Size 0
Weight 73.86, Ratio 1.25, Decision =Single, Size 0
Weight 75.94, Ratio 1.33, Decision =Single, Size 0
Weight 70.67, Ratio 1.21, Decision =Single, Size 0
Weight 73.41, Ratio 1.32, Decision =Single, Size 0
Weight 70.13, Ratio 1.21, Decision =Single, Size 0
Weight 71.52, Ratio 1.20, Decision =Single, Size 0
Weight 76.76, Ratio 1.32, Decision =Single, Size 0
Weight 74.86, Ratio 1.31, Decision =Single, Size 0
Weight 75.24, Ratio 1.30, Decision =Single, Size 0
Weight 74.24, Ratio 1.34, Decision =Single, Size 0
Weight 75.54, Ratio 1.32, Decision =Single, Size 0
Weight 76.31, Ratio 1.34, Decision =Single, Size 0
```

รูปที่ 20 ผลการทดสอบไข่ไก่เบอร์ 0 แบบปกติ

รวมถึงค่าทั้งสองอยู่ในช่วงของการประเมินด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือที่เหมาะสม ทำให้ผลการคัดแยกเกรดไข่ไก่เบอร์ 0 แบบปกติ มีความถูกต้องแม่นยำทั้ง 20 ฟอง

หลังจากนั้นได้ทำการทดสอบกับไข่ไก่เบอร์ 0 แบบแฝด จำนวน 20 ฟอง โดยได้ทำการคัดเลือกไข่ไก่แฝดขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นไข่ไก่แฝดที่อยู่ในช่วงของการตัดสินใจยากว่าควรจะเป็นไข่ไก่เบอร์ 0 แบบปกติหรือแบบแฝด ก่อนทำการประมวลผลได้นำไข่ไก่ทั้ง 20 ฟอง ไปชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งยา และวัดความยาวแกนหลักและความยาวแกนรองด้วยเวอร์เนียร์ เพื่อหาค่าอัตราส่วนแนวแกนหลักกับแกนรอง แล้วนำผลลัพธ์ทั้งสองค่าไปประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือที่ได้ประดิษฐ์ไว้ ผลลัพธ์ของน้ำหนัก อัตราส่วนแนวแกนหลักกับแกนรอง ค่าดีฟัซซี่ไฟด์ และผลการประมวลแสดงดังตารางที่ 4 โดยค่าดีฟัซซี่ไฟด์ที่มากกว่า 0.5 ระบบจะประมวลผลเป็นไข่ไก่แบบแฝด

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบไข่ไก่เบอร์ 0 แบบไข่แฝดเล็ก

ลำดับ	น้ำหนัก	อัตราส่วน	ค่าดีฟัซซี่ไฟด์	ผลลัพธ์
1	80.4	1.38	1	ไข่แฝด
2	79.5	1.48	1	ไข่แฝด
3	84.1	1.31	1	ไข่แฝด
4	80.1	1.42	1	ไข่แฝด
5	72.4	1.42	0.567568	ไข่แฝด

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบไข่ไก่เบอร์ 0 แบบไข่แฝดเล็ก (ต่อ)

ลำดับ	น้ำหนัก	อัตราส่วน	ค่าดีฟัซซี่ไฟด์	ผลลัพธ์
6	77.4	1.41	1	ไข่แฝด
7	79.8	1.47	1	ไข่แฝด
8	80.7	1.39	1	ไข่แฝด
9	84.4	1.34	1	ไข่แฝด
10	89.1	1.47	1	ไข่แฝด
11	80.8	1.43	1	ไข่แฝด
12	84.5	1.35	1	ไข่แฝด
13	79.4	1.45	1	ไข่แฝด
14	77.8	1.41	1	ไข่แฝด
15	81.2	1.44	1	ไข่แฝด
16	73.9	1.47	0.95292	ไข่แฝด
17	78.7	1.4	1	ไข่แฝด
18	84.1	1.35	1	ไข่แฝด
19	88.9	1.47	1	ไข่แฝด
20	73.8	1.43	0.910959	ไข่แฝด

```
Weight 80.40, Ratio 1.38, Decision =Double, Size 0
Weight 79.50, Ratio 1.48, Decision =Double, Size 0
Weight 84.10, Ratio 1.31, Decision =Double, Size 0
Weight 80.10, Ratio 1.41, Decision =Double, Size 0
Weight 72.40, Ratio 1.42, Decision =Double, Size 0
Weight 77.40, Ratio 1.42, Decision =Double, Size 0
Weight 79.80, Ratio 1.47, Decision =Double, Size 0
Weight 80.70, Ratio 1.38, Decision =Double, Size 0
Weight 84.40, Ratio 1.34, Decision =Double, Size 0
Weight 89.10, Ratio 1.47, Decision =Double, Size 0
Weight 80.80, Ratio 1.43, Decision =Double, Size 0
Weight 84.50, Ratio 1.34, Decision =Double, Size 0
Weight 79.40, Ratio 1.45, Decision =Double, Size 0
Weight 77.80, Ratio 1.41, Decision =Double, Size 0
Weight 81.20, Ratio 1.44, Decision =Double, Size 0
Weight 73.90, Ratio 1.47, Decision =Double, Size 0
Weight 78.70, Ratio 1.40, Decision =Double, Size 0
```

รูปที่ 21 ผลการทดสอบไข่ไก่เบอร์ 0 แบบแฝด

จากผลการทดสอบ การคัดเกรดไข่ไก่เบอร์ 0 แบบแฝดขนาดเล็กพบว่า ทั้งค่าน้ำหนักและอัตราส่วนแนวแกนหลักกับแกนรอง ที่ได้จากเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติมีความถูกต้องแม่นยำ รวมถึงค่าทั้งสองอยู่ในช่วงของการประเมินด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือที่เหมาะสม ทำให้ผลการคัดแยกเกรดไข่ไก่เบอร์ 0 แบบแฝดขนาดเล็ก มีความถูกต้องแม่นยำทั้ง 20 ฟอง ผลการประมวลผลการคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติ แสดงผลการประมวลดังรูปที่ 21

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบไข่ไก่ตั้งแต่เบอร์ 3 2 1 และ 0 แบบปกติและแฝด

ลำดับ	น้ำหนัก (กรัม)	อัตราส่วน	เบอร์ไข่ไก่ที่	ผลลัพธ์
1	81.30	1.46	0 (ไข่แฝด)	0 (ไข่แฝด)
2	76.75	1.49	0 (ไข่แฝด)	0 (ไข่แฝด)
3	76.40	1.43	0 (ไข่แฝด)	0 (ไข่แฝด)
4	**76.20**	**1.34**	**0 (ไข่แฝด)**	**0 (ไข่เดี่ยว)**
5	74.60	1.36	0 (ไข่เดี่ยว)	0 (ไข่เดี่ยว)
6	69.40	1.41	1	1
7	68.10	1.23	1	1
8	67.35	1.35	1	1
9	67.30	1.35	1	1
10	67.80	1.35	1	1
11	62.35	1.25	2	2
12	60.25	1.27	2	2
13	60.15	1.37	2	2
14	60.10	1.31	2	2
15	61.55	1.32	2	2
16	59.85	1.32	3	3
17	57.65	1.31	3	3
18	59.35	1.17	3	3
19	58.35	1.26	3	3
20	59.75	1.29	3	3

สุดท้ายได้นำไข่ไก่แบบคละเบอร์ ตั้งแต่เบอร์ 3 2 1 0 แบบปกติ และ 0 แบบแฝด รวมกัน 20 ฟอง มาทดสอบการประมวลผลอีกครั้ง โดยนำผลการชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งยา และค่าอัตราส่วนแนวแกนหลักกับแกนรอง ด้วยเวอร์เนียร์ และเบอร์ไข่ไก่ที่ซื้อจากร้านค้ามาเป็นค่าอ้างอิง ซึ่งค่าดังกล่าวและผลการประมวล แสดงดังตารางที่ 5

จากการทดสอบไข่เกรดต่าง ๆ ตั้งแต่เบอร์ 3 2 1 และ

0 พบว่า เครื่องจักรคัดเกรดไข่ไก่ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การคัดไข่ไก่แฝดพบว่าในไข่ไก่แฝด 24 ฟอง มีเพียง 1 ฟอง ที่ระบบการคัดระบุว่าเป็นไข่เบอร์ 0 แบบปกติ แต่แท้จริงแล้วเป็นไข่เบอร์ 0 แบบแฝด

4. อภิปรายผลและสรุป

เครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติถูกพัฒนาขึ้นมาจากระบบสายพานลำเลียงและควบคุมด้วย PLC โดยใช้วิธีการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือผ่านตัวแปรสำคัญ 2 ตัว คือ น้ำหนักและอัตราส่วนความยาวแกนหลักกับแกนรอง และได้มีการเสริมการทำความสะอาดเปลือกไข่เข้ามา เพื่อให้ได้น้ำหนักและความยาวแกนหลักกับแกนรองที่วัดได้มีความถูกต้องมากที่สุด เครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถลำเลียงไข่ไก่ขนาดตั้งแต่ เบอร์ 0 เบอร์ 1 เบอร์ 2 และเบอร์ 3 ไปตามสายพานลำเลียงได้ พร้อมกับทำความสะอาดเปลือกไข่ไม่ให้มีเศษฝุ่นหรือสิ่งสกปกอยู่ที่ผิวได้ และสามารถเป่าน้ำที่เกาะจากผิวให้แห้งได้ ก่อนจะเข้าไปชั่งน้ำหนักและถ่ายรูปซึ่งน้ำหนักที่ชั่งได้บนสายพานลำเลียงผ่านโหลดเซลล์และกรองสัญญาณด้วยคาลมาน ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องกับเครื่องชั่งยาพบว่า ไข่ทุกขนาดมีค่าความผิดพลาดเพียง ±0.1 กรัม ส่วนภาพถ่ายของไข่ไก่ที่ได้สามารถนำไปประมวลผลหาค่าอัตราส่วนความยาวแกนหลักกับแกนรอง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับการวัดด้วยเวอร์เนียร์ เนื่องจากมีการให้แสงทางอ้อม โดยสร้างอุโมงค์มาครอบแล้วใช้แสงสะท้อน ทำให้ได้ภาพที่มีขอบเขตของไข่ไก่ได้อย่างชัดเจน ในส่วนสุดท้าย คือ การประมวลผลพบว่า การคัดเกรดไข่เป็นเบอร์ตั้งแต่เบอร์ 0–3 มีความถูกต้องแม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การคัดแยกไข่เบอร์ 0 แบบแฝด ยังคงพบข้อผิดพลาดอยู่บ้าง คือ 1 ใน 24 ฟอง เนื่องจากการแยกไข่แฝดจากการพิจารณาภายนอกด้วยน้ำหนักและรูปร่างของไข่อาจยังเพียงพอ ซึ่งถ้ายังคงพิจารณาจากรูปร่างภายนอกเพียงอย่างเดียว อาจจำเป็นต้องใช้ตัวแปรอื่นเข้ามาพิจารณาประกอบ เช่น ความโค้งของไข่ไก่ด้านบนและด้านล่าง จะต้องมีความใกล้เคียงกัน เป็นต้น หรือถ้าให้มีความแม่นยำมากขึ้นจำเป็นต้องใช้ไฟส่องสว่างกำลังสูง เพื่อให้เห็นโครงสร้างภายในของไข่ไก่ แล้วจึงใช้ภาพถ่ายมาทำการประมวลผล ซึ่งจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์และการประมวลผลที่มากขึ้น รวมถึงเวลาในการตัดสินใจคัดแยกไข่แฝดเพิ่มขึ้นอีกด้วย สรุปโดยรวมของเครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัตินี้มีประสิทธิภาพเบื้องต้นเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งาน แต่ยังคงต้องนำไปขยายผลด้านการทำงานอย่างต่อเนื่องกับไข่ไก่แบบคละเบอร์กัน รวมถึงระบบการป้อนไข่และคัดแยกไข่ตามเบอร์ที่ได้รับการประมวลผลแล้ว เพื่อนำไปสู่ระบบอัตโนมัติอย่างสมบูรณ์ต่อไป เครื่องคัดเกรดไข่ไก่และคัดไข่ไก่แฝดแบบกึ่งอัตโนมัตินี้ ใช้งบประมาณในการสร้างที่ 35,000 บาท ในกรณีที่มีการนำเครื่องนี้ไปใช้งาน จะสามารถลดคนงานในการล้างเปลือกไข่และเป่าแห้งอย่างละ 1 คน แต่ยังคงใช้แรงงานในการป้อนไข่และนำไข่ไก่ออกอีกอย่างละ 1 คน ถ้าค่าแรงต่อคนต่อวันเท่ากับ 350 บาท จะสามารถประหยัดค่าแรงได้ 700 บาทต่อวัน เมื่อประเมินจุดคุ้มทุนจะอยู่ที่ 50 วัน

เอกสารอ้างอิง

[1] T. Pescatore, J. Jacob, and A. Cantor, “Grading table eggs” University of Kentucky Cooperative Extension, 2011.

[2] W. Chen, N. Du, Z. Dong and Z. Yang, “Double yolk nondestructive identification system based on Raspberry Pi and computer vision,” *Food Measure*, vol. 16, pp. 1605–1612, 2022.

[3] J. Thipakorn, R.Waranusast, and P. Riyamongkol, “Egg weight prediction and egg size classification using image processing and machine learning,”in *14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2017, pp. 477–480.

[4] T. Intarakumthornchai and R. Kesvarakul, “Double yolk eggs detection using fuzzy logic,”

PLOS ONE, vol. 15, no. 11, 2020.

[5] N. Nuksom and R. Songleknok, "Automatic chicken eggs sizing machine," M.S. thesis, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology, 2019 (in Thai).