การออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง

DESIGN AND DEVELOPMENT OF DRIED ANCHOVY SIZING MACHINE

อำนาจ คูตะคุ
AMNAT KUTAKU

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562
KMITL-2019-EN-M-270-065

การออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง

DESIGN AND DEVELOPMENT OF DRIED ANCHOVY SIZING MACHINE

อำนาจ คูตะคุ
AMNAT KUTAKU

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562
KMITL-2019-EN-M-270-065

DESIGN AND DEVELOPMENT OF DRIED ANCHOVY SIZING MACHINE

AMNAT KUTAKU

A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019
KMITL-2019-EN-M-270-065

COPYRIGHT 2019
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง
Thesis Title Design and Development of Dried Anchovy Sizing Machine
นักศึกษา นายอำนาจ คูตะคุ
รหัสประจำตัว 57601283
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.เอกพงษ์ ชีวิตโสภณ
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2019-FN-M-270-065

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ศิวลักษณ์	ปฐวีรัตน์	
ผศ.ดร.เจษฎา	ชัยโฉม	
ผศ.ดร.มาฤดี	ผ่องพิพัฒน์พงศ์	
ผศ.ดร.เอกพงษ์	ชีวิตโสภณ	
ผศ.ดร.เอกสิทธิ์	ศรีธรรม	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพุธที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2562 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง
นักศึกษา	นายอำนาจ คูตะคุ
รหัสประจำตัว	57601283
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.เอกพงษ์ ชีวิตโสภณ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากระตักแห้ง ได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความหนา มวล พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นรวม ความเร็วลมต่ำสุด และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตบนพื้นผิว สแตนเลส ไม้ และยาง เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง 5 ขนาด ตามเกณฑ์ที่ผู้ประกอบการใช้ในปัจจุบัน ผลการศึกษาพบว่า ความยาว ความกว้าง ความหนา มวล พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นรวม และความเร็วลมลมต่ำสุดของปลากะตักทุก ๆ ขนาดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของตัวอย่างปลากะตักแห้งทั้ง 5 ขนาดบนพื้นผิวทั้ง 3 ชนิดไม่ได้มีความแตกต่างกันในทุก ๆ ขนาด ความยาว ความกว้าง และความหนาของตัวอย่างมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ($0.85 < r < 0.89$) และเป็นแบบเส้นตรง ($0.74 < R^2 < 0.79$) โดยที่ความกว้างและความยาวมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด เครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งได้รับการออกแบบและพัฒนาโดยพิจารณาความกว้างเป็นเกณฑ์แทนความยาว เครื่องคัดขนาดมีส่วนประกอบหลักคือตะแกรงทรงกระบอกหมุนที่สามารถปรับระดับมุมเอียงได้ จากทดลองคัดขนาดโดยใช้มุมเอียง 1 2 และ 3 องศา และความเร็วรอบเป็น 10 15 และ 20 รอบต่อนาที พบว่าปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลต่ออัตราการคัดขนาดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคัดขนาด ที่ระดับมุมเอียง 1 2 และ 3 องศา อัตราการคัดขนาดโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 6.42 8.62 และ 10.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบ 10 15 และ 20 รอบต่อนาที อัตราการคัดขนาดโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 8.00 8.64 และ 9.16 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ อัตราการคัดขนาดมีค่าสูงสุดประมาณ 11.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ระดับมุมเอียง 3 องศาและความเร็วรอบ 20 รอบต่อนาที ความถูกต้องของเครื่องคัดโดยเฉลี่ยจากปลาทุกขนาดอยู่ระหว่าง 81 ถึง 89 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรายปีของการลงทุน 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 ใช้แรงงาน 15 คนในการคัดขนาดทั้งหมด รูปแบบที่ 2 ใช้เครื่องคัดขนาด 1 เครื่อง ร่วมกับแรงงาน 11 คน และรูปแบบที่ 3 ใช้เครื่องคัดขนาด 3 เครื่อง ร่วมกับแรงงาน 3 คน แสดงให้เห็นว่า การลงทุนรูปแบบที่ 1 มีค่าใช้จ่ายรายปี 1,080,000 บาท รูปแบบที่ 2 มีค่าใช้จ่ายรายปี 734,682 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 0.15 ปี (1.8 เดือน) และรูปแบบที่ 3 มีค่าใช้จ่ายรายปี 314,045 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 0.21 ปี (2.5 เดือน)

Thesis	Design and Development of Dried Anchovy Sizing Machine
Student	Mr. Amnat Kutaku
Student ID.	57601283
Degree	Master of Engineering
Program	Food Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Eakasit Sritham
Thesis Co-Advisor	Asst. Prof. Dr. Ekkapong Cheevitsopon

ABSTRACT

This research was aimed at studying physical properties of dried anchovy including length, width, thickness, mass, projected area, bulk density, terminal velocity and the coefficient of static friction on stainless steel, wood, and rubber surfaces. These physical properties were considered as criteria for sorting dried anchovy into 5 sizes according to local food industry standard. It was found that the length, width, thickness, mass, projected area, bulk density, and terminal velocity of every size of dried anchovy were different significantly ($p<0.05$). However, static friction coefficients of dried anchovy on all three surfaces studied were not significant different in every size. There was a positive ($0.85 < r < 0.89$) and linear correlation ($0.74 < R^2 < 0.79$) among the length, width, and thickness. Width and length showed the highest level of correlation. A sizing machine was then developed using the width of anchovy as a criterion instead of length. The machine mainly consisted of rotary cylindrical screen with adjustable incline angle. From the experiment with the incline angles of 1°, 2° and 3°, and rotational speeds of 10, 15 and 20 rpm, it was found that both factors affected sizing capacity significantly ($p<0.05$), while this was not the case for the accuracy of sizing. Average sizing capacities at the incline angles of 1°, 2°, and 3° were 6.42, 8.62, and 10.76 kg/hr, respectively. With rotational speeds of 10, 15 and 20 rpm, the average sizing capacities were, respectively, 8.00, 8.64 and 9.16 kg/hr. The highest sizing capacity of approximately 11.4 kg/hr was obtained with 3° incline angle and 20-rpm rotational speed. The overall sizing accuracy was in a range of 81% - 89%. Economic analysis was also studied on three different investment schemes including 1) sizing with 15 workers, 2) sizing with 1 machine and 11 workers, and 3) sizing with three machine and three workers. The result revealed that the first scheme required annual investment amount of 1,080,000 Baht, the second scheme, required 734,682 Baht, annually, with a payback period of 0.15 year (1.8 mon.), and the third scheme needed annual investment of 314,045 Baht with a payback period of 0.21 year (2.5 mon).

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์สาทิป รัตนภาสกร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ศรีธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพงษ์ ชีวิตโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่ ให้คำชี้แนะช่วยเหลือและแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้ในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ พี่บุญนำ น้องนุ้ย ในเรื่องเอกสารต่าง ๆ และการใช้ห้องปฏิบัติการ น้องวสันต์ คอยช่วยเรื่องการทำเล่มวิทยานิพนธ์ น้อง ๆ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัท มารีน ฟายน์ ฟูดส์ จำกัด จังหวัดระยองที่ให้การอนุเคราะห์ปลากะตักแห้งในการทดลองจนจบงานวิจัย

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า รวมทั้งครอบครัวที่คอยให้กำลังใจเสมอมา

อำนาจ คูตะคุ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ..... IV
สารบัญตาราง..... VI
สารบัญรูป..... VII
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 บทนำ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2
1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย..... 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 2
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์..... 2
บทที่ 2 หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4
2.1 ข้อมูลทั่วไปของปลากะตัก..... 4
2.2 สมบัติทางกายภาพของปลากะตักที่นำมาศึกษา..... 9
2.3 เครื่องคัดแยกชนิดต่างๆ..... 12
2.4 หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล..... 17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 21
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... 23
3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดขนาด..... 27
3.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลองหาประสิทธิภาพเครื่องคัดขนาด..... 27
3.3 สถิติและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์..... 29
บทที่ 4 ผลการทดลอง..... 30
4.1 สมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดขนาด..... 30
4.2 แนวทางการออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งแบบต่อเนื่อง..... 34
4.3 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้ง..... 34
4.4 ผลการทดสอบการทำงานเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้ง..... 40
4.5 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์..... 42

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ..... 46
5.1 สรุปผลงานวิจัย..... 46
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 47
เอกสารอ้างอิง..... 48
ภาคผนวก..... 50
ภาคผนวก ก แผนการดำเนินงานวิจัย..... 51
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง..... 53
ประวัติผู้เขียน..... 72

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
2.1 ปริมาณการจับและมูลค่าการจับสัตว์น้ำเค็ม จำแนกตามชนิดสัตว์น้ำในอ่าวไทยและมหาสมุทรอินเดีย ปี 2558..... 5
2.2 ราคาขายปลากะตักแห้ง..... 8
2.3 ส่วนประกอบของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดต่างๆ 17
4.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้ง..... 30
4.2 ค่าทางสถิติของขนาดของปลากะตักแห้ง..... 32
4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างความยาว ความกว้าง และความหนาของตัวอย่างปลากะตักแห้ง..... 33
4.4 ขนาดรูตะแกรงมาตรฐานที่สัมพันธ์กับขนาดตัวปลากะตักแห้ง..... 34
4.5 การปรับเพิ่มขนาดรูตะแกรงเพื่อชดเชยความผิดพลาดที่เกิดขึ้น..... 36
4.6 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดขนาดปลากะตักแห้งด้วยเครื่องคัดขนาดที่มีระดับมุมเอียงและความเร็วในการหมุนต่าง ๆ..... 41
4.7 ผลการทดสอบหาอัตราการผลิตของเครื่องเปรียบเทียบกับแรงงานคน..... 42
4.8 รายการวัสดุ ค่าแรง และราคาทุนในการสร้าง..... 43
4.9 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรายปีของโครงการ..... 45

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ปลากะตัก	4
2.2	กระบวนการผลิตปลากะตักแห้งโดยมีการคัดขนาดก่อนการแปรรูป	6
2.3	กระบวนการผลิตปลากะตักแห้งโดยมีการคัดขนาดหลังการทำแห้ง	7
2.4	การแบ่งขนาดปลากะตัก	8
2.5	การคัดขนาดปลากะตักแบบดั้งเดิม	8
2.6	การหาพื้นที่ภาพฉายของวัสดุทางการเกษตรและอาหาร	10
2.7	การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต	11
2.8	การหาค่าความเร็วลมต่ำสุด	11
2.9	ตะแกรงแบบฐานเรียบ	12
2.10	ตะแกรงแบบลูกกลิ้ง	13
2.11	เครื่องคัดแยกแบบสกรู	13
2.12	เครื่องคัดแยกแบบบันไดเวียน	14
2.13	เครื่องคัดแยกแบบทรงกระบอกและภาพตัดขวาง	14
2.14	เครื่องคัดแยกแบบจานหมุนและภาพตัดขวาง	15
2.15	เครื่องคัดแยกโดยความถ่วงจำเพาะ	15
2.16	เครื่องคัดแยกโดยใช้ลมเป่า	16
2.17	เครื่องคัดแยกด้วยลักษณะของผิว	16
2.18	ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง	18
2.19	ลักษณะการติดตั้งสายพานกลม	19
2.20	การติดตั้งสายพานแบน	20
2.21	ภาพหน้าตัดของสายพานทรงวี	21
3.1	ขนาดของปลากะตักแห้ง 5 ขนาด ขนาดใหญ่มาก (a) ขนาดใหญ่ (b) ขนาดปานกลาง (c) ขนาดเล็ก (d) และขนาดเล็กมาก (e)	24
3.2	การวัดขนาด ด้านกว้าง (a) ด้านยาว (b) และด้านหนา (c)	24
3.3	การใช้กล้องดิจิตอลถ่ายภาพเพื่อหาพื้นที่ภาพฉาย	25
3.4	การหาค่าความหนาแน่นรวม	26
3.5	ชุดทดสอบมุมเอียง	26
3.6	ชุดทดลองหาค่าความเร็วสุดท้าย	27
4.1	การกระจายตัวของข้อมูลความกว้างของตัวอย่างปลากะตักแห้ง (n=500)	31
4.2	การกระจายตัวของข้อมูลความยาวของตัวอย่างปลากะตักแห้ง (n=500)	31
4.3	การกระจายตัวของข้อมูลความหนาของตัวอย่างปลากะตักแห้ง (n=500)	31
4.4	ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความยาวและความกว้าง ของตัวอย่างปลากะตักแห้ง	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความยาวและความหนา ของตัวอย่างปลากะตักแห้ง..... 33

4.6 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความกว้างและความหนาของตัวอย่างปลากะตักแห้ง..... 34

4.7 การทดสอบตะแกรงที่ได้วางเป็นชั้นบนเครื่องเขย่า..... 36

4.8 โครงสร้างเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้ง..... 37

4.9 ชุดรองรับการป้อนและแยกฝุ่นละออง..... 38

4.10 ชุดกลไกขับเคลื่อนตะแกรงคัดขนาด..... 38

4.11 ชุดตะแกรงคัดขนาดทรงกระบอก..... 39

4.12 อัตราการคัดขนาดปลากะตักแห้งของเครื่องที่ตั้งค่ามุมเอียงและความเร็วรอบต่าง ๆ 41

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปลากะตัก หรือปลาไส้ตัน (Anchovy) เป็นปลาทะเลขนาดเล็กอยู่ในวงศ์ Engraulidae มีขนาดความยาวโดยเฉลี่ย 2 ถึง 10 เซนติเมตร ปลากะตักเป็นปลาเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น น้ำปลา ปลาป่น บูดู และปลาแห้ง ผลิตภัณฑ์ปลากะตักแห้งมีคุณค่าในด้านโภชนาการที่แนะนำในปริมาณร้อยละต่อวันที่ควรได้รับ ประกอบด้วย แคลเซียมร้อยละ 60 ธาตุเหล็กร้อยละ 30 โปรตีนร้อยละ 68 โอเมก้า 3 ร้อยละ 15-22 และกรดไขมันจำเป็น (DHA) ร้อยละ 9-15 [1] ซึ่งช่วยป้องกันโรคสมองเสื่อม จากสถิติข้อมูลของกรมประมงในช่วงปี 2558 มีปริมาณการจับปลากะตักจำนวน 102,108 ตัน มีมูลค่าประมาณ 1,485 ล้านบาท [2]

การผลิตปลากะตักแห้งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การต้มกับน้ำเกลือให้สุกและการตากแห้งเพื่อลดปริมาณความชื้น ให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 20 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาแห้ง (มผช.6/2549) [3] และคัดขนาดด้วยแรงงานคนเพื่อจำหน่าย ในปัจจุบันการคัดขนาดปลาแห้งต้องใช้แรงงานที่มีทักษะเฉพาะจำนวนมากและใช้เวลานานจึงเป็นขั้นตอนที่เป็นปัญหาคอขวดในสายการผลิต (bottleneck process) ในการผลิตปลากะตักแห้งนั้น หลังจากที่ปลาผ่านกระบวนการต้มสุกและตากแห้งแล้วจะได้ปลากะตักแห้งออกมาเป็นจำนวนมาก ปลาแห้งที่รอการคัดขนาดเหล่านี้สามารถดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นได้อย่างรวดเร็ว อาจทำให้ให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสที่จะมีความชื้นเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนมากกว่าร้อยละ 20 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำลง อายุการเก็บรักษาลดลง หากต้องนำปลากลับไปเข้ากระบวนการทำแห้งใหม่ก็จะเป็นต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการคัดขนาดที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อกระบวนการผลิตปลากะตักแห้งในระดับอุตสาหกรรม

การคัดขนาด หมายถึง การคัดแยกผลิตผลให้เป็นกลุ่มที่มีขนาดต่าง ๆ กันซึ่งโดยทั่วไปขนาดของผลิตผลจะมีอิทธิพลต่อราคาด้วย สมบัติทางกายภาพของวัสดุที่สำคัญสำหรับการคัดขนาด ได้แก่ รูปร่าง ขนาด ปริมาตร มวล พื้นที่ผิว ความหนาแน่น หรือ สี เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดขนาดของผลิตผล รวมถึงสามารถใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องคัดขนาด หรือเครื่องคัดแยกผลิตผล Sirisomboon *et al*. [4] ศึกษาสมบัติทางกายภาพของถั่วแระญี่ปุ่น เช่น ความกว้าง ความยาว ความหนา มวล พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม และความแน่นเนื้อ ซึ่งพบว่าความหนามีความเหมาะสมที่สุดสำหรับใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบเครื่องคัดแยกถั่วแระญี่ปุ่นระหว่างฝักสมบูรณ์และฝักไม่สมบูรณ์ออกจากกัน จตุรงค์ และคณะ [5] ศึกษาขนาดความยาว ความกว้าง ความหนา และมุมเสียดทานภายในของกลีบกระเทียม เพื่อออกแบบเครื่องคัดขนาดกลีบกระเทียมแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุนซ้อนกันสามชั้นให้คัดขนาดได้สามขนาด พบว่ามีความแม่นยำสูงร้อยละ 90.8 วีระพล [6] ศึกษาขนาดความกว้าง ความหนาของหัวปลาดุก และความยาวของปลาดุก เพื่อออกแบบเครื่องคัดขนาดปลาดุก แล้วใช้ขนาดความหนาของหัวปลาดุกเป็นเกณฑ์ในการกำหนดขนาดความกว้างของรางคัดขนาดแบบร่องรูปตัววี ซึ่งคัดขนาดปลาดุกได้สี่ขนาด พบว่าเครื่องคัดขนาดมีความแม่นยำถึงร้อยละ 92.4

เพื่อให้การคัดขนาดปลากะตักแห้งถูกต้องตรงตามขนาดและเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดขนาดปลากะตักแห้งให้มีอัตราการผลิตที่สูงขึ้นและลดการใช้แรงงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดขนาด รวมทั้งการออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งต่อเนื่องที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ทดแทนแรงงานคน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งสำหรับใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดขนาด

1.2.2 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งแบบต่อเนื่อง และทดสอบสมรรถนะการคัดแยก

1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย

1.3.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งได้แก่ ขนาด มวล พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นรวม สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตและความเร็วลมต่ำสุด

1.3.2 ปลากะตักแห้งที่ใช้ในการทดลองเป็นปลากะตักแห้งชนิดคละขนาด ความชื้นประมาณ 20% จากบริษัท มารีน ฟายน์ ฟูดส์ จำกัด จังหวัดระยอง

1.3.3 ออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งแบบต่อเนื่องเพื่อให้สามารถคัดปลาได้ 5 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็กมาก ขนาดเล็ก ขนาดปานกลาง ขนาดใหญ่ และขนาดใหญ่มาก

1.3.4 ทดสอบสมรรถนะภาพของเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.4.1 ข้อมูลสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของปลากะตักแห้ง

1.4.2 แนวทางการออกแบบเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง

1.4.3 ต้นแบบเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งแบบต่อเนื่องที่มีประสิทธิภาพ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพของวัสดุเกษตรที่สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 เลือกสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมได้แก่ ขนาด มวล พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นรวม สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต และความเร็วลมสุดท้าย เพื่อวิเคราะห์ทางสถิติ

1.5.3 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการออกแบบเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง

1.5.4 การออกแบบพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง

1.5.5 การทดสอบและหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาเป็น 5 บท มีเนื้อหาและรายละเอียด ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของการทำวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย สมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้ง วิธีการคัดขนาด หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง ประกอบด้วย วัสดุอุปกรณ์และวิธีการหาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้ง โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องคัดปลากะตักแห้ง วัสดุอุปกรณ์และวิธีการหาประสิทธิ์ภาพของเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง สถิติและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง ประกอบด้วย สมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดขนาด แนวทางการออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งแบบต่อเนื่อง ผลการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้ง ผลการทดสอบการทำงานเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้ง และผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

บทที่ 2
หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งเป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้ง วิธีที่ใช้ในการคัดขนาด หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 ข้อมูลทั่วไปของปลากะตัก

ปลากะตัก หรือ ปลาไส้ตัน เป็นปลาทะเลขนาดเล็กสกุลหนึ่ง มีชื่อสกุลว่า *Stolephorus* จัดอยู่ในวงศ์ปลาแมว (Engraulidae) ลักษณะโดยทั่วไปเป็นปลาผิวน้ำขนาดเล็กอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูงลำตัวเรียวยาวแบน มีสันหนามที่ท้อง ขากรรไกรบนยาวเลยหลังตา ครีบหลังตอนเดียว ครีบหางเว้าลึก มีแถบสีเงินพาดตามความยาวของลำตัว ปลากะตักมีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 3-10 เซนติเมตร (รูปที่ 2.1) มีอายุขัยโดยเฉลี่ยไม่เกิน 3 ปี เป็นปลาที่หากินตามผิวน้ำมักอยู่รวมกันเป็นฝูงใหญ่โดยอยู่ห่างจากชายฝั่งประมาณ 10 ถึง 20 ไมล์ ตามบริเวณชายฝั่งและหมู่เกาะต่าง ๆ กินแพลงก์ตอนเป็นอาหาร ปลากะตักเป็นอาหารสำคัญของปลาและสัตว์น้ำขนาดใหญ่ เช่น แมวน้ำ สิงโตทะเล โลมา วาฬและปลาฉลาม ปลากะตักพบกระจายพันธุ์ทั่วไปในเขตน่านน้ำของอินโดแปซิฟิก ในน่านน้ำไทยพบ 11 ชนิด จากทั้งหมด 20 ชนิด [7] เป็นปลาเศรษฐกิจที่สำคัญ โดยสามารถนำไปแปรรูปต่าง ๆ เช่น น้ำปลา ปลาป่น ปลาแห้ง บูดู รวมทั้งการบริโภคสด ผลิตภัณฑ์ปลากะตักแห้งมีคุณค่าในด้านโภชนาการประกอบด้วยแคลเซียมร้อยละ 60 ธาตุเหล็กร้อยละ 30 โปรตีนร้อยละ 68 โอเมก้า 3 ร้อยละ 15-22 และกรดไขมันจำเป็น (DHA) ร้อยละ 9-15 [1] จึงเป็นที่ต้องการบริโภคทั้งในและต่างประเทศ จากสถิติข้อมูลของกรมประมง ปี พ.ศ. 2558 มีปริมาณการจับปลากะตักในอ่าวไทยและมหาสมุทรอินเดียรวมทั้งสิ้นจำนวน 102,108 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1,485 ล้านบาท ดังตารางที่ 2.1 [2]

รูปที่ 2.1 ปลากะตัก [8]

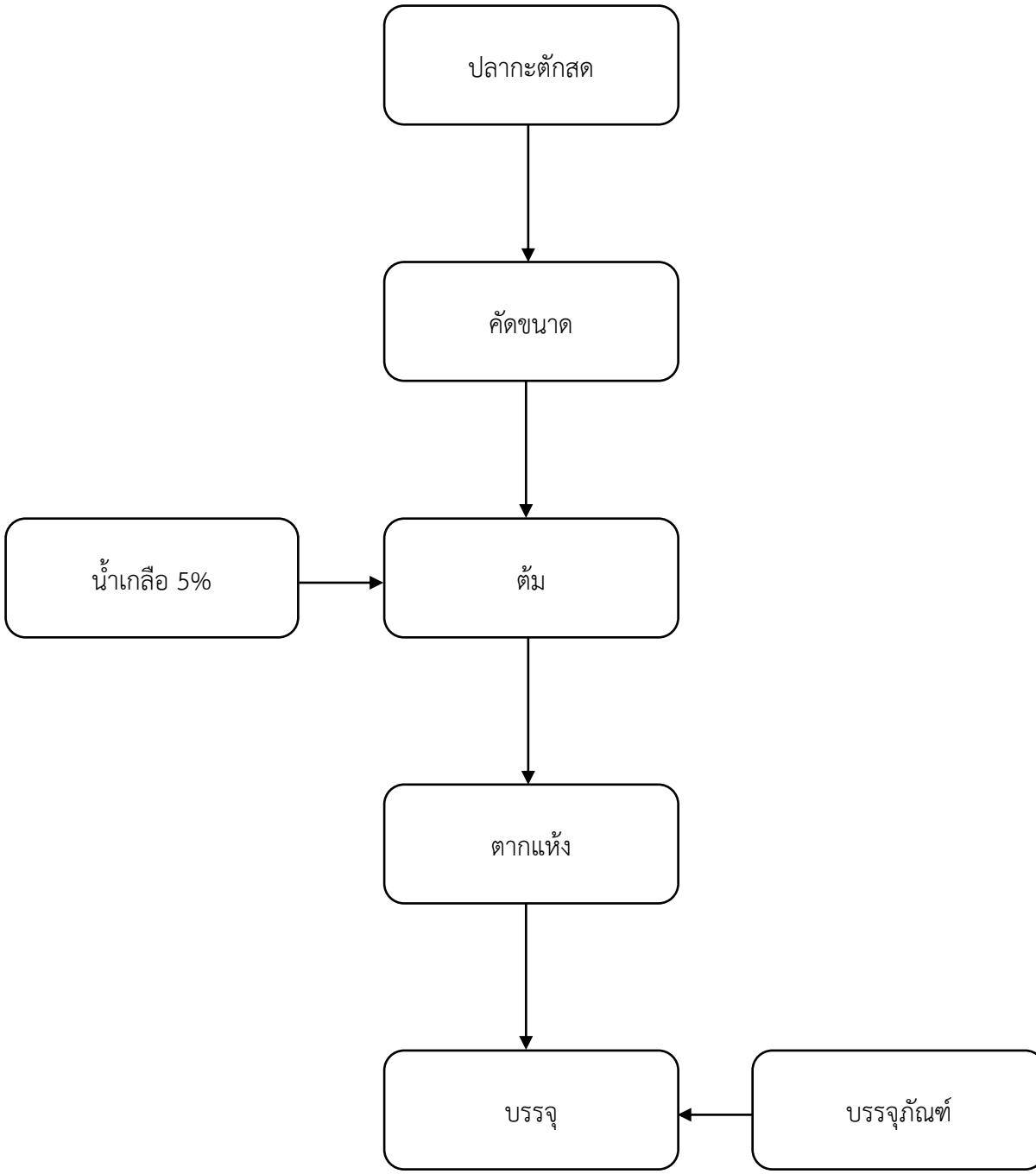
ตารางที่ 2.1 ปริมาณการจับและมูลค่าการจับสัตว์น้ำเค็ม จำแนกตามชนิดสัตว์น้ำในอ่าวไทยและมหาสมุทรอินเดีย ปี 2558 [2]

Type of Fishes	Gulf of Thailand (Ton)	The Indian Ocean (Ton)	Total Value (1,000 Bath)
Indo-Pacific mackerel	53,452	16,851	3,364,703
Indian mackerel	28,925	17,685	2,152,595
King mackerel	7,540	969	1,150,421
Wolf-herrings	2,269	850	145,539
Longtail tuna	13,230	2,820	739,913
Eastern little tuna	17,910	8,161	951,938
Round scads	12,586	27,209	1,315,492
Hardtail scad	22,690	5,369	813,458
Trevallies	38,324	12,466	1,914,789
Big-eye scads	14,762	6,749	898,509
Black banded kingfish	536	44	93,333
Threadfin	568	57	60,401
Sardines	70,077	10,974	1,637,847
Anchovies	82,330	19,778	1,485,144
Mullet	2,101	1,198	225,680
Black pomfret	1,670	41	211,334
Silver pomfret	935	37	253,518
Barracudas	14,690	4,385	1,005,522
Tunas	-	418	23,523

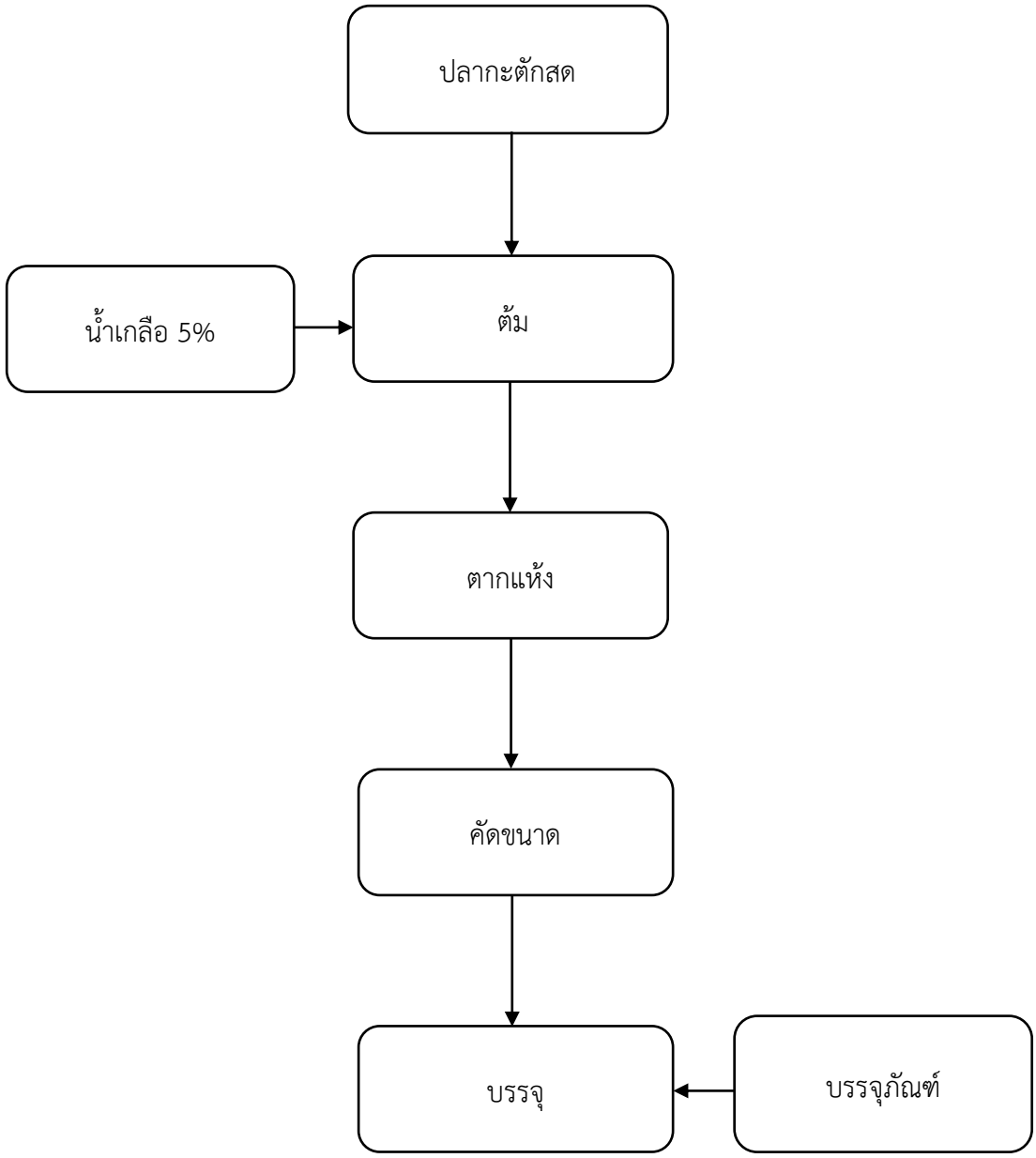
2.1.1 กระบวนการการทำปลากะตักแห้ง

ขั้นตอนการทำปลากะตักแห้งโดยทั่วไปมีดังนี้ นำปลากะตักสดล้างในน้ำสะอาดจากนั้นนำปลากะตักขึ้นมาพักให้สะเด็ดน้ำ ต้มน้ำเกลือโดยมีความเข้มข้นของเกลือ 5% เมื่อน้ำเดือดใส่ปลากะตักลงไปต้มให้สุกใช้เวลาประมาณ 5 นาที เมื่อปลาสุกตักปลาขึ้นใส่ถาดสำหรับนำไปตากแห้งโดยใช้เวลาในการตากแห้ง 1 วัน หรือจะนำปลาไปทำแห้งด้วยวิธีอบในตู้อบลมร้อนโดยให้เหลือความชื้นอยู่ประมาณ 20% จากนั้นทำการคัดขนาดเพื่อส่งออกต่อไป การคัดขนาดปลากระตักสามารถทำได้สองวิธีคือ การคัดปลากระตักสด (รูปที่ 2.2) สามารถคัดปลากะตักสดก่อนที่จะนำมาต้มกับน้ำเกลือ จะมีความถูกต้องตามขนาดมากที่สุดเนื่องจากปลาจะมีลำตัวที่ตรงไม่บิดงอเพราะปลายังมีความสด เหมาะสำหรับการทำปลากะตักแห้งที่มีปริมาณน้อย เนื่องจากการคัดขนาดต้องใช้เวลานานอาจทำให้ปลาเน่าเสียได้ และการคัดขนาดปลากะตักแห้ง (รูปที่ 2.3) เหมาะสำหรับการทำปลากะตักแห้งที่มีปริมาณมาก เนื่องจากสามารถเก็บปลากะตักแห้งไว้ได้นานเพื่อรอการคัดขนาด

แต่จะมีความผิดพลาดของการคัดขนาดเนื่องจากลำตัวปลามีการเสียรูปเนื่องจากกระบวนการทำแห้ง



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตปลากะตักแห้งโดยมีการคัดขนาดก่อนแปรรูป



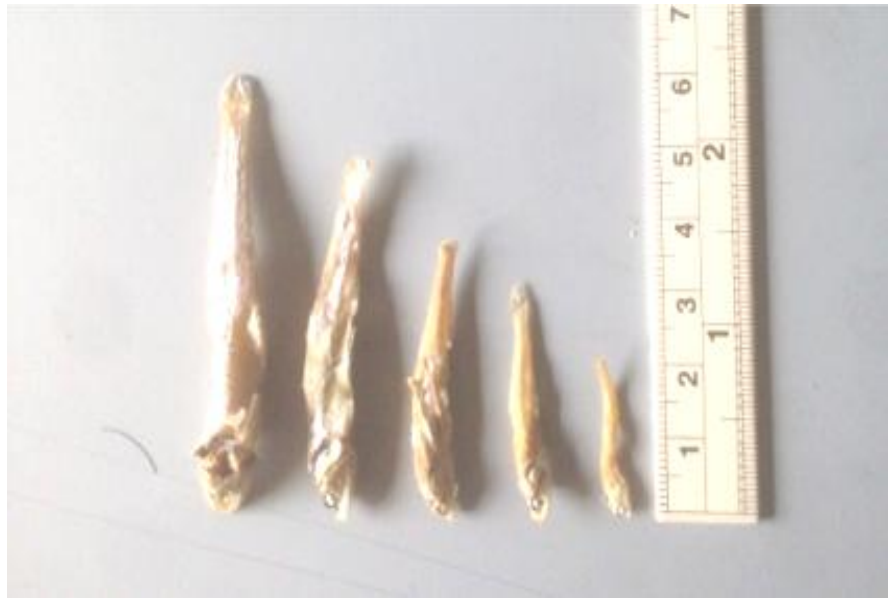
รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตปลากะตักแห้งโดยมีการคัดขนาดหลังการทำแห้ง

2.1.2 ขนาดของปลากะตักแห้งตามเกณฑ์ของผู้ประกอบการ

การคัดขนาดปลากะตักแห้ง เป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นระหว่างผู้ผลิตกับผู้ซื้อสินค้า โดยทั่วไปสามารถแบ่งขนาดปลากะตักออกเป็น 5 ขนาดได้แก่ ขนาดเล็กมาก (2.00 ถึง 2.50 เซนติเมตร) ขนาดเล็ก (2.51 ถึง 3.50 เซนติเมตร) ขนาดปานกลาง (3.51 ถึง 4.50 เซนติเมตร) ขนาดใหญ่ (4.51 ถึง 5.50 เซนติเมตร) และขนาดใหญ่มาก (5.51 ถึง 7.50 เซนติเมตร) (รูปที่ 2.4) เนื่องจากขนาดของตัวปลามีผลต่อราคา ปลาขนาดเล็กมากจะมีราคาแพงที่สุดเนื่องจากเนื้อสัมผัสเมื่อนำไปรับประทานจะมีรสชาติที่ดี มีกระดูกสันหลังที่อ่อนนุ่ม ราคาของปลากะตักแห้งจะลดลงตามขนาดที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2.2) ดังนั้นการคัดขนาดปลากะตักแห้งจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่จะสามารถเพิ่มราคาขายได้ ในปัจจุบันผู้ผลิตยังคงใช้วิธีการคัดขนาดด้วยแรงงานคน (รูปที่ 2.5)

ตารางที่ 2.2 ราคาขายปลากะตักแห้ง [9]

Sizes of dried anchovy	Price per kilogram (Bath)
Extra-small (2.00 - 2.50 cm)	150-180
Small (2.51 - 3.50 cm)	120-130
Medium (3.51 - 4.50 cm)	80-100
Large (4.51 - 5.50 cm)	70-80
Extra-large (5.51 - 7.50 cm)	65-70



รูปที่ 2.4 การแบ่งขนาดปลากะตัก

รูปที่ 2.5 การคัดขนาดปลากะตักแบบดั้งเดิม

2.2 สมบัติทางกายภาพของปลากะตักที่ทำการศึกษา

2.2.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมากขึ้น มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น เหล็กจะมีปริมาตรน้อยกว่าวัตถุที่มีความหนาแน่นต่ำ เช่น น้ำ ที่มีมวลเท่ากัน โดยคำนวณจากสมการ

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{2.1}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของวัสดุ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
m = มวลของวัสดุ (กิโลกรัม)
v = ปริมาตรของวัสดุ (ลูกบาศก์เมตร)

โดยความหนาแน่นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ความหนาแน่นเนื้อ (solid density) และความหนาแน่นรวม (bulk density)

ก. ความหนาแน่นเนื้อ

เป็นค่าที่คำนวณจากเนื้อวัสดุเพียงอย่างเดียว ชี้ให้เห็นถึงความหนาแน่นของเนื้อวัสดุ หากนำค่าความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางของโลกมาคูณค่าความหนาแน่นเนื้อจะเปลี่ยนค่าเป็นน้ำหนักจำเพาะของวัสดุ (specific weight) มีหน่วยเป็น หน่วยน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร ในระบบ SI เป็น N/m^3 ส่วนในระบบอังกฤษเป็น lb/ft^3

ข. ความหนาแน่นรวม

ความหนาแน่นรวม หมายถึง ความหนาแน่นของวัสดุปริมาณมวล ซึ่งคำนวณจากมวลของวัสดุหารด้วยปริมาตรรวมของวัสดุ ซึ่งปริมาตรรวมนั้นรวมปริมาตรของช่องว่างระหว่างวัสดุเองและวัสดุกับภาชนะที่บรรจุด้วย ค่าความหนาแน่นรวมของวัสดุขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความหนาแน่นเนื้อ รูปร่าง ขนาด ลักษณะผิว ความชื้น สิ่งปะปน วิธีการบรรจุ และวิธีการวัด หน่วยของความหนาแน่นรวมเหมือนกับความหนาแน่นเนื้อ สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$\rho = \frac{\text{มวลของวัสดุในภาชนะบรรจุ}}{\text{ปริมาตรของภาชนะบรรจุ}} \tag{2.2}$$

2.2.2 ขนาด

โดยทั่วไปหากวัสดุมีรูปร่างเป็นทรงกลมกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางได้เลย หากมีรูปร่างคล้ายทรงกลมหรือไม่เป็นทรงกลม สามารถกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต ซึ่งพิจารณาได้ง่าย ๆ โดยกำหนดให้ความยาว (L) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด ความกว้าง (W) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับความยาว และความหนา (T) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับความยาวและความกว้าง ทำได้โดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์หรือไมโครมิเตอร์ คำนวณจากสมการ [10] ดังนี้

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (2.3)$$

เมื่อ D_g = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (มิลลิเมตร)
L = ความยาว (มิลลิเมตร)
W = ความกว้าง (มิลลิเมตร)
T = ความหนา (มิลลิเมตร)

2.2.3 น้ำหนักเฉลี่ย

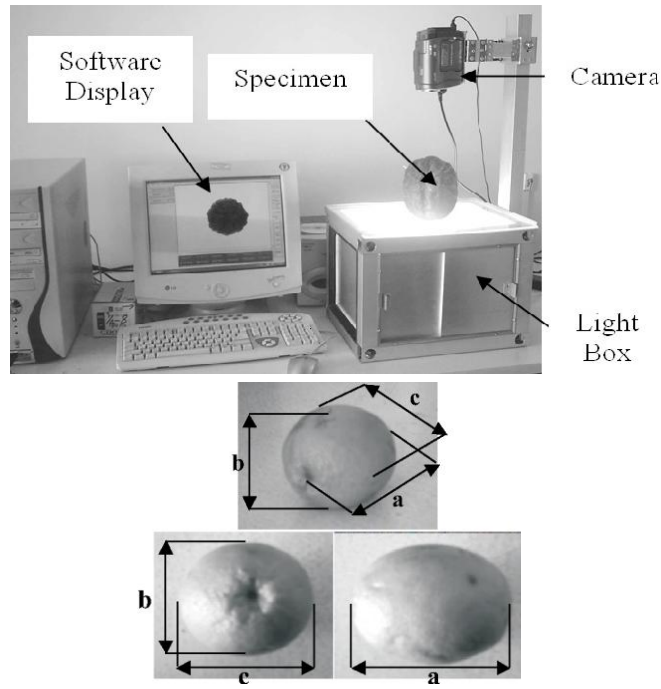
น้ำหนักเฉลี่ยของวัสดุหาได้จากการชั่งวัสดุจำนวน 100 ชิ้น คำนวณได้จากสมการ [11] ดังนี้

$$W_{100} = \frac{\Sigma M}{100} \times 100 \quad (2.4)$$

เมื่อ W_{100} = น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
M = มวลของวัสดุแต่ละชิ้น (กรัม)

2.2.4 พื้นที่ภาพฉาย

พื้นที่ภาพฉาย (projected area) หมายถึง พื้นที่ที่ได้จากการฉายภาพวัสดุลงบนแผ่นระนาบ พื้นที่ภาพฉายเป็นสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของอาหาร ที่นำมาใช้ประโยชน์เพื่อการคัดขนาด การคัดคุณภาพ ของวัตถุดิบ รวมทั้งผลิตภัณฑ์อาหาร โดยวิธีการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย (image processing)

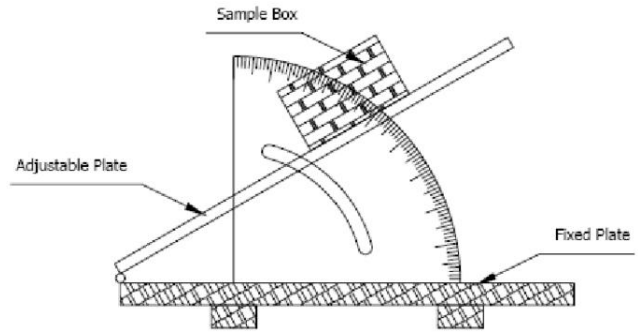


รูปที่ 2.6 การหาพื้นที่ภาพฉายของวัสดุทางการเกษตรและอาหาร [12]

2.2.5 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต

สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต (coefficient static friction) หมายถึง การนำวัสดุวางบนพื้นโดยมีแรงกดลงบนพื้นเท่ากับน้ำหนักของตัววัสดุเอง (W) และมีแรงฉุด (F) ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแรง W ในขณะที่มีแรงฉุดจะเกิดแรงเสียดทานขึ้นที่ผิวของวัสดุกับพื้นเพื่อต้านการเคลื่อนที่ แรงต้านที่เกิดขึ้นขณะที่วัสดุเริ่มการเคลื่อนที่เรียกว่า แรงเสียดทานสถิต สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาสถิต สามารถหาได้โดยใช้อุปกรณ์ (รูปที่ 2.7) ซึ่งเป็นอุปกรณ์หาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต โดยนำวัสดุที่ต้องการหาค่าว่างลงบนแผ่นเอียงแล้วค่อย ๆ ยกแผ่นเอียงขึ้นจนกระทั้งวัสดุเริ่มเคลื่อนที่ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตจะเป็นค่าแทนเจ็นท์ (tangent) ของมุมที่พื้นเอียงทำกับพื้นราบ มีสมการดังนี้

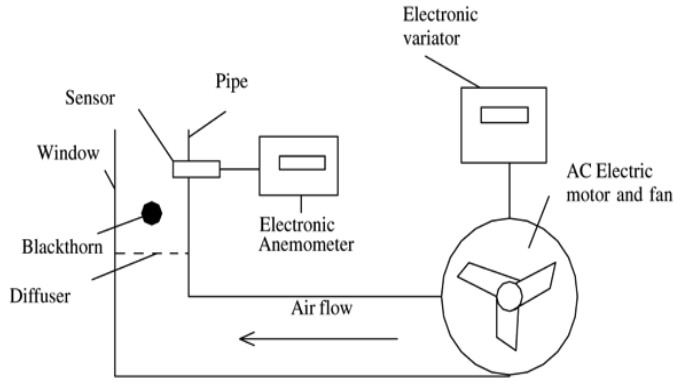
$$\mu = \tan\theta \tag{2.5}$$



รูปที่ 2.7 การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต [13]

2.2.6 ค่าความเร็วลมต่ำสุด

ความเร็วลมต่ำสุด (terminal velocity) เป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุทางอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการทำความสะอาดด้วยลม การคัดแยก การคัดขนาด และการทำแห้ง โดยใช้ชุดทดลองการหาสมบัติทางพลศาสตร์ (รูปที่ 2.8) เป่าวัสดุให้ลอยตัวคงที่ที่ความสูงระดับหนึ่งและใช้เครื่องมือวัดความเร็วลม



รูปที 2.8 การหาค่าความเร็วลมต้าสุด [14]

2.3 เครื่องคัดแยกชนิดต่างๆ

การคัดแยกวัตถุดิบ (sorting operation) โดยทั่วไปแล้วใช้สมบัติทางกายภาพของวัตถุนั้น ๆ เป็นตัวกำหนดวิธีคัดแยก การคัดแยกเป็นการทำให้วัตถุดิบมีความสม่ำเสมอในด้านคุณภาพ ความแก่อ่อน ขนาดและรูปร่าง ก่อนที่จะเข้าสู่ขบวนการอื่น ๆ ต่อไป [15]

การคัดแยกแบ่งตามคุณลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบได้ดังนี้

ก. ขนาด

ข. รูปร่าง

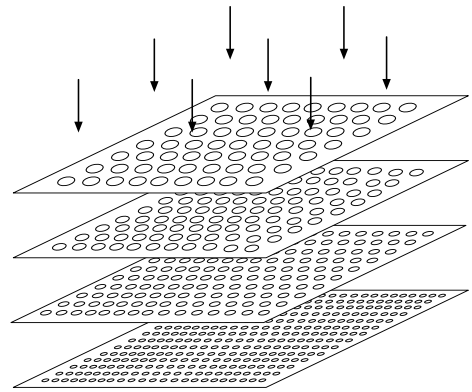
ค. น้ำหนักจำเพาะและความหนาแน่น

ง. ลักษณะของผิว

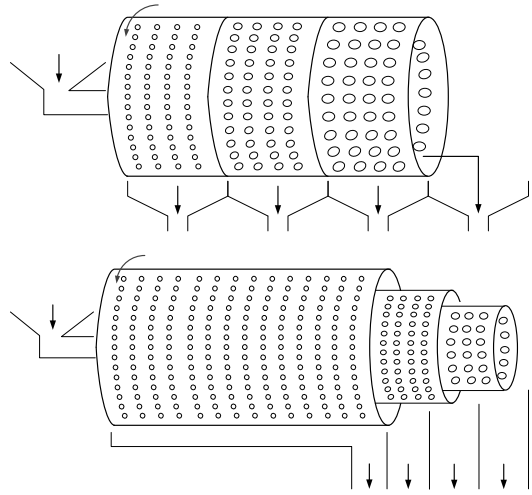
2.3.1 การคัดแยกด้วยขนาด

วัตถุดิบที่มีขนาดต่างกัน คือ มีความกว้าง ความยาว ความหนาหรือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต่างกันสามารถที่จะคัดแยกออกจากกันได้ เพื่อที่จะทำให้วัตถุดิบมีความสม่ำเสมอก่อนที่จะนำไปแปรรูปหรือก่อนการนำไปจำหน่ายต่อไป เครื่องคัดแยกตามขนาดมีหลายประเภท ได้แก่

1) เครื่องคัดแยกขนาดที่มีช่องเปิดคงที่ เป็นเครื่องคัดแยกขนาดที่ออกแบบได้ง่าย โดยใช้ตะแกรงรูที่มีขนาดของรูคงที่ทั้งแผ่นหรือเรียกว่าตะแกรงแบบฐานเรียบ (flatbed screen) (รูปที่ 2.9) วางซ้อนกันตามแต่ละขนาดที่เราจะคัดแยกติดมอเตอร์เพื่อเขย่าตะแกรงให้วัตถุดิบเคลื่อนที่ลงตามรูที่เรากำหนด นอกจากตะแกรงแบบฐานเรียบแล้วยังมีที่เป็นแบบลูกกลิ้ง (drum screen) (รูปที่ 2.10) ในขณะคัดแยกลูกกลิ้งจะหมุนด้วยความเร็วที่เหมาะสมด้วยมุมเอียงของลูกกลิ้งที่เหมาะสม วัตถุดิบที่มีขนาดเล็กจะผ่านรูตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุดิบ ส่วนวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ที่ผ่านรูตะแกรงไม่ได้จะไปออกอีกทาง อาจจะเป็นตะแกรงชั้นเดียวแต่มีขนาดของรูตะแกรงเรียงจากขนาดรูตะแกรงเล็กไปหารูตะแกรงใหญ่สุด หรือจะเป็นแบบมีหลายชั้น ถ้าเป็นแบบหลายชั้น ตะแกรงชั้นบนสุดจะมีรูตะแกรงใหญ่กว่าชั้นล่าง จะทำให้วัตถุดิบที่ต้องการคัดแยกที่มีขนาดเล็กสามารถรอดผ่านรูตะแกรงจากชั้นบนลงมาชั้นล่างได้ และวัตถุดิบที่คัดแยกได้จะอยู่บนตะแกรงที่มีขนาดรูเล็กกว่าขนาดของวัตถุดิบ ในขณะคัดแยกนั้นส่วนมากจะมีการเขย่าร่วมด้วย [16]

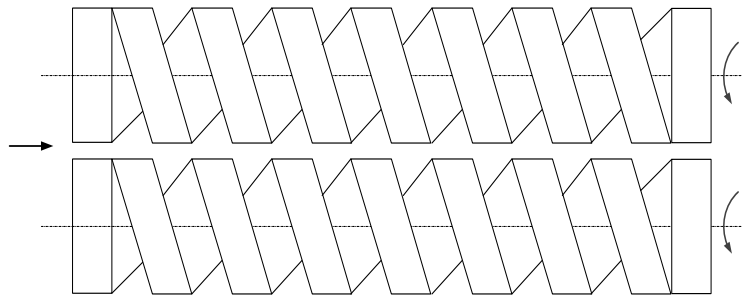


รูปที่ 2.9 ตะแกรงแบบฐานเรียบ [16]



รูปที่ 2.10 ตะแกรงแบบลูกกลิ้ง [15]

2) เครื่องคัดแยกขนาดที่มีช่องเปิดไม่คงที่ เครื่องคัดแยกขนาดวัตถุดิบประเภทนี้ ได้แก่ เครื่องคัดแยกแบบสกรู (screw separator) (รูปที่ 2.11) จะมีขนาดของช่องเปิดที่ใช้สำหรับคัดแยกไม่คงที่ โดยเครื่องจะมีลักษณะเป็นสกรูสองชุดหมุนในทิศทางเดียวกัน ในขณะคัดแยกจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า วัตถุดิบจะแยกออกตามขนาดของร่องสกรู

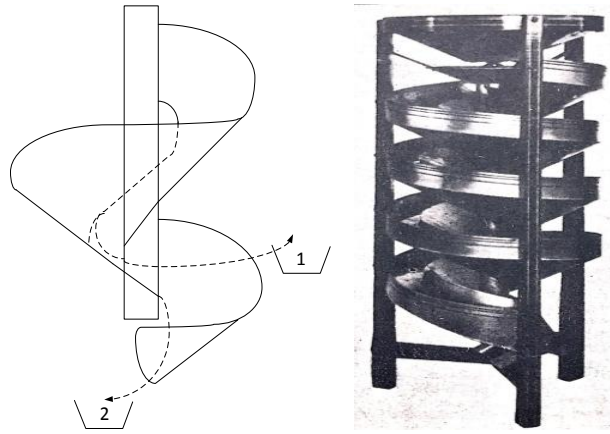


รูปที่ 2.11 เครื่องคัดแยกแบบสกรู [15]

2.3.2 การคัดแยกด้วยรูปร่าง

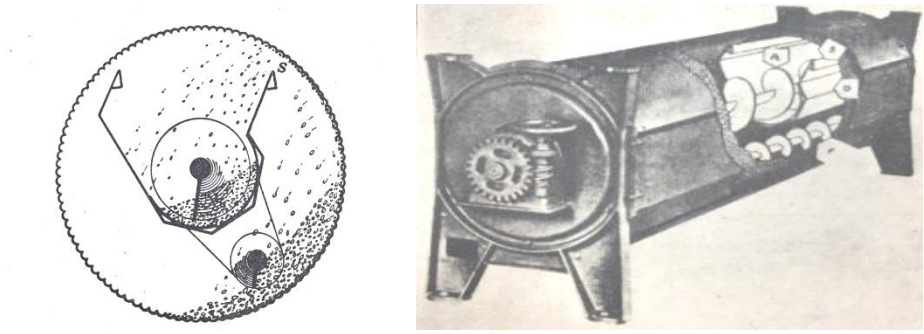
รูปร่างของวัตถุดิบเป็นอีกคุณลักษณะทางกายภาพที่สามารถใช้ในการคัดแยกได้ เครื่องคัดแยกด้วยรูปร่างได้แก่

1) เครื่องคัดแยกแบบบันไดเวียน (spiral separator) มีลักษณะเป็นเกลียวต่อกันในแนวดิ่ง (รูปที่ 2.12) ในการคัดแยกวัตถุดิบที่มีลักษณะกลมจะไหลลงตามเกลียวของเครื่องคัดแยก เมื่อวัตถุดิบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่มากพอจะทำให้วัตถุดิบนั้นแยกออกนอกเกลียวของเครื่องคัดแยกเข้าสู่ที่รองรับ 1 ส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนที่ไม่มีลักษณะกลมหรือเป็นสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วและแรงเหวี่ยงในระดับเดียวกับวัตถุดิบที่มีลักษณะกลม จะไหลลงตามเกลียวจนถึงส่วนล่างสุดของเกลียวเข้าสู่ที่รองรับที่ 2



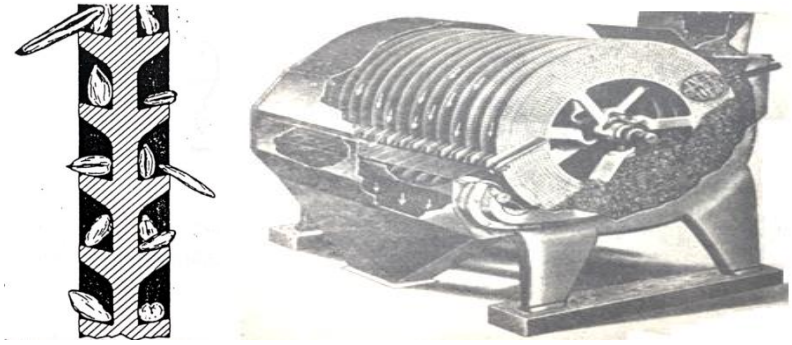
รูปที่ 2.12 เครื่องคัดแยกแบบบันไดเวียน [15]

2) เครื่องคัดแยกแบบทรงกระบอก (cylinder Separator) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกตั้งในแนวนอน พื้นผิวภายในเครื่องคัดแยกแบบทรงกระบอกมีร่องครึ่งวงกลมซึ่งสามารถคัดแยกเมล็ดพืชได้ (รูปที่ 2.13) เมล็ดพืชที่มีความกว้างมากกว่าร่องภายในเครื่องคัดแยกจะหมุนออกมาก่อนที่จะตกลงในส่วนที่คัดแยกแล้ว ส่วนเมล็ดพืชที่มีความกว้างน้อยกว่าร่องภายในเครื่องคัดแยกจะเคลื่อนที่ได้สูงและตกลงในส่วนคัดแยก จากนั้นสกรูลำเลียงที่อยู่ด้านล่างจะลำเลียงเมล็ดพืชที่ถูกคัดแยกออกไปยังส่วนรองรับ



รูปที่ 2.13 เครื่องคัดแยกแบบทรงกระบอกและภาพตัดขวาง [15]

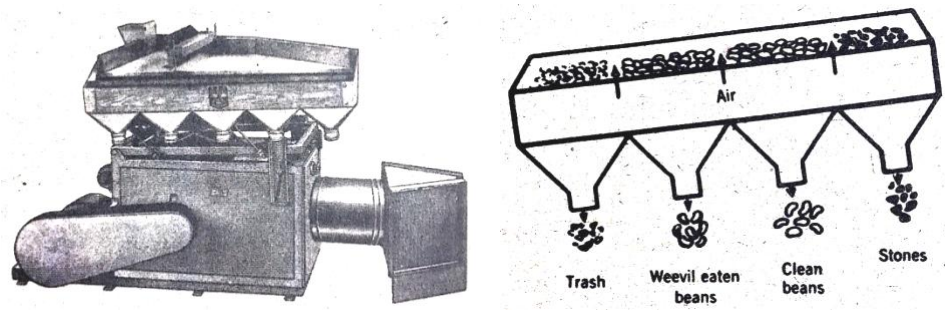
3) เครื่องคัดแยกแบบจานหมุน (disc separator) เป็นเครื่องคัดแยกที่สามารถคัดแยกเมล็ดพืชที่มีลักษณะสั้นออกจากเมล็ดพืชที่มีลักษณะยาว (รูปที่ 2.14) โดยจานหมุนในเครื่องคัดแยกทำให้เกิดการคัดแยกโดยเมล็ดพืชจะเข้าไปสะสมอยู่ในร่องของจานหมุน ระยะของร่องในจานหมุนในแต่ละอันนั้นมีขนาดไม่เท่ากัน โดยจานหมุนอันแรกจะมีขนาดร่องเล็กสุดจานหมุนอันต่อไปจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เครื่องคัดแยกแบบจานหมุนจะมีประสิทธิภาพการคัดแยกสูง มีประโยชน์ในกระบวนการคัดแยกเมล็ดพืชระดับอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.14 เครื่องคัดแยกแบบจานหมุนและภาพตัดขวาง [15]

2.3.3 การคัดแยกโดยความถ่วงจำเพาะ

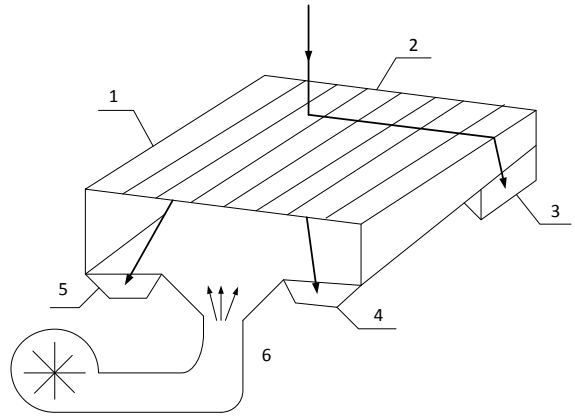
1) เครื่องคัดแยกโดยความถ่วงจำเพาะ (specific gravity separator) จะคัดแยกภายใต้ความแตกต่างของวัตถุดิบและวัตถุอื่นที่ปนเข้ามา ซึ่งเงื่อนไขในการคัดแยกนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของวัตถุดิบในการไหลบนพื้นราบ และการลอยตัวของวัตถุดิบเมื่อมีลมเป่าขึ้นจากด้านล่าง ลักษณะของเครื่องคัดแยกประเภทนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ กระบะเอียงจากด้านหน้าลงมาด้านหลังของเครื่องคัดแยก ด้านล่างของกระบะมีช่องให้ลมเป่าขึ้นมาตามมุมที่กำหนด การทำงานของเครื่องคัดแยกโดยความถ่วงจำเพาะ เริ่มด้วยการป้อนวัตถุดิบเข้าไปในเครื่อง จากนั้นกระบะจะเคลื่อนที่ไปมาและมีลมเป่าจากด้านล่าง ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของวัสดุ โดยวัสดุเล็ก ๆ จะลอยด้วยแรงลมแล้วตกออกมาทางช่องคัดแยก ส่วนวัสดุที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถเคลื่อนที่ด้วยแรงลมจะเคลื่อนที่ตามความสั่นสะเทือนของกระบะแล้วจึงแยกออกจากกันเป็นส่วน ๆ



รูปที่ 2.15 เครื่องคัดแยกโดยความถ่วงจำเพาะ [15]

2) เครื่องคัดแยกโดยใช้ลมเป่า (pneumatic separator) คัดแยกวัตถุดิบโดยใช้ความถ่วงจำเพาะอีกประเภทหนึ่ง เมื่อเทวัตถุดิบที่ต้องการคัดแยกผ่านตะแกรง (1) ที่สั่นไปมาดังแสดงในรูปที่ 2.14 ภายในตะแกรงมีจุดยกระดับและเอียงไปอีกด้านของพื้นตะแกรงเพียงเล็กน้อย (2) ในขณะที่เครื่องสั่นไปมาอยู่นั้นลมจากโบลเวอร์ (blower) (6) จะป่าผ่านตะแกรงขึ้นมาวัสดุที่หนัก

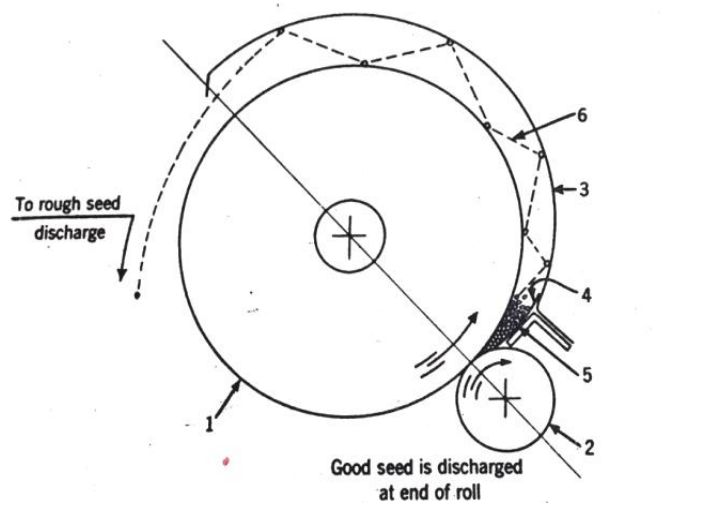
กว่า จะไหลมารวมกันที่ด้านท้ายของตะแกรงแล้วออกไปยังที่รองรับ (5) ส่วนวัสดุที่เบาจะไหลไปรวมกันที่ด้านบนของตะแกรงแล้วออกสู่ที่รองรับ (3) วัสดุที่มีน้ำหนักจำเพาะเท่าๆกันจะออกสู่ที่รองรับ (4)



รูปที่ 2.16 เครื่องคัดแยกโดยใช้ลมเป่า [15]

2.3.4 การคัดแยกด้วยลักษณะของผิว

ผิวของวัตถุดิบใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดแยกวัตถุดิบเมื่อไม่สามารถทำการคัดแยกด้วยวิธีอื่น เนื่องจากวัตถุดิบนั้นมี ขนาด รูปร่าง และความหนาแน่นใกล้เคียงกันมาก เครื่องคัดแยกด้วยลักษณะของผิวจะคัดแยกวัตถุดิบที่มีผิวขรุขระกับวัตถุดิบที่มีผิวเรียบลักการทำงานของเครื่องคือ ลูกกลิ้ง (1) ทำให้เกิดการแยกตัวของวัตถุดิบที่มีผิวขรุขระ เมื่อลูกกลิ้งหมุนวัตถุดิบจะชนผิวของลูกกลิ้งแล้วกระเด็นมากระทบกับฝาครอบ (3) วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ออกมาข้างนอกเครื่องคัดแยกตามทิศทางที่มีเส้นประ (6) ส่วนเมล็ดพืชที่มีผิวเรียบจะไหลออกทางช่องท้ายลูกกลิ้ง (4) [15]



รูปที่ 2.17 เครื่องคัดแยกด้วยลักษณะของผิว [15]

2.4 หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

2.4.1 เหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) เป็นโลหะผสมที่มีความแข็งแรงทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดีและยังสามารถทำความสะอาดได้ง่าย จึงนิยมนำเหล็กกล้าไร้สนิมมาเป็นวัสดุในการผลิตเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับอาหาร เหล็กกล้าไร้สนิมแบ่งออกเป็นหลายชนิดตามส่วนประกอบของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนั้น ดังแสดงในตารางที่ 2.3

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีส่วนประกอบคือ โครเมียมร้อยละ 18 นิกเกิลร้อยละ 9 เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้ The American iron and steel institute (AISI) แนะนำให้ใช้เป็นพื้นผิวที่สัมผัสอาหาร แต่ 3A Sanitary standards (3A-SS) อนุญาตให้ใช้เฉพาะส่วน เช่น ท่อ เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิห้อง ที่ความดันบรรยากาศ มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 8.0 สามารถทนการกัดกร่อนของสารละลายคลอรีน ความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

เหล็กกล้าไร้สนิม 316 มีส่วนประกอบคือ โครเมียมร้อยละ 17 นิกเกิลร้อยละ 10 และโมลิบดินัมร้อยละ 3 เพื่อป้องกันการกัดกร่อน ซึ่ง 3A Sanitary standards แนะนำให้ใช้เป็นพื้นผิวสัมผัสอาหาร สามารถทนอุณหภูมิสูงมากและต่ำมากได้ ทนการกัดกร่อนของคลอรีนที่มีความเข้มข้นสูง ใช้เป็นวัสดุสำหรับเครื่องจักรอุปกรณ์แปรรูปอาหาร เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L และ 316L เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีส่วนผสมของคาร์บอนต่ำกว่าร้อยละ 0.03 ซึ่งทำให้เชื่อมชิ้นงานได้ง่าย [17]

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดต่าง ๆ [17]

Type of stainless steel	Compositions			
	Carbon (%)	Chromium (%)	Nigel (%)	Molybdenum (%)
304	>0.08	18	9	-
304L	>0.03	18	9	-
316	>0.08	17	10	3
316L	>0.03	18	14	3

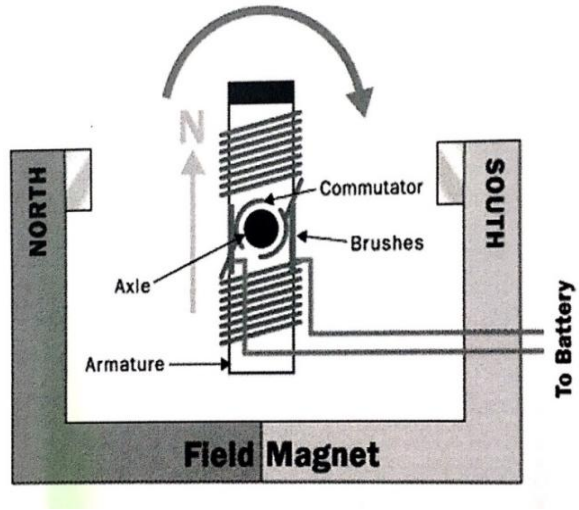
2.4.2 มอเตอร์

มอเตอร์ (motor) คืออุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มอเตอร์แบ่งได้ 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (direct current motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating current motor)

1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (direct current motor) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโครงสร้างภายในของมอเตอร์กระแสตรงประกอบไปด้วยส่วนหลัก ๆ 2 ส่วน

ก) ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ (stator)

ข) แกนหมุน (rotor) ซึ่งประกอบด้วย แกนเพลา (shaft) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (armature core) คอมมิวเตเตอร์ (commutator) และขดลวดอาร์เมเจอร์ (armature widing) ดังรูปที่ 2.18 [18]



รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง [19]

2) มอเตอร์กระแสสลับ (alternating current motor) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีหลักการคือ แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยไฟฟ้าที่ใช้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่า ซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (AC single phase) มีหลายชนิดดังนี้

1) สปลิทเฟสมอเตอร์ (split-phase motor)

2) คาปาซิสเตอร์มอเตอร์ (capacitor motor)

3) รีพัลชั่นมอเตอร์ (repulsion motor)

4) ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (universal motor)

5) เช็ดเดดโพลมอเตอร์ (shaded-pole motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบ่งออกตามโครงสร้างและหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1) แบบอินดักชั่น (3 phase induction motor)

2) แบบซินโครนัส (3 phase synchronous motor)

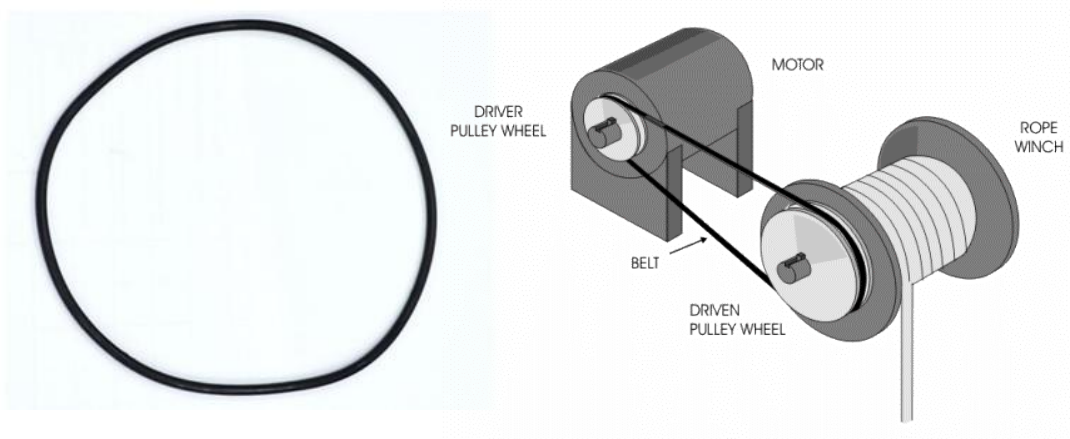
2.4.3 เพลา

เพลา (shalf) เป็นชิ้นส่วนเครื่องมือกล ที่มีความสำคัญในระบบส่งผ่านกำลัง กำลังที่ส่งผ่านเพลาอยู่ในรูปของโมเมนต์แรงบิด (torque) ในการส่งกำลังผ่านระหว่างเพลาหนึ่งไปอีกเพลาหนึ่งจำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง เช่น โซ่ เฟือง และสานพาน เป็นต้น ดังนั้นจึงเกิดแรงซึ่งเกิดจากการขบกันของเฟือง แรงเนื่องจากการฉุดของโซ่ หรือแรงดึงจากสายพานมากระทำต่อเพลา ทำให้เกิดโมเมนต์ตัด (bending moment) ขึ้นบนเพลาด้วยดังนั้นขณะที่เพลาทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังเพลาจะรับทั้งโมเมนต์บิดและโมเมนต์ดัดพร้อม ๆ กัน เนื่องจากว่าเพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีอยู่ในเครื่องจักรกลเกือบทุกชนิด ดังนั้นจึงสมควรที่จะได้พิจารณาถึงการออกแบบเพลา โดยเฉพาะเพลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกัน [20]

2.4.4 สายพาน

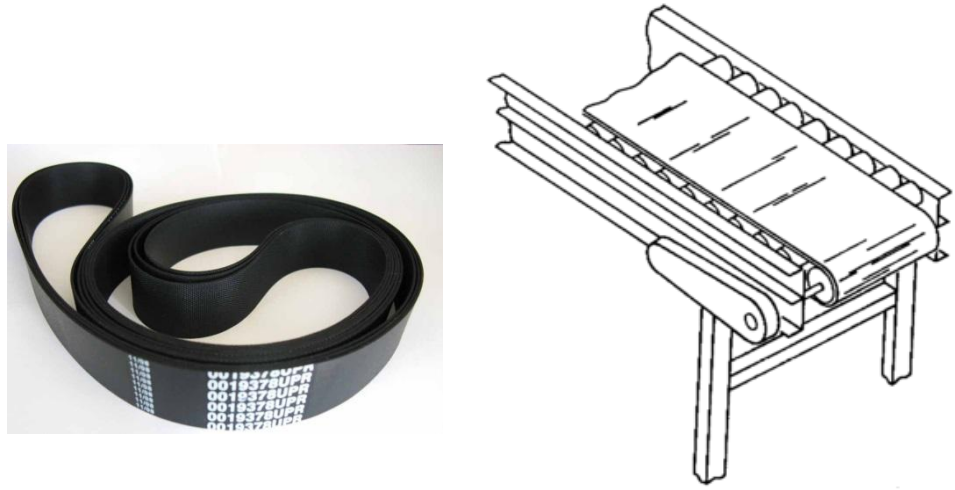
สายพาน (belt) ทำหน้าที่ส่งถ่ายกำลังทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเพลาขับและเพลาตามตลอดจนเพิ่มหรือลดความเร็วรอบในการหมุนของเพลา ข้อดีของสายพานคือ ติดตั้งง่าย ไม่ต้องใช้สารหล่อลื่น ส่งถ่ายกำลังได้นุ่มนวลและส่งกำลังได้ดีกรณีเพลาวางห่างกันมาก ข้อเสียของการส่งกำลังด้วยสายพานคือ อาจเกิดการลื่นไถล (slip) ขณะส่งกำลัง มีแรงกระทำที่จุดรองรับสูงและใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก โดยทั่วไปจะแบ่งชนิดของสายพานตามลักษณะหน้าตัดของสายพานได้แก่ สายพานกลม (ropes belts) สายพานแบน (flat belts) และสายพานทรงวี (V-belts) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) สายพานกลม (ropes belts) มีลักษณะหน้าตัดของสายพานเป็นรูปวงกลม ใช้กับงานที่ต้องการส่งกำลังน้อย ๆ เช่น จักรเย็บผ้า สายพานกลมปกตินิยมผลิตจากหนัง หรือโพลี่ยูรีเทน (polyurethane) ทำให้เกิดความเหนียว [21]



รูปที่ 2.19 ลักษณะการติดตั้งสายพานกลม [21]

2) สายพานแบน (flat belts) มีลักษณะหน้าตัดของสายพานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วรอบสูงถึง 120 เมตรต่อนาที อัตราทดที่เหมาะสม $I < 20$ เหมาะสำหรับงานที่มีเพลาขับกับเพลาตามอยู่ห่างกันมากและสามารถติดตั้งในรูปแบบไขว้ตัวของสายพานได้ทำให้สามารถเปลี่ยนทิศทางการหมุนของเพลาตาม ข้อเสียของสายพานแบนคือ เกิดการลื่นไถล (slip) ได้ง่าย



รูปที่ 2.20 การติดตั้งสายพานแบน [21]

3) สายพานทรงวี (V-belts) มีลักษณะหน้าตัดของสายพานเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สามารถขับส่งกำลังด้วยมีอัตราทดที่สูง การลื่นไถล (slip) น้อยกว่าสายพานแบน สามารถส่งถ่ายแรงขับได้มากกว่าสายพานแบน 3 เท่า ไม่เหมาะกับงานที่วางตำแหน่งเพลาขับกับเพลาตามหางกัน

รูปที่ 2.21 ภาพหน้าตัดของสายพานทรงวี [21]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sirisomboon et al. [4] ศึกษาสมบัติทางกายภาพของถั่วเหลืองฝักสด เพื่อพัฒนาเครื่องคัดแยก โดยแบ่งกลุ่มของถั่วเหลืองฝักสดออกเป็น ฝักสมบูรณ์ 3 เมล็ดต่อฝักและ 2 เมล็ดขนาดใหญ่ต่อฝัก) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 47 และฝักไม่สมบูรณ์ ได้แก่ ฝักที่มี 2 เมล็ดขนาดเล็กต่อฝัก 1 เมล็ดต่อฝัก ฝักแคระแกร็น ฝักที่มีลักษณะบิดเกลียว และฝักเสีย สมบัติทางกายภาพที่ถูกเลือกมาศึกษา ได้แก่ ความกว้าง ความยาว ความหนา น้ำหนักต่อฝัก พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นรวมและความแน่นเนื้อของฝัก ผลการทดสอบพบว่าฝักที่มีความสมบูรณ์มีสมบัติทางกายภาพด้าน ความยาว น้ำหนักต่อฝัก พื้นที่ภาพฉายและความแน่นเนื้อของฝักมีค่ามากกว่าฝักที่ไม่สมบูรณ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับผลการศึกษานี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องคัดขนาดถั่วเหลืองฝักสด ซึ่งความหนาของฝักเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการออกแบบเพื่อคัดแยกระหว่างฝักที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ออกจากกัน

จตุรงค์ และคณะ [5] ออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดกระเทียม วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานและลดเวลาในการคัดขนาดกลีบกระเทียมสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องเทศ เครื่องต้นแบบประกอบด้วย โครงสร้าง ชุดคัดขนาด ช่องป้อนกลีบกระเทียม ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง การทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ทำงานป้อนกลีบกระเทียมที่ต้องการคัดขนาดลงในถังป้อนกลีบกระเทียมทางด้านบนของเครื่อง หลังจากนั้นกลีบกระเทียมจะไหลเข้าสู่ชุดคัดขนาด ที่ประกอบด้วยตะแกรงทรงกระบอกหมุน 3 ชั้น ที่สามารถคัดขนาดได้ 3 ขนาด และกระเทียมที่ผ่านการคัดขนาดจะไหลสู่ช่องทางออกต่าง ๆ ทางด้านหน้าเครื่อง จากการทดสอบโดยการป้อนแบบต่อเนื่องและใช้ความเร็วรอบของชุดคัด 10 15 และ 20 รอบต่อนาที ตามลำดับ พบว่าเครื่องคัดขนาดกระเทียมต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วของชุดคัดขนาด 20 รอบต่อนาที มีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดขนาด 90.8% ความสามารถในการทำงาน 167.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.8 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าเมื่อใช้เครื่องคัดขนาดกลีบกระเทียม 2,400 ชั่วโมงต่อปี ได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 0.2 บาทต่อกิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุน 1.06 ปี และการใช้งานที่จุดคุ้มทุน 557 ชั่วโมงต่อปี

คุณาวุฒิ และคณะ [22] พัฒนาเครื่องคัดแยกปลาข้างเหลืองตากแห้งโดยใช้เครื่องจักรกลวิทัศน์ ซึ่งปัจจุบันการคัดแยกปลาข้างเหลืองต้องอาศัยทักษะและประสบการณ์ของผู้คัด โดยใช้สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี รูปร่างและขนาด การพัฒนาออกแบบเริ่มจากการแบ่งขนาดของปลาข้างเหลืองออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีความยาวเฉลี่ย 6.33 7.42 และ 8.25 เซนติเมตร ตามลำดับ เครื่องคัดแยกที่ออกแบบประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ชุดลำเลียงและประมวลผลภาพ ชุดประมวลผลภาพใช้กล้อง CMOS และชุดคัดแยกโดยใช้โซลินอยด์วาล์วและกระบอกลม การคัดคุณภาพของปลาจะวิเคราะห์จากรูปร่างและสีของปลา โดยการคัดแยกนำเอาคุณลักษณะของปลาที่สมบูรณ์เป็นค่ามาตรฐานในการตรวจสอบ ความแม่นยำในการคัดขนาดปลาข้างเหลืองตากแห้งโดยเครื่องที่ออกแบบเฉลี่ยร้อยละ 94.40 ความเร็วในการคัดแยกเฉลี่ย 480 ตัวต่อชั่วโมง

ธวัชชัย และ ชัยยันต์ [23] ออกแบบ สร้าง และประเมินผลเครื่องคัดขนาดถั่วลิสงเมล็ดโตแบบตะแกรงหมุนทรงกระบอก โดยใช้ถั่วลิสงพันธุขอนแก่น 60-3 ในการทดสอบ โดยเริ่มจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของเมล็ดถั่วลิสง การศึกษาและทดสอบหาหลักการทำงานที่มี

แนวโน้มเหมาะสมที่สุดในการคัดขนาด เมล็ดถั่วลิสง การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการคัดขนาดเมล็ดถั่วลิสง การออกแบบ สร้าง ทดสอบและประเมินผล เครื่องต้นแบบได้รับการทดสอบและประเมินผล โดยทำการคัดขนาดเมล็ดถั่วลิสง สำหรับช่องป้อน 3 ขนาด พบว่าค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับความเร็วเชิงเสนของชุดตะแกรงคัด คือ 0.24 เมตรต่อวินาที ที่ช่องป้อนขนาดเล็ก (600-800 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีอัตราการทำงาน 717.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความแม่นยำในการคัด 80.20% เมล็ดเสียหาย 0.55 % ร้อยละการงอกที่ลดลงของเมล็ด 4.35% และไม่มีเมล็ดติดตะแกรง

ศักดิ์สิทธิ์ และคณะ [24] ศึกษาเครื่องคัดแยกขนาดเมล็ดกาแฟเชอรี่ด้วยเครื่องจักร สร้างเครื่องคัดแยกขนาดเมล็ดกาแฟเชอรี่มาเป็นต้นแบบและทดสอบสมรรถนะของเครื่องคัดแยกขนาดโดยได้ออกแบบให้มีตะแกรงรูปทรงกระบอก 2 ชิ้น มีความสามารถในการคัดแยกขนาดเมล็ดกาแฟเชอรี่ 3 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 16 มิลลิเมตรขึ้นไป (เบอร์ 1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14-16 มิลลิเมตร (เบอร์ 2) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 14 มิลลิเมตร (เบอร์ 3) ซึ่งเครื่องคัดแยกขนาดเมล็ดกาแฟเชอรี่มีความกว้างเท่ากับ 1,000 มิลลิเมตร มีขนาดความยาวเท่ากับ 2,000 มิลลิเมตร และมีความสูงเท่ากับ 800 มิลลิเมตร โดยใช้มอเตอรขนาด 220โวลต์ 1แรงม้าเป็นต้นกำลัง และมีรอบการทำงานของตะแกรงคัดแยกขนาดเท่ากับ 6 รอบต่อนาที ผลการทดลองพบว่า เครื่องคัดแยกขนาดเมล็ดกาแฟเชอรี่สามารถทำงานได้ดีที่มุมเอียง 5 องศา มีความสามารถในการคัดแยกขนาดเมล็ดกาแฟเชอรี่ เบอร์ 1 เท่ากับ 88% เบอร์ 2 เท่ากับ 91% และเบอร์ 3 เท่ากับ 94% มีประสิทธิภาพในการคัดแยกขนาดเมล็ดกาแฟเชอรี่ในภาพรวมเท่ากับ 91% และมีอัตราในการคัดแยกปริมาณเมล็ดกาแฟเชอรี่เท่ากับ 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า หลักการออกแบบเครื่องคัดขนาดหรือเครื่องคัดแยกต้องอาศัยข้อมูลด้านสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบเป็นสำคัญ ได้แก่ ขนาดและรูปร่าง พื้นที่ผิว ปริมาตรและมวล ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ความพรุน พื้นที่ผิวจำเพาะ เป็นต้น ซึ่งสมบัติดังกล่าวเกี่ยวข้องเป็นปัจจัยในการกำหนดการควบคุมคุณภาพ การออกแบบเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปรรูปและเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง การออกแบบและควบคุมระบบการแปรรูป การออกแบบและควบคุมการบรรจุและภาชนะบรรจุ การขนส่งขนถ่ายและเก็บรักษาวัตถุดิบตลอดจนถึงผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผู้ออกแบบต้องทราบถึงข้อมูลเหล่านี้ เมื่อทำการออกแบบตามหลักวิศวกรรมแล้วต้องทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร ความแม่นยำในการคัดแยก และจุดคุ้มทุนในการลงทุน

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยการออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งได้แบ่งการทดลองหลักออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) การศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดขนาด 2) การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้งแบบต่อเนื่อง 3) การปรับปรุงและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง

3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดขนาด

สมบัติทางกายภาพของวัสดุเกษตรมีความสำคัญอย่างมากต่อการออกแบบเครื่องจักรเพื่อแปรรูปอาหาร เพื่อถนอมอาหาร เพิ่มคุณ การขนส่งและเก็บรักษา เป็นข้อมูลสำคัญและเป็นประโยชน์ งานวิจัยการศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งนี้ แบ่งการศึกษาเป็น 5 หัวข้อ ซึ่งมีความสำคัญต่อการออกแบบเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้ง ได้แก่ 1) ขนาดและมวล 2) พื้นที่ภาพฉาย 3) ความหนาแน่นรวม 4) แรงเสียดทานสถิต และ 5) ความเร็วลมต่ำสุด

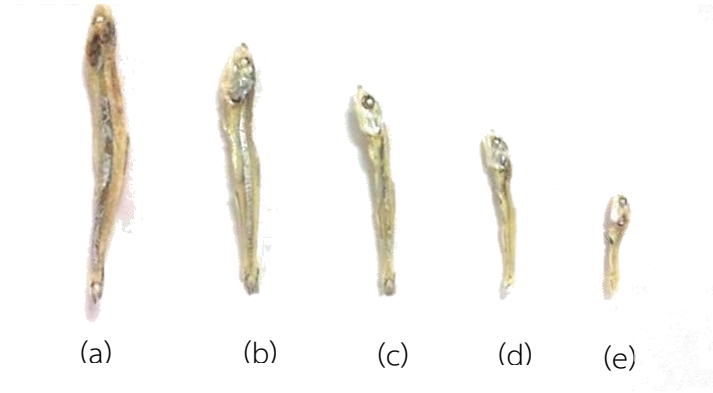
3.1.1 การเตรียมตัวอย่างปลากะตักแห้งสำหรับการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

1) เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร (รุ่น 530-104, Mitutoyo, Japan)
2) เครื่องชั่งมวลไฟฟ้า ความละเอียด 0.01 กรัม (รุ่น UX3200G, Shimadzu, Japan)
3) ถุงพลาสติกชนิดโพลี่เอทิลีนแบบซิปล็อค
4) ตู้เย็น

วิธีการเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างปลากะตักแห้งชนิดคละขนาดได้รับจากบริษัทมารีน ฟายน์ ฟูดส์ จำกัด จังหวัดระยอง คัดขนาดความยาว ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์และแบ่งออกเป็น 5 ขนาด คือ ขนาดเล็กมาก (2.00 ถึง 2.50 เซนติเมตร) ขนาดเล็ก (2.51 ถึง 3.50 เซนติเมตร) ขนาดปานกลาง (3.51 ถึง 4.50 เซนติเมตร) ขนาดใหญ่ (4.51 ถึง 5.50 เซนติเมตร) และขนาดใหญ่มาก (5.51 ถึง 7.50 เซนติเมตร) (รูปที่ 3.1) เป็นความยาวมาตรฐานของตัวปลากะตักแห้งที่บริษัทใช้ส่งขายในประเทศและต่างประเทศ ตัวอย่างแต่ละขนาดมีมวลรวม 1 กิโลกรัม เก็บในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนแบบซิปล็อคซ้อนสองชั้น และเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตัวอย่างที่นำมาทดลองให้ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง สุ่มตัวอย่างของแต่ละขนาด และวัดสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความหนา มวล พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นรวม ความเร็วลมต่ำสุด และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตของตัวอย่างกับพื้นผิวต่าง ๆ



รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของตัวอย่าง ขนาดใหญ่มาก (a) ขนาดใหญ่ (b) ขนาดปานกลาง (c) ขนาดเล็ก (d) และขนาดเล็กมาก (e)

3.1.2 มวลและขนาด

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1) เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร (รุ่น530-04, Mitutoyo, Japan)

2) เครื่องชั่งมวลไฟฟ้า ความละเอียด 0.01 กรัม (รุ่น UX3200G, Shimadzu, Japan)

วิธีการทดลอง

ปลากะตักแห้งถูกสุ่มมาขนาดละ 100 ตัว วัดความยาว ความกว้าง และความหนา ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ (รูปที่ 3.2) และชั่งมวลตัวอย่างแต่ละตัวด้วยเครื่องชั่งมวลไฟฟ้า จดบันทึกข้อมูลทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

รูปที่ 3.2 แสดงการวัดขนาด ด้านกว้าง (a) ด้านยาว (b) และด้านหนา (c)

3.1.3 พื้นที่ภาพฉาย

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

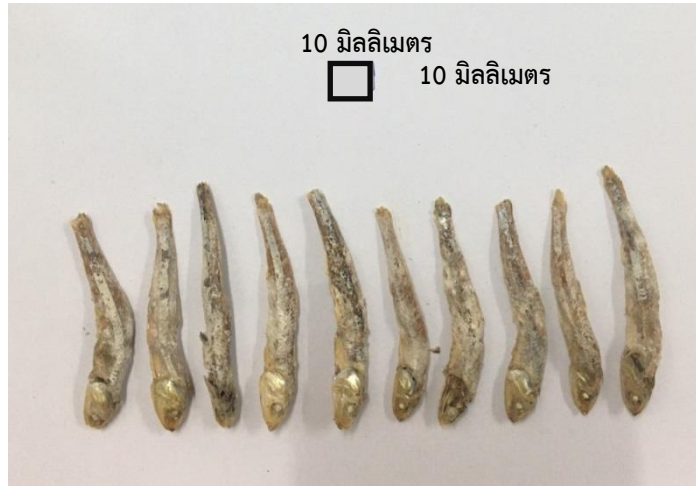
1) กล้องถ่ายภาพดิจิตอลความละเอียด 5 ล้านพิกเซล

2) กระดาษขาวแผ่นเรียบ

3) โปรแกรมวิเคราะห์รูปภาพ

วิธีการทดลอง

วิธีการหาพื้นที่ภาพฉายดัดแปลงจากวิธีการที่ระบุในงานวิจัยของ S. Ercisli et. al., [25] วางปลากะตักแห้งบนกระดาษขาวพื้นผิวเรียบ ครั้งละ 10 ตัว (รูปที่ 3.3) ถ่ายภาพตัวอย่างจากด้านบนด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิตอลที่มีความละเอียด 5 ล้านพิกเซล วิเคราะห์หาพื้นที่ภาพฉายของตัวอย่างโดยการเปรียบเทียบกับพื้นที่พิกเซลของพื้นที่ขนาด 10x10 ตารางมิลลิเมตร ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์รูปภาพ ทุกขนาดทำ 5 ซ้ำ บันทึกข้อมูล



รูปที่ 3.3 แสดงการใช้กล้องดิจิตอลถ่ายภาพเพื่อหาพื้นที่ภาพฉาย

3.1.4 ความหนาแน่นรวม

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1) ชุดทดลองหาความหนาแน่นรวม

2) เครื่องชั่งมวลไฟฟ้า ความละเอียด 0.01 กรัม (รุ่น UX3200G, Shimadzu, Japan)

วิธีการทดลอง

ใส่ปลากะตักแห้งลงในภาชนะบรรจุที่ทราบปริมาตรและมวลที่แน่นอนจนเต็ม ปาดหน้าให้เรียบ (รูปที่ 3.4) อ่านค่าปริมาตรรวม และชั่งมวลของตัวอย่างคำนวณความหนาแน่นรวมดังสมการที่ 3.1

$$\textit{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{มวลรวมของวัสดุ}}{\text{ปริมาตรของภาชนะบรรจุ}} \qquad (3.1)$$

รูปที่ 3.4 การหาค่าความหนาแน่นรวม

3.1.5 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1) ชุดทดลองหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต

2) แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม แผ่นไม้ และแผ่นยาง

วิธีการทดลอง

วางปลากะตักแห้งลงบนพื้นเอียงของชุดทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต วัสดุที่เป็นพื้นเอียงของชุดทดสอบได้แก่ แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม แผ่นไม้ และแผ่นยาง พื้นเอียงสามารถปรับระดับได้ (รูปที่ 3.5) บันทึกค่ามุมของพื้นเอียง ที่ทำให้ตัวอย่างเริ่มเคลื่อนที่ และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ระหว่างตัวอย่างปลากะตักแห้งกับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม แผ่นไม้ และแผ่นยาง ดังสมการที่ 3.2

$$\mu = \tan\theta \tag{3.2}$$

รูปที่ 3.5 ชุดทดสอบมุมเอียง

3.1.6 วัดค่าความเร็วลมต่ำสุด

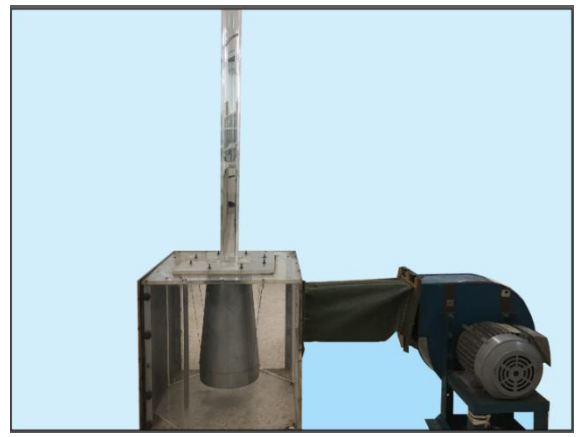
อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1) ชุดทดสอบความเร็วลมต่ำสุด

2) เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด (รุ่น DA-43A, Digicon, Japan)

วิธีการทดลอง

ปลากะตักแห้งถูกปล่อยจากด้านบนของท่อทรงกระบอกของชุดทดสอบค่าความเร็วลมสุดท้าย ครั้งละ 1 ตัว ปรับความเร็วลมจนกระทั่งปลากะตักลอยนิ่ง (รูปที่ 3.6) บันทึกค่าความเร็วลมที่ทำให้ตัวอย่างลอยนิ่ง ด้วยเครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด ทุกขนาดทำ 5 ซ้ำ



รูปที่ 3.6 ชุดทดลองหาค่าความเร็วสุดท้าย

3.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลองหาประสิทธิภาพเครื่องคัดขนาด

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างปลากะตักแห้งเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องคัดขนาด

อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมตัวอย่าง

1. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร (รุ่น 530-104, Mitutoyo, Japan)
2. เครื่องชั่งมวลไฟฟ้า ความละเอียด 0.01 กรัม (รุ่น UX3200G, Shimadzu, Japan)
3. ถุงพลาสติกชนิดโพรีเอทิลีนแบบซิปล็อค
4. ตู้เย็น

วิธีการเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างปลากะตักแห้งจาก บริษัทมารีน ฟายน์ ฟูดส์ จำกัด จังหวัดระยอง ความชื้นประมาณร้อยละ 20 ผ่านการคัดแยกเพื่อเอาปลาชนิดอื่นและเศษชิ้นส่วนปลาที่ไม่สมบูรณ์ออก และผ่านการคัดขนาดความยาวด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์มาแล้ว โดยมีทั้งหมด 5 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็กมาก (2.00-2.50 เซนติเมตร) ขนาดเล็ก (2.51-3.50 เซนติเมตร) ขนาดปานกลาง (3.51-4.50 เซนติเมตร) ขนาดใหญ่ (4.51-5.50 เซนติเมตร) ขนาดใหญ่มาก (5.51-7.50 เซนติเมตร) เก็บตัวอย่างแต่ละขนาดในถุงพลาสติกชนิดโพรีเอทิลีนแบบซิปล็อคสองชั้นเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ ประมาณ 10 องศาเซลเซียส

3.3.2 วิธีการทดลองหาประสิทธิภาพเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง

ตัวอย่างก่อนนำมาทดลองให้ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนการทดลองคัดขนาดด้วยเครื่องที่สร้างขึ้น มีการนำตัวอย่างปลามาคละกันตามสัดส่วนของการกระจายตัวของปลากะตักขนาดต่าง ๆ ในธรรมชาติ ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมี 2 ปัจจัยคือ

1 ความเร็วรอบของตะแกรงคัดขนาด ได้แก่ 10 15 และ 20 รอบต่อนาที

2 มุมเอียงของตะแกรงคัดขนาด ได้แก่ 1 2 และ 3 องศา กับแนวระดับ

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1. เครื่องชั่งมวลไฟฟ้า ความละเอียด 0.01 กรัม (รุ่น UX3200G, Shimadzu, Japan)
2. เครื่องวัดความเร็วรอบ
3. นาฬิกาจับเวลา
4. ภาชนะสำหรับรองรับปลากะตักแห้ง
5. ถุงพลาสติกชนิดโพรีเอทิลีนแบบซิปล็อค

วิธีการทดลอง

ป้อนปลากะตักแห้งคละขนาดครั้งละ 2 กิโลกรัม เข้าสู่ช่องป้อนโดยสุ่มลำดับการปรับตั้งระดับมุมเอียงของเครื่องคัดขนาด (ทำมุม 1 2 และ 3 องศา กับแนวระดับ) และในแต่ละระดับของมุมเอียงที่สุ่มได้ก็มีการสุ่มเลือกระดับความเร็วในการหมุนของตะแกรงจนครบทั้ง 3 ระดับ (10 15 และ 20 รอบ/นาที) ก่อนที่จะสุ่มเลือกระดับมุมเอียงต่อไปจนครบ 3 ระดับ ในแต่ละรอบการทดลอง ทำการบันทึกเวลาที่ใช้ในการคัดขนาดและรวบรวมปลาแห้งที่ผ่านการคัดขนาดในแต่ละช่องขนาด ทำการคัดแยกด้วยมืออีกครั้ง โดยแบ่งเป็น

1) ปลาที่มีขนาดตรงตามช่องคัดขนาด

2) ปลาที่มีขนาดผิดจากช่องคัดขนาด บันทึกน้ำหนักของปลาแต่ละส่วนในทุก ๆ ช่องขนาด ทำเช่นนี้จนครบ 3 ซ้ำของการทดลอง นำข้อมูลผลการทดลองมาคำนวณหาอัตราการคัดขนาด และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดขนาดปลากะตักแห้งที่คัดได้ตรงตามขนาดโดยใช้สมการที่ (3.3) และ (3.4) ตามลำดับ

$$\textit{Sizing capacity (kg/hr)} = \frac{W_t\ (kg) \times 60(min/hr)}{t\ (hr)} \tag{3.3}$$

$$\textit{Accuracy of Sizing} = \frac{W_1\ (kg) \times 100}{W_1\ (kg) + W_0\ (kg)} \tag{3.4}$$

กำหนด W_t = น้ำหนักปลากะตักแห้งคละขนาด

t = เวลา

W_1 = น้ำหนักปลาแห้งที่ตกตรงกับขนาดช่องคัดขนาด

W_0 = น้ำหนักปลาแห้งที่ตกสู่ช่องคัดขนาดอื่น

3.3 สถิติและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับงานวิจัยนี้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1) การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งนั้น ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) และทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2) การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง ใช้แผนการทดลองแบบ Split-Plot Design ดำเนินการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน แล้วเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี least significant different (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3) การวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่ารายปี (Annual worth analysis)

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดขนาด

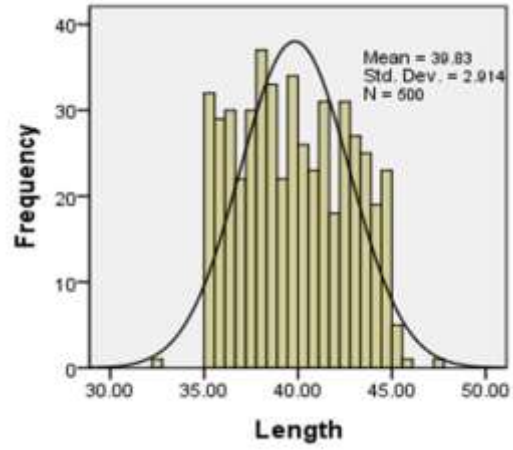
จากการทดลองศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งเพื่อใช้เป็นปัจจัยในการออกแบบเครื่องคัดขนาด ได้แก่ มวลและขนาด พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นรวม สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ และความเร็วลมต่ำสุด ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ความยาว ความกว้าง ความหนา มวล พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นรวม ความเร็วลมต่ำสุด และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ของตัวอย่างกับพื้นผิวต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคัดขนาดปลากะตักแห้ง 5 ขนาด มีความยาว ความกว้าง ความหนา มวล พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นรวม และ ความเร็วลมต่ำสุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของปลากะตักบนพื้นผิววัสดุทั้งสามชนิดที่ศึกษาได้แก่ สเตนเลส ไม้ และยาง นั้นไม่ได้มีความแตกต่างกัน ในทุก ๆ ขนาดของปลากะตัก ดังนั้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน จึงไม่สามารถนำมาเป็นเกณฑ์ในการคัดขนาดปลากะตักแห้งได้ การกระจายตัวของข้อมูล ความกว้าง ความยาว และความหนามีแนวโน้มเป็นแบบปกติ ($n = 500$) ดังรูปที่ 4.1 – 4.3 ตามลำดับ

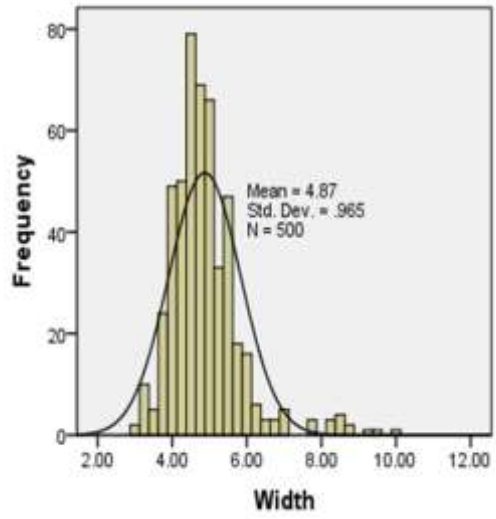
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้ง

Physical properties	Size of dried anchovy samples				
	Extra-small	Small	Medium	Large	Extra-large
Length (mm)	22.76±1.96^{a}	31.46±2.40^{b}	39.83±2.94^{c}	48.42±3.32^{d}	59.31±3.44^{e}
Width (mm)	3.16±0.64^{a}	3.86±0.75^{b}	4.86±0.96^{c}	7.64±0.96^{d}	8.54±0.90^{e}
Thickness (mm)	1.51±0.35^{a}	1.88±0.39^{b}	2.30±0.52^{c}	3.47±0.83^{d}	4.24±0.72^{e}
Mass (g/dried sample)	0.05±0.12^{a}	0.09±0.06^{b}	0.17±0.07^{c}	0.54±0.08^{d}	0.86±0.09^{e}
Project area (mm^2)	7.30±0.10^{a}	13.60±0.19^{b}	19.50±0.13^{c}	28.20±0.26^{d}	41.60±0.12^{e}
Bulk density (g/cm^3)	0.14±0.01^{a}	0.16±0.01^{b}	0.18±0.01^{c}	0.21±0.01^{d}	0.25±0.01^{e}
Terminal velocity (cm/s)	4.39±0.37^{a}	5.24±0.41^{b}	5.80±0.53^{c}	9.14±0.51^{d}	11.43±0.76^{e}
μ (stainless steel surface)	1.31±0.26^{c}	1.12±0.17^{c}	1.09±0.07^{b}	0.91±0.14^{a}	0.94±0.09^{a}
μ (wood surface)	0.82±0.14^{b}	0.78±0.12^{b}	0.73±0.12^{ab}	0.68±0.11^{a}	0.68±0.11^{a}
μ (rubber surface)	0.94±0.21^{c}	0.92±0.21^{c}	0.81±0.20^{bc}	0.75±0.17^{ab}	0.63±0.20^{a}

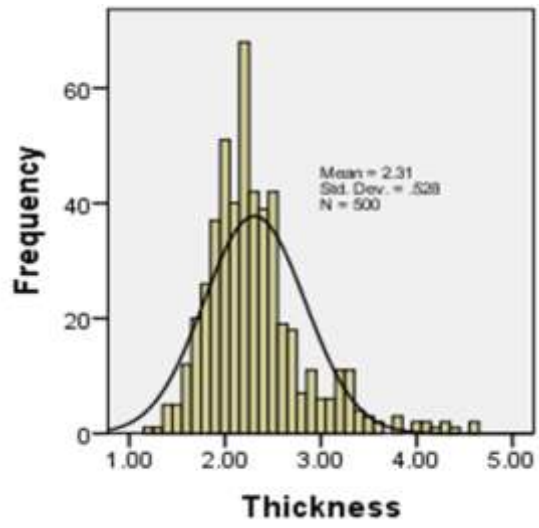
Figures with different letters in the same row are significantly different ($p<0.05$).



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของข้อมูลความกว้างของตัวอย่างปลากะตักแห้ง (n=500)



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของข้อมูลความยาวของตัวอย่างปลากะตักแห้ง (n=500)



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของข้อมูลความหนาของตัวอย่างปลากะตักแห้ง (n=500)

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาว ความกว้าง และความหนา

ผลการศึกษานี้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการคัดขนาดปลากะตักแห้งโดยใช้ความกว้างเป็นเกณฑ์แทนการใช้ความยาว สำหรับออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งแบบต่อเนื่องโดยใช้ตะแกรงทรงกระบอก จากข้อมูลความยาว ความกว้าง และความหนาของตัวอย่างปลากะตักแห้ง ซึ่งประกอบด้วยปลากะตักแห้งจำนวน 5 ขนาด จำนวนขนาดละ 500 ตัว (ตารางที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวค่อนข้างเป็นแบบปกติ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ย (mean) ค่ามัธยฐาน (median) และค่าฐานนิยม (mode) ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ความสัมพันธ์ระหว่างความยาว ความกว้าง และความหนาของตัวอย่างปลากะตักแห้งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ($p < 0.01$) ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของขนาดเหล่านี้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (r) อยู่ระหว่าง 0.85 ถึง 0.89 โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความกว้างมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุด (r=0.89) และความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความหนามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำที่สุด (r=0.85)

รูปที่ 4.4 – 4.6 แสดงข้อมูลของค่าความยาวกับความกว้าง ความยาวกับความหนา และความกว้างกับความหนา ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่าง 0.74 – 0.79 ที่ผ่านมามีรายงานวิจัยที่พบความสัมพันธ์ระหว่างความยาว ความกว้าง และความหนาของผลิตผลทางการเกษตรที่เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ได้แก่ ถั่วพิสตาชีโอ [26] เมล็ดแอปริคอท [27] และผลแฮคเบอร์รี่ [28] เป็นต้น

ตารางที่ 4.2 ค่าทางสถิติของขนาดของปลากะตักแห้ง

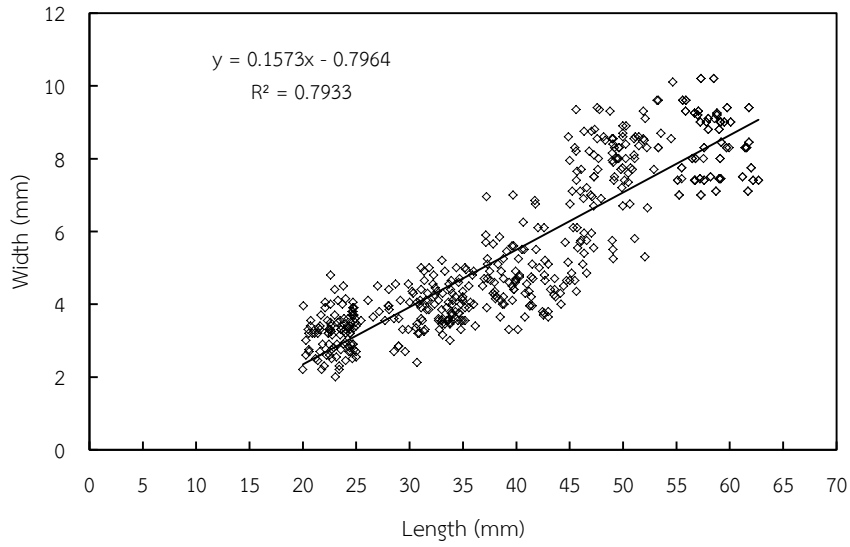
Dimensions	Sizes	Mean (mm)	Median (mm)	Mode (mm)
Length	Extra-small	22.76	22.80	24.70
	Small	31.46	31.83	33.70
	Medium	39.83	39.80	38.00
	Large	48.54	48.18	45.00
	Extra-large	58.98	58.70	56.10
Width	Extra-small	3.22	3.30	3.20
	Small	3.90	3.88	3.55
	Medium	4.74	4.65	4.65
	Large	7.57	7.93	8.55
	Extra-large	8.38	8.30	7.40
Thickness	Extra-small	1.48	1.42	1.35
	Small	1.88	1.80	1.60
	Medium	2.38	2.25	2.20
	Large	3.32	3.30	2.95
	Extra-large	3.79	3.70	3.25

Statistics were obtained from 500 anchovies

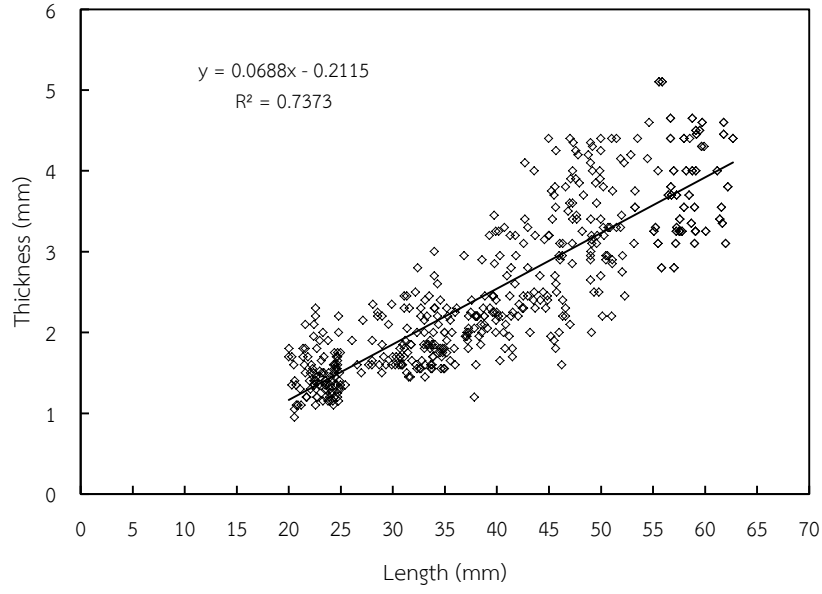
ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ความยาว ความกว้าง และความหนา ของตัวอย่างปลากะตักแห้ง

Dimension	Length	Width	Thickness
Length	1	0.89**	0.84**
Width	0.89**	1	0.88**
Thickness	0.84**	0.88**	1

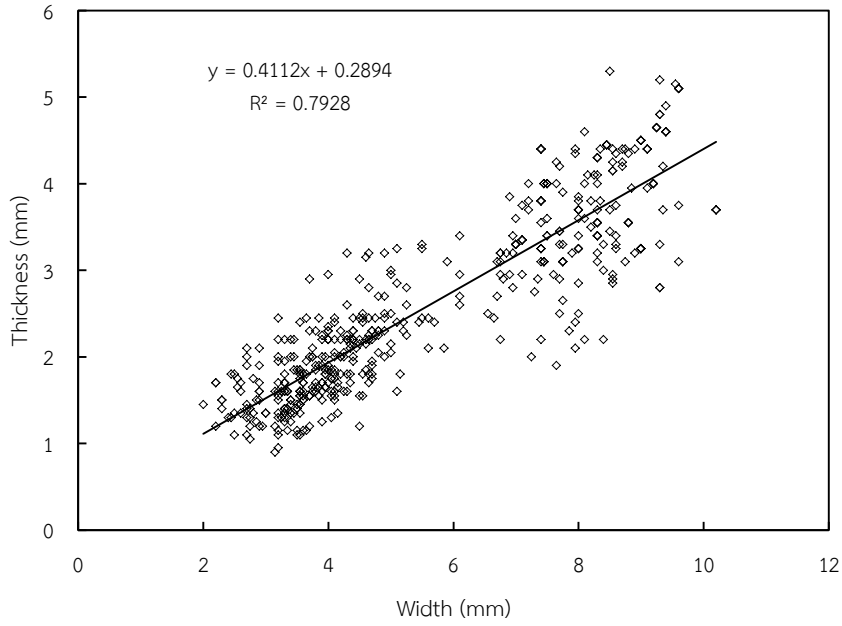
** Correlation is significant (p<0.01); * Correlation is significant (p<0.05)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความยาวและความกว้าง ของตัวอย่างปลากะตักแห้ง



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความยาวและความหนา ของตัวอย่างปลากะตักแห้ง



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความกว้างและความหนาของตัวอย่างปลากะตักแห้ง

4.2 แนวทางการออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งแบบต่อเนื่อง

จากผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างทั้ง 5 ขนาด มีสมบัติทางกายภาพส่วนใหญ่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความยาว ความกว้าง และความหนาของตัวอย่างมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและเป็นแบบเส้นตรง ซึ่งค่าความกว้างและความยาวมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด ผลการศึกษานี้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการคัดขนาดปลากะตักแห้งโดยใช้ความกว้างเป็นเกณฑ์แทนการใช้ความยาว

การออกแบบเลือกใช้วิธีการคัดขนาดด้วยตะแกรงรู โดยเลือกขนาดรูตะแกรงมี่มีมาตรฐานและมีขนาดรูตามขนาดรูของตัวปลา ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ขนาดรูตะแกรงมาตรฐานที่สัมพันธ์กับขนาดตัวปลากะตักแห้ง

Sizes of Anchovy	Width range (mm)	Standard sieve openings (mm)	Initially chosen sieve opening (mm)	Error
Extra-small	2.51 - 3.80	3.30	3.50	30%
		3.50		19%
		3.70		8%
Small	3.10 - 4.61	3.30		11%
		3.50		17%
		3.70		29%
		3.95	4.15	30%
		4.15		20%
		4.50		5%

ตารางที่ 4.4 ขนาดรูตะแกรงมาตรฐานที่สัมพันธ์กับขนาดตัวปลากะตักแห้ง (ต่อ)

Sizes of Anchovy	Width range (mm)	Standard sieve openings (mm)	Initially chosen sieve opening (mm)	Error
Medium	3.90 - 5.83	3.95	4.15	2%
		4.15		11%
		4.50		30%
		6.00	6.00	0%
		6.50		
Large	6.68 - 8.62	6.00		0%
		6.50		
		7.70	8.00	32%
		8.00		22%
		8.50		6.40%
Extra-large	7.64 - 9.46	7.70		2.40%
		8.00		15%
		8.50		35%

จากตารางที่ 4.4 สามารถสรุปขนาดรูตะแกรงได้ 4 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็กมากเท่ากับ 3.50 มิลลิเมตร ขนาดเล็กเท่ากับ 4.15 มิลลิเมตร ขนาดปานกลางเท่ากับ 6.00 มิลลิเมตร ขนาดใหญ่เท่ากับ 8.00 มิลลิเมตร นำตะแกรงที่ได้วางเป็นชั้นบนเครื่องเขย่า เพื่อทดสอบการคัดขนาดเบื้องต้น ตามรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 การทดสอบตะแกรงที่ได้วางเป็นชั้นบนเครื่องเขย่า

จากการทดลองเบื้องต้นโดยการคัดขนาดปลากะตักแห้งด้วยวิธีการเขย่าผ่านรูตะแกรงเป็นชั้น ๆ พบปัญหาคือ หางปลากะตักที่มีขนาดส่วนลำตัวเล็กกว่าส่วนหัวติดค้างที่รูตะแกรงทำให้ไม่สามารถคัดขนาดได้ ทางผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการกลับตะแกรงเพื่อให้ปลากะตักที่ติดในรูร่วงจากตะแกรง จึงเป็นที่มาของการคัดขนาดแบบตะแกรงหมุนทรงกระบอก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวและลดการเสียหายของปลากะตักแห้งที่เกิดเขย่า

นำตะแกรงตามขนาดที่เลือกไว้ม้วนเป็นทรงกระบอกต่อกัน 4 ขนาด ทดลองคัดปลากระตักแห้ง จากการทดลองพบว่าผลการคัดขนาดมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมากมาก เนื่องจาก

1) ความโค้งของตะแกรง ทำให้วัสดุเคลื่อนผ่านรูตะแกรงได้ยากขึ้น

2) ลักษณะการเคลื่อนที่ของปลากะตักเป็นการเคลื่อนที่ตามแนวนอนตามแกนของทรงกระบอก ดังนั้นการที่ตัวอย่างจะลอดผ่านรูตะแกรงจึงเป็นไปได้ยาก หากขนาดของรูตะแกรงใกล้เคียงกับขนาดของตัวอย่าง

ผู้วิจัยจึงได้ทำการเพิ่มขนาดของรูตะแกรงเพื่อชดเชยขนาดรูตะแกรงที่เปลี่ยนไป ตามตารางที่ 4.5 ทั้งนี้การเพิ่มขนาดรูตะแกรงผู้วิจัยคำนึงถึงขนาดมาตรฐานของตะแกรงที่มีจำหน่ายทั่วไป และมีประสิทธิภาพการคัดที่ดีขึ้น และพบว่าขนาดของรูตะแกรงควรเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 40

ตารางที่ 4.5 การปรับเพิ่มขนาดรูตะแกรงเพื่อชดเชยความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

Sizes	Initially chosen sieve opening (mm)	Adjusted sieve opening(mm)
Extra-small	3.50	4.50
Small	4.15	5.50
Medium	6.00	8.00
Large	8.00	10.00
Extra-large*	-	-

* Extra-large sample exit at the end of cylindrical sieve

4.3 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้ง

4.3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้ง

การออกแบบเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้งได้อาศัยข้อมูลจากการหาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งมาใช้ประกอบการออกแบบ โดยเครื่องต้นแบบนี้ได้ถูกออกแบบให้มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนได้แก่

1) ส่วนโครงสร้าง

2) ชุดรองรับการป้อนและแยกฝุ่นละออง

3) ชุดกลไกขับเคลื่อนตะแกรงคัดขนาด

4) ชุดตะแกรงคัดขนาดทรงกระบอก

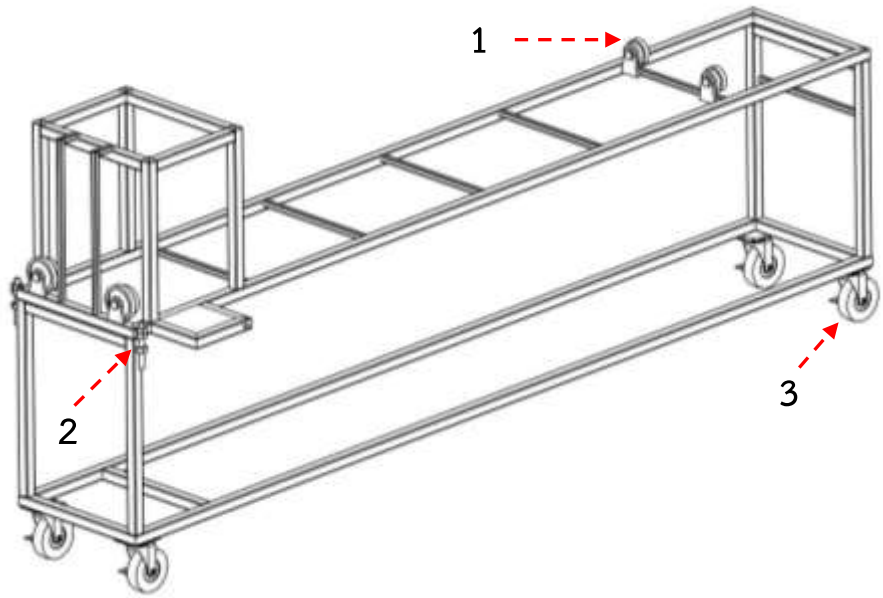
โครงสร้าง

โครงสร้างเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้งมีความยาว 340 เซนติเมตร กว้าง 70 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ทำมาจากเหล็กกล่องหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 38x38 มิลลิเมตร โครงสร้างเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักดังนี้

1) ชุดล้อยางสำหรับรองรับชุดตะแกรงคัดขนาดและขับเคลื่อนชุดตะแกรง ติดตั้งที่มุมของโครงสร้างทั้ง 4 มุม

2) ชุดสกรูเกลียวสำหรับปรับมุมเอียงตะแกรงคัดขนาด

3) ชุดล้อสำหรับเคลื่อนย้าย



รูปที่ 4.8 โครงสร้างเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้ง

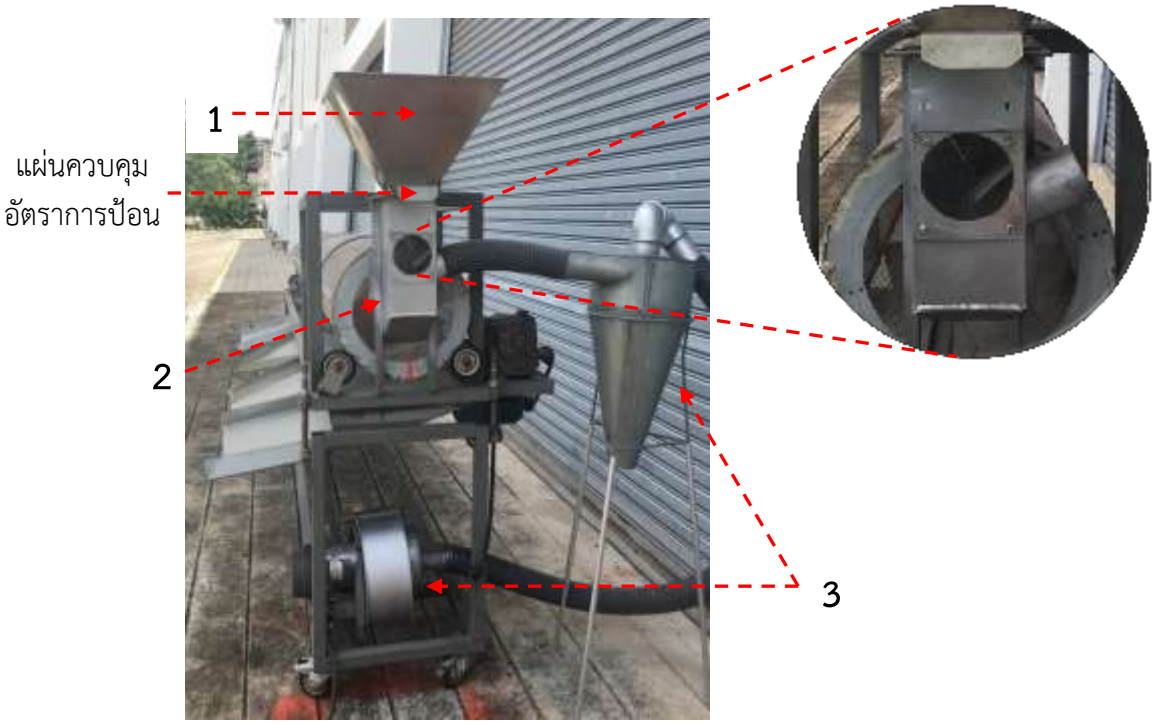
ชุดรองรับการป้อนและแยกฝุ่นละออง

ชุดรองรับการป้อนและแยกฝุ่นละอองแยกออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

1) ส่วนรองรับปลากะตักแห้ง ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 หนา 1.2 มิลลิเมตร มีลักษณะสัณฐานเป็นกรวยสี่เหลี่ยม ด้านบนกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร ด้านล่าง กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ความสูง 25 เซนติเมตร สามารถรองรับปลากะตักแห้งที่จะคัดขนาดได้ครั้งละประมาณ 5 กิโลกรัม ใต้ชุดรองรับการป้อนมีแผ่นกั้นที่เคลื่อนที่ได้เพื่อควบคุมอัตราการป้อน

2) ห้องแยกสิ่งสกปรกและผงฝุ่นออกจากปลากะตักแห้ง ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 หนา 1.2 มิลลิเมตร มีลักษณะท่อสี่เหลี่ยม กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ภายในติดแผ่นครีบเพื่อกระจายปลากะตักแห้งด้านซ้าย 1 ครีบด้านขวา 1 ครีบติดตั้งให้อยู่ในลักษณะเยื้องจากกันทำมุมจากแนวตั้ง 45 องศา ด้านข้างมีช่องสำหรับดูดฝุ่นผงโดยการใช้พัดลม

3) ชุดพัดลมดูดฝุ่นผงและแยกฝุ่นผง มอเตอร์กระแสสลับขนาด 750 วัตต์ ติดพัดลมดูดอากาศด้านดูดต่อเข้ากับห้องแยกสิ่งสกปรกและฝุ่นผง ด้านเป่าต่อเข้ากับชุดแยกฝุ่นผง (cyclone)



รูปที่ 4.9 ชุดรองรับการป้อนและแยกฝุ่นละออง

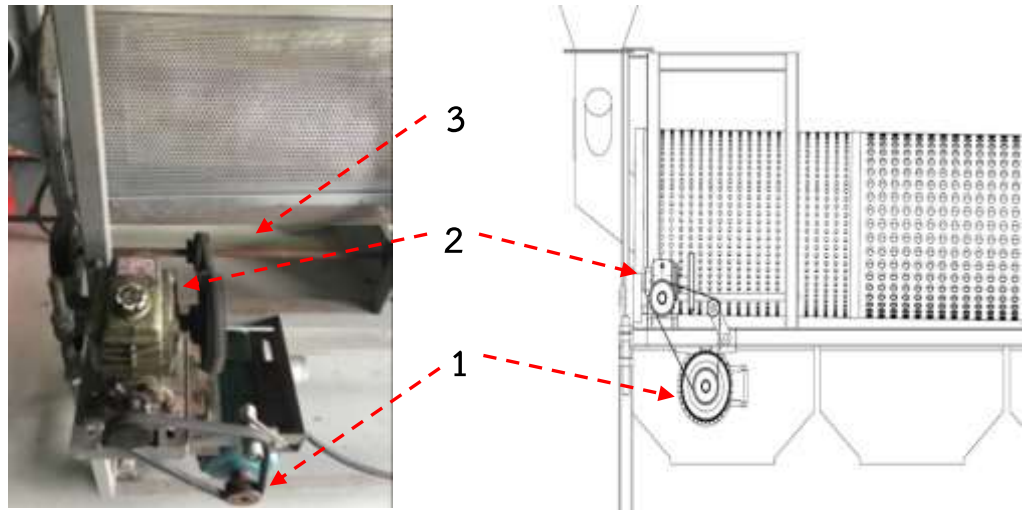
4.3.2 ชุดกลไกขับเคลื่อนตะแกรงคัดขนาด

มอเตอร์กระแสสลับขนาด 750 วัตต์

1) ต่อเข้ากับชุดเกียร์ทดรอบขนาด 1 ต่อ 60 รอบต่อนาที

2) ส่งกำลังผ่านสายพานมายังเพลาตันที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.70 มิลลิเมตร

3) ที่ปลายด้านหนึ่งของเพลาติดล้อยางเพื่อใช้ขับเคลื่อนตะแกรงคัดขนาดให้หมุนตามแกนรัศมี



รูปที่ 4.10 ชุดกลไกขับเคลื่อนตะแกรงคัดขนาด

4.3.3 ชุดตะแกรงคัดขนาดทรงกระบอก

ตะแกรงทรงกระบอกผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 หนา 1 มิลลิเมตร ดัดโค้งให้มีสัณฐานเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร ยาว 3 เมตร แผ่นตะแกรงมีรูขนาดแตกต่างกัน 4 ระดับ คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง 4.50 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร เพื่อคัดปลาขนาดเล็กมาก เส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรงขนาด 5.50 มิลลิเมตร ยาว 800 มิลลิเมตร เพื่อคัดปลาขนาดเล็ก รูตะแกรงขนาด 8.00 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร เพื่อคัดปลาขนาดปานกลาง รูตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร เพื่อคัดปลาขนาดใหญ่ และปลาที่ไม่สามารถผ่านรูตะแกรงขนาดใดได้เลยถูกลำเลียงออกทางด้านท้ายของเครื่องคือปลาขนาดใหญ่มาก

ด้านในของตะแกรงทรงกระบอกติดครีบแบน (baffle) ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 หนา 1.00 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร ในทิศรัศมีตลอดความยาวของตะแกรงถูกติดตั้งเพื่อช่วยพลิกกลับปลาในขณะที่ตะแกรงหมุน มีจำนวน 4 ครีบ

รูปที่ 4.11 ชุดตะแกรงคัดขนาดทรงกระบอก

4.3.4 หลักการทำงานของเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้ง

เครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) ปรับมุมเอียงของตะแกรงคัดขนาดทรงกระบอก

2) ใส่ปลากะตักแห้งชนิดคละ ประมาณ 5 กิโลกรัมลงในส่วนรองรับปลากะตักแห้งของเครื่องคัดขนาด

3) เปิดสวิตซ์มอเตอร์เพื่อขับตะแกรงคัดขนาดทรงกระบอกให้หมุนตามแนวแกน ที่ความเร็วรอบที่ต้องการ

4) เปิดสวิตซ์มอเตอร์พัดลมดูดฝุ่นและสิ่งสกปรก

5) เปิดแผ่นกั้นสำหรับควบคุมอัตราการป้อน

6) ปลากะตักแห้งตกอย่างอิสระในแนวดิ่งผ่านห้องแยกสิ่งสกปรกและฝุ่นผง ลงสู่ตะแกรงคัดขนาด

7) ปลากะตักแห้งที่มีขนาดเล็กมาก (2.00 - 2.50 เซนติเมตร) ผ่านรูตะแกรงชุดแรกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง 4.50 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร ลงสู่ส่วนรองรับช่องที่ 1

8) ปลากะตักแห้งที่ไม่สามารถผ่านรูตะแกรงชุดแรก เคลื่อนที่สู่ตะแกรงชุดที่ 2 ปลากะตักแห้งที่มีขนาดเล็ก (2.55 - 3.50 เซนติเมตร) สามารถผ่านรูตะแกรงชุดที่ 2 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง 5.50 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร ลงสู่ส่วนรองรับช่องที่ 2

9) ปลากะตักแห้งที่ไม่สามารถผ่านรูตะแกรงชุดที่ 2 เคลื่อนที่สู่ตะแกรงชุดที่ 3 ปลากะตักแห้งที่มีขนาดปานกลาง (3.55 - 4.50 เซนติเมตร) สามารถผ่านรูตะแกรงชุดที่ 3 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง 8.00 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร ลงสู่ส่วนรองรับช่องที่ 3

10) ปลากะตักแห้งที่ไม่สามารถผ่านรูตะแกรงชุดที่ 3 เคลื่อนที่สู่ตะแกรงชุดที่ 4 ปลากะตักแห้งที่มีขนาดใหญ่ (4.55 - 5.50 เซนติเมตร) สามารถผ่านรูตะแกรงชุดที่ 4 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง 10.00 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร ลงสู่ส่วนรองรับช่องที่ 4

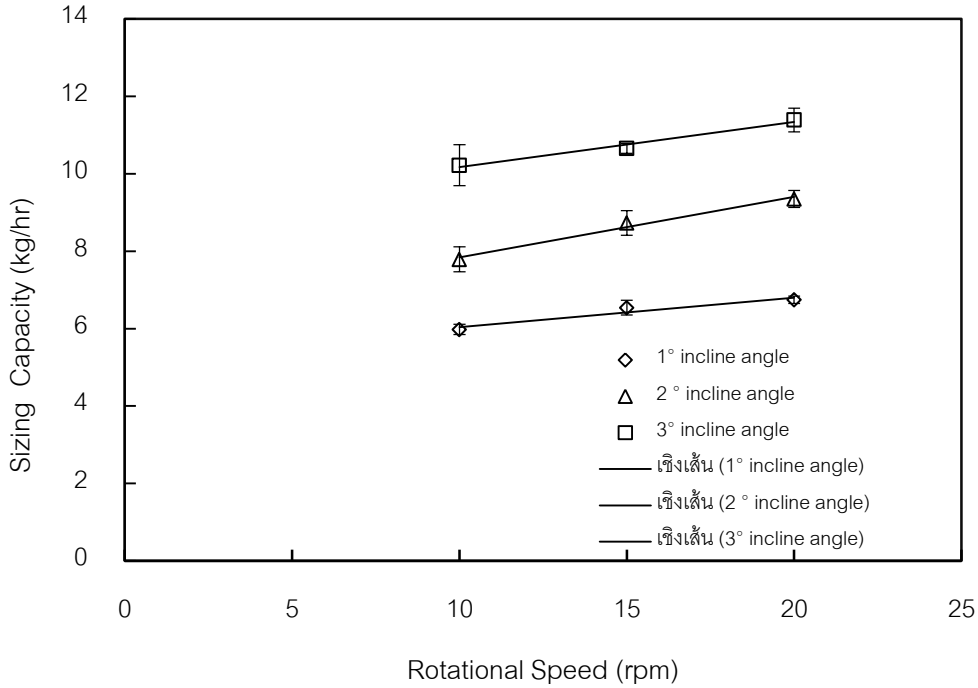
11) ปลากะตักแห้งที่ไม่สามารถผ่านรูตะแกรงใดได้เลยจะเคลื่อนที่ออกทางด้านท้ายของเครื่องคือปลากะตักแห้งที่มีขนาดใหญ่มาก (5.55 - 7.50 เซนติเมตร) ลงสู่ส่วนรองรับที่ 5

4.4 ผลการทดสอบการทำงานเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้ง

4.4.1 อิทธิพลของมุมเอียงและความเร็วรอบของตะแกรงต่ออัตราการคัดขนาดปลากะตักแห้ง

อัตราการคัดขนาดปลากะตักแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของมุมเอียงหรือความเร็วรอบของตะแกรงเพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลต่ออัตราการคัดขนาดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย ($p > 0.05$) โดยที่ทุก ๆ ระดับของการเพิ่มขึ้นของปัจจัยทั้งสองมีผลให้อัตราการคัดขนาดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (α=0.05) อัตราการคัดขนาดโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 6.42 8.62 และ 10.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อระดับของมุมเอียงเป็น 1 2 และ 3 องศา ตามลำดับ และเมื่อความเร็วรอบของตะแกรงเป็น 10 15 และ 20 รอบต่อนาที อัตราการคัดขนาดโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 8.00 8.64 และ 9.16 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ อัตราการคัดขนาดมีค่าสูงสุดประมาณ 11.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อระดับมุมเอียงและความเร็วรอบของตะแกรงถูกตั้งค่าเป็น 3 องศา และ 20 รอบต่อนาที ตามลำดับ ผลการทดลองนับว่าเป็นไปตามที่คาดหมาย กล่าวคือเมื่อมุมเอียงของตะแกรงเพิ่มขึ้นย่อมทำให้แรงโน้มถ่วงมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของปลากะตักแห้งไปตามแนวแกนของตะแกรงคัดขนาดมากขึ้น ในขณะที่ตะแกรงหมุนพาปลาขึ้นไปตามตะแกรงจนเมื่อมุมเอียงมีค่าสูงกว่าค่ามุมของแรงเสียดทานระหว่างปลากะตักแห้งกับตะแกรง ปลาจะเริ่มไหลลงสวนทางกับทิศการหมุนของตะแกรง ดังนั้นการเพิ่มความเร็วรอบของตะแกรงย่อมส่งผลให้ความถี่ในการเริ่มไหลลงของปลาสูงขึ้นทำให้ปลาถูกลำเลียงไปตามแนวแกนของตะแกรงคัดขนาดเร็วขึ้น อัตราการคัดขนาดจึงสูงขึ้น

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอัตราการคัดขนาดปลากะตักแห้งของเครื่องคัดอาจสูงขึ้นได้อีกหากเพิ่มระดับความเอียงและความเร็วรอบของตะแกรงคัดขนาด อย่างไรก็ตาม เมื่อตะแกรงคัดขนาดเอียงมากขึ้นการสึกหรอของเครื่องคัดขนาดอันเนื่องมาจากแรงรุนก็ย่อมมากขึ้น และเมื่อตะแกรงหมุนเร็วขึ้นแรงเหวี่ยงหนีศูนย์อาจเข้ามามีอิทธิพลมากเกินไปจนอาจทำให้ทั้งอัตราการคัดขนาดและเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคัดขนาดลดลง สิ่งเหล่านี้ควรต้องนำมาพิจารณาและศึกษาต่อไป



รูปที่ 4.12 อัตราการคัดขนาดปลากะตักแห้งของเครื่องที่ตั้งค่ามุมเอียงและความเร็วรอบต่าง ๆ

4.4.2 ความถูกต้องของการคัดขนาดปลากะตักแห้งด้วยเครื่องคัดขนาด

ความถูกต้องในการคัดขนาดปลากะตักแห้งจากการทดลองโดยใช้เครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุนแสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดขนาดปลากะตักแห้งด้วยเครื่องคัดขนาดที่ระดับมุมเอียงและความเร็วในการหมุนต่าง ๆ

Incline Angle	Rotational Speed	Accuracy of Sizing (%)					
(°)	(rpm)	Extra-small	Small	Medium	Large	Extra-large	Overall
1	10	88.41±3.57	93.74±3.11	86.84±2.01	86.67±4.44	91.58±4.41	89.25±4.16
	15	78.22±9.45	93.37±0.79	86.62±1.36	83.66±4.53	87.13±6.04	85.80±6.60
	20	81.79±2.16	96.55±0.18	79.03±2.24	81.53±4.19	90.16±5.21	85.81±7.33
2	10	84.23±3.02	94.07±1.52	73.91±0.80	77.24±1.20	90.45±3.02	83.98±8.19
	15	82.23±6.76	90.32±4.91	82.05±7.63	77.41±3.03	74.47±5.01	81.30±7.08
	20	80.00±8.92	93.44±1.20	76.07±2.73	77.05±1.61	77.97±1.80	80.90±7.48
3	10	85.66±2.67	91.33±2.59	84.23±2.78	86.43±1.51	83.93±10.54	86.32±4.79
	15	84.48±3.25	90.74±9.18	79.97±5.33	80.28±9.56	81.62±5.16	83.42±6.67
	20	88.30±2.25	87.48±7.18	84.80±1.39	89.16±1.25	89.96±7.00	87.94±3.95
	Overall	83.70±5.20	92.34±4.15	81.50±5.16	82.05±5.33	85.25±7.31	

Errors were standard deviation (n=3 for the accuracy obtained for ach size and each setting; n=15 for the overall accuracy obtained for each setting; and n=27 for the overall accuracy obtained for each size).

ค่าความถูกต้องของการคัดขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 77 ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ โดยหากพิจารณาความถูกต้องของการคัดโดยเฉลี่ยจากปลาทุกขนาด (overall accuracy) แล้ว พบว่าค่าความถูกต้องของการคัดขนาดอยู่ระหว่าง 81 ถึง 89 เปอร์เซ็นต์ อย่างก็ตาม ระดับของมุมเอียงและความเร็วในการหมุนของตะแกรงคัดขนาดในช่วงที่ทำการศึกษาไม่ได้มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดขนาดปลากะตักแห้ง ($p > 0.05$) ด้วยเครื่องคัดขนาด

จากการสังเกตเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการคัดขนาดปลากะตักแห้งด้วยเครื่องคัดขนาดที่สร้างขึ้นกับการคัดขนาดด้วยแรงงานในสายการผลิตของผู้ผลิตแล้ว พบว่าเครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุนสามารถคัดขนาดได้ถูกต้องมากกว่าการคัดโดยแรงงานอย่างเห็นได้ชัด

4.5 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

4.5.1 การหาอัตราการผลิตและประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบเปรียบเทียบกับแรงงานคน

จากการเก็บข้อมูลของคนงานในบริษัท มารีนไฟน์ฟูดส์ จำกัด พบว่า อัตราการคัดขนาดของคนงาน 1 คน สามารถคัดปลาได้จำนวน 2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความถูกต้องประมาณร้อยละ 75 เปรียบเทียบกับอัตราการคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาด 1 เครื่อง สามารถคัดปลาได้ 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความถูกต้องประมาณร้อยละ 85 ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบหาอัตราการผลิตของเครื่องเปรียบเทียบกับแรงงานคน

Sizing method	Sizing capacity (kg/hr)	Accuracy of Sizing (%)
Machine	10.0	85
	10.5	84
	11.0	86
Average	10.0	85
Labor	1.89	75
	1.88	76
	1.90	74
Average	1.88	75

การทดสอบด้านการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าพบว่า ขณะเครื่องทำงานใช้กระแสไฟฟ้า 6.8 แอมป์ หรือใช้กำลังไฟฟ้า 1.5 กิโลวัตต์ (มอเตอร์ 2 ตัว) ค่าไฟฟ้าอัตราปกติ หน่วยละ 4.00 บาท จะได้อัตราสิ้นเปลืองพลังงาน 1,263 บาท/เดือน (1 เดือนทำงาน 25 วัน) โดยมีการคำนวณดังนี้

ที่การทำงาน 1 วัน

พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)= กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) x ชั่วโมง (ชั่วโมง)

= 1.5 x 8

= 12

ค่าไฟฟ้า (บาท) = หน่วยไฟฟ้า (หน่วย) x อัตราค่าไฟฟ้า (บาท) x วันทำงาน (วัน)

= 12 x 4.00 x 25

= 1,200

4.5.2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์และระยะเวลาคืนทุน

ตารางที่ 4.8 รายการวัสดุ ค่าแรง และราคาทุนในการสร้าง

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	เหล็กกล้าไร้สนิท 304 หนา 1.2 มิลลิเมตร 4x8 ฟุต	1 แผ่น	3,200	3,200
2	เหล็กกล้าไร้สนิมเจาะรูขนาด 4.5 มิลลิเมตร ชนิด 304 หนา 1 มิลลิเมตร 4x8 ฟุต	1 แผ่น	2,700	2,700
3	เหล็กกล้าไร้สนิมเจาะรูขนาด 5.5 มิลลิเมตร ชนิด 304 หนา 1 มิลลิเมตร 4x8 ฟุต	1 แผ่น	2,700	2,700
4	เหล็กกล้าไร้สนิมเจาะรูขนาด 8.0 มิลลิเมตร ชนิด 304 หนา 1 มิลลิเมตร 4x8 ฟุต	1 แผ่น	2,700	2,700
5	เหล็กกล้าไร้สนิมเจาะรูขนาด 10 มิลลิเมตร ชนิด 304 หนา 1 มิลลิเมตร 4x8 ฟุต	1 แผ่น	2,700	2,700
6	เหล็กกล่องหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 38x38 มิลลิเมตร ยาว 6 เมตร	2 เส้น	280	560
7	ล้อยางสำหรับเคลื่อนย้าย	4 ล้อ	80	320
8	ล้อยางสำหรับรองรับตะแกรงคัดขนาดและขับเคลื่อนตะแกรงคัดขนาด	4 ล้อ	80	320
9	ชุดสกรูเกลียวปรับมุมเอียงตะแกรงคัดขนาด	2 แท่ง	200	400
10	ชุดพัดลมดูดฝุ่นผงติดกับมอเตอร์ 750 วัตต์	1 ชุด	4,500	4,500
11	ชุดแยกฝุ่นผง (cyclone)	1 ชุด	1,200	1,200
12	มอเตอร์กระแสสลับ 750 วัตต์	1 ตัว	3,000	3,000
13	ชุดเกียร์ทดรอบ	1 ตัว	1,850	1,850
14	เพลาตันขนาด 12.70 มิลลิเมตร	1 แท่ง	250	250
15	สายพาน	1 เส้น	80	80
16	ค่าเบ็ดเตล็ด	1 หน่วย	8,800	8,800
	รวมค่าวัสดุ			35,280
	ค่าแรง (50% ของค่าวัสดุ)	1 คน	17,640	17,640
	รวม			52,920

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของต้นทุนการผลิต เมื่อนำเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้งไปใช้งาน โดยตั้งเงื่อนไขในการคำนวณ และทำการคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการจำหน่าย และหาระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อใช้เครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งโดยกำหนดให้เครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้งทำงานเต็มประสิทธิภาพทั้งวัน เครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้งใช้

ทุนในการสร้างราคาและอุปกรณ์ในการสร้างดังตารางที่ 4.5 โดยมีราคาทุนในการสร้างคือ 52,920 บาท

ในด้านการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยการนำเครื่องต้นแบบคัดขนาดปลากะตักแห้งทดแทนแรงงานคนได้ทำการหาความเป็นไปได้ 2 โครงการ ได้แก่

โครงการที่ 1 ใช้แรงงานคนที่บริษัทใช้อยู่ในปัจจุบัน

ลำดับ	รายการ	ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์
1	บริษัทมีพนักงาน	15 คน
2	ค่าแรง	300 บาทต่อคนต่อวัน
3	ชั่วโมงรวมการทำงานต่อวัน	8 ชั่วโมง
4	รวมการทำงานต่อปี	300 วัน
5	ประสิทธิภาพการทำงานต่อคนต่อวัน	15 กิโลกรัม
6	ประสิทธิภาพการทำงานต่อ 15 คนต่อวัน	180 กิโลกรัม
7	ค่าแรง 1 ปี/พนักงาน 15 คน	1,350,000 บาท

โครงการที่ 2 ใช้เครื่องจักร 1 เครื่องแทนแรงงานคน

ลำดับ	รายการ	ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์
1	ราคาเครื่องจักร 1 เครื่อง	52,920 บาท
2	ค่าไฟฟ้า	14,400 บาทต่อปี
3	ค่าแรงงานคนคุมเครื่องจักร 1 คน	90,000 บาทต่อปี
4	ค่าบำรุงรักษา 5% ต่อปี	2,646 บาท
5	ชั่วโมงรวมการทำงานต่อวัน	8 ชั่วโมง
6	ประสิทธิภาพการทำงานต่อวัน	80 กิโลกรัม
7	ทดแทนแรงงานคน	5 คน
9	เหลือแรงงานคน	10 คน
10	ค่าแรงงานคน	900,000 บาท/ปี
11	ค่าใช้จ่ายรายปีเครื่องจักร (A)	52,920(*A/P*,7%,10) =7,535.81 บาท
12	ค่าใช้จ่ายรายปีของโครงการ	1,014,541 บาท

โครงการที่ 3 ใช้เครื่องจักร 3 เครื่องแทนแรงงานคนทั้งหมด

ลำดับ	รายการ	ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์
1	ราคาเครื่องจักร 3 เครื่อง	158,760 บาท
2	ค่าไฟฟ้า	43,200 บาทต่อปี
3	ค่าแรงงานคนคุมเครื่องจักร 3 คน	270,000 บาทต่อปี
4	ค่าบำรุงรักษา 5% ต่อปี	7,938 บาท
5	ชั่วโมงรวมการทำงานต่อวัน	8 ชั่วโมง
6	ประสิทธิภาพการทำงานต่อวัน	240 กิโลกรัม
7	ทดแทนแรงงานคน	15 คน
9	เหลือแรงงานคน	0 คน
10	ค่าใช้จ่ายรายปีเครื่องจักร (A)*	158,760 (*A/P*,7%,10) = 22,607 บาท
11	ค่าใช้จ่ายรายปีของโครงการ	343,637 บาท

$$A = P(A/P, i\% , n) \quad (4.1)$$

P = ค่าเครื่อง
A = ค่าใช้จ่ายรายปี
I = ดอกเบี้ย 7%
N = จำนวนปี

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรายปีของโครงการ

โครงการ	**ค่าใช้จ่ายรายปี (บาท)**
โครงการที่ 1 ใช้แรงงานคนที่บริษัทใช้อยู่ในปัจจุบัน	1,350,000
โครงการที่ 2 ใช้เครื่องจักร 1 เครื่องแทนแรงงานคน	1,014,541
โครงการที่ 3 ใช้เครื่องจักร 3 เครื่องแทนแรงงานคนทั้งหมด	343,637

จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อหาค่าใช้จ่ายรายปีของโครงการ 3 โครงการพบว่า โครงการที่ 1 บริษัทไม่ลงทุนด้านเครื่องจักรยังคงใช้แรงงานคนที่บริษัทใช้อยู่ในปัจจุบันมีค่าใช้จ่ายรายปี 1,350,000 บาท โครงการที่ 2 บริษัทลงทุนซื้อเครื่องจักร 1 เครื่องร่วมกับการใช้แรงงานคนจำนวน 5 มีค่าใช้จ่ายรายปี 1,014,541 บาท ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 343,637 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.15 ปี (1.8 เดือน) โครงการที่ 3 บริษัทลงทุนซื้อเครื่องจักร 3 เครื่องทดแทนการใช้แรงงานคนทั้งหมด 15 คนค่าใช้จ่ายรายปี 343,637 บาท ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 1,006,363 บาท

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้ง ได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความหนา มวล พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นรวม ความเร็วลมต่ำสุด และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตของปลากระตักแห้งบนพื้นผิวสแตนเลส ไม้ และยาง เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบเครื่องคัดขนาด โดยใช้ตัวอย่างปลากะตักแห้งที่คัดแล้ว 5 ขนาด คือ ขนาดเล็กมาก (2.00 ถึง 2.50 เซนติเมตร) ขนาดเล็ก (2.51 ถึง 3.50 เซนติเมตร) ขนาดปานกลาง (3.51 ถึง 4.50 เซนติเมตร) ขนาดใหญ่ (4.51 ถึง 5.50 เซนติเมตร) และขนาดใหญ่มาก (5.51 ถึง 7.50 เซนติเมตร) พบว่า ค่าความยาว ความกว้าง ความหนา มวล พื้นที่ภาพฉาย ความหนาแน่นรวม และความเร็วลมลมต่ำสุดของปลากะตักทุก ๆ ขนาดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของตัวอย่างปลากะตักแห้งทั้ง 5 ขนาดบนพื้นผิวทั้ง 3 ชนิดที่ศึกษาไม่ได้มีความแตกต่างกันในทุก ๆ ขนาด

การกระจายตัวของข้อมูลความกว้าง ความยาว และความหนา ของปลากะตักมีแนวโน้มเป็นแบบปกติ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความยาว ความกว้าง และความหนามีลักษณะเป็นเชิงเส้นและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ความกว้างมีความสัมพันธ์กับความยาวมากที่สุด ($R^2 = 0.79$)

เครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดปลากะตักแห้งได้รับการออกแบบมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนโครงสร้าง ชุดป้อนและแยกเศษวัสดุและฝุ่นละออง ชุดกลไกขับเคลื่อน และชุดตะแกรงคัดขนาดทรงกระบอก จากการทดลองคัดขนาดตัวอย่างปลากะตักแห้ง โดยปรับระดับมุมเอียงของตะแกรงคัดขนาดเป็น 1 2 และ 3 องศา และความเร็วรอบของตะแกรงเป็น 10 15 และ 20 รอบต่อนาที พบว่าปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลต่ออัตราการคัดขนาดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดขนาด ที่ระดับมุมเอียง 1 2 และ 3 องศา อัตราการคัดขนาดโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 6.42 8.62 และ 10.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบ 10 15 และ 20 รอบต่อนาที อัตราการคัดขนาดโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 8.00 8.64 และ 9.16 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ อัตราการคัดขนาดมีค่าสูงสุดประมาณ 11.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ระดับมุมเอียง 3 องศาและความเร็วรอบ 20 รอบต่อนาที ความถูกต้องของเครื่องคัดโดยเฉลี่ยจากปลาทุกขนาดอยู่ระหว่าง 81 ถึง 89 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรายปีของการลงทุน 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 ใช้แรงงาน 15 คนในการคัดขนาดทั้งหมด รูปแบบที่ 2 ใช้เครื่องคัดขนาด 1 เครื่อง ร่วมกับแรงงาน 11 คน และรูปแบบที่ 3 ใช้เครื่องคัดขนาด 3 เครื่องร่วมกับแรงงาน 3 คน แสดงให้เห็นว่า การลงทุนรูปแบบที่ 1 มีค่าใช้จ่ายรายปี 1,080,000 บาท รูปแบบที่ 2 มีค่าใช้จ่ายรายปี 734,682 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 0.15 ปี (1.8 เดือน) และรูปแบบที่ 3 มีค่าใช้จ่ายรายปี 314,045 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 0.21 ปี (2.5 เดือน)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเพิ่มขนาดรูตะแกรงควรคำนึงถึงขนาดมาตรฐานของตะแกรงที่มีจำหน่ายทั่วไป และมีประสิทธิภาพการคัดที่ดีขึ้น และพบว่าขนาดของรูตะแกรงควรเพิ่มขึ้นร้อยละ 40

2. ระดับของมุมเอียงและความเร็วในการหมุนของตะแกรงมีผลต่ออัตราการคัดขนาดปลากะตักแห้ง แต่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดขนาด อัตราการคัดขนาดปลากะตักแห้งสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของมุมเอียงหรือเพิ่มความเร็วรอบของตะแกรงคัดขนาด

3. จากการสังเกตเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการคัดขนาดปลากะตักแห้งด้วยเครื่องคัดขนาดที่สร้างขึ้นกับการคัดขนาดด้วยแรงงานในสายการผลิตของผู้ผลิตแล้ว พบว่าเครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุนสามารถคัดขนาดได้ถูกต้องมากกว่าการคัดโดยแรงงานอย่างเห็นได้ชัด

เอกสารอ้างอิง

[1] J. A. Kralovec, S. Zhang, W.Z. and C. J. Barrow. 2012. “A review of the progress in enzymatic concentration and microencapsulation of omega-3 rich oil from fish and microbial sources.” **Food Chemistry**. 133(2) : 639-644.

[2] กองนโยบายและยุทธศาสตรพัฒนาการประมง กรมประมง. 2558. สถิติการประมงแหงประเทศไทย พ.ศ.2558. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.fisheries.go.th/strategy-stat/themeWeb/books/2558/1/yearbook2558_Rev060960.pdf.

[3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2549. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาแห้ง. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps6_49.pdf.

[4] P. Sirisomboon, P. Pornchaloempong and T. Romphophak. 2007. “Physical properties of green soybean: Criteria for sorting.” **Journal of Food Engineering**. 79(1) : 18-22.

[5] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, สุนัน ปานสาคร, ราชัญทร์ หงษ์โต, อรรถกร จันทร์ชนะ และ อาทิตย์ พูลทวี. 2556. “ออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดกระเทียม.” **แก่นเกษตร**. 41(2) : 191-198.

[6] วีระพล แก้วก่า. 2556. “การพัฒนาเครื่องคัดปลาดุก.” ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27**. สมาคมวิศวกรรมเครื่องกล. กรุงเทพฯ.

[7] กรมประมง. 2559. การจำแนกปลากะตักสกุล *Encrasicholina* และ *Stolephorus*. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.fisheries.go.th/quality/ปลากะตัก.pdf.

[8] J. B. TURIANO. 2017. How to Achieve the Mysterious "Fifth Taste" via... Anchovies. [Online]. Available : http://www.westchestermagazine.com.

[9] ผู้จัดการโรงงาน บริษัทมารีน ฟายน์ ฟูดส์, 18 เมษายน 2558. อำนาจ คูตะคุ ผู้สัมภาษณ์. **ข้อมูลราคาปลากะตักแห้ง**. บริษัทมารีน ฟายน์ ฟูดส์ จังหวัดระยอง.

[10] E. Karababa. 2006. “Physical properties of popcorn kernels.” **Journal of Food Engineering**. 72(1) : 100-107.

[11] B.K. Bala. 1983. “Deep bed drying of malt.” Ph.D. Thesis, Newcastle University.

[12] R. Mirasheh. 2006. “Designing and making procedure for a machine determining olive image dimensions.” Master of Science Thesis, Tehran University.

[13] M.R. Seifi and R. Alimardani. 2010. “The moisture content effect on some physical and mechanical properties of corn (Sc 704).” **Journal of Agricultural Science**. 2(4) : 125-134.

[14] H. Haciseferogullari, M.M. Özcan and E. Duman. 2011. “Biochemical and technological properties of seeds and oils of Capparis spinosa and *Capparis ovata* plants growing wild in Turkey.” **Journal of Food Processing and Technology**. 2(6) : 1-6.

[15] J. P.W. Henderson. Method of sorting mail using a coded postage stamp. U.S patent no. 3995741, Dec 1976.

[16] อรวินท์ เลาหรัชตนันท์. 2539. “การแยกวัตถุดิบโดยการแยกเชิงกล.” เอกสารการสอนชุดวิชาการถนอมและการแปรรูปอาหาร หน่วยที่ 1-7, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, หน้า 59-63.

[17] European Hygienic Engineering and Design Group. 2004. Hygienic Equipment Design Criteria. 6-7.

[18] ประปาไทย.คอม. 2558. โครงสร้างและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://202.129.59.73/tn/motor10-52/motor1.htm.

[19] สำเริง เต็มราม. 2556. “การควบคุมมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านในย่านกำลังไฟฟ้าคงที่ด้วยหลักการชดเชยมุมเฟสก้าวหน้าด้วยการประยุกต์ใช้บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิตอล dsPIC30F2010.” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี.

[20] วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. 2522. **การออกแบบเครื่องจักรกล วิศวกรรมเครื่องกล.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[21] PURCHASING INDUDTRIAL PRODUCT. 2560. การส่งกำลังโดยใช้สายพาน. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaipurchasing.com/article/p-679.

[22] คุณาวุฒิ คุณา, จักรมาศ เลาหวณิช และ เกสร วงศ์เกษม. 2559. “การพัฒนาเครื่องคัดแยกปลาข้างเหลืองตากแห้งโดยใช้เครื่องจักรกลวิทัศน์.” ใน **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 12**. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม.

[23] ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์ และ ชัยยันต์ จันทร์ศิริ. 2548. “เครื่องคัดขนาดถั่วลิสงเมล็ดโตแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุน.” ใน **การสัมมนาทางวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ ครั้งที่ 3**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; มหาวิทยาลัยขอนแก่น และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. เพชรบุรี.

[24] ศักดิ์สิทธิ์ แก้วคำ, ศุภริศ กันทิยะ และ อานนท์ ดวงใย. 2557. “การออกแบบและการสร้างเครื่องคัดแยกขนาดเมล็ดกาแฟเชอรี่.” ปริญญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา.

[25] S. Ercisli, B. Sayinci, M. Kara, C. Yildiz and I. Ozturkb. 2011. “Biochemical and technological properties of seeds and oils of Determination of size and shape features of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars using image processing.” **Scientia Horticulturae**. 133(2012) : 47-55.

[26] M. Kashaninejad, A. Mortazavi, A. Safekordi and L.G. Tabild. 2006. “Some physical properties of Pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel.” **Journal of Food Engineering**. 72(1) : 30-38.

[27] I. Gezer and S. Dikilitas. 2002. “The study of work process and determination of some working parameters in an apricot pit processing plant in Turkey.” **Journal of Food Engineering**. 53(2) : 111-114.

[28] F. Demır, H. Doğan, M. Özcan, H. Haciseferoğullari. 2002. “Nutritional and physical properties of hackberry (*Celtis australis* L.).” **Journal of Food Engineering**. 54(3) : 241-247.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แผนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ ก.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการ	ระยะเวลาดำเนินการ (เดือน)																							
	2558						2559						2560						2561					
	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
ค้นคว้าและศึกษาวิจัยเพิ่มเติม	←	—	—	—	→																			
ศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้ง						←	—	—	—	→														
สรุปผลวิเคราะห์เลือกวิธีในการสร้างเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง											↔													
นำเสนอผลงาน เรื่องสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้ง เพื่อให้เป็นเกณฑ์ในการคัดขนาด												←	→											
ออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบการคัดขนาดปลากะตักแห้ง														←	—	→								
พัฒนาแก้ไขเครื่องต้นแบบ																	↔							
ทดลองหาประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบการคัดขนาดปลากะตักแห้ง																		←	→					
นำเสนอผลงาน เรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง																				←	—	→		

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลจากการวัดขนาดปลากะตักแห้ง ขนาดเล็กมาก (SSS)

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	20.30	20.75	24.70	2.60	3.30	4.35	1.70	1.35	1.90
2	24.65	20.00	22.55	3.70	2.45	3.25	1.55	1.20	1.60
3	24.60	19.20	21.30	3.80	2.20	2.60	1.70	1.60	1.60
4	25.00	22.15	21.15	2.70	2.85	2.20	1.30	1.25	1.75
5	20.55	24.60	20.20	2.75	2.70	2.70	1.05	1.35	0.95
6	22.10	23.70	23.65	4.05	2.35	3.80	1.30	1.50	1.15
7	20.00	24.75	21.30	2.20	3.30	3.40	1.70	1.80	1.45
8	24.25	20.00	22.45	3.60	3.20	2.75	1.15	1.35	1.35
9	24.70	22.90	20.00	3.80	3.15	2.80	1.65	1.60	1.40
10	22.30	22.55	22.20	3.55	3.20	2.10	1.55	1.25	1.35
11	22.60	23.40	24.10	4.80	3.20	2.95	2.30	2.10	1.60
12	21.60	24.95	21.85	3.30	3.55	2.65	1.80	1.70	1.05
13	24.90	20.50	22.80	3.50	1.60	3.25	1.40	0.95	1.10
14	23.80	24.70	24.50	4.50	3.75	3.00	2.15	1.50	1.80
15	24.45	23.20	21.20	2.70	3.00	3.40	2.00	1.35	2.00
16	23.55	22.20	21.95	3.40	2.45	3.80	2.20	1.60	1.90
17	24.45	24.15	24.70	3.20	1.70	3.65	1.60	0.95	1.65
18	25.00	22.70	22.50	3.40	3.45	2.65	1.35	0.85	1.45
19	22.90	23.30	22.15	2.80	2.55	3.45	1.35	1.35	1.50
20	22.75	21.50	24.45	3.15	2.45	3.15	1.20	1.00	1.40
21	24.70	20.50	20.65	3.90	3.00	3.00	1.25	1.00	2.25
22	21.20	24.40	21.20	2.50	2.75	3.70	1.10	1.40	1.00
23	20.75	23.15	21.30	3.55	2.15	2.70	1.10	1.20	1.50
24	24.30	23.80	22.55	2.70	1.75	3.60	1.10	1.20	1.25
25	20.70	24.95	22.15	3.40	1.60	3.30	1.35	1.35	1.65
26	23.00	20.00	24.90	4.40	2.55	3.90	2.20	1.00	1.80
27	22.40	15.90	21.50	3.20	3.40	3.20	1.50	1.25	1.60
28	23.05	20.50	22.10	2.00	3.80	4.95	1.45	1.40	1.70
29	23.50	23.70	20.90	3.15	2.90	2.90	0.90	1.65	0.95
30	23.40	20.35	22.00	2.20	2.70	3.30	1.70	1.65	1.30
31	23.00	17.35	20.50	3.70	4.00	3.20	2.90	1.20	1.10
32	22.40	22.70	20.00	3.20	2.45	3.15	1.95	1.20	1.60
33	24.00	17.90	22.45	4.15	2.65	4.10	1.35	1.00	1.35
34	22.65	24.65	20.30	3.25	3.80	3.00	1.30	1.20	0.90

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
35	25.00	25.00	24.90	2.55	3.45	3.50	1.75	2.00	1.70
36	23.85	23.50	21.70	3.60	2.85	2.80	1.50	1.30	1.45
37	22.45	24.70	24.15	2.90	2.75	2.80	2.10	1.35	1.05
38	22.20	21.70	20.40	2.60	2.80	3.00	1.60	1.00	1.60
39	24.00	24.90	25.00	3.30	2.35	3.85	1.25	1.10	1.40
40	20.90	21.00	24.70	3.20	4.30	2.30	1.10	1.60	1.65
41	20.50	19.30	22.50	3.30	2.45	3.40	1.60	0.90	1.50
42	23.30	17.80	24.60	4.10	2.85	3.45	2.00	1.90	1.55
43	20.30	24.60	24.70	3.00	2.60	3.05	1.35	1.80	1.80
44	24.00	22.50	22.00	2.45	3.70	3.35	1.30	1.40	1.80
45	24.80	17.75	23.90	3.70	3.10	4.25	2.00	2.00	2.20
46	21.85	23.45	24.65	2.90	3.00	2.65	1.70	1.40	1.50
47	20.60	19.00	21.95	2.70	3.30	2.70	1.40	1.40	1.50
48	23.60	24.70	23.80	3.30	3.25	3.15	1.30	2.00	1.70
49	21.10	22.15	24.95	3.20	2.75	2.50	1.30	1.00	2.20
50	22.50	23.25	24.70	2.60	3.80	3.25	1.35	1.35	1.00
51	22.60	22.40	23.50	4.00	3.60	4.50	2.20	1.25	1.50
52	22.00	24.60	20.60	2.30	2.50	3.20	1.40	1.35	1.30
53	21.60	24.10	22.00	2.70	3.55	2.85	2.10	1.60	1.30
54	22.60	24.30	21.55	3.30	2.45	4.20	1.40	1.20	1.75
55	22.70	23.75	23.50	2.50	4.20	4.35	1.80	1.60	1.35
56	22.45	24.60	24.00	3.30	3.45	3.45	1.40	1.70	1.10
57	23.80	19.30	21.40	2.90	3.40	3.15	1.90	1.35	1.10
58	24.90	24.10	22.95	3.60	3.30	4.10	1.50	1.85	2.85
59	23.55	22.55	23.80	3.30	2.45	3.15	1.40	2.30	1.55
60	21.40	24.80	23.50	2.45	3.65	5.60	1.80	1.30	2.10
61	24.50	24.50	24.30	2.90	1.90	2.90	1.60	1.85	1.50
62	24.40	21.65	23.60	3.40	2.45	3.35	1.50	1.65	1.55
63	21.70	17.75	20.75	3.70	2.30	5.00	1.20	1.60	2.20
64	23.70	22.10	23.60	4.00	3.20	3.05	2.35	1.15	1.35
65	24.70	24.90	20.30	2.90	3.50	2.85	1.20	1.60	1.80
66	24.70	24.70	20.20	3.90	2.35	3.15	1.70	0.90	1.95
67	21.40	24.85	22.90	3.20	2.95	3.25	1.70	1.50	1.35
68	24.70	17.30	22.60	2.90	3.00	2.90	1.60	1.15	1.20
69	24.40	20.25	23.80	3.30	2.55	2.75	1.35	1.00	1.30

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
70	24.80	22.70	24.15	3.90	3.00	3.50	2.20	1.50	1.30
71	23.15	22.30	20.30	2.55	2.30	3.05	1.65	1.40	1.20
72	22.70	21.60	24.15	2.75	2.00	2.45	1.20	1.65	0.95
73	23.40	24.70	21.65	2.30	4.00	3.50	1.50	1.40	1.80
74	22.65	22.15	22.70	3.40	2.70	5.15	1.45	1.40	2.45
75	24.60	21.65	22.20	3.70	2.55	2.90	1.55	2.00	1.45
76	24.40	21.60	24.35	2.80	3.75	3.95	1.75	1.00	1.80
77	20.55	23.75	20.25	3.20	2.80	2.80	0.95	1.20	1.75
78	22.45	20.00	23.30	3.30	2.55	2.90	1.35	1.10	1.85
79	22.10	20.05	24.25	3.90	2.45	2.45	1.50	1.20	1.40
80	23.50	23.40	23.40	3.55	2.75	2.20	1.35	1.10	1.40
81	21.75	23.30	24.10	2.20	3.30	3.30	1.20	1.15	1.90
82	23.30	24.95	24.05	3.50	2.80	2.60	1.15	1.25	1.60
83	24.00	23.40	24.70	3.20	3.10	3.55	1.15	1.20	1.50
84	23.95	24.85	22.70	2.95	3.45	2.70	1.20	1.35	1.30
85	23.20	23.70	22.30	2.90	2.45	3.30	1.50	1.60	1.25
86	20.05	23.20	24.25	3.95	3.00	2.90	1.80	1.25	1.80
87	24.65	22.00	22.40	2.50	3.10	3.30	1.35	1.60	1.40
88	24.70	21.15	21.80	4.05	3.70	2.95	1.75	1.40	1.20
89	21.60	21.45	22.30	3.40	3.00	3.70	1.50	1.20	2.05
90	24.80	20.15	21.80	3.35	3.20	3.60	1.15	1.60	1.65
91	21.50	23.75	23.15	3.35	3.00	3.75	1.60	1.40	1.75
92	24.40	24.05	21.25	3.20	2.45	2.60	1.55	1.60	0.95
93	24.45	21.55	22.00	3.50	3.40	3.05	1.45	0.95	1.80
94	24.80	22.70	23.80	2.75	3.00	3.65	1.30	1.25	1.10
95	24.20	24.85	21.90	3.80	2.60	2.45	1.25	1.75	1.35
96	24.30	24.35	24.20	3.20	3.40	3.10	1.60	1.90	1.70
97	24.20	20.75	21.55	3.25	2.70	2.45	1.40	1.10	1.70
98	24.00	21.60	22.70	3.50	3.00	2.50	2.45	1.40	1.25
99	22.60	23.75	24.80	2.40	1.75	3.25	1.10	1.41	1.10
100	23.55	23.70	22.50	3.95	2.80	1.85	1.40	1.35	1.40
Average	23.11	22.42	22.69	3.23	2.92	3.23	1.54	1.39	1.53
STDEV	1.41	2.16	1.44	0.56	0.58	0.65	0.36	0.30	0.35

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลจากการวัดขนาดปลากะตักแห้ง ขนาดเล็ก (SS)

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	33.90	34.20	34.15	3.60	5.10	4.15	1.70	1.80	1.60
2	34.70	31.40	34.20	4.65	4.00	5.15	1.70	1.70	1.90
3	34.55	28.80	28.50	4.70	3.80	4.20	1.75	1.90	2.40
4	30.95	30.40	28.20	3.55	5.75	4.50	1.60	2.05	1.90
5	33.45	31.10	33.60	4.00	4.80	3.00	1.85	2.00	2.70
6	30.00	29.40	31.35	3.90	5.30	3.20	1.70	1.60	1.30
7	33.80	27.50	33.50	4.05	3.40	3.40	1.55	2.00	1.40
8	33.30	28.50	31.70	3.45	3.80	3.40	2.20	1.60	1.60
9	34.05	27.40	30.60	4.90	2.60	3.50	2.30	1.60	1.40
10	34.80	32.10	31.80	4.10	5.40	3.30	1.75	2.20	1.50
11	34.60	31.60	28.55	3.55	3.45	2.40	1.80	1.60	1.85
12	33.90	29.90	31.75	3.75	3.40	2.60	2.00	1.45	1.60
13	32.35	26.30	32.30	3.75	2.90	3.60	2.00	2.00	1.75
14	32.70	32.00	26.00	4.00	5.10	3.90	2.20	2.00	1.70
15	29.90	34.70	29.60	3.60	5.00	3.10	1.60	2.20	1.60
16	30.70	25.70	32.20	3.30	4.80	3.10	1.70	1.40	1.60
17	33.80	30.90	28.60	4.05	3.80	3.50	1.60	1.70	1.85
18	31.00	29.70	26.70	3.50	4.20	3.45	1.85	1.85	1.85
19	30.70	31.35	26.35	4.10	4.10	2.60	1.80	1.90	1.90
20	31.10	33.70	30.95	2.40	4.40	2.55	1.30	1.80	1.35
21	33.05	32.30	31.35	3.60	4.90	3.75	1.80	2.45	1.60
22	33.05	35.00	30.50	3.45	4.55	2.55	2.00	2.30	1.80
23	34.60	28.60	34.30	5.20	4.00	2.10	2.40	1.80	1.25
24	33.80	33.70	32.60	4.60	4.40	3.25	1.85	2.00	1.60
25	25.45	34.60	29.20	3.00	4.40	2.90	1.35	1.85	1.85
26	34.05	29.65	27.60	3.55	4.10	2.50	1.85	1.50	1.60
27	33.10	34.80	26.60	3.55	4.40	3.60	1.60	2.00	2.20
28	29.35	31.20	26.90	3.15	3.40	3.10	1.60	1.30	1.75
29	31.10	30.20	31.85	3.30	4.60	3.05	1.70	1.80	1.70
30	34.00	30.90	31.35	5.00	4.90	2.85	3.00	1.40	2.25
31	28.05	28.60	31.90	4.00	4.40	2.50	1.90	1.80	1.60
32	34.00	29.40	26.00	4.40	5.30	2.25	2.30	1.80	1.50
33	29.00	35.00	29.15	4.30	5.30	2.40	2.20	2.80	1.50
34	35.00	34.00	29.15	3.60	5.30	2.65	1.80	2.20	1.60

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
35	31.70	30.00	34.65	3.55	5.40	3.60	1.45	1.60	1.80
36	27.70	31.90	32.40	4.30	4.85	3.50	1.60	2.00	1.60
37	32.70	33.45	32.70	3.55	3.95	4.70	1.55	2.20	1.60
38	28.00	30.60	30.30	4.10	4.20	4.00	1.60	2.00	1.85
39	32.80	32.20	33.30	3.95	4.90	2.30	1.65	1.80	1.60
40	30.70	30.00	33.50	3.30	4.80	3.10	1.70	2.00	1.50
41	33.30	28.40	32.00	3.45	4.80	2.55	1.85	1.60	1.40
42	29.90	33.70	29.50	3.45	3.50	2.90	1.35	1.80	1.70
43	32.20	31.20	31.40	4.55	4.00	2.90	2.50	1.80	1.60
44	34.90	32.10	25.70	4.55	4.70	2.80	1.55	2.00	1.60
45	29.15	27.30	29.10	4.15	3.30	3.50	1.70	1.80	1.55
46	31.35	27.95	31.85	4.10	4.80	4.00	1.50	1.40	1.40
47	26.60	25.50	29.10	3.25	4.40	3.10	1.60	1.80	1.60
48	27.15	26.90	26.70	3.65	3.60	3.10	1.15	1.60	2.40
49	33.65	34.40	26.60	3.80	4.40	3.20	1.60	1.80	2.90
50	33.00	33.60	30.55	4.05	4.50	2.00	1.85	1.90	2.80
51	33.60	25.10	31.70	3.85	3.80	2.10	1.90	1.80	1.55
52	30.25	34.65	27.05	3.55	4.70	3.60	1.60	1.85	1.40
53	30.35	30.00	25.80	4.35	2.80	4.35	1.70	1.95	1.20
54	34.30	33.70	29.10	4.30	3.20	3.90	2.60	1.75	1.70
55	29.00	32.10	33.30	3.80	4.00	3.80	1.85	1.60	1.85
56	28.95	26.40	32.00	2.85	3.80	2.55	1.50	2.40	1.00
57	28.55	30.10	29.40	2.85	3.75	2.90	1.25	1.95	1.90
58	33.10	32.45	30.50	2.70	4.20	2.75	1.45	2.45	1.80
59	32.35	31.70	31.10	3.60	3.60	3.30	1.55	1.70	1.20
60	28.70	32.40	29.65	4.25	2.90	3.50	1.60	1.80	2.10
61	31.10	32.30	31.30	4.55	3.30	3.30	1.80	1.80	1.80
62	31.20	33.45	29.25	3.90	4.35	2.45	1.90	1.60	1.90
63	31.55	34.00	32.45	3.55	4.00	2.90	1.45	1.95	1.55
64	35.00	32.45	32.25	4.10	4.40	3.85	1.55	2.10	1.50
65	34.40	30.50	26.85	4.35	3.90	3.35	2.10	2.30	2.15
66	31.40	34.30	29.90	5.00	4.85	3.15	2.05	2.20	1.80
67	32.40	35.00	31.70	4.65	3.70	3.00	2.80	1.60	1.50
68	29.60	34.95	31.85	4.45	3.60	3.30	2.10	1.60	1.50
69	26.10	33.95	33.40	2.70	3.00	3.42	1.90	1.60	1.80

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
70	31.80	28.00	32.00	4.10	4.15	2.55	1.85	2.20	1.75
71	28.05	32.55	27.05	3.85	4.60	2.40	1.65	2.45	2.00
72	34.00	33.55	32.70	3.95	5.00	2.25	1.80	2.45	1.90
73	32.60	29.40	26.60	3.70	4.00	3.25	1.55	1.70	1.50
74	34.80	33.40	26.10	4.35	4.00	3.45	1.80	1.80	1.30
75	31.60	26.20	32.45	4.00	4.00	3.15	2.30	2.00	1.80
76	33.70	33.70	31.00	3.85	3.65	3.15	1.55	2.95	1.45
77	31.35	33.60	31.70	4.55	4.00	2.90	2.45	2.15	1.50
78	33.50	33.80	32.40	4.90	3.00	3.05	2.45	2.05	1.70
79	30.60	34.95	28.50	3.55	3.10	3.55	1.60	2.65	1.90
80	30.80	34.50	31.00	3.35	3.00	3.60	1.60	2.40	1.60
81	28.55	32.40	28.80	3.20	2.10	3.70	2.20	1.95	1.60
82	33.85	34.45	30.50	3.60	3.45	3.30	1.70	2.00	1.50
83	35.00	33.25	31.60	4.40	2.00	4.45	2.00	1.95	1.45
84	33.10	33.05	28.50	4.10	3.00	3.35	2.40	1.85	1.90
85	34.80	33.55	33.70	4.30	2.85	3.90	1.80	1.50	1.35
86	27.00	31.25	28.50	2.30	3.90	3.75	1.50	1.85	1.45
87	34.65	30.15	32.65	4.50	4.00	5.30	1.55	2.45	1.50
88	32.25	28.00	29.00	3.75	2.00	2.50	1.60	1.75	1.30
89	34.00	33.50	27.90	4.80	3.85	3.75	2.70	2.00	1.50
90	31.85	27.50	31.70	3.75	3.00	3.45	1.65	1.95	1.65
91	33.05	31.45	34.50	5.00	3.25	4.65	2.15	2.00	1.50
92	31.75	34.95	30.70	3.55	3.75	4.30	1.85	2.45	1.05
93	34.30	30.50	31.35	4.10	3.25	4.70	2.20	1.95	1.55
94	35.00	29.65	28.05	4.20	3.65	4.15	2.00	1.75	1.45
95	33.60	29.40	30.20	4.20	2.75	4.50	1.80	1.30	1.40
96	31.45	31.00	33.10	3.55	2.45	4.55	1.75	1.40	1.10
97	30.90	33.30	28.20	3.30	4.70	4.50	1.60	2.00	1.60
98	28.10	27.20	29.75	3.20	3.00	4.60	1.35	2.05	2.05
99	31.10	33.00	30.10	3.85	3.80	4.50	2.45	2.50	1.60
100	32.70	33.05	30.20	4.40	4.50	4.35	2.30	1.55	1.25
Average	31.88	31.38	30.37	3.89	3.99	3.36	1.83	1.91	1.67
STDEV	2.35	2.62	2.33	0.58	0.81	0.72	0.35	0.32	0.33

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลจากการวัดขนาดปลากะตักแห้ง ขนาดปานกลาง (S)

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	39.75	41.50	39.10	4.80	4.80	5.60	2.25	3.20	2.25
2	41.25	36.50	44.90	5.60	4.60	6.35	2.45	2.40	2.50
3	40.30	40.40	39.65	3.95	4.90	5.70	1.65	1.85	2.55
4	40.00	37.30	41.05	4.75	5.70	5.45	2.25	2.50	2.40
5	41.50	38.70	37.70	4.70	5.20	5.45	1.80	2.40	2.80
6	40.65	38.60	38.10	3.95	5.90	5.40	2.00	2.60	2.10
7	42.70	41.80	39.80	8.25	4.90	5.60	4.10	2.20	2.30
8	42.60	35.00	40.50	5.20	4.70	6.10	2.30	1.90	2.20
9	44.15	36.30	38.00	6.10	3.15	5.10	2.70	2.00	2.05
10	37.50	36.60	44.10	4.30	4.60	5.80	2.25	2.20	2.20
11	41.00	40.25	41.45	4.90	4.10	5.80	2.70	1.90	2.60
12	39.95	37.90	38.15	4.55	5.60	5.15	2.40	2.50	2.05
13	44.45	35.50	44.05	4.90	4.25	6.35	2.50	1.80	2.35
14	41.40	35.00	37.70	4.50	4.30	5.50	2.20	2.80	2.40
15	37.15	40.25	38.45	4.20	5.20	5.60	2.00	3.30	2.40
16	39.75	38.70	41.95	7.70	5.60	6.15	3.45	2.50	2.55
17	37.15	36.60	42.20	4.40	6.00	5.50	1.95	2.20	2.40
18	42.60	43.80	35.65	5.90	5.50	4.65	3.10	2.55	1.95
19	38.50	36.60	35.90	3.75	5.60	5.25	2.10	2.00	1.95
20	39.65	36.00	35.75	3.65	4.30	4.90	2.45	2.00	1.95
21	38.85	41.60	40.50	4.10	4.80	5.60	2.45	3.20	2.30
22	41.50	37.60	41.40	4.00	5.50	5.40	1.70	2.80	2.55
23	39.90	37.90	44.75	5.10	4.05	8.75	3.25	2.30	4.25
24	39.60	36.70	37.10	4.65	5.70	5.30	2.45	2.40	2.20
25	37.85	36.50	39.55	4.50	4.90	5.05	1.20	2.30	2.20
26	43.60	42.30	35.75	7.65	5.40	4.80	4.00	2.25	2.25
27	38.15	37.00	42.25	4.40	5.40	5.45	2.20	2.50	2.55
28	38.70	42.50	35.80	4.20	5.30	4.75	2.30	2.40	1.95
29	38.80	38.00	39.05	4.00	4.95	5.70	2.20	2.70	2.40
30	40.15	40.45	44.80	4.20	5.10	8.40	2.20	2.20	4.30
31	35.30	36.00	35.45	3.30	4.90	5.35	2.20	2.00	2.20
32	41.40	36.35	38.00	6.95	4.20	5.40	2.80	1.90	2.20
33	43.00	42.60	35.25	4.75	4.60	5.10	2.45	2.20	1.75
34	44.70	42.30	38.80	3.80	4.90	4.65	2.30	2.15	2.20

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
35	37.30	40.10	36.60	4.65	4.00	4.70	2.20	2.20	1.75
36	41.55	42.50	37.40	5.25	5.25	4.15	2.25	2.60	2.40
37	43.70	35.00	35.20	4.70	4.10	4.75	2.30	2.40	1.90
38	37.30	35.20	44.15	3.20	5.00	7.80	2.00	1.95	3.80
39	39.80	39.00	39.75	5.10	4.65	4.45	2.85	2.10	2.45
40	39.70	40.30	39.80	4.40	4.00	4.55	2.45	2.20	2.20
41	43.00	35.50	39.90	7.00	4.00	4.85	3.30	1.90	2.40
42	37.00	38.80	37.00	3.65	4.50	5.15	1.95	1.85	1.80
43	39.35	37.70	36.80	4.70	4.60	5.20	2.30	1.95	2.10
44	44.60	40.40	37.60	4.60	4.90	5.30	3.15	2.35	2.00
45	44.20	35.60	35.65	5.70	3.70	5.15	2.40	3.20	2.00
46	36.15	35.90	38.65	4.00	5.20	5.15	2.30	2.30	1.95
47	35.70	43.40	37.70	3.40	3.95	5.10	2.00	1.70	2.65
48	35.20	38.60	40.80	4.05	3.80	6.10	1.75	2.00	2.30
49	36.00	42.70	41.70	3.90	3.80	5.50	2.25	2.40	2.10
50	43.20	38.60	43.25	4.90	5.90	4.90	2.00	2.40	2.05
51	37.95	41.85	37.50	4.40	5.25	4.40	2.20	2.40	2.05
52	39.95	37.90	38.30	4.60	5.50	5.20	2.15	3.30	1.95
53	39.60	40.50	44.70	4.65	5.40	8.20	2.25	3.30	4.00
54	38.80	36.30	41.70	5.60	4.50	6.10	2.10	2.10	3.40
55	41.75	40.40	43.80	5.25	5.40	5.05	2.60	2.60	3.35
56	39.30	40.85	48.30	6.85	5.40	5.50	3.20	3.05	3.00
57	38.30	36.10	41.40	3.30	4.80	4.65	1.95	2.20	2.60
58	38.00	41.80	43.85	5.10	5.60	5.70	1.60	2.40	3.50
59	39.90	44.15	35.25	4.25	5.60	4.25	2.00	2.45	2.50
60	38.05	39.40	45.00	4.60	4.90	9.25	2.20	2.20	3.80
61	35.55	36.00	44.40	4.15	4.40	8.50	1.65	2.10	4.55
62	44.85	38.00	41.00	4.50	4.95	9.60	2.45	2.20	3.60
63	40.80	41.10	41.30	5.15	4.90	5.70	1.80	2.65	3.05
64	37.25	42.80	42.60	3.65	5.80	5.40	1.80	2.30	3.30
65	38.55	36.60	42.20	3.90	5.40	4.40	2.00	2.95	3.30
66	37.30	42.20	43.30	4.10	4.80	5.30	2.05	2.30	3.20
67	38.00	42.30	35.65	4.70	5.00	4.35	2.20	2.40	2.00
68	42.05	35.60	40.95	4.35	4.60	6.50	2.20	1.80	3.30
69	40.30	41.05	36.45	6.10	4.70	4.35	2.95	2.55	2.00

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
70	39.10	41.00	39.90	4.80	5.10	4.60	2.05	2.50	3.30
71	44.90	37.70	36.65	5.45	4.70	4.50	2.40	2.20	2.70
72	42.15	37.60	41.40	8.60	5.80	4.15	4.35	2.20	2.20
73	43.60	36.90	43.70	5.00	4.60	6.10	2.50	2.00	2.55
74	35.20	35.95	38.50	4.70	4.00	4.15	1.90	1.80	2.15
75	37.60	35.40	41.50	3.55	4.60	4.70	2.40	2.30	2.90
76	35.90	42.90	44.65	4.65	5.20	6.10	1.80	2.50	3.50
77	35.20	37.20	39.90	4.80	5.10	5.20	2.30	2.70	3.05
78	41.85	36.80	37.15	5.00	5.80	5.60	2.95	2.90	2.70
79	40.75	43.50	43.05	5.50	6.95	6.00	3.30	2.40	2.55
80	40.20	41.30	40.20	5.50	4.20	5.65	3.25	2.20	3.55
81	43.00	36.10	41.45	5.25	3.45	9.95	2.80	2.50	3.75
82	43.55	35.40	38.10	5.10	4.40	6.20	2.40	1.90	3.10
83	37.85	35.55	38.50	4.25	4.40	4.65	2.05	2.15	1.95
84	41.30	36.60	37.45	4.30	4.30	4.60	3.20	2.40	2.45
85	38.45	36.90	35.20	3.95	5.70	4.70	1.85	2.00	2.15
86	40.85	37.50	39.80	5.85	5.20	4.85	2.10	1.95	2.65
87	40.55	40.75	39.90	4.30	5.45	4.90	2.20	2.40	3.40
88	42.55	43.10	44.20	5.50	4.90	6.20	2.45	2.50	2.85
89	42.45	39.20	35.80	3.70	6.60	4.90	2.30	2.90	2.10
90	37.20	42.10	40.80	3.80	4.60	6.60	1.90	2.10	2.45
91	42.70	35.00	39.05	6.95	4.70	3.65	3.40	2.00	2.20
92	38.80	38.00	35.20	4.65	4.20	4.30	2.20	1.95	2.20
93	41.20	38.76	47.65	4.70	5.25	6.85	1.95	2.60	4.60
94	35.55	36.70	36.80	4.35	4.30	4.70	2.15	1.85	2.25
95	36.00	44.10	34.30	3.90	5.50	3.20	1.60	2.70	2.00
96	36.85	43.80	36.35	4.00	6.00	4.25	2.95	2.45	2.80
97	38.60	37.80	39.20	4.50	4.90	4.30	2.90	2.45	2.30
98	41.80	39.90	39.60	4.90	5.90	4.80	3.20	2.50	2.75
99	45.00	39.40	41.20	6.75	4.95	4.90	3.20	2.30	3.15
100	43.70	35.90	37.90	4.65	6.60	5.50	3.20	2.10	2.90
Average	39.98	38.84	39.77	4.81	4.94	5.47	2.40	2.34	2.61
STDEV	2.66	2.69	3.10	1.05	0.69	1.19	0.56	0.37	0.65

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลจากการวัดขนาดปลากะตักแห้ง ขนาดใหญ่ (M)

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	51.10	53.35	45.30	8.00	8.40	6.20	2.85	3.00	3.25
2	49.10	45.30	45.25	10.55	7.40	6.05	5.15	4.50	3.20
3	49.20	47.00	50.15	10.50	6.60	8.80	5.30	2.95	4.20
4	53.30	52.35	52.80	9.60	8.30	9.15	3.75	3.90	5.20
5	46.35	47.80	54.55	8.75	6.70	8.65	3.10	3.80	4.25
6	50.25	45.05	46.40	8.00	7.50	7.70	3.80	4.20	3.70
7	45.65	45.55	45.90	7.40	6.75	7.25	3.55	4.00	3.60
8	51.05	45.90	51.65	8.55	7.30	4.10	4.40	5.80	3.60
9	54.65	50.35	48.10	10.10	8.00	7.75	4.60	3.65	3.20
10	47.00	47.95	49.95	7.00	9.60	7.15	3.60	4.20	2.90
11	47.05	49.00	50.60	5.95	9.45	7.60	2.10	4.40	3.00
12	46.85	53.70	49.40	8.20	9.15	8.45	5.50	5.10	2.60
13	53.55	51.00	52.90	8.70	7.25	7.60	4.40	4.50	3.60
14	49.90	55.00	48.55	7.20	7.80	8.05	4.00	4.35	3.30
15	52.00	45.15	50.90	8.50	7.95	7.40	3.45	4.50	4.15
16	48.80	49.35	52.45	9.30	8.00	8.70	5.20	4.40	3.70
17	47.05	48.55	52.00	8.75	8.40	7.20	4.40	5.00	3.55
18	45.70	52.20	53.20	6.10	7.85	7.75	2.60	4.15	3.60
19	46.05	48.30	47.95	5.75	8.05	8.55	3.10	3.40	3.40
20	51.05	48.00	50.10	8.10	6.50	8.55	2.20	2.70	2.90
21	50.00	47.10	52.05	8.70	6.00	7.50	4.25	3.20	3.40
22	54.50	48.00	50.05	8.55	7.15	7.60	4.15	4.60	2.99
23	47.60	45.35	49.70	9.40	5.10	7.20	4.90	2.00	3.30
24	49.00	50.25	50.00	5.75	7.35	8.55	2.65	4.20	3.60
25	47.30	51.00	49.40	7.50	7.00	7.45	3.60	3.40	3.05
26	49.80	52.20	51.25	7.70	7.45	8.25	2.50	3.90	3.50
27	50.70	52.00	47.65	7.75	7.00	6.50	3.30	3.80	2.65
28	49.50	52.40	45.80	8.00	7.00	7.95	3.85	4.10	3.30
29	51.90	49.80	51.30	8.55	6.85	7.40	4.15	2.95	4.00
30	47.60	50.00	46.30	8.55	5.30	7.65	4.25	2.90	2.50
31	53.20	51.60	48.70	9.60	6.05	7.35	3.10	2.90	2.40
32	50.00	46.95	45.70	8.60	7.35	7.95	3.40	2.90	3.50
33	49.05	49.15	47.25	8.40	8.20	7.40	3.00	4.00	3.35
34	49.10	48.30	43.10	7.90	5.80	6.60	3.20	2.70	2.65

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
35	47.65	45.75	51.60	7.70	5.60	9.10	3.45	2.70	3.95
36	50.65	51.80	50.95	6.75	9.90	7.40	2.95	4.50	3.90
37	52.90	50.30	49.05	7.70	8.40	7.40	4.20	4.30	3.80
38	51.10	51.90	45.80	5.80	8.75	6.40	2.90	4.25	1.90
39	47.70	49.70	44.15	8.00	6.25	8.20	3.40	3.15	3.30
40	49.15	45.45	44.70	7.40	7.20	7.40	3.10	3.30	2.90
41	45.70	45.15	45.65	7.65	6.35	7.60	4.25	3.90	3.80
42	49.00	46.00	46.25	8.15	6.05	8.35	4.10	2.85	3.45
43	49.95	46.50	45.80	7.75	4.95	5.10	3.90	2.70	1.85
44	50.25	49.70	46.30	8.40	7.85	7.00	3.30	4.35	3.65
45	46.35	49.90	47.70	5.40	7.40	5.00	2.20	3.90	1.35
46	50.90	47.30	47.70	7.70	5.50	7.50	3.30	3.60	3.20
47	46.60	50.40	45.90	7.20	7.00	4.65	3.80	2.60	1.60
48	47.30	46.10	46.10	8.10	7.50	4.60	4.00	4.20	2.40
49	50.00	48.40	44.60	8.90	5.30	4.65	4.40	2.90	2.40
50	51.90	52.50	45.70	9.30	7.00	5.40	3.30	3.80	1.90
51	49.35	48.35	44.95	8.00	7.60	5.10	2.50	4.50	2.55
52	49.10	46.30	44.15	5.25	5.70	4.65	2.00	3.00	1.80
53	46.00	45.10	43.95	5.70	4.45	4.75	2.00	3.45	2.20
54	49.00	53.10	46.90	8.55	8.05	5.05	2.95	4.50	2.10
55	45.60	46.90	45.20	8.20	5.00	6.90	3.80	2.40	2.25
56	49.05	48.00	45.85	5.50	6.80	5.45	3.40	3.35	2.40
57	52.05	48.00	47.00	5.30	7.75	4.60	2.75	4.00	2.15
58	48.35	47.45	43.85	8.50	7.70	5.00	3.70	3.95	2.40
59	45.35	46.50	46.50	6.10	7.00	7.50	3.40	4.70	3.60
60	46.35	52.20	52.25	5.95	7.05	7.20	2.40	2.90	2.90
61	52.25	47.60	49.15	8.30	7.70	7.45	4.10	3.90	2.70
62	50.15	47.50	48.70	7.40	7.70	7.20	2.20	3.90	3.20
63	45.50	49.95	46.35	8.30	6.00	4.95	3.70	3.90	1.90
64	51.50	51.60	48.25	8.60	7.65	4.40	3.30	4.90	2.00
65	46.00	45.10	44.50	7.10	6.70	4.40	2.95	4.80	2.10
66	47.25	51.40	43.60	6.70	7.95	5.05	3.10	5.00	2.40
67	47.95	48.40	50.30	6.90	8.30	5.30	3.85	3.85	2.40
68	46.25	54.60	44.65	5.10	6.45	5.10	1.60	4.80	2.25
69	45.65	47.75	45.10	4.35	6.00	4.40	1.80	3.05	2.05

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
70	49.65	54.95	52.55	8.30	6.90	9.00	3.20	3.85	3.60
71	46.10	52.00	49.00	7.70	7.90	7.85	2.90	3.55	3.30
72	51.50	46.00	53.90	8.35	4.90	9.05	4.40	1.95	3.75
73	49.60	55.00	53.80	8.00	7.15	9.25	3.60	5.00	3.65
74	47.10	45.25	48.90	6.95	8.00	8.05	4.90	3.05	3.45
75	50.30	50.00	48.95	8.90	5.95	7.35	3.20	4.05	3.40
76	49.60	46.70	49.60	8.30	8.40	8.45	3.10	3.25	3.50
77	47.80	46.20	50.90	9.35	6.20	9.05	4.20	2.75	3.40
78	45.00	51.00	49.90	7.95	8.00	7.60	4.40	4.10	3.65
79	46.60	55.00	53.15	4.85	6.40	9.60	2.30	3.20	3.85
80	47.25	54.20	53.10	5.55	7.50	6.85	2.85	4.35	2.65
81	45.05	56.35	53.55	6.75	7.60	8.20	3.20	3.95	3.25
82	49.00	53.25	45.15	7.95	10.00	6.65	4.35	4.55	2.70
83	52.30	51.15	49.30	6.65	6.25	8.35	2.45	3.10	4.10
84	45.50	47.45	51.65	4.65	6.20	8.30	1.90	3.05	3.65
85	49.00	50.10	48.90	8.55	9.75	9.00	2.90	4.60	3.90
86	50.50	52.70	58.70	7.35	7.00	7.60	2.90	2.65	3.50
87	45.20	54.75	47.00	4.85	10.15	7.00	1.95	4.85	2.40
88	45.60	50.60	46.55	9.35	8.30	7.65	2.70	3.85	3.10
89	46.60	47.65	49.20	5.75	8.35	6.85	2.20	4.05	2.95
90	51.15	50.20	49.15	8.60	7.55	8.55	3.75	4.10	4.30
91	50.00	49.30	47.25	6.70	5.00	7.40	2.70	2.50	3.20
92	45.25	46.25	49.65	7.10	7.40	7.60	3.75	4.45	3.40
93	46.30	53.00	51.35	6.90	7.30	9.60	2.95	4.60	3.25
94	48.20	53.90	44.85	8.60	8.85	7.60	3.25	3.60	3.20
95	47.30	54.80	47.60	7.50	8.50	6.60	5.40	4.10	3.75
96	50.50	46.00	48.56	7.60	9.00	9.92	2.95	5.25	3.90
97	45.75	48.35	51.60	5.55	7.60	9.15	2.50	3.95	3.95
98	47.35	45.15	49.00	8.80	4.65	8.60	4.35	2.95	4.28
99	52.10	48.70	50.95	9.10	8.75	7.95	2.95	3.00	3.60
100	49.20	48.00	47.60	8.30	8.65	8.05	4.00	5.00	4.10
Average	48.77	49.42	48.57	7.62	7.27	7.21	3.4155	3.79	3.14
STDEV	2.40	2.99	3.01	1.35	1.24	1.18	0.86	0.78	0.72

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลจากการวัดขนาดปลากะตักแห้ง ขนาดใหญ่มาก (L)

ตัวที่	ความยาว (มิลลิเมตร)			ความกว้าง (มิลลิเมตร)			ความหนา (มิลลิเมตร)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	57.20	61.00	62.10	9.60	7.90	9.15	5.10	4.40	4.15
2	58.05	60.00	62.05	9.25	7.90	9.00	4.65	4.00	4.45
3	56.10	56.40	62.30	8.80	7.30	8.90	3.55	3.40	4.40
4	55.15	64.50	61.60	10.2	10.00	8.05	3.70	5.60	4.15
5	55.75	56.40	54.95	7.40	7.80	8.70	4.40	3.40	3.85
6	59.10	59.30	68.80	9.20	9.60	9.40	4.00	4.70	4.20
7	56.10	61.40	64.40	7.40	11.00	8.05	3.25	4.00	4.15
8	56.25	60.80	61.75	9.30	7.50	8.90	2.80	4.30	3.95
9	55.10	58.60	58.90	8.30	9.65	6.95	3.55	4.40	3.70
10	61.90	55.40	59.40	9.00	8.00	8.20	4.50	4.50	3.80
11	62.00	55.00	55.75	7.50	8.70	8.55	4.00	4.40	3.90
12	59.80	57.80	60.15	8.45	9.15	8.85	4.45	4.40	4.20
13	64.80	57.30	57.40	8.00	7.90	8.65	3.70	4.10	4.35
14	57.45	61.70	60.60	7.00	7.40	7.75	3.30	4.30	3.80
15	58.80	59.00	55.15	9.00	8.10	7.85	3.25	4.00	4.05
16	58.20	57.50	62.30	7.10	9.60	7.80	3.35	4.30	3.60
17	56.10	57.15	60.75	9.40	8.40	8.60	4.60	4.70	4.75
18	58.55	63.00	68.05	9.00	9.70	8.10	3.25	5.30	4.65
19	57.10	61.20	60.20	7.75	8.10	7.80	3.10	4.20	4.40
20	61.85	56.35	60.75	7.40	8.40	8.60	3.80	3.80	4.15
21	58.95	56.60	61.10	7.45	8.90	7.85	3.10	4.80	4.10
22	58.90	56.50	58.70	8.30	8.60	7.65	3.40	4.50	5.20
23	56.35	62.00	58.35	8.30	9.30	6.30	4.30	3.40	4.10
24	60.20	62.50	57.80	7.45	10.00	7.60	4.00	4.30	3.85
25	58.40	56.10	61.10	9.10	9.40	7.55	4.40	4.90	4.10
26	57.55	57.40	56.10	8.00	7.50	8.10	3.25	3.70	5.10
Average	58.30	60.74	60.61	8.37	8.89	8.24	3.80	4.33	4.26
STDEV	2.39	2.53	3.36	0.88	0.94	0.82	0.60	0.55	0.47

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลจากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของปลากะตักบนพื้นผิวประเภทต่าง ๆ

ขนาด	ครั้งที่	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน			
		ไม้	อะลูมิเนียม	ยาง	สแตนเลส
SSS	1	1.07	0.78	0.73	0.87
	2	1.07	0.62	0.84	1.00
	3	1.00	0.73	0.87	0.93
	AVG	1.05	0.71	0.81	0.93
SS	1	0.90	0.65	0.75	0.97
	2	1.11	0.62	0.87	1.00
	3	0.93	0.62	0.78	0.90
	AVG	0.98	0.63	0.80	0.96
S	1	1.00	0.62	0.73	0.84
	2	0.97	0.73	0.73	0.87
	3	0.81	0.67	0.70	0.90
	AVG	0.93	0.67	0.72	0.87
M	1	1.00	0.70	0.67	0.90
	2	0.90	0.58	0.70	0.87
	3	0.87	0.58	0.65	0.87
	AVG	0.92	0.62	0.67	0.88
L	1	0.93	0.58	0.75	0.90
	2	0.97	0.62	0.67	0.84
	3	0.87	0.60	0.70	0.87
	AVG	0.92	0.60	0.71	0.87

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลจากการทดลองคัดขนาดปลากะตักด้วยเครื่องเครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด

ขนาด	ครั้งที่	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	ความเร็วรอบ (เฮิร์ต)	น้ำหนัก (กรัม)
SSS	1	4.76	10.22	0.05
	2	5.01	10.33	0.04
	3	4.85	9.98	0.03
	AVG	4.87	10.18	0.04
SS	1	5.04	10.35	0.13
	2	4.97	10.37	0.07
	3	4.98	10.67	0.08
	AVG	5.00	10.46	0.09
S	1	5.22	10.98	0.16
	2	5.79	12.24	0.15
	3	4.69	9.88	0.22
	AVG	5.23	11.03	0.18
M	1	10.96	21.25	0.33
	2	10.78	21.09	0.72
	3	10.12	20.13	0.48
	AVG	10.62	20.82	0.51
L	1	10.39	20.98	0.85
	2	9.87	20.03	0.75
	3	9.64	19.39	0.71
	AVG	9.97	20.13	0.77

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลเชิงสถิติของค่าความหนาแน่น พื้นที่ภาพฉาย และน้ำหนักเฉลี่ยของปลากะตักแห้งทั้ง 5 ขนาด

ขนาด	สมบัติทางกายภาพ	N	$\bar{X}$+SD
SSS	ความหนาแน่นรวม (กรัม/มิลลิลิตร)	100	0.15 ± 0.03
	พื้นที่ภาพฉาย (พิกเซล)	100	0.63 ± 0.03
	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	100	0.06 ± 0.02
SS	ความหนาแน่นรวม (กรัม/มิลลิลิตร)	100	0.19 ± 0.02
	พื้นที่ภาพฉาย (พิกเซล)	100	1.18 ± 0.09
	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	100	0.09 ± 0.01
S	ความหนาแน่นรวม (กรัม/มิลลิลิตร)	100	0.18 ± 0.01
	พื้นที่ภาพฉาย (พิกเซล)	100	1.46 ± 0.06
	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	100	0.17 ± 0.02
M	ความหนาแน่นรวม (กรัม/มิลลิลิตร)	100	0.22 ± 0.02
	พื้นที่ภาพฉาย (พิกเซล)	100	2.60 ± 0.22
	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	100	0.54 ± 0.15
L	ความหนาแน่นรวม (กรัม/มิลลิลิตร)	100	0.16 ± 0.03
	พื้นที่ภาพฉาย (พิกเซล)	100	4.20 ± 0.18
	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	100	0.86 ± 0.40

ตารางที่ ข9 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดขนาดปลากะตักด้วยเครื่องคัดขนาดที่ไม่ติดตั้งแผ่นกั้น (Baffle)

ขนาด	ซ้ำที่	มุม (องศา) – ความเร็วรอบ								
		1-10	1-15	1-20	2-10	2-15	2-20	3-10	3-15	3-20
SSS	1	70.56	45.18	48.25	74.04	40.09	41.95	73.38	50.50	27.23
	2	48.31	41.30	23.10	57.92	45.69	35.02	57.94	11.59	6.27
	3	43.93	20.18	33.91	70.05	44.39	32.43	44.06	22.53	33.69
	Mean	54.26	35.55	35.08	67.33	43.39	36.47	58.46	28.21	22.40
	S.D.	11.66	10.99	10.30	6.86	2.39	4.02	11.97	16.38	11.70
SS	1	47.51	53.02	41.74	51.48	54.19	48.94	54.62	55.88	53.19
	2	52.71	51.69	47.49	49.63	36.50	48.11	54.78	51.41	59.60
	3	53.41	52.94	49.00	52.58	51.93	44.59	51.19	54.23	49.24
	Mean	51.21	52.55	46.08	51.23	47.54	47.21	53.53	53.84	54.01
	S.D.	2.63	0.61	3.12	1.22	7.86	1.89	1.66	1.85	4.27
S	1	65.20	73.84	71.94	64.72	70.60	71.43	88.92	72.42	70.22
	2	68.78	64.95	63.69	76.52	57.03	68.52	79.03	72.90	72.86
	3	71.90	73.63	70.43	73.87	68.28	65.89	68.97	72.07	71.56
	Mean	68.63	70.81	68.69	71.70	65.30	68.62	78.97	72.46	71.55
	S.D.	2.74	4.14	3.59	5.06	5.93	2.26	8.14	0.34	1.08
M	1	36.02	65.43	57.58	58.21	45.26	45.33	85.97	68.04	25.77
	2	49.69	55.20	17.37	50.33	44.72	29.74	69.71	34.69	36.86
	3	65.00	55.79	27.90	45.16	60.52	41.81	42.40	48.48	23.22
	Mean	50.24	58.81	34.28	51.23	50.16	38.96	66.03	50.40	28.62
	S.D.	11.83	4.69	17.02	5.36	7.32	6.68	17.98	13.68	5.92
L	1	100.00	98.40	84.49	100.00	100.00	100.00	100.00	89.70	100.00
	2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.55	100.00	89.89	100.00
	3	100.00	100.00	100.00	100.00	88.57	100.00	86.70	100.00	100.00
	Mean	100.00	99.47	94.83	100.00	96.19	99.52	95.57	93.20	100.00
	S.D.	0.00	0.76	7.31	0.00	5.39	0.68	6.27	4.81	0.00

ตารางที่ ข10 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดขนาดปลากะตักด้วยเครื่องคัดขนาดที่ติดตั้งแผ่นกั้น (Baffle)

ขนาด	ซ้ำที่	มุม (องศา) – ความเร็วรอบ								
		1-10	1-15	1-20	2-10	2-15	2-20	3-10	3-15	3-20
SSS	1	93.16	88.16	82.16	84.76	82.86	80.87	87.80	83.26	88.86
	2	82.14	82.14	83.14	82.24	92.44	90.42	83.41	90.04	90.04
	3	90.44	70.44	78.44	86.66	76.44	70.54	85.44	82.14	86.14
	Mean	88.41	78.22	81.79	84.23	82.23	80.00	85.66	84.48	88.30
	S.D.	3.57	9.45	2.16	3.02	6.76	8.92	2.67	3.25	2.25
SS	1	97.56	93.56	96.56	96.56	95.16	93.16	93.16	98.16	95.16
	2	91.74	94.74	96.74	96.74	87.14	92.14	89.14	80.14	79.14
	3	90.74	91.44	96.44	94.44	89.44	95.44	91.44	92.44	90.44
	Mean	93.74	93.37	96.55	94.07	90.32	93.44	91.33	90.74	87.48
	S.D.	3.11	0.79	0.18	1.52	4.91	1.20	2.59	9.18	7.18
S	1	82.89	83.19	82.24	72.94	82.94	76.01	84.56	86.56	84.56
	2	89.47	86.24	80.24	74.94	90.44	78.27	82.74	80.74	81.74
	3	87.54	88.57	77.01	73.98	74.98	73.88	86.74	74.74	85.74
	Mean	86.84	86.62	79.03	73.91	82.05	76.07	84.23	79.97	84.80
	S.D.	2.01	1.36	2.24	0.80	7.63	2.73	2.78	5.33	1.39
M	1	83.46	80.16	79.16	78.17	75.17	75.97	85.19	91.23	91.23
	2	92.52	90.52	87.52	77.12	82.12	80.78	86.47	80.01	89.19
	3	83.56	80.56	77.56	76.56	76.56	74.68	88.54	71.05	87.95
	Mean	86.67	83.66	81.53	77.24	77.41	77.05	86.43	80.28	89.16
	S.D.	4.44	4.53	4.19	1.20	3.03	1.61	1.51	9.56	1.25
L	1	87.32	85.33	95.23	94.21	74.24	78.24	84.02	86.47	95.46
	2	97.55	92.45	90.04	91.04	79.22	79.82	96.12	81.45	90.22
	3	89.89	85.11	85.11	84.11	71.02	76.02	73.02	76.99	82.56
	Mean	91.58	87.13	90.16	90.45	74.47	77.97	83.93	81.62	89.96
	S.D.	4.41	6.04	5.21	3.02	5.01	1.80	10.54	5.16	7.00

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอำนาจ คูตะคุ
วัน เดือน ปีเกิด	23 พฤษภาภาคม 2515 ที่จังหวัดนครราชสีมา
ที่อยู่	90/422 หมู่ 8 ตำบลคลองอุดมชลจร อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2538	-ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ช่างกลเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา
พ.ศ. 2542	-วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล สถาบันราชภัฏราชนครินทร์ ฉะเชิงเทรา
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ. 2538 - 2547	- นายช่างเทคนิคประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2547 – ปัจจุบัน	- เจ้าหน้าที่วิจัยประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2559	- สาทิป รัตนภาสกร เอกพงษ์ ชีวิตโสภณ อำนาจ คูตะคุ จดอนุสิทธิบัตร “เครื่องคัดแยกและคัดขนาดปลากะตักแห้ง”
พ.ศ. 2560	- อำนาจ คูตะคุ เอกสิทธิ์ ศรีธรรม เอกพงษ์ ชีวิตโสภณ และสาทิป รัตนภาสกร “การศึกษาสมบัติทางกายภาพของปลากะตักแห้งเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดขนาด” การประชุมครั้งที่ 55 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปี 2560
พ.ศ. 2561	- เอกสิทธิ์ ศรีธรรม อำนาจ คูตะคุ “การออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดปลากะตักแห้ง” การประชุมครั้งที่ 56 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปี 2561
พ.ศ. 2562	- กิจจานุพงศ์ พิพิธ ลัญชกร พิลึกเรืองเดช อนัญญา ลี้สิริสุข อำนาจ คูตะคุ สมัคร รักแม่ “การควบคุมสภาวะอากาศในตู้บ่มขนาดเล็ก” การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 5 ประจำปี 2562 ,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี