



การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัว
ในระดับชุมชน

วิทยานิพนธ์

ของ

อุทิศ นิลโคตร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กุมภาพันธ์ 2569

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัว
ในระดับชุมชน

วิทยานิพนธ์

ของ

อุทิศ นิลโคตร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กุมภาพันธ์ 2569

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A PELLETIZED ORGANIC FERTILIZER
MACHINE FROM COW MANURE AT THE COMMUNITY

BY
UTHIT NILKOTE

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
The Master of Engineering in Engineering
at Sakon Nakhon Rajabhat University

February 2026

All Rights Reserved by Sakon Nakhon Rajabhat University



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน
ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์ อุทิศ นิลโคตร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 (รศ.ดร.นนทพงษ์ พลพวก)	ประธานกรรมการสอบ และผู้ทรงคุณวุฒิ	 (ผศ.ดร.ไวรัตน์ อัมไพ)	กรรมการสอบและ ประธานที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์
 (ผศ.ดร.ภาณุวัฒน์ วงศ์แสงน้อย)	กรรมการสอบ แต่งตั้งเพิ่มเติม	 (ผศ.ดร.สาคร อินทะชัย)	กรรมการสอบและ กรรมการที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์
 (ผศ.ดร.กัญญา พรหมพินิจ)		กรรมการสอบ แต่งตั้งเพิ่มเติม	

คณะกรรมการบริหารหลักสูตรรับรองแล้ว

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว


.....
(ผศ.ดร.กัญญา พรหมพินิจ)

ประธานหลักสูตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร


.....
(ผศ.ดร.สุศักดิ์ แสนทวีสุข)

ผู้อำนวยการบัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

เมื่อวันที่ 25 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไวโรจน์ อิมโพ ประธานกรรมการที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ที่กรุณาแนะนำ เสนอแนะ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ตลอดมา ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้ แนวคิดทางวิชาการ และให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของคณะและมหาวิทยาลัยที่ให้ความสะดวกด้านสถานที่ เครื่องมือ และเอกสารทางวิชาการ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้นำชุมชน เกษตรกร และสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูล การสัมภาษณ์ การทดลองใช้งานเครื่องต้นแบบ และการประเมินผล ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญต่อการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องจักรให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริงในระดับชุมชน

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนร่วมหลักสูตรและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือทั้งด้านกำลังใจ ข้อเสนอแนะ และความร่วมมือในการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดา มารดาของผู้วิจัย และบูรพาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนจนผู้วิจัยสามารถดำรงตนและบรรลุผลสำเร็จในปัจจุบัน

อุทิศ นิลโคตร

ชื่อเรื่อง	การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัว ในระดับชุมชน
ผู้วิจัย	อุทิศ นิลโคตร
กรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไวโรจน์ อิ่มโพ
ปริญญา	วศ.ม. (วิศวกรรมศาสตร์)
สถาบัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ปีที่พิมพ์	2569

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์จากมูลวัวระดับชุมชนโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่อง ประเมินสมรรถนะ ประเมินคุณภาพ และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยรวบรวมความต้องการของผู้ใช้งานในชุมชน แล้วประยุกต์ใช้ QFD เฟสที่ 1 แปลงเป็นคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม และ QFD เฟสที่ 2 กำหนดข้อกำหนดชิ้นส่วน ก่อนออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สร้างเครื่องต้นแบบ และทดสอบสมรรถนะจริง

ผลการวิจัยพบว่าเครื่องใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า สามารถผลิตปุ๋ยอัดเม็ดเฉลี่ยประมาณ 300 กิโลกรัมต่อวัน และมีประสิทธิภาพการอัดเม็ดเฉลี่ยร้อยละ 97.14 โดยมีเม็ดปุ๋ยสมบูรณ์เฉลี่ย 19.43 กิโลกรัม และเม็ดไม่สมบูรณ์เฉลี่ย 0.57 กิโลกรัมต่อการทดสอบ แสดงถึงความสามารถของระบบอัดเม็ดในการผลิตเม็ดปุ๋ยที่มีความสม่ำเสมอ

ด้านคุณภาพ ผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยประมาณ 4.46 และการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์พบว่ามีการใช้พลังงานประมาณ 458 บาทต่อชั่วโมง หรือประมาณ 36,640 บาทต่อเดือน เมื่อใช้งานวันละ 4 ชั่วโมง โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 0.68 เดือน หรือ 20 วันทำงาน สรุปได้ว่าการใช้ QFD ช่วยเชื่อมโยงความต้องการกับการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างเป็นระบบ ทำให้เครื่องมีสมรรถนะดีและเหมาะสมต่อการใช้งานในระดับชุมชน

คำสำคัญ: การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ, เครื่องผสมและอัดเม็ด, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

TITLE	Design and Development of a Pelletized Organic Fertilizer Machine from Cow Manure at the Community
AUTHOR	Uthit Nilkote
ADVISORS	Asst. Prof. Dr. Wairuti Impho
DEGREE	M.Eng. (Engineering)
INSTITUTION	Sakon Nakhon Rajabhat University
YEAR	2026

ABSTRACT

This study presents the design and development of a community-scale organic fertilizer mixing and pelletizing machine using the Quality Function Deployment (QFD) method. The objectives were to design and fabricate the machine, evaluate its performance and quality, and assess its economic feasibility. Community user requirements were translated into engineering characteristics through QFD Phase I and into component specifications through QFD Phase II. The machine was designed using computer-aided design software, constructed as a prototype, and experimentally tested.

The machine, powered by a 2-horsepower motor, achieved an average production capacity of about 300 kg/day with a pelletizing efficiency of 97.14%. Each test produced approximately 19.43 kg of acceptable pellets and 0.57 kg of defective pellets, indicating consistent pellet formation.

Expert evaluation rated the machine at a good level (mean ≈ 4.46). Economic analysis indicated a net profit of about 458 THB per hour, or 36,640 THB per month when operated 4 hours per day, with a payback period of approximately 0.68 months (around 20 working days). The results confirm that QFD effectively links user needs with engineering design, producing a machine suitable for sustainable community use.

Keywords: Quality Function Deployment, Mixing and Pelletizing Machine,
Engineering Economics

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
สมมติฐานของการวิจัย	3
ความสำคัญของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	4
กรอบแนวคิดของการวิจัย	4
นิยามศัพท์เฉพาะ	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
ความหมายของปุ๋ย	7
ปุ๋ยเคมี	7
ปุ๋ยอินทรีย์	8
ปุ๋ยชีวภาพ	8
ประเภทของปุ๋ยอินทรีย์	8
ปุ๋ยคอก	8
ปุ๋ยหมัก	8
ปุ๋ยพืชสด	9
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือปุ๋ยอินทรีย์เหลว	9
การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชต่าง ๆ	9
การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชผัก	9
การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชไร่และนาข้าว	10
การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับไม้ผลไม้ยืนต้น	10
การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับไม้ดอกไม้ประดับ	10
การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด.....	11
การเตรียมวัตถุดิบ	11

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
วัตถุประสงค์ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	11
การผสมวัตถุดิบ	11
วิธีการอัดเม็ด	12
คุณลักษณะของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	12
การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	13
เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	13
หลักการทำงานของเครื่องผลิตปุ๋ยอัดเม็ด	14
เทคนิคและวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	14
ประเภทของเครื่องผลิตปุ๋ยอัดเม็ด	15
การพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	15
ทฤษฎีการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ	16
วัตถุประสงค์ในการนำเทคนิค QFD ไปประยุกต์ใช้	16
ประโยชน์ในการนำเทคนิค QFD ไปประยุกต์ใช้	16
รูปแบบของการนำเทคนิค QFD ไปประยุกต์ใช้	17
เทคนิค QFD แบบ 4 เฟส	18
เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ QFD	23
ความหมายของการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพและการนำไปใช้	23
บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality)	24
แผนผังต้นไม้ (Tree Diagrams)	26
แผนผังเมทริกซ์ (Matrix Diagram)	27
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
งานวิจัยในประเทศ	28
งานวิจัยต่างประเทศ	35
3 วิธีดำเนินการวิจัย	43
การศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การเก็บข้อมูลความต้องการของชุมชน	45
การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาชุมชนด้วย Fishbone Diagram	46
การประยุกต์ใช้ QFD เฟส 1	47
การประยุกต์ใช้ QFD เฟส 2	48
การออกแบบเครื่องด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	49
การทดลองและประเมินสมรรถนะของเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	50
การวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	55
4 ผลการวิจัย	57
ผลการวิเคราะห์ความต้องการของชุมชนผู้ใช้งาน	57
ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาชุมชน	61
ผลการประยุกต์ใช้ QFD เฟส 1	66
ผลการประยุกต์ใช้ QFD เฟส 2	70
ผลการออกแบบเครื่องด้วย CAD ตามลำดับความสำคัญของชิ้นส่วน	74
ผลการทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ	80
ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์	85
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	90
ความมุ่งหมายของการวิจัย	90
สมมติฐานของการวิจัย	91
สรุปผลการวิจัย	91
อภิปรายผล	93
ข้อเสนอแนะ	95
บรรณานุกรม	96

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก	102
ภาคผนวก ก แบบสัมภาษณ์และแบบสอบถามความต้องการของชุมชน	103
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	110
ภาคผนวก ค ตาราง QFD เฟส 1 (House of Quality: HOQ)	117
ภาคผนวก ง ตาราง QFD เฟส 2 (Part Deployment/Component HOQ)	122
ภาคผนวก จ แบบเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	128
ภาคผนวก ฉ ขั้นตอนการสร้างเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	142
ภาคผนวก ช คู่มือการใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดปุ๋ย	148
ภาคผนวก ซ ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ	161
ภาคผนวก ฌ การลงพื้นที่การสาธิตการใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัด	166
ภาคผนวก ฎ แบบประเมินหาคุณภาพเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	170
ภาคผนวก ฏ การนำเสนอการประชุมวิชาการระดับชาติ	174
ประวัติย่อของผู้วิจัย	180

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ความหมายของความพึงพอใจ 5 ระดับ	20
2 สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์	21
3 สัญลักษณ์ทิศทางและความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางเทคนิคต่าง ๆ	22
4 ระดับความสำคัญของความต้องการของชุมชนผู้ใช้งานเครื่องผสมและ อัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์	59
5 การสังเคราะห์ความต้องการของชุมชน	60
6 ผลการวิเคราะห์รากสาเหตุของปัญหาด้วยเทคนิค 5 Whys	63
7 ผลการเชื่อมโยงรากสาเหตุเชิงออกแบบกับคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม	65
8 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่าง WHATs-HOWs	67
9 ผลการคำนวณลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคของ ECs	68
10 ค่าเป้าหมายทางวิศวกรรม (Engineering Targets) ของเครื่องผสม และอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์	69
11 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (ECs) และระบบ/ชิ้นส่วนของเครื่อง (QFD เฟส 2)	71
12 ผลการคำนวณลำดับความสำคัญของชิ้นส่วน (Part Priority)	72
13 ผลการทดสอบความสามารถในการผลิตและประสิทธิภาพ การอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์	81
14 ผลการทดสอบอัตราการใช้พลังงานและประสิทธิภาพด้านพลังงาน ของเครื่องต้นแบบ	83
15 ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ต้นแบบ	84
16 ต้นทุนการลงทุนของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์	86
17 ต้นทุนการดำเนินงานของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์.....	87

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ลักษณะทั่วไปมูลงว้าวของเกษตรกรบ้านท่าแร่ ตำบลท่าแร่ อำเภอมือง จังหวัดสกลนคร.....	2
2 กรอบแนวคิดของการวิจัย	4
3 ส่วนประกอบของเฟสที่ 1 หรือบ้านคุณภาพ (House of Quality)	19
4 ขั้นตอน QFD 4 ช่วง	24
5 บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ)	25
6 แผนผังต้นไม้ (Tree Diagrams)	26
7 แผนผังไม้กลยุทธ์สืบต่อ	27
8 แผนผังเมทริกซ์ (Matrix Diagram)	27
9 วิธีการดำเนินงานวิจัย	44
10 การวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram)	62
11 การออกแบบชุดอัดเม็ด (P3)	75
12 การออกแบบมอเตอร์และชุดส่งกำลัง (P1)	75
13 การออกแบบระบบปรับช่องว่างการอัด (P6)	76
14 การออกแบบชุดผสม (P2)	77
15 การออกแบบโครงสร้างและฐานเครื่อง (P4)	77
16 การออกแบบระบบควบคุมและความปลอดภัย (P7)	78
17 การออกแบบเบรคและชุดรองรับเพลลา (P5)	79
18 ภาพรวมผลการออกแบบเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์	80
19 ลักษณะเม็ดปุ๋ยที่อัดเป็นสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์	82

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

กระแสความต้องการของผู้บริโภคทั่วโลก ที่มีความเป็นห่วงด้านสุขอนามัย ต้องการอาหารที่มีคุณภาพและความปลอดภัย ตลอดจนการอนุรักษ์สภาพแวดล้อม ทำให้เกิดการต่อต้านระบบเกษตรเคมี ในปัจจุบันรัฐบาลได้มีมติให้เกษตรอินทรีย์เป็นวาระแห่งชาติ กำหนดให้มีการส่งเสริม การบริโภคและการผลิตสินค้าทางการเกษตรในระบบเกษตรอินทรีย์ และพัฒนาระบบการผลิตเข้าสู่มาตรฐานระดับชาติและระดับนานาชาติ ประเทศไทยเป็นประเทศส่งออกสินค้าการเกษตรที่สำคัญของโลก (ธีรพงศ์ เกาڑชาลี, 2560) ปัจจุบันมีการแข่งขันด้านการตลาดสูงจากประเทศคู่แข่งที่มีค่าแรงถูก ในตลาดทั้งภายในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศอื่น ๆ ความต้องการอาหารปลอดภัยของผู้บริโภค โดยเฉพาะประเทศที่พัฒนา เช่น ยุโรป ญี่ปุ่น และอเมริกา ถือได้ว่าเป็นตลาดที่สำคัญของสินค้าเกษตรไทย เนื่องจากผู้บริโภคต้องการอาหารที่มีคุณภาพและความปลอดภัยสูง ในเอเชียตลาดญี่ปุ่นเป็นตลาดอาหารอินทรีย์ที่ใหญ่ที่สุดในเอเชีย (อาณัติ ดิษฐ์กระจัน, 2560)

ปัจจุบันการเกษตรกรรมมีการพึ่งพิงปัจจัยการผลิตจากภายนอกเป็นส่วนมาก เช่น เมล็ดพันธุ์ ปุ๋ยเคมี ที่ดิน แรงงาน อีกทั้งเกษตรกรไม่สามารถกำหนดราคาขายของสินค้าทางการเกษตรได้ด้วยตนเองและขาดอำนาจในการต่อรองกับกลุ่มทุนขนาดใหญ่ จึงเป็นฝ่ายเสียเปรียบในตลาดอยู่เสมอ (ปลุกดิน ชัยนงน, 2561) จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ต้นทุนการทำเกษตรมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากยิ่งขึ้น รัฐบาลจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญจากปัญหาข้างต้นจึงได้มีแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยมีนโยบายการขับเคลื่อนภาคเกษตรจึงส่งเสริมและผลักดันให้มีการบริหารจัดการน้ำทั้งระบบ เพื่อแก้ปัญหาภัยแล้ง การใช้ระบบการตลาดนำการผลิต การแก้ไขปัญหาราคาสินค้าเกษตรตกต่ำ การลดต้นทุนการผลิต ส่งเสริมเกษตรกรใช้ปุ๋ยที่ผลิตเอง การส่งเสริมเกษตรปลอดภัย เกษตรอินทรีย์ ให้ผู้บริโภคได้รับสินค้าที่มีความปลอดภัย (ธนสาร จอมพุทรา และคณะ, 2564)

ชาวบ้านท่าแร่ ตำบลท่าแร่ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม คือ ปลูกข้าว และการเลี้ยงวัว ซึ่งปัจจุบันมีเกษตรกรสนใจเลี้ยงวัว

จำนวนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร แต่อย่างไรก็ตามรายได้จากการเลี้ยงและขายวัวไม่เพียงพอต่อค่าใช้จ่ายในครัวเรือน เกษตรกรจึงนำมูลวัว ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการเลี้ยงวัวมาบรรจุใส่กระสอบขายให้กับผู้ที่สนใจ เนื่องจากมูลเป็นปุ๋ยคุณภาพสูง ราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอื่น ๆ เกษตรกรผู้ปลูกข้าว มันสำปะหลัง พืชผักสวนครัว และพืชอื่น ๆ มีความต้องการเป็นอย่างมาก จึงทำให้ราคาของปุ๋ยมูลวัวมีราคาค่อนข้างสูง เกษตรกรในตำบลท่าแร่เลี้ยงวัวนมเฉลี่ย 10-15 ตัวต่อครัวเรือน และได้ปุ๋ยจากวัวในจำนวนดังกล่าวสัปดาห์ละ 10 กระสอบ และสามารถขายได้ในราคากระสอบละ 50 บาท แต่อย่างไรก็ตาม แต่อย่างไรก็ตามการนำมูลวัวอัดเม็ดจะสามารถทำให้เกษตรกรสามารถขายปุ๋ยมูลวัวได้ในราคาตั้งแต่กระสอบละ 100 บาทขึ้นไป เนื่องจากปริมาณและเหตุผลที่สำคัญสำหรับการเลือกใช้ปุ๋ยมูลวัวอัดเม็ดคือการใช้งานง่าย ที่ผ่านมามีการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยมูลวัวหรือปุ๋ยจากสัตว์อื่น ๆ ซึ่งพบปัญหาเรื่องการใช้งาน ขนาดของเครื่อง กระบวนการทำงานไม่ต่อเนื่องกัน และรูปแบบไม่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตในระดับชุมชน

จากการลงพื้นที่พบว่า มูลวัวของชุมชนตำบลท่าแร่มีลักษณะเป็นแผ่น เนื่องจากเกษตรกรนำมูลวัวมาตากแดดเพื่อกำจัดกลิ่น เมื่อมูลวัวแห้งจึงจับตัวเป็นก้อนหรือแผ่น ทำให้เมื่อนำมูลวัวดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการผลิต เกษตรกรจะต้องทำให้มูลวัวมีขนาดเล็กลงเพื่อให้สามารถอัดตามขนาดที่ต้องการได้ จะเห็นได้ว่ามีกระบวนการทำงานที่ซ้ำซ้อน และมีการขนย้ายบ่อยครั้ง อีกทั้งกระบวนการผลิตแบบเดิมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลต่อคุณภาพและสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน



ภาพประกอบ 1 ลักษณะทั่วไปมูลวัวของเกษตรกรบ้านท่าแร่
ตำบลท่าแร่ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงแนวคิดในเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) มาออกแบบและสร้างเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เป็นการพัฒนาระบบการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในระดับชุมชน เพื่อลดความสูญเสีย เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต เป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงวัว และส่งเสริมการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการเกษตรอย่างยั่งยืน

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์
3. เพื่อประเมินคุณภาพเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์
4. เพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

สมมติฐานของการวิจัย

1. เครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น มีกำลังการผลิตในการผลิตปุ๋ยอัดเม็ดเฉลี่ย 300 กิโลกรัมต่อวัน
2. เครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยอัดเม็ดเฉลี่ยร้อยละ 80
3. เครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ออกแบบและสร้างผ่านการประเมินความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานอยู่ในระดับดี (3.50)

ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้เครื่องต้นแบบเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์แบบเม็ด สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดได้ตามขนาดที่กลุ่มเกษตรกรต้องการ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมี และเป็นส่งเสริมการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดไว้ใช้เองและจำหน่าย เป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร
2. ได้ข้อมูลผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงานเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องต้นแบบต่อไป

3. ได้ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นข้อมูลให้เกษตรกรที่สนใจลงทุนซื้อเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

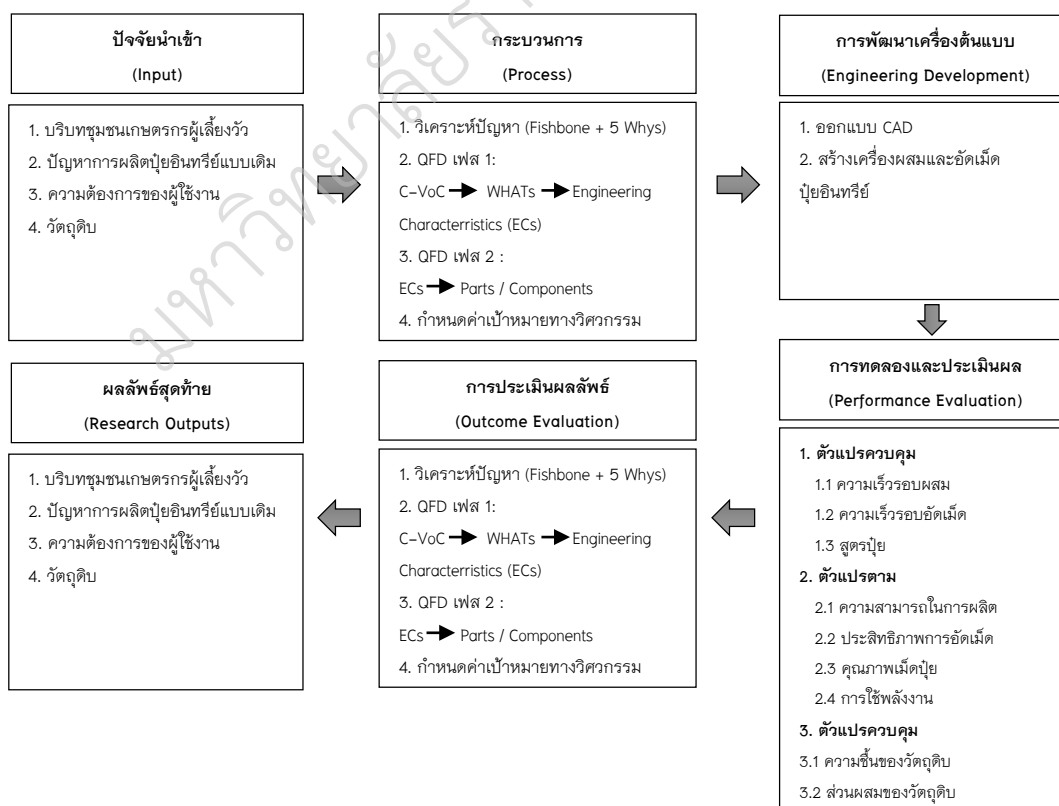
ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของเครื่องประกอบด้วย ชุดบดและผสมปุ๋ยอินทรีย์ ชุดอัดเม็ดอาหารสัตว์ สำหรับต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า

2. ทดสอบและประเมินผลการทำงานโดยมีค่าชี้ผลในการศึกษา ได้แก่ สมรรถนะการทำงาน อัตราส่วนผสม คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

3. วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ วิเคราะห์จุดคุ้มทุนและวิเคราะห์ระยะเวลาในการคืนทุน

กรอบแนวคิดของการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง เครื่องจักรที่ใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าและมีชุดตีปุ๋ยละเอียด ถังพร้อมใบพายที่สามารถผสมส่วนผสมต่าง ๆ ให้เข้ากันและมีระบบอัดเม็ดแบบลูกกริด ซึ่งมีขนาด 6 มิลลิเมตร
2. ผู้เชี่ยวชาญประเมิน หมายถึง ผู้มีความรู้ความสามารถทางด้านการออกแบบเครื่องจักรกล
3. กลุ่มเกษตรกร หมายถึง กลุ่มชาวบ้านท่าแร่ ตำบลท่าแร่ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ที่มีความต้องการใช้เครื่องในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
4. ประสิทธิภาพ หมายถึง การใช้เครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ได้ตามที่ต้องการและใช้เวลาได้ตามที่ต้องการ ดำเนินงานเป็นไปอย่างประหยัด ทั้งเวลาหรือแรงงาน
5. คุณภาพ หมายถึง ลักษณะที่ดีเด่นของสิ่งใด ๆ คุณภาพของสิ่งของอาจจะมองที่ลักษณะ ประโยชน์ใช้สอย ความทนทาน ความสวยงาม หรือประสิทธิภาพในการใช้งาน
6. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ หมายถึง หลักการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน เป็นการพิจารณาว่าผลตอบแทนของโครงการมากกว่าหรือ น้อยกว่าต้นทุนของโครงการ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาตัดสินใจว่าโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่ เพื่อช่วยในการตัดสินใจใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน เพื่อนำเอาปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากมูลวัวมาอัดเป็นเม็ดเป็นการเพิ่มความสะดวกในการใช้ให้มากยิ่งขึ้น และสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด จึงได้มีการศึกษาบทความวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับหลักการออกแบบเครื่องผลิตและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความหมายของปุ๋ย
 - 1.1 ปุ๋ยเคมี
 - 1.2 ปุ๋ยอินทรีย์
 - 1.3 ปุ๋ยชีวภาพ
2. ประเภทของปุ๋ยอินทรีย์
 - 2.1 ปุ๋ยคอก
 - 2.2 ปุ๋ยหมัก
 - 2.3 ปุ๋ยพืชสด
 - 2.4 ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือปุ๋ยอินทรีย์เหลว
3. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชต่าง ๆ
 - 3.1 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชผัก
 - 3.2 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชไร่และนาข้าว
 - 3.3 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับไม้ผลไม้ยืนต้น
 - 3.4 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับไม้ดอกไม้ประดับ
4. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
 - 4.1 การเตรียมวัตถุดิบ
 - 4.2 วัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
 - 4.3 การผสมวัตถุดิบ
 - 4.4 วิธีการอัดเม็ด
 - 4.5 คุณลักษณะของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
 - 4.6 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

5. เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
 - 5.1 หลักการทำงานของเครื่องผลิตปุ๋ยอัดเม็ด
 - 5.2 เทคนิคและวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
 - 5.3 ประเภทของเครื่องผลิตปุ๋ยอัดเม็ด
 - 5.4 การพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
6. ทฤษฎีการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ
 - 6.1 วัตถุประสงค์ในการนำเทคนิค QFD ไปประยุกต์ใช้
 - 6.2 ประโยชน์ในการนำเทคนิค QFD ไปประยุกต์ใช้
 - 6.3 รูปแบบของการนำเทคนิค QFD ไปประยุกต์ใช้
 - 6.4 เทคนิค QFD แบบ 4 เฟส
7. เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ QFD
 - 7.1 ความหมายของการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพและการนำไปใช้
 - 7.2 บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ)
 - 7.3 แผนผังต้นไม้ (Tree Diagrams)
 - 7.4 แผนผังเมทริกซ์ (Matrix Diagram)
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - 8.1 งานวิจัยในประเทศ
 - 8.2 งานวิจัยต่างประเทศ

ความหมายของปุ๋ย

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 และพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ได้ให้คำจำกัดความของปุ๋ยไว้ว่า "ปุ๋ย" หมายถึง สารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือการสังเคราะห์สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดิน เพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช ในหลักวิชาการปุ๋ยโดยทั่วไปสามารถจำแนกปุ๋ยได้ 3 ประเภท คือ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ

1. ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมี มีหมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยวปุ๋ยเชิงผสม ปุ๋ยเชิงประกอบ และปุ๋ยอินทรีย์เคมี แต่ไม่รวมถึงปุ๋ยชีวภาพ ดิน

มาร์ล ปูนปลาสเตอร์ ยิปซัม โดโลไมต์ หรือสารอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

2. ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ มีหมายความว่า ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับหมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์แต่ไม่ใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ

3. ปุ๋ยชีวภาพ

ปุ๋ยชีวภาพ มีหมายความว่า ปุ๋ยที่ได้มาจากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช มาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินทางชีวภาพทางกายภาพหรือทางชีวเคมีและให้หมายความรวมถึงหัวเชื้อจุลินทรีย์

ประเภทของปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ ปัจจุบันสามารถแบ่งได้ 4 ชนิด ดังนี้

1. ปุ๋ยคอก

ปุ๋ยคอก คือ มูลซึ่งสัตว์ขับถ่ายและสะสมอยู่ตามพื้นคอก ตลอดจนมูลและน้ำล้างคอกที่รวมอยู่ในสระเก็บน้ำทิ้ง มูลสัตว์ซึ่งรวบรวมได้มากพอที่จะใช้เป็นปุ๋ย ได้แก่ มูลโค กระบือ สุกรและสัตว์ปีก ในมูลสัตว์ดังกล่าวมีฟาง วัสดุรองคอก เศษพืช เศษอาหารและปัสสาวะรวมกัน (ยางุทธและคณะ, 2554)

2. ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งได้มาจากการนำชิ้นส่วนของพืชมาหมักในรูปของการกองซ้อนทับกันบนพื้นดินหรืออยู่ในหลุม เศษชิ้นส่วนของพืชที่นำมาหมักนั้นจะต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายจนแปรสภาพไปจากรูปเดิม โดยกิจกรรมจุลินทรีย์จนกระทั่งได้สารอินทรีย์วัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำและมีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เมื่อกระบวนการย่อยสลายเศษพืชและวัสดุเสร็จสมบูรณ์ก็จะได้ปุ๋ยหมักสำหรับใช้ปรับปรุงและบำรุงดิน (ยางุทธและคณะ, 2554)

3. ปุ๋ยพืชสด

ปุ๋ยพืชสด หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการตัดล้มหรือไถกลบลงไปในดินในขณะที่พืชยังเขียวสดอยู่ โดยมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ ในช่วงระยะเวลาที่พืชออกดอกเพราะให้น้ำหนักสดและปริมาณธาตุอาหารสูง จากนั้นปล่อยให้เกิดการย่อยสลายจะให้ธาตุอาหารพืชและเพิ่มอินทรีย์วัตถุแก่ดิน ซึ่งจะประโยชน์สำหรับพืชที่จะปลูกต่อไป พืชปุ๋ยสดที่นิยมปลูกทั่วไปจะเป็นพืชตระกูลถั่ว เนื่องจากขึ้นได้ง่ายและเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้พืชตระกูลถั่วที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง เกิดจากการตรึงไนโตรเจนร่วมกันระหว่างพืชตระกูลถั่วและจุลินทรีย์ในดินนั่นเอง (ยงยุทธ และคณะ, 2554)

4. ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือปุ๋ยอินทรีย์เหลว

ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือปุ๋ยอินทรีย์เหลว หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของเหลวที่ได้มาจากการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากพืชหรือสัตว์ลักษณะสดโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาล ซึ่งประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ ฮอร์โมนหรือสารเร่งการเจริญเติบโตของพืช (ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน) วิตามิน กรดอะมิโน กรดฮิวมิกเอนไซม์ วิตามิน และแร่ธาตุ (นราธร และช่อแก้ว, 2563)

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชต่าง ๆ

การใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยมูลสัตว์ รวมทั้งปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ให้ได้ผลดีจะต้องใส่ในปริมาณที่เพียงพอและสม่ำเสมอทุกปี ปุ๋ยอินทรีย์ที่ย่อยสลายสมบูรณ์แล้วเมื่อใส่ลงในดินจึงมีการสลายตัวอย่างช้า ทำให้สามารถปรับปรุงบำรุงดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ปุ๋ยอินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้กับพืชหลายชนิด กับดินทุกประเภทแต่อัตราที่ใช้จะแตกต่างกันไปขึ้นกับสภาพดิน พื้นที่ปลูก ภูมิอากาศ ตลอดจนคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ด้วย สามารถประเมินการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ได้ดังนี้ (ธีรพงศ์ เกาڑชาลี, 2560)

1. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชผัก

พืชผักเป็นพืชอายุสั้น (Annual Crops) มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ต้องการธาตุอาหารปริมาณมากในช่วงระยะเวลานั้น ๆ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต้องคำนึงถึงปุ๋ยที่มีการสลายตัวดีแล้วสามารถใช้ธาตุอาหารทันที ปุ๋ยอินทรีย์ที่นิยมใช้กับพืชผักที่ทั้งปุ๋ยหมักและปุ๋ยมูลสัตว์ วิธีการใส่ควรใส่แบบหว่านแล้วสับกลบ เช่น ถั่วฝักยาว ใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยมูล

สัตว์ได้ในอัตรา 1.5–2 ตัน/ไร่ พริกมีการใส่ปุ๋ยมูลสัตว์ในอัตรา 3–4 ตัน/ไร่ หรือ 500 กรัม/หลุม เป็นต้น

2. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชไร่และนาข้าว

ปัจจุบันมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชไร่และนาข้าวอย่างแพร่หลาย ปริมาณการใช้จะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่และสภาพของดิน สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ที่นิยมใช้ทั้งปุ๋ยมูลสัตว์ ปุ๋ยหมักและปุ๋ยพืชสด โดยถ้าใช้ปุ๋ยมูลสัตว์และปุ๋ยหมัก ใช้ในอัตราประมาณ 500–1,000 กิโลกรัม/ไร่/ปี หว่านให้กระจายสม่ำเสมอแล้วคลาดกลบ ควรใส่ก่อนปลูก 1–3 สัปดาห์ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดก๊าซหรือสารพิษ สำหรับการใส่ปุ๋ยพืชสด ถ้าเป็นโสนและปอเทือง ควรไถกลบขณะที่ต้นยังอ่อนอยู่ ถ้าเป็นตระกูลถั่วควรไถหลังเก็บผลผลิตแล้ว การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชไร่และนาข้าวนอกจากจะเป็นการช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชแล้ว ยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินที่ผ่านการเพาะปลูกอย่างต่อเนื่องมาเป็นระยะเวลานานให้ดีขึ้น

3. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับไม้ผลไม้ยืนต้น

ไม้ผล ไม้ยืนต้น เช่น ส้ม ทุเรียน มังคุด มะม่วง เป็นต้น เป็นพืชที่มีอายุยาว (Perennial Crops) และมีระบบรากลึก การใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงควรใส่ในระยะปรับปรุงความสมบูรณ์ของดินหลังเก็บผลผลิต ปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถใช้ได้มีปุ๋ยหมักและปุ๋ยมูลสัตว์ สำหรับพืชปลูกใหม่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ควรใส่โดยใช้รองก้นหลุม ซึ่งเป็นวิธีการประหยัดและมีประสิทธิภาพ ในไม้ผลขนาดเล็กจะใช้อัตราประมาณ 15–25 กิโลกรัม/หลุม ที่มีขนาดกว้างยาวและลึก 50 เซนติเมตร โดยใช้ผสมกับดินที่ขุดจากหลุมในอัตราส่วน 1: 2–3 แล้วใส่กลับไปในหลุม และเตรียมปลูกพืชต่อไป สำหรับไม้ผลยืนต้นที่โตแล้วสามารถใช้ปุ๋ยอินทรีย์ได้ 2 วิธี คือ ใส่โดยการขุดหลุมหรือร่องรอบรัศมีทรงพุ่มที่ขุดลึกประมาณ 30 เซนติเมตร และแบ่งปุ๋ยอินทรีย์บางส่วนมาหว่านบาง ๆ บริเวณทรงพุ่ม เพื่อเป็นอาหารของรากที่บริเวณผิวดิน อีกวิธีคือ การคลุมดินบริเวณทรงพุ่มโดยรอบต้น นิยมใช้กับปุ๋ยอินทรีย์ที่มี C/N ratio สูงๆ และสลายตัวช้า เช่น การใช้ปุ๋ยหมักทะเลลายปาล์มน้ำมัน

4. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับไม้ดอกไม้ประดับ

ส่วนมากจะนิยมใช้ปุ๋ยหมักถ้าเป็นการปลูกในลักษณะเป็นแปลงสามารถใช้ปุ๋ยอินทรีย์หว่านคลุมแปลงหนาประมาณ 1 ถึง 3 นิ้ว แล้วผสมกับดิน ปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นปุ๋ยหมักสามารถนำมาทำวัสดุปลูกสำหรับไม้กระถางได้ โดยใช้ปุ๋ยหมัก 1 ส่วน ผสมดินร่วน 2 ส่วน ทั้งนี้ไม่ควรผสมปุ๋ยหมักในอัตราส่วนมาก ๆ เพราะจะทำให้วัสดุปลูกแห้งเร็วเกินไป ส่งผลให้วัสดุปลูกยุบตัวมาก นอกจากนี้สามารถนำปุ๋ยหมักมาเตรียมวัสดุปลูกสำหรับเพาะ

เมล็ดหรือปลูกลงในกล้าได้อีกด้วย โดยผสมปุ๋ยหมัก 1 ส่วน ทราย 1 ส่วน และดินร่วน 2 ส่วน ทั้งนี้เพื่อให้วัสดุปลูกมีลักษณะร่วนซุย มีอากาศถ่ายเทได้ดีเหมาะสมต่อการเจริญของรากพืช

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพคือ การใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานหรือใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อให้เกิดความยั่งยืนในระบบการเกษตร ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเป็นปุ๋ยที่นำเอาวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่ในชุมชนกลับมาใช้ ประโยชน์ในการเพิ่มความสะดวกการนำไปใช้ และเป็นการสร้างคุณค่าทางการตลาดของปุ๋ยให้สูงขึ้น โดยวิธีการผลิตปุ๋ยอัดเม็ดทำให้การใช้ปุ๋ยกับพืชมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และเกษตรกรสามารถผลิตใช้เองได้ โดยใช้อุปกรณ์หาได้ง่ายและมีขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากเกินไป โดยคุณลักษณะและคุณสมบัติของปุ๋ยนี้เป็น การเอื้อประโยชน์ให้มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ (นราธร และช่อแก้ว, 2563)

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 วัตถุดิบที่ใช้ต้องมีค่า C/N ไม่เกิน 20 ซึ่งย่อยสลายได้ง่ายและคุณสมบัติตามปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐาน

1.2 กรณีที่เป็นของเหลือทิ้งที่มีกลิ่นเหม็นจะมี PH เป็นกรด ควรทำการลดกลิ่นและความเป็นกรดด้วยปูนขาวก่อนเพื่อเป็นการฆ่าเชื้อโรคที่ปนเปื้อนอยู่

1.3 วัตถุดิบหรือปุ๋ยอินทรีย์ที่นำมาอัดเม็ด จะต้องมีความชื้นต่ำโดยการนำมามากตากแดดหรืออบไอน้ำเพื่อฆ่าเชื้อโรคก่อนนำมาอัดเม็ด

2. วัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

2.1 ปุ๋ยคอก

2.2 ปุ๋ยหมัก

2.3 น้ำหมักชีวภาพ

2.4 เศษวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่ในชุมชน

3. การผสมวัตถุดิบ

3.1 วัตถุดิบเป็นกรดผสมกับด่างจะช่วยปรับความเป็นกรดต่าง

3.2 ถ้าจะผสมปุ๋ยเคมีจะต้องแน่ใจว่าปุ๋ยอินทรีย์ได้ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการตากแดดหรืออบไอน้ำแล้วปุ๋ยไนโตรเจนจะได้ไม่ระเหิดเป็นก๊าซแอมโมเนีย

3.3 ในกรณีมูลไก่ การใช้วัสดุดูดซับที่มีคาร์บอนสูงในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 ถึง 3 ต่อ 2 จะช่วยลดกลิ่นและการสูญเสียไนโตรเจน ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากนำไปใช้ให้กับพืชได้

3.4 การเพิ่มคุณค่าฟอสเฟตในปุ๋ยอินทรีย์ (มูลสัตว์) ควรมีความสมบัติเป็นกรด

3.5 ในการผสมวัสดุติดต้องผสมให้ได้ความชื้นประมาณ 30 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์เพื่อให้วัสดุติดสามารถผสมเข้าด้วยกันได้โดยใช้น้ำหรือน้ำหมักชีวภาพเป็นตัวผสมเพื่อจะได้เพิ่มธาตุอาหารให้กับปุ๋ยอีกทางหนึ่ง

4. วิธีการอัดเม็ด

- 4.1 ใช้เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยที่มีคุณภาพ เครื่องยนต์หรือมอเตอร์ที่มีคุณภาพสูง
- 4.2 ควรปล่อยให้เครื่องเดินแบบยังไม่ใส่วัสดุติดประมาณ 1 ถึง 2 นาที ก่อนป้อนวัสดุติด
- 4.3 ลักษณะของส่วนผสมที่ดีเมื่ออัดเม็ดแล้ว จะต้องถูกรีดออกมาเป็นเส้น และจะถูกตัดด้วยมีดตัด ลักษณะปุ๋ยที่ออกมาจะมีลักษณะเป็นท่อนๆ รูปทรงกระบอก
- 4.4 การตากหรืออบแห้งควรมีความชื้น ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เชื้อราเกิดขึ้นแล้วจับเก็บในภาชนะที่แห้งหรือปิดให้สนิท สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่มีการสูญเสียคุณค่าของปุ๋ย

5. คุณลักษณะของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

- 5.1 ปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม
- 5.2 มีธาตุอาหารมากกว่ามูลสด 5 เท่าตัวและการอัดเม็ดสามารถลดปริมาณการใช้มูลวัวลงได้ 5 เท่าตัว
- 5.3 การอัดเม็ดเมื่อผสมกับเกลบและซีลี้อยในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 และ 3 ต่อ 2 จะช่วยลดกลิ่นและการสูญเสีย ไนโตรเจนในปุ๋ยช่วยรักษาคุณค่าปุ๋ยและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย
- 5.4 การอัดเม็ดมูลสัตว์สามารถผสมปุ๋ยเคมีจะช่วยลดภาระการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณมาก และชะลอการปลดปล่อยปุ๋ยเคมีมิให้เกิดการสูญเสีย จึงช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ครึ่งหนึ่ง
- 5.5 ช่วยให้สามารถเก็บปุ๋ยอินทรีย์ให้นานขึ้น เพราะเมื่อตากแห้งเหลือความชื้นประมาณ 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์จะไม่เชื้อราเกิดขึ้นที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นเหม็น

5.6 เกษตรกรสามารถทำได้เองโดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย เพราะมีจำหน่ายทั่วไปเป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น

5.7 การนำเอาวัสดุเหลือใช้มาอัดเม็ดแล้วใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ย เป็นการกำจัดปัญหามลภาวะและเป็นวิธีการใช้ทรัพยากรที่เหมาะสมและคุ้มค่า

5.8 ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตเป็นเม็ดทำให้คุณค่าการตลาดเพิ่มสูงขึ้น

6. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

6.1 วิธีการใช้กับพืชผัก ไม้ดอก ไม้ประดับ ครั้งที่ 1 ปลุกในแปลงหวานทั่วแปลงอัตรา 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร คลุกเคล้ากับดินแล้วจึงหยอด เมล็ดหรือย้ายกล้าครั้งที่ 2 ช่วง 1 เดือนหลังปลูกใช้อัตราเท่าเดิม ในระหว่างแถวพืชแล้วพรวนดินร่อนน้ำแต่พอดี ส่วนพืช กระถางผสมดินปลูกใช้ดิน 2 ส่วน ผสมขุยมะพร้าว 1 ส่วน และปุ๋ยอัดเม็ด 1 ส่วน แล้วจึงย้ายกล้าหรือกิ่งชำลงกระถาง ในระหว่างการเจริญเติบโตให้โรยปุ๋ยที่ผิวหน้าดินในกระถางหนา 1 เซนติเมตร ทุก ๆ 2 เดือน

6.2 วิธีการใช้กับไม้ผล ไม้ยืนต้น ใส่ในระยะเตรียมหลุมปลูก ผสมปุ๋ย 1 ส่วนกับดิน 2 ถึง 3 ส่วน แล้วเกลี่ยลงหลุมปลูก กรณีใช้กับไม้ผลที่โตแล้วให้ใส่รอบทรงพุ่มในอัตรา 10 ถึง 15 กิโลกรัมต่อต้น หลังตัดแต่งกิ่ง

6.3 วิธีการใช้กับพืชไร่ต่าง ๆ หว่านให้ทั่วแปลง หรือโรยปุ๋ยตามแถวตามแนวของพืชปลูกในอัตรา 300 ถึง 500 กิโลกรัม ต่อไร่ คลุกเคล้ากับดินให้ดีแล้วหยอดเมล็ดพืช เมื่อพืชอายุ 40 ถึง 50 วัน ให้ปุ๋ยอัดเม็ดเสริมแก่พืชอีกครั้งหนึ่ง

เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในภาคการเกษตร เนื่องจากสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น มูลสัตว์ เศษพืช และวัสดุอินทรีย์อื่น ๆ โดยผ่านกระบวนการแปรรูปให้เป็นเม็ดที่มีขนาดและรูปร่างสม่ำเสมอ ซึ่งช่วยให้สะดวกต่อการขนส่ง การจัดเก็บ และการใช้งานในแปลงเกษตร อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารของพืชและลดการสูญเสียธาตุอาหารในดิน (Zhang et al., 2021)

เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนวัสดุอินทรีย์ในรูปแบบผงหรือวัสดุหยาบให้เป็นเม็ดโดยใช้แรงอัดหรือกลไกการขึ้นรูป ซึ่งกระบวนการอัดเม็ดสามารถช่วยเพิ่มความหนาแน่นของวัสดุและทำให้เม็ดปุ๋ยมีความแข็งแรงมากขึ้น

(Juodišius et al., 2022) เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์มีหลายรูปแบบ เช่น เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์แบน (Flat die pellet mill) เครื่องอัดเม็ดแบบวงแหวน (Ring die pellet mill) และเครื่องอัดเม็ดแบบจานหมุน (Disc pelletizer) ซึ่งแต่ละประเภทมีหลักการทำงานและลักษณะการใช้งานแตกต่างกันตามกำลังการผลิตและชนิดของวัตถุดิบ (FAO, 2018)

1. หลักการทำงานของเครื่องผลิตปุ๋ยอัดเม็ด

เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนวัสดุอินทรีย์ในรูปแบบผงหรือวัสดุหยาบให้กลายเป็นเม็ดที่มีขนาดและรูปร่างสม่ำเสมอ โดยอาศัยหลักการอัดแน่นของอนุภาควัสดุภายใต้แรงกดและแรงเสียดทานในกระบวนการที่เรียกว่า Pelletization ซึ่งทำให้อนุภาคของวัสดุเกิดการยึดเกาะกันและรวมตัวเป็นเม็ดที่มีความหนาแน่นสูง (Tumuluru et al., 2011) กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อวัตถุดิบถูกป้อนเข้าสู่ช่องแม่พิมพ์ (Die) และถูกกดด้วยลูกกลิ้ง (Roller) หรือแรงหมุนของจานอัดเม็ด ทำให้วัสดุเกิดแรงอัดและแรงเสียดทานจนเกิดการรวมตัวเป็นเม็ด ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการอัดเม็ด ได้แก่ ความชื้นของวัตถุดิบ ขนาดอนุภาค ความเร็วรอบของเครื่อง และแรงอัดของแม่พิมพ์ หากวัตถุดิบมีความชื้นและขนาดอนุภาคที่เหมาะสม จะช่วยให้เม็ดปุ๋ยมีความแข็งแรงและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น (Kaliyan & Morey, 2009) นอกจากนี้การออกแบบช่องแม่พิมพ์และระบบส่งกำลังของเครื่องยังมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของเม็ดปุ๋ยที่ได้

2. เทคนิคและวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดโดยทั่วไปประกอบด้วยหลายขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การบด การผสม การอัดเม็ด การอบแห้ง และการคัดแยกเม็ดปุ๋ย ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ วัสดุอินทรีย์ เช่น มูลสัตว์หรือเศษพืช จะต้องผ่านกระบวนการหมักเพื่อกำจัดเชื้อโรค ลดกลิ่น และปรับปรุงคุณสมบัติของวัตถุดิบก่อนนำไปอัดเม็ด จากนั้นวัตถุดิบจะถูกบดให้มีขนาดอนุภาคสม่ำเสมอและนำไปผสมให้เข้ากันเพื่อให้ธาตุอาหารกระจายตัวอย่างทั่วถึง ขั้นตอนการอัดเม็ดเป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้แรงกดของเครื่องอัดเม็ดเพื่อทำให้อนุภาครวมตัวกันเป็นเม็ด จากนั้นเม็ดปุ๋ยจะถูกนำไปอบแห้งเพื่อลดความชื้นและเพิ่มความแข็งแรงของเม็ด (FAO, 2018) การควบคุมความชื้นของวัตถุดิบให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณ 30–40 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยให้เม็ดปุ๋ยมีคุณภาพดีและลดการแตกหักระหว่างการใช้งาน (EnergyPedia, 2020)

3. ประเภทของเครื่องผลิตปุ๋ยอัดเม็ด

เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดสามารถแบ่งออกได้หลายประเภทตามหลักการทำงานและลักษณะโครงสร้างของเครื่องจักร โดยประเภทที่นิยมใช้ได้แก่ เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์แบน (Flat Die Pellet Mill) เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์วงแหวน (Ring Die Pellet Mill) และเครื่องอัดเม็ดแบบจานหมุน (Disc Pelletizer) เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์แบนเป็นเครื่องที่มีโครงสร้างเรียบง่าย เหมาะสำหรับการผลิตในระดับชุมชนหรือขนาดเล็ก เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและสามารถบำรุงรักษาได้ง่าย ในขณะที่เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์วงแหวนมักใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถรองรับกำลังการผลิตสูงและมีประสิทธิภาพในการอัดเม็ดมากกว่า ส่วนเครื่องอัดเม็ดแบบจานหมุนใช้หลักการหมุนของจานเพื่อทำให้อนุภาครวมตัวกันเป็นเม็ด โดยเหมาะสำหรับวัสดุที่มีความชื้นสูงและต้องการควบคุมขนาดเม็ดปุ๋ยอย่างต่อเนื่อง (Zhang et al., 2021) การเลือกประเภทของเครื่องอัดเม็ดจึงต้องพิจารณาจากชนิดของวัตถุดิบ กำลังการผลิต และลักษณะการใช้งาน

4. การพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

การพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในงานวิจัยด้านวิศวกรรมมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และปรับปรุงคุณภาพของเม็ดปุ๋ยให้มีความสม่ำเสมอและความแข็งแรงมากขึ้น งานวิจัยของ Nugroho et al. (2023) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถผลิตได้ประมาณ 170.90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยเน้นการออกแบบโครงสร้างเครื่อง ระบบอัดเม็ด และระบบส่งกำลังให้เหมาะสมกับการไหลของเครื่อง นอกจากนี้ Abasili (2017) ได้ศึกษาการออกแบบเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยโดยใช้กลไกลูกกลิ้งอัดเม็ด ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มแรงอัดและทำให้เม็ดปุ๋ยมีความแข็งแรงมากขึ้น การพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการใช้งานในระดับชุมชนควรคำนึงถึงความเรียบง่ายของโครงสร้างเครื่อง การใช้วัสดุที่หาได้ง่าย และการบำรุงรักษาที่สะดวก เพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้งานและซ่อมบำรุงเครื่องได้ด้วยตนเอง แนวทางการออกแบบดังกล่าวช่วยให้เครื่องจักรมีความเหมาะสมกับบริบทของการผลิตในระดับชุมชนและสามารถเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้อย่างยั่งยืน

ทฤษฎีการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

การกระจายหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เป็นเทคนิคที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่นที่อุตสาหกรรมของบริษัทโตโยต้า จังหวัดโกเบ ต่อมาในปี ค.ศ. 1960 บริษัทโตโยต้าประเทศญี่ปุ่นได้นำ QFD มาปรับปรุงและพัฒนาเพื่อใช้ในบริษัทโตโยต้าและบริษัทในเครือฯ ทำให้ QFD เป็นที่นิยมแพร่หลายในญี่ปุ่นมากขึ้น และมีบริษัทยักษ์ใหญ่ในอเมริกาหลายๆ บริษัทได้ให้ความสนใจและนำเทคนิคของ QFD ไปประยุกต์ใช้และประสบความสำเร็จ และทำให้เทคนิค QFD เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย (ปริญญ์ บุญนิษฐ และอรรคเจตต์ อภิขจรศิลป์, 2553)

QFD เป็นระบบในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และถ่ายทอดเสียงของลูกค้า (Voice of Customer) ไปเป็นเป้าหมายทางคุณภาพที่ต้องบรรลุในทุกระดับขององค์กร ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การผลิตและการส่งมอบ โดยขั้นตอนการดำเนินงานของเทคนิค QFD จะเริ่มจากการสำรวจความต้องการของลูกค้าเพื่อค้นหาความต้องการของลูกค้า แล้วทำการประเมินระดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้าในแต่ละข้อ จากนั้นทีมงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัทซึ่งประกอบด้วยตัวแทนจากฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยอยู่ในรูปของทีมงานข้ามสายงาน ตั้งแต่สายออกแบบและพัฒนา ฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายผลิต ฝ่ายขาย ฝ่ายการตลาด ฝ่ายประกันคุณภาพ ตลอดจนฝ่ายการวางแผน เป็นต้น จะร่วมกันระดมสมองและวิเคราะห์ เพื่อวิเคราะห์และแปลงความต้องการของลูกค้าให้เป็นข้อกำหนดทางเทคนิคหรือลักษณะทางคุณภาพที่จำเป็นต้องมี เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยดูจากระดับความสำคัญ ข้อมูลของคู่แข่ง และความสามารถในการแข่งขัน จากนั้น จะนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีความสำคัญมาใช้ในการออกแบบหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

1. วัตถุประสงค์ในการนำเทคนิค QFD ไปประยุกต์ใช้

ปริญญ์ บุญนิษฐ และอรรคเจตต์ อภิขจรศิลป์, 2552 ได้กล่าวถึงวัตถุประสงค์ในการนำเทคนิค QFD ไปประยุกต์ใช้มีดังต่อไปนี้

1.1 เพื่อช่วยให้การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือบริการให้ดำเนินไปในทิศทางที่ถูกต้องรวดเร็ว

1.2 เพื่อช่วยลดต้นทุน ลดระยะเวลา และลดระดับความไม่แน่นอนในการออกแบบและพัฒนา

1.3 เพื่อช่วยในการรวบรวมและประเมินผลความพึงพอใจของลูกค้าให้สามารถทำได้ง่ายและเป็นระบบมากขึ้น

1.4 เพื่อช่วยให้บุคลากรในโซ่อุปทานสามารถมองเห็นภาพรวมการทำงาน ความเชื่อมโยงของเสียงเรียกร้องจากลูกค้า ช่วยให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีมากขึ้น

1.5 เพื่อช่วยให้การทำงานของฝ่ายต่าง ๆ ในบริษัทเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเฉพาะฝ่ายวิจัยและพัฒนา ฝ่ายผลิต และฝ่ายการตลาด

2. ประโยชน์ในการนำเทคนิค QFD ไปประยุกต์ใช้

นอกจากนั้น ปริญญ์ บุญกนิษฐ และอรรคเจตต์ อภิขจรศิลป์, 2552 ยังได้กล่าวถึงประโยชน์ในการนำเทคนิค QFD ไปประยุกต์ใช้ดังนี้

2.1 ช่วยให้การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่หรือปรับปรุงการบริการเป็นไปในทิศทางที่ถูกต้องมากขึ้น

2.2 ช่วยลดขั้นตอนและเวลาในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

2.3 ช่วยให้ลูกค้ามีความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์ใหม่หรือการบริการมากขึ้นจากการที่ผลิตภัณฑ์ใหม่หรือการบริการสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างถูกต้อง

2.4 ช่วยให้ลูกค้ามีส่วนร่วมในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

2.5 ช่วยให้การวางแผนการตลาดสามารถทำได้ง่ายขึ้น

2.6 ส่งเสริมภาพพจน์ของบริษัทที่ดีในสายตาของลูกค้าเนื่องจากบริษัทได้ให้ความสำคัญกับลูกค้า โดยนำความต้องการของลูกค้ามาเป็นข้อมูลในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่หรือปรับปรุงการบริการให้ดีขึ้น

2.7 ช่วยให้เกิดความร่วมมือในการทำงานและลดปัญหาความขัดแย้งภายในองค์กรเนื่องจากเทคนิค QFD เป็นเทคนิคที่เน้นการมีส่วนร่วมของพนักงานทั่วทั้งองค์กร

3. รูปแบบของการนำเทคนิค QFD ไปประยุกต์ใช้

มณฑล ศาสนนันท์, 2550 ได้นำเสนอว่าโดยปกติแล้ว QFD ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนตายตัว บริษัทต่าง ๆ จะนำเทคนิค QFD มาประยุกต์ใช้ในรูปแบบที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการนำมาใช้ตามความจำเป็นและความเหมาะสมของแต่ละกรณี แต่ก็สามารถที่จะแบ่งได้ 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือแบบที่นิยมใช้ในประเทศตะวันตก หรือ QFD แบบสี่ระดับ (Four-Level Model) และแบบที่นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่น (Matrix of Matrices)

วิธีการทั้ง 2 แบบไม่แตกต่างกันมากนัก จุดมุ่งหมายหลักคือการแปลงความต้องการของลูกค้า (What) ให้ละเอียดขึ้นเป็นลำดับ

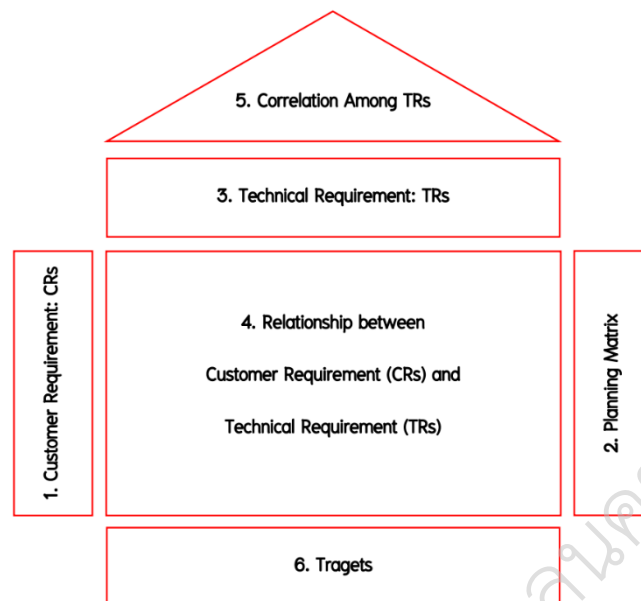
3.1 แบบสี่เฟสหรือสี่ระดับ (Four-Phase Model หรือ Four-Level Model) เป็นรูปแบบ ที่นิยมใช้ในประเทศตะวันตก แบบนี้จะประกอบไปด้วยตารางทั้งหมด 4 ตาราง โดยตารางระดับที่ 1 หรือเฟสที่ 1 คือการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) ระดับที่ 2 หรือเฟสที่ 2 คือการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design) ระดับที่ 3 หรือเฟสที่ 3 คือการวางแผนกระบวนการ (Process Planning) และระดับที่ 4 หรือเฟสที่ 4 คือการกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ (Production Planning)

3.2 แบบ Matrix of Matrices เป็นแบบที่นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่นและเป็นรูปแบบดั้งเดิมที่คิดค้น โดย Yoji Akao โดยจะมีการใช้ตารางจำนวนมากถึง 30 ตาราง เพื่อให้ครอบคลุมถึงกิจกรรมอื่น ๆ เช่น วิศวกรรมคุณค่า การวิเคราะห์ต้นทุน การควบคุมคุณภาพ และวิศวกรรมความน่าเชื่อถือ เป็นต้น

4. เทคนิค QFD แบบ 4 เฟส

เนื่องจากเทคนิค QFD แบบ 4 เฟสมีขั้นตอนและกระบวนการที่เข้าใจง่าย และมีความคล่องตัวสูง จึงเป็นที่นิยมนำไปใช้มากที่สุด ซึ่งจะเป็นการส่งผ่านความต้องการของลูกค้าไปยังแต่ละขั้นตอนของการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือบริการ ไปจนถึงการนำเอาไปใช้ในการดำเนินการโดยมีรายละเอียด ดังนี้

การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) (พรพรรณ และคณะ, 2566) ได้กล่าวถึงการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) ซึ่งเป็นเฟสที่ 1 ของเทคนิค QFD เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) โดยขั้นตอนการดำเนินการของ HOQ จะเริ่มจากการรับรู้หรือฟังเสียงของลูกค้า แล้วกระจายความต้องการของลูกค้าไปสู่ช่วงต่าง ๆ ของบ้านคุณภาพ (HOQ) ทั้ง 6 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบ 3 ส่วนประกอบของเฟสที่ 1 หรือบ้านคุณภาพ (House of Quality)

4.1 ส่วนที่ 1 ความต้องการของลูกค้า (CRs) เป็นความต้องการของลูกค้าที่รวบรวมมาด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น แบบสอบถามและ การสัมภาษณ์ เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพโดยนำมาจัดลำดับและแบ่งกลุ่ม

4.2 ส่วนที่ 2 การวางแผน เป็นส่วนที่แสดงการวางแผนเชิงกลยุทธ์ โดยการ จัดลำดับความสำคัญของความต้องการในมุมมองของลูกค้า พร้อมทั้งเปรียบเทียบความคิดเห็นของลูกค้าที่มีต่อสินค้าหรือบริการขององค์กรกับคู่แข่ง เพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุง ในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 7 ส่วนย่อย ได้แก่

4.2.1 ความสำคัญต่อลูกค้า คือ ลำดับความสำคัญของคุณสมบัติของสินค้า/บริการจากความเห็นของลูกค้า อาจใช้วิธีการเรียงลำดับความสำคัญ โดยกำหนดเป็นตัวเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 1 เป็นต้นไป ซึ่งหมายถึง ลำคัณน้อยที่สุด และให้ตัวเลขสูงขึ้น แสดงความสำคัญที่มากขึ้น

4.2.2 ผลสำรวจความพอใจของลูกค้า คือ การสำรวจว่าปัจจุบันสินค้าหรือบริการขององค์กรสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีเพียงใด โดยนำความต้องการในแต่ละข้อของลูกค้าจากส่วนที่ 1 มาสอบถามลูกค้าถึงความพอใจในระดับต่าง ๆ เช่น ถ้ากำหนดระดับความพอใจเป็น 5 ระดับ แต่ละระดับมีความพึงพอใจดังตารางที่ 2.1

ตาราง 1 ความหมายของความพึงพอใจ 5 ระดับ

ระดับ	ความหมาย
1	ไม่พึงพอใจ
2	มีความพึงพอใจเล็กน้อย
3	มีความพึงพอใจปานกลาง
4	มีความพึงพอใจค่อนข้างมาก
5	มีความพอใจมากที่สุด

$$\text{คะแนนความพึงพอใจ} = \frac{\text{ผลรวมของผลคูณระหว่างระดับความพึงพอใจกับจำนวนลูกค้า}}{\text{จำนวนลูกค้าทั้งหมดที่สำรวจ}}$$

(1)

4.2.3 ผลสำรวจความพอใจของลูกค้าต่อสินค้าของคู่แข่ง คือ ผลรวมว่าลูกค้าพอใจสินค้าหรือบริการของคู่แข่งเพียงใดโดยใช้วิธีการ เช่นเดียวกับ สมการที่ 1 สมการที่ 2 และใช้แบบสอบถามชุดเดียวกัน

4.2.4 ค่าเป้าหมาย คือ เป้าหมายของการสร้างความพอใจแก่ลูกค้าสำหรับความต้องการ ในแต่ละข้อ โดยพิจารณาควบคู่กับสินค้าหรือบริการของคู่แข่ง และความสำคัญต่อลูกค้ากำหนดออกมาเป็นคะแนนเช่นเดียวกับคะแนนผลสำรวจความพอใจของลูกค้า (1-5 คะแนน)

4.2.5 อัตราส่วนการปรับปรุง คือ ค่าความพยายามในการสร้างความพอใจต่อความต้องการข้อหนึ่งข้อใด

$$\text{อัตราส่วนในการปรับปรุง} = \frac{\text{ค่าเป้าหมาย}}{\text{คะแนนที่ได้จากผลการสำรวจ}}$$

(2)

4.2.6 จุดขาย คือ ข้อได้เปรียบของสินค้า/บริการในการแข่งขันเมื่อเปรียบเทียบกับคู่แข่ง ซึ่งคู่แข่งไม่สามารถทำได้ดีเท่า โดยปกติจะกำหนดให้ค่าจุดขายอยู่ระหว่าง 1.1 – 1.5 ยิ่งจุดขายมีค่ามากก็หมายถึงเป็นจุดขายที่สำคัญ

4.2.7 ค่าคะแนนรวม คือ ค่าความสำคัญของความต้องการของลูกค้า โดยพิจารณาจากความสำคัญต่อลูกค้า อัตราส่วนการปรับปรุง และจุดขาย ประกอบกัน ดังแสดงในสมการที่ 3

$$\text{คะแนนรวม} = \text{ความสำคัญต่อลูกค้า} \times \text{อัตราส่วนการปรับปรุง} \times \text{จุดขาย} \quad (3)$$

4.3 ส่วนที่ 3 ข้อกำหนดทางเทคนิคหรือคุณลักษณะทางวิศวกรรม (TRs) เป็นส่วนที่อยู่ทางด้านบนของบ้านคุณภาพ แสดงถึงการนำเอาความต้องการจากส่วนที่ 1 มาแปลงเป็นข้อกำหนดทางเทคนิคหรือคุณลักษณะทางวิศวกรรม

4.4 ส่วนที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับข้อกำหนดทางเทคนิค (CRs และ TRs) เป็นส่วนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้า (ส่วนที่ 1) กับข้อกำหนดทางเทคนิค (ส่วนที่ 3) ซึ่งในแต่ละช่องจะถูกพิจารณาระดับความสัมพันธ์ว่าเป็นอย่างไร โดยใช้สัญลักษณ์ดังตาราง 2

ตาราง 2 สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์

ระดับความสัมพันธ์	สัญลักษณ์	คะแนนความสัมพันธ์
ไม่มีความสัมพันธ์	“ - ”	0
มีความสัมพันธ์เล็กน้อย	△	1
มีความสัมพันธ์ปานกลาง	○	3
มีความสัมพันธ์มาก	⊙	9

4.5 ส่วนที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางเทคนิค เป็นส่วนบนสุดของบ้านคุณภาพ ซึ่งแสดงทิศทางและความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางเทคนิคต่าง ๆ ว่าส่งเสริมหรือหักล้างกันอย่างไร โดยใช้สัญลักษณ์ดังตาราง 3

ตาราง 3 สัญลักษณ์ทิศทางและความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางเทคนิคต่าง ๆ

สัญลักษณ์	ทิศทางของคุณลักษณะทางเทคนิค
↑	ยิ่งมากก็ยิ่งดี
↓	ยิ่งน้อยก็ยิ่งดี
○	ตรงตามเป้าหมายที่กำหนด
สัญลักษณ์	ทิศทางของคุณลักษณะทางเทคนิค
++	มีความสัมพันธ์แบบส่งเสริมกันมาก
+	มีความสัมพันธ์แบบส่งเสริมกัน
-	มีความสัมพันธ์แบบหักล้างกัน
--	มีความสัมพันธ์แบบหักล้างกันมาก

4.6 ส่วนที่ 6 เป้าหมาย เป็นส่วนล่างสุดของบ้านคุณภาพ (HOQ) ซึ่งแสดงความสำคัญของคุณลักษณะทางเทคนิคจากผลเปรียบเทียบระหว่างสินค้าหรือบริการขององค์กรกับของคู่แข่งเพื่อนำไปกำหนดค่าเป้าหมายเชิงเทคนิค โดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วนย่อยได้แก่

4.6.1 ค่าความสำคัญของคุณลักษณะทางเทคนิค คือ ความสำคัญของคุณลักษณะทางเทคนิคแต่ละข้อ โดยพิจารณาความสามารถในการตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยนำเอาผลคูณระหว่างคะแนนความสัมพันธ์กับค่าคะแนนรวมสำหรับคุณลักษณะทางเทคนิคแต่ละข้อมารวมกัน ดังสมการที่ 4 และสมการที่ 5

$$\text{คะแนนความสำคัญ} = \text{ผลรวมคะแนนความสัมพันธ์} + \text{คะแนนรวม} \quad (4)$$

4.6.2 ร้อยละ (%) ความสำคัญคือค่าร้อยละความสำคัญของคุณลักษณะทางเทคนิคแต่ละข้อต่อค่าความสำคัญรวมทั้งหมด

$$\text{ร้อยละ} = \frac{\text{คะแนนความสำคัญ}}{\text{คะแนนรวม}} \times 100 \quad (5)$$

4.6.3 คุณลักษณะทางเทคนิคของสินค้าหรือบริการขององค์กร

4.6.4 คุณลักษณะทางเทคนิคของสินค้าหรือบริการของคู่แข่ง

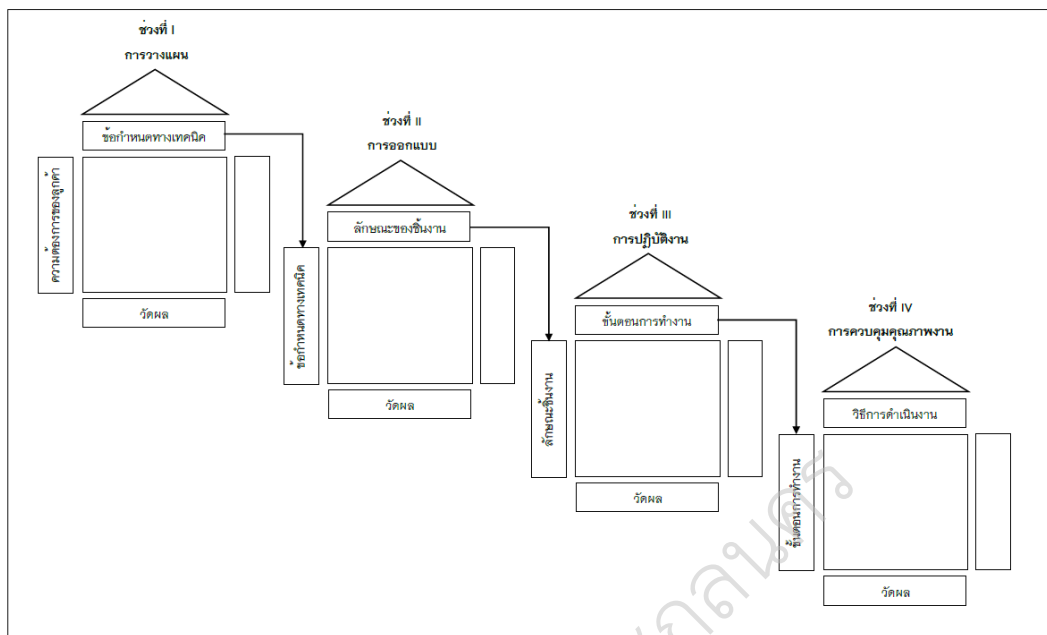
4.6.5 ค่าเป้าหมายเชิงเทคนิค คือ ค่าเป้าหมายเชิงเทคนิค เพื่อนำไปใช้ออกแบบหรือปรับปรุงสินค้าหรือบริการ ซึ่งกำหนดขึ้นจากการพิจารณาความสำคัญและผลเปรียบเทียบคุณลักษณะทางเทคนิคระหว่างสินค้าหรือบริการขององค์กรและคู่แข่ง

เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ QFD

1. ความหมายของการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพและการนำไปใช้

การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment, QFD) ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น โดย Dr. Yuji Akao รวบรวมทศวรรษที่ 60 ถึงต้นทศวรรษที่ 70 (คริสต์ศักราช) วิธีการนี้ถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกแบบนั้นเป็นที่ยอมรับว่ามีคุณภาพสูงตั้งแต่เริ่มต้น หลังทดลองใช้กับอีก 2-3 บริษัท Akao ได้เขียนบทความเกี่ยวกับเทคนิคใหม่นี้ขึ้นใน ค.ศ.1972 และเป็นที่ยอมรับทั้งในญี่ปุ่นและตะวันตก แม้ว่าหน้าที่ของ QFD คือการพัฒนาผลิตภัณฑ์การจัดการคุณภาพและการวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า แต่ต่อมาได้มีการขยายขอบเขตสู่การวางแผนการเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจ การจัดการ การพิจารณาต้นทุนเป็นต้นซึ่งได้กล่าวว่า QFD สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย ในความเป็นจริงแล้ว QFD ไม่มีรูปแบบที่ตายตัว แต่โดยปกติจะประกอบไปด้วย 4 ช่วง (Phase) (สุรสิทธิ์ และคณะ, 2565)

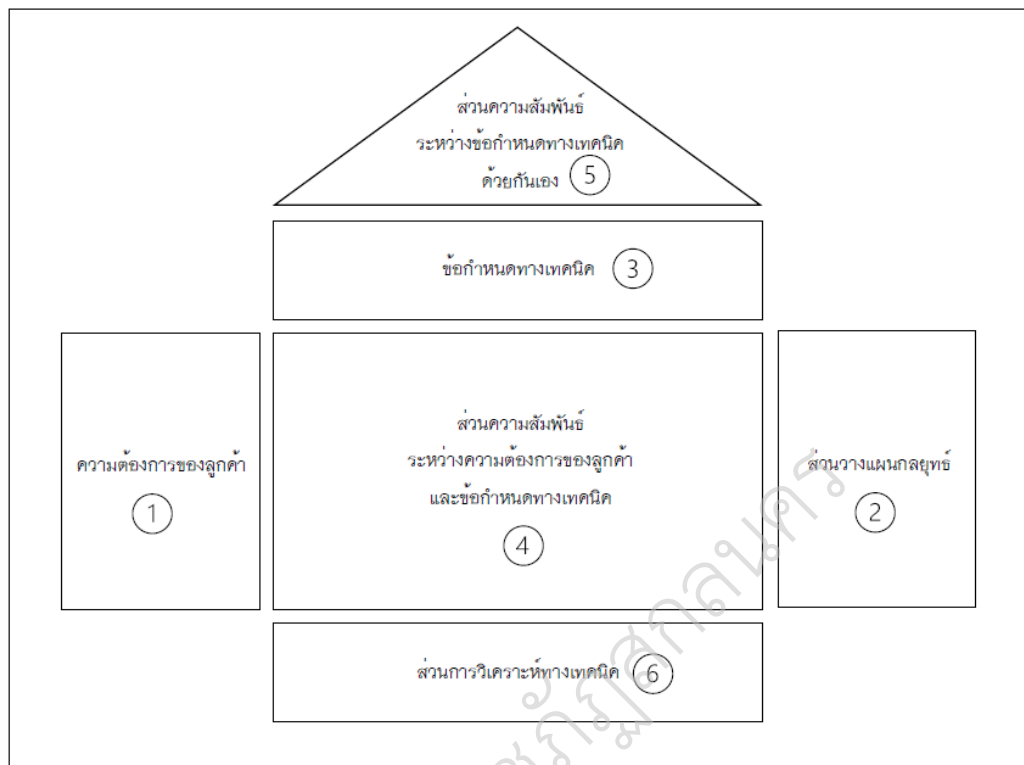
Phase I แปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่ข้อกำหนดทางเทคนิค Phase II แปลงข้อกำหนดทางเทคนิคไปสู่ลักษณะของชิ้นงาน Phase III แปลงลักษณะของชิ้นงานเป็นขั้นตอนการทำงาน และ Phase IV แปลงขั้นตอนการทำงานเป็นวิธีทำงานต่อวัน ดังแสดงในภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ขั้นตอน QFD 4 ช่วง

2. บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ)

บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ) เป็นกรอบแนวคิดเชิงระบบในกระบวนการถ่ายทอดคุณภาพ (QFD) ที่มุ่งแปลงความต้องการเชิงคุณภาพของผู้บริโภคให้เป็นข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมอย่างมีโครงสร้าง HOQ ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง “เสียงของลูกค้า” กับ “พารามิเตอร์การออกแบบ” เพื่อให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์มีทิศทางสอดคล้องกับความคาดหวังที่แท้จริง โดยเมทริกซ์ดังกล่าวประกอบด้วย 6 องค์ประกอบหลัก ซึ่งสนับสนุนการจัดลำดับความสำคัญและการกำหนดข้อกำหนดด้านคุณภาพอย่างเป็นระบบดังแสดงในภาพประกอบ 5 (ขวัญชัย และคณะ, 2567)



ภาพประกอบ 5 บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ)

2.1 ส่วนที่ 1 ความต้องการของลูกค้า: กำหนดสิ่งที่ลูกค้าต้องการผ่านการสัมภาษณ์ลูกค้ากลุ่มเป้าหมายหรือสำรวจโดยใช้แบบสอบถาม

2.2 ส่วนที่ 2 ส่วนวางแผนกลยุทธ์: วิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบันของบริษัทและของคู่แข่งที่สำคัญ เมื่อส่วนนี้ถูกวิเคราะห์แล้ว จะทำให้ทราบระดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้าแต่ละข้อและสามารถประเมินระดับความพึงพอใจของลูกค้าได้

2.3 ส่วนที่ 3 ข้อกำหนดทางเทคนิค: แจกแจงความต้องการของลูกค้าในข้อต่าง ๆ ให้เป็นการกระทำหรือข้อกำหนดทางเทคนิคเพื่อให้ลูกค้าได้รับสิ่งที่ต้องการ

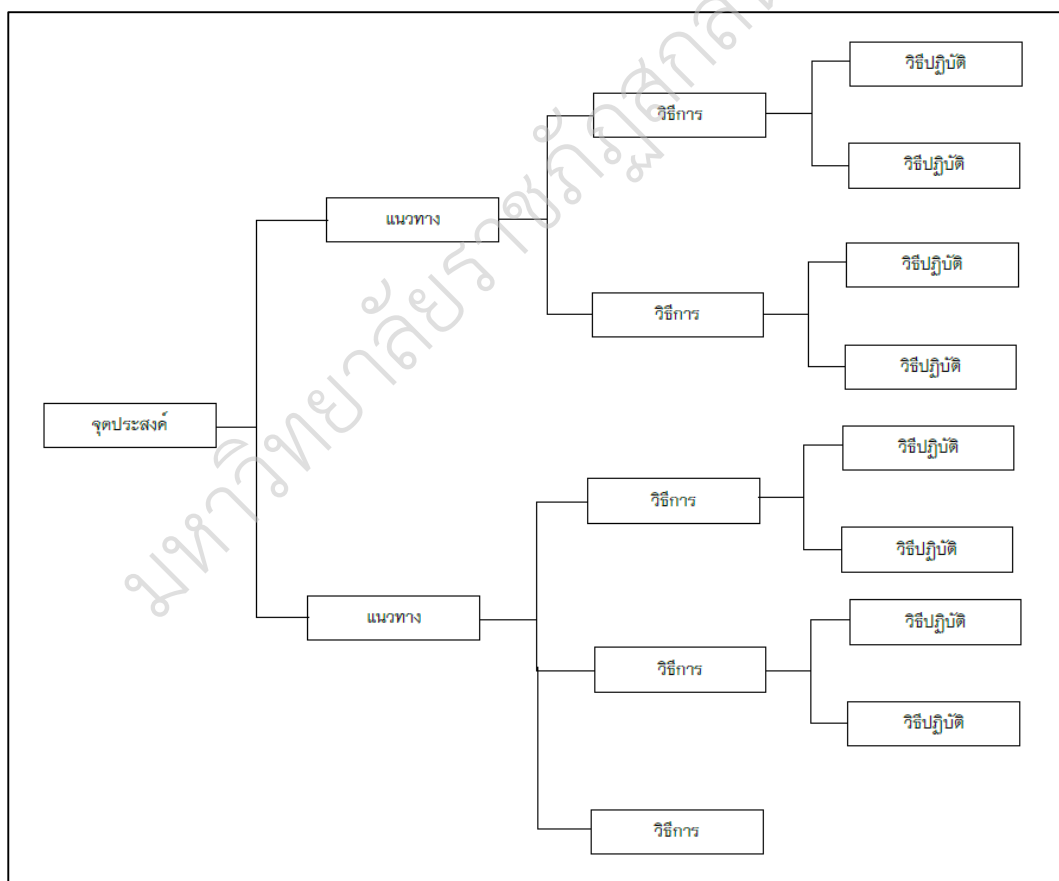
2.4 ส่วนที่ 4 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้าและข้อกำหนดทางเทคนิค: ระดับ ความสัมพันธ์ของความต้องการแต่ละข้อกับข้อกำหนดทางเทคนิคมีค่ามากน้อยเพียงใด จะถูกระบุลงในส่วนนี้

2.5 ส่วนที่ 5 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคด้วยกันเอง: ระดับความสัมพันธ์ของข้อกำหนดทางเทคนิคข้อหนึ่ง ๆ กับข้ออื่นลงในส่วนนี้

2.6 ส่วนที่ 6 ส่วนการวิเคราะห์ทางเทคนิค: ประมวลข้อมูลที่ได้จากส่วนวางแผนกลยุทธ์ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับข้อกำหนดทางเทคนิค และส่วนความสัมพันธ์ ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคด้วยกันเอง สุดท้ายจะได้ค่าน้ำหนักของข้อกำหนดทางเทคนิคแต่ละข้อ เพื่อให้สามารถจัดอันดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคได้

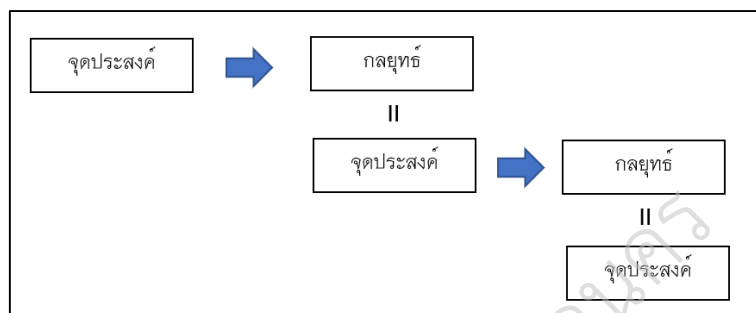
3. แผนผังต้นไม้ (Tree Diagrams)

แผนผังต้นไม้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ชนิดหนึ่ง เริ่มวิเคราะห์จากประเด็นหนึ่งประเด็นและแตกกิ่งก้านขยายออกไปเรื่อย ๆ เหมือนกับต้นไม้แตกกิ่งก้าน มักนิยมวิเคราะห์ในแนวนอน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 6



ภาพประกอบ 6 แผนผังต้นไม้ (Tree Diagrams)

แผนผังต้นไม้ ถูกเริ่มใช้ครั้งแรกในการวิเคราะห์หน้าที่งานใน วิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering) ในชื่อของแผนผังระบบ (System Diagrams) หรือ Dendrograms ซึ่งเริ่มจากการตั้งจุดประสงค์ และดำเนินการพัฒนากลยุทธ์สืบต่อกันเรื่อยมา เพื่อให้บรรลุผลสำเร็จ ดังแสดงภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แผนผังไม้กลยุทธ์สืบต่อ

4. แผนผังเมทริกซ์ (Matrix Diagram)

แผนผังเมทริกซ์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือปัจจัยต่าง ๆ ที่สนใจ โดยอาศัยรูปแบบของตารางไขว้เพื่อช่วยในการวางแผนตัดสินใจ หรือการพิจารณาผลกระทบที่จะเกิดขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 8

คุณลักษณะของไฟฉาย ความต้องการของลูกค้า	คุณลักษณะของไฟฉาย				
	ขนาดไฟฉาย	ความแหลม/กลม	กำลังของหลอดไฟ	ชนิดของหลอดไฟ	ชนิดของแบตเตอรี่
จับถนัดมือ	◎	◎			
สว่าง			◎	◎	△
ใช้ได้นาน			△	○	◎
พกพาสะดวก	◎	○			○

◎ มีความสัมพันธ์สูงมาก □ มีความสัมพันธ์สูง △ มีความสัมพันธ์น้อย

ภาพประกอบ 8 แผนผังเมทริกซ์ (Matrix Diagram)

จากแนวคิดและหลักการของเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) พบว่าเป็นเครื่องมือที่ช่วยเชื่อมโยงความต้องการของผู้ใช้งานกับการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้อย่างเป็นระบบ โดยสามารถแปลงข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งาน (Voice of Customer) ให้เป็นคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมที่สามารถวัดและควบคุมได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกประยุกต์ใช้เทคนิค QFD เป็นกรอบแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อให้การออกแบบเครื่องจักรสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานในระดับชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยเพิ่มความเหมาะสมของโครงสร้างระบบการทำงาน และสมรรถนะของเครื่องจักรที่พัฒนาขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึง งานวิจัยที่นำมาศึกษาเป็นต้นแบบในการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ โดยได้นำทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้เพื่อทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. งานวิจัยในประเทศ

เสวรินทร์ และคณะ (2567) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องยิงพาเลทโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เพื่อวิเคราะห์และถ่ายทอดความต้องการของผู้ใช้งานไปสู่ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมของเครื่องจักรจากการศึกษากระบวนการผลิตพาเลทพบว่าการประกอบด้วยแรงงานคนใช้เวลาประมาณ 7 นาทีต่อหนึ่งชิ้นและเกิดความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพ จึงนำข้อมูลความต้องการผู้ใช้งานมาสร้าง House of Quality เพื่อกำหนดคุณลักษณะสำคัญของเครื่อง เช่น ความสะดวกในการใช้งาน ความปลอดภัย ขนาดที่เหมาะสม และประสิทธิภาพการทำงาน จากการออกแบบและทดสอบเครื่องต้นแบบที่ใช้ระบบควบคุมและกลไกการยิงตะปูด้วยแรงดันลม 5 บาร์ สามารถประกอบพาเลทขนาด $1,100 \times 1,100 \times 120$ มิลลิเมตร ได้ภายในประมาณ 5 นาทีต่อชิ้น และโครงสร้างรองรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 1,500 นิวตัน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้ QFD ช่วยให้การออกแบบเครื่องจักรสอดคล้องกับความต้องการผู้ใช้ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และลดเวลาในการทำงาน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องจักรระดับอุตสาหกรรมหรือชุมชนได้

ธวัช อารีราษฎร์ (2567) ได้พัฒนาเครื่องผสมดินปลูกพืชโดยการควบคุมด้วยระบบไอโอที เพื่อศึกษาผลการทดลองใช้เครื่องผสมดินปลูกพืชโดยการควบคุมด้วยระบบไอโอที กลุ่มเป้าหมาย เป็นคณะกรรมการวิสาหกิจชุมชน "การแปรรูปขยะจากปลา" ตำบลลำคลอง อำเภอมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 15 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามการยอมรับเทคโนโลยี สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า การออกแบบจะวางเครื่องผสมไว้บนรถเข็นและชุดเพลาลงบนโครงสร้างหลัก สามารถหมุนและปั่นผสมได้อย่างต่อเนื่อง โดยด้านล่างของคานจะติดตั้งมอเตอร์ และเครื่องผสมดินปลูกโดยการควบคุมด้วยระบบไอโอที มีคุณลักษณะที่ประกอบด้วย ขนาดความจุถังวัสดุสำหรับการผสม จำนวนไม่ต่ำกว่า 5 กิโลกรัม มอเตอร์สำหรับการปั่นแกนเพลลา ไม่ต่ำกว่า 2 แรงม้า ถังปั่นวางบนรถเข็นของที่สามารถเคลื่อนย้ายได้และผลการทดลองใช้ พบว่า สามารถใช้ความเร็วได้ 3 ระดับ สามารถลดเวลาในการผสมดินปลูกพืชไม่ต่ำกว่า 20 นาที เมื่อเทียบจากวิธีการดั้งเดิม และ ผลการสอบถามการยอมรับเทคโนโลยี พบว่า โดยรวมอยู่ในระดับมากเมื่อพิจารณารายชื่อ พบว่า อยู่ระหว่างระดับมากถึงมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.98 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.70

ทองแพง และคณะ (2566) ได้ออกแบบตู้ฟักไข่สำหรับเกษตรกรรายย่อยโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เพื่อแปลงความต้องการของผู้ใช้งานไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมผ่านเมทริกซ์ House of Quality ผู้วิจัยเก็บข้อมูลจากผู้เพาะเลี้ยงไก่พื้นเมือง 14 ราย และจัดกลุ่มความต้องการด้านโครงสร้าง วัสดุ และระบบการทำงาน พบว่าปัจจัยสำคัญได้แก่ ความสามารถควบคุมอุณหภูมิ 36–40°C ความชื้น 60–80% ระบบกลับไข่อัตโนมัติ ความปลอดภัย และความง่ายต่อการใช้งาน จากการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคพบว่าควรให้ความสำคัญกับการใช้งานง่าย ระบบควบคุมอัตโนมัติ และระบบเตือนความผิดปกติ โดยเครื่องที่ออกแบบมีระบบเติมน้ำอัตโนมัติ สามารถบรรจุไข่ได้ 168 ฟอง และมีต้นทุนประมาณ 6,008 บาท ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า QFD ช่วยเชื่อมโยงความต้องการผู้ใช้กับพารามิเตอร์ทางเทคนิค ทำให้การออกแบบเครื่องจักรเหมาะสมต่อการใช้งานระดับชุมชนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้

วีระศักดิ์ หมูเจริญ (2565) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องสับย่อยผสมผักตบชวา กับปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อนำผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชมานำมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยนำมาสับย่อยแล้วผสมกับปุ๋ยอินทรีย์เพื่อทำปุ๋ย ซึ่งเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ

โครงสร้าง ชุดสับย่อยใช้ในมีดหลักจำนวน 2 ใบทำมุม 30 องศา ในมีดชดช้อย 6 ใบและชุดผสม ใช้เครื่องยนต์เบนซินเล็กขนาด 5.5 แรงม้า ร่วมกับชุดเกียร์ อัตราทด 1:60 เป็นต้น กำลังร่วมกับกับการผสมเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของชุดสับย่อย 550 750 และ 950 รอบต่อนาที ตามลำดับ เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบ จากการทดสอบพบว่าอัตราการสับย่อยและสมรรถนะของเครื่องจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบซึ่งเครื่องสับย่อยมีสมรรถนะสูงสุดที่ 950 รอบต่อนาที สามารถสับย่อยผักตบชวาได้ 16.7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพของเครื่องคือ 92.8 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.71 ลิตรต่อชั่วโมง ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าต้นทุนของการผลิตปุ๋ยผสมจากเครื่องสับย่อยผักตบชวาผสมปุ๋ยอินทรีย์คือ 0.243 บาทต่อกิโลกรัม และมีระยะเวลาคืนทุน 2.9 ปี

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะ (2565) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ร่วมกับวิศวกรรมคันเซ (Kansei Engineering) เพื่อออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดถ้วยชาเซรามิกให้สอดคล้องกับความต้องการและอารมณ์ความรู้สึกของผู้บริโภคโดยเริ่มจากการสำรวจ Voice of Customer ผ่านการสัมภาษณ์และแบบสอบถาม แล้วนำข้อมูลเข้าสู่เมทริกซ์ House of Quality เพื่อแปลงความต้องการผู้ใช้เป็นคุณลักษณะทางการออกแบบพร้อมทั้งวิเคราะห์ความรู้สึกเชิงอารมณ์ของผู้บริโภคเพื่อกำหนดลักษณะผลิตภัณฑ์ เช่น รูปทรง ลวดลาย สี และอัตลักษณ์ท้องถิ่นผลการพัฒนาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบใหม่มีความสวยงาม ใช้งานเหมาะสม และสอดคล้องกับความต้องการผู้ใช่มากขึ้น อีกทั้งการใช้ QFD ร่วมกับวิศวกรรมคันเซช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการออกแบบและลดระยะเวลาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ แสดงให้เห็นว่าการแปลงความต้องการผู้ใช้ไปสู่ข้อกำหนดเชิงเทคนิคอย่างเป็นระบบสามารถประยุกต์ใช้กับการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือเครื่องจักรทางวิศวกรรมได้ในงานวิจัยต่อไป

จิตรม้น และคณะ (2564) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องเลื่อยกระบอกไม้ไผ่สำหรับการผลิตข้าวหลามโดยประยุกต์ใช้หลักการยศาสตร์ร่วมกับเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เพื่อถ่ายทอดความต้องการของผู้ใช้งานไปสู่คุณลักษณะเชิงเทคนิคของเครื่องจักรจากการศึกษาพบว่าเครื่องจักรเดิมมีประสิทธิภาพต่ำ มีความเสี่ยงด้านความปลอดภัย และก่อให้เกิดความเมื่อยล้าจากท่าทางการทำงาน โดยผลการประเมิน RULA มีคะแนน 6 แสดงถึงความเสี่ยงทางการยศาสตร์ ผู้วิจัยจึงเก็บข้อมูลความต้องการผู้ใช้และสร้าง House of Quality เพื่อกำหนดคุณลักษณะ

สำคัญ เช่น อุปกรณ์ป้องกันอันตราย การลดเสียง และการควบคุมฝุ่น หลังพัฒนาเครื่องต้นแบบพบว่าอัตราการตัดเพิ่มเป็น 5 กระบอต่อนาที เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 25 และค่าความเสี่ยง RULA ลดลงเหลือระดับ 2 พร้อมทั้งผู้ใช้งานมีความพึงพอใจเฉลี่ย 4.46 จาก 5 คะแนน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้ QFD ร่วมกับการออกแบบตามหลักการวิทยาศาสตร์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ และสามารถประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องจักรระดับชุมชนได้

ธนสาร จอมพุทรา และคณะ (2564) ได้พัฒนากระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน เพื่อศึกษากระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชนโดยการศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย เพื่อศึกษากระบวนการผลิต การประมาณต้นทุน และผลผลิต และประสิทธิภาพเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยให้กับกลุ่มเกษตรกร โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่จะนำมาอัดเม็ด ต้องผ่านการกระบวนการบดเตรียมวัสดุด้วยการบดละเอียด การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย โดยการทดสอบด้วยการนำมูลวัวมาผ่าน กระบวนการเตรียมวัสดุด้วยการบดละเอียดแล้วจึงนำมาเข้าเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยจากการทดลองการ อัดเม็ดปุ๋ย เพื่อหาเวลาและน้ำหนักที่ได้จากอัดเม็ดปุ๋ย โดยใช้ส่วนผสมระหว่างน้ำและปุ๋ยอินทรีย์ บดละเอียด พบว่าเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยสามารถผลิตปุ๋ยออกมาได้ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด เท่ากับร้อยละ 50 ซึ่งจะใช้เวลา ในการอัดเฉลี่ย 1.46 วินาที และน้ำหนักของเม็ดปุ๋ยที่ผ่านการอัดเฉลี่ย 1.46 กิโลกรัม หรือเครื่อง อัดเม็ดปุ๋ยสามารถผลิตปุ๋ยออกมาได้ 63 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

เอกพันธ์ สุขมูลศิริ และคณะ (2564) ได้สร้างเครื่องต้นแบบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องผสมและอัด อาหารสัตว์แบบเม็ดและวิเคราะห์ความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องต้นแบบ ประโยชน์ของเครื่องต้นแบบช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้น ลดพื้นที่ในการเก็บรักษาอาหารสัตว์ และได้อาหารสัตว์อัดเม็ดที่มีคุณภาพตรงกับความต้องการของสัตว์เลี้ยง ช่วยให้สัตว์เลี้ยงเติบโต และมีสุขภาพดี เครื่องผสมและอัดอาหารสัตว์แบบเม็ดประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 4 ส่วนได้แก่ โครงเครื่อง, ชุดบด, ชุดผสม และชุดอัดเม็ด ทำการศึกษาความเร็วรอบของมอเตอร์สำหรับการอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด ที่ 1,110, 1,430 และ 1,750 รอบต่อนาที สูตรอาหารสัตว์ที่ศึกษาจำนวน 3 สูตร โดยมีค่าชี้ผลในการศึกษา ได้แก่ ความสามารถในการอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่อง

ผสมและอัดอาหาร สัตว์แบบบเม็ด การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า จุดคุ้มทุน และระยะเวลาในการคืนทุน ผลการทดสอบเครื่องผสมและอัดอาหารสัตว์แบบเม็ดพบว่า ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการผสมและอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด เท่ากับ 1,750 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพการทำงาน 83 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการอัดเม็ดอาหารสัตว์เฉลี่ยเท่ากับ 23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่ามีค่าใช้จ่ายในการทำงาน 95 บาทต่อชั่วโมง จุดคุ้มทุนในการทำงาน 3,017 กิโลกรัมต่อปี และเมื่อพิจารณาการทำงานที่ 300 ชั่วโมงต่อปี มีระยะเวลาในการคืนทุน 2.1 ปี

ชวลิต รักษาภิรมณ์ (2564) ได้ทำการศึกษาพัฒนาสารปรับปรุงดินอัดเม็ดสำเร็จรูปจากปุ๋ยหมักเปลือกกาแฟและถ่านชีวภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการอัดเม็ดและคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดสำเร็จรูปด้วยเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยระบบเกลียว เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าในการนำสิ่งที่ได้จากการทำการเกษตรหรือวัตถุดิบในท้องถิ่นมาปรับใช้ให้เกิดประโยชน์ ดำเนินการศึกษาโดยผสมวัสดุในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 สูตร บันทึกข้อมูลกำลังการผลิตของปุ๋ยแต่ละสูตร วิเคราะห์ คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ย ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และปริมาณธาตุอาหารหลัก (N-P-K) เปรียบเทียบลักษณะของเม็ดวัสดุปรับปรุงดินอัดเม็ดสำเร็จรูป ผลการศึกษาพบว่าปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ 2 เหมาะสมต่อการขึ้นรูปอัดเม็ด คุณสมบัติของเม็ดคงรูปดี ไม่แตกหักง่าย เมื่อโดนน้ำสามารถละลายได้ดี มีกำลังการผลิตสูงสุด 22 กิโลกรัม/ชั่วโมง ลักษณะทางเคมีของปุ๋ยมีปริมาณธาตุอาหารหลักครบถ้วน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งสามารถนำไปใช้กับพืชได้

ลักขณา พิทักษ์, และคณะ (2563) ได้พัฒนาเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากใบอ้อยและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากใบอ้อย โดยเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องอัดแบบจานหมุนลูกกลิ้งอยู่กับที่ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องอัด เท่ากับ 6 มิลลิเมตร วัตถุดิบที่ใช้คือใบอ้อยที่ผ่านเครื่องบดละเอียดจากรูตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ทดสอบที่ความเร็วรอบ 310 รอบต่อนาที ผลการทดสอบอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากใบอ้อย พบว่า เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ใบอ้อยบดผ่านรูตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 5.80 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ย 45 มิลลิเมตร และเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านรูตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 5.85 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ย 37 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีความสามารถในการทำงานสูงสุด 5.27

กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพในการทำงาน 96 เปอร์เซ็นต์ จากวัตถุดิบผ่านรูตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และเมื่อนำเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมาทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน พบว่าที่ความชื้นหลังตากแห้งเฉลี่ย 9.90 เปอร์เซ็นต์ ได้ค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 44.00 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และคุณสมบัติทางความร้อนเฉลี่ย 3,264.67 แคลอรีต่อกรัม

สมพร โมชรัตน และคณะ (2563) ได้พัฒนาเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์ขนาดเล็กด้วยระบบเกียร์เพื่อง่ายต่อการควบคุมความเร็วรอบแบบป้อนกลับ ควบคุมความเร็วรอบการอัดแบบปิด ขนาดของเครื่องมีขนาดความสูง 1.2 เมตร น้ำหนักเครื่อง 50 กิโลกรัม มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 3 แรงม้า แรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยใช้ระบบเกียร์เพื่อง่ายต่อการปรับอัตราส่วนการทดรอบ 5:1 เท่า ชนิดของรูปแบบอาหารเม็ดเป็นทรงกระบอกและกลม ใช้ลูกกลิ้งเป็นแบบ 2 หัวอัด ทำมุม 180 องศา จากผลการทดสอบเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์ที่สร้างขึ้น พบว่าที่ความถี่ 35 เฮิร์ตซ์ ความเร็วรอบ 84.6 รอบต่อนาที จะมีเปอร์เซ็นต์การอัดเม็ดอาหารได้มากที่สุด ที่ 92 เปอร์เซ็นต์ การวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์ พบว่า ที่ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ใช้ค่าไฟฟ้าสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.79 บาทต่อชั่วโมง

ภาณุเมศวร์ สุขศรีศิริวัชร และคณะ (2563) ได้พัฒนาเครื่องอัดเม็ดยาสมุนไพรแบบเพลาลูกเบี้ยวเยื้องศูนย์กลางสำหรับชุมชนแพทย์แผนไทย ตำบลกาบเชิง อำเภอกาบเชิง จังหวัดสุรินทร์ เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องอัดเม็ดยาสมุนไพร แบบเพลาลูกเบี้ยวเยื้องศูนย์กลางและเพื่อศึกษาความพึงพอใจของชุมชนแพทย์แผนไทยกาบเชิง ที่มีต่อเครื่องอัดเม็ดยาสมุนไพรแบบเพลาลูกเบี้ยวเยื้องศูนย์กลาง ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดเม็ดยาสมุนไพร แบบเพลาลูกเบี้ยวเยื้องศูนย์กลาง กับสมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ ขมิ้นชัน ฟักทะลายโจร และนวโกฏ โดยในแต่ละชนิดทำการทดสอบ 5 ครั้ง ๆ ละ 30 เม็ด ประเมินทางกายภาพ 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความหนาของเม็ดยาที่ 6 มิลลิเมตร ด้านความกว้างของเม็ดยาที่ 8 มิลลิเมตร และด้านน้ำหนักของเม็ดยาที่ 0.60 กรัมต่อเม็ด สรุปผลการประเมินลักษณะทางกายภาพด้านความหนาของเม็ดยาที่ 6 มิลลิเมตร พบว่าสมุนไพรขมิ้นชัน ฟักทะลายโจร และนวโกฏ มีความหนาตามที่กำหนดไว้เฉลี่ย 28, 29 และ 28 เม็ด ตามลำดับ ผลการประเมินลักษณะทางกายภาพด้านความกว้างที่ 8 มิลลิเมตร พบว่าสมุนไพรขมิ้นชัน ฟักทะลายโจร และนวโกฏ มีความกว้างตามที่กำหนดไว้เฉลี่ย 29 29 และ 29 เม็ด ตามลำดับ และผลการประเมินลักษณะทางกายภาพด้านน้ำหนักที่ 0.60 กรัม พบว่า

สมุนไพรขึ้น พื้ทะเลสาบโจร และนวกโกฏ มีน้ำหนักตามที่กำหนดไว้เฉลี่ย 28 27 และ 28 เม็ดตามลำดับ ผลการศึกษาพึงพอใจที่มีต่อเครื่องอัดเม็ดยาสมุนไพร 5 ด้าน ได้แก่ด้าน องค์ประกอบของเครื่อง ด้านการใช้งานของเครื่อง ด้านผลผลิตที่ได้ ด้านความปลอดภัย และด้านคู่มือการใช้งานของเครื่อง พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจในภาพรวม อยู่ในระดับมาก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.46

นภาดา วิเชียรพงษ์และคณะ (2563) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขุยมะพร้าวผสมชีวมวลเหลือทิ้ง เพื่อผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขุยมะพร้าวและชีวมวลเหลือทิ้ง ในชุมชนเพื่อพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือก และเป็นการนำเอาของเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิด ประโยชน์โดยทำการผลิตก้อนเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดเม็ดได้เป็นแท่งเชื้อเพลิงขนาดเล็กที่มีความ ยาว 1-2 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 มิลลิเมตรโดยวัตถุดิบหลักที่ นำมาใช้ในการผลิตคือ ขุยมะพร้าว ซึ่งเป็นของเหลือใช้ทางการเกษตรที่พบมากในอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา นำมาผสมกับวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่น ๆ ที่หาได้ง่ายในพื้นที่ชุมชน ได้แก่ มูลวัวมูลไก่มูลเป็ดกลบขี้เลื่อย และใบมะม่วง ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 60:40 รวมทั้งศึกษาอัตราส่วนผสมของตัวประสานที่นำมาใช้ได้แก่ น้ำแป้งเปียกจากแป้งมัน ลำปะหลังเหลือทิ้งคุณภาพต่ำจากอุตสาหกรรมแป้งและกากน้ำตาลซึ่งเป็นผลพลอยได้จาก การผลิตน้ำตาล จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดที่ได้ ได้แก่ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงค่าความร้อน ค่าเถ้า ค่าสารระเหย และค่าคาร์บอนคงตัว จากการศึกษา พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ได้มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,583-4,225 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมโดยเมื่อนำขุยมะพร้าวมาใช้ร่วมกับขี้เลื่อยที่อัตราส่วน 60:40และใช้น้ำแป้งเปียกเป็นตัวประสานเพียงอย่างเดียวจะทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีค่าความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 4,225กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมนอกจากนี้พบว่าค่าความร้อนและค่าเถ้าของเชื้อเพลิงที่ได้มีค่า อยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่งและถ่านไม้หุงต้ม

ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาผลของการผลิตปุ๋ยเม็ด จากเครื่องผสมปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นการพัฒนาระบบการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ขนาดของ เครื่องมีความกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และสูง 129 เซนติเมตร ในการ ทดสอบเครื่องจะแยกการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบการผสมปุ๋ยและการ ทดสอบการอัดเม็ดของเครื่อง โดยส่วนผสมของปุ๋ยมีวัตถุดิบ 5 ประเภทได้แก่ ปุ๋ยคอก รำ ข้าว แกลบดำ กากน้ำตาล และน้ำ จากการทดสอบพบว่า การจับตัวเป็นเม็ดปุ๋ยเข้ากันได้ดี ที่มีความชื้นระหว่าง 26.66 – 33.33 เปอร์เซ็นต์ โดยเครื่องมีประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยที่

95.75 เปอร์เซ็นต์ และสามารถผลิตปุ๋ยสูงสุดครั้งละ 29 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบในการผลิต 350 รอบต่อนาที

2. งานวิจัยต่างประเทศ

Razali และคณะ (2025) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวออกจากเมล็ดลีบโดยประยุกต์ใช้เทคนิค Quality Function Deployment (QFD) เพื่อแปลงความต้องการของเกษตรกรไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมในการออกแบบเครื่องจักร งานวิจัยเก็บข้อมูลจากการสังเกต การสัมภาษณ์ และแบบสอบถามเกษตรกรในหมู่บ้าน Tanjung Belit พบว่าการคัดแยกเมล็ดข้าวยังอาศัยวิธีฝัดด้วยแรงงานคนซึ่งใช้เวลานานและมีประสิทธิภาพต่ำ จึงนำ Voice of Customer มาสร้างตาราง House of Quality เพื่อกำหนดคุณลักษณะทางเทคนิค ผลการวิเคราะห์ให้ความสำคัญกับโครงสร้างเครื่องที่แข็งแรง วัสดุเหล็กคาร์บอนต่ำ โครงแบบตัวแอล ความหนาขอบเปอร์ 1.5 มม. และความจุขอบเปอร์ไม่น้อยกว่า 250 ซม³ ซึ่งแนวคิดการออกแบบที่ 1 มีคะแนนความเหมาะสมสูงสุด เครื่องต้นแบบสามารถลดระยะเวลาในการทำความสะดวกข้าวลงมากกว่าครึ่ง ใช้แรงงานน้อยลง และช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิตทางการเกษตร อย่างไรก็ตาม งานวิจัยยังอยู่ในระดับการออกแบบและประเมินแนวคิด จึงสามารถต่อยอดสู่การทดสอบสมรรถนะจริงและการประเมินประสิทธิภาพเชิงวิศวกรรมได้ในงานวิจัยต่อไป

Ishak และคณะ (2024) ศึกษาการออกแบบเครื่องผลิตปุ๋ยหมักจากของเสียอินทรีย์โดยบูรณาการเทคนิค Quality Function Deployment (QFD) ร่วมกับ Axiomatic Design (AD) เพื่อแปลงความต้องการของผู้ใช้ไปสู่พารามิเตอร์ทางวิศวกรรมและกำหนดโครงสร้างการออกแบบผลิตภัณฑ์อย่างเป็น โดยใช้แบบสอบถามและการระดมความเห็นผู้เชี่ยวชาญในการระบุความต้องการลูกค้า จากนั้นสร้าง House of Quality เพื่อกำหนดคุณลักษณะทางเทคนิค และนำไปกำหนดความต้องการเชิงหน้าที่ (Functional Requirements) และพารามิเตอร์การออกแบบ (Design Parameters) ตามหลัก AD ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยสำคัญของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ความแข็งแรงโครงสร้าง และระยะเวลาการวัด/การผลิต โดยการออกแบบใหม่มีค่า information content ลดลง 0.0531 แสดงถึงความซับซ้อนของระบบที่ลดลงและประสิทธิภาพการออกแบบที่ดีขึ้น งานวิจัยชี้ให้เห็นว่าการผสาน QFD กับ AD สามารถใช้เป็นกรอบแนวคิดในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือเครื่องจักรใหม่ที่สอดคล้องกับความต้องการผู้ใช้และเพิ่ม

คุณค่าของผลิตภัณฑ์ได้ และสามารถต่อยอดสู่การพัฒนาเครื่องจักรระดับชุมชนในงานวิจัยด้านวิศวกรรมได้

Sarpong และคณะ (2024) ศึกษาการปรับปรุงการออกแบบเครื่องขุดมันสำปะหลังโดยใช้แนวคิดการออกแบบที่ยึดผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง ผ่านการบูรณาการเทคนิค AHP, QFD และ TRIZ เพื่อเชื่อมโยงความต้องการของผู้ใช้งานไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรม โดยเริ่มจากการวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยความต้องการผู้ใช้ 10 ประการ พบว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์และสมรรถนะการทำงานเป็นปัจจัยสำคัญสูงสุด จากนั้นใช้ QFD สร้างความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการผู้ใช้งานกับพารามิเตอร์การออกแบบ และใช้ TRIZ แก้ปัญหาความขัดแย้งทางเทคนิคในการออกแบบเครื่องจักร ผลการวิจัยเสนอพารามิเตอร์สำคัญ ได้แก่ ความสม่ำเสมอของฟันขุด ประเภทฟัน มุมการจัดเรียงความเร็วรอบ กำลังเครื่อง และวัสดุทนการกัดกร่อน ซึ่งนำไปสู่แนวทางออกแบบเชิงอย่างไร้ที่ติตาม งานวิจัยยังมุ่งเน้นการกำหนดแนวคิดและข้อกำหนดการออกแบบเป็นหลัก โดยยังไม่ได้ประเมินสมรรถนะการทำงานจริงหรือวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม จึงเป็นแนวทางให้การวิจัยด้านการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรชุมชนสามารถนำไปต่อยอดได้

Susilawati และคณะ (2024) ได้พัฒนาเครื่องนวดข้าวโดยประยุกต์ใช้เทคนิค Quality Function Deployment (QFD) เพื่อแปลงความต้องการของเกษตรกรไปสู่ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมในการออกแบบเครื่องจักรกลการเกษตร งานวิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลจากการสังเกต การสัมภาษณ์ และแบบสอบถามเกษตรกรจำนวน 15 ราย พบว่าเครื่องนวดข้าวเดิมมีประสิทธิภาพต่ำ ทำให้ระยะเวลาและต้นทุนการเก็บเกี่ยวสูง ผู้วิจัยจึงใช้ House of Quality วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการผู้ใช้งานกับคุณลักษณะทางเทคนิค ผลการวิเคราะห์ระบุความต้องการสำคัญ ได้แก่ ความปลอดภัย ความสะดวกในการใช้งาน ราคาที่เหมาะสม ความทนทาน และความสามารถในการเคลื่อนย้าย ซึ่งถูกแปลงเป็นข้อกำหนดทางวิศวกรรม เช่น กลไกขับเคลื่อน รูปร่างและขนาดเครื่อง วัสดุโครงสร้าง และรูปแบบฟันนวด เครื่องที่พัฒนาใหม่มีน้ำหนักประมาณ 35 กิโลกรัม ใช้วัสดุทนการกัดกร่อน และมีพัดลมช่วยแยกเมล็ดข้าวออกจากเศษวัสดุ ส่งผลให้การทำงานมีประสิทธิภาพและตรงตามความต้องการผู้ใช้งานมากขึ้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยมุ่งเน้นการออกแบบเชิงแนวคิด และการกำหนดคุณลักษณะทางเทคนิคเป็นหลัก จึงสามารถนำไปต่อยอดสู่การทดสอบ

สมรรถนะเชิงวิศวกรรมและการประเมินประสิทธิภาพการทำงานจริงของเครื่องจักรได้ในงานวิจัยต่อไป

T Rian Hidayat et al. (2024) ได้ออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องย่อยทลายปาล์มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมัก การย่อยทลายปาล์มด้วยวิธีมือให้กำลังการผลิตเพียง 50-70 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องย่อยเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงขึ้น เศษทลายปาล์มที่ผ่านการย่อยสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมักได้ ในการออกแบบนี้ มีการเพิ่มจำนวนใบมีดเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตให้สูงสุดและลดแรงงานที่ต้องใช้ในการทำงาน เนื่องจากเครื่องนี้ได้รับการออกแบบให้ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์และการเพิ่มจำนวนใบมีดยังช่วยให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นอีกด้วย การออกแบบเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาเครื่องมือที่สำคัญ โดยใช้โปรแกรมทางวิศวกรรมออกแบบจึงทำให้สามารถเข้าใจโครงสร้างโดยรวมได้ง่าย และนำไปใช้งานได้สะดวก การออกแบบเป็นกระบวนการที่กำหนดแนวทางการใช้งานและการผลิต ผลการทดสอบพบว่าเครื่องสามารถย่อยทลายปาล์มให้มีขนาดความยาว 3-14 ซม. และความกว้าง 3-20 มม. โดยให้ผลผลิตประมาณ 8.5 กิโลกรัมต่อนาที ค่าพิกัดกำลังการผลิตของเครื่องได้ประมาณ 510 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

Jekayinfa et al. (2024) ดำเนินการปรับปรุงและประเมินสมรรถนะของเครื่องอัดเม็ดชีวมวล โดยดัดแปลงจากเครื่องอัดเม็ดอาหารปลาแบบใช้มือ เพื่อให้เหมาะสมต่อการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากชังข้าวโพด การปรับปรุงสำคัญอยู่ที่การออกแบบกรวยบ่อนวดทุติยและระบบส่งกำลังใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดต้นทุนการจัดการวัสดุชีวมวล ผลการทดลองพบว่าเครื่องที่ปรับปรุงแล้วมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 58.83% อัตราการผลิต 4.24 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความยาวเม็ดเฉลี่ย 15.51 มิลลิเมตร และความหนาแน่นรวม 0.160 กรัมต่อเซนติเมตร³ การศึกษาวิจัยชี้ให้เห็นว่าขนาดรูตายมีผลต่อความยาวเม็ดเท่านั้น ขณะที่ปริมาณสารยึดเกาะ (binder) มีผลต่อทั้งประสิทธิภาพเครื่อง อัตราการผลิต และความยาวเม็ด โดยเมื่อเพิ่มปริมาณสารยึดเกาะ ประสิทธิภาพและอัตราการผลิตลดลง แต่ความยาวเม็ดเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนถึงความสำคัญของการเลือกตัวแปรการผลิตที่เหมาะสมเพื่อให้ได้เม็ดเชื้อเพลิงคุณภาพสูง งานวิจัยนี้จึงมีคุณค่าในฐานะการพัฒนานวัตกรรมเครื่องจักรขนาดเล็กสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลในระดับชุมชน สามารถลดความหนาแน่นของวัสดุ ลดต้นทุนการขนย้าย และเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการจัดการเศษเหลือทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน ทั้งนี้ยังเปิดโอกาสให้มีการศึกษาต่อยอดในอนาคตเกี่ยวกับการใช้

วัสดุชีวมวลชนิดอื่นและสารยึดเกาะที่แตกต่าง เพื่อเพิ่มความหลากหลายและความเหมาะสมต่อการใช้งานในบริบทที่แตกต่างกัน

Muhammad et al. (2023) ได้การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์น้ำชนิดสกรูที่สามารถทำงานได้สองระบบ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์น้ำชนิดสกรูที่สามารถทำงานได้ทั้งระบบไฟฟ้าและระบบมือหมุน เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในประเทศกำลังพัฒนา โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบท ผลการออกแบบได้คำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุ ความทนทานต่อการกัดกร่อน และต้นทุนการผลิต เครื่องจักรถูกสร้างขึ้นจากเหล็กกล้าและเหล็กหล่อ พร้อมระบบสกรูออกเกอร์และห้องอัดเม็ดที่สามารถเปลี่ยนขนาดรูตายได้หลายระดับ (2, 3 และ 4 มิลลิเมตร) การทดสอบพบว่าอัตราการแห้งของอาหารสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลดความชื้น โดยเครื่องมีประสิทธิภาพการทำงาน 75% และประสิทธิภาพการอัดเม็ด 93.33% ซึ่งสูงกว่างานวิจัยก่อนหน้านี้ในหลายกรณี ต้นทุนการผลิตเครื่องอยู่ที่ 115,800 บาท ซึ่งต่ำกว่าการจัดซื้อจากตลาดอย่างมาก ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่าขนาดรูตายมีผลต่อเวลาและอุณหภูมิในการทำให้เม็ดอาหารแห้ง โดยรูตายที่ใหญ่ขึ้นใช้เวลามากกว่าแต่มีอุณหภูมิต่ำกว่า งานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาเครื่องจักรผลิตอาหารสัตว์น้ำที่มีประสิทธิภาพสูง ต้นทุนต่ำ และสามารถใช้งานได้ทั้งในสถานะที่มีไฟฟ้าและไม่มีไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกรในประเทศกำลังพัฒนา

Adeleke และคณะ (2023) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องผสมปุ๋ยชีวภาพโดยประยุกต์ใช้แนวคิดการออกแบบที่ยึดผู้ใช้เป็นศูนย์กลางร่วมกับเทคนิค Quality Function Deployment (QFD) เพื่อแปลงความต้องการของเกษตรกรไปสู่ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมในการพัฒนา งานวิจัยเก็บข้อมูลความต้องการผู้ใช้งานผ่านแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ แล้วนำข้อมูลเข้าสู่ตาราง House of Quality เพื่อกำหนดคุณลักษณะทางเทคนิคของเครื่อง เช่น กำลังเครื่อง ความเร็วรอบ ความจุถังผสม และความแข็งแรงโครงสร้างจากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบพบว่าเครื่องสามารถผสมวัตถุดิบได้สม่ำเสมอ ลดเวลาและแรงงานในการผลิตปุ๋ย และเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเมื่อเทียบกับการผสมแบบใช้แรงงานคน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้ QFD ช่วยเชื่อมโยงความต้องการของผู้ใช้กับพารามิเตอร์ทางวิศวกรรมได้อย่างเป็นระบบ และเหมาะสมต่อการพัฒนาเครื่องจักรการเกษตรระดับชุมชน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องต้นแบบและการ

ประเมินเชิงการใช้งานเบื้องต้น จึงสามารถต่อยอดสู่การทดสอบสมรรถนะเชิงวิศวกรรม และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ได้ในงานวิจัยต่อไป

Prasetio Aji Nugroho et al. (2023) ดัชนีเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่มีขีดความสามารถ 170.90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยใช้แนวทางการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามวิธี VDI 2222 ซึ่งเป็นกระบวนการออกแบบที่มีความเป็นระบบ และมีขั้นตอนชัดเจน ตั้งแต่การวางแผน การร่างแบบ การเลือกแนวคิด ไปจนถึงการทดสอบและประเมินผล เครื่องจักรที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเป็นเครื่องอัดเม็ดแนวตั้ง สามารถผลิตเม็ดปุ๋ยขนาด 8 มิลลิเมตร x 22 มิลลิเมตร โดยใช้โครงสร้างหลัก UNP เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดการสั่นสะเทือน ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและระบบส่งกำลังแบบเกียร์บ็อกซ์ ผลการวิจัยพบว่าแบบแผนการออกแบบที่สามเป็นแนวคิดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในท้องตลาด มีโครงสร้างที่แข็งแรง และกระบวนการผลิตที่ง่ายต่อการประกอบและบำรุงรักษา งานวิจัยนี้มีความสำคัญต่อการจัดการขยะอินทรีย์ในครัวเรือน โดยสามารถเปลี่ยนเป็นปุ๋ยอินทรีย์ในรูปเม็ดที่สะดวกต่อการใช้งานและการขนส่ง อีกทั้งยังช่วยลดการพึ่งพาปุ๋ยเคมีที่มีต้นทุนสูงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ผลงานนี้จึงเป็นตัวอย่างของการประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม และสนับสนุนการเกษตรอย่างยั่งยืน

O. M. Abasili et al. (2023) ได้ออกแบบเครื่องทำเม็ดปุ๋ยชีวภาพโดยใช้กระบวนการรีดกลิ้ง ซึ่งช่วยให้การผลิตปุ๋ยชีวภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น กลไกที่ออกแบบนั้นเน้นไปที่พลศาสตร์ของชิ้นส่วนเครื่องจักร เช่น ข้อต่อและจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ โดยมีการคำนวณแรงดึงและแรงโหดตามสมการสมดุลแรง นอกจากนี้ ยังมีการเลือกใช้ตัวยึดจากแคลดดีบุกของ SKF โดยพิจารณาตำแหน่ง รวมถึงประเมินความต้องการของทฤษฎีความล้าและความสามารถในการรับน้ำหนักแบบไดนามิกการทดสอบเสถียรภาพดำเนินการกับเพลาลูกเบี้ยว/สายพานลำเลียงที่มีมวล 11.2561 กิโลกรัม และความหนาแน่น 8,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยมีการตรึงปลายด้านหนึ่งและใช้แรงดัน 1.061×10^{-3} นิวตัน/ตารางมิลลิเมตรกับอีกด้านหนึ่ง ตามทฤษฎีพลังงานบิดเบือน นอกจากนี้ ยังได้ทำการทดสอบเสถียรภาพของโครงเครื่องโดยใช้โครงสร้างตาข่าย ซึ่งสร้างโหนด 354 จุดและองค์ประกอบ 334 จุด แรงดึงที่คำนวณได้ที่พูลเลย์คือ 205.2 นิวตัน และ 126.5 นิวตัน ส่วนแรงและโมเมนต์ต่าง ๆ ที่กระทำกับเพลาลูกเบี้ยวคำนวณและแสดงออกในรูปแบบแผนภาพผลการทดสอบการจำลองระบุว่า ค่าความเครียดของ Von Mises ที่เพลาสายพานลำเลียง

มีค่า $1.847\text{E}+00$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร และค่าแรงดึงและดัดสูงสุดบนโครงเครื่องมีค่า $2.759\text{E}+06$ นิวตัน/ตารางเมตร ซึ่งต่ำกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ $2.068\text{E}+08$ นิวตัน/ตารางเมตร แสดงให้เห็นว่า การออกแบบนี้มีเสถียรภาพและสามารถนำไปใช้ได้ดีในพื้นที่การผลิตที่คล้ายกัน

Salvatore F. Papandrea et al. (2021) ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการจัดการผงดับเพลิงที่ใช้แล้วในยุโรป ซึ่งไม่มีกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่เหมาะสมสำหรับการจัดจำหน่ายและกำจัดอย่างถูกต้อง เนื่องจากผงดับเพลิงมีขนาดอนุภาคเล็กมาก ทำให้บางบริษัทเลือกกำจัดหรือใช้ซ้ำอย่างผิดกฎหมาย ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการเสนอแนวทางแก้ไขโดยนำผงดับเพลิงที่หมดอายุ (EEP) มาผสมกับปุ๋ยหมักและวัสดุชีวมวลอื่น ๆ เพื่อลดปริมาณฝุ่นและเพิ่มประสิทธิภาพในการนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืช การอัดเป็นเม็ดช่วยลดความหนาแน่นของปุ๋ยหมัก ทำให้การจัดเก็บและกระจายง่ายขึ้น อีกทั้งยังลดความเสี่ยงของการสูดดมฝุ่นที่อาจมีสารพิษ ผลการศึกษาพบว่า การผลิตปุ๋ยหมักแบบอัดเม็ดจากส่วนผสม 5 แบบสามารถควบคุมตัวแปรเชิงคุณภาพเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ โดยสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งแนวทางนี้ไม่เพียงช่วยลดต้นทุนการกำจัด แต่ยังมีผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ

Ishola, Ta et al. (2021) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องผสมและอัดเม็ดวัสดุอาหารสัตว์เพื่อใช้สำหรับการผสมและอัดเม็ดวัสดุอาหารสัตว์ที่ถูกบดเป็นผง ได้แก่ หญ้าเนเปียร์ รำข้าว เปลือกมันสำปะหลัง กากน้ำตาล แป้งมันสำปะหลัง กระดุกป่น ฟางข้าวโพด และถั่วลิสง หน่วยผสมประกอบด้วยกรวยผสมและห้องผสมซึ่งมีแกนผสมและใบพายผสม ส่วนหน่วยอัดเม็ดประกอบด้วยกรวยอัดเม็ด ถังอัดเม็ด แกนเกลียว และแผ่นเจาะรูสำหรับปล่อยเม็ดออกมา การทดสอบเบื้องต้นได้ดำเนินการเพื่อประเมินผลกระทบของสารยึดเกาะและความชื้นที่มีต่อความสามารถในการผลิตและประสิทธิภาพการอัดเม็ด โดยใช้สารยึดเกาะสามระดับ (0 กิโลกรัม, 0.5 กิโลกรัม, และ 0.9 กิโลกรัม, ของกากน้ำตาล) และความชื้น 5 ระดับ (20 เปอร์เซ็นต์, 22 เปอร์เซ็นต์, 24 เปอร์เซ็นต์, 26 เปอร์เซ็นต์ และ 28 เปอร์เซ็นต์ แบบแห้ง) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าค่าความสามารถในการผลิตสูงสุดและประสิทธิภาพการอัดเม็ดอยู่ที่ 116.12 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 86.76 เปอร์เซ็นต์ ที่ความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีพบว่า ตัวอย่างที่มีการเติม

กากน้ำตาล 0.9 กิโลกรัม. มีปริมาณเก่า เส้นใยหยาบ โปรตีน และไขมันสูงที่สุด เครื่องนี้สามารถช่วยให้มีอาหารเม็ดที่มีสารอาหารครบถ้วนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องตลอดทั้งปี

K. Ezewu (2021) ได้การออกแบบเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย NPK เพื่อออกแบบอุปกรณ์อัดเม็ดอย่างง่ายเพื่อแปรรูปปุ๋ยผงให้เป็นเม็ด เครื่องนี้ถูกออกแบบให้ทำหน้าที่ลำเลียง ปีบอัด และรีดสารประกอบ NPK ผ่านสกรูลำเลียง ผ่านแม่พิมพ์ และเปลี่ยนเป็นเม็ด จากการพิจารณาขนาดของระบบนี้และความหนาแน่นรวมของสารประกอบ NPK อนินทรีย์ มอเตอร์ขนาด 1492 วัตต์ (2 แรงม้า) และเพลานาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรถูกนำมาใช้ในการลำเลียงสารประกอบ NPK ด้วยอัตรา 3.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากนั้นจึงปีบอัดและรีดออกมาเป็นเม็ดเกณฑ์ความล้มเหลวของแรงเฉือนแบบแปดด้านถูกนำมาใช้ในการคำนวณว่า ห้องปีบอัดของเครื่องอัดเม็ดซึ่งออกแบบด้วยเหล็กกล้า จะสามารถต้านทานแรงด้นรัศมี แรงด้นวงแหวน และแรงด้นตามแกน ที่เกิดขึ้นได้อย่างไรก็ตาม ซึ่งแรงเฉือนแปดด้านที่ได้อยู่ที่ 1.5N/mm^2 ซึ่งต่ำกว่าค่าความเค้นของเหล็กกล้าการใช้เครื่องนี้ในการผลิตสารประกอบ NPK อนินทรีย์ให้อยู่ในรูปแบบเม็ดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ย และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ปุ๋ย NPK

J. C. Paredes-Rojas et al. (2020) ได้ทำการออกแบบเครื่องต้นแบบเครื่องผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อแก้ปัญหาขยะอินทรีย์จำนวนมากซึ่งไม่ได้ถูกนำมาใช้ ส่งผลให้เกิดปัญหาทางสังคม สิ่งแวดล้อม และสุขภาพ หนึ่งในของเสียอินทรีย์หลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไม้คือขี้เลื่อย (ชีวมวล) จึงมีการออกแบบต้นแบบเครื่องผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวภาพโดยใช้เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์เบนตามมาตรฐาน EN 14961-2 เครื่องจักรนี้ทำจากสแตนเลส 304 และเหล็กกล้าคาร์บอน สามารถผลิตเม็ดเชื้อเพลิงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. และความยาว 30 มม. โดยทำงานที่ความเร็ว 50 ถึง 100 รอบต่อนาที มีการเสนอแม่พิมพ์ 3 แบบ ได้แก่ แบบรัศมี แบบเกลียว และแบบหกเหลี่ยม เพื่อให้สามารถสร้างได้อย่างรวดเร็ว การออกแบบนี้จึงได้รับการมาตรฐาน ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ (Finite-Element Analysis) แสดงให้เห็นว่า สามารถผลิตเม็ดเชื้อเพลิงได้ในช่วงความดัน 50 ถึง 1,000 PSI (344.7 kPa ถึง 6894.7 kPa) โดยเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

Syharuddin Rasyid et al. (2018) ได้ทำการพัฒนาเครื่องอัดเม็ดเพื่อปรับปรุงคุณภาพและปริมาณของอาหารไก่ชนิดเม็ด ผ่านการพัฒนาเครื่องอัดเม็ดโดยใช้รูปแบบล้อกลิ้งแบบเรียว การพัฒนาเครื่องอัดเม็ดเริ่มจากการออกแบบชิ้นส่วนของเครื่องจักร การประกอบเครื่อง การทดสอบ และการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบ ระบบอัดเม็ด

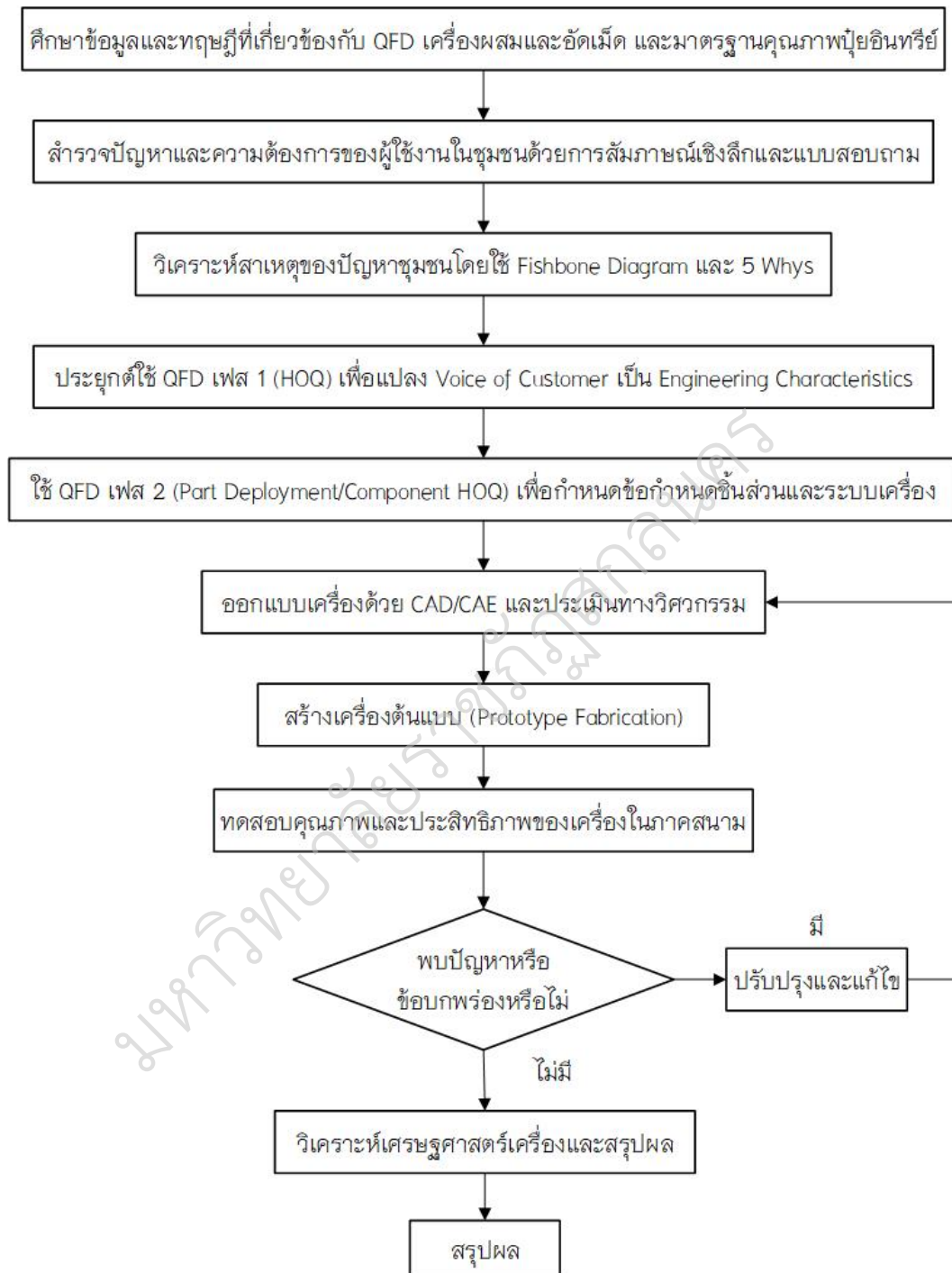
ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 4 ตัวที่นำส่วนผสมของอาหารเข้าสู่ขึ้นรูป หลักการทำงานของระบบขับเคลื่อนแบบสลิ้อ คือ แกนหลักถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า ซึ่งทำให้แผ่นแม่พิมพ์ที่มีรูขนาด 4-6 มม. หมุน ส่วนผสมของอาหารจะถูกป้อนเข้าสู่ช่องป้อน และถูกอัดเข้าไปในรูแม่พิมพ์หลังจากถูกกดด้วยลูกกลิ้งสลิ้อ ส่วนผสมของอาหารจะหลอมรวมและแข็งตัวหลังจากผ่านรูแม่พิมพ์ที่มีลักษณะเรียวและทรงกระบอก การออกแบบเครื่องอัดเม็ดแบบระบบลูกกลิ้งเรียว 4 ล้อ พบว่าความหนาแน่นของอนุภาคเฉลี่ยและความหนาแน่นรวมของอาหารไคชนิดเม็ดอยู่ที่ประมาณ 363 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 726 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความสามารถเฉลี่ยของเครื่องอยู่ที่ 24.0 กิโลกรัม/ชั่วโมง อัตราความทนทานของเม็ดอาหารและเปอร์เซ็นต์ของเม็ดอาหารที่แตกหักอยู่ที่ประมาณ 86.22 เปอร์เซ็นต์ ถึง 89.48 เปอร์เซ็นต์ (เฉลี่ย 87.77 เปอร์เซ็นต์) และ 10.52 เปอร์เซ็นต์ ถึง 13.78 เปอร์เซ็นต์ (เฉลี่ย 12.23 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อประเมินคุณภาพเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ และเพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

ดังนั้นเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งหาข้อมูลวิธีการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เก็บข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องจากจากผู้ใช้งานของหมู่บ้านปลอดขยะอินทรีย์ต้นแบบ (Zero Waste) บ้านท่าแร่ หมู่ที่ 1 ตำบลท่าแร่ อำเภอมะนัง จังหวัดสตูล จังหวัดสตูล ใช้วิธีการสำรวจข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งานด้วยการสัมภาษณ์เก็บข้อมูลความต้องการเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยจากผู้ใช้งาน 20 ตัวอย่าง โดยใช้หลักการการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) โดยเริ่มตั้งแต่การสอบถามความต้องการของลูกค้า เพื่อวางแผนผลิตภัณฑ์ (เฟสที่ 1) โดยกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นกลุ่มเกษตรกรจากหมู่บ้านปลอดขยะอินทรีย์ต้นแบบ (Zero Waste) บ้านท่าแร่ หมู่ที่ 1 ตำบลท่าแร่ อำเภอมะนัง จังหวัดสตูล จากนั้นใช้แผนภาพต้นไม้มาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคุณลักษณะความต้องการของผู้ใช้งานและได้นำเทคนิคบ้านคุณภาพมาวิเคราะห์หาความต้องการของผู้ใช้งานที่แท้จริงโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากการทบทวนเอกสาร ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ เพื่อกำหนดกรอบแนวคิดและแนวทางในการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ให้สอดคล้องกับบริบทการใช้งานในระดับชุมชน โดยครอบคลุมองค์ความรู้ด้านการออกแบบเครื่องจักรกลเกษตร กลไกการผสมวัสดุ การขึ้นรูปอัดเม็ด (Pelletizing Process) ตลอดจนหลักการด้านสมรรถนะและคุณภาพของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ความสม่ำเสมอของการผสม ความแข็งแรงของเม็ด ความหนาแน่น และอัตราการแตกหักของเม็ด

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการแปลงความต้องการของผู้ใช้งานสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) โดยเฉพาะกระบวนการ House of Quality (HOQ) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเชื่อมโยง “เสียงของผู้ใช้งานในชุมชน” ไปสู่ตัวแปรออกแบบเชิงวิศวกรรมที่สามารถวัดค่าและควบคุมได้ รวมทั้งศึกษามาตรฐานและเกณฑ์ประเมินสมรรถนะของเครื่องจักรกลขนาดเล็กและการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์

องค์ความรู้ที่ได้จากการทบทวนดังกล่าวถูกนำมาใช้กำหนดตัวแปรออกแบบ (Design Variables) เกณฑ์การประเมินสมรรถนะเครื่อง และเกณฑ์ประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการเก็บข้อมูลความต้องการของชุมชน การออกแบบเครื่องต้นแบบ การทดสอบสมรรถนะ และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในขั้นตอนต่อไปของการวิจัย

การเก็บข้อมูลความต้องการของชุมชน

การออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ในบริบทระดับชุมชนจำเป็นต้องอาศัยการรวบรวมเสียงของผู้ใช้งาน (Community Voice of Customer: C-VoC) อย่างเป็นระบบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและรองรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD)

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ชุมชนกรณีศึกษา หมู่บ้านปลอดขยะอินทรีย์ต้นแบบ บ้านท่าแร่ อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร โดยใช้วิธีการ

สัมภาษณ์ผู้ใช้งานเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์จำนวน 20 ราย เลือกแบบเจาะจง ซึ่งเป็นกลุ่มเกษตรกรและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดและช่างซ่อมบำรุงในท้องถิ่น

การเก็บข้อมูลใช้แนวทางแบบผสมผสาน (Mixed Method) ประกอบด้วย

- 1) การสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเพื่อศึกษาบริบทการใช้งานจริง
- 2) แบบสอบถามเพื่อจัดลำดับความต้องการ และ
- 3) การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของคุณลักษณะเครื่องด้วยมาตรวัด Likert 5

ระดับ

ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาจัดหมวดหมู่ วิเคราะห์ และสังเคราะห์เป็นรายการความต้องการของผู้ใช้งาน (Customer Requirements: WHATs) โดยครอบคลุมประเด็นด้านสมรรถนะเครื่อง ความสม่ำเสมอของการผสม คุณภาพเม็ดปุ๋ย ความง่ายในการใช้งาน การบำรุงรักษา และต้นทุนที่ชุมชนยอมรับได้ ก่อนถ่ายทอดเข้าสู่กระบวนการ House of Quality (QFD เฟสที่ 1) เพื่อกำหนดคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมที่สามารถวัดค่าได้ในขั้นตอนการออกแบบเครื่องต่อไป

การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาชุมชนด้วย Fishbone Diagram และ 5 Whys

ภายหลังจากการเก็บข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งานในชุมชน ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ (Systematic Root Cause Analysis) เพื่อระบุปัจจัยที่ก่อให้เกิดข้อจำกัดในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานเข้าสู่กระบวนการ QFD

ในขั้นแรกใช้แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram หรือ Ishikawa Diagram) เพื่อจัดหมวดหมู่ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง โดยดำเนินการระดมความคิดเห็นร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในชุมชนและอาศัยหลักฐานจากการสังเกตภาคสนาม ปัจจัยถูกจำแนกออกเป็นหมวดหลัก ได้แก่ ด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์ ด้านวัตถุดิบ ด้านกระบวนการทำงาน ด้านผู้ปฏิบัติงาน และด้านสภาพแวดล้อมการใช้งาน จากนั้นทำการประเมินความสัมพันธ์เชิงสาเหตุเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบสูงสุด (Critical Cause Factors)

ขั้นตอนต่อมาผู้วิจัยใช้เทคนิค 5 Whys วิเคราะห์เชิงลึกกับสาเหตุสำคัญแต่ละประเด็น โดยตั้งคำถาม “ทำไม” ต่อเนื่องเป็นลำดับเพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของ

ปัญหา เช่น ความไม่สม่ำเสมอของการผสม คุณภาพเม็ดปุ๋ยไม่คงที่ การใช้พลังงานสูง และความยากในการบำรุงรักษา กระบวนการดังกล่าวช่วยแยกแยะระหว่างสาเหตุพื้นฐาน (Root Causes) และสาเหตุรอง (Contributing Causes) ได้อย่างชัดเจน

ผลการวิเคราะห์ถูกสังเคราะห์เป็นข้อความความต้องการของชุมชน (Community Voice of Customer: C-VoC) และแปลงเป็นรายการข้อกำหนดผู้ใช้ (Customer Requirements: WHATs) เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้าง House of Quality (QFD เฟสที่ 1) และถ่ายทอดสู่ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมของเครื่องในขั้นตอนการออกแบบต่อไป

การประยุกต์ใช้ QFD เฟส 1

หลังจากได้ผลการวิเคราะห์ความต้องการของชุมชนและรากสาเหตุของปัญหา ผู้วิจัยได้นำข้อมูลเสียงของผู้ใช้งาน (Community Voice of Customer: C-VoC) มาสังเคราะห์เป็นรายการความต้องการของผู้ใช้ (Customer Requirements: WHATs) และนำเข้าสู่กระบวนการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ในเฟสที่ 1 โดยใช้โครงสร้าง House of Quality (HOQ) เป็นเครื่องมือหลักในการถ่ายทอดความต้องการเชิงคุณภาพสู่ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมที่สามารถวัดค่าได้

ในขั้นตอนแรก ผู้วิจัยจัดกลุ่มและกำหนดรายการ WHATs พร้อมให้ค่าน้ำหนักความสำคัญ (Importance Rating) จากผลแบบสอบถามของผู้ใช้งาน จากนั้นกำหนดคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (Engineering Characteristics: ECs หรือ HOWs) ซึ่งเป็นตัวแปรออกแบบที่ควบคุมได้ เช่น ความเร็วรอบชุดผสม แรงอัดของชุดอัดเม็ด อัตราการผลิต และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ แล้วสร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่าง WHATs และ ECs โดยกำหนดระดับความสัมพันธ์ 3 ระดับ ได้แก่ สูง (9) ปานกลาง (3) และต่ำ (1) เพื่อแสดงระดับอิทธิพลของตัวแปรทางวิศวกรรมต่อการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน

ต่อมาได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (Roof of House) เพื่อพิจารณาความสอดคล้องหรือความขัดแย้งของพารามิเตอร์การออกแบบ และคำนวณคะแนนความสำคัญเชิงเทคนิค (Technical Priority) ของ ECs โดยใช้ค่าน้ำหนักความสำคัญของ WHATs คูณกับค่าความสัมพันธ์ในเมทริกซ์ เพื่อจัดลำดับตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะเครื่องมากที่สุด พร้อมกำหนดค่าเป้าหมายทางวิศวกรรม (Engineering Targets) สำหรับใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องต้นแบบ ดังแสดงในสมการที่ 6 และ 7

ค่าความสำคัญเชิงเทคนิค (Technical Priority)

$$TP_j = \sum_{i=1}^n (IMP_i \times R_{ij}) \quad (6)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} TP_j &= \text{คะแนนความสำคัญเชิงเทคนิคของ EC ที่ } j \\ IMP_i &= \text{ค่าน้ำหนักความสำคัญของ WHAT ที่ } i \\ R_{ij} &= \text{ค่าความสัมพันธ์ WHATs}_i \text{ กับ EC}_j \text{ (9, 3, 1)} \end{aligned}$$

สัดส่วนความสำคัญเชิงเทคนิค

$$Priority_j (\%) = \frac{TP_j}{\sum TP_j} \times 100 \quad (7)$$

ผลลัพธ์ของ QFD เฟสที่ 1 ทำให้ได้ชุดคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมที่มีความสามารถตรวจวัดและควบคุมได้ และสามารถตรวจสอบย้อนกลับไปยังความต้องการของชุมชนได้อย่างเป็นระบบ โดยข้อมูลดังกล่าวถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการออกแบบองค์ประกอบเครื่องใน QFD เฟสที่ 2 และการพัฒนาเครื่องต้นแบบในขั้นตอนถัดไปของการวิจัย

การประยุกต์ใช้ QFD เฟส 2

ภายหลังจากการได้คุณลักษณะเชิงวิศวกรรมและค่าเป้าหมายจาก QFD เฟสที่ 1 ผู้วิจัยได้นำผลลัพธ์ดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการ QFD เฟสที่ 2 (Part Deployment หรือ Component House of Quality) เพื่อถ่ายทอดข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมสู่ระดับระบบและชิ้นส่วนของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์อย่างเป็นระบบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุองค์ประกอบเครื่องที่มีผลต่อสมรรถนะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรง

ในขั้นตอนแรก ได้กำหนดรายการระบบและชิ้นส่วนหลักของเครื่อง เช่น ชุดอัดเม็ด ชุดผสม มอเตอร์และชุดส่งกำลัง ระบบปรับช่องว่างการอัด โครงสร้างและฐานเครื่องเบี่ยงและชุดรองรับเพลลา รวมถึงระบบควบคุมและความปลอดภัย จากนั้นสร้างเมท

ริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (Engineering Characteristics: ECs) กับชิ้นส่วนเครื่อง (Parts) โดยกำหนดระดับความสัมพันธ์เป็น 3 ระดับ ได้แก่ สูง (9) ปานกลาง (3) และต่ำ (1) เพื่อแสดงระดับอิทธิพลของชิ้นส่วนต่อการบรรลุค่าเป้าหมายทางวิศวกรรม

ขั้นตอนต่อมา ผู้วิจัยคำนวณค่าลำดับความสำคัญของชิ้นส่วน (Part Priority) โดยใช้คะแนนความสำคัญเชิงเทคนิคของ ECs จาก QFD เฟสที่ 1 เป็นค่าน้ำหนัก แล้วคูณกับค่าความสัมพันธ์ในเมทริกซ์ ECs-Parts เพื่อจัดลำดับชิ้นส่วนที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องมากที่สุด ชิ้นส่วนที่มีค่าลำดับความสำคัญสูงจะถูกกำหนดรายละเอียดเชิงวิศวกรรม (Part Specifications) ได้แก่ ขนาด วัสดุ กำลังรับแรง และเงื่อนไขการทำงาน การคำนวณค่าลำดับความสำคัญของชิ้นส่วน (Part Priority) ดังแสดงในสมการที่ 8

ความสำคัญของชิ้นส่วน (Part Priority)

$$PP_k = \sum_{j=1}^m (TP_j \times R_{jk}) \quad (8)$$

โดยที่

PP_k = ความสำคัญของชิ้นส่วน k

TP_j = Technical Priority ของ EC_j

R_{jk} = ความสัมพันธ์ EC กับ Part (9,3,1)

ผลลัพธ์ของ QFD เฟสที่ 2 ทำให้สามารถเชื่อมโยงค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมไปสู่ข้อกำหนดระดับชิ้นส่วนได้อย่างตรวจสอบย้อนกลับได้ (Traceability) และใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการออกแบบรายละเอียด การสร้างแบบจำลอง CAD/CAE และการสร้างเครื่องต้นแบบในขั้นตอนถัดไปของการวิจัย

การออกแบบเครื่องด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ภายหลังจากการกำหนดข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมของระบบและชิ้นส่วนจาก QFD เฟสที่ 2 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบรายละเอียดของเครื่องผสม

และอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (Computer-Aided Design: CAD) เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของเครื่องและองค์ประกอบหลัก ได้แก่ โครงสร้างและฐานเครื่อง ชุดผสม ชุดอัดเม็ด มอเตอร์และระบบส่งกำลัง ระบบปรับช่องว่างการอัด และอุปกรณ์ความปลอดภัย

การออกแบบดำเนินการโดยกำหนดขนาดชิ้นส่วน ตำแหน่งการติดตั้ง และความสัมพันธ์ของกลไกให้สอดคล้องกับค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมที่ได้จากกระบวนการ QFD รวมถึงคำนึงถึงความเหมาะสมด้านการประกอบ การใช้งาน และการบำรุงรักษาในสภาพแวดล้อมระดับชุมชน ตลอดจนการเลือกวัสดุและรูปแบบโครงสร้างที่สามารถผลิตได้ด้วยเครื่องมือพื้นฐานและมีต้นทุนเหมาะสม

แบบจำลองที่ได้ถูกจัดทำเป็นแบบประกอบ (Assembly Drawing) และแบบรายละเอียดชิ้นส่วน (Detail Drawing) เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบจริง โดยการใช้โปรแกรม CAD ช่วยให้สามารถตรวจสอบการจัดวางชิ้นส่วน ลดความคลาดเคลื่อนในการผลิต และเพิ่มความถูกต้องของกระบวนการสร้างเครื่องก่อนการผลิตจริงในขั้นตอนถัดไปของการวิจัย

การทดลองและประเมินสมรรถนะของเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ภายหลังการออกแบบและสร้างเครื่องผสมพร้อมอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ต้นแบบ งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในระดับชุมชน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันว่าเครื่องที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมและความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ (1) ความสามารถในการผลิตและคุณภาพเม็ดปุ๋ย (2) การใช้พลังงานและประสิทธิภาพด้านพลังงานของเครื่อง และ (3) การประเมินคุณภาพเครื่องจากผู้ใช้งาน

1) การทดสอบความสามารถในการผลิตและคุณภาพเม็ดปุ๋ย

การทดสอบดำเนินการโดยใช้วัตถุดิบปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณคงที่ต่อรอบการทดลอง และป้อนเข้าสู่ระบบผสมและระบบอัดเม็ดตามขั้นตอนการใช้งานเครื่องจริง ทำการทดลองซ้ำหลายครั้งเพื่อประเมินความสม่ำเสมอของผลลัพธ์ ตัวแปรที่ใช้ประเมิน ได้แก่ ปริมาณเม็ดปุ๋ยสมบูรณ์ ปริมาณปุ๋ยที่ไม่เป็นเม็ด ระยะเวลาในการผสมและอัดเม็ด อัตราการผลิต และประสิทธิภาพการอัดเม็ด ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้ใช้เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของชุดผสม

และชุดอัดเม็ด ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมด้านแรงอัด ความเร็วรอบ และกำลังการผลิตของเครื่อง

เพื่อประเมินความสามารถในการทำงานของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ย อินทรีย์ ผู้วิจัยกำหนดตัวชี้วัดด้านกำลังการผลิต โดยพิจารณาจากมวลของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อหน่วยเวลา ซึ่งสะท้อนสมรรถนะของระบบผสมและระบบอัดเม็ดโดยตรง ความสามารถในการผลิตคำนวณได้จากสมการที่ 9

$$Q = \frac{W}{t} \quad (9)$$

โดยที่

Q = ความสามารถในการผลิต (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

W = มวลเม็ดปุ๋ยที่ผลิตได้ (กิโลกรัม)

t = ระยะเวลาในการผลิต (ชั่วโมง)

ประสิทธิภาพของกระบวนการอัดเม็ดใช้เพื่อประเมินความสามารถของเครื่องในการเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นเม็ดปุ๋ยสมบูรณ์ โดยเปรียบเทียบมวลเม็ดปุ๋ยที่สมบูรณ์กับมวลวัตถุดิบทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบ คำนวณได้จากสมการที่ 10

$$\eta_p = \frac{W_p}{W_t} \times 100 \quad (10)$$

โดยที่

η_p = ประสิทธิภาพการอัดเม็ด (ร้อยละ)

W_p = มวลเม็ดปุ๋ยสมบูรณ์ (กิโลกรัม)

W_t = มวลวัตถุดิบทั้งหมด (กิโลกรัม)

เพื่อวิเคราะห์การสูญเสียในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยคำนวณสัดส่วนของวัสดุที่ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเม็ดปุ๋ยได้เมื่อเทียบกับวัตถุดิบทั้งหมด โดยใช้สมการที่ 11

$$\text{Loss} = \frac{W_{\text{unpellet}}}{W_t} \times 100 \quad (11)$$

โดยที่

$$W_{\text{unpellet}} = \text{มวลวัสดุที่ไม่เป็นเม็ด (กิโลกรัม)}$$

2) การทดสอบการใช้พลังงานและประสิทธิภาพด้านพลังงานของเครื่อง

การทดสอบด้านพลังงานใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้าเป็นแหล่งกำลังขับเคลื่อนหลักของระบบผสมและระบบอัดเม็ด โดยทำการวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกระบวนการผสมจนสิ้นสุดการอัดเม็ดในแต่ละรอบการทดลอง จากนั้นคำนวณอัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม) เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของเครื่อง การประเมินดังกล่าวสะท้อนความเหมาะสมของระบบส่งกำลังและการออกแบบเครื่องต่อบริบทการใช้งานในระดับชุมชน

เพื่อประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ผู้วิจัยทำการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างการทำงานของเครื่องตั้งแต่เริ่มป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ระบบผสมจนสิ้นสุดกระบวนการอัดเม็ด โดยใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Power/Energy Meter) ที่สามารถบันทึกค่าพลังงานสะสมเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) การประเมินดังกล่าวใช้เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของกำลังมอเตอร์และประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังในการใช้งานระดับชุมชน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของเครื่องคำนวณจากผลคูณของกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำงาน ดังสมการที่ 12

$$E = P \times t \quad (12)$$

โดยที่

$$E = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง, kWh)}$$

$$P = \text{กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์, kW)}$$

$$t = \text{ระยะเวลาในการทำงาน (ชั่วโมง)}$$

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องภายใต้สภาวะการทดลองต่าง ๆ ผู้วิจัยคำนวณอัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต ซึ่งเป็นตัวชี้วัดมาตรฐานของเครื่องจักรแปรรูปวัสดุ โดยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับมวลผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังสมการที่ 13

$$SEC = \frac{E}{W} \quad (13)$$

โดยที่

SEC = อัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม, kWh/kg)

E = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)

W = มวลเม็ดปุ๋ยที่ผลิตได้ (kg)

3) การประเมินคุณภาพเครื่องผสมพร้อมอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

การประเมินคุณภาพเครื่องดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานจริงในชุมชน โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) ครอบคลุมด้านความสะดวกในการใช้งาน ความปลอดภัย ความเหมาะสมกับบริบทชุมชน ความสะดวกในการบำรุงรักษา และความพึงพอใจโดยรวม จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อสะท้อนระดับคุณภาพและความเหมาะสมของเครื่องในเชิงการใช้งานจริง การประเมินคุณภาพเครื่อง ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เพื่ออธิบายแนวโน้มและความแปรปรวนของผลการทดลอง เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลและลดความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยสุ่ม

เพื่อแสดงค่ากลางของผลการทดลองในแต่ละสภาวะ ผู้วิจัยคำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการทดลองซ้ำ ดังสมการที่ 14

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (14)$$

โดยที่

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

X_i = ค่าที่วัดได้ครั้งที่ i

n = จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ

เพื่อแสดงการกระจายตัวของข้อมูลรอบค่าเฉลี่ย ผู้วิจัยคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังสมการที่ 15

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (15)$$

โดยที่

SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4) การวิเคราะห์และการแปลผล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งสามส่วนถูกนำมาวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมที่กำหนดไว้ในกระบวนการ QFD เพื่อพิจารณาความสามารถของเครื่องในการตอบสนองความต้องการของชุมชน ผลการวิเคราะห์ใช้เพื่อยืนยันความถูกต้องของการออกแบบและใช้เป็นข้อมูลสำหรับอภิปรายผลและข้อเสนอแนะในการพัฒนาเครื่องในขั้นตอนถัดไปของงานวิจัย โดยแปลผลค่าเฉลี่ยตามเกณฑ์ ดังนี้

- 4.50 – 5.00 หมายถึง ดีมาก
- 3.50 – 4.49 หมายถึง ดี
- 2.50 – 3.49 หมายถึง ปานกลาง
- 1.50 – 2.49 หมายถึง น้อย
- 1.00 – 1.49 หมายถึง น้อยมาก

การวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ภายหลังการทดสอบสมรรถนะของเครื่องต้นแบบ งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริงในระดับชุมชน โดยพิจารณาทั้งต้นทุนการลงทุน ต้นทุนการดำเนินงาน และผลตอบแทนจากการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ในขั้นตอนแรกทำการรวบรวมต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (Capital Expenditure: CAPEX) ซึ่งประกอบด้วยค่าโครงสร้างเครื่อง ชุดอัดเม็ด ชุดผสม มอเตอร์และระบบส่งกำลัง ระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุม รวมถึงค่าแรงในการผลิตและประกอบเครื่อง จากนั้นคำนวณต้นทุนการดำเนินงาน (Operating Expenditure: OPEX) โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน ได้แก่ ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา ค่าแรงผู้ปฏิบัติงาน และค่าวัสดุสิ้นเปลือง

ขั้นตอนต่อมาได้คำนวณต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (บาทต่อกิโลกรัม) จากความสามารถในการผลิตของเครื่องที่ได้จากการทดลอง และเปรียบเทียบกับราคาจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในชุมชน เพื่อหาจุดคุ้มทุน (Break-Even Point: BEP) โดยพิจารณาปริมาณการผลิตที่ทำให้รายรับเท่ากับรายจ่าย และคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP) จากอัตราผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับต่อปี

ซึ่งต้นทุนการผลิตต่อหน่วยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างต้นทุนดำเนินงานรวมต่อปีและปริมาณการผลิตต่อปีดังสมการที่ 16

$$C_u = \frac{\text{OPEX}}{Q_{\text{year}}} \quad (16)$$

โดยที่

C_u = ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (บาท/กิโลกรัม)

OPEX = ต้นทุนการดำเนินงานต่อปี (บาท/ปี)

Q_{year} = ปริมาณการผลิตต่อปี (กิโลกรัม/ปี)

เพื่อใช้ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน รายได้สุทธิคำนวณจากรายได้จากการจำหน่ายหักด้วยต้นทุนดำเนินงาน ดังสมการที่ 17

$$\text{Profit} = (P \times Q_{\text{year}}) - \text{OPEX} \quad (17)$$

โดยที่

P = ราคาจำหน่ายต่อหน่วย (บาท/กิโลกรัม)

โดยการคำนวณจุดคุ้มทุนคือปริมาณการผลิตที่ทำให้รายรับเท่ากับรายจ่าย
คำนวณได้จากสมการที่ 18

$$BEP = \frac{FC}{P - VC} \quad (18)$$

โดยที่

FC = ต้นทุนคงที่ (บาท/ปี)

VC = ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (บาท/กิโลกรัม)

P = ราคาจำหน่ายต่อหน่วย (บาท/กิโลกรัม)

โดยการคำนวณระยะเวลาคืนทุนใช้ประเมินระยะเวลาที่รายได้สุทธิสามารถ
ชดเชยต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น คำนวณได้จากสมการที่ 19

$$PBP = \frac{CAPEX}{\text{Annual Net Profit}} \quad (19)$$

โดยที่

$CAPEX$ (Capital Expenditure) = ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (บาท)

Annual Net Profit = กำไรสุทธิต่อปี (บาท/ปี)

ผลการวิเคราะห์ใช้เพื่อประเมินความเหมาะสมในการลงทุนและศักยภาพของ
เครื่องในการสร้างรายได้ให้กับชุมชน รวมทั้งใช้ประกอบการพิจารณาความคุ้มค่าของการ
พัฒนาเครื่องร่วมกับผลการทดสอบสมรรถนะและการใช้พลังงาน ทั้งนี้การวิเคราะห์
เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมช่วยยืนยันว่าเครื่องที่พัฒนาขึ้นไม่เพียงมีประสิทธิภาพทางเทคนิค
แต่ยังมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ประโยชน์เชิงเศรษฐกิจในระดับชุมชนอย่างยั่งยืน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้นำเสนอผลการวิจัยที่ได้จากการดำเนินงานตามขั้นตอนวิธีวิจัยที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 ซึ่งมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ในระดับชุมชน โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เป็นกรอบแนวคิดหลักของงานวิจัย ผลการวิจัยครอบคลุมตั้งแต่การวิเคราะห์ความต้องการของชุมชนผู้ใช้งาน การแปลงความต้องการดังกล่าวเป็นคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมผ่าน QFD เฟส 1 และการถ่ายทอดคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมไปสู่ข้อกำหนดระดับระบบและชิ้นส่วนด้วย QFD เฟส 2

นอกจากนี้ บทนี้ยังนำเสนอผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบด้วยการใช้เทคโนโลยีช่วยออกแบบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (CAD/CAE) ผลการทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ตลอดจนผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในบริบทการใช้งานระดับชุมชน ทั้งนี้ ผลลัพธ์ที่ได้นำไปใช้ในการอภิปรายผลในบทถัดไป เพื่อสะท้อนถึงความเหมาะสมของการประยุกต์ใช้ QFD ในการพัฒนาเครื่องจักรที่ตอบสนองต่อความต้องการของชุมชนอย่างเป็นระบบและยั่งยืน

ผลการวิเคราะห์ความต้องการของชุมชนผู้ใช้งาน (Community Voice of Customer: C-VoC)

จากการรวบรวมข้อมูลความต้องการของชุมชนผู้ใช้งานเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ โดยการสัมภาษณ์เชิงลึกและการสนทนากลุ่มกับเกษตรกรและผู้แทนชุมชนตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 พบว่าความต้องการของชุมชนสามารถสังเคราะห์และจัดกลุ่มเป็นรายการความต้องการหลักที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะการทำงานของเครื่อง คุณภาพของเม็ดปุ๋ย ความสะดวกในการใช้งาน ต้นทุน และความเหมาะสมกับบริบทชุมชน ดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

1. รายการความต้องการของชุมชนผู้ใช้งานเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ย

อินทรีย์

1.1 เครื่องสามารถผสมวัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้วัตถุดิบปุ๋ยอินทรีย์มีการกระจายตัวที่ดี ลดการจับตัวเป็นก้อน และช่วยให้คุณภาพของเม็ดปุ๋ยมีความสม่ำเสมอ

1.2 เม็ดปุ๋ยที่ได้มีขนาดสม่ำเสมอและอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการใช้งานโดยชุมชนต้องการเม็ดปุ๋ยที่มีขนาดใกล้เคียงกัน เพื่อความสะดวกในการใช้งานและการบรรจุ รวมถึงลดการสูญเสียระหว่างการขนส่งและใช้งาน

1.3 เม็ดปุ๋ยมีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่ายเพื่อลดปริมาณปุ๋ยที่ไม่เป็นเม็ด และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานจริงในแปลงเกษตร

1.4 เครื่องสามารถใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อนชุมชนต้องการเครื่องที่มีขั้นตอนการใช้งานไม่ยุ่งยาก สามารถเรียนรู้และใช้งานได้โดยไม่ต้องอาศัยทักษะทางเทคนิคขั้นสูง

1.5 เครื่องใช้พลังงานไฟฟ้าในระดับต่ำและเหมาะสม เพื่อลดต้นทุนการดำเนินงานและสอดคล้องกับข้อจำกัดด้านพลังงานในระดับชุมชน

1.6 เครื่องสามารถบำรุงรักษาและซ่อมแซมได้ภายในชุมชนโดยใช้เครื่องมือพื้นฐานและอะไหล่ที่หาได้ง่าย เพื่อลดระยะเวลาหยุดใช้งานและต้นทุนการซ่อมบำรุง

1.7 ต้นทุนการลงทุนของเครื่องอยู่ในระดับที่ชุมชนสามารถยอมรับได้โดยต้นทุนทั้งในด้านราคาซื้อเครื่องและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งค่าพลังงาน เพื่อให้เหมาะสมกับศักยภาพทางเศรษฐกิจของชุมชน

1.8 เครื่องมีความแข็งแรง ทนทาน และสามารถใช้งานต่อเนื่องได้เพื่อรองรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงของชุมชนและยืดอายุการใช้งานของเครื่อง

2. ระดับความสำคัญของความต้องการของชุมชน (Importance Rating)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการของชุมชนผู้ใช้งานเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกและการสนทนากลุ่มตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการประเมินระดับความสำคัญของความต้องการของชุมชน (Importance Rating) เพื่อสะท้อนลำดับความสำคัญของประเด็นที่ผู้ใช้งานให้ความสำคัญมากน้อยแตกต่างกัน ทั้งนี้การให้คะแนนความสำคัญใช้มาตราส่วน 5 ระดับ โดยกำหนดให้ค่าคะแนน 1 แทนความสำคัญในระดับต่ำที่สุด และค่าคะแนน 5 แทนความสำคัญในระดับสูงที่สุด ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ระดับความสำคัญของความต้องการของชุมชนผู้ใช้งานเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

รหัส (WHATs)	ความต้องการของชุมชน (WHATs)	ค่าคะแนนความสำคัญ Importance
W1	ผสมวัตถุดิบได้สม่ำเสมอ	5
W2	เม็ดปุ๋ยมีขนาดสม่ำเสมอ (3–6 มม.)	5
W3	เม็ดปุ๋ยแตกหักน้อย	4
W4	ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน	4
W5	ต้นทุนเครื่องไม่สูง	4
W6	บำรุงรักษาได้ในชุมชน	3
W7	ใช้พลังงานต่ำ	3

จากตาราง 4 แสดงผลการประเมินระดับความสำคัญของความต้องการของชุมชนผู้ใช้งานเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการสัมภาษณ์ และการสนทนากลุ่มตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 พบว่าความต้องการที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะการทำงานและคุณภาพของเม็ดปุ๋ย ได้แก่ ความสม่ำเสมอในการผสม ขนาดเม็ดปุ๋ย และความแข็งแรงของเม็ดปุ๋ย ได้รับคะแนนความสำคัญในระดับสูงที่สุด ในขณะที่ความต้องการด้านความสะดวกในการใช้งาน การใช้พลังงาน และการบำรุงรักษา ได้รับคะแนนในระดับปานกลางถึงสูง ซึ่งสะท้อนถึงบริบทการใช้งานจริงและข้อจำกัดด้านทรัพยากรของชุมชน

3. การสังเคราะห์ความต้องการของชุมชนเพื่อใช้ในกระบวนการ QFD

จากผลการวิเคราะห์รายการความต้องการของชุมชนผู้ใช้งานเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ในข้อ 1 และผลการประเมินระดับความสำคัญของความต้องการในข้อ 2 งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการสังเคราะห์ความต้องการของชุมชน (Community Voice of Customer: C-VoC) เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการนำไปใช้ในกระบวนการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เฟส 1 โดยมุ่งเน้นการปรับความต้องการเชิงนามธรรมของผู้ใช้งานให้มีความชัดเจน เป็นระบบ และเหมาะสมต่อการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรม ดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 การสังเคราะห์ความต้องการของชุมชน (C-VoC) เป็นรายการ WHATs สำหรับการวิเคราะห์ QFD เฟส 1

รหัส C-VoC	ข้อความความต้องการจากชุมชน (C-VoC)	การสังเคราะห์เชิงวิศวกรรม	รหัส WHATs	รายการ WHATs ที่ใช้ใน HOQ
C1	อยากให้ปั๊มผสมเข้ากันดี ไม่เป็นก้อน	ปรับเป็นความต้องการด้านความ แข็งแรง	W1	เครื่องสามารถผสมวัตถุดิบได้อย่าง สม่ำเสมอ
C2	เม็ดปั๊มควรมีขนาดใกล้เคียงกัน	ปรับเป็นความต้องการด้านคุณภาพ เม็ด	W2	เม็ดปั๊มมีขนาดสม่ำเสมอและเหมาะสมต่อ การใช้งาน
C3	เม็ดไม่แตกง่ายเวลาชนหรือใช้งาน	ปรับเป็นความต้องการด้านความ แข็งแรง	W3	เม็ดปั๊มมีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย
C4	เครื่องไม่ควรใช้งานยุ่งยาก	ปรับเป็นความต้องการด้านการใช้งาน	W4	เครื่องสามารถใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน
C5	ค่าไฟไม่ควรสูงเกินไป	ปรับเป็นความต้องการด้านพลังงาน	W5	เครื่องใช้พลังงานไฟฟ้าในระดับต่ำและ เหมาะสม
C6	ซ่อมเองได้ในชุมชน ไม่ต้องพึ่งช่างเฉพาะ	ปรับเป็นความต้องการด้านการ บำรุงรักษา	W6	เครื่องสามารถบำรุงรักษาและซ่อมแซมได้ ภายในชุมชน
C7	ราคาเครื่องไม่ควรแพงเกินกำลังชุมชน	ปรับเป็นความต้องการด้านต้นทุน	W7	ต้นทุนการลงทุนของเครื่องอยู่ในระดับที่ ชุมชนยอมรับได้
C8	อยากให้เครื่องใช้งานได้นาน แข็งแรง	ปรับเป็นความต้องการด้านความ ทนทาน	W8	เครื่องมีความแข็งแรง ทนทาน และใช้งาน ได้ต่อเนื่อง

ตาราง 5 แสดงผลการสังเคราะห์ความต้องการของชุมชนผู้ใช้งาน (Community Voice of Customer: C-VoC) จากถ้อยคำเชิงประสบการณ์ของผู้ใช้งาน ไปสู่รายการความต้องการเชิงโครงสร้าง (WHATs) ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในกระบวนการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) เฟส 1 ทั้งนี้การสังเคราะห์ดังกล่าวช่วยลดความซ้ำซ้อนของความต้องการ และทำให้สามารถเชื่อมโยงความต้องการของชุมชนกับการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมได้อย่างเป็นระบบ

ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาชุมชน

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาชุมชนในงานวิจัยนี้อาศัยเครื่องมือวิเคราะห์เชิงคุณภาพที่เหมาะสมกับงานวิจัยด้านการออกแบบเชิงวิศวกรรม ได้แก่ แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) และเทคนิคการวิเคราะห์รากสาเหตุด้วยการตั้งคำถามแบบต่อเนื่อง (5 Whys) ตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุสาเหตุหลักและสาเหตุนอกของปัญหาที่แท้จริง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นในการกำหนดคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมและการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ในขั้นตอนถัดไป ดังแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram)

ผลการวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลาพบว่าสาเหตุของปัญหาสามารถจัดกลุ่มได้เป็นปัจจัยหลักหลายด้าน ได้แก่ ด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์ ด้านวัตถุดิบ ด้านกระบวนการทำงาน ด้านผู้ปฏิบัติงาน และด้านสภาพแวดล้อมการใช้งาน พบว่าปัญหาลำคัญเกี่ยวข้องกับข้อจำกัดของสมรรถนะเครื่อง เช่น การควบคุมแรงอัดที่ไม่สม่ำเสมอ โครงสร้างเครื่องที่ยังไม่เหมาะสมต่อการใช้งานต่อเนื่อง และระบบส่งกำลังที่ไม่สามารถรองรับภาระโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของเม็ดปุ๋ยไม่สม่ำเสมอและเกิดการแตกหักได้ง่าย ดังแสดงในภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 การวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram)

จากภาพประกอบ 10 แผนภูมิก้างปลาแสดงผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งสามารถจำแนกสาเหตุออกเป็น 5 ด้านหลัก ได้แก่ ด้านกระบวนการทำงาน ด้านวัตถุดิบ ด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์ ด้านผู้ปฏิบัติงาน และด้านสภาพแวดล้อมการใช้งาน ผลการวิเคราะห์สะท้อนให้เห็นว่าปัญหาดังกล่าวมีลักษณะเชิงระบบและเกิดจากหลายปัจจัยที่เชื่อมโยงกัน ข้อมูลจากการวิเคราะห์นี้ถูกนำไปใช้เป็นฐานในการวิเคราะห์รากสาเหตุด้วยเทคนิค 5 Whys และใช้ประกอบการกำหนดคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมในกระบวนการ QFD เพื่อการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ให้เหมาะสมกับบริบทชุมชนในขั้นตอนถัดไป

2. ผลการวิเคราะห์รากสาเหตุด้วยเทคนิค 5 Whys

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค 5 Whys ดำเนินการโดยคัดเลือกสาเหตุสำคัญจากแต่ละปัจจัยหลักที่ได้จากแผนผังก้างปลา แล้วตั้งคำถาม “ทำไม” อย่างต่อเนื่องจนสามารถระบุสาเหตุรากที่ไม่สามารถแตกย่อยได้อีกในเชิงปฏิบัติ ผลการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุรากของปัญหาส่วนใหญ่ไม่ได้เกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลจากข้อจำกัดเชิงโครงสร้างของเครื่องจักรและกระบวนการทำงานที่ยังไม่เหมาะสมกับบริบทการใช้งานในระดับชุมชน ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์รากสาเหตุของปัญหาด้วยเทคนิค 5 Whys

ปัญหาหลัก	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	Why 5 รากสาเหตุ (Root Cause)
คุณภาพเม็ดปุ๋ยไม่สม่ำเสมอ	เม็ดปุ๋ยแตกหักและขนาดไม่เท่ากัน	แรงอัดไม่สม่ำเสมอ	ไม่สามารถปรับแรงอัดให้เหมาะกับสูตรวัตถุดิบ	เครื่องไม่มีระบบปรับตั้งแรงอัดที่ยืดหยุ่น	การออกแบบชุดอัดเม็ดไม่รองรับความแปรปรวนของวัตถุดิบ
การผสมวัตถุดิบไม่ทั่วถึง	วัตถุดิบจับตัวเป็นก้อน	ระบบผสมกระจายวัตถุดิบไม่ดี	รูปแบบใบกวนและความเร็วรอบไม่เหมาะสม	ไม่มีแนวทางปรับตั้งตามชนิดวัตถุดิบ	การออกแบบระบบผสมไม่สอดคล้องกับลักษณะวัตถุดิบชุมชน
ประสิทธิภาพการทำงานต่ำ	ใช้เวลาผลิตต่อหน่วยสูง	เครื่องทำงานไม่ต่อเนื่อง	ระบบส่งกำลังถ่ายแรงไม่เต็มประสิทธิภาพ	เลือกอัตราทดและมอเตอร์ไม่เหมาะสม	การกำหนดสเปกชุดส่งกำลังไม่สอดคล้องภาระโหลดจริง
ใช้งานเครื่องได้ยาก	ต้องปรับตั้งบ่อย	การตั้งค่าเครื่องไม่ชัดเจน	ผู้ใช้งานขาดความเข้าใจการตั้งค่า	เครื่องไม่มีมาตรวัดหรือจุดอ้างอิง	การออกแบบเครื่องไม่คำนึงถึงความง่ายในการใช้งาน
เครื่องขัดข้องบ่อย	เครื่องหยุดทำงานระหว่างใช้งาน	การสึกหรอของชิ้นส่วนสูง	ขาดการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	ชิ้นส่วนเข้าถึงยาก	การออกแบบโครงสร้างไม่เอื้อต่อการบำรุงรักษา
การทำงานไม่เสถียร	ความเร็วรอบเปลี่ยนแปลง	แรงดันไฟฟ้าไม่คงที่	ระบบไฟฟ้าในพื้นที่ไม่เสถียร	เครื่องไม่มีระบบป้องกันไฟตก	การออกแบบระบบไฟฟ้าไม่เหมาะสมกับบริบทชุมชน

จากตาราง 6 แสดงผลการวิเคราะห์รากสาเหตุของปัญหาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในระดับชุมชนด้วยเทคนิค 5 Whys โดยการตั้งคำถามเชิงลึกอย่างต่อเนื่องจากปัญหาที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังกังปลา ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าสาเหตุรากของปัญหาส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับข้อจำกัดด้านการออกแบบเครื่อง ระบบการทำงาน และการปรับตั้งค่าที่ไม่สอดคล้องกับความแปรปรวนของวัตถุดิบและบริบทการใช้งานจริงในระดับชุมชน ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นในการกำหนดคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมและการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ในขั้นตอนถัดไปของงานวิจัย

3. ผลสรุปรากสาเหตุเชิงออกแบบ (Design-oriented Root Causes)

ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าการออกแบบเครื่องในลักษณะเชิงอุตสาหกรรมโดยไม่ได้ปรับให้เหมาะสมกับบริบทชุมชน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสมรรถนะที่คาดหวังกับการใช้งานจริง ส่งผลให้คุณภาพเม็ดปุ๋ยไม่สม่ำเสมอ ประสิทธิภาพการทำงานต่ำ และเกิดปัญหาการใช้งานและการบำรุงรักษาในระยะยาว ซึ่งผลการสังเคราะห์พบว่ารากสาเหตุเชิงออกแบบที่สำคัญสามารถจำแนกออกเป็นหลายประเด็นหลัก ได้แก่ การออกแบบระบบผสมและระบบอัดเม็ดที่ยังไม่สามารถรองรับความแปรปรวนของวัตถุดิบในระดับชุมชนได้อย่างเพียงพอ การขาดกลไกการปรับตั้งค่าการทำงานที่ยืดหยุ่นและเข้าใจง่ายสำหรับผู้ใช้งาน การเลือกใช้ระบบส่งกำลังและโครงสร้างเครื่องที่ยังไม่เหมาะสมกับภาระโหลดและ การใช้งานต่อเนื่องการออกแบบเครื่องที่ยังไม่คำนึงถึงข้อจำกัดด้านทักษะผู้ใช้งาน การบำรุงรักษา และสภาพแวดล้อมการใช้งานจริงในระดับชุมชน ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 ผลการเชื่อมโยงรากสาเหตุเชิงออกแบบกับคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม

รหัส DRC	รากสาเหตุเชิงออกแบบ (Design-oriented Root Cause)	ผลกระทบต่อการใช้งาน/คุณภาพ	รหัส ECs	คุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (Engineering Characteristics)
DRC1	ระบบผสมไม่รองรับความแปรปรวนของ วัตถุดิบ	วัตถุดิบผสมไม่สม่ำเสมอ เม็ดปุยคุณภาพต่ำ	EC1	ความสม่ำเสมอของการผสมวัตถุดิบ
DRC2	ระบบอัดเม็ดไม่สามารถปรับแรงอัดได้ ยืดหยุ่น	เม็ดปุยแตกหัก ขนาดไม่สม่ำเสมอ	EC2	ช่วงแรงอัดและการปรับแรงอัดได้
DRC3	รูปแบบชุดอัดไม่เหมาะกับสูตรปุยหลาย ชนิด	ประสิทธิภาพการอัดเม็ดต่ำ	EC3	ประสิทธิภาพชุดอัดเม็ด (Die-Roller Performance)
DRC4	ระบบส่งกำลังไม่เหมาะสมกับภาระโหลดจริง	เครื่องทำงานไม่ต่อเนื่อง สิ้นเปลืองพลังงาน	EC4	ประสิทธิภาพระบบส่งกำลัง
DRC5	การตั้งค่าการทำงานขาดความชัดเจน	ใช้งานยาก ต้องปรับตั้งบ่อย	EC5	ความง่ายในการปรับตั้งและควบคุม เครื่อง
DRC6	การออกแบบไม่เอื้อต่อการบำรุงรักษา	เครื่องขัดข้องบ่อย เวลาหยุดเครื่องสูง	EC6	ความสะดวกในการบำรุงรักษา
DRC7	โครงสร้างเครื่องไม่เหมาะสมกับการใช้งาน ต่อเนื่อง	ความทนทานต่ำ อายุการใช้งานสั้น	EC7	ความแข็งแรงและความทนทานของ โครงสร้าง
DRC8	ระบบไฟฟ้าไม่รองรับสภาพแวดล้อมชุมชน	การทำงานไม่เสถียร	EC8	ความเสถียรของระบบไฟฟ้าและควบคุม

จากตาราง 7 แสดงการเชื่อมโยงระหว่างรากสาเหตุเชิงออกแบบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลาและเทคนิค 5 Whys กับคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (Engineering Characteristics: ECs) ที่ใช้ในกระบวนการ QFD เฟส 1 การเชื่อมโยงดังกล่าวช่วยให้การแปลงปัญหาเชิงระบบของชุมชนไปสู่ตัวแปรเชิงวิศวกรรมเป็นไปอย่างเป็นระบบ และมีเหตุผล รองรับการกำหนดลำดับความสำคัญทางเทคนิคและการออกแบบเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนถัดไปของงานวิจัย

ผลการประยุกต์ใช้ QFD เฟส 1 (House of Quality: HOQ)

ผลการวิเคราะห์ด้วยเมทริกซ์ House of Quality ที่นำเสนอในหัวข้อนี้จึงสะท้อนให้เห็นบทบาทของ QFD ในฐานะแกนกลางของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของงานวิจัย โดยทำหน้าที่เชื่อมโยงข้อมูลเชิงคุณภาพจากชุมชนกับการกำหนดตัวแปรเชิงวิศวกรรมอย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการกำหนดค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมและการดำเนินการใน QFD เฟสถัดไป ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของชุมชน (WHATs) และคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (ECs)

ผลการวิเคราะห์ในเมทริกซ์ House of Quality พบว่า ความต้องการของชุมชนที่ได้รับคะแนนความสำคัญสูง เช่น ความสม่ำเสมอในการผสมวัตถุดิบ คุณภาพและความแข็งแรงของเม็ดปุ๋ย และความสามารถในการใช้งานเครื่องได้ง่าย มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบผสม ระบบอัดเม็ด และความสามารถในการปรับตั้งค่าการทำงานของเครื่อง ขณะที่ความต้องการด้านการใช้พลังงานและการบำรุงรักษามีความสัมพันธ์เด่นชัดกับคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมด้านประสิทธิภาพระบบส่งกำลัง ความเสถียรของระบบไฟฟ้า และการออกแบบโครงสร้างที่เอื้อต่อการซ่อมบำรุง ดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่าง WHATs-HOWs (Relationship Matrix)

		IMP: Importance Rating	คุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (HOWs)						
			H1 กำลังมอเตอร์ (kW)	H2 ความเร็วรอบระบบผสม (rpm)	H3 แรงอัดของระบบอัดเม็ด (kN)	H4 ขนาดรูตาย (mm)	H5 ระยะช่องว่างการอัด (mm)	H6 กำลังการผลิต (kg/h)	H7 อัตราการใช้พลังงาน (kWh/kg)
WHATs (ความต้องการของชุมชนผู้ใช้งาน)	W1 ผสมวัตถุดิบได้สม่ำเสมอ	5	3	9				3	
	W2 เม็ดปุ๋ยขนาดสม่ำเสมอ (3-6 mm)	5			9	9	9		
	W3 เม็ดปุ๋ยแตกหักน้อย	4			9	3	3		
	W4 ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน	4	1	3					
	W5 ใช้พลังงานต่ำ	4	9	3	1				9
	W6 บำรุงรักษาได้ในชุมชน	3	1		3				
	W7 ต้นทุนเครื่องไม่สูง	3	9	3	3	1			9
คะแนนรวมเชิงเทคนิค			85	78	103	60	57	15	63
สัดส่วน (%)			18.4	16.9	22.3	13.0	12.4	3.3	13.7
ลำดับ			2	3	1	5	6	7	4

จากตาราง 8 แสดงเมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของชุมชนผู้ใช้งาน (WHATs) และคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ (Engineering Characteristics: ECs) ภายใต้การประยุกต์ใช้เทคนิค QFD เฟส 1 (House of Quality) โดยกำหนดระดับความสัมพันธ์เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความสัมพันธ์สูง (9) ปานกลาง (3) และต่ำ (1) ผลการคำนวณคะแนนลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคของ ECs จากค่า Importance Rating และเมทริกซ์ความสัมพันธ์ พบว่า แรงอัดของระบบอัดเม็ด (H3) มีคะแนนความสำคัญสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 22.3 รองลงมาคือ กำลังมอเตอร์ (H1) และความเร็วนรอบระบบผสม (H2) ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนถึงคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมที่มีบทบาทสำคัญต่อการตอบสนองความต้องการของชุมชน และถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมและการดำเนินการใน QFD เฟสถัดไป

2. ผลการคำนวณลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคของคุณลักษณะเชิง

วิศวกรรม (Technical Priority of ECs)

ภายหลังการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของชุมชน (WHATs) และคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (ECs/HOWs) ด้วยเมทริกซ์ House of Quality ในหัวข้อ 1. งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการคำนวณลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคของคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม เพื่อระบุประเด็นทางวิศวกรรมที่ควรให้ความสำคัญเป็นลำดับต้นในการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ระดับชุมชน ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 ผลการคำนวณลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคของ ECs

รหัส ECs (HOWs)	คะแนนรวม เชิงเทคนิค	สัดส่วน (%)	ระดับ ความสำคัญ
H3 แรงอัดระบบอัดเม็ด (kN)	103	22.3	1
H1 กำลังมอเตอร์ (kW)	85	18.4	2
H2 ความเร็วรอบระบบผสม (rpm)	78	16.9	3
H7 อัตราการใช้พลังงาน (kWh/kg)	63	13.7	4
H4 ขนาดรูตาย (mm)	60	13.0	5
H5 ระยะช่องว่างการอัด (mm)	57	12.4	6
H6 กำลังการผลิต (kg/h)	15	3.3	7

จากตาราง 9 แสดงผลการคำนวณลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคของคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (Engineering Characteristics: ECs/HOWs) ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เฟส 1 โดยคำนวณจากผลรวมของค่าความสำคัญของความต้องการของชุมชน (Importance Rating) คูณกับระดับความสัมพันธ์ระหว่าง WHATs และ ECs ตามเกณฑ์ที่กำหนด (9-3-1) ค่าลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคที่ได้สะท้อนระดับอิทธิพลของคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมแต่ละรายการต่อการตอบสนองความต้องการของชุมชนในภาพรวม และถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดลำดับการออกแบบ การกำหนดค่าเป้าหมายทางวิศวกรรม และการดำเนินการในขั้นตอน QFD เฟสถัดไปของงานวิจัย

3. ผลค่าเป้าหมายทางวิศวกรรม (Engineering Targets) ของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

ผลการกำหนดค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมพบว่า คุณลักษณะเชิงวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบอัดเม็ดและระบบผสม เช่น แรงอัดของชุดอัดเม็ด ความเร็วรอบของระบบผสม และกำลังมอเตอร์ เป็นประเด็นที่ต้องให้ความสำคัญเป็นลำดับต้น เนื่องจากมีอิทธิพลโดยตรงต่อความสม่ำเสมอของเม็ดปุ๋ย คุณภาพผลิตภัณฑ์ และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง ขณะเดียวกัน ค่าเป้าหมายด้านการใช้พลังงานและความสะดวกในการใช้งานถูกกำหนดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับข้อจำกัดด้านต้นทุนและทรัพยากรของชุมชน เพื่อให้เครื่องสามารถนำไปใช้งานได้จริงและยั่งยืน ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 ค่าเป้าหมายทางวิศวกรรม (Engineering Targets) ของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

รหัส ECs (HOWs)	คุณลักษณะเชิงวิศวกรรม	หน่วย	ค่าเป้าหมาย
H3	แรงอัดระบบอัดเม็ด	(kN)	8 – 12
H1	กำลังมอเตอร์	(kW)	2.2 – 3.0
H2	ความเร็วรอบระบบผสม	(rpm)	40 – 60
H7	อัตราการใช้พลังงาน	(kWh/kg)	≤ 0.4
H4	ขนาดรูตาย	(mm)	3 – 6
H5	ระยะช่องว่างการอัด	(mm)	0.8 – 1.2
H6	กำลังการผลิต	(kg/h)	80 – 120

จากตาราง 10 แสดงค่าเป้าหมายทางวิศวกรรม (Engineering Targets) ของคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (ECs/HOWs) ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) เฟส 1 โดยกำหนดค่าเป้าหมายให้สอดคล้องกับลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคจากเมทริกซ์ House of Quality ร่วมกับข้อจำกัดด้านการใช้งานจริงในระดับชุมชน ค่าเป้าหมายดังกล่าวถูกกำหนดให้อยู่ในรูปของตัวแปรเชิงปริมาณที่สามารถวัด ตรวจสอบ และใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงในการออกแบบเชิงรายละเอียด การสร้างต้นแบบ และการประเมินสมรรถนะของเครื่องในขั้นตอนถัดไปของงานวิจัย

ผลการประยุกต์ใช้ QFD เฟส 2 (Part Deployment / Component HOQ)

การประยุกต์ใช้ QFD เฟส 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (Engineering Characteristics: ECs) และระบบ/ชิ้นส่วนหลักของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ รวมถึงการจัดลำดับความสำคัญของชิ้นส่วนที่มีผลต่อสมรรถนะ คุณภาพ และความเหมาะสมในการใช้งานในระดับชุมชน ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ถูกใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการออกแบบเชิงรายละเอียด การกำหนดข้อกำหนดชิ้นส่วน และการพัฒนาต้นแบบของเครื่อง มีรายละเอียดดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (ECs) และระบบ/ชิ้นส่วนของเครื่อง

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (ECs) และระบบ/ชิ้นส่วนของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ดำเนินการโดยการสร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ใน QFD เฟส 2 (Part Deployment Matrix) ซึ่งถ่ายทอดผลลัพธ์จาก QFD เฟส 1 ไปสู่ระดับชิ้นส่วน โดยกำหนดระดับความสัมพันธ์ระหว่าง ECs และชิ้นส่วนเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระดับสูง (9) ระดับปานกลาง (3) และระดับต่ำ (1) เพื่อสะท้อนระดับอิทธิพลของชิ้นส่วนต่อการบรรลุค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมของเครื่อง ดังแสดงในตารางที่ 11

ตาราง 11 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (ECs) และระบบ/ชิ้นส่วนของเครื่อง (QFD เฟส 2)

		คะแนนรวมเชิงเทคนิค	ระบบ/ชิ้นส่วน (Parts / Subsystems)						
			P1 มอเตอร์และชุดส่งกำลัง	P2 ชุดผสม	P3 ชุดอัดเม็ด	P4 โครงสร้างและฐานเครื่อง	P5 ชุดรองรับเพลลาและแบ่งเรียง	P6 ระบบปรับช่องว่างการอัด	P7 ระบบควบคุมความปลอดภัย
คุณลักษณะเชิงวิศวกรรม	H1 กำลังมอเตอร์ (kW)	85	9	3	3				1
	H2 ความเร็วรอบระบบผสม (rpm)	78	9	9					3
	H3 แรงอัดของระบบอัดเม็ด (kN)	103	3		9	9	3	9	1
	H4 ขนาดรูตาย (mm)	60			9				
	H5 ระยะช่องว่างการอัด (mm)	57			9	3	9	9	
	H6 กำลังการผลิต (kg/h)	15	3	3	9			3	
	H7 อัตราการใช้พลังงาน (kWh/kg)	63	9	3	3				9
คะแนนรวมชิ้นส่วน			2250	1191	2559	1098	822	1485	989
สัดส่วน (%)			21.6	11.5	24.6	10.6	7.91	14.3	9.52
ลำดับ			2	4	1	5	7	3	6

จากตาราง 11 แสดงเมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (Engineering Characteristics: ECs) และระบบ/ชิ้นส่วนหลักของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ระดับชุมชน ภายใต้กระบวนการ QFD เฟส 2 (Part Deployment) โดยกำหนดระดับความสัมพันธ์เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความสัมพันธ์สูง (9) ปานกลาง (3) และต่ำ (1) จากผลการคำนวณลำดับความสำคัญของชิ้นส่วนพบว่า ชุดอัดเม็ด (P3) มีคะแนนความสำคัญสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 24.6 รองลงมาคือ มอเตอร์และชุดส่งกำลัง (P1) และ ระบบปรับช่องว่างการอัด (P6) ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนว่าชิ้นส่วนดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการบรรลุเป้าหมายทางวิศวกรรมของเครื่องมากที่สุด และควรได้รับการให้ความสำคัญเป็นลำดับแรกในการออกแบบรายละเอียดและการพัฒนาด้านแบบ

2. ผลการคำนวณลำดับความสำคัญของชิ้นส่วน (Part Priority)

ผลการคำนวณลำดับความสำคัญของชิ้นส่วนพบว่า ชุดอัดเม็ด (P3) มีคะแนน Part Priority สูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 24.6 ของคะแนนรวมทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าชิ้นส่วนดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อการบรรลุค่าเป้าหมายทางวิศวกรรม โดยเฉพาะคุณลักษณะด้านแรงอัด ขนาดเม็ด และคุณภาพเม็ดปุย รองลงมาคือ มอเตอร์และชุดส่งกำลัง (P1) ซึ่งมีคะแนนคิดเป็นร้อยละ 21.6 สะท้อนถึงความสำคัญของระบบส่งกำลังต่อสมรรถนะโดยรวมและการใช้พลังงานของเครื่อง ขณะที่ ระบบปรับช่องว่างการอัด (P6) มีคะแนนคิดเป็นร้อยละ 14.3 ซึ่งมีบทบาทในการควบคุมคุณภาพเม็ดและความเสถียรของกระบวนการอัดเม็ด ดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 ผลการคำนวณลำดับความสำคัญของชิ้นส่วน (Part Priority)

รหัส ระบบ/ชิ้นส่วนของเครื่อง	Part Priority Score	สัดส่วน (%)	ระดับความสำคัญ
P3 ชุดอัดเม็ด (Die-Roller)	2,559	24.6	1
P1 มอเตอร์และชุดส่งกำลัง	2,250	21.6	2
P6 ระบบปรับช่องว่างการอัด	1,485	14.3	3
P2 ชุดผสม	1,191	11.5	4
P4 โครงสร้างและฐานเครื่อง	1,090	10.6	5
P7 ระบบควบคุมและความปลอดภัย	989	9.52	6
P5 แปรงและชุดรองรับเพลลา	822	7.91	7

จากตาราง 12 พบว่า ชุดอัดเม็ด (P3) มีคะแนน Part Priority สูงสุด (24.6%) สะท้อนว่าเป็นชิ้นส่วนที่มีอิทธิพลต่อการบรรลุค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมของเครื่องมากที่สุด โดยเฉพาะคุณลักษณะด้านแรงอัด การควบคุมขนาดเม็ด และความสมบูรณ์ของเม็ดปุย รองลงมาคือ มอเตอร์และชุดส่งกำลัง (P1) (21.6%) ซึ่งสัมพันธ์กับสมรรถนะโดยรวมของเครื่องและการใช้พลังงาน และ ระบบปรับช่องว่างการอัด (P6) (14.3%) ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพเม็ดและความเสถียรของกระบวนการอัดเม็ด ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการออกแบบเชิงรายละเอียดควรมุ่งเน้นการพัฒนา P3-P1-P6 เป็น

ลำดับต้น เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของชุมชนและเป้าหมายทางวิศวกรรมจาก QFD เฟส 1

3. ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมของระบบและชิ้นส่วนหลัก (Part Specifications)

จากผลการคำนวณลำดับความสำคัญของชิ้นส่วนในหัวข้อ 2 พบว่า ชุดอัดเม็ด (P3) มอเตอร์และชุดส่งกำลัง (P1) และระบบปรับช่องว่างการอัด (P6) เป็นชิ้นส่วนที่มีลำดับความสำคัญสูงสุด และมีอิทธิพลโดยตรงต่อการบรรลุค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ระดับชุมชน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งกำหนดข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมของระบบและชิ้นส่วนหลักดังกล่าวเป็นลำดับแรก โดยอ้างอิงจากการประยุกต์ใช้ QFD เฟส 1 ค่าเป้าหมายทางวิศวกรรม (Engineering Targets) ในบทที่ 3 และข้อกำหนดด้านการผลิต การใช้งาน และทรัพยากรของชุมชน ดังต่อไปนี้

3.1 ชุดอัดเม็ด (P3) ชุดอัดเม็ดถูกกำหนดให้เป็นชิ้นส่วนหลักของเครื่อง เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเม็ดปุ๋ย ความสม่ำเสมอของขนาดเม็ด และอัตราการแตกหักของเม็ดปุ๋ย ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมของชุดอัดเม็ดจึงถูกกำหนดให้สอดคล้องกับค่าเป้าหมายด้านแรงอัดของระบบอัดเม็ด (H3) และขนาดรูตาย (H4) โดยกำหนดให้ระบบสามารถสร้างแรงอัดในช่วงที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ และเลือกใช้ขนาดรูตายที่ให้ขนาดเม็ดปุ๋ยอยู่ในช่วงที่ชุมชนต้องการ (3–6 มิลลิเมตร) วัสดุของตายและลูกกลิ้งอัดเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าผสมที่มีความแข็งแรงและทนต่อการสึกหรอ เพื่อรองรับการใช้งานต่อเนื่องในระดับชุมชน

3.2 มอเตอร์และชุดส่งกำลัง (P1) มอเตอร์และชุดส่งกำลังถูกกำหนดข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมให้สอดคล้องกับค่าเป้าหมายด้านกำลังมอเตอร์ (H1) และอัตราการใช้พลังงาน (H7) โดยเลือกขนาดกำลังมอเตอร์ที่เพียงพอต่อการขับเคลื่อนทั้งระบบผสมและระบบอัดเม็ดในสภาวะการทำงานปกติ พร้อมทั้งคำนึงถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ชุดส่งกำลังถูกออกแบบให้สามารถปรับอัตราทดได้ตามความเร็วรอบที่เหมาะสมของระบบผสมและระบบอัดเม็ด เพื่อลดการสูญเสียพลังงานและเพิ่มความเสถียรของการทำงาน ทั้งนี้ การเลือกใช้มอเตอร์และอุปกรณ์ส่งกำลังเน้นอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น และสามารถบำรุงรักษาได้โดยชุมชน

3.3 ระบบปรับช่องว่างการอัด (P6) ระบบปรับช่องว่างการอัดเป็นชิ้นส่วนที่มีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพเม็ดปุ๋ยและความสม่ำเสมอของกระบวนการอัดเม็ด

ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมของระบบนี้ถูกกำหนดให้สอดคล้องกับค่าเป้าหมายด้านระยะ ช่องว่างการอัด (H5) โดยออกแบบให้สามารถปรับระยะได้อย่างละเอียดและมีความแม่นยำ เพื่อรองรับวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันในแต่ละสูตรปุ๋ยอินทรีย์ กลไกการปรับถูก ออกแบบให้ใช้งานง่าย ลดความซับซ้อน และสามารถปรับตั้งได้โดยผู้ใช้งานในชุมชนโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ

3.4 ชิ้นส่วนสนับสนุนอื่น ๆ สำหรับชิ้นส่วนสนับสนุน ได้แก่ ชุดผสม (P2) โครงสร้างและฐานเครื่อง (P4) ระบบควบคุมและความปลอดภัย (P7) และแบร็กรับชุด รองรับเพลลา (P5) ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมถูกกำหนดให้สอดคล้องกับค่าเป้าหมายด้าน ความเร็วรอบระบบผสม (H2) กำลังการผลิต (H6) และความปลอดภัยในการใช้งาน โดย มุ่งเน้นความแข็งแรงของโครงสร้าง ความสะดวกในการบำรุงรักษา และความปลอดภัยของ ผู้ใช้งานเป็นหลัก เพื่อสนับสนุนการทำงานของชิ้นส่วนหลักให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสรุป การกำหนดข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมของระบบและชิ้นส่วนหลักใน QFD เฟส 2 เป็นการถ่ายทอดผลลัพธ์จาก QFD เฟส 1 และการคำนวณลำดับความสำคัญ ของชิ้นส่วนไปสู่ระดับการออกแบบเชิงรายละเอียดอย่างเป็นระบบ ข้อกำหนดดังกล่าวถูก นำไปใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการออกแบบด้วย CAD/CAE และการสร้างต้นแบบของ เครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ระดับชุมชนในขั้นตอนถัดไป

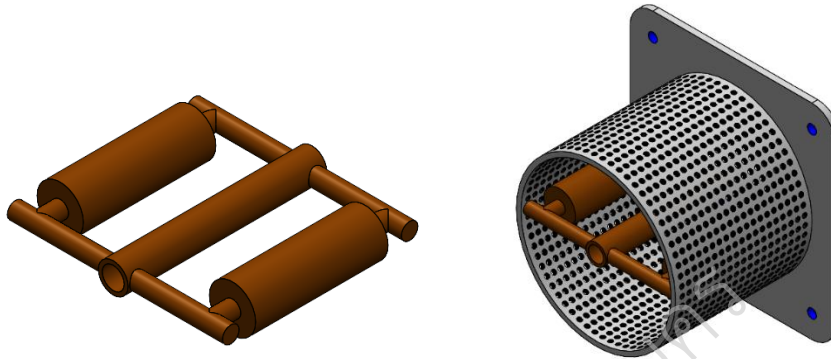
ผลการออกแบบเครื่องด้วย CAD ตามลำดับความสำคัญของชิ้นส่วน

การออกแบบเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ด้วยโปรแกรม CAD ดำเนินการ โดยอ้างอิงลำดับความสำคัญของชิ้นส่วนจากผลการคำนวณ Part Priority ในหัวข้อ 4.4.2 ซึ่งพบว่าชุดอัดเม็ด (P3) มอเตอร์และชุดส่งกำลัง (P1) และระบบปรับช่องว่างการอัด (P6) เป็นชิ้นส่วนที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อสมรรถนะและคุณภาพของเครื่อง ดังนั้น การออกแบบจึง เริ่มจากชิ้นส่วนหลักเหล่านี้เป็นลำดับแรก ก่อนเชื่อมโยงไปยังชิ้นส่วนสนับสนุนอื่น ๆ ดัง รายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การออกแบบชุดอัดเม็ด (P3)

ชุดอัดเม็ดถูกออกแบบให้เป็นศูนย์กลางของเครื่อง โดยพิจารณาค่า เป้าหมายทางวิศวกรรมด้านแรงอัดของระบบอัดเม็ด (H3) ขนาดรูตาย (H4) และระยะ ช่องว่างการอัด (H5) เป็นหลัก แบบจำลอง CAD แสดงโครงสร้างของตายและลูกกลิ้งอัดที่ สามารถสร้างแรงอัดได้เพียงพอและสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้เม็ดปุ๋ยที่มีขนาดและความแข็งแรง

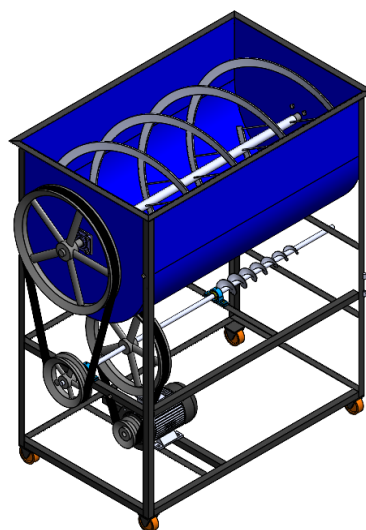
ตามที่ชุมชนต้องการ (3-6 มิลลิเมตร) ทั้งนี้ ได้ออกแบบให้สามารถถอดเปลี่ยนคานและปรับตั้งระยะอัดได้สะดวก เพื่อรองรับสูตรปุ๋ยที่แตกต่างกันและการบำรุงรักษาในระดับชุมชน ดังแสดงในภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 การออกแบบชุดอัดเม็ด (P3)

2. การออกแบบมอเตอร์และชุดส่งกำลัง (P1)

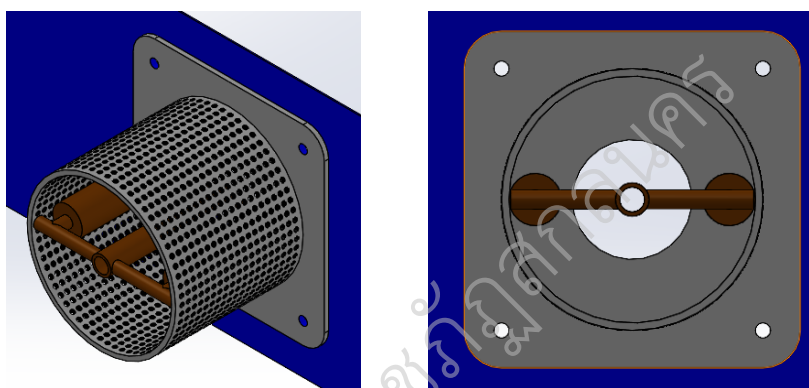
มอเตอร์และชุดส่งกำลังถูกออกแบบให้สอดคล้องกับค่าเป้าหมายด้านกำลังมอเตอร์ (H1) และอัตราการใช้พลังงาน (H7) โดยเลือกขนาดมอเตอร์ที่สามารถขับเคลื่อนทั้งระบบผสมและระบบอัดเม็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลอง CAD แสดงการจัดวางมอเตอร์และชุดส่งกำลังในตำแหน่งที่เหมาะสมกับโครงสร้างเครื่อง เพื่อลดการสูญเสียพลังงานและเพิ่มความเสถียรในการทำงาน พร้อมทั้งออกแบบระบบส่งกำลังให้สามารถปรับอัตราทดได้ตามความเร็วรอบที่ต้องการของแต่ละระบบ ดังแสดงในภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 การออกแบบมอเตอร์และชุดส่งกำลัง (P1)

3. การออกแบบระบบปรับช่องว่างการอัด (P6)

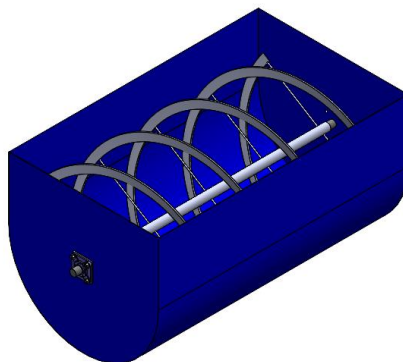
ระบบปรับช่องว่างการอัดถูกออกแบบให้สามารถปรับระยะอัดได้อย่างละเอียดและแม่นยำ เพื่อควบคุมคุณภาพเม็ดปุ๋ยและลดการแตกหักของเม็ดปุ๋ย แบบจำลอง CAD แสดงกลไกการปรับที่ใช้งานง่าย ลดความซับซ้อน และสามารถปรับตั้งได้โดยผู้ใช้งานในชุมชน โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือเฉพาะทาง ทั้งนี้ ระบบดังกล่าวถูกออกแบบให้ทำงานร่วมกับชุดอัดเม็ดได้อย่างสอดคล้องและปลอดภัย ดังแสดงในภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 การออกแบบระบบปรับช่องว่างการอัด (P6)

4. การออกแบบชุดผสม (P2)

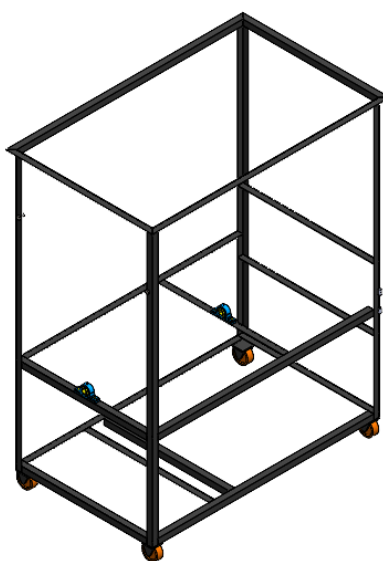
ชุดผสมถูกออกแบบให้สอดคล้องกับค่าเป้าหมายด้านความเร็วรอบของระบบผสม (H2) และกำลังการผลิต (H6) โดยมุ่งให้การผสมวัตถุดิบมีความสม่ำเสมอ ลดการเกิดการแยกชั้นของส่วนผสม และรองรับวัตถุดิบที่มีความชื้นและขนาดอนุภาคแตกต่างกันตามสูตรปุ๋ยอินทรีย์ในชุมชน แบบจำลอง CAD แสดงโครงสร้างถังผสมและใบกวนที่จัดวางในลักษณะช่วยให้เกิดการไหลเวียนของวัตถุดิบอย่างทั่วถึง พร้อมทั้งกำหนดมุมและรูปทรงของใบกวนให้เหมาะสมกับการผสมเชิงปริมาตร ทั้งนี้ ชุดผสมถูกออกแบบให้สามารถถอดประกอบและทำความสะอาดได้ง่าย เพื่อเอื้อต่อการบำรุงรักษาและการใช้งานในระดับชุมชน ดังแสดงในภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 การออกแบบชุดผสม (P2)

5. การออกแบบโครงสร้างและฐานเครื่อง (P4)

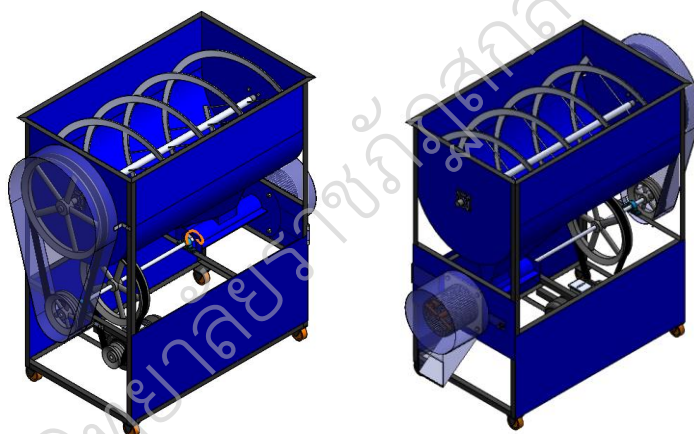
โครงสร้างและฐานเครื่องถูกออกแบบให้รองรับน้ำหนักรวมของระบบผสม ระบบอัดเม็ด และชุดส่งกำลัง รวมถึงแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน โดยอ้างอิงค่าเป้าหมายด้านความแข็งแรงและเสถียรภาพของโครงสร้างจากบทที่ 3 แบบจำลอง CAD แสดงโครงสร้างเฟรมที่ใช้วัสดุเหล็กโครงสร้างมาตรฐาน มีการจัดวาง คานและจุดยึดที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดการบิดตัวของเครื่อง ฐานเครื่องถูกออกแบบให้มีความมั่นคง สามารถติดตั้งบนพื้นผิวทั่วไปในชุมชนได้ และรองรับการ เคลื่อนย้ายหรือปรับตำแหน่งได้สะดวกตามสภาพพื้นที่ใช้งาน ดังแสดงในภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 การออกแบบโครงสร้างและฐานเครื่อง (P4)

6. การออกแบบระบบควบคุมและความปลอดภัย (P7)

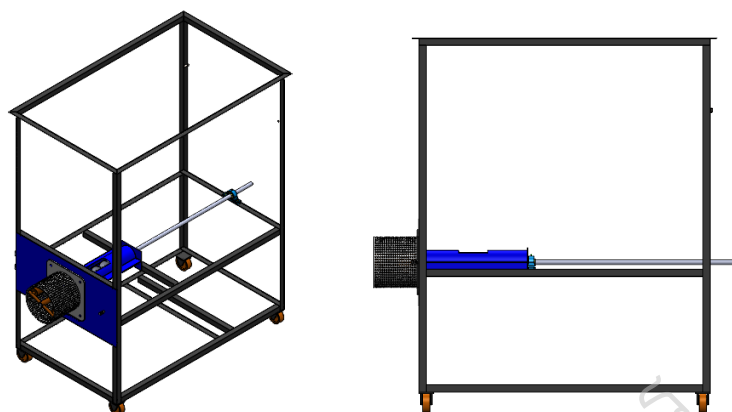
ระบบควบคุมและความปลอดภัยถูกออกแบบให้สอดคล้องกับข้อกำหนดด้านความง่ายในการใช้งานและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน โดยเชื่อมโยงกับคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมด้านการใช้พลังงาน (H7) และการควบคุมการทำงานของเครื่องแบบจำลอง CAD แสดงตำแหน่งของแผงควบคุม ปุ่มสั่งงาน และอุปกรณ์ป้องกันอันตราย เช่น ฝาครอบส่วนที่มีการเคลื่อนไหวและอุปกรณ์ตัดไฟฉุกเฉิน ระบบควบคุมถูกออกแบบให้มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ใช้งานง่าย และเหมาะสมกับผู้ใช้งานในชุมชน เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 การออกแบบระบบควบคุมและความปลอดภัย (P7)

7. การออกแบบแปรงและชุดรองรับเพลลา (P5)

แปรงและชุดรองรับเพลลาถูกออกแบบเพื่อรองรับแรงที่เกิดขึ้นจากการหมุนของเพลลาในระบบผสมและระบบอัดเม็ด โดยอ้างอิงค่าเป้าหมายด้านแรงอัด (H3) และกำลังการผลิต (H6) เป็นหลัก แบบจำลอง CAD แสดงการเลือกใช้แปรงมาตรฐานที่สามารถรองรับแรงตามแนวรัศมีและแนวแกนได้เหมาะสม พร้อมทั้งจัดวางตำแหน่งชุดรองรับเพลลาให้ลดการสั่นสะเทือนและการสึกหรอระหว่างการทำงาน ทั้งนี้ ได้คำนึงถึงความสะดวกในการถอดเปลี่ยนและการหล่อลื่น เพื่อยืดอายุการใช้งานและลดภาระการบำรุงรักษาในระดับชุมชน ดังแสดงในภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 การออกแบบแปรงและชุดรองรับเพลลา (P5)

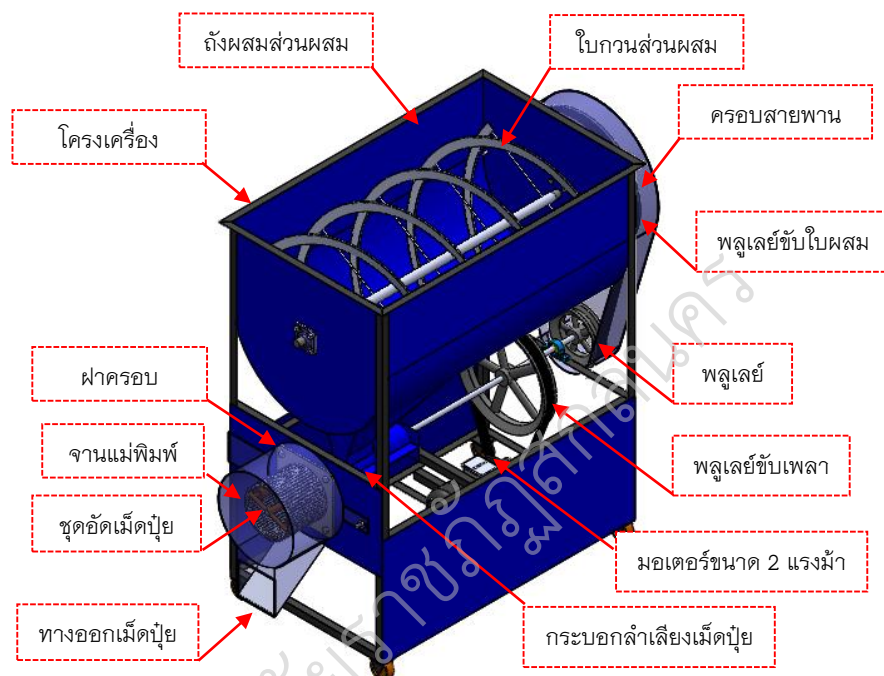
8. ภาพรวมผลการออกแบบเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ระดับชุมชน

ภาพแสดงแบบจำลองเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (Computer-Aided Design: CAD) ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการถ่ายทอดความต้องการของชุมชนผ่านกระบวนการ QFD เฟส 1 และเฟส 2 สู่การกำหนดโครงสร้าง ระบบ และชิ้นส่วนของเครื่องอย่างเป็นระบบ เครื่องประกอบด้วยระบบผสม ระบบอัดเม็ด ระบบส่งกำลัง และโครงสร้างรองรับที่ทำงานร่วมกันเพื่อให้สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับบริบทการใช้งานในระดับชุมชน

จากแบบจำลอง CAD พบว่า เครื่องถูกออกแบบให้มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ถังผสมและใบกวนสำหรับการผสมวัตถุดิบให้เกิดความสม่ำเสมอ ชุดอัดเม็ดสำหรับการขึ้นรูปเม็ดปุ๋ย ทางออกเม็ดปุ๋ยและกระบอกลำเลียงสำหรับการส่งถ่ายผลิตภัณฑ์ รวมถึงระบบส่งกำลังที่ประกอบด้วยมอเตอร์ พูลเลย์ และสายพาน เพื่อถ่ายทอดกำลังไปยังระบบผสมและระบบอัดเม็ดอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ยังมีการออกแบบฝาครอบและโครงสร้างเครื่องเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานและความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวม

การจัดวางตำแหน่งของชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในเครื่องได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับลำดับความสำคัญของชิ้นส่วนที่ได้จากการวิเคราะห์ QFD เฟส 2 โดยให้ความสำคัญกับชุดอัดเม็ด มอเตอร์และชุดส่งกำลัง และระบบปรับการอัดเป็นลำดับแรก

ทั้งนี้ เพื่อให้เครื่องสามารถตอบสนองต่อค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมด้านแรงอัด ขนาดเม็ด กำลังการผลิต และการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 ภาพรวมผลการออกแบบเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ระดับชุมชน

ผลการทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

ภายหลังการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ระดับชุมชน ตามกระบวนการ QFD และการออกแบบเชิงวิศวกรรมด้วย CAD/CAE ในหัวข้อก่อนหน้านี้ งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ เพื่อประเมินความสามารถในการทำงานจริงของเครื่องภายใต้สภาวะการใช้งานตามที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 การทดสอบมุ่งเน้นการประเมินด้านความสามารถในการผลิต คุณภาพเม็ดปุ๋ย และประสิทธิภาพการอัดเม็ด เพื่อยืนยันว่าเครื่องที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมและความต้องการของชุมชนผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม ดังรายละเอียดดังนี้

1. ผลความสามารถในการผลิตและคุณภาพเม็ดปุ๋ย

การทดสอบความสามารถในการผลิตและคุณภาพเม็ดปุ๋ยดำเนินการโดยใช้วัตถุดิบปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณครั้งละ 20 กิโลกรัม ตามขั้นตอนการทดลองที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 ทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้ง เพื่อประเมินความสม่ำเสมอของผลการทำงานของเครื่อง ตัวแปรที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดสมบูรณ์ ปริมาณปุ๋ยที่ไม่เป็นเม็ด ระยะเวลาในการผสมและอัดเม็ด ความสามารถในการอัดเม็ด และประสิทธิภาพของการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ผลการทดสอบความสามารถในการผลิตและประสิทธิภาพการอัดเม็ดของเครื่องต้นแบบสามารถสรุปเชิงปริมาณได้ดังแสดงในตารางที่ 13

ตาราง 13 ผลการทดสอบความสามารถในการผลิตและประสิทธิภาพการอัดเม็ด
ปุ๋ยอินทรีย์

ครั้งที่ ทดลอง	ปริมาณปุ๋ย อินทรีย์อัดเม็ด สมบูรณ์ (กก.)	ปริมาณปุ๋ย อินทรีย์อัดเม็ด ไม่สมบูรณ์ (กก.)	เวลาในการ ผสมและ อัดเม็ด (นาที)	ความสามารถ ในการอัดเม็ด (กก./นาที)	ประสิทธิ ภาพการ อัดเม็ด (%)
1	19.37	0.63	3.31	5.85	96.85
2	19.52	0.48	3.28	5.95	97.60
3	19.47	0.53	3.42	5.69	97.35
4	19.37	0.63	3.37	5.75	96.85
5	19.41	0.59	3.25	5.95	97.05
ผลรวม	97.14	2.86	16.63	29.19	485.7
ค่าเฉลี่ย	19.43	0.57	3.33	5.84	97.14

จากตาราง 13 ผลการทดลองพบว่า เครื่องต้นแบบสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดสมบูรณ์ได้เฉลี่ย 19.43 กิโลกรัมต่อรอบการทดลอง จากปริมาณวัตถุดิบเริ่มต้น 20 กิโลกรัม คิดเป็นปริมาณปุ๋ยที่ไม่เป็นเม็ดเฉลี่ยเพียง 0.57 กิโลกรัม ระยะเวลาเฉลี่ยในการผสมและอัดเม็ดอยู่ที่ 3.33 นาทีต่อรอบการทดลอง ส่งผลให้เครื่องมีความสามารถในการอัดเม็ดเฉลี่ย 5.84 กิโลกรัมต่อนาที

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของการอัดเม็ด พบว่าเครื่องมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 97.14% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องสามารถแปรรูปวัตถุดิบให้เป็นเม็ดปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง และมีปริมาณการสูญเสียในรูปของปุ๋ยที่ไม่เป็นเม็ดอยู่ในระดับต่ำ ดังแสดงในภาพประกอบ 19

ซึ่งผลการทดลองในแต่ละรอบมีค่าใกล้เคียงกัน สะท้อนถึงความเสถียรของกระบวนการผสมและอัดเม็ด รวมถึงความเหมาะสมของการออกแบบชุดอัดเม็ด ระบบส่งกำลัง และระบบปรับช่องว่างการอัดที่ได้จากกระบวนการ QFD

ผลการทดสอบดังกล่าวสอดคล้องกับค่าเป้าหมายทางวิศวกรรมที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 โดยเฉพาะด้านกำลังการผลิตและคุณภาพเม็ดปุ๋ย และแสดงให้เห็นว่าเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานจริงในระดับชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพเม็ดปุ๋ยที่ผ่านการอัด เม็ดปุ๋ยสมบูรณ์ ภาพเม็ดปุ๋ยที่ผ่านการอัด เม็ดปุ๋ยไม่สมบูรณ์
ภาพประกอบ 19 ลักษณะเม็ดปุ๋ยที่อัดเป็นสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

2. ผลอัตราการใช้พลังงานและประสิทธิภาพด้านพลังงานของเครื่อง (มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า)

ผลการทดสอบอัตราการใช้พลังงานของเครื่องต้นแบบดำเนินการโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า เป็นแหล่งกำลังขับเคลื่อนหลักของระบบผสมและระบบอัดเม็ด โดยวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการผสมจนถึงสิ้นสุดการอัดเม็ดในแต่ละรอบการทดลอง จากนั้นนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปคำนวณ

อัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม) ตามวิธีการที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 ผลการทดสอบอัตราการใช้พลังงานและประสิทธิภาพด้านพลังงานของเครื่องต้นแบบ

ครั้งที่ทดลอง	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	ปริมาณปุ๋ยอัดเม็ดสมบูรณ์ (kg)	อัตราการใช้พลังงาน (kWh/kg)
1	0.083	19.37	0.00428
2	0.081	19.52	0.00415
3	0.085	19.47	0.00436
4	0.084	19.37	0.00434
5	0.080	19.41	0.00412
ค่าเฉลี่ย	0.083	19.43	0.00425

จากตาราง 14 ผลการทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ต้นแบบ โดยใช้งานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า ภายใต้เงื่อนไขการทดลองตามที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องมีอัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 0.00425 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพด้านพลังงานและความเหมาะสมของการออกแบบระบบส่งกำลังและระบบอัดเม็ดสำหรับการใช้งานในระดับชุมชน

3. ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพของเครื่องผสมพร้อมอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

การประเมินคุณภาพของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ต้นแบบ ดำเนินการโดยวิธีการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานจริงตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ และวิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนประเมิน ผู้ให้ข้อมูลประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและเครื่องจักรกลจำนวน 3 คน และกลุ่มเกษตรกรผู้ใช้งานจำนวน 3 คน รวมทั้งสิ้น 6 คน ซึ่งผลการประเมินแสดงในตารางที่ 15

ตาราง 15 ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ต้นแบบ

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ระดับ คุณภาพ
ด้านการออกแบบเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์			
1. มีความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุสร้างเครื่อง	4.67	0.52	ดีมาก
2. ขนาดของเครื่องมีความเหมาะสม	4.33	0.52	ดี
3. มีความแข็งแรงทนทาน	4.83	0.41	ดีมาก
4. วัสดุที่นำมาสร้างจัดหาซื้อได้ง่าย	4.67	0.52	ดีมาก
5. สามารถนำไปใช้งานที่เหมาะสมกับวิสาหกิจชุมชน	4.67	0.52	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	4.63	0.49	ดีมาก
ด้านการใช้งานเครื่องผสมพร้อมอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์			
1. สามารถอัดเม็ดดินปลูกได้ตามขนาดที่ต้องการ	4.33	0.52	ดี
2. มีความปลอดภัยในการทำงาน	4.17	0.75	ดี
3. ผู้ใช้เครื่องไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญมาก	4.33	0.52	ดี
4. ทำความสะอาดและดูแลรักษาง่าย	4.00	0.63	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.21	0.60	ดี
ด้านคู่มือการใช้งานเครื่องผสมพร้อมอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์			
1. อธิบายส่วนประกอบของเครื่องได้ชัดเจน	4.50	0.55	ดี
2. อ่านและทำความเข้าใจง่าย	4.50	0.55	ดี
3. ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานเหมาะสม	4.33	0.82	ดี
4. ภาพประกอบการใช้งานเหมาะสม	4.67	0.62	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.50	0.61	ดี
ค่าเฉลี่ยรวม	4.46	0.56	ดี

จากตาราง 15 ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ต้นแบบจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งาน โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ผลการประเมินพบว่าเครื่องมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 4.46, S.D. = 0.56) โดยด้านการออกแบบเครื่องมีคะแนนสูงสุดอยู่ในระดับดีมาก (ค่าเฉลี่ย 4.63, S.D. = 0.49) รองลงมาคือด้านคู่มือการใช้งานและด้านการใช้งานเครื่องตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเครื่องมีความเหมาะสมต่อการใช้งานจริงในระดับชุมชนทั้งในด้านโครงสร้าง ความสะดวกในการใช้งาน และการเรียนรู้การใช้งานด้วยตนเอง

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

การพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการใช้งานในระดับชุมชน นอกจากต้องพิจารณาด้านสมรรถนะและคุณภาพของเครื่องแล้ว ยังจำเป็นต้องประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้สอดคล้องกับข้อจำกัดด้านงบประมาณและความสามารถในการลงทุนของชุมชน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์ต้นทุนการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และความคุ้มค่าของการใช้เครื่อง โดยอาศัยแนวทางการวิเคราะห์ต้นทุนคงที่ ต้นทุนผันแปร และจุดคุ้มทุนของเครื่องจักรกลการเกษตร ซึ่งใช้เปรียบเทียบความเหมาะสมในการนำเครื่องไปใช้งานจริงในระดับชุมชน

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ดังกล่าวมีความเชื่อมโยงกับกระบวนการออกแบบโดยใช้ QFD เนื่องจากหนึ่งในข้อกำหนดสำคัญจากความต้องการของชุมชนคือ “ต้นทุนต้องไม่สูงและสามารถลงทุนได้จริง” ส่งผลให้การเลือกวัสดุ โครงสร้าง และขนาดมอเตอร์ถูกกำหนดภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ

1. ต้นทุนการลงทุน (Capital Expenditure: CAPEX)

ต้นทุนการลงทุนของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึงค่าใช้จ่ายเริ่มต้นที่ใช้ในการจัดสร้างและประกอบเครื่องต้นแบบก่อนนำไปใช้งานจริง โดยประกอบด้วยต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนที่สร้างขึ้น ต้นทุนการจัดซื้ออุปกรณ์มาตรฐาน และค่าใช้จ่ายในการประกอบเครื่อง ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) ของเครื่องจักร

การคำนวณต้นทุนการลงทุนในงานวิจัยนี้ดำเนินการโดยรวบรวมค่าใช้จ่ายของระบบหลักของเครื่อง ได้แก่ โครงสร้างและฐานเครื่อง ชุดผสม ชุดอัดเม็ด มอเตอร์และระบบส่งกำลัง ระบบปรับช่องว่างการอัด ตลอดจนเบรคและอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ซึ่ง

สอดคล้องกับขั้นตอนการผลิตและจัดหาชิ้นส่วนของเครื่องก่อนการประกอบ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 16

ตาราง 16 ต้นทุนการลงทุนของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1. โครงสร้างและฐานเครื่อง (เหล็กฉาก + เชื่อมประกอบ)	4,200
2. ชุดผสม (ถังผสม + ใบกวน)	5,000
3. ชุดอัดเม็ด (Die-Roller)	3,200
4. มอเตอร์ไฟฟ้า 2 แรงม้า	4,800
5. ระบบส่งกำลัง (พูลเลย์ + สายพาน + เพลา)	2,100
6. ระบบปรับช่องว่างการอัด	1,300
7. แปรงและชุดรองรับเพลา	1,600
8. ระบบควบคุมและอุปกรณ์ไฟฟ้า	1,100
9. ค่าประกอบและวัสดุยึดต่อ	1,700
ต้นทุนการลงทุนรวม (CAPEX)	25,000

จากตาราง 16 แสดงต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ต้นแบบ โดยคำนวณจากค่าใช้จ่ายในการผลิตโครงสร้าง การจัดซื้อชิ้นส่วนมาตรฐาน และค่าประกอบเครื่อง พบว่าต้นทุนการลงทุนรวมเท่ากับ 25,000 บาท ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการลงทุนของกลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชน สะท้อนให้เห็นว่าแนวทางการออกแบบภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณที่ได้จากกระบวนการ QFD สามารถนำไปสู่การสร้างเครื่องจักรที่ใช้งานได้จริงในชุมชนโดยไม่ก่อให้เกิดภาระทางการเงินสูงเกินไป

จากต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นดังกล่าว สามารถนำไปคำนวณค่าใช้จ่ายคงที่ต่อปี และวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงานของเครื่อง เพื่อประเมินความคุ้มค่าและจุดคุ้มทุนในการใช้งานเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ต่อไป

2. ต้นทุนการดำเนินงาน (Operating Expenditure: OPEX)

ต้นทุนการดำเนินงานของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานเครื่องในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ซึ่งเป็นต้นทุนผันแปร (Variable Cost) และต้นทุนกึ่งคงที่ (Semi-fixed Cost) ของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย ที่ต้องเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ค่าแรงงานผู้ปฏิบัติงาน ค่าบำรุงรักษา และค่าวัสดุสิ้นเปลือง

จากผลการทดลองในหัวข้อ 2 พบว่าเครื่องมีอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 0.00425 kWh/kg ดังนั้นเมื่อกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.50 บาทต่อ kWh สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานต่อหน่วยผลิตได้ดังนี้

$$\text{ค่าไฟฟ้าต่อกิโลกรัม} = 0.00425 \times 4.50 = 0.0191 \approx 0.02 \text{ บาท/กก.}$$

เมื่อพิจารณาร่วมกับการกำลังการผลิตเฉลี่ยของเครื่องประมาณ 350 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมงมีค่าเท่ากับ

$$350 \times 0.02 = 7.0 \text{ บาท/ชั่วโมง}$$

นอกจากนี้ ได้กำหนดค่าแรงงานผู้ปฏิบัติงาน 1 คน ในอัตรา 50 บาทต่อชั่วโมง และค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรคิดเป็นร้อยละ 5 ของต้นทุนการลงทุนต่อปี (CAPEX = 25,000 บาท) ดังนั้นค่าบำรุงรักษาเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 1,250 บาท หรือประมาณ 6.25 บาทต่อชั่วโมง (สมมติการใช้งาน 200 ชั่วโมง/ปี) ดังรายละเอียดแสดงในตาราง 17

ตาราง 17 ต้นทุนการดำเนินงานของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1. ค่าไฟฟ้า (7.0 บาท/ชั่วโมง)	7.0 บาท/ชม.
2. ค่าแรงงาน (1 คน)	50.0 บาท/ชม.
3. ค่าบำรุงรักษาเครื่อง	6.25 บาท/ชม.
4. ค่าวัสดุสิ้นเปลืองและหล่อลื่น	3.75 บาท/ชม.
ต้นทุนการดำเนินงานรวม	67.0 บาท/ชม.

จากตาราง 17 แสดงต้นทุนการดำเนินงานของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ค่าแรงงาน ค่าบำรุงรักษา และค่าวัสดุสิ้นเปลือง พบว่าต้นทุนการดำเนินงานรวมเท่ากับ 67 บาทต่อชั่วโมง โดยค่าใช้จ่ายหลักเกิดจากค่าแรงงานผู้ปฏิบัติงาน ขณะที่ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้ามีสัดส่วนต่ำ เนื่องจากเครื่องมีประสิทธิภาพด้านพลังงานดีและใช้มอเตอร์ขนาดเหมาะสม

จากต้นทุนการลงทุนและต้นทุนการดำเนินงานดังกล่าว สามารถนำไปวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนของเครื่อง เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการนำเครื่องไปใช้งานในระดับชุมชนต่อไป

3. จุดคุ้มทุน (Break-Even Point: BEP)

จุดคุ้มทุนเป็นค่าที่แสดงระดับการใช้งานของเครื่องจักรที่รายรับจากการใช้งานเท่ากับต้นทุนรวม โดยไม่มีผลกำไรหรือขาดทุน การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีเปรียบเทียบระหว่างรายรับจากการให้บริการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์กับต้นทุนการดำเนินงานของเครื่อง สมมติราคาค่าบริการอัดเม็ดหรือมูลค่าเพิ่มของปุ๋ยอินทรีย์ = 1.50 บาท/กก. (เป็นค่าที่เหมาะสมกับบริบทชุมชน และใช้กันในงานวิจัยเครื่องจักรชุมชน)

รายรับต่อชั่วโมงสามารถคำนวณจากกำลังการผลิตและค่าบริการอัดเม็ดดังนี้

$$\text{รายรับต่อชั่วโมง} = 350 \times 1.50 = 525 \text{ บาท/ชั่วโมง}$$

ต้นทุนการดำเนินงานต่อชั่วโมง (OPEX) เท่ากับ 67 บาท/ชั่วโมง ดังนั้นกำไรขั้นต้นต่อชั่วโมงเท่ากับ

$$\text{กำไรต่อชั่วโมง} = 525 - 67 = 458 \text{ บาท/ชั่วโมง}$$

จุดคุ้มทุนในรูปเวลาการใช้งานเครื่อง (ชั่วโมง) สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{BEP} = \frac{\text{ต้นทุนการลงทุน}}{\text{กำไรต่อชั่วโมง}} = \frac{25,000}{458} = 54.6 \approx 55 \text{ ชั่วโมง}$$

ดังนั้นเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์จะถึงจุดคุ้มทุนเมื่อมีการใช้งานสะสมประมาณ 55 ชั่วโมงการทำงาน

หากกลุ่มเกษตรกรใช้งานเฉลี่ย 4 ชั่วโมงต่อวัน จะถึงจุดคุ้มทุนภายในประมาณ

$$55/4 \approx 14 \text{ วันทำงาน}$$

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเครื่องมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูง และเหมาะสมต่อการใช้งานในระดับกลุ่มเกษตรกรหรือวิสาหกิจชุมชน

4. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนเป็นตัวชี้วัดระยะเวลาที่รายได้สะสมจากการใช้งานเครื่อง สามารถชดเชยต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นได้ทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากอัตรากำไรสุทธิ ต่อช่วงเวลา

จากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อก่อนหน้านี้ เครื่องมีกำไรสุทธิจากการใช้งานเฉลี่ย 458 บาทต่อชั่วโมง หากกำหนดการใช้งานเครื่องเฉลี่ย 4 ชั่วโมงต่อวัน และ 20 วันต่อเดือน จะมีรายได้สุทธิต่อเดือนเท่ากับ

$$458 \times 4 \times 20 = 36,640 \text{ บาท/เดือน}$$

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Payback Period} = \frac{25,000}{36,640} = 0.68 \text{ เดือน หรือประมาณ 20 วันทำงาน}$$

ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนแสดงให้เห็นว่าเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้งานในระดับชุมชน โดยสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลานั้น ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนการลงทุนต่ำ การใช้พลังงานน้อย และกำลังการผลิตสูง สอดคล้องกับข้อกำหนดด้านต้นทุนและความคุ้มค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ความต้องการของชุมชนในกระบวนการ QFD

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

บทนี้นำเสนอการสังเคราะห์ผลการวิจัยจากกระบวนการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ระดับชุมชนโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานในชุมชน การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การถ่ายทอดความต้องการสู่คุณลักษณะเชิงวิศวกรรม การกำหนดข้อกำหนดของระบบและชิ้นส่วน การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ ตลอดจนการทดสอบสมรรถนะ คุณภาพการผลิต ประสิทธิภาพด้านพลังงาน และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ผลการวิจัยที่ได้จะถูกนำมาสรุปและอภิปรายเชื่อมโยงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ในการออกแบบเครื่องจักรสำหรับการใช้งานในระดับชุมชน รวมทั้งนำเสนอข้อเสนอแนะสำหรับการประยุกต์ใช้งานจริงและแนวทางการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

ความมุ่งหมายของการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน มีความมุ่งหมายการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องจักรที่เหมาะสมกับบริบทการใช้งานจริงของชุมชนเกษตรกรรม โดยสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานและข้อจำกัดด้านทรัพยากรในพื้นที่ วัตถุประสงค์ของการวิจัยประกอบด้วย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์
3. เพื่อประเมินคุณภาพเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์
4. เพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

ซึ่งสอดคล้องกับปัญหาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในชุมชนที่ต้องการลดต้นทุนและเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร

สมมติฐานของการวิจัย

หัวข้อนี้นำเสนอสมมติฐานที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) กับผลลัพธ์ของการออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ระดับชุมชน โดยสมมติฐานดังกล่าวครอบคลุมด้านสมรรถนะการทำงาน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อประเมินว่ากระบวนการออกแบบเชิงระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อการใช้งานจริงในบริบทชุมชน โดยสมมติฐานของการวิจัยประกอบด้วย

1. เครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น มีกำลังการผลิตในการผลิตปุ๋ยอัดเม็ดเฉลี่ย 300 กิโลกรัมต่อวัน
2. เครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยอัดเม็ดเฉลี่ยร้อยละ 80
3. เครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่ออกแบบและสร้างผ่านการประเมินความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานอยู่ในระดับดี (3.50)

สรุปผลการวิจัย

หัวข้อนี้เป็นการสังเคราะห์ผลการวิจัยที่ได้จากการดำเนินงานตามระเบียบวิธีวิจัยในบทที่ 3 และผลการทดลองในบทที่ 4 โดยครอบคลุมตั้งแต่การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานในชุมชน การประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ในการแปลงความต้องการสู่คุณลักษณะเชิงวิศวกรรม การออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบ ตลอดจนการทดสอบสมรรถนะ คุณภาพการผลิต และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อประเมินว่าเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อบริบทการใช้งานจริงของชุมชนได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการออกแบบและสร้างเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

จากการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานในชุมชนและการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD สามารถแปลงความต้องการเชิงคุณภาพไปสู่คุณลักษณะเชิงวิศวกรรมและข้อกำหนดของชิ้นส่วนได้อย่างเป็นระบบ ส่งผลให้สามารถออกแบบและสร้างเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ต้นแบบที่รวมระบบผสมและระบบอัดเม็ดไว้ในเครื่องเดียว เครื่อง

ประกอบด้วยชุดผสม ชุดอัดเม็ด ระบบส่งกำลัง โครงสร้างรองรับ ระบบปรับช่องว่างการอัด และระบบควบคุมความปลอดภัย โดยเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์มาตรฐานที่สามารถจัดหาและซ่อมบำรุงได้ในชุมชน เครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ตามแบบที่ออกแบบไว้และเหมาะสมต่อการบริบทการใช้งานจริง

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

จากการทดสอบสมรรถนะการทำงาน พบว่าเครื่องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพ สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดได้ในอัตราการผลิตที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพการอัดเม็ดสูง และมีปริมาณเม็ดปุ๋ยสมบูรณ์ในเกณฑ์ดี นอกจากนี้เครื่องยังมีอัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตต่ำ แสดงถึงความเหมาะสมของการเลือกขนาดมอเตอร์และการออกแบบระบบส่งกำลังที่สอดคล้องกับภาระงานจริงของเครื่อง

3. ผลการประเมินคุณภาพเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

ผลการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานพบว่าเครื่องมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับดี โดยเฉพาะด้านโครงสร้างและความแข็งแรงของเครื่อง ความสะดวกในการใช้งาน และความสามารถในการบำรุงรักษา ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่าย และสามารถซ่อมแซมเบื้องต้นได้ด้วยเครื่องมือพื้นฐานในชุมชน แสดงให้เห็นว่าเครื่องที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานจริงได้อย่างเหมาะสม

4. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

การวิเคราะห์ต้นทุนการลงทุนและต้นทุนการดำเนินงานพบว่าเครื่องมีต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นในระดับที่ชุมชนสามารถเข้าถึงได้ และมีต้นทุนการดำเนินงานต่อหน่วยผลิตต่ำ เมื่อพิจารณาารายรับจากการเพิ่มมูลค่าปุ๋ยอินทรีย์หรือการให้บริการอัดเม็ด พบว่าสามารถครอบคลุมค่าใช้จ่ายและสร้างผลตอบแทนได้ เครื่องมีจุดคุ้มทุนภายในระยะเวลาไม่นานและมีระยะเวลาคืนทุนสั้น สะท้อนถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และความเหมาะสมในการนำไปใช้งานในระดับกลุ่มเกษตรกรหรือวิสาหกิจชุมชน

โดยสรุป เครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้ครบถ้วน ทั้งในด้านการออกแบบและสร้างเครื่อง สมรรถนะการทำงาน คุณภาพการใช้งาน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD เป็นแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการใช้งานในระดับชุมชน

อภิปรายผล

การอภิปรายผลการวิจัยครั้งนี้มุ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดลองกับกรอบแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 เพื่อพิจารณาว่าแนวทางการออกแบบโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาเครื่องจักรระดับชุมชนได้อย่างเหมาะสมหรือไม่ โดยอภิปรายตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

1. ด้านการออกแบบและสร้างเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

ผลการวิจัยพบว่าการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) สามารถแปลงความต้องการของชุมชนไปสู่ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมและรายละเอียดเชิงโครงสร้างของเครื่องได้อย่างเป็นระบบ ส่งผลให้เครื่องต้นแบบมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ โครงสร้างเครื่อง ชุดผสม ชุดอัดเม็ด ระบบส่งกำลัง และระบบควบคุมความปลอดภัย ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของ QFD ที่มุ่งถ่ายทอด “เสียงของผู้ใช้” ไปสู่พารามิเตอร์ทางเทคนิคในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทองแพง และคณะ (2566) ที่ใช้ House of Quality ในการออกแบบตู้พักไข่สำหรับเกษตรกรรายย่อย โดยพบว่าการกำหนดลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคช่วยให้เครื่องมีความเหมาะสมต่อการใช้งานจริงและลดต้นทุนการผลิต รวมทั้งสอดคล้องกับ เสวีนันท์ และคณะ (2567) ที่ออกแบบเครื่องยิงพาเลทโดยใช้ QFD และพบว่าสามารถพัฒนาเครื่องจักรให้ตอบสนองความต้องการผู้ใช้ได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดของ Akao ที่ระบุว่า QFD เป็นเครื่องมือในการแปลงความต้องการลูกค้าเป็นข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตั้งแต่ต้นทาง

2. ด้านประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง

จากผลการทดสอบสมรรถนะพบว่าเครื่องสามารถผลิตปุ๋ยอัดเม็ดได้อย่างต่อเนื่อง มีความสามารถในการผลิตและประสิทธิภาพการอัดเม็ดอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานระดับชุมชน โดยสาเหตุสำคัญเกิดจากการออกแบบที่ให้ความสำคัญกับพารามิเตอร์หลัก เช่น แรงอัด ความเร็วรอบ และระบบป้องกันวัตถุตก ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคใน QFD ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานของ ธนสาร จอมพุทรา และคณะ (2564) ที่พัฒนาเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์และพบว่าสามารถผลิตปุ๋ยได้ประมาณ 63 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และยังสอดคล้องกับ เอกพันธ์ สุขมูลศิริ และคณะ (2564)

ที่พัฒนาเครื่องผสมและอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด ซึ่งพบว่าการเลือกความเร็วรอบที่เหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพเครื่องสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานของ วีระศักดิ์ หมูเจริญ (2565) ที่รายงานว่าสมรรถนะของเครื่องจักรขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของระบบส่งกำลังโดยตรง

3. ด้านคุณภาพของเครื่องจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุยอินทรีย์จากผู้เชี่ยวชาญพบว่าอยู่ในระดับดีถึงดีมาก สะท้อนว่าโครงสร้าง การทำงาน และความปลอดภัยของเครื่องสามารถตอบสนองการใช้งานจริงได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้สอดคล้องกับแนวคิดของการใช้เทคนิค QFD ที่มุ่งถ่ายทอดความต้องการของผู้ใช้ไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานของ จิตรม้น และคณะ (2564) ที่รายงานว่าการออกแบบเครื่องจักรโดยใช้ QFD ร่วมกับหลักการยศาสตร์ช่วยเพิ่มความพึงพอใจของผู้ใช้งาน และงานของ ทองแพง และคณะ (2566) ซึ่งพบว่าการแปลงความต้องการผู้ใช้เป็นพารามิเตอร์การออกแบบทำให้เครื่องเหมาะสมต่อการใช้งานระดับชุมชน อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานต่างประเทศด้านการพัฒนาเครื่องจักรที่ใช้ QFD ซึ่งระบุว่าการเชื่อมโยงเสียงของผู้ใช้กับข้อกำหนดเชิงเทคนิคช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการออกแบบและเพิ่มการยอมรับของผู้ใช้ จึงกล่าวได้ว่าคุณภาพของเครื่องที่ผู้เชี่ยวชาญประเมินอยู่ในระดับดี เป็นผลจากการกระบวนการออกแบบที่อ้างอิงความต้องการผู้ใช้อย่างเป็นระบบ.

4. ด้านการใช้พลังงานของเครื่อง

ผลการทดลองพบว่าการใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้ามีความเหมาะสมกับขนาดเครื่อง เนื่องจากสามารถให้แรงบิดเพียงพอสำหรับการอัดเม็ดโดยไม่เกิดการโอเวอร์โหลด และมีอัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตร้อยอยู่ในระดับที่เหมาะสมผลนี้สอดคล้องกับงานของ สมพร โมชรัตน และคณะ (2563) ที่พบว่าการเลือกกำลังมอเตอร์ที่เหมาะสมกับภาระงานมีผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการอัดเม็ด รวมทั้งสอดคล้องกับงานของ เอกพันธ์ สุขมูลศิริ และคณะ (2564) ที่พบว่าความเร็วรอบและกำลังมอเตอร์เป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องอัดเม็ด

5. ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์พบว่าเครื่องมีต้นทุนการลงทุนต่ำ เหมาะสมต่อการใช้งานระดับวิสาหกิจชุมชน และมีระยะเวลาคืนทุนสั้น เนื่องจากสามารถเพิ่มมูลค่ามูลสัตว์ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับ

งานของ วีระศักดิ์ หมู่เจริญ (2565) ที่พบว่าเครื่องผลิตปุ๋ยจากผักตบชวามีต้นทุนการผลิตต่ำและคืนทุนได้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม และสอดคล้องกับ เอกพันธ์ สุขมูลศิริ และคณะ (2564) ที่รายงานว่าเครื่องอัดเม็ดช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มรายได้ให้เกษตรกร ทั้งนี้แนวคิดการใช้วัสดุเหลือใช้ในชุมชนมาผลิตปุ๋ยอัดเม็ดถือเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการใช้งาน

- 1.1 ควรควบคุมความชื้นของวัตถุดิบก่อนการอัดเม็ด
- 1.2 ควรมีการบำรุงรักษาเครื่องและระบบส่งกำลังอย่างสม่ำเสมอ
- 1.3 ควรฝึกอบรมผู้ใช้งานก่อนใช้งานจริง
- 1.4 ควรติดตั้งระบบป้องกันไฟตกในพื้นที่ชนบท

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 2.1 พัฒนาระบบป้อนวัตถุดิบอัตโนมัติ
- 2.2 ศึกษาความทนทานระยะยาวของเครื่อง (Durability Test)
- 2.3 ศึกษาการใช้พลังงานทดแทน เช่น โซลาร์เซลล์
- 2.4 พัฒนาการควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automation)

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- ขวัญชัย เสวรินทร์, นิตยา ศิริวัน, และวรรณลักษณ์ เหล่าทวีทรัพย์. (2567). *การออกแบบและพัฒนาเครื่องยิงพาเลท*. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 20(1), 186–200.
- ชวลิต รักษาภิรมณ์, พัชรพร ปิ่นมณี, อาริยา เกิดโต, และสุภาพร พงศ์ธรพฤษ. (2021). *ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากปุ๋ยหมักเปลือกกาแฟและถ่านชีวภาพ*. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 13(18), 64–74.
- ธนสาร จอมพุดรา, รัชพัฒน์ ศาสตรสูงเนิน, ขจรพงศ์ พรหมแสน, ภูมิ อังกระโทก, ราชพล ไชยพันธ์, กฤษฎา ครอบสูงเนิน, และรัชชานนท์ ศักติธนากร. (2564). *การพัฒนากระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน* [รายงานวิจัย]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- ธรัช อารีราษฎร์. (2567). *การพัฒนาเครื่องผสมดินปลูกพืชโดยการควบคุมด้วยระบบไอโอที*. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 11(2), 110–120.
- ธีรพงศ์ เถาชาลี. (2560). *การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อลดต้นทุนในการผลิตตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงและพัฒนาธุรกิจวิสาหกิจชุมชน ตำบลกุดสิมคุ้มใหม่ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท)*. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- นภาดา วิเชียรพงษ์, ทวีทรัพย์ เจือพานิช, และพรรณทิพา เมียงแก. (2563). *การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขุยมะพร้าวผสมชีวมวลเหลือทิ้ง*. PSRU Journal of Science and Technology, 5(3), 112–126.
- นราธร ไคว์วิสัยแสง และช่อแก้ว อนิลบล. (2563). *อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ที่มีต่อองค์ประกอบผลผลิตและสารฟีนอลิกรวมในถั่วลิสง*. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28(2), 265–273.
- ปริญญา บุญณินธุ, และ อรรถเจตต์ อภิขจรศิลป์. (2553). *การออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจในงานอุตสาหกรรม*. ฝ่ายสารสนเทศและวิชาการ สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.
- ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม, วิทยา อิมสำราญ, พัทธกัญ บุญไทย, และสุภา สีสนมาก. (2559). *เครื่องผสมพร้อมกับอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์*. วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ, 2(2), 87–96.

- พรพรรณ ทองแพง, วีระยุทธ รัตนศิริวัฒน์, ประเสริฐ ปราชญ์ประยูร, กุบรอก ตั้งกู, และ
ชลนาถ สอนสุทธิ. (2566). การออกแบบตู้ฟักไข่ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่
เชิงคุณภาพ. วารสารข่าวงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย, 9(2), 14–28.
- ภาณุเมศวร์ สุขศิริศิริวัชร, ชูชาติ พะยอม, และศุภชัย แก้วจันทร์. (2563). การพัฒนา
เครื่องอัดเม็ดยาสมุนไพรแบบเพลาลูกเบี้ยวเยื้องศูนย์สำหรับชุมชนแพทย์
แผนไทย อำเภอกาบเชิง จังหวัดสุรินทร์. วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, 1(3), 95–104.
- มานพ ตันตระบัณฑิตย์. (2556). การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 1. สมาคมส่งเสริม
เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, และชวลิต สิงประยูร. (2554). ปู่เพื่อ
การเกษตรยั่งยืน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ลักขณา พิทักษ์, เรวัฒน์ เต็มกล้า, และลิขิต มั่งมี. (2563). การทดสอบประสิทธิภาพเครื่อง
อัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากใบอ้อย. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, 5(1), 8–17.
- สมพร โฆษรัตน์, และคณะ. (2563). การพัฒนาเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์ขนาดเล็กด้วย
ระบบเกียร์เพื่อย้ายรถควบคุมความเร็วรอบแบบย้อนกลับ. วารสาร
เกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยประทุมธานี, 1(3), 297–301.
- สร้อยจีน จิตรม้น, ลีดิพร ชัยบ้านกุด, ภัทรณีย์ แจ่มใส, บัญชา อริยะจรรยา, โรสมารินทร์
สุขเกษม, และฤฎีวัลย์ จันทร์สา. (2564). การพัฒนาเครื่องเลื่อยกระบอกไม้ไผ่
ด้วยหลักการยศาสตร์และเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ. วารสาร
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 28(2), 100–115.
- สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, ชาตรี หอมเขียว, ธยา ภิรมย์, จุฬาลักษณ์ โรจนานุกุล, และชัยวัฒน์ภัทร
เลาสัตย์. (2565). การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพร่วมกับ
วิศวกรรมคั่นแซเพื่อการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดถ้วยชาเซรามิก.
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 18(3), 29–46.
- อาณัติ ดิษฐ์กระจัน. (2560). อิทธิพลของปัจจัยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของ
สตรอเบอร์รี่ในระบบเกษตรอินทรีย์ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต).
มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

- เอกชัย บัวคลี่. (2561). การออกแบบและสร้างเครื่องตัดใบบัวหลวง (วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- เอกพันธ์ สุขมูลศิริ, รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์, และจตุรงค์ ลังกาพินธุ์. (2564). การพัฒนา
เครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครี
นทรวิโรฒ, 16(3), 63–73.
- Abasili, A. (2017). *Design and development of a fertilizer pelletizing machine*. American
Journal of Mechanical and Materials Engineering, 1(2), 31–37.
- Adeleke, A. A., Adejuyigbe, S. B., & Ojo, O. A. (2023). *Design and fabrication of bio-
fertilizer mixing machine using a user-centered quality function deployment*.
Journal of Agricultural Engineering Research.
- Ezewu, K. (2021). *Design of an NPK fertilizer pelletizer*. Nigerian Journal of Technology
(NIJOTECH), 40(5), 837–845.
- Food and Agriculture Organization. (2018). Energy-smart food for people and climate.
FAO.
- Hidayat, T. R., Yusuf, I., & Darmein, D. (2024). *Design and performance evaluation of
a palm oil empty fruit bunch shredding machine to enhance compost
fertilizer production efficiency*. Journal of Mechanical Engineering and
Fabrication, 1(2), 34–39.
- Ishak, A., Ginting, R., & Siallagan, S. (2024). *Application of quality function deployment
(QFD) and axiomatic design method for product design: Study case
compost waste product*. Journal of Achievements in Materials and
Manufacturing Engineering, 122(1), 31–41.
- Ishola, T. A., Busari, R. A., & Aboyeji, O. S. (2021). *Development and preliminary
testing of a mixing and pelletizing machine for livestock feeds production*.
Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 25(6),
1039–1045.
- Jekayinfa, S. O., Ola, F. A., Akande, F. B., Adesokan, M. A., & Abdulsalam, I. A. (2024).
Modification and performance evaluation of a biomass pelleting machine.
Preprints.

- Juodišius, V., Zardzewiały, M., & Rimkevičius, S. (2022). *Pelletization process of biomass materials and organic fertilizers*. *Applied Sciences*, 12(15), 76–85.
- Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2009). *Factors affecting strength and durability of densified biomass products*. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(2), 221–230.
- Muhammad, J. Y., Alhaji, Y., Shitu, A. M., Alhaji, A. M., Ahmad, U. M., & Olaniyi, A. T. (2023). *Design and development of screw-type pellet machine for aquatic feeds with dual operations*. *Journal of Investigations on Engineering & Technology*, 6(2), 70–79.
- Nugroho, P. A., Subekti, S., & Iswahyudi, A. (2023). *Design of organic fertilizer pellet machine with a capacity of 170.90 kg/hour using Verein Deutscher Ingenieure 2222 method*. *Jurnal Terapan Teknik Mesin (JTMM)*, 4(2), 163–171.
- Paredes-Rojas, J. C., Torres San Miguel, C. R., De la Cruz Alejo, C., Palma Ramírez, D., Flores Vela, A. I., & Bravo-Díaz, B. (2020). *Design proposal of a prototype for sawdust pellet manufacturing through simulation*. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020.
- Papandrea, S. F., Cataldo, M. F., Palma, A., Gallucci, F., Zimbalatti, G., & Proto, A. R. (2021). *Pelletization of compost from different mixtures with the addition of exhausted extinguishing powders*. *Agronomy*, 11(7), 1357.
- Razali, R., Syahrizal, S., Hafid, B., & Khasan, A. (2025). *Design and development of a rice separator machine from empty grains using QFD (quality function deployment) approach for farmers in Tanjung Belit Village, Bengkalis Regency*. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Technology and Business (INTECHBIZ 2025)*.
- Rasyid, S., Muchtar, M., & Susanto, T. A. (2018). *Designing a chicken feed pellets machine using tapered roller wheel model*. *AIP Conference Proceedings*, 1977, 020019.

- Sarpong, N. Y. S., Akowuah, J. O., Amodh, E. A., & Darko, J. O. (2024). *Enhancing cassava grater design: A customer-driven approach using AHP, QFD, and TRIZ integration*. *Heliyon*, 10, e36167.
- Susilawati, A., Roni, G., Yohanesa, Y., Anuar, K., & Fatiya, F. (2024). *Development of rice threshing machine based quality function deployment approach: A case study*. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace – Science and Engineering*, 68(2), 99–105.
- Tumuluru, J. S., Wright, C. T., Kenney, K. L., & Hess, J. R. (2011). *A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application*. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5(6), 683–707.
- Zhang, Y., Wang, L., & Chen, H. (2021). *Biomass pelletization technology and its applications in renewable energy and organic fertilizer production*. *Biomass and Bioenergy*, 146, 106317.

ภาคผนวก ค

ตาราง QFD เฟส 1 (House of Quality: HOQ)

แสดงโครงสร้าง HOQ ประกอบด้วย (1) รายการความต้องการของชุมชนผู้ใช้งาน (WHATs) และคะแนนความสำคัญ (IMP) (2) คุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (HOWs/ECs) (3) เมทริกซ์ความสัมพันธ์ WHATs-HOWs โดยกำหนดระดับความสัมพันธ์เป็น สูง = 9, ปานกลาง = 3, ต่ำ = 1 และช่องว่างหมายถึงไม่มีความสัมพันธ์โดยตรง (4) Roof Matrix เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ECs แบบบวก/ลบ (5) ผลการคำนวณลำดับความสำคัญเชิงเทคนิค (Technical Priority) และ (6) ค่าเป้าหมายทางวิศวกรรม (Engineering Targets) สำหรับใช้ส่งต่อไปยัง QFD เฟส 2

ค.1 ความต้องการของชุมชน (WHATs) และระดับความสำคัญ (IMP)

ในการศึกษาที่กำหนดรหัส WHATs เป็น W1-W7 โดยค่า IMP แทนระดับความสำคัญ ของความต้องการ (ตามแบบประเมิน/แบบสอบถามที่ใช้ในงานวิจัย) เพื่อนำไปใช้เป็นค่า น้ำหนักในกระบวนการคำนวณลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคของ ECs ในขั้นถัดไป

ค.2 คุณลักษณะเชิงวิศวกรรม (HOWs/Engineering Characteristics: ECs)

กำหนดคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมเป็น H1-H7 พร้อมหน่วยวัด เพื่อให้สามารถแปลง ความต้องการเชิงคุณภาพของชุมชนไปเป็นตัวเลขปริมาณที่ใช้กำหนด “สเปก/ เป้าหมาย” ในการออกแบบเครื่องได้อย่างตรวจสอบได้

ค.3 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ WHATs-HOWs (Relationship Matrix)

เมทริกซ์ความสัมพันธ์ใช้เพื่อระบุว่าแต่ละ EC มีส่วนตอบสนองต่อ WHATs มากน้อย เพียงใด โดยใช้สเกล 9-3-1 (สูง-ปานกลาง-ต่ำ) ซึ่งช่วยให้การแปลงความต้องการของ ผู้ใช้งานไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมมีความเป็นระบบและโปร่งใส

ค.4 Roof Matrix (ความสัมพันธ์ระหว่าง ECs)

ส่วน Roof แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ECs เพื่อพิจารณาผลกระทบข้ามตัวแปร (เช่น ความสัมพันธ์เชิงบวก/ลบ) ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญต่อการตัดสินใจเชิงออกแบบ โดยเฉพาะ กรณีที่การปรับปรุง EC หนึ่งอาจส่งผลต่อ EC อื่น

ค.5 การคำนวณลำดับความสำคัญเชิงเทคนิค (Technical Priority)

คำนวณคะแนนลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคของ EC แต่ละตัวจากผลรวมถ่วงน้ำหนักของความสัมพันธ์ระหว่าง WHATs-HOWs ตามสมการ ค.5-1

$$TP_j = \sum_{i=1}^m (IMP_i \times Rel_{ij}) \quad (ค-1)$$

โดยที่

TP_j = คะแนนลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคของ EC ตัวที่ j

IMP_i = คะแนนความสำคัญของ WHAT ตัวที่ i

Rel_{ij} = ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง WHAT ตัวที่ i กับ EC ตัวที่ j (9, 3, 1 หรือ 0)

และคำนวณสัดส่วนร้อยละของความสำคัญเชิงเทคนิคด้วยสมการ ค.5-2

$$TP\%_j = \frac{TP_j}{\sum_{j=1}^n TP_j} \times 100 \quad (ค-2)$$

ตัวอย่างคำนวณ: H3 แรงอัดของระบบอัดเม็ด (kN)

จากตารางเมทริกซ์ความสัมพันธ์ พบว่า H3 มีความสัมพันธ์กับ WHATs ดังนี้

W2 ($IMP = 5$) มีความสัมพันธ์ 9

W3 ($IMP = 4$) มีความสัมพันธ์ 9

W5 ($IMP = 4$) มีความสัมพันธ์ 1

W6 ($IMP = 3$) มีความสัมพันธ์ 3

W7 ($IMP = 3$) มีความสัมพันธ์ 3

(WHAT อื่น ๆ = 0)

ดังนั้น

$$\begin{aligned} TP(H3) &= (5 \times 9) + (4 \times 9) + (4 \times 1) + (3 \times 3) + (3 \times 3) \\ &= 45 + 36 + 4 + 9 + 9 \\ &= 103 \end{aligned}$$

ดังนั้น คะแนนลำดับความสำคัญเชิงเทคนิคของ H3 = 103

ตัวอย่างคำนวณ “สัดส่วน (%)” ของ H3

จากตาราง TP รวมทุก EC: H1=85, H2=78, H3=103, H4=60, H5=57,
H6=15, H7=63

คำนวณผลรวม

$$\sum TP = 85 + 78 + 103 + 60 + 57 + 15 + 63 = 461$$

ดังนั้น

$$TP\% (H3) = \frac{103}{461} \times 100 = 22.34\% \approx 22.3\%$$

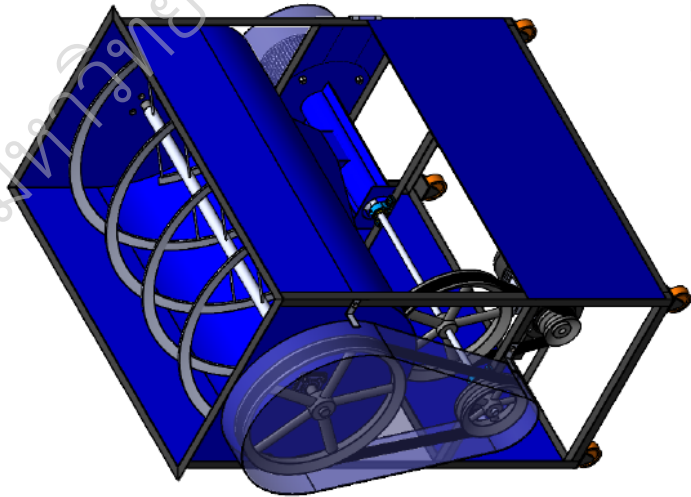
$$\text{สัดส่วนของ H3} = 22.3\%$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

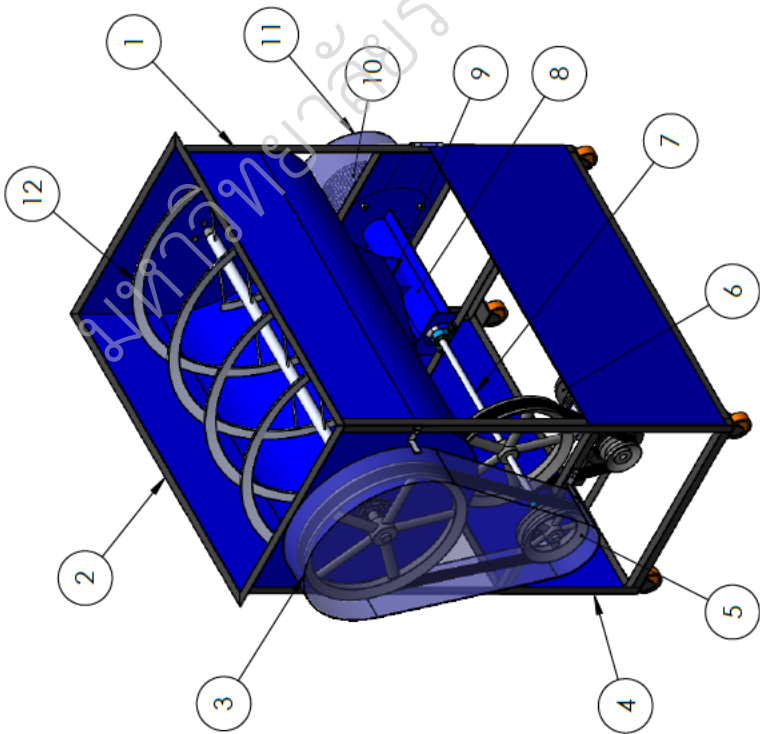
ภาคผนวก จ

แบบเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน

เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด จากมูลวัวในระดับชุมชน

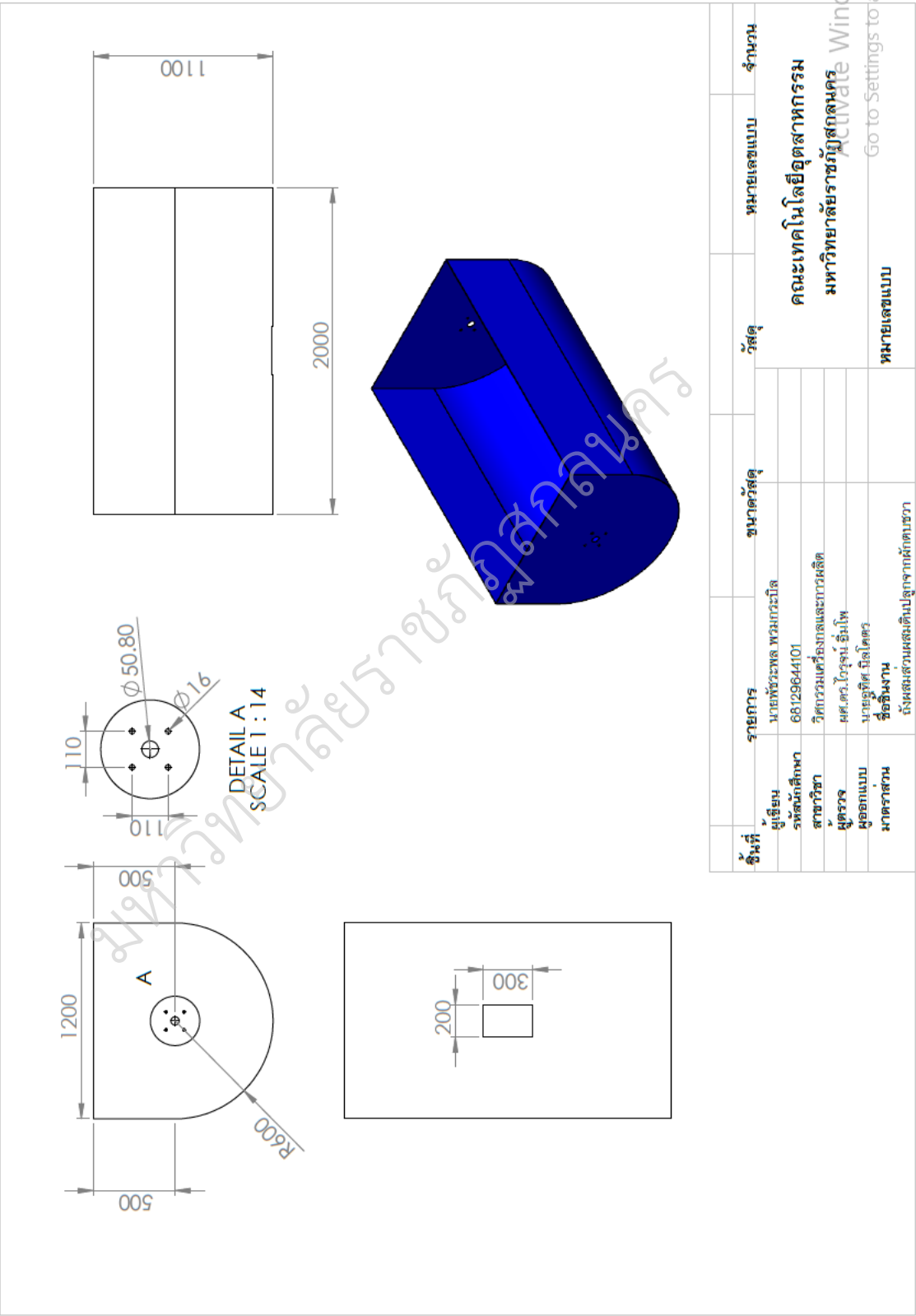


ลำดับ	ผู้เขียน	รายชื่อผู้จัดทำ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
1	นายพิชิตพล พรหมกระปิต	วิศวกรรวมเครื่องกลและไฟฟ้าผลิต				
2	ศ.ดร.ไวพจน์ อัมมโพ	นายอุทิศ นิลโคตร				
3	นายอุทิศ นิลโคตร	ชื่อผลงาน				
4	เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน					
5	1 : 25					
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุพรรณบุรี				หมายเลขแบบ	Go to Settings to a	



หมายเลข	รายการ
1	โครงเครื่อง
2	โครงถังผสม
3	การติดตั้งกังหันตราชาย
4	เสาโครงเครื่อง
5	พลูเลตย์ขับชุดผสม
6	มอเตอร์
7	เพลาลำเสียง
8	การประกอบเกียร์วัด
9	ช่องปล่อยวัตถุดิบ
10	แม่พิมพ์อัดเม็ด
11	ฝาครอบแม่พิมพ์
12	ชุดใบกวนผสม

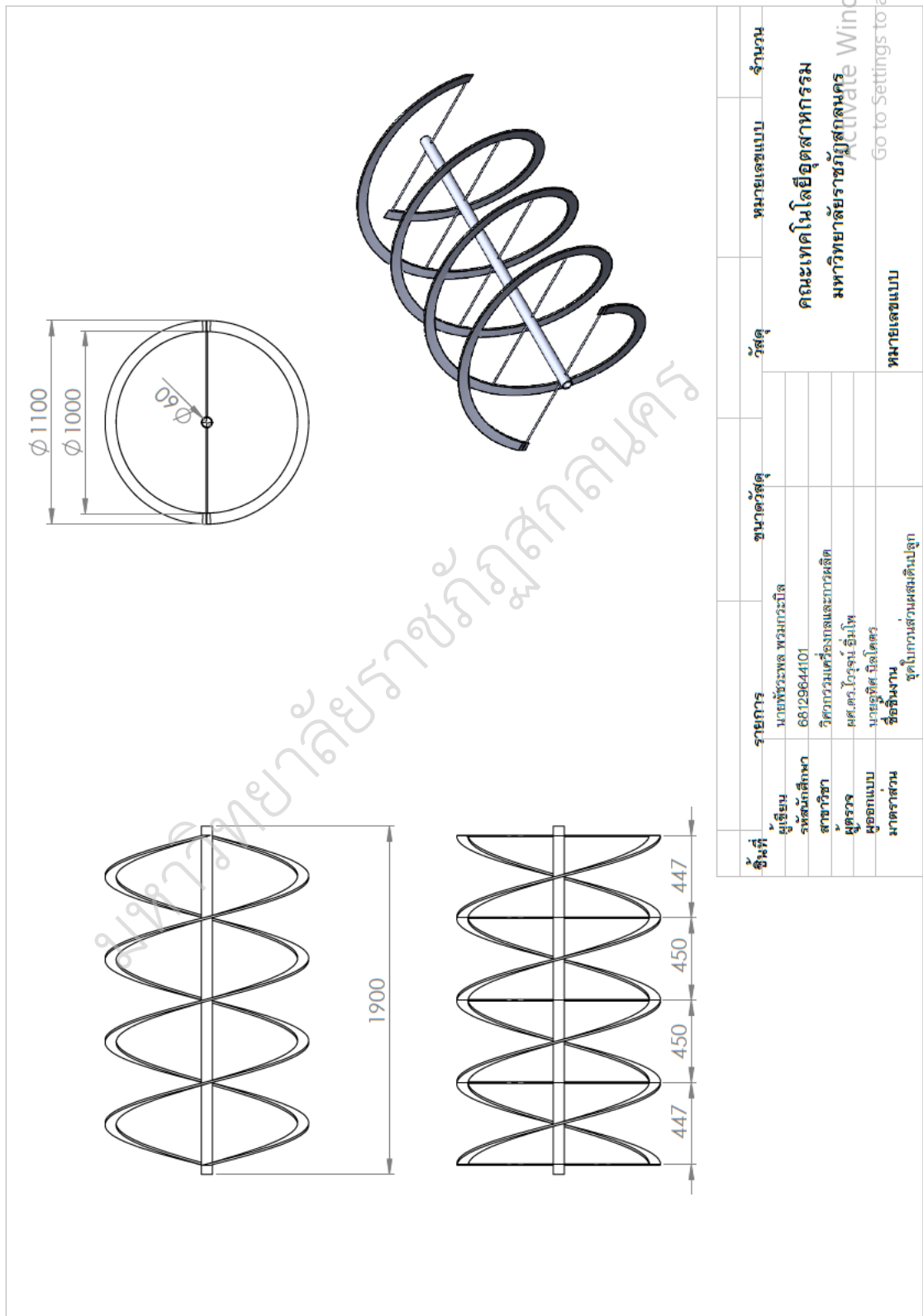
พื้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายพัชระพล พรหมกรบิล				
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต				
ผู้ตรวจ	ศศ.ดร. ไกรจน์ อัมโพ				
ผู้ออกแบบ	นายอุทัย นิลโคตร				
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน				
1 : 25	เครื่องผสมพวอมอัดเม็ดดินปลูกจากผักตบชวา				
				หมายเลขแบบ	Go to Settings to a
				หมายเลขแบบ	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
				มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร	Activate Wind

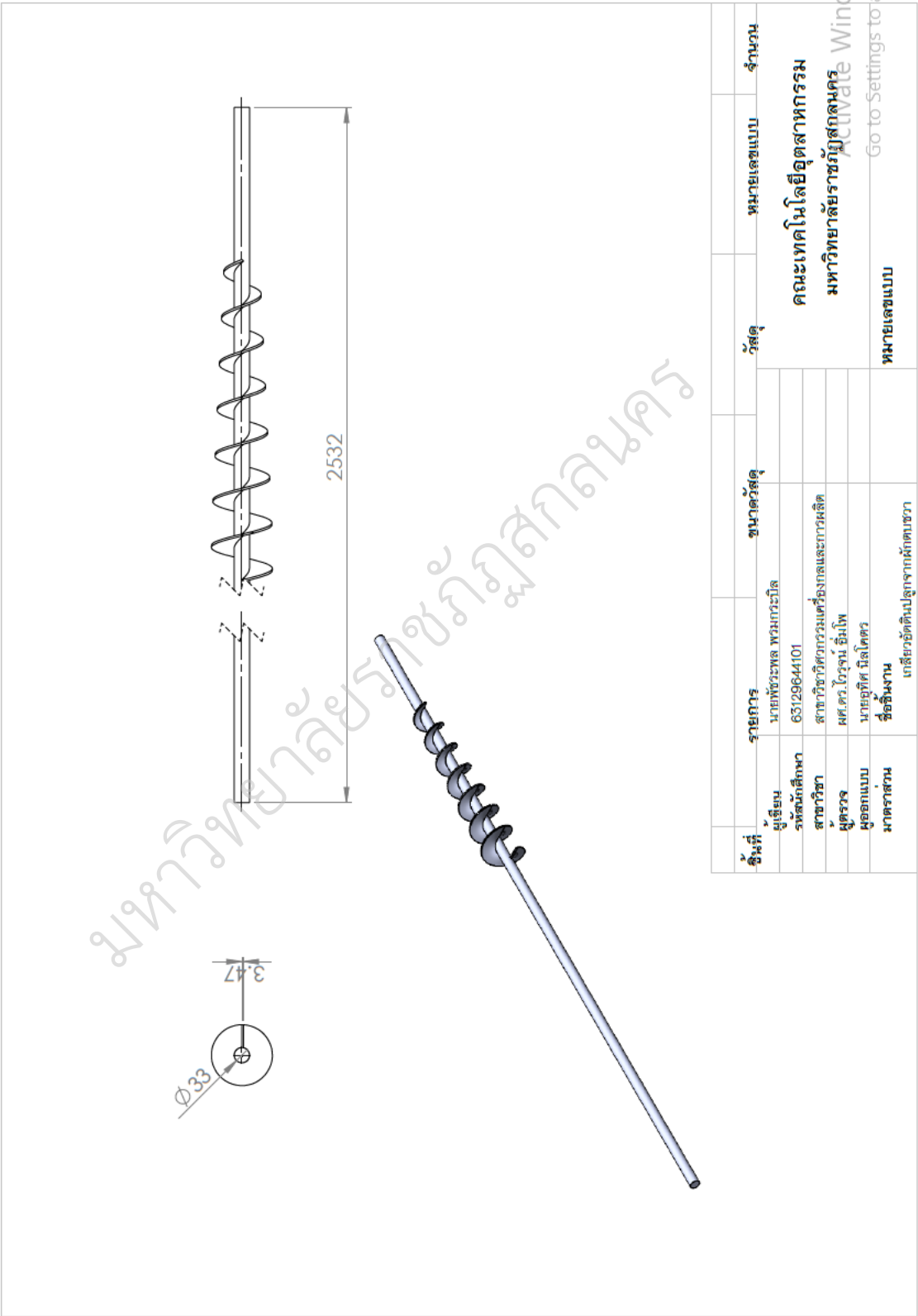


ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายพัชระพล พรหมกระบิล				
รศ.น.ส.ส.ส.ส.	68129644101				
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต				
ผู้ตรวจ	ศ.ดร.ไวโรจน์ อัมไพ				
ผู้ออกแบบ	นายอุทิศ นิลโคตร				
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน				
	ถังผสมส่วนผสมดินปลูกจากผักตบชวา				

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
Activate Wind
Go to Settings to activate

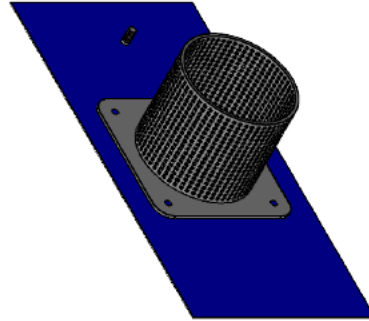
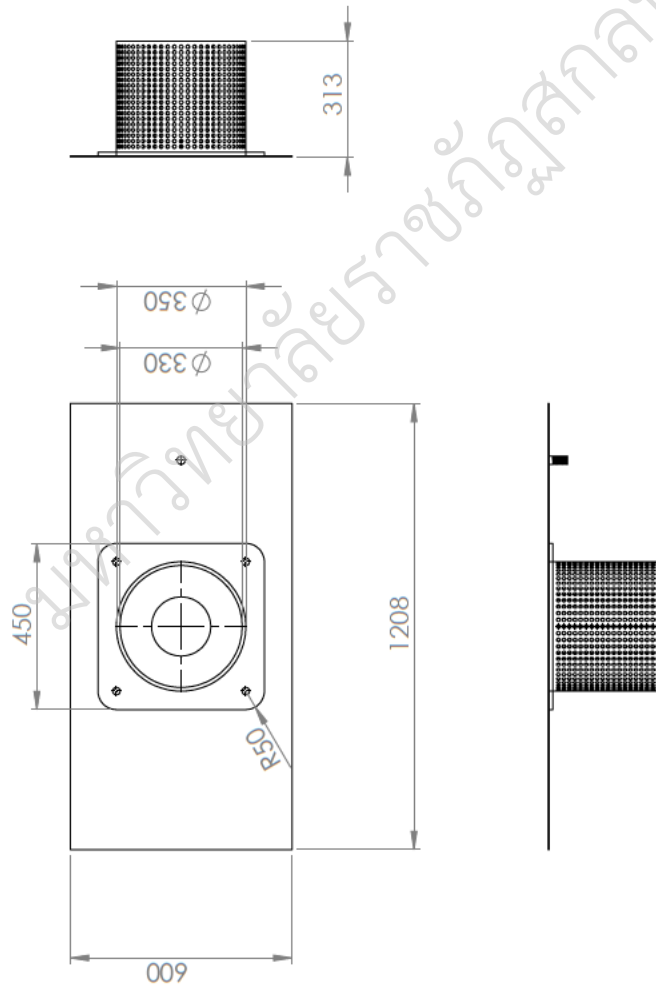
หมายเลขแบบ





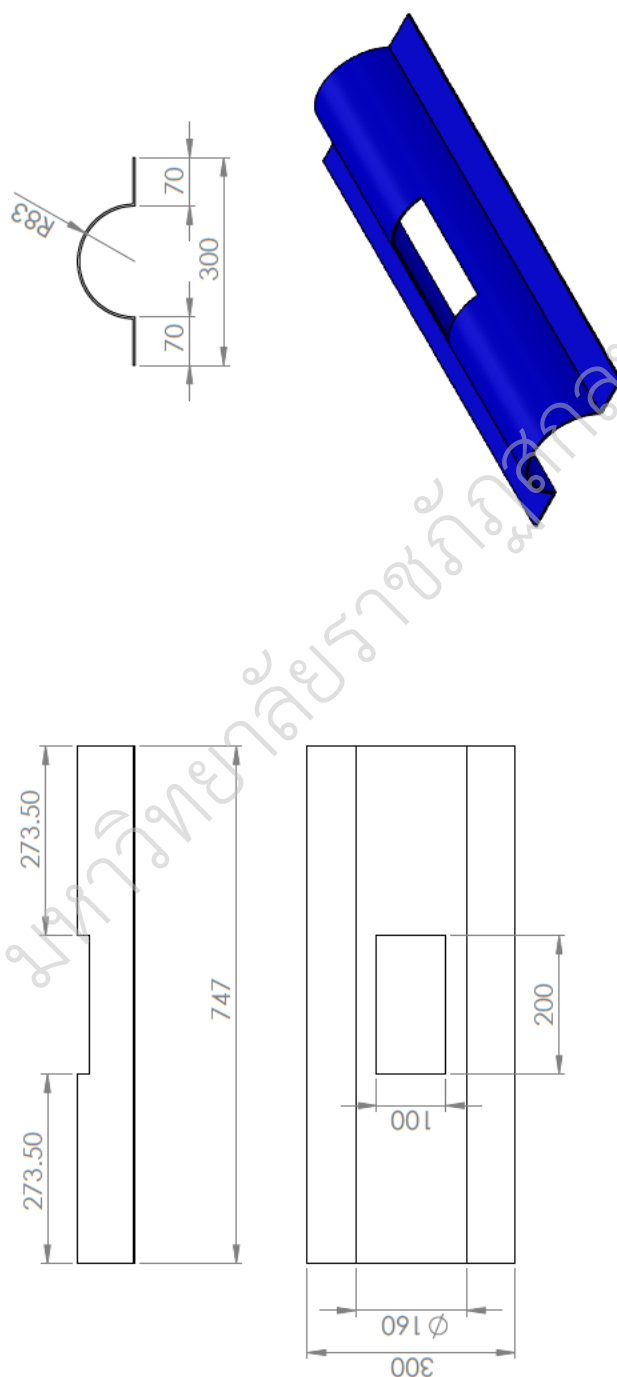
ผู้จัดทำ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายพัชรพล พรหมทวี				
รศ.น.ส.ก.ก.	63129644101				
สาขาวิชา	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและกลศาสตร์				
ผู้ตรวจ	ผศ.ดร.ไวพจน์ อิ่มโพ				
ผู้ออกแบบ	นายอภิส นิลโคตร				
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน				
	เกลียวยึดติดเปลี่ยนจากมัดคาน				

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
Activate Wind
Go to Settings to activate

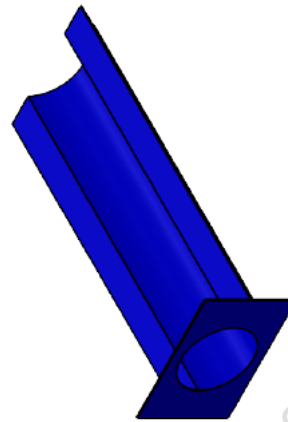
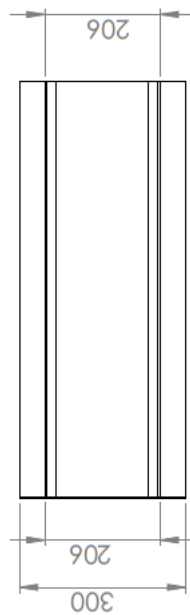
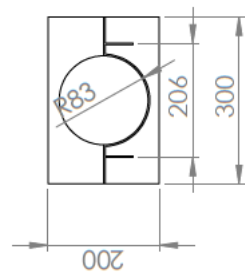


ผู้จัดทำ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายพัชระพล พรหมะปิล				
รหัสนักศึกษา	68129644101				
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต				
ผู้ตรวจ	ผศ.ดร.ไวรัชญ์ อัมไพ				
ผู้ออกแบบ	นายณัฐศิษฐ์ นิลโคตร				
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	กระบอกวัดดินปลูก			
				หมายเลขแบบ	Go to Settings to a

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
Activate Wind



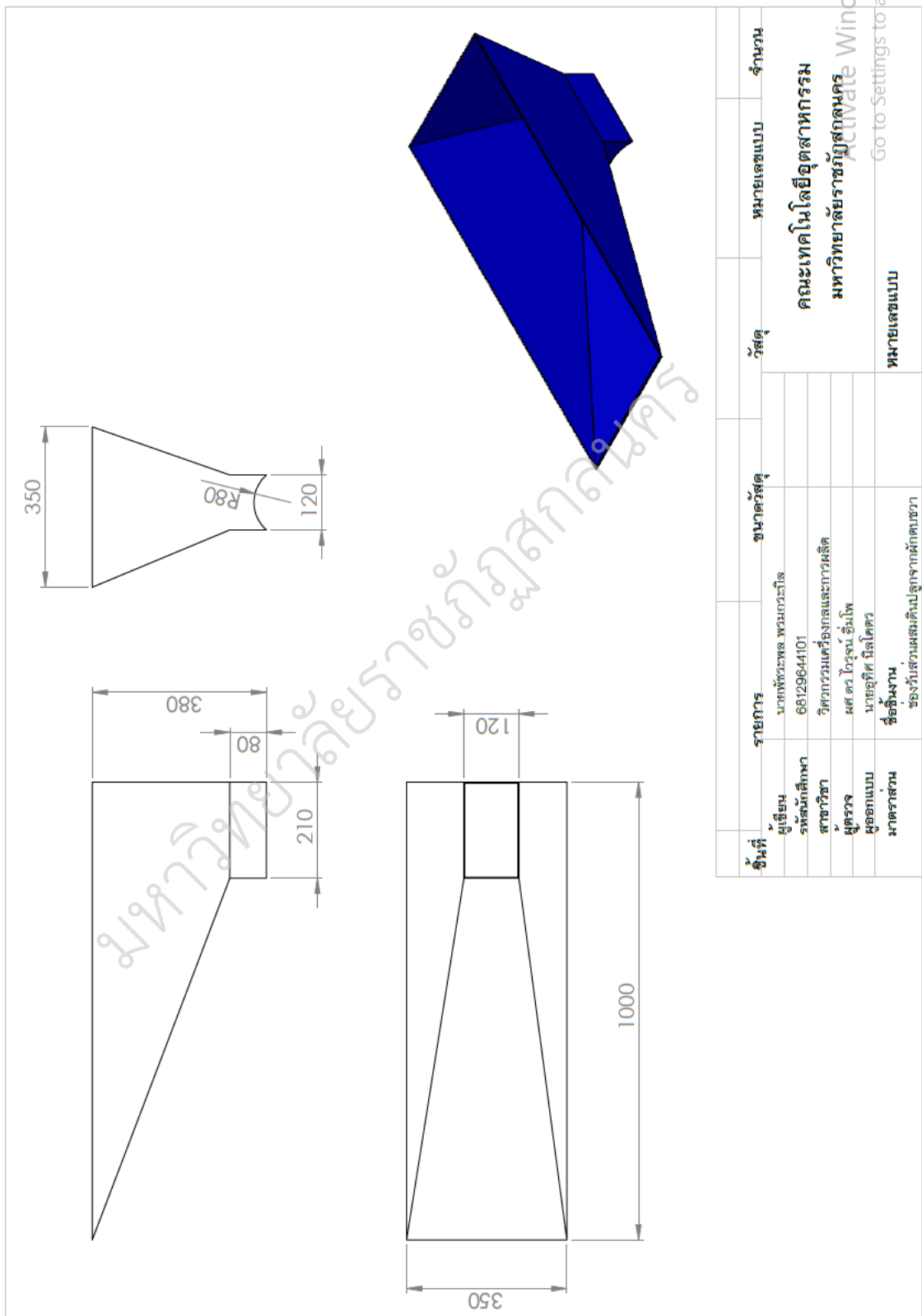
ชื่อพื้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเหตุแบบ	จำนวน
ผู้เรียน	นายพิชิต พงษ์ภักดิ์				
รหัสนักศึกษา	68129644101				
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต				
ผู้ตรวจ	ผศ.ดร.ไวพจน์ ลิ้มโพธิ์				
ผู้ออกแบบ	นายอู๋กิต มีสโคตร				
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน			หมายเหตุแบบ	
				กระเบื้องอัดบน	

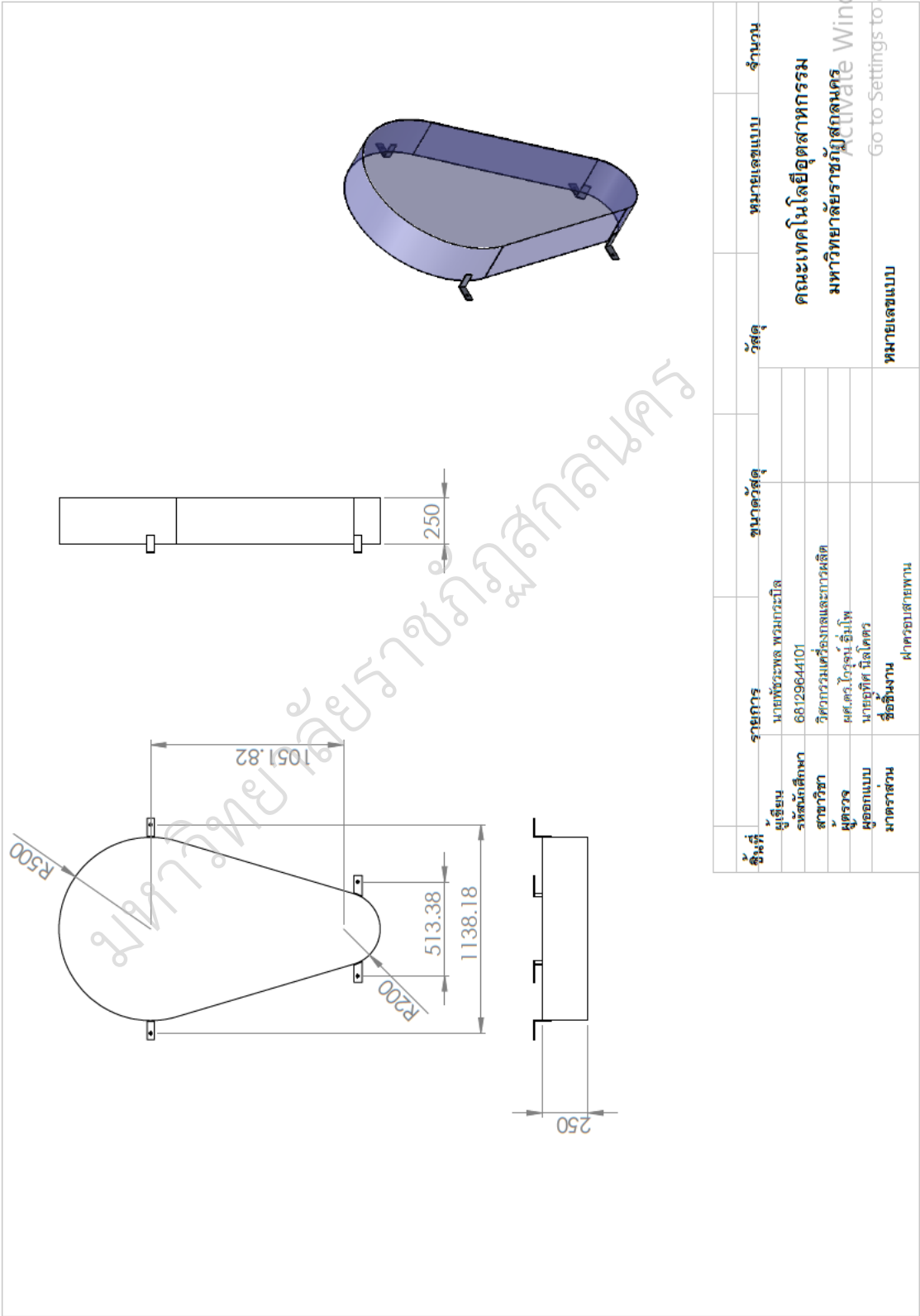


ผู้ยื่น	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายพัชระพล พรหมวงษ์				
รศ.ดร.วิภา	68129644101				
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกลและกลศาสตร์				
ผู้ตรวจ	ศ.ดร.ไฉฉาน อิมโพ				
ผู้ออกแบบ	นายอุทิศ นิลโต				
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน				
	กระบอกอัด				

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
Activate Wind
Go to Settings to a

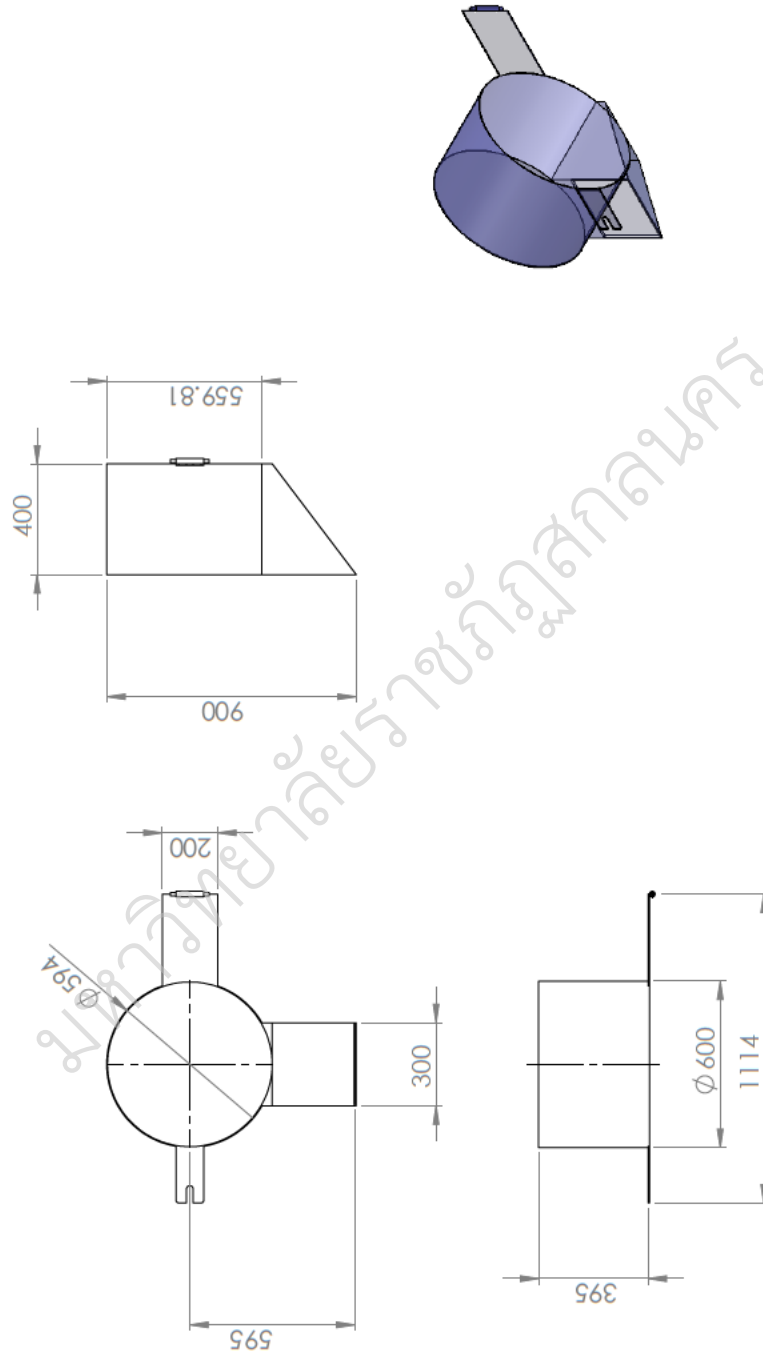
หมายเลขแบบ





ผู้จัดทำ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายพัชรพล พรหมะปิล				
รศ.นงนิจกาน	68129644101				
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกลและพลังงาน				
ผู้ตรวจ	ศส.ศว. วัชรจักษ์ อัมไพ				
ผู้ออกแบบ	นายอู๊ด นิลโคตร				
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน				
	ค่าควบคุมสายพาน				

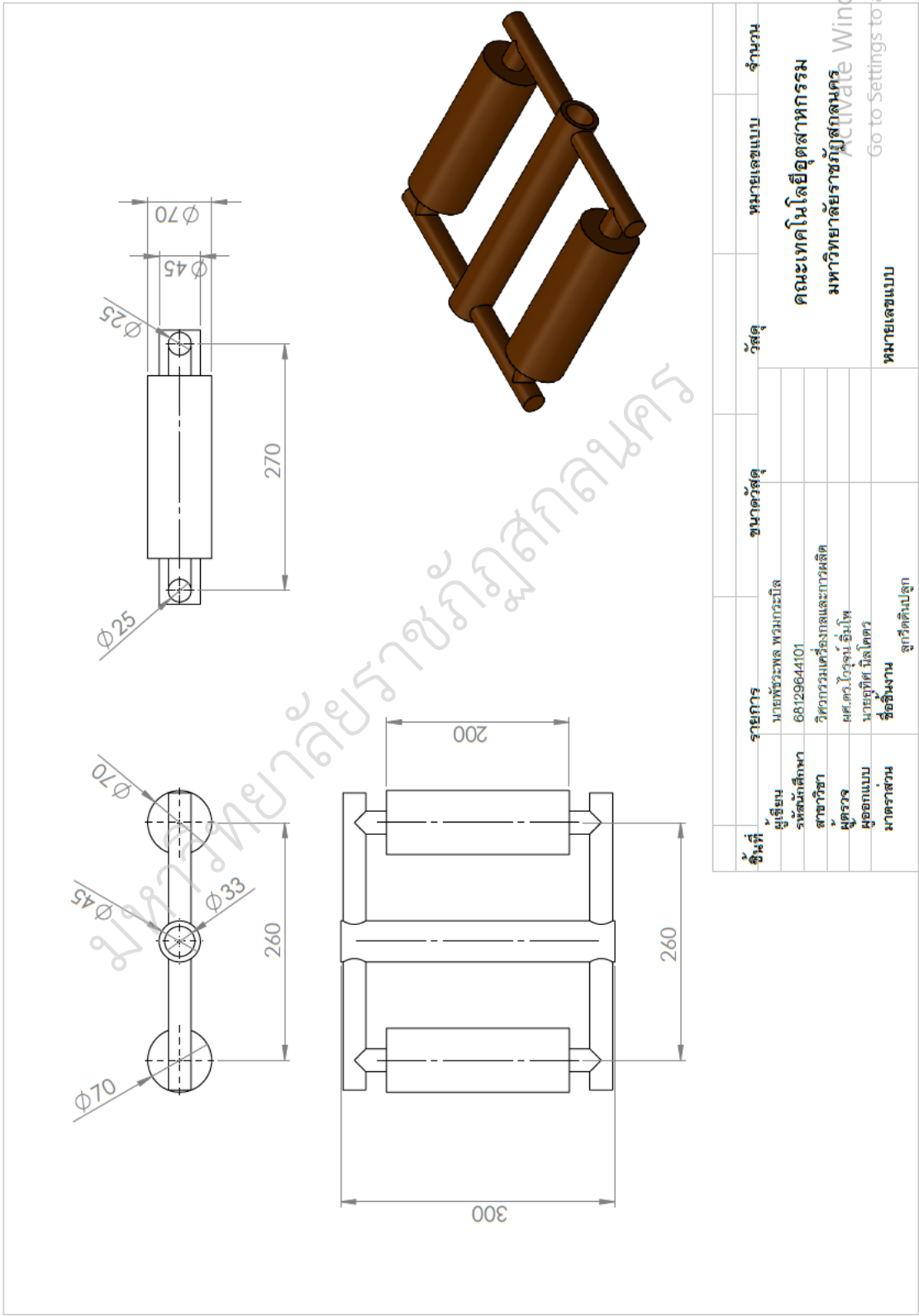
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
Activate Wind
Go to Settings to a



ผู้จัดทำ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายพัชระพล พรหมะปิล				
รศ.น.ส.กนก	68129644101				
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกลและกระบวนการผลิต				
ผู้ตรวจ	ผศ.ดร.ไกรจน์ อิ่มโพ				
ผู้ออกแบบ	นายอู่กิต นิลโคตร				
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน				
	ผ่าควอด				

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
Activate Wind
Go to Settings to a

หมายเลขแบบ



ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดปุ๋ยจากมูลวัว
ในระดับชุมชน

คู่มือการใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัว
ในระดับชุมชน



ภาพประกอบ ช-1 เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัว
ในระดับชุมชน

คำนำ

คู่มือการใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชนฉบับนี้ เป็นการแนะนำส่วนต่าง ๆ ของเครื่องเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน ซึ่งประกอบด้วย ข้อแนะนำ ข้อมูลเฉพาะ ส่วนประกอบของเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน การใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน และการบำรุงรักษาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน เมื่อศึกษารายละเอียดจากคู่มือการใช้งานนี้จะทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจวิธีการใช้งานของเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน มากขึ้น

ผู้จัดทำวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้ จะมีประโยชน์ต่อผู้ใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน ไม่มากก็น้อยและสามารถใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน ได้อย่างถูกต้องปลอดภัย ถ้าหากผิดพลาดประการใดก็ขออภัย ณ ที่นี้

ผู้จัดทำโครงการวิจัย

นายอุทิศ นิลโคตร

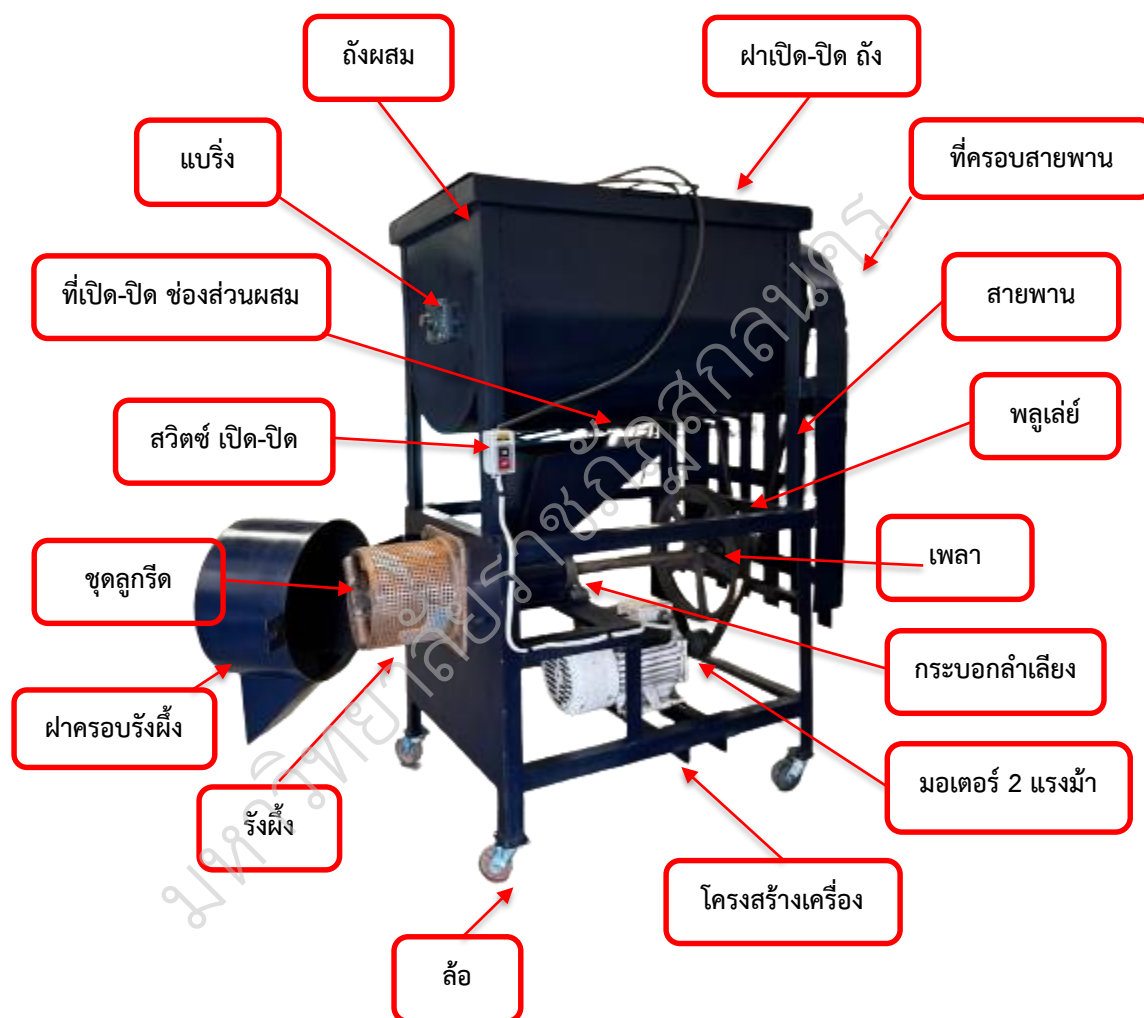
ข้อแนะนำ

1. ควรตรวจสอบสวิตช์ปิด-เปิดทุกครั้งก่อนทำการเสียบปลั๊ก
2. ควรปิดฟ้างค์ผสมให้เรียบร้อยก่อนเปิดสวิตช์การใช้งานทุกครั้ง
3. ห้ามยื่นมือเข้าไปในถังผสมและตัวเครื่องขณะทำงาน
4. ทำความสะอาดเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชนทุกครั้งหลังใช้งาน
5. ตรวจสอบสภาพเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชนก่อนการใช้งาน

ข้อมูลเฉพาะ

1. มอเตอร์กระแสตรงขนาด 2 แรงม้า 1,450 รอบต่อนาที
2. กำลังไฟฟ้า 220 โวลต์
3. ขนาดเครื่องกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร สูง 140 เซนติเมตร

ส่วนประกอบของเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัว



ภาพประกอบ ช-2 ส่วนประกอบของเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัว

การใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัว



ภาพประกอบ ช-3 ตรวจสอบเช็คเครื่องให้เรียบร้อยก่อนใช้งาน

การเตรียมปุ๋ยอินทรีย์จากส่วนผสมของดินและมูลวัว



ภาพประกอบ ช-4 ปุ๋ยอินทรีย์จากมูลวัวที่ผ่านการย่อยแล้วจนเป็นดินร่วน



ภาพประกอบ ช-5 ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการร่อนแล้ว 20 กิโลกรัม

ขั้นตอนการอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์จากมูลวัว



ภาพประกอบ ช-6 นำปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการร่อนแล้ว 20 กิโลกรัม เทลงในถังผสม



ภาพประกอบ ช-7 ทำการวัดความชื้นปุ๋ยอินทรีย์ให้ได้ความชื้นอยู่ที่ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ ช-8 เปิดสวิตช์การใช้งาน เพื่อผสมปูนอินทรีในถังผสม



ภาพประกอบ ช-9 เปิดถังผสมปล่อยปูนอินทรีลงในชุดลูกรีดเพื่ออัดเม็ด



ภาพประกอบ ช-10 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัว

ขั้นตอนการทำความสะอาด



ภาพประกอบ ช-11 ทำความสะอาดและเอาเศษดินปลูกรอบออกจากตัวเครื่อง



ภาพประกอบ ช-12 ทำความสะอาดชุดลูกรีด



ภาพประกอบ ช-13 ทำความสะอาดรังผึ้ง



ภาพประกอบ ช-14 หยอดน้ำมันตลับลูกปืน เพื่อให้ยืดอายุการใช้งาน

ภาคผนวก ณ

การลงพื้นที่การสาธิตการใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัว
ในระดับชุมชน ณ บ้านท่าแร่ ตำบลท่าแร่ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร



ภาพประกอบ ณ-1 ประธานเปิดโครงการและกิจกรรมโดยนายอำเภอเมือง
จังหวัดสกลนคร



ภาพประกอบ ณ-2 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ของเหลือทิ้งทางการเกษตรและมูลวัว



ภาพประกอบ ฅ-3 อธิบายหลักการทำงานและส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง



ภาพประกอบ ฅ-4 เปิดเครื่องผสม ผสมส่วนผสมของปุ๋ยอินทรีย์ให้เข้ากัน



ภาพประกอบ ณ-5 คักแยกระหว่างการอัดเม็ดสมุนไพรและไม้สมุนไพร



ภาพประกอบ ณ-6 ให้กลุ่มเกษตรกรผู้ใช้งานประเมินคุณภาพของเครื่อง

ภาคผนวก ก

แบบประเมินหาคุณภาพเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัว
ในระดับชุมชน

แบบประเมิน

เรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน

คำชี้แจง

แบบสอบถามฉบับนี้ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ ไปวิเคราะห์คุณภาพของการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชนที่ออกแบบและสร้างขึ้นแบบสอบถามฉบับนี้ แบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2. ความคิดเห็นของผู้ประเมิน

ตอนที่ 3. ข้อเสนอแนะ

ตอนที่ 1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1.1 เพศ

☐ ชาย

☐ หญิง

1.2 อายุ

☐ ต่ำกว่า 20 ปี

☐ 20-29 ปี

☐ 30-39 ปี

☐ 40-49 ปี

☐ 50-59 ปี

☐ 60 ปีขึ้นไป

1.3 ระดับการศึกษา

☐ ประถมศึกษา

☐ มัธยมศึกษาตอนต้น

☐ มัธยมศึกษาตอนปลายหรือเทียบเท่า

☐ อนุปริญญา

☐ ปริญญาตรี

☐ ปริญญาโท

☐ ปริญญาเอก

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

1.4 อาชีพ

☐ ข้าราชการ พนักงาน ลูกจ้างรัฐ/รัฐวิสาหกิจ

☐ พนักงาน ลูกจ้างเอกชน

☐ ค้าขาย ประกอบธุรกิจ

☐ เกษตรกร

☐ รับจ้างทั่วไป

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

ตอนที่ 2. ความคิดเห็นของผู้ประเมิน

กรุณาใส่เครื่องหมาย (✓) ลงในช่องที่ตรงกับ **สภาพความเป็นจริง** ตามความคิดเห็นของท่าน โดยมีระดับเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

5 หมายถึง ดีมาก

4 หมายถึง ดี

3 หมายถึง พอใช้

2 หมายถึง ควรปรับปรุง

1 หมายถึง ใช้ไม่ได้

ที่	หัวข้อประเมิน	ระดับเกณฑ์การให้คะแนน				
		5	4	3	2	1
ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกแบบเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน						
1	มีความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุสร้างเครื่อง					
2	ขนาดของเครื่องมีความเหมาะสม					
3	มีความแข็งแรงทนทาน					
4	วัสดุที่นำมาสร้างจัดหาซื้อได้ง่าย					
5	สามารถนำไปใช้งานที่เหมาะสมกับวิสาหกิจชุมชน					
ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านการใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน						
1	สามารถอัดเม็ดดินปลูกได้ตามขนาดที่ต้องการ					
2	มีความปลอดภัยในการทำงาน					
3	ผู้ใช้เครื่องไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญมาก					
4	ทำความสะอาดและดูแลรักษาง่าย					
ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านคู่มือการใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน						
1	อธิบายส่วนประกอบของเครื่องได้ชัดเจน					
2	อ่านและทำความเข้าใจง่าย					
3	ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานเหมาะสม					
4	ภาพประกอบการใช้งานเหมาะสม					

ตอนที่ 3. ความคิดเห็นอื่น ๆ และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกแบบเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน

.....

.....

.....

.....

2. ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านการใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน

.....

.....

.....

.....

3. ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านคู่มือการใช้งานเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลวัวในระดับชุมชน

.....

.....

.....

.....

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายอุทิศ นิลโคตร
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 20 กันยายน พ.ศ.2520
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	40 หมู่ 4 ตำบลถ้ำเจริญ อำเภอไชยพิสัย จังหวัดบึงกาฬ 38170
ตำแหน่งปัจจุบัน	ครู วิทยฐานะชำนาญการ
สถานที่ทำงาน	แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสกลนคร
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2535	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนศรีชมภูวิทยาท อำเภอไชยพิสัย จังหวัดบึงกาฬ
พ.ศ. 2538	ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย
พ.ศ. 2540	ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย
พ.ศ. 2543	ระดับปริญญาตรี ครุศาสตรบัณฑิต (คบ.) สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2561	ข้าราชการครู วิทยาเทคนิคอุทัยธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี
พ.ศ. 2563	ข้าราชการครู วิทยาการอาชีพพรณานิคม อำเภอพรณานิคม จังหวัดสกลนคร
พ.ศ. 2565	ข้าราชการครู วิทยาเทคนิคสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร