การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

สมสมัย บุญก้อน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี
บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
พ.ศ. 2567

GRAD VRU

134670235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

63B55100107_134670235

13467023S
VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

DEVELOPMENT OF SOWING MACHINE FOR TRACTOR

SOMSAMAI BOONKON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCES

IN TECHNOLOGY MANAGEMENT

GRADUATE SCHOOL

VALAYA ALONGKORN RAJABHAT UNIVERSITY

UNDER THE ROYAL PATRONAGE

PATHUM THANI PROVINCE

2024

GRAD VRU

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ
ชื่อนักศึกษา	สมสมัย บุญก้อน
รหัสประจำตัว	63B55100107
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	การจัดการเทคโนโลยี

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจลักษณ์ เมืองมีศรี)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เดชฤทธิ์ มณีธรรม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาวรรณ แพงศรี)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เดชฤทธิ์ มณีธรรม)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เทอดเกียรติ แก้วพวง)

..... กรรมการและเลขานุการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจลักษณ์ เมืองมีศรี)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิ

(ศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล)

GRAD VRU

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กันต์ฤทัย คลังพหล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 9 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

สมสมัย บุญก้อน. (2567). การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยี). อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร.เบญจลักษณ์ เมืองมีศรี รศ. ดร.เดชฤทธิ์ มณีธรรม

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบกลไกเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ และ 2) ออกแบบระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ โดยผู้วิจัยทำการออกแบบระบบกลไกของเครื่องหยอดเมล็ดธัชพืชสำหรับต่อเข้ากับรถไถทางการเกษตรที่ใช้ไถพรวนและไถกลบ ทำการเขียนโปรแกรมสั่งการโดยใช้วิชัวร์สตูดิโอและอาดูอิโน ไอดีอี เพื่อให้โปรแกรมสั่งงานให้เครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชสำหรับรถไถทำงานตามที่กำหนดไว้ ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยทำการทดลองหยอดเมล็ดธัญพืชจากกลไกที่ออกแบบไว้ เป็นระยะทาง 461.5 เมตร โดยมีระยะห่างแต่ละครั้งเป็น 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 เซนติเมตร โดยเก็บผลการทดลองเป็นความถี่จำนวนทั้งสิ้น 125 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์ผลให้เป็นร้อยละของความแม่นยำ

ผลการวิจัยพบว่า 1) การออกแบบกลไกเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชโดยการสร้างจากเหล็กเหนียวอย่างดีและทำการเชื่อมต่อกับรถไถ และสามารถทำงานเข้ากับรถไถทุกรุ่นได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพ 2) การออกแบบระบบควบคุมจากการทดลองหยอดเมล็ดธัญพืชตามระยะทางที่กำหนดจากการทดลองซ้ำ 125 ครั้ง แต่ละระยะห่างของการปลูกได้จำนวนเมล็ดธัญพืชตามจำนวนที่กำหนดในโปรแกรม ค่าความแม่นยำของระยะห่างระหว่างช่วงการปลูกมีค่าความคลาดเคลื่อนบวกลบไม่เกิน 1 เซนติเมตร

นวัตกรรมที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้เป็นเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้จริงในการหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ โดยอาศัยเทคโนโลยี ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมที่ได้ถูกออกแบบไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการกำหนดระยะห่างระหว่างเมล็ดธัญพืชทำให้เกษตรกรสามารถกำหนดระยะห่างได้เองตามความเหมาะสมของพืชชนิดต่าง ๆ ส่งผลให้สอดคล้องต่อสภาพปัจจุบัน โดยการสร้างสรรค์นำหลักการเทคโนโลยีมาอำนวยความสะดวกแก่เกษตรกรหรือผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก และยังสามารถสร้างและพัฒนานวัตกรรมไปสู่รูปแบบของนวัตกรรมเชิงพาณิชย์และนวัตกรรมเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

คำสำคัญ: กลไก, เครื่องหยอดเมล็ดธัญพืช, รถไถ

GRAD VRU

VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
13467023

Somsamai Boonkon. (2024). Development Of Sowing Machine For Tractor. Master of Sciences (Technology Management). Advisors: Assoc. Prof. Dr.Benchalak Muangmeesri, Assoc. Prof.Dechrit Maneetham

ABSTRACT

This experimental research aimed to 1) design the mechanism of the seed planter for tractors; and 2) invent the control system for the seed planter for tractors. The researcher drew the mechanical system of the seed planter attached to the agricultural tractors used in plowing and harrowing. The program commands were written using Visual Studio and Arduino IDE to instruct the seed planter to operate as specified. In this experiment, the researcher conducted the seed planter derived from the designed mechanism over a distance of 461.5 meters, with intervals of 40, 50, 60, 70, 80, and 90 centimeters. The experiment was repeated 125 times to analyze the results in terms of accuracy.

The research findings were as followed: 1) the design of the seed planting mechanism, meticulously crafted from high-quality steel and seamlessly integrated with plows, ensured excellent compatibility and optimal performance across all plow models; and 2) the control system design from the experimental seed planting at specified distances in the repeated experiments of 125 trials demonstrated the number of planted seeds at each distance that matched the programmed values. The accuracy of the spacing between planting intervals showed a deviation within ±1 centimeter.

The innovation derived from this research was a seed planter for tractors that could be practically utilized for seed planting. with the control of program designed in the microcontroller. The ability to set planting distances empowered farmers to customize the spacing according to the suitability of various crops, aligning with current agricultural needs. This innovation facilitates not only farmers or users by applying technological principles, but it also leads to the development of commercial and industrial innovations in the future.

Keyword: Mechanism, Seed planting machine, Tractors

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยได้รับความร่วมมือและความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ หลายท่าน ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์

กราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจลักษณ์ เมืองมีศรี และรองศาสตราจารย์ ดร.เดชฤทธิ์ มณีธรรม ที่ได้ให้คำปรึกษา ตรวจสอบความถูกต้อง แก้ไขและชี้แนะแนวทางในการศึกษาการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คณาจารย์และบุคลากรของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำในเรื่องต่าง ๆ ตลอดจนเกษตรกรในพื้นที่หมู่บ้านหนองเสาเล้า ตำบลหนองเสาเล้า อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ที่ให้ความร่วมมือและเป็นส่วนหนึ่งของการเก็บข้อมูล อีกทั้งคอยช่วยเหลือและสนับสนุนข้อมูลที่เป็นประโยชน์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดาที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สมสมัย บุญก้อน

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ประโยชน์ของการวิจัย 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.5 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย 5

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบควบคุม 6

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ (PID Proportional-Integral-Derivative) 10

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ 16

2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับธัญพืช 28

2.5 ทฤษฎี การปลูกข้าวแบบหยอด 44

2.6 ทฤษฎีไมโครคอนโทลเลอร์ (Microcontroller) 46

2.7 ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย 50

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

2.8 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระเบียบวิธี (finite element method FEM)..... 55
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 68
3.1 การกำหนดขอบเขตและขั้นตอนดำเนินงานวิจัย..... 69
3.2 การดำเนินการสร้างและทดสอบงานวิจัย 78
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 85
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล 87
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 87
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 89
4.1 ผลการวิเคราะห์การออกแบบกลไกเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ..... 90
4.2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ 95
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ 114
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 114
5.2 อภิปรายผลการวิจัย..... 115
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 116
บรรณานุกรม..... 117
ประวัติผู้วิจัย..... 120

GRAD VRU

13467023S VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ 15
ตารางที่ 2 Ziegler-Nichols method 16
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบ ข้อดี ข้อเสีย ของอินเตอร์พรีเตอร์ และคอมไพเลอร์ 51
ตารางที่ 4 ค่าความสัมพันธ์ของวัสดุ 63
ตารางที่ 5 แบบฟอร์มเก็บข้อมูลระยะห่างของการหยอดเมล็ดธัญพืช 86
ตารางที่ 6 แบบฟอร์มเก็บข้อมูลจำนวนการหยอดเมล็ดธัญพืช 86
ตารางที่ 7 แบบบันทึกการทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอดผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์และ โปรแกรมภาษา C++ ครั้งที่ 1 วันจันทร์ 99
ตารางที่ 8 แบบบันทึกการทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของจำนวนเมล็ดที่ควบคุมด้วยกลไก . 108

GRAD VRU
VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
1346170235

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control) 8

ภาพที่ 2 ตัวอย่างการต่อใช้งานระบบการควบคุมแบบ Open Loop Control 8

ภาพที่ 3 ไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด Closed Loop Control แสดงตัวอย่างการต่อใช้งาน9

ภาพที่ 4 การควบคุมแบบ Closed Loop Control 10

ภาพที่ 5 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี (PID) 11

ภาพที่ 6 กราฟ PV ต่อเวลา Kp กำหนดเป็น 3 ค่า Ki และ Kd (คงที่) 12

ภาพที่ 7 กราฟ PV ต่อเวลา Ki กำหนดเป็นสามค่า Kp และ Kd (คงที่) 13

ภาพที่ 8 กราฟ PV ต่อเวลา สำหรับ Kd 3 ค่า Kp และ Ki (คงที่) 14

ภาพที่ 9 รูปร่างของเอ็นโคเดอร์แบบเชิงเส้น 16

ภาพที่ 10 โครงสร้างของ Absolute Linear Encoder 17

ภาพที่ 11 โครงสร้างของ Incremental Linear Encoder 18

ภาพที่ 12 บล็อกไดอะแกรมการนำ Incremental Linear Encoder ไปใช้งาน 18

ภาพที่ 13 การทำให้จำนวนพัลส์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจากระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านสูงสุดเท่าเดิม 19

ภาพที่ 14 รูปร่างของเอ็นโคเดอร์แบบหมุน (Rotary Encoder) 20

ภาพที่ 15 โครงสร้างของเอ็นโคเดอร์แบบหมุนชนิด Absolute Rotary Encoder 21

ภาพที่ 16 โครงสร้างของเอ็นโคเดอร์แบบหมุน 21

ภาพที่ 17 บล็อกไดอะแกรมการนำ Incremental Rotary Encoder ไปใช้งาน 23

ภาพที่ 18 ลักษณะการทำงานของเครื่องหว่าน 46

ภาพที่ 19 การงอกของธัญพืช 46

ภาพที่ 20 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ 47

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ภาพที่ 21 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno 48
ภาพที่ 22 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 49
ภาพที่ 23 โครงสร้างภาษาซี (Structure Of C Programs) 52
ภาพที่ 24 เปรียบเทียบแบบจำ ลอง 3 มิติ (CAD) กับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (FE) 56
ภาพที่ 25 กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียดทางวิศวกรรมของวัสดุ 62
ภาพที่ 26 แสดงค่าความสัมพันธ์ความเค้นที่แท้จริงและความเครียดที่แท้จริงของวัสดุโลหะแผ่นที่ได้ 63
ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์แบบยกกำลัง 64
ภาพที่ 28 ภาพจำลองการวิเคราะห์การทดสอบการต้านแรงดึงด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ 64
ภาพที่ 29 ผลจากการวิเคราะห์การทดสอบการต้านแรงดึงด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ 65
ภาพที่ 30 ผลการเปรียบเทียบจากการวิเคราะห์การทดสอบการต้านแรงดึงด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ในแต่ละแบบจำลองและผลที่ได้จากการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย optimization 67
ภาพที่ 31 รูปสามมิติเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ 69
ภาพที่ 32 ขนาดทั่วไปของเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ 70
ภาพที่ 33 แสดงรูปการออกแบบโครงสร้างแบบมุมมองรอบด้าน 70
ภาพที่ 34 แสดงรายละเอียดเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ 71
ภาพที่ 35 แสดงการเขียนโปรแกรม C++ ให้กับตัวอาดูอิโน่ในการควบคุมการทำงาน 73
ภาพที่ 36 แสดง schematic diagram 74
ภาพที่ 37 แสดงหน้าจอ 74
ภาพที่ 38 การเตรียมชิ้นส่วน 75
ภาพที่ 39 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องกัด 76
ภาพที่ 40 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องตัด laser 77
ภาพที่ 41 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องกลึง 77
ภาพที่ 42 แสดงขั้นตอนสร้างและทดสอบงานวิจัยทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ 78

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
GRAD VRU

ภาพที่ 43 การเชื่อมประกอบชิ้นส่วน 79
ภาพที่ 44 การประกอบงานไฟฟ้าและระบบควบคุม 80
ภาพที่ 45 ภาพที่ออกแบบวงจรควบคุม 81
ภาพที่ 46 การประกอบมอเตอร์ไฟฟ้าเข้ากับชุดเกียร์ 81
ภาพที่ 47 การ upload software เข้าไมโครคอนโทลเลอร์ 82
ภาพที่ 48 การทำ form แสดงผลและปรับค่า 83
ภาพที่ 49 การการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ 84
ภาพที่ 50 การประกอบเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชเข้ากับรถไถ 85
ภาพที่ 51 การออกแบบ 2D Side view 90
ภาพที่ 52 การออกแบบ 2D Top view 90
ภาพที่ 53 การออกแบบ 2D Front view 91
ภาพที่ 54 การออกแบบ 3D หรือการออกแบบ 3 มิติ 92
ภาพที่ 55 การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วย finite night element 93
ภาพที่ 56 รวมการทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอดผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์ 104
ภาพที่ 57 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 40 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์ 105
ภาพที่ 58 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 50 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์ 105
ภาพที่ 59 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 60 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์ 106
ภาพที่ 60 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 70 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์ 106
ภาพที่ 61 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 80 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์ 107

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ภาพที่ 62 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 90 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์ 107

ภาพที่ 63 แสดงกราฟค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดในการทดสอบ 113

ภาพที่ 64 กราฟแสดงจำนวนเมล็ดธัญพืชที่ทำการทดลอง 113

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่สมัยอดีตการทำการเกษตรในประเทศไทยนับว่าเป็นอาชีพที่มีสำคัญมากอาชีพหนึ่ง ซึ่งประเภทของการเกษตรในประเทศไทยนั้นมีมากมายหลายประเภท อาทิ การทำไร่ การทำสวน การทำนา สวนยางพารา สวนผลไม้ สวนพืชไร่ เป็นต้น การทำการเกษตรต้องอาศัยปัจจัยในหลาย ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นสภาพของพื้นที่ สภาพแวดล้อม สภาพพื้นฐานของสภาพดินฟ้าอากาศในพื้นที่นั้น ๆ รวมถึงเครื่องมือ อุปกรณ์พื้นฐานหลักของในแต่ละครอบครัว ทำให้วิธีในการเพาะปลูกในแต่ละพื้นที่นั้นแตกต่างกันออกไป เช่น การทำการเกษตรในพื้นที่ราบจะมีวิธีการเพาะปลูกเฉพาะในรูปแบบของพื้นที่ราบ การทำการเกษตรในพื้นที่สูงและพื้นที่เนินเขาก็จะมีวิธีการเพาะปลูกในรูปแบบของการเพาะปลูกในแบบของพื้นที่แบบเนินเขา การเพาะปลูกพืชในพื้นที่ริมทะเลก็จะมีวิธีการเพาะปลูกในรูปแบบของพื้นที่นั้น ๆ แน่นอนที่สุดสิ่งที่ต่างกันในแต่ละพื้นที่คือประเภทของดินที่เหมาะสมกับการปลูกพืชที่แตกต่างกันออกไป เกษตรกรในแต่ละพื้นที่จึงแสวงหาเครื่องมือเพื่อเป็นเครื่องทุ่นแรง ลดต้นทุน ลดเวลาในการเพาะปลูกและเพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งเป็นสิ่งที่เกษตรกรต้องการกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยจะเห็นได้จากนโยบายของภาครัฐ และงานวิจัย ที่มีการส่งเสริมให้มีการใช้เทคโนโลยีทางการเกษตร เช่น โดรนที่ใช้ในการพ่นยาหว่านปุ๋ย และหว่านเมล็ดธัญพืช เพื่อยกระดับมาตรฐานทางเกษตรกรรมของประเทศและเพื่อเป็นการเตรียมตัวเข้าสู่ระบบ Thailand 4.0 และแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี พ.ศ. 2561-2580 ข้อที่ 2 ขีดความสามารถในการแข่งขัน การพัฒนาเศรษฐกิจ และการกระจายรายได้ สำหรับในปัจจุบันเกษตรกรของไทยยังใช้วิธีการเพาะปลูกแบบเดิมที่ทำกันมาตั้งแต่อดีตการ ซึ่งในปัจจุบันนี้ในการที่จะเพิ่มผลผลิตนั้นจำเป็นต้องมีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการทำการเกษตร เพื่อที่จะสามารถแข่งขันกับเกษตรกรของต่างชาติได้ช่วยในการเพิ่มผลผลิต ลดเวลาใน การทำงาน อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตได้อีกทาง

เครื่องมือทางการเกษตรปัจจุบันได้มีการพัฒนาการอย่างก้าวกระโดดเนื่องจากการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เทคโนโลยีการสื่อสาร 4G/5G เกษตรกรเองก็มีการหาเครื่องมือที่จะนำเข้ามาช่วยในการเพาะปลูก เครื่องมือที่ใช้ในการทุ่นแรง และเครื่องมีที่ใช้ในการเพิ่มผลผลิตเพื่อให้สามารถแข่งขันกับสภาพดินฟ้าอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วเหมือน

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
GRAD VRU

ในภาวะปัจจุบัน ดังจะสังเกตได้จากยอดขายของบริษัทที่ผลิตเครื่องจักรทางการเกษตรได้มียอดขายที่เพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด เช่น บริษัทสยามคูโบต้า มียอดขาย 54,000 ล้านบาท โดยมีสัดส่วนในประเทศ : ต่างประเทศเท่ากับ 33,000 ล้านบาท : 21,000 ล้านบาท ด้วยมูลค่ายอดขายในประเทศเติบโตเกือบร้อยละ 10 ตัวอย่างอีกบริษัทหนึ่งคือบริษัทยันมาร์ประเทศไทย จำกัด ช่วงเวลา 6 ปีที่ผ่านมานับตั้งแต่ปี 2557 ที่มียอดขาย 6,550 ล้านเยน ในจำนวนนี้มาจากในประเทศญี่ปุ่น 3,661 ล้านเยน และต่างประเทศ 2,889 ล้านเยน และในปี 2559 สัดส่วนยอดขายในต่างประเทศเริ่มมากกว่าในประเทศ หลังจากนั้นตัวเลขยอดขายในต่างประเทศขยับขึ้นมาเรื่อย ๆ จนกระทั่งล่าสุดปีนี้มียอดขาย 8,600 ล้านเยน มาจากต่างประเทศ 4,558 ล้านเยน ในประเทศ 4,042 ล้านเยน จะเห็นได้ว่าเครื่องมือทางการเกษตรมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงมาก เนื่องจากเกษตรกรในปัจจุบันนี้มีความต้องการเครื่องมือเครื่องจักรที่จะนำไปใช้ในการเกษตร มีมากมายหลายชนิดทั้งเครื่องจักรที่ใช้ในการเตรียมดิน เครื่องจักรในการฉีดพ่นเคมีและปุ๋ย เครื่องจักรในการเพาะปลูก และเครื่องจักรในการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร

ดังนั้น การลงทุนในเรื่องเครื่องจักรการเกษตรจึงเป็นต้นทุนของเกษตรกรที่ค่อนข้างสูง ส่งผลทำให้เกษตรกรมีปัญหาในด้านการจัดหาเครื่องมือเครื่องจักร เนื่องด้วยราคาเครื่องมือเครื่องจักรมีราคาที่ค่อนข้างสูง และเครื่องมือเครื่องจักรที่มีอยู่ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีหลายประการ รวมถึงความรู้พื้นฐานและความจำเป็นในการใช้ความรู้เฉพาะทางมากเกินไปของเกษตรกรที่มีต่อเครื่องมือเครื่องจักร ส่งผลทำให้การตัดสินใจในการซื้อเครื่องจักรกลทางการเกษตรของเกษตรกรนั้นมีมากขึ้น เช่น เครื่องมือเครื่องจักรต้องสามารถใช้งานได้หลากหลาย มีความคงทนแข็งแรง มีความแม่นยำ และสามารถปรับใช้ได้กับหลากหลายสภาพพื้นที่ ดินฟ้าอากาศ หลากหลายพันธุ์พืช เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าของเครื่องจักรนั้น ๆ เมื่อเกษตรกรซื้อเครื่องจักรมาแล้วต้องสามารถนำมาใช้งานได้หลากหลายกับพืชชนิดต่าง ๆ มีความยืดหยุ่น เพื่อเป็นการลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตในการเพาะปลูก แต่ทั้งนี้เกษตรกรเองก็จะต้องใช้เครื่องมือเหล่านั้นได้อย่างถูกวิธีถูกหลักการ เครื่องมือหลายชนิดที่เมื่อนำมาใช้แล้วเกษตรกรเองไม่สามารถเข้าใจ และใช้เครื่องมือไม่ถูกวิธีทำให้ใช้เครื่องมือไม่เต็มประสิทธิภาพ อีกทั้งเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชยังไม่มีระบบที่มีความทันสมัย เป็นการสร้างปัญหาให้ให้เกษตรกรในด้านการเพาะปลูกทั้งทางด้านคุณภาพของผลผลิต รวมถึงต้นทุนในการผลิตทำให้ผลผลิตที่ออกมาไม่ได้คุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน เพราะเครื่องมือมีความซับซ้อนและใช้งานได้ยากไม่มีความแม่นยำ และไม่มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน นอกจากนี้เครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชโดยทั่วไปยังประกอบด้วยชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อน ส่งผลให้

1346770235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

เกษตรกรเกิดความยุ่งยาก เสียเงิน เสียเวลาในการซ่อมบำรุง ซึ่งเหล่านี้คือต้นทุนในการผลิตของเกษตรกรทั้งหมด

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงการออกแบบ การนำไปใช้ และการพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถที่สามารถติดตั้งบนรถไถ อีกทั้งสามารถเปิดและปิดการทำงานได้ง่าย เนื่องจากระบบนี้มีชุดควบคุมที่ทำงานด้วยระบบไฟฟ้า ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมที่ได้ถูกออกแบบไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในการกำหนดระยะห่างระหว่างเมล็ดธัญพืชทำให้เกษตรกรสามารถกำหนดระยะห่างได้เองตามความเหมาะสมของพืชชนิดต่าง ๆ รวมถึงสภาพดิน สภาวะดินฟ้าอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและรุนแรง แต่ด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะเข้ามาช่วยควบคุมระบบผ่านชุดขับมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีเซนเซอร์ตรวจจับการหมุน ทำให้เกิดความแม่นยำในการหยอดเมล็ดธัญพืชสัมพันธ์กับความเร็วของรถไถ ทำให้เกิดความแม่นยำในการหยอดเมล็ดธัญพืช และผสานเข้ากับความเร็วของรถที่มีอยู่ในขณะนั้น ๆ เพราะฉะนั้นไม่ว่าพื้นที่ในการหยอดเมล็ดธัญพืช สภาพอากาศ สภาพดิน และความเร็วของรถไถมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ก็ยังคงสามารถหยอดเมล็ดธัญพืชได้อย่างสม่ำเสมอ โดยอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในรูปแบบการบูรณาการเพื่อการพัฒนาการเกษตรของประเทศไทยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบกลไกเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

1.2.2 ออกแบบระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

1.3 ประโยชน์ของการวิจัย

1.3.1 ได้ต้นแบบระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถสำหรับเกษตรกรและผู้ใช้งานในการเพาะปลูก

1.3.2 ได้กลไกลเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ที่สามารถใช้งานได้จริงและสามารถพัฒนาเพื่อผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยโดยแบ่งตามหัวข้อ ดังต่อไปนี้

1.4.1 ขอบเขตด้านเนื้อหาในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งศึกษาตามของเขต ดังต่อไปนี้

1.4.1.1 การออกแบบและสร้างโปรแกรมควบคุมกลไกเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างโปรแกรมควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืช โดยยึดหลักการทำงานและใช้อุปกรณ์ในการสร้างตามหัวข้อ ดังต่อไปนี้

1) ฮาร์ดแวร์ หรือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบในส่วนของโครงสร้างของเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ประกอบด้วย โครงสร้างทำด้วยเหล็กรูปพรรณ ไมโครคอนโทรลเลอร์ มอเตอร์ กล่องควบคุม เซนเซอร์ต่าง ๆ เป็นต้น

2) ซอฟต์แวร์ หรือ โปรแกรมควบคุมการทำงานและสั่งการระบบฮาร์ดแวร์ให้ทำงาน ประกอบด้วย โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino mega 2560

1.4.1.2 ขอบเขตการทดลอง ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือในการทดสอบ ได้แก่

1) โปรแกรมอ่านค่าการทดลอง visual studio 2015

2) เครื่องมือวัดต่าง ๆ เช่น ตลับเมตร ไม้บรรทัด เป็นต้น

3) เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

4) เครื่องมือช่างต่าง ๆ เช่น ประแจ ไขควง เป็นต้น

1.4.2 ขอบเขตด้านระยะเวลา ผู้วิจัยใช้เวลาในการสร้างเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2565 ถึงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2565

1.4.3 ขอบเขตด้านพื้นที่ ผู้วิจัยเลือกสถานที่สำหรับใช้ในการทดลองเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ เพื่อทดสอบการใช้งานโดยใช้พื้นที่บริเวณ บ้านเลขที่ 169 หมู่ 9 หมู่บ้านหนองเสาเล้า ตำบลหนองเสาเล้า อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น

1.4.4 เมล็ดธัญพืชที่ใช้ในการทำวิจัย คือ เมล็ดข้าวโพด

1.4.5 ระยะห่างระหว่างต้นในการหยอดเมล็ดธัญพืช เป็นระยะ 25-50 ซม. เป็นต้น

1.4.6 ช่วงความเร็วของรถไถที่ใช้ในการทำวิจัย คือ 3-12 กม./ชม.

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

1.5 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

1.5.1 ตัวแปรต้น หมายถึง การทดลองเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

1.5.2 ตัวแปรตาม หมายถึง ระยะในการหยอดเมล็ดธัญพืชที่สม่ำเสมอได้การกำหนดค่าบวกลบตามมาตรฐาน

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 อัจฉริยะ หมายถึง การกำหนดตำแหน่งของการปลูกธัญพืชได้อย่างแม่นยำโดยใช้โปรแกรมเข้ามาควบคุมในการกำหนดระยะของการปลูกธัญพืช

1.6.2 เครื่องหยอด หมายถึง เครื่องมือที่ทำหน้าที่หยอดโดยเครื่องมือดังกล่าวจะหยอดเมล็ดธัญพืชจากช่องเก็บลงไปสู่พื้นดินหรือแปลงปลูกซึ่งผ่านท่อลำเลียง และการหยอดเมล็ดดังกล่าวจะผ่านการควบคุมจากระบบซอฟแวร์ให้เป็นระยะตามที่ต้องการ เพื่อให้เมล็ดพืชสามารถจมลงไปในดินทำให้เกิดการงอกและเจริญเติบโตเพื่อเกี่ยวผลผลิตได้เมื่อถึงฤดูการเก็บเกี่ยว

1.6.3 การออกแบบระบบควบคุม หมายถึง การคำนวณระยะห่างของการหยอดเมล็ดจากหน้าดินหรือแปลงปลูกเพื่อดูระยะที่เหมาะสมกับการหยอดเมล็ดพืช รวมถึงความลึกจากหน้าดิน รวมถึงความเร็วของรถไถ เมื่อคำนวณได้ระยะที่ต้องการแล้วผู้วิจัยจะใช้โปรแกรมและไมโครคอนโทรลเลอร์มาเขียนซอฟต์แวร์สั่งงานให้ระบบดังกล่าวทำงาน เพื่อให้เกิดระบบควบคุมและสามารถนำเครื่องหยอดไปทำงานร่วมกันกับอุปกรณ์อื่น ๆ ในที่นี้คือรถไถสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ตามที่ผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบไว้ในเบื้องต้น

1.6.4 การออกแบบกลไก หมายถึง การออกแบบเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืช โดยการออกแบบให้ชิ้นส่วนสามารถทำงานได้ดีไม่ติดขัด มีชิ้นส่วนเป็นขอลากพ่วงให้สามารถต่อเข้ากับรถไถ และมีปลั๊กเพื่อให้สามารถนำพลังงานไฟฟ้าจากรถไถมาใช้ในการทำงานของเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชได้

1.6.5 ต้นแบบ หมายถึง เครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ที่สามารถทำงานได้จริงสามารถนำไปพัฒนาเพื่อต่อยอดให้เป็นเครื่องหยอดที่สามารถผลิตและทำการผลิตขายได้จริง

GRAD VRU

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากเอกสารตำราและงานวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์และทำให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ดังต่อไปนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบควบคุม
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ PID (Proportional-Integral-Derivative)
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)
2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับธัญพืช
2.5 วิธีการปลูกธัญพืชชนิดต่าง ๆ
2.6 ทฤษฎีไมโครคอนโทลเลอร์ (Microcontroller)
2.7 ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย
2.8 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ (Finite Element Method FEM)

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบควบคุม

2.1.1 ระบบควบคุม (Control System) หมายถึง การควบคุมระบบหรือสิ่งที่ผู้ออกแบบต้องการควบคุมให้ได้ค่าผลลัพธ์ในรูปแบบของเอาต์พุต (Output) ที่ต้องการ โดยมีองค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุม ซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องใช้ในงานอุตสาหกรรม เครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม จำเป็นต้องมีการควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักร เช่น เครื่องจักรอัตโนมัติ เครื่องตัด เครื่องพับ ปั๊มลม หรือรถที่ใช้ในการขนส่ง และใช้ในชีวิตประจำวัน ทฤษฎีพื้นฐานระบบควบคุมมีความจำเป็น และสำคัญสำหรับการศึกษาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี เนื่องจากในระบบงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีการควบคุมกระบวนการทำงานของระบบเครื่องจักร การศึกษาด้านระบบควบคุมจึงควรทำความเข้าใจในคุณลักษณะโครงสร้างการทำงานในรูปแบบของระบบ ซึ่งจะทำให้เราสามารถเข้าใจกระบวนการการทำงานของระบบนั้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ได้กล่าวถึงพื้นฐานความเป็นมาและระบบควบคุม (Gómez-López et al., 2013) ประเภทของระบบควบคุม รวมถึงตัวอย่างระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรมเพื่อให้มีความรู้พื้นฐานและมองเห็นภาพรวมเกี่ยวกับพื้นฐานระบบควบคุมและการประยุกต์ใช้งานต่อไป

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

2.1.2 นิยามคำศัพท์พื้นฐานของระบบควบคุม ระบบควบคุมหมายถึงการควบคุมระบบหรือสิ่งที่ผู้ออกแบบต้องการควบคุมให้ได้ค่าผลลัพธ์ในรูปแบบของเอาต์พุตที่ต้องการ ซึ่งทำได้โดยการป้อนค่าอินพุตให้กับระบบโดยนิยามศัพท์พื้นฐานของระบบควบคุม ดังนี้

2.1.2.1 อินพุต (Input) หมายถึง การนำเข้าสัญญาณที่ต้องการป้อนให้กับระบบรับรู้ ซึ่งอาจแสดงในรูปแบบของสัญญาณต่าง ๆ เช่น Temperature, Humidity, Pressure, Flow Rate, Level, 4-20mA, 0-10VDC เป็นต้น

2.1.2.2 ระบบ (System) หมายถึง สิ่งที่ต้องการควบคุมหรือระบบที่ต้องการควบคุม ประกอบด้วยชุดควบคุมกระบวนการ (Process) ซึ่งอาจเป็นเครื่องมืออุปกรณ์หรือเครื่องจักร เป็นต้น

2.1.2.3 ระบบควบคุมวงเปิด (Open-Loop Control) หมายถึงระบบควบคุมที่ไม่ได้ใช้สัญญาณจากเอาต์พุต Output) มาบ่งบอกถึงลักษณะการควบคุม

2.1.2.4 ระบบควบคุมวงปิด (Closed-Loop Control) หรือระบบป้อนกลับ (Feedback Control) หมายถึง ระบบควบคุมที่ใช้สัญญาณจากเอาต์พุต (Output) มาบ่งบอกหรือคำนวณค่าที่เหมาะสมในการควบคุม

2.1.2.5 เอาต์พุต (Output) หมายถึง ผลของการทำงานของระบบที่ผ่านการควบคุม ซึ่งจะแสดงในรูปแบบผลตอบสนองทางกล (Mechanical Response) และผลตอบสนองทางไฟฟ้า (Electrical Response)

2.1.2.6 ดีสเทอบลานซ์ (Disturbance) หมายถึง สิ่งรบกวนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดผลลัพธ์ทางเอาต์พุต (Output) ของระบบเปลี่ยนไปซึ่งอาจอยู่ในรูปของสัญญาณรบกวน (Noise Signal) ที่ปนมากับอินพุตระบบ (Felez et al., 2018)

2.1.3 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุม ในการพิจารณางานที่ต้องการประยุกต์ใช้การควบคุมสามารถเขียนองค์ประกอบในรูปแบบของระบบดังนั้นพื้นฐานของระบบควบคุมจะมีองค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

2.1.3.1 กำหนดเป้าหมายของการควบคุม (Set Point) คือ การกำหนดค่าเป้าหมายหรือค่าอ้างอิง (Reference Input) การควบคุมงานที่ต้องการ เช่น การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศให้อยู่ที่อุณหภูมิ 25 องศา โดยการวบคุมความเร็วของมอเตอร์สายพานลำเรียงที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ซึ่งสามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณเข้า (Input) ให้กับระบบ

2.1.3.2 ชุดควบคุม (Controller) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานและประมวลผลระบบ ซึ่งจะประกอบด้วยชุดฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์และชุดซอร์ฟแวร์ประกอบด้วยโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของระบบโดยมีเป้าหมายให้เกิดการตอบสนองค่าเอาท์พุตที่ต้องการซึ่งมีทั้งระบบควบคุมที่เป็นอนาล็อกและระบบควบคุมดิจิทัล

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

2.1.3.3 ชุดกระตุ้นระบบ (Actuator) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณควบคุมให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณควบคุมไปเป็นพลังงานต่าง ๆ ที่ระบบต้องการ เช่น เครื่องทำความร้อนโดยทำการเปลี่ยนสัญญาณควบคุมทางไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนการปรับความเร็วรอบของระบบสายพานลำเลียง

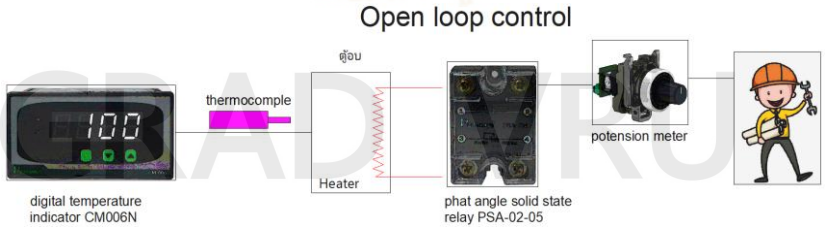
2.1.3.4 กระบวนการ (Process) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ดำเนินการเมื่อได้รับสัญญาณจากชุดกระตุ้น เช่น ตัวทำความร้อน มอเตอร์ เป็นต้น

2.1.3.5 ผลการควบคุมระบบ (Output System) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่แสดงผลของการควบคุมระบบซึ่งอาจแสดงในรูปแบบผลตอบสนองของระบบทำให้ทราบค่าเสถียรภาพและค่าความคาดเคลื่อนของระบบเพื่อใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบควบคุม

2.1.4 ประเภทของระบบควบคุม สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.4.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System) คือ ระบบที่มีการป้อนอินพุต (Input) ซึ่งอาจอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้า (Electrical Signal) เข้าที่ระบบ (System) และได้สัญญาณออกหรือเอาต์พุต (Output) โดยไม่มีการนำสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) มาที่ระบบ (Jaiswal et al., 2019)

ภาพที่ 1 ไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control)

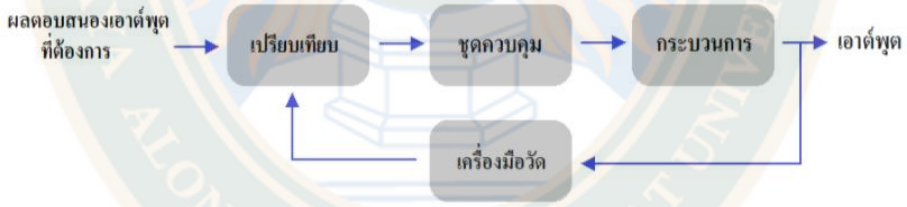


ภาพที่ 2 ตัวอย่างการต่อใช้งานระบบการควบคุมแบบ Open Loop Control

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

การต่อใช้งานของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple) แบบ Open loop Control เพื่อวัดอุณหภูมิของฮีตเตอร์ (Heater) ภายในตู้อบโดยใช้โซลิตสเตทรีเลย์ (Solid State Relay) แบบ Phase Angle Controller เพื่อควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์ในการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิที่จอแสดงผล (Temperature Indicator) โดยให้พนักงานควบคุมเครื่องจักรเป็นคนดูค่าอุณหภูมิที่ตัว Indicator CM-006N ถ้าอุณหภูมิสูงก็ทำการปรับ R-Volume เพื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำ ถ้าอุณหภูมิต่ำไปก็ทำการปรับ R-Volume เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น โดยไม่ได้ใช้ผลของค่าที่วัดได้มาทำการควบคุมอุณหภูมิ แต่ให้ผู้ใช้งานเป็นผู้ตัดสินใจในการปรับเพิ่ม - ลด อุณหภูมิ

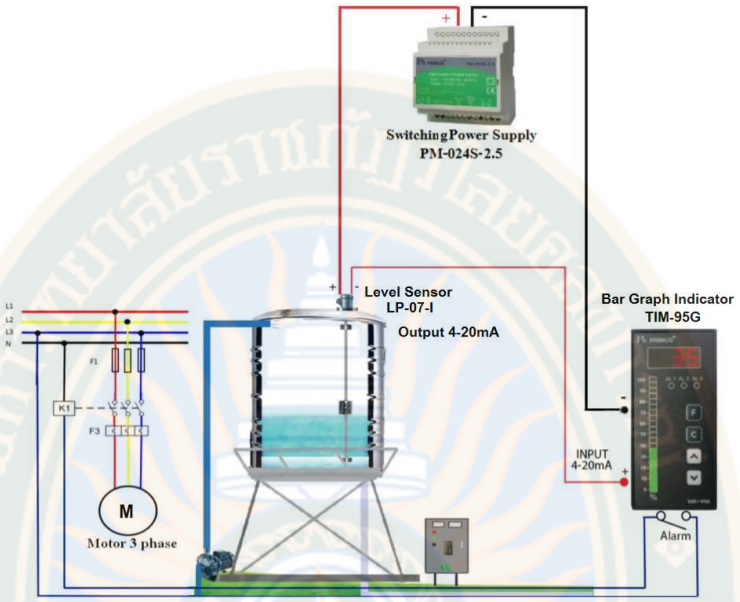
2.9.4.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Closed Loop Control System) คือ ระบบที่มีการป้อนอินพุต (Input) ซึ่งอาจอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้า (Electrical Signal) เข้าที่ระบบ (System) และมีอุปกรณ์เครื่องมือวัด (Measurement) นำสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับสู่ระบบเพื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของสัญญาณ (Liu et al., 2019)



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด Closed Loop Control แสดงตัวอย่างการต่อใช้งานระบบ

GRAD VRU

VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
13467023



ภาพที่ 4 การควบคุมแบบ Closed Loop Control

จากภาพที่ 4 การต่อใช้งาน Close Loop Control ของอุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบต่อเนื่อง (Level Sensor/Level Indicator) เพื่อวัดระดับน้ำและควบคุมระดับน้ำแบบอัตโนมัติโดย (Level Sensor LP-07-I) ทำการส่งสัญญาณอะนาล็อก 4-20mA มาโชว์ค่าอุณหภูมิที่จอแสดงผลแบบบาร์กราฟ (Bar Graph Indicator TIM-95G) เพื่อทำการวัดค่า แสดงค่า และควบคุมค่าระดับน้ำให้ได้ระดับตามที่ต้องการของผู้ใช้งาน โดยระบบที่เป็นการควบคุมแบบปิด (Closed Loop Control) จะทำการวัดและประมวลผลและสั่งการควบคุมปั๊มให้ทำการเปิด-ปิด เพื่อควบคุมระดับน้ำตามที่ต้องการได้ (Xu et al., 2018)

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ (PID Proportional-Integral-Derivative)

ระบบควบคุมพีไอดี (PID) คืออะไร

P (proportional) หมายถึง การปรับสัดส่วนสัญญาณ

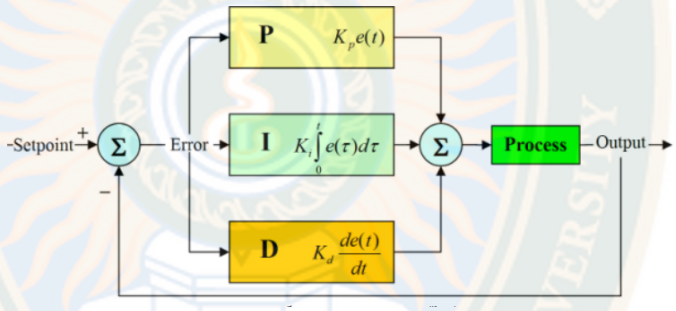
I (integral) หมายถึง การอินทิเกรตสัญญาณ

D (derivative) หมายถึง การอนุพันธ์สัญญาณ

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

PID controller คือ หัวใจของระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมซึ่งเป็นอะไรที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับช่างเทคนิคและวิศวกร หรือเปรียบเสมือนอาวุธประจำกายชนิดหนึ่งของวิศวกรหรือช่างเทคนิคที่ทำงานเกี่ยวข้องกับระบบควบคุมอุตสาหกรรม PID controller ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ PID Controller เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่มาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการตัวควบคุม จะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ (Wang et al., 2018)



ภาพที่ 5 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี (PID)

วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพึ่งผ่านพ้นไป และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ

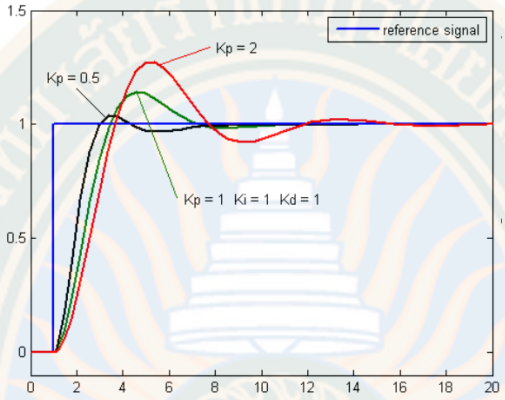
โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะกับกระบวนการต้องการได้การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาดค่าโอเวอร์ชูต (Overshoots) และค่าแกว่งของระบบ (Oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน (Lu et al., 2019)

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ พีไอดีบางครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง การควบคุมแบบ PID ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสามตามสมการ

(MV t) = Pout + Iout + Dout

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

เมื่อ Pout , Iout และ Dout เป็นผลของสัญญาณขาออก จากระบบควบคุม PID จากแต่ละเทอมซึ่งนิยามตามรายละเอียดด้านล่าง



ภาพที่ 6 กราฟ PV ต่อเวลา Kp กำหนดเป็น 3 ค่า Ki และ Kd (คงที่)

เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียกอัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาดการตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ Kp หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วนเทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ ดังนี้

Pout = (Kpet)

เมื่อ

Pout: สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

Kp: อัตราขยายสัดส่วน ตัวแปรปรับค่าได้

e: ความผิดพลาด = SP - PV

t: เวลา

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูง ค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้ามผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย

ปริพันธ์ ผลจากเทอมปริพันธ์ บางครั้งเรียก (Reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาดผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความ

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้าความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์ Ki

เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ

$$Iout = Ki\int_0^t e(\tau)d\tau$$

เมื่อ

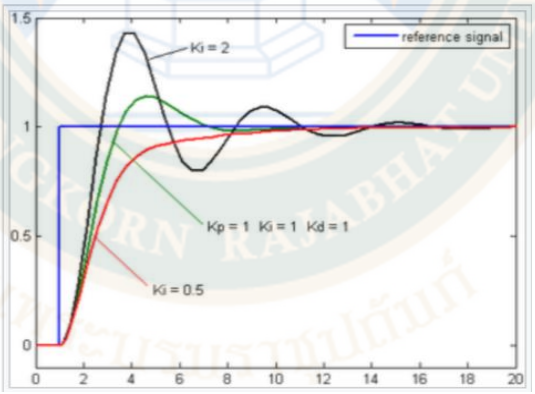
Iout: สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

Ki: อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e: ความผิดพลาด = SP-PV

t: เวลา

τ: ตัวแปรปริพันธ์หุ่น



ภาพที่ 7 กราฟ PV ต่อเวลา Ki กำหนดเป็นสามค่า Kp และ Kd (คงที่)

เทอมปริพันธ์ เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วนจะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตามเทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไปทางทิศทางอื่น

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

อนุพันธ์ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุก ๆ เวลา นั่นคือ (เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ Kd ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ บางครั้งเรียก (อัตรา) ขึ้นกับอัตราขยายอนุพันธ์ Kd

เทอมอนุพันธ์เป็นไปตามสมการ

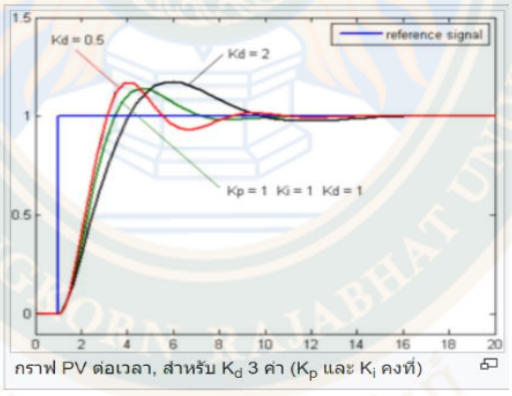
$$D_{\text{out}} = K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

เมื่อ

Dout : สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

Kd: อัตราขยายอนุพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e: ความผิดพลาด = SP-PVt: เวลา



กราฟ PV ต่อเวลา, สำหรับ K_d 3 ค่า (K_p และ K_i คงที่)

ภาพที่ 8 กราฟ PV ต่อเวลา สำหรับ Kd 3 ค่า Kp และ Ki (คงที่)

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุมและด้วยผลนี้ จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้น เทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของโอเวอร์ชูตที่เกิดจาเทอมปริพันธ์และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาดและสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ (Patrigeon et al., 2019)

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ผลรวมเทอมสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ จะนำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบ PID กำหนดให้ (PID ut) เป็นสัญญาณขาออก สมการสุดท้ายของวิธี PID คือ (Qin et al., 2019)

$$u(t) = MV(t) = Kpe(t) + Ki\int_0^t e(\tau)d\tau + Kd\frac{d}{dt}e(t)$$

การปรับจูนด้วยมือ ถ้าระบบยังคงทำงานขั้นแรกให้ตั้งค่า Ki และ Kd เป็นศูนย์เพิ่มค่า Kp จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง oscillate) แล้วตั้งค่า Kp ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่งสำหรับการตอบสนองชนิด "quarter amplitude decay" แล้วเพิ่ม Ki จนกระทั่งออฟเซตถูกต้องในเวลาที่พอเพียงของกระบวนการ แต่ถ้า Ki มากไปจะทำให้ไม่เสถียรสุดท้ายถ้าต้องการให้เพิ่มค่า Kd จนกระทั่งลูปอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่หาก Kd มากเกินไปจะเป็นเหตุให้การตอบสนองและโอเวอร์ชูตเกินยอมรับได้ปกติการปรับจูน PID ถ้าเกิดโอเวอร์ชูตเล็กน้อยจะช่วยให้เข้า สู่จุดที่ต้องการเร็วขึ้น แต่ในบางระบบไม่สามารถยอมให้เกิดโอเวอร์ชูตได้และถ้าค่า Kp น้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดการแกว่ง

ตารางที่ 1 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ

ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น Rise time	โอเวอร์ชูต Over shoot	เวลาสู่สมดุล Setting time	ความผิดพลาดสถานะคงตัว Steady-state error	เสถียรภาพ
Kp	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด	ลด
Ki	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ	ลด
Kd	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลดลง	ลดลง	ตามทฤษฎีไม่มีผล	ดีขึ้นถ้า Kd มีค่าน้อย

วิธีการนี้นำเสนอโดย Ziegler และ Nichols ในพุทธศักราช 2483 ขั้นแรกให้ตั้งค่า Ki และ Kd เป็นศูนย์เพิ่มอัตราขยาย P สูงที่สุด Ku จนกระทั่งเริ่มเกิดการแกว่งจากนั้นนำค่า Ku และค่าช่วงการแกว่ง Pu มาหาค่าตัวแปรที่เหลือ ดังตาราง

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ตารางที่ 2 Ziegler-Nichols method

Control type	Kp	Ki	Kd
P	0.5 Ku	-	-
PI	0.45Ku	1.2 Kp/Pu	-
PID	0.6Ku	2Kp/Pu	KpKu/8

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ

2.3.1 เอ็นโคเดอร์ (Encoder) เป็นเซนเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดตำแหน่งหรือระยะขจัด (Position or Displacement Sensor) มีด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ เป็นแบบเชิงเส้น (Linear Encoder) และเป็นแบบหมุน (Rotary Encoder) และในแต่ละลักษณะยังแบ่งออกเป็นแบบที่สัญญาณเอาท์พุตที่เกิดจากการวัดอยู่ในรูปแบบของรหัสเชิงตรรกะ (Digital coding signal) ซึ่งจะเรียกเอ็นโคเดอร์ ในรูปแบบนี้ว่า (Absolute Encoder) (Lee et al., 2022) ส่วนอีกลักษณะหนึ่งจะเป็นแบบที่ให้ลักษณะเอาท์พุตที่เกิดจากการวัด อยู่ในรูปแบบของพัลส์ (Pulse signal) ซึ่งมักจะถูกเรียกว่า “Incremental Encoder” เอ็นโคเดอร์แบบเชิงเส้น (Linear Encoder)

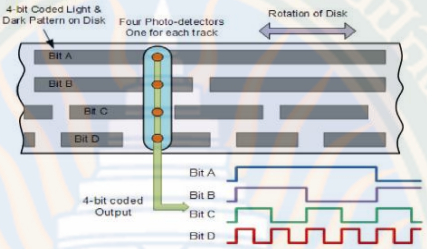
ภาพที่ 9 รูปร่างของเอ็นโคเดอร์แบบเชิงเส้น

GRAD VRU

เอ็นโคเดอร์แบบนี้ใช้วัดตำแหน่งหรือระยะทางในแนวที่เป็นเส้นตรง สัญญาณเอาท์พุตที่เกิดจากการวัดมีสองรูปแบบ ดังนี้

Absolute Linear Encoder หลักการทำงานของเอ็นโคเดอร์แบบนี้ ดังแสดงในรูปโดยจำนวนแถบรหัส (Digital bits coding) จะถูกกำหนดให้อยู่ในแนวเชิงเส้นของการเคลื่อนที่โดยมีหัวอ่านที่สร้างขึ้นจากเซนเซอร์แสง (Photo-detector) เท่ากับจำนวนแถบรหัสและเคลื่อนที่ไปในแนวเส้นตรงของการเคลื่อนที่ ทำการอ่านรหัสในขณะที่เคลื่อนที่ไป ข้อดีของเอ็นโคเดอร์แบบนี้คือ

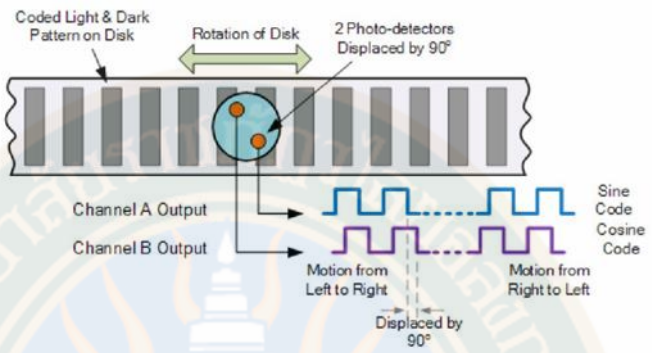
เมื่อเปิดเครื่องหัวอ่านจะรับรู้ถึงตำแหน่งที่ทำการวัดอยู่ในขณะนั้นได้โดยทันที แต่มีข้อเสียที่ค่าความละเอียดที่ถูกต้องและแม่นยำจะขึ้นอยู่กับจำนวนแถบรหัส และสิ้นเปลืองจำนวนเซนเซอร์ที่ต้องใช้ในการอ่านรหัสของทุกแถบ ซึ่งทำได้ยากและมีราคาแพง และยากต่อการบำรุงรักษา



ภาพที่ 10 โครงสร้างของ Absolute Linear Encoder

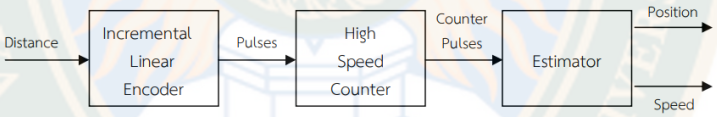
Incremental Linear Encoder หลักการทำงานของเอ็นโคเดอร์แบบนี้ดังแสดงในรูปแถบเส้นตรงเล็ก ๆ จะถูกวางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ โดยมีหัวอ่านสร้างขึ้นจากเซนเซอร์แสงสองตัววางทำมุมกันทำให้ในขณะที่หัวอ่านเคลื่อนที่ไปจะทำให้สัญญาณที่ออกมาทางเอาท์พุตในรูปแบบของพัลซ์ (Pulses) จะมีเฟสเยื้องกัน 90 องศา ซึ่งมีไว้สำหรับตรวจสอบทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวอ่านนั่นเอง ดังนั้น ความละเอียดและแม่นยำจึงขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นตรงเล็ก ๆ ที่ถูกวางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ ซึ่งมักจะบอกในรูปแบบของจำนวนพัลซ์ ที่ได้ต่อระยะการเคลื่อนที่ เช่น 25 Pulse/10 mm. เอ็นโคเดอร์แบบนี้จะใช้หลักการนับจำนวนของแถบเส้นตรงเล็ก ๆ ดังนั้นการสร้างเอ็นโคเดอร์แบบนี้จึงทำได้ง่าย ราคาถูกกว่าเอ็นโคเดอร์เชิงเส้นและการบำรุงรักษาน้อยกว่า แต่ข้อเสียของเอ็นโคเดอร์ชนิดนี้ก็คือต้องใช้วงจรนับความเร็วสูง (High Speed Counter) ทำการนับแถบเส้นตรงเล็ก ๆ นั้น ถ้าไฟดับขณะเคลื่อนที่คาการนับจะถูกลบไปทำให้ไม่สามารถที่จะระบุตำแหน่งที่อยู่ในขณะนั้นได้ ดังนั้นเมื่อเริ่มต้นหัวอ่านจะถูกสั่งให้กลับมาเริ่มต้นที่ตำแหน่งศูนย์ (Zero) ของการเคลื่อนที่ทุกครั้ง เพื่อทำการรีเซ็ต (Reset) ค่าของการนับก่อนทุกครั้งไป นอกจากนั้นยังจะเกิดค่าความคาดเคลื่อนสะสมที่เกิดการนับขึ้น - นับลงในขณะที่เคลื่อนที่ ไป - มา ได้อีกด้วย (Tuffaha et al., 2019)

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70



ภาพที่ 11 โครงสร้างของ Incremental Linear Encoder

การนำ Incremental Linear Encoder ไปใช้งาน สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 บล็อกไดอะแกรมการนำ Incremental Linear Encoder ไปใช้งาน

จากภาพที่ 12 ระยะทางที่เคลื่อนที่ไปของหัวอ่านที่เกิดจาก Photo detector ในภาพจะถูกป้อนเขามาทางด้านอินพุตของบล็อก Incremental Linear Encoder ส่วนทางด้านเอาท์พุตของบล็อก จะเป็นพัลส์ที่เกิดขึ้นซึ่งอาจจะเป็นพัลส์ของ Channel A หรือ Channel B ดังนั้นคุณสมบัติการถ่ายโอนของ Incremental Linear Encoder High Speed Counter Pulses Distance Position Speed Estimator Counter Pulses 3 Linear Encoder จึงมีหน่วยเป็นจำนวนพัลส์/ระยะทางการเคลื่อนที่ โดยที่ค่าความละเอียด (Resolution) ของการถ่ายโอนจะมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/พัลส์ สัญญาณพัลส์ที่ได้ถูกทำการนับด้วยตัวนับความเร็วสูง (High Speed Counter) ซึ่งจำนวนการนับจะถูกตัวประเมินค่า (Estimator) ออกมาเป็นสองความหมาย คือ ตำแหน่ง (Position) ที่หัวอ่านอยู่ในตำแหน่งนั้น และค่าของความเร็ว (Speed) ที่หัวอ่านกำลังเคลื่อนที่ไป ตัวอย่างเช่น ระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านสูงสุดมีค่าเป็น 210 มิลลิเมตร และจำนวนพัลส์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ทั้งหมดมีค่าเป็น 420 พัลส์

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ดังนั้น ค่าความละเอียดของการถ่ายโอนจะมีค่าเป็น 0.5 มิลลิเมตร/พัลส์ และถ้าตัวนับความเร็วสูงทำการนับจำนวนของพัลส์ได้เท่ากับ 50 พัลส์ โดยใช้เวลา 2 วินาที ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาระยะทางของระยะทางหรือตำแหน่งที่หัวอ่านตั้งอยู่ เมื่อเทียบกับจุดเริ่มต้น 0 มิลลิเมตร ได้จากสมการ

Distance = (Resolution × Counter pulses)

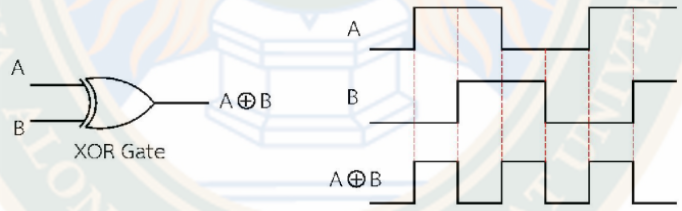
0.5 = (mm. / pulse) 50 pulses

= 25 mm. และสามารถคำนวณหาค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ได้จากสมการ

$$\text{Speed} = \frac{\text{Resolution} \times (\text{Counter pulses})}{t}$$

$$= \frac{0.5(\text{mm./pulse}) \times 50\text{pulses}}{2\,\text{sec}}$$

$$= 12.5\text{mm./sec}$$



ภาพที่ 13 การทำให้จำนวนพัลส์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจากระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านสูงสุดเท่าเดิม

จากภาพที่ 13 โครงสร้างของ Incremental Linear Encoder สัญญาณที่ออกจากหัวอ่าน Photo detector โดยทั่วไปจะมีสองช่อง คือ Channel A และ Channel B และสัญญาณทั้งสองจะมีเฟสที่แตกต่างกัน 90 องศา Photo detector โดยทั่วไปจะมีสองช่อง คือ Channel A และ Channel B และสัญญาณทั้งสองจะมีเฟสที่แตกต่างกัน 90 องศา จากภาพที่ 13 เป็นการทำให้จำนวนพัลส์เพิ่มขึ้นเป็นสองเทาจากระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านสูงสุดเท่าเดิม โดยการนำสัญญาณที่ออกจากหัวอ่าน Photo detector ทั้งสองช่องคือ Channel A และ Channel B มาเข้า Exclusive OR Gate XOR Gate ซึ่งจะพบว่าจำนวนรูปคลื่นของพัลส์ที่ออกมาทางด้านเอาท์พุตของ XOR Gate จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เมื่อเทียบกับจำนวนรูปคลื่นของพัลส์จาก Channel A หรือ Channel B และเมื่อนำจำนวนรูปคลื่นของพัลส์ที่ออกมาทางด้านเอาท์พุตของ XOR Gate นี้มาทำการนับก็จะทำ

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

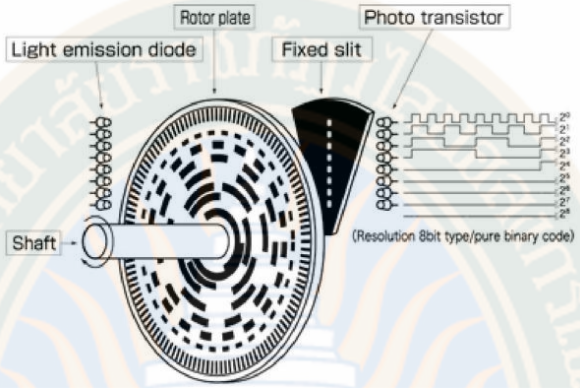
ให้สามารถนับค่าของจำนวนพัลส์สูงสุดได้เป็นสองเท่าในขณะที่ระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านสูงสุดเท่าเดิม ดังนั้นจึงทำให้ค่าความละเอียดของการถ่ายโอนจะมีค่าสูงขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น ระยะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านสูงสุดมีค่าเป็น 210 มิลลิเมตร และจำนวนพัลส์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ทั้งหมดมีค่าเป็น 420 พัลส์ แต่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการดังในภาพที่ 13 ดังนั้น จำนวนพัลส์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ทั้งหมดจะมีค่าเป็น 2 เท่าจากเดิม คือจะมีค่าเป็น 840 พัลส์ ค่าความละเอียดของการถ่ายโอนจะมีค่าเป็น 0.25 มิลลิเมตร/พัลส์ ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความแม่นยำของตำแหน่งในการเคลื่อนที่ไปมีความถูกต้องมากขึ้นด้วย

ภาพที่ 14 รูปร่างของเอ็นโคเดอร์แบบหมุน (Rotary Encoder)

เอ็นโคเดอร์แบบหมุน (Rotary Encoder) ใช้วัดตำแหน่งมุมที่เกิดจากการหมุนที่แกนเพลาของเอ็นโคเดอร์ สัญญาณเอาท์พุตที่เกิดจากการวัดมีสองรูปแบบ ดังนี้

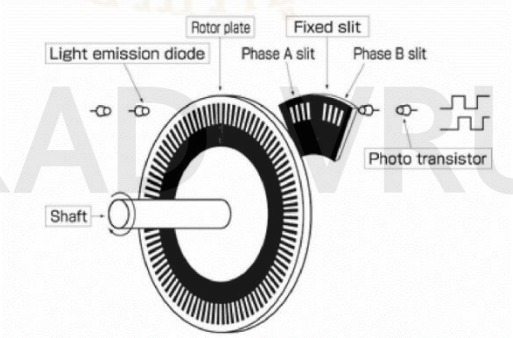
Absolute Rotary Encoder เครื่องเข้ารหัสแบบหมุนแบบแม่เหล็กเอกสัญญาณสวิตช์ หลักการทำงานของเอ็นโคเดอร์แบบนี้ดังแสดงในรูป โดยจำนวนแถบรหัส (Digital bits coding) จะถูกกำหนดให้รอบซ้อนกันในแนวของการหมุน โดยมีหัวเครื่องที่สร้างขึ้นจากเซนเซอร์แสง (Photo-detector) เท่ากับจำนวนแถบรหัส โดยเครื่องเข้ารหัสจะทำการอ่านรหัสในขณะที่หัวเครื่องเคลื่อนที่ โดยหลักการทำงานจะคล้ายคลึงกันกับ Absolute Linear Encoder โดยการเปลี่ยนจากทิศทางการเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นเป็นการหมุน

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70



ภาพที่ 15 โครงสร้างของเอ็นโคเดอร์แบบหมุนชนิด Absolute Rotary Encoder

ภาพที่ 15 แสดงโครงสร้างของ Absolute Rotary Encoder และ Incremental Rotary Encoder หลักการทำงานของเอ็นโคเดอร์แบบนี้ถูกแสดงในภาพนี้ แถบเส้นตรงเล็ก ๆ ถูกวางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการหมุน โดยมีหัวอ่านสร้างขึ้นจากเซนเซอร์แสง 2 ตัว ถูกวางแบบทำมุมกัน ซึ่งทำให้เมื่อจานหมุน (Rotary plate) หมุนจะทำให้สัญญาณที่ออกมาทางเอาท์พุตเป็นรูปแบบของพัลส์ (Pulse) ซึ่งมีเฟสเยื้องกันที่ 90 องศา ซึ่งมีประโยชน์ในการตรวจสอบทิศทางการหมุนของเพลาของเอ็นโคเดอร์ ดังนั้นความละเอียดและความแม่นยำขึ้นขึ้นขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นตรงเล็ก ๆ ที่ถูกวางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการหมุน ซึ่งมักจะระบุในรูปแบบของจำนวนพัลส์ที่ได้ต่อรอบการหมุน เช่น 100 Pulse/rev หลักการทำงานคล้ายคลึงกันกับ Incremental Linear Encoder โดยการเปลี่ยนจากการเคลื่อนที่เชิงเส้นเป็นการหมุน (Watanabe & Sakai, 2019)



ภาพที่ 16 โครงสร้างของเอ็นโคเดอร์แบบหมุน

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

จากภาพที่ 16 แสดงโครงสร้างของ Incremental Rotary Encoder โดยแสดงลักษณะของสัญญาณที่เกิดจากเอาท์พุตของเครื่องเอ็นโคเดอร์แบบหมุนและหลักการทำงานของเครื่องเอ็นโคเดอร์ประเภทนี้คล้ายกับเครื่องเอ็นโคเดอร์แบบเชิงเส้น โดยความแตกต่างเพียงแค่ในขีดเส้นตรงเล็ก ๆ Slit ของเครื่องเอ็นโคเดอร์แบบเชิงเส้นถูกวางในแนวที่ต้องการตรวจวัดการเคลื่อนที่โดยมีหัวเครื่องที่เคลื่อนที่ไปมาในทิศทางตามแนวที่จัดวางไว้ ส่วนเครื่องเอ็นโคเดอร์แบบหมุนขีดเส้นตรงเล็ก ๆ Slit ถูกวางอยู่เป็นวงกลมและถูกคร่อมเข้ากับเพลา Shaft ในรูปแบบจานหมุน แหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสงถูกจัดเรียงในรูปแบบการตรวจจับแบบส่งผ่านโดยตรง True beam detection โดยมีการตรวจสอบแสงที่ผ่านช่องที่ถูกเจาะและถูกคร่อมเข้ากับช่องที่ถูกยึดเอาไว้ Fixed Slit และสามารถสร้างสัญญาณในรูปแบบของพัลส์ได้ใน 2 ช่อง เช่น เฟส A และ เฟส B โดยมุมที่แตกต่างเฟสกันจะมีค่าเป็น 90 องศา เหมือนกับเครื่องเอ็นโคเดอร์แบบเชิงเส้น

Incremental Rotary Encoder ประกอบด้วยส่วนหลักสองส่วน คือ หัวเครื่อง (Encoder Head) และจานหมุน Rotary Disk หรือเรียกอีกอย่างว่าแถบเส้นตรงเล็ก ๆ Slit

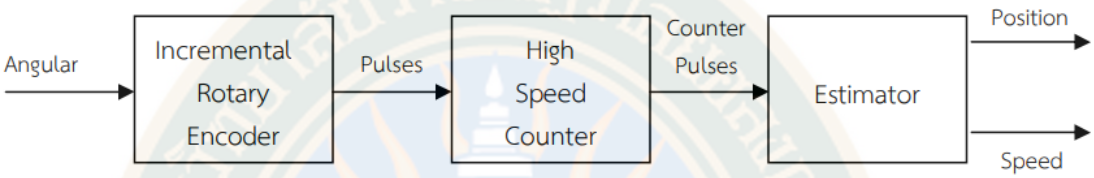
หลักการทำงานใน Incremental Rotary Encoder จานหมุนถูกเคลื่อนที่และเชื่อมโยงกับเพลาหรือขั้วหมุนที่จะต้องวัดบนจานหมุนนี้จะมีขีดเส้นตรงเล็ก ๆ Slit ที่ถูกจัดเรียงเป็นวงรอบแหล่งกำเนิดแสง Light Source และเซนเซอร์รับแสง Light Sensor ถูกจัดวางแบบตรงข้ามกันเพื่อส่งแสงผ่านขีดเส้นตรงเล็ก ๆ ที่จานหมุนไปยังเซนเซอร์รับแสงเมื่อจานหมุนหมุน การขีดเส้นตรงขนาดเล็กจะทำให้แสงถูกตัดอย่างเป็นระยะเวลา เรียกว่าความถี่ และสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่นี้สัญญาณไฟฟ้าจะถูกอ่านและประมวลผลเพื่อหาค่าความเคลื่อนที่หรือการหมุนที่ถูกบันทึก โดยเฟสของสัญญาณที่ออกจาก Incremental Rotary Encoder จะมี 2 เฟสที่สำคัญ คือ เฟส A และ เฟส B 2 เฟสนี้มีความแตกต่างกันในเฟส 90 องศา ซึ่งสามารถใช้ในการตรวจสอบทิศทางการหมุนของเพลาหรือวัตถุที่ถูกวัดการนับและติดตามการเคลื่อนที่เพื่อให้เอ็นโคเดอร์นับหรือติดตามการเคลื่อนที่ หรือการหมุนในเวลาจริงสัญญาณไฟฟ้าจากเฟส A และเฟส B ถูกนำไปประมวลผลโดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อตรวจสอบรูปแบบและทิศทางของการหมุนโดยการนับจำนวนสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นในทั้งสองเฟส A และ B) และรู้ว่าเฟสไหนถูกเริ่มก่อนหรือหลังอีกทั้งยังสามารถระบุทิศทางการหมุนได้ (Zhao et al., 2019)

ปัจจุบันการนำ Incremental Rotary Encoder ไปใช้งานมีหลายแอปพลิเคชั่น เช่น ในระบบควบคุมเครื่องจักร การติดตามการหมุนของล้อในรถยนต์หรือการหมุนของหุ่นยนต์ และในอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อวัดและควบคุมการหมุนของตัวเครื่องหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ โดยองค์กรและบริษัทต่าง ๆ ที่มีความต้องการในการวัดค่าการหมุน

1346770235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ดังนั้น การนำ Incremental Rotary Encoder ไปใช้งานสามารถคล้ายคลึงกันและสามารถแสดงในรูปแบบของบล็อกไดอะแกรมตามที่แสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 บล็อกไดอะแกรมการนำ Incremental Rotary Encoder ไปใช้งาน

จากภาพที่ 17 การหมุนไปของจานหมุนในลักษณะของมุม (Angular) จะถูกป้อนเข้ามาทางด้านอินพุตของบล็อก Incremental Rotary Encoder ส่วนทางด้านเอาท์พุตของบล็อก Incremental Rotary Encoder จะเป็นพัลส์ที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นพัลส์ของ Channel A หรือ Channel B ดังนั้น คุณสมบัติการถ่ายโอนของ Incremental Rotary Encoder จะมีหน่วยเป็นจำนวนพัลส์/องศา โดยที่ค่าความละเอียด Resolution) ของการถ่ายโอนจะมีหน่วย เป็นองศา/พัลส์ สัญญาณพัลส์ที่ได้ถูกนับด้วยตัวนับความเร็วสูง High-Speed Counter ซึ่งจำนวนการนับจะถูกประมาณค่า (Estimator) ออกมาเป็นสองค่า คือตำแหน่ง Position หรือมุมที่หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งนั้น ๆ และค่าของความเร็ว Speed ของจานที่หมุนไป ตัวอย่างเช่น Incremental Rotary Encoder เมื่อหมุนไป 1 รอบ 360 องศา สามารถสร้างจำนวนพัลส์ทั้งหมดมีค่าเป็น 1000 พัลส์ 1000 pulses/revolution ดังนั้น ค่าความละเอียดของการถ่ายโอนจะมีค่าเป็น 0.36 องศา/พัลส์ และถ้าตัวนับความเร็วสูงทำการนับจำนวนของพัลส์ได้เท่ากับ 450 พัลส์ ในเวลา 3 วินาที ดังนั้นจะสามารถคำนวณหามุมหรือตำแหน่งการหมุนของจานเมื่อเทียบกับจุดเริ่มต้น 0 องศา ได้จากสมการ

Angular = Resolution × Counter pulses)

0.36 = degree/pulse) 450 pulses

= 162°

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

และสามารถคำนวณหาค่าความเร็วของการหมุนที่ได้จากสมการ

$$\text{Spees(rpm)} = \frac{\text{Resolution} \times (\text{Counter pulsec})}{\text{t}}$$

$$= \frac{0.36(\text{degree / pulse}) \times 450\text{pulses}}{(3\text{sec})}$$

$$= 54 \text{ degree / sec}$$

จากตัวอย่าง การคำนวณหาค่ามุมหรือตำแหน่งการหมุนของจานเมื่อเทียบกับจุดเริ่มต้น 0 องศา และความเร็วของการหมุนในหน่วยที่เป็น องศา/วินาที เป็นตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการนำ Incremental Rotary Encoder ไปทำการติดตั้ง เมื่อตรวจสอบหรือควบคุมมุมที่หมุนไปหรือควบคุมตำแหน่งของจุดที่หมุนไป รวมถึงการตรวจวัดและควบคุมความเร็วของการหมุนที่อยู่ในระบบควบคุมตำแหน่งแบบเซอร์โว Servo Position Control System ซึ่งการหมุนจะอยู่ภายใต้ 1 รอบการหมุนเท่านั้น

จากสมการความเร็วการหมุนของตัวนับความเร็วสูง High-Speed Counter ซึ่งมีหน่วยเป็น องศา/วินาที และแปลงหน่วยให้เป็นความเร็วเชิงมุม ω ซึ่งมีหน่วยเป็น rad/sec ดังนั้นสมการความเร็วการหมุนของตัวนับความเร็วสูงนั้นจะเขียนได้ในรูปแบบใหม่เป็น

$$\text{Speed}(\omega) = \frac{\text{Resolution} \times (\text{Counter pulses})}{\text{t}} \times \frac{\pi}{180} [\text{red / sec}]$$

โดยที่ความเร็วเชิงมุม ω มีหน่วยเป็น rad/sec และ Resolution คือค่าความละเอียดของการถ่ายโอนที่มีหน่วยเป็น องศา/พัลส์ และ Counter pulses คือจำนวนพัลส์ที่ตัวนับความเร็วสูงและ Speed คือความเร็วของการหมุนในหน่วย องศา/วินาที โดยการหมุนจะอยู่ในรอบการหมุนเพียง 1 รอบเท่านั้น ทำให้การคำนวณเป็นไปตามนี้

$$\omega = \frac{2\pi \text{N}}{60} [\text{red / sec}]$$

โดยที่ N คือ ค่าความเร็วรอบในการหมุน ซึ่งมีหน่วยเป็น รอบ/นาที ซึ่งเป็นการสื่อความหมายของความเร็วการหมุนที่มีมากกว่า 1 รอบ

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ดังนั้น สมการความเร็วการหมุนข้างต้นมีหน่วยเป็น องศา/วินาที สามารถเขียนขึ้นใหม่ในหน่วยที่เป็น รอบ/นาที ได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Speed(rpm)} = \frac{\text{Resolution} \times (\text{Counterpulses})}{6 \times t}\ [\text{rpm}]$$

ตัวอย่างเช่น Incremental Rotary Encoder เมื่อหมุนไป 1 รอบ 360 องศา สามารถสร้างจำนวนพัลส์ทั้งหมดเป็น 1000 พัลส์ (1000 pulses/revolution) ดังนั้น ค่าความละเอียด Resolution ของการถ่ายโอนจะเป็น 0.36 องศาต่อพัลส์ 0.36 degrees/pulse และถ้าตัวนับความเร็วสูง High-Speed Counter ทำการนับจำนวนพัลส์ได้เท่ากับ 18,400 พัลส์ ในเวลา 3 วินาที คุณสามารถคำนวณความเร็วการหมุนได้ ดังนี้

$$\text{Spees(rpm)} = \frac{\text{Resolution} \times (\text{Counter pulsec})}{6.t}$$

$$= \frac{0.36(\text{degree / pulse}) \times 18400\text{pulses}}{6.(3\text{sec})}$$

$$= 368\ \text{rpm}$$

ถ้า Incremental Rotary Encoder มีการหมุนอย่างต่อเนื่องสัญญาณพัลส์ที่ออกทางช่อง A หรือช่อง B ก็จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งถ้านับจำนวนของพัลส์ในช่วงของเวลา 1 วินาที จะกลายเป็นค่าความถี่ Frequency ที่แปรผันตรงตามค่าความเร็วรอบการหมุนเช่นกัน ดังนั้นความสัมพันธ์ของความถี่จะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วรอบการหมุนและจำนวนพัลส์ทั้งหมดเมื่อเกิดการหมุน 1 รอบ pulses/revolution ดังในสมการ ต่อไปนี้

GRAD VRU

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

$$\text{Frequency} = \frac{\text{Speed(rpm)} \times (\text{pulses / revolution})}{60} \quad [\text{Hz}]$$

หรือ

$$\text{Speed} = \frac{\text{Frequency} \times 60}{(\text{pulses / revolution})} \quad [\text{rpm}]$$

ตัวอย่าง เช่น Incremental Rotary Encoder เมื่อหมุนไป 1 รอบ สามารถสร้างจำนวนพัลส์ทั้งหมดเป็น 1000 พัลส์ 1000 pulses/revolution และหากมันถูกหมุนด้วยความเร็ว 300 รอบ/นาที ความถี่ที่เกิดขึ้นจากการหมุนสามารถคำนวณ ได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Frequency} = \frac{300(\text{rpm}) \times (1000\text{pulses / revolution})}{60} \quad [\text{Hz}]$$

หรือถ้าวัดค่าความถี่ที่ออกจากช่อง A หรือช่อง B และได้ค่าเท่ากับ 12 kHz คุณสามารถคำนวณความเร็วการหมุนได้ ดังนี้

$$\text{Speed} = \frac{120\text{kHz} \times 60}{(1000\text{pulses / revolution})} = 720 \quad \text{rpm}$$

ในทำนองเดียวกันจากรูปที่ 17 โครงสร้างของ Incremental Rotary Encoder สัญญาณที่ออกจาก Channel A และ Channel B จะมีเฟสที่แตกต่างกัน 90 องศา ดังนั้น ถ้านำสัญญาณทั้งสองมาเข้า (Exclusive OR Gate XOR Gate) จะทำให้จำนวนรูปคลื่นของพัลสเตปที่ออกมาทางด้านเอาท์พุตของ XOR Gate จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เมื่อเทียบกับจำนวนรูปคลื่นของพัลส์สเตปจาก Channel A หรือ Channel B และเมื่อนำจำนวนรูปคลื่นของพัลสเตปที่ออกมาทางด้านเอาท์พุตของ XOR Gate นี้มานับจะทำให้สามารถนับค่าความละเอียดของการถ่ายโอนจะมีค่าที่สูงขึ้นด้วย ตัวอย่าง เช่น Incremental Rotary Encoder เมื่อหมุนไป 1 รอบ 360 องศา

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

สามารถสร้างจำนวนพัลส์เตปทั้งหมดมีค่าเป็น 1000 พัลส์เตป (1000 pulses/revolution) ต่อเมื่อนำมาผ่านกระบวนการ ดังนั้นจำนวนพัลส์เตปที่เกิดจากหมุนทั้งหมด จะมีค่าเป็น 2 เท่าจากเดิมคือจะมีค่าเป็น 2000 พัลส์เตป/รอบดังนั้นค่าความละเอียดของการถ่ายโอนจะมีค่าเป็น 0.18 องศา/พัลส์เตป ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความแม่นยำของตำแหน่งในการหมุนไปมีความถูกต้องมากขึ้น

2.3.2 Encoder (เอ็นโคเดอร์) เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวัดและติดตามตำแหน่ง หรือการเคลื่อนไหวของวัตถุในระบบหลากหลายอุตสาหกรรม และแอปพลิเคชั่นทางวิศวกรรม (Adhikari et al., 2020)

2.3.2.1 ประเภทของ Encoder

1) Incremental Encoder มักใช้ในการวัดความเร็วและตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มีสองสัญญาณเอาท์พุตคือ Channel A และ Channel B และสามารถคำนวณความเร็วและทิศทางของการเคลื่อนไหวได้

2) Absolute Encoder สามารถให้ค่าตำแหน่งที่แน่นอนที่ทราบเสมอไม่ต้องสตาร์ทใหม่ (Homing) โดยมีหลายรูปแบบ เช่น Binary, Gray Code และแบบอื่น ๆ

2.3.2.2 หลักการทำงาน

1) Incremental Encoder สร้างสัญญาณเอาท์พุตสองช่อง A และ B ที่มีเฟสแตกต่างกัน การหมุนจะทำให้สัญญาณเปลี่ยนแปลง สามารถนับจำนวนพัลส์เพื่อหาความเร็วและตำแหน่ง

2) Absolute Encoder สร้างรหัสที่ระบุตำแหน่งที่แน่นอน แต่ละตำแหน่งมีรหัสเฉพาะโดยไม่มีการสูญเสียข้อมูลเมื่อไม่ทำงาน

2.3.2.3 ความละเอียด

Encoder ที่มีความละเอียดจะสูงสามารถใช้ในการวัดตำแหน่งหรือความเร็วที่มีความแม่นยำสูงการใช้งานมีหลายอุตสาหกรรมที่ใช้ Encoder เช่น งานอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ หุ่นยนต์ ระบบ CNC และระบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

2.3.2.4 ความถูกต้องและการบำรุงรักษา

ความถูกต้องของ Encoder ส่งผลต่อความแม่นยำของระบบที่ใช้การบำรุงรักษาเป็นสิ่งสำคัญเพื่อรักษาประสิทธิภาพของ Encoder

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

2.3.2.5 อนาคต

การพัฒนาของเทคโนโลยี Encoder ยังคงอยู่ในระหว่างการพัฒนา เช่น Encoder รุ่นใหม่ที่มีความละเอียดสูงขึ้น และมีความสามารถในการทำงานในสภาวะแวดล้อมที่หลากหลายมากขึ้น

2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับธัญพืช

ธัญพืช คือ คำใช้เรียกอาหารจากพืชที่มีลักษณะเป็นเมล็ด เช่น ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด ข้าวสาลี อัลมอนด์ งา ถั่วต่าง ๆ ฯลฯ ธัญพืชเป็นอาหารสุขภาพอุดมไปด้วยเส้นใย วิตามิน ช่วยเพิ่มปริมาณไขมันดี (HDL) ให้แก่ร่างกาย ลดความเสี่ยงจากโรคหัวใจ และโรคเกี่ยวกับไขมันในเส้นเลือดต่าง ๆ ช่วยควบคุมน้ำหนัก เพิ่มภูมิต้านทานให้ร่างกายปราศจากโรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ นอกจากจะช่วยในเรื่องลดไขมันอุดตันแล้ว ธัญพืชแต่ละชนิดยังมีสรรพคุณเด่นที่แตกต่างกันออกไป

ธัญพืช เป็นพืชที่เรารับประทานมาแต่โบราณ แต่เนื่องจากการปฏิวัติของระบบเกษตรกรรมประกอบกับเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยมากขึ้น รวมถึงการหาเมล็ดธัญพืชจากธรรมชาติมาบริโภคได้ยากขึ้น ทำให้เราหันมาบริโภคอาหารสำเร็จรูปมากขึ้น จนลืมอาหารที่มีสำคัญอย่างธัญพืชไป เมื่อสอบถามเด็กรุ่นใหม่จึงไม่รู้จักคำนี้ เพราะคุณค่าของธัญพืชถูกลบเลือนไป สิ่งเหล่านี้จึงเป็นที่มาอย่างหนึ่งของโรคภัยไข้เจ็บโดยไม่รู้ตัว ตัวอย่างธัญพืชที่สามารถเพาะปลูกได้ในพื้นที่นา หรือไร่ เช่น ลูกเดือย ข้าวฟ่าง ข้าว ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรน์ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต และข้าวโพด

อาหารที่เตรียมมาจากธัญพืช คนโบราณได้รับรู้แล้วว่ามีความจำเป็นต่อชีวิต และเป็นอาหารชนิดแรก ซึ่งให้แก่เด็กที่เลี้ยงลูกด้วยนมแม่ เช่น เราให้ข้าวที่ทำการบดละเอียดป้อนทารกเมื่อถึงเวลาอันควร ข้าวมีสารอาหารทุกกลุ่ม ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน เกลือแร่ เส้นใยอาหาร และน้ำที่ถูกดูดซับขณะเราหุงหรือต้ม ยังคงมีพลังอยู่ในเมล็ดพืชและพร้อมที่จะงอกและเจริญเติบโต เป็นความสืบเนื่องการใช้มาตั้งแต่โบราณ ทำให้เราซึมซับคุณประโยชน์ของธัญพืชที่ถูกกล่าวขานว่าเริ่มต้นการนำมาใช้ก่อนคือในประเทศจีน บาร์เลย์ในจักรวรรดิโรมัน ข้าวโพดในอาณาจักรมายัน ข้าวสาลีในอียิปต์ และลูกเดือยในประเทศมองโกเลีย จึงกล่าวได้ว่าโภชนาการที่ดีจะส่งเสริมสุขภาพนั้นจะต้องกล่าวถึงปริมาณ และสัดส่วนอาหารที่จะบริโภคหรือนัยหนึ่งปริมาณและคุณภาพของอาหารนอกเหนือจากประเภทของอาหาร 5 หมู่ ธัญพืชจะต้องเป็นส่วนประกอบร้อยละ 50 ถึง 55 ของอาหารประจำวัน เป็นธัญพืชเต็มรูป เช่น ข้าวที่ไม่ขัดจนขาวจนสูญเสียวิตามิน แร่ธาตุและสารอาหารอื่น หรือแปรรูป บดเป็นแป้งละเอียดขาว รวมทั้งอาจเป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากธัญพืชเต็มรูป การที่เราควรใช้ธัญพืชหรือเมล็ดพืชเต็มรูป เพื่อให้ได้พลังชีวิตทั้งหมด ของเมล็ดพืช หากธัญพืช

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ถูกขัดสี บี้ หรือบด เมล็ดธัญพืชจะสูญเสียพลังในการงอก แป้งที่แตกออกมา ไม่เพียงแต่เสียพลังชีวิต แต่จะทำให้ธัญพืชถูกทำลายโดยการออกซิเดชั่นไขมันที่ดีที่เป็นส่วนประกอบ ดังนั้น ที่มาของธัญพืช ต้องเป็นเมล็ดพันธุ์แบบแต่ก่อน ที่ไม่ผ่านการปรับเปลี่ยนหรือตกแต่งทางพันธุกรรม การปลูกต้องไม่ใช้สารเคมี หรือยาฆ่าแมลง หรือกินแบบบรรพบุรุษของเรา ปัจจุบันเมล็ดพันธุ์ข้าว มักมีการปรับปรุง สายพันธุ์จนไม่เหลือสายพันธุ์เดิม แต่เราจะศึกษาสายพันธุ์แท้ได้จากข้าวดอย ซึ่งมีการเก็บเมล็ดพันธุ์ที่ดีดั้งเดิมไว้เพาะปลูก ธัญพืชเป็นแหล่งที่ดีของพลังงานและโปรตีน จะเป็นแหล่งให้ธาตุเหล็ก แคลเซียม แมงกานีส สังกะสี และแมกนีเซี่ยม หากเราบริโภคเมล็ดข้าวเต็มรูปจำนวน 300 กรัมต่อวัน จะให้โปรตีน 24 กรัม 6 มิลลิกรัม ของธาตุเหล็ก มีแคลเซี่ยม 117 มิลลิกรัม และ แมกนีเซี่ยม 357 มก. เมื่อเทียบปริมาณที่ถูกกำหนดให้บริโภค ธัญพืชเต็มรูปจะมีค่ามากกว่า

ข้อได้เปรียบของธัญพืชคือ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่เป็นแบบเชิงซ้อน (โพลีแซคคาไรด์) จะถูกย่อยได้ช้ากว่า คือโครงสร้างจะต้องถูกย่อยให้แตกสลายก่อน อีกทั้งมีเส้นใยอาหารของธัญพืชเต็มรูป การดูดซึมก็จะช้าลง น้ำตาลจะไม่สูงแบบพรวดพลาดหรือค่อนข้างต่ำ

แต่หากข้าวถูกขัดสี บี้และบด ยิ่งจะทำให้น้ำตาลในเลือดสูงมากขึ้นในเวลาหนึ่งหลังบริโภค อินซูลินจะถูกขับออกมามากขึ้น โดยทำให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำง่ายขึ้น ทำให้ยิ่งมีโอกาสในการเปลี่ยนรูปคาร์โบไฮเดรตเป็นไขมัน

2.4.1 ข้าวโอ๊ต

ข้าวโอ๊ต เป็นพืชเมืองหนาวนิยมนำมาเป็นอาหารเนื่องจากอุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และใยอาหาร (Beta-glucan) และมีสารต้านอนุมูลอิสระเหมาะกับผู้ที่กำลังลดน้ำหนัก เนื่องจากให้พลังงานสูงแต่มีไขมันต่ำ สามารถกินคู่กับอาหารอื่นเพื่อเสริมคุณประโยชน์ได้หลากหลาย แต่ควรออกกำลังกายควบคู่ไปด้วยมีประโยชน์ต่อร่างกายหลายประการ ทั้งช่วยการทำงานของระบบทางเดินอาหารลดคอเลสเตอรอล เสริมสร้างกล้ามเนื้อ เสริมภูมิคุ้มกัน และอื่น ๆ อีกมากมาย ในกระบวนการผลิตอาจมีการใส่กลูเตน หรือสารอื่น ๆ เพิ่มเติม ดังนั้นหากกินข้าวโอ๊ตแล้วมีอาการผิดปกติ เช่น ท้องอืดแน่นท้องอาจมีอาการแพ้กลูเตนหรือแพ้อาหารอื่น ๆ ได้ คุณค่าทางอาหารของข้าวโอ๊ต

เมล็ดข้าวโอ๊ตเป็นแหล่งสะสมสารอาหารชั้นดี ซึ่งแต่ละส่วนก็ได้ให้สารอาหารแตกต่างกันไป ตัวเมล็ดข้าวโอ๊ตเอง จะอุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และใยอาหาร (Beta-glucan) ส่วนจมูกข้าวโอ๊ตอุดมไปด้วยไขมันและสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อสีออกมาเป็นรำข้าวแล้วยังพบว่าเป็นส่วนที่อุดมด้วยใยอาหาร วิตามิน เกลือแร่ และสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) ข้าวโอ๊ต 100 กรัม ให้พลังงาน 246 กิโลแคลอรี มีคุณค่าทางโภชนาการ ดังนี้

GRAD VRU

1346770235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

1. คาร์โบไฮเดรต 66.22 กรัม
2. ใยอาหาร 15.4 กรัม
3. ไขมัน 7 กรัม
4. โปรตีน 17.3 กรัมน้ำตาล 1.45 กรัม
5. แคลเซียม 58 มิลลิกรัม
6. เหล็ก 5.41 มิลลิกรัม
7. แมกนีเซียม 235 มิลลิกรัม
8. ฟอสฟอรัส 734 มิลลิกรัม
9. โพแทสเซียม 566 มิลลิกรัม
10. สังกะสี 3.11 มิลลิกรัม
11. โฟเลต 52 ไมโครกรัม
12. วิตามินอี 1.01 มิลลิกรัม

2.4.1.1 คุณประโยชน์ของสารอาหารต่าง ๆ ในข้าวโอ๊ต

คาร์โบไฮเดรต ข้าวโอ๊ตเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ดีต่อสุขภาพ เนื่องจากเป็นธัญพืชเต็มเมล็ด มีคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน เช่น เส้นใยอาหารปริมาณสูง เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำช่วยควบคุมระดับคอเลสเตอรอลและน้ำตาลในเลือด และยังช่วยให้อิ่มนานมากขึ้น การรับประทานข้าวโอ๊ต จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยควบคุมน้ำหนักได้ แร่ธาตุต่าง ๆ ข้าวโอ๊ต ปรุงสุกหนึ่งถ้วยมีแมงกานีสถึงครึ่งหนึ่งจากที่ร่างกายต้องการ แมงกานีสมีส่วนสำคัญในการสร้างเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน กระดูก การแข็งตัวของเลือดและฮอร์โมนเพศ อีกทั้งยังมีส่วนช่วยให้พลังงานในกระบวนการต่าง ๆ ในร่างกาย การดูดซึมแคลเซียม ควบคุมน้ำตาลในเลือด และช่วยให้สมองทำงานตามปกติ นอกจากนี้การกินข้าวโอ๊ตยังได้รับฟอสฟอรัส สังกะสี ซีลีเนียม ร้อยละ 15-18 และธาตุเหล็ก ร้อยละ 10 ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้มีส่วนช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน ช่วยให้กระดูกและฟันแข็งแรง

2.4.1.2 สรรพคุณของข้าวโอ๊ต

1) ลดคอเลสเตอรอล เนื่องจากในข้าวโอ๊ตมีใยอาหารชนิดหนึ่งชื่อว่าเบต้า-กลูแคน ช่วยลดคอเลสเตอรอลชนิดไม่ดีในร่างกายและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดอีกด้วย

2) ควบคุมน้ำหนัก ข้าวโอ๊ตมีใยอาหารทั้งชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำเมื่อรับประทาน เส้นใยเหล่านี้จะทำให้รู้สึกอิ่มเร็ว ไม่หิวง่าย และทำให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีแคลอรีต่ำ สามารถรับประทานได้เท่าที่ต้องการ

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

3) ส่งเสริมให้ระบบย่อยอาหารทำงานดีขึ้น การรับประทานอาหารที่มีส่วนผสมของใยอาหารในปริมาณที่ร่างกายต้องการ จะช่วยรักษาสมดุลของลำไส้ได้และช่วยขับสารพิษตกค้างในร่างกายออกมาพร้อมการขับถ่าย

4) เสริมสร้างภูมิคุ้มกัน เบต้ากลูแคนที่พบได้ในข้าวโอ๊ตสามารถเสริมประสิทธิภาพการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันได้เป็นอย่างดี ช่วยป้องกันการเจ็บป่วยและการติดเชื้อต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น

5) บรรเทาอาการเหนื่อยล้า คาร์โบไฮเดรตในข้าวโอ๊ตชะลอการย่อยเพื่อควบคุมให้ระดับน้ำตาลในเลือดคงอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม จึงทำให้ร่างกายมีความกระปรี้กระเปร่าไม่เหนื่อยล้าเพราะขาดน้ำตาล

6) เสริมสร้างกล้ามเนื้อ ข้าวโอ๊ตมีโปรตีนมากกว่าธัญพืชชนิดอื่น ๆ ในปริมาณเท่ากัน การรับประทานเป็นประจำสามารถเสริมสร้างกล้ามเนื้อและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอภายในร่างกายได้

7) ลดความเสี่ยงต่อโรคหอบหืดในเด็ก นักวิจัยเชื่อกันว่า การรับประทานข้าวโอ๊ตช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหอบหืดในเด็กได้ ส่วนเด็กที่เป็นโรคหอบหืด หากรับประทานก็จะช่วยให้อาการทุเลาลงได้

8) บรรเทาอาการโรคเบาหวาน ข้าวโอ๊ตมีสรรพคุณช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้เกิดความสมดุลจึงช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน รวมถึงเป็นอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้ป่วยเบาหวานอีกด้วย

9) ระบบขับถ่ายดีขึ้น เนื่องจากไฟเบอร์ชนิดละลายน้ำได้ที่มีอยู่ในข้าวโอ๊ตมีคุณสมบัติในการเป็นเสมือนตัวขับเคลื่อนให้ลำไส้ทำงานได้ดีขึ้นส่งผลให้มีระบบขับถ่ายที่ดี ลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่

10) ผิวชุ่มชื้น ในข้าวโอ๊ตยังมีวิตามินอีที่ช่วยทำให้ผิวมีความชุ่มชื้นจึงนิยมนำไปผลิตเป็นเครื่องสำอางบำรุงผิวในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ครีม โลชั่นทาผิว หรือสบู่ เป็นต้น

2.4.1.3 แนวทางการใช้ข้าวโอ๊ตเพื่อสุขภาพ

ข้าวโอ๊ตนั้นนอกจากจะนำมารับประทานแล้ว ยังสามารถนำมาใช้เพื่อสุขภาพด้านอื่น ๆ ได้เช่น

1) รักษาสิว ทำได้ด้วยวิธีนำข้าวโอ๊ตและนมมาผสมให้เข้ากัน พอกบริเวณที่เป็นสิวทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วจึงล้างออกด้วยน้ำสะอาดจะช่วยรักษาสิวและอาการอักเสบของสิวได้

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

2) ฟื้นฟูสภาพผิว นำข้าวโอ๊ต 3/4 ถ้วยตวงและน้ำเปล่ามาปั่นรวมกันประมาณ 3 นาที จากนั้นให้ใส่น้ำผึ้งและโยเกิร์ตอย่างละ 2 ช้อนโต๊ะ ผสมไข่ขาวลงไป จากนั้นนำมาพอกหน้าหรือบริเวณผิวที่ต้องการทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำอุ่นให้สะอาด

3) รักษาผิวไหม้จากแสงแดด ผิวลอก นำเมล็ดข้าวโอ๊ตมาบดละเอียด จากนั้นใช้ผ้าที่สะอาดห่อไว้แล้วนำไปชุบน้ำ ประคบบริเวณที่เป็นรอยไหม้จากแสงแดด

2.4.1.4 ข้อควรระวังในการกินข้าวโอ๊ต

ข้าวโอ๊ตบริสุทธ์จะปราศจากกลูเตน แต่การผลิตในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่จะผ่านการแปรรูปในโรงงานที่ผลิตข้าวสาลี ข้าวไรย์ และข้าวบาร์เลย์ ที่มีส่วนผสมของกลูเตน ดังนั้นผู้ที่แพ้กลูเตนควรที่ต้องหลีกเลี่ยงการรับประทานเพื่อความปลอดภัย การรับประทานข้าวโอ๊ต ถึงแม้จะค่อนข้างปลอดภัย แต่ก็อาจจะพบผลข้างเคียงเกิดขึ้นบ้างเล็กน้อย เช่น ท้องอืดและรู้สึกแน่นท้อง ดังนั้น เพื่อให้ร่างกายได้ปรับตัวในช่วงแรก ควรลองรับประทานในปริมาณน้อยดูก่อน แล้วจึงเพิ่มปริมาณมากขึ้น ผู้ป่วยที่เคี้ยวอาหารลำบากหรือผู้ป่วยที่กลืนอาหารลำบากต้องระมัดระวังในการรับประทานข้าวโอ๊ต เนื่องจากอาจเพิ่มความเสี่ยงให้ลำไส้อุดตันจากการเคี้ยวไม่ละเอียดหรือสำลักอาหาร

2.4.2 ข้าวโพด

มีชื่อท้องถิ่นอื่น ๆ ว่าข้าวแซ่ (แม่ฮ่องสอน) ข้าวสาลี เข้าสาลี สาลี (ภาคเหนือ) โพด (ภาคใต้) บือเคส่ะ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน), เข้าโพด (ไทย), เป๊าก๋อ (ม้ง), แผละลี (ลั้วะ), ข้าวแข่ (เงี้ยว), ฉาน (แม่ฮ่องสอน), เง็กบี้ เง็กจกซู่ (จีน), ยวี่หมี่ ยวี่สู่สู่ (จีนกลาง) เป็นต้น

ต้นข้าวโพด จัดเป็นไม้ล้มลุกจำพวกหญ้า มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ ในปัจจุบันมีการปลูกทั่วไปในเขตร้อนและเขตอบอุ่นทั่วโลก ลำต้นนั้นมีลักษณะอวบกลมและตั้งตรงแข็งแรง มีความสูงของต้นประมาณ 1-4 เมตร ผิวต้นเรียบ เนื้อภายในฟ่ามคล้ายกับฟองน้ำขยายพันธุ์ด้วยวิธีการเพาะเมล็ด

ใบข้าวโพด ใบเป็นใบเดี่ยวออกเรียงสลับ ใบมีลักษณะเรียวยาวเป็นรูปขอบขนานปลายใบแหลม โคนใบมน ส่วนขอบใบมนและมีขนอ่อน ๆ สีขาว เส้นกลางใบมองเห็นได้ชัดเจน ใบมีขนาดกว้างประมาณ 2-10 เซนติเมตรและยาวประมาณ 30-100 เซนติเมตร ส่วนก้านใบเป็นกาบหุ้มลำต้น

ดอกข้าวโพด ออกดอกเป็นช่อ ดอกเพศผู้และดอกเพศเมียจะอยู่ในต้นเดียวกัน โดยดอกเพศผู้จะออกดอกเป็นช่อและออกที่ปลายยอด ส่วนดอกเพศเมียจะอยู่ต่ำถัดลงมาออกระหว่างกาบของใบและลำต้น เรียงเป็น 2 แถว มีประมาณ 8-18 ดอก ดอกย่อยจะมีก้านเกสร

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

เพศผู้จำนวน 9-10 ก้าน และมีอับเรณูสีเหลืองส้ม ยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร ส่วนยอดเกสรเพศเมียเป็นเส้นบาง ๆ ยื่นออกมาเป็นจำนวนมาก คล้ายกับเส้นไหมจำนวนมาก บ้างก็เรียกว่าหนวดข้าวโพด โดยจะอยู่ระหว่างกาบใบและลำต้น และดอกเพศเมียเมื่อเจริญเติบโตแล้วก็จะออกเป็นฝักหรือเรียกว่าผล โดยผลจะออกผลเป็นฝัก ผลถูกหุ้มไปด้วยกาบบาง ๆ หลายชั้น ฝักอ่อนเป็นสีเขียว เมื่อแก่แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีนวล เรียกว่าเปลือกข้าวโพด ฝักมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ในหนึ่งฝักจะมีเมล็ดอยู่รอบฝักเรียงเป็นระเบียบรอบแกนกลางของฝัก เมล็ดจะเกาะอยู่เป็นแถวประมาณ 8 แถว แต่ละแถวจะมีประมาณ 30 เมล็ดและมีสีต่าง ๆ กัน เช่น สีนวล เหลือง ขาว หรือสีม่วงดำ

2.4.2.1 ชนิดของข้าวโพด

เราสามารถจำแนกข้าวโพดตามพฤกษศาสตร์ โดยแยกตามลักษณะภายนอกของเมล็ดและลักษณะของแป้ง โดยแบ่งได้ 7 ชนิด ดังนี้

1) ข้าวโพดไร่ชนิดหัวบุบ (Dent corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Zea mays indentata เมล็ดตอนบนจะมีรอยบุบสีขาว เนื่องจากตอนบนเป็นแป้งชนิดอ่อน ส่วนด้านข้างเป็นแป้งชนิดแข็ง เมื่อนำมาตากแห้งจึงเกิดการยุบตัว

2) ข้าวโพดไร่ชนิดหัวแข็ง (Flint corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Zea mays indurate เป็นชนิดที่มีลักษณะของเมล็ดค่อนข้างแข็งแรง กลม เรียบ หัวไม่บุบ ด้านนอกถูกห่อหุ้มไปด้วยแป้งชนิดแข็ง เมื่อนำมาตากแห้งจึงไม่หดตัวหรือยุบตัว โดยมีขนาดของฝักและจำนวนแถวของเมล็ดน้อยกว่าชนิดหัวบุบ

3) ข้าวโพดหวาน (Sweet corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Zea mays saccharata ชนิดนี้เป็นข้าวโพดที่ใช้ปลูกเพื่อรับประทานฝักสดโดยเฉพาะ เมล็ดมีลักษณะอ่อนใสและโปร่งแสง มีรสหวานอร่อย เนื่องจากมีน้ำตาลมาก เมื่อเมล็ดแก่จะเกิดการหดตัวและเหี่ยวย่น

4) ข้าวโพดคั่ว (Pop corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Zea mays everta เมล็ดมีขนาดค่อนข้างเล็ก มีแป้งแข็งอยู่ภายใน ภายนอกห่อหุ้มไปด้วยสารที่ค่อนข้างเหนียวและยืดตัวได้ ภายในเมล็ดมีความชื้นอยู่พอสมควร เมื่อถูกความร้อนจะทำให้เกิดแรงดันภายในเมล็ด เมื่อร้อนถึงขีดสุดก็จะระเบิดออกมา ซึ่งโดยทั่วไปอาจแบ่งตามรูปร่างของเมล็ดได้เป็น 2 จำพวก คือ พวกหัวแหลม หรือ rice pop corn และพวกเมล็ดกลม pearl pop corn โดยเมล็ดจะมีสีต่างกันออกไป เช่น ขาว เหลือง ส้ม ม่วง เป็นต้น ส่วนฝักก็มีขนาดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 5-10 เซนติเมตร

5) ข้าวโพดข้าวเหนียวหรือข้าวโพดเทียน (Waxy corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Zea mays ceratina ลักษณะของเมล็ดมีความเหนียวคล้ายขี้ผึ้ง แป้งที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับแป้งมันสำปะหลัง ใช้ปลูกเพื่อทำเป็นแป้งที่มีคุณภาพคล้ายกับแป้งมัน นิยมใช้ปลูกเพื่อรับประทานฝัก

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

สดคล้ายกับข้าวโพดหวาน แม้รสจะไม่หวานเท่า แต่เมล็ดนิ่ม มีรสอร่อย รับประทานแล้วไม่ติดฟัน โดยเมล็ดจะมีสีต่าง ๆ กัน เช่น ขาว เหลือง ส้ม ม่วง หรือมีหลายสีในฝักเดียวกัน

6) ข้าวโพดแป้ง (Flour corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Zea mays amylacea เมล็ดจะประกอบไปด้วยแป้งชนิดอ่อนปริมาณมาก ลักษณะของเมล็ดคล้ายกับเมล็ดข้าวโพดไร่ชนิดหัวแข็ง แต่หัวจะไม่บุบหรืออาจบุบเล็กน้อย ชนิดนี้จะมีเมล็ดประมาณ 8-12 แถว ชาวอินเดียแดงใช้ทั้งฝักสดและฝักแก่เป็นอาหาร

7) ข้าวโพดป่า (Pod corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Zea mays tunicate เมล็ดมีเปลือกหุ้มทุกเมล็ด และยังมีเปลือกฝักอีกชั้นหนึ่ง โดยเมล็ดจะมีลักษณะต่าง ๆ กัน คือ มีทั้งหัวบุบ หัวแข็ง ข้าวโพดแป้ง ข้าวโพดหวาน หรือข้าวโพดคั่ว ซึ่งข้าวโพดชนิดนี้ไม่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเลย เพียงแต่ปลูกไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

2.4.2.2 สรรพคุณของข้าวโพด

1) เมล็ดมีรสหวานมัน ช่วยบำรุงร่างกาย

2) หากความจำเสื่อมหรือลืมง่าย ให้ใช้ยอดเกสรเพศเมียแห้งเอามาใส่ในกล้องยาสูบแล้วใช้จุดสูบ

3) เมล็ดช่วยบำรุงปอดและหัวใจ

4) ยอดเกสรเพศเมียและฝอยข้าวโพดใช้เป็นยาแก้เบาหวาน ด้วยการใช้ยอดเกสรเพศเมียที่ตากแห้งแล้วประมาณ 30 กรัม นำมาต้มกับน้ำดื่ม

5) ยอดเกสรเพศเมียหรือไหมข้าวโพดและฝอยข้าวโพดช่วยแก้โรคความดันโลหิตสูงตามตำรับยาจะใช้ยอดเกสรเพศเมียที่แห้งแล้ว เปลือกกล้วยแห้ง และเปลือกแตงโมแห้งอย่างละเท่ากัน นำมาต้มกับน้ำดื่ม

6) ต้นและเมล็ดช่วยทำให้เจริญอาหาร

7) เกสรเพศเมียมีรสหวาน เป็นยาสุขุม ออกฤทธิ์ต่อกระเพาะลำไส้และทางเดินปัสสาวะมีสรรพคุณขับความร้อนชื้น แก้อาการกระหายน้ำ

8) ช่วยแก้ไข้ทับระดู

9) ช่วยแก้โลหิตกำเดา

10) หากตรากตรำทำงานหนัก มีอาการไอเป็นเลือดหรือตกเลือด ให้ใช้ยอดเกสรเพศเมีย นำมาต้มกับเนื้อสัตว์รับประทาน

1346770235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

11) ช่วยแก้อาการคลื่นไส้อาเจียน ฝอย รากและเมล็ดช่วยแก้อาการเจียน (ราก, เมล็ด) รากและเกสรเพศเมียช่วยแก้อาการอาเจียนเป็นโลหิต ด้วยการใช้รากข้าวโพดแห้งประมาณ 60-120 กรัม นำมาต้มกับน้ำดื่ม (ราก, เกสรเพศเมีย)

12) ช่วยแก้โพรงจมูกอักเสบ จมูกอักเสบเรื้อรัง (เกสรเพศเมีย)

13) สำหรับผู้ที่ป่วยเป็นโรคเยื่อหุ้มปอดอักเสบ โดยมีอาการเจ็บแปลบที่หน้าอกเพียงจุดใดจุดหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นซีกซ้ายหรือขวาก็ได้ และจะเจ็บเพียงชั่วขณะที่หายใจเข้าลึก ๆ ที่ปอดขยายตัวเต็มที่ เลยทำให้ส่วนที่อักเสบเกิดการเสียดสีกัน ถ้าเป็นเยื่อหุ้มปอดอักเสบจากการติดเชื้อไวรัสชนิดที่ไม่รุนแรงก็จะไม่มีอาการผิดปกติอื่น ๆ แต่สำหรับอาการที่เห็นทั่วไปจะมีเหงื่อเย็น ๆ ออกจนเปียกข้างลำตัว ให้ใช้เกสรเพศเมีย 1 กิโลกรัม นำมานึ่งแล้วใช้พอกบริเวณปอดจะช่วยทำให้มีอาการดีขึ้น หรือจะนำมาต้มกับน้ำดื่มก็ได้ผลเช่นกัน (เกสรเพศเมีย)

14) ช่วยแก้เต้านมเป็นฝี (เกสรเพศเมีย)

15) ช่วยบำรุงกระเพาะอาหาร (เมล็ด)

16) ช่วยรักษาอาการอาหารไม่ย่อย ด้วยการใช้ข้าวโพด 500 กรัมและเปลือกทับทิม 120 กรัม นำมาผิงไฟให้แห้ง แล้วบดให้เป็นผง นำมาผสมกับน้ำให้ได้ประมาณ 1,500 มิลลิลิตร แล้วใช้ดื่ม 10 มิลลิลิตร ต่ออายุ 1 ปี จะช่วยรักษาอาการพิษได้ และในช่วงการรักษาให้ระวังคอยดูแลระดับน้ำและอุณหภูมิของร่างกายไม่ให้เกิดความผิดปกติด้วย ไม่ระบุแน่ชัดว่าใช้ส่วนใดของข้าวโพด

17) สำหรับผู้ที่ได้รับการผ่าตัดโรคมะเร็งที่กระเพาะอาหาร ให้ใช้เมล็ดข้าวโพดนำมาต้มใส่เกลือเล็กน้อยและไข่ขาว แล้วนำมารับประทานเป็นอาหารเสริม (เมล็ด)

18) ซังข้าวโพดมีรสจืดชุ่ม ใช้ซังแห้งประมาณ 10-12 กรัมนำมาต้มกับน้ำดื่ม หรือนำมาเผาเป็นถ่านผสมกับน้ำดื่มเป็นยาแก้บิด แก้อาการท้องร่วง (ซัง)

19) ราก เกสรเพศเมีย ซัง และเมล็ดเป็นยาขับปัสสาวะ ตามตำรับยาจะใช้รากแห้งประมาณ 60-120 กรัม นำมาต้มกับน้ำดื่ม หรือจะใช้ยอดเกสรเพศเมียหรือซังข้าวโพดเอามาต้มกับน้ำดื่มแทนน้ำชาก็ได้ (ราก, เกสรเพศเมีย, ฝอย, ซัง, เมล็ด) ใช้เกสรเพศเมียประมาณ 10-20 กรัม นำมาต้มกับน้ำดื่มทุกวันเป็นยาแก้โรคกระเพาะปัสสาวะอักเสบเรื้อรังหรือเฉียบพลันช่วยแก้โรคทางเดินปัสสาวะอักเสบ นิ่วในกระเพาะปัสสาวะ รวมถึงนิ่วในอวัยวะอื่น ๆ ด้วย (เกสรเพศเมีย) ช่วยขับปัสสาวะ แก้ปัสสาวะกะปริดกะปรอย แก้นิ่วในทางเดินปัสสาวะ (ลำต้น, ใบ, เกสรเพศเมีย) ช่วยแก้ปัสสาวะขัด (ซัง, ราก, ต้น) และใบมีรสออกหวาน ใช้เป็นยาแก้นิ่ว ขับนิ่ว

1346770235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ตามตำรับยาให้ใช้ต้นและใบสดหรือแห้งจำนวนพอสมควร นำมาต้มกับน้ำดื่มเป็นยาแก้นิ่ว ขับนิ่ว ถ้าเป็นรากให้ใช้รากแห้งประมาณ 60-120 กรัมนำมาต้มกับดื่ม (ราก, ต้นและใบ, ฝอย)

20) เกสรเพศเมียหรือไหมข้าวโพดมีรสออกหวาน ช่วยขับนิ่วในถุงน้ำดี กระตุ้นให้น้ำดีขับเคลื่อน แก้ถุงน้ำดีอักเสบ มะเร็งในถุงน้ำดี และช่วยบำรุงน้ำดี เกสรเพศเมีย

21) เกสรเพศเมียช่วยบำรุงตับ แก้ตับอักเสบ ตับอักเสบเป็นดีซ่าน แก้ดีซ่าน แก้ไตอักเสบ ซึ่งตามตำรับยาแก้ไตอักเสบจะใช้เกสรเพศเมีย 30 กรัม หญ้าหนวดแมว 20 กรัม หญ้าคา 20 กรัม ข้าวเย็นเหนือ 25 กรัม ข้าวเย็นใต้ 25 กรัม และโกฐน้ำเต้า 5 กรัม นำมาต้มกับน้ำดื่ม หรือหากไตอักเสบหรือเริ่มเป็นนิ่วที่ไต ให้ใช้ยอดเกสรเพศเมียพอประมาณ นำมาต้มจนข้นแล้วนำมากิน หรือหากเป็นโรคไตอักเสบเรื้อรัง ให้ใช้ยอดเกสรเพศเมียแห้ง 50 กรัมนำมาต้มกับน้ำกินโดยจะมีฤทธิ์ช่วยขับปัสสาวะ ทำให้ไตทำงานได้ดีขึ้นจากอาการบวมน้ำและปริมาณของอัลบูมิน (albumin) ในปัสสาวะนั้นลดลง โดยคนไข้ที่กินติดต่อกันนาน 6 เดือนยังไม่พบอาการเป็นพิษแต่อย่างใด ส่วนอีกตำรับยาที่ใช้รักษาโรคเกี่ยวกับไตให้ใช้ยอดเกสรเพศเมียแห้ง 60 กรัม นำมาต้มกับกินวันละ 2 ครั้ง แล้วให้กินโพแทสเซียมคลอไรด์ร่วมด้วย โดยทั่วไปเมื่อกินยานี้ไปแล้ว 3 วัน ปัสสาวะจะมากขึ้น ปริมาณของอัลบูมินและสารจำพวกไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนในปัสสาวะนั้นจะลดลง และคนไข้บางรายจะมีปริมาณของอัลบูมินในโลหิตสูง ส่วนบางรายความดันโลหิตจะลดลงจนสู่ระดับปกติ (เกสรเพศเมีย) ช่วยรักษาไต (ฝอย)

22) ใช้ซังแห้งประมาณ 10-12 กรัมนำมาต้มกับน้ำดื่ม หรือนำมาเผาเป็นถ่านผสมกับน้ำกินเป็นยาบำรุงม้าม (ซัง)

23) ช่วยแก้อาการบวมน้ำ ด้วยการใช้ซังแห้งประมาณ10-12 กรัมนำมาต้มกับน้ำดื่ม หรือนำมาเผาให้เป็นถ่านแล้วผสมกับน้ำกิน หรือจะใช้ซังข้าวโพดแห้ง 60 กรัมผสมกับฮวงเฮียงก้วย 30 กรัม ผลของ Liquidambar (taiwaniana Hance) นำมาต้มกับน้ำกินส่วนเกสรเพศเมียช่วยแก้อาการบวมน้ำ ขาบวม ซึ่งตามตำรับยาจะใช้เกสรเพศเมีย 30 กรัมหญ้าหนวดแมว 20 กรัม หญ้าคา 20 กรัม ข้าวเย็นเหนือ 25 กรัม ข้าวเย็นใต้ 25 กรัม และโกฐน้ำเต้า 5 กรัม นำมาต้มกับน้ำกิน ส่วนอีกตำรับจะใช้เกสรเพศเมีย 50 กรัม ผสมกับเมล็ดเทียนเกล็ดหอย 15 กรัม นำมาต้มกับน้ำดื่มวันละ 3 ครั้ง (เกสรเพศเมีย, ซัง)

24) เมล็ดนำมาบดพอกแผลเพื่อทำให้เยื่ออ่อนนุ่มไม่ให้เกิดการระคายเคือง

25) หากเกิดบาดแผล ให้ใช้เกสรเพศเมียสด ๆ นำมาตำให้ละเอียดแล้วใช้เป็นยาพอกแผล จะช่วยทำให้อาการดีขึ้น เกสรเพศเมีย

1346770235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

26) สำหรับเด็กที่เป็นแผลที่ผิวหนัง และมีเลือดออก ให้ใช้ซังข้าวโพดนำมาเผาให้เป็นเถ้า แล้วนำมาผสมกับน้ำมันเมล็ดป่านหรือน้ำมันพืช ใช้เป็นยาทา (ซัง)

ระยะการเจริญเติบโตและการพัฒนาของข้าวโพด เริ่มตั้งแต่ระยะเริ่มงอก ถึงระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งรวมอายุได้ประมาณ 100-120 วัน ข้าวโพดที่เจริญเติบโตสมบูรณ์จะมีใบ 16-18 ใบ และออกไหมเมื่ออายุประมาณ 55-60 วัน

2.1.2.3 การจำแนกระยะการเจริญเติบโตมี 2 ระบบ คือ

การจำแนกระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดตามช่วงการเจริญเติบโต ซึ่งแบ่งออก ดังนี้

1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative stage) เป็นระยะเริ่มตั้งแต่ที่ coleoptile โผล่พ้นดินจนถึงระยะออกดอกตัวผู้ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 45-55 วันซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของข้าวโพดและสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอุณหภูมิ

1.1) ระยะออกดอก (flowering stage) เป็นระยะตั้งแต่ดอกตัวผู้บาน จนถึงระยะที่ไหมโผล่พ้นกาบหุ้มฝักตลอดจนระยะผสมเกสรใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 5-15 วัน

1.2) ระยะการสะสมน้ำหนักเมล็ด (grain filling) เป็นระยะที่เมล็ดมีการสะสมแป้งในเมล็ด จนถึงระยะที่เมล็ดหยุดการพัฒนาใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 35-45 วัน ระยะนี้แบ่งได้ 2 ระยะ คือ ระยะน้ำนม early milk และ late milk stage และระยะแป้งอ่อน (dough stage)

2) ระยะการสุกแก่ทางสรีระ (physiological maturity) เป็นระยะที่มีชั้นเนื้อเยื่อสีดำ (black layer) ปรากฏที่ส่วนโคนของเมล็ดการสะสมน้ำหนักแห้งจะสิ้นสุดลงเป็นระยะที่ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งสูงสุด

3) ระยะสุกแก่เก็บเกี่ยว (harvest maturity) เป็นระยะที่ต้นและใบของข้าวโพด รวมทั้งกาบหุ้มฝักแห้ง ฝักคลายตัวจากกาบหุ้ม เมล็ดมีการลดความชื้นอย่างต่อเนื่องตามสภาพอุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศ

2.4.2.4 การจำแนกระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดตามแบบสากล

การจำแนกระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดตามการพิจารณาของส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพด ได้แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ การเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative, V) และระยะการเจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์ (Reproductive, R) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นจะเริ่มจากระยะงอก (emergence, VE) และเริ่มนับระยะ V1, V2, V3 จนถึง Vn เมื่อข้าวโพดมีใบที่กางสมบูรณ์ปรากฏ (leaf collar) ใบที่ 1, 2, 3 และ n ใบ ตามลำดับ จนถึงระยะ VT ที่ปรากฏ

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ช่อดอกตัวผู้ ส่วนระยะการเจริญพันธุ์จะเริ่มตั้งแต่ระยะ R1 ออกไหม R2 กำเนิดเมล็ด จนถึงระยะ R7 harvest maturity

2.4.2.5 สภาพดินฟ้าอากาศ

เนื่องจากข้าวโพดมีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูงมาก จึงพบว่าข้าวโพดสามารถปลูกได้ในส่วนต่าง ๆ ของโลก ซึ่งมีสภาพฟ้าอากาศแตกต่างกันมาก ตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 50 องศาเหนือ ไปจนถึงเส้นรุ้ง 50 องศาใต้ และที่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลไปจนถึงที่สูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 1,000 เมตร

ข้าวโพดเป็นพืชวันสั้น ปลูกในสภาพวันยาวจะใช้เวลาในการออกดอกและแก่ยาวขึ้นและมีจำนวนใบเพิ่มขึ้นแม้ว่าข้าวโพดเป็นพืชที่มีความสามารถปรับตัวได้กว้างแต่จะเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิระหว่าง 24-30 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับการงอก 10 องศาเซลเซียส ขณะที่ต้นยังเล็กอยู่ สูงราว 15 เซนติเมตร ข้าวโพดสามารถทนทานต่ออากาศหนาวเย็นได้ดี แต่เมื่อโตขึ้นจะไม่ทนทานต่อสภาพอากาศดังกล่าว ข้าวโพดเป็นพืชที่ต้องการไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมสูง ดินที่เหมาะสำหรับการปลูกข้าวโพดควรมี pH ระหว่าง 5.5-8

2.4.2.6 ฤดูของการปลูกข้าวโพด

ฤดูปลูกข้าวโพดในประเทศไทยมีสองฤดูด้วยกัน คือ ฤดูปลูกต้นฝนและฤดูปลูกปลายฝน ฤดูปลูกต้นฝนเริ่มประมาณเดือนเมษายนและพฤษภาคม ขึ้นกับการตกและการกระจายของฝนในท้องถิ่น เกษตรกรนิยมปลูกข้าวโพดในฤดูปลูกต้นฝนมากกว่าฤดูปลูกปลายฝนทั้งนี้เนื่องจากได้ผลผลิตสูงกว่าไม่มีโรคราน้ำค้างระบาดทำความเสียหายรวมทั้งมีปัญหาเกี่ยวกับวัชพืชน้อยกว่าฤดูปลูกปลายฝน

ฤดูปลูกปลายฝน เริ่มประมาณเดือนกรกฎาคมหรือเดือนสิงหาคม การปลูกข้าวโพดในฤดูนี้ต้องใช้พันธุ์ที่มีความต้านทานต่อโรคราน้ำค้างเพราะเป็นฤดูปลูกที่โรคราน้ำค้างระบาดทำความเสียหายให้แก่ข้าวโพดมากโดยเฉพาะแปลงที่ปลูกล่าช้า

หลักในการพิจารณาเกี่ยวกับฤดูปลูกข้าวโพดนอกจากพิจารณาจากผลผลิตที่ได้และความสะดวกในการปฏิบัติแล้ว ต้องพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพของเมล็ดข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวด้วยข้าวโพดที่เก็บได้จากการปลูก ฤดูปลูกต้นฝนนั้นคุณภาพของเมล็ดต่ำกล่าวคือเมล็ดเก็บเกี่ยวขณะที่ความชื้นของอากาศสูงทำให้เกิดเชื้อราซึ่งสร้างสารพิษอะฟลาท็อกซินทำให้เมล็ดข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวจากฤดูปลูกต้นมีสารพิษอะฟลาท็อกซินในปริมาณสูงจนก่อให้เกิดปัญหาการรับซื้อจากตลาดต่างประเทศ ส่วนเมล็ดข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวจากฤดูปลูกปลายฝนนั้นไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสารพิษดังกล่าวหรือถ้ามีก็น้อยทั้งนี้เนื่องจากการเก็บเกี่ยวกระทำในขณะที่ความชื้นในอากาศต่ำรวมทั้งสามารถปล่อย

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ให้เมล็ดแห้งเต็มที่ในแปลงปลูกก่อนเริ่มเก็บเกี่ยวจากปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของเมล็ดดังกล่าว จึงแนะนำให้ปลูกข้าวโพดในฤดูปลูกปลายฝน

2.4.2.7 การเตรียมดินข้าวโพด

การเตรียมดินมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำให้สภาพของดินเหมาะแก่การงอกและการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพด โดยทำให้ขนาดของก้อนดินเล็กลง เพื่อให้เมล็ดพืชกับดินมีการสัมผัสที่ดี ทำให้ดินมีอากาศถ่ายเทสะดวก ช่วยกลบเศษพืชและวัสดุอื่น ๆ ลงในดิน ช่วยกำจัดวัชพืช รวมทั้งโรคและแมลง ช่วยให้ดินดูดซับน้ำได้ดีขึ้นและช่วยลดการชะล้างดินจากการกระทำของน้ำ การเตรียมดินที่ดีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของดินและปัจจัยอื่น ๆ

การเตรียมดินมีทั้งการไถและการพรวน ในดินเหนียวจำนวนครั้งของการไถพรวนจะมากกว่าดินร่วนและดินปนทราย หลักในการเตรียมดินก็เพื่อทำให้ดินอยู่ในสภาพที่เหมาะต่อการปลูกพืช การเตรียมดินที่ปฏิบัตินอกเหนือไปจากนี้เพื่อให้แปลงปลูกดูสะอาดสวยงาม นอกจากเป็นการไม่จำเป็นแล้วยังมีผลเสียอีกด้วยคือทำให้ดินแน่นโดยเฉพาะดินล่างในการไถควรไถให้ลึกประมาณ 15-20 ซม. ถ้ามีการไถ 2 ครั้ง ควรให้ห่างกันประมาณ 7-10 วัน เพื่อเป็นการตากดินและเป็นการช่วยปราบวัชพืชไปในตัวถ้าเป็นที่ลาดเทการไถครั้งสุดท้ายควรให้ขวางกับแนวลาดเท หลังจากการไถควรมีการพรวนเพื่อย่อยเม็ดดินให้มีขนาดเล็กลงและร่วนซุยเหมาะแก่การงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า การเตรียมดินที่ไม่ต้องมีการไถพรวน หรือมีการไถเพียงเพื่อทำแถวปลูกเท่านั้น วิธีการปลูกข้าวโพดในแปลงที่เตรียมดินแบบนี้จะได้ผลต่อเมื่อมีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชโดยมีสารเคมีหลักคือ กรัมมอกโซนหรือพาราควอทแล้วมีการใช้สารเคมีปราบวัชพืชพืชชนิดอื่นที่เหมาะสมควบคู่กันไปด้วย ขึ้นกับชนิดของวัชพืชที่ขึ้นในการปลูกที่ไม่มีการไถพรวนเลยนั้น ถ้ามีวัชพืชหรือพืชที่ปลูกในฤดูก่อนสูงมากก็อาจใช้มีดฟันทิ้งเสีย แล้วฉีดกรัมมอกโซนกำจัดวัชพืช กรัมมอกโซนนี้จะไปทำลายส่วนสีเขียวของพืชทั้งหมด จึงเป็นการทำลายวัชพืชที่มีอยู่แล้วก่อนปลูกข้าวโพด หลังจากฉีดกรัมมอกโซน ประมาณ 2-7 วัน ก็ปลูกข้าวโพด สำหรับวัชพืชที่จะขึ้นมาทีหลัง สามารถควบคุมหรือกำจัดโดยใช้สารเคมีที่เหมาะสม เช่น แอทราซีน อะลาคลอร์ เป็นต้น การปลูกข้าวโพดแบบไม่มีการไถพรวนนี้จะมีเศษซากพืชคลุมดินสามารถช่วยในการรับน้ำและอนุรักษ์ความชื้นในดินให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำให้รากพืชสามารถดูดน้ำจากดินชั้นล่างมาใช้ประโยชน์ในช่วงที่ฝนไม่ตกได้ดีกว่าแปลงที่มีการไถพรวนนอกจากนั้นการปลูกข้าวโพดโดยไม่มีการไถพรวนสามารถลดความเสียหายจากการชะล้างพังทลายของหน้าดินได้เป็นอย่างดี ผลดีของการปลูกโดยไม่มีการไถพรวนจะเห็นได้เด่นชัดในพื้นที่ ๆ มีความลาดเทสูง

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

2.4.2.8 วิธีการปลูกข้าวโพด

ควรปลูกเป็นแถวเพื่อสามารถควบคุมให้มีจำนวนต้นต่อไร่ที่เหมาะได้ นอกจากนั้นการปลูกเป็นแถวยังทำให้สะดวกในการดูแลรักษารวมทั้งเก็บเกี่ยว ซึ่งจะทำให้ผลผลิตสูงขึ้นและลดค่าจ้างแรงงานในการเก็บเกี่ยวลงด้วย การปลูกข้าวโพดแนะนำให้ปลูกระยะระหว่างแถวกว้าง 75 ซม. และให้ระยะระหว่างหลุมภายในแถวห่างกัน 25 ซม. โดยให้มีต้นข้าวโพด 1 ต้นต่อหลุมหรือให้ระยะระหว่างหลุม 50 ซม. ก็ได้แต่ต้องให้มีต้นข้าวโพด 2 ต้นต่อหลุม การปลูกตามที่แนะนำนี้จะได้อัตราปลูก 8,533 ต้นต่อไร่ ซึ่งจะใช้เมล็ดประมาณ 3 กิโลกรัมต่อไร่ โดยปลูกให้ลึกประมาณ 5 ซม. ในการปลูกควรทราบเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดที่ใช้ปลูก เพื่อสามารถประมาณว่าควรหยอดเมล็ดต่อหลุมเท่าไร เพื่อจะได้จำนวนต้นต่อไร่ตามที่ต้องการเมื่อต้นข้าวโพดมีอายุประมาณ 2 สัปดาห์

2.4.2.9 การใส่ปุ๋ยข้าวโพด

การปลูกข้าวโพดในประเทศไทย แทบจะไม่มีการใส่ปุ๋ยกันเลย นอกจากนั้นพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่ยังขาดการบำรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน นี่ก็เป็นปัจจัยอันหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตข้าวโพดมีคุณภาพที่ต่ำ เหตุจากที่ไม่นิยมการใส่ปุ๋ยเกิดจากหลายสาเหตุด้วยกันและเกษตรกรยังขาดความรู้ทางด้านนี้ แต่ที่สำคัญที่สุดก็คือราคาปุ๋ยในประเทศไทยค่อนข้างสูงแต่อย่างไรก็ตามสำหรับท้องที่ที่มีการกระจายของฝนดี การใส่ปุ๋ยจะทำให้รายได้เพิ่มขึ้นมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย

ปุ๋ยที่ให้ผลตอบแทนในการลงทุนสูงที่สุดคือปุ๋ยไนโตรเจนส่วนปุ๋ยที่ให้ผลตอบแทนรองลงมาคือ ฟอสฟอรัสดินของประเทศไทยส่วนใหญ่ไม่ขาดธาตุพอแตสเซียมดังนั้นปุ๋ยพอแตสเซียมจึงไม่ค่อยจำเป็นนอกจากในดินทรายจึงเห็นว่าถ้าจะใส่ปุ๋ยแปลงข้าวโพดปุ๋ยสำคัญที่ต้องพิจารณาคือปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

สูตรปุ๋ยและอัตราที่เหมาะสมในแต่ละท้องถิ่นนั้น ควรขึ้นกับการวิเคราะห์ดิน และระดับผลผลิตที่ต้องการ แต่เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ ทางราชการแนะนำให้ใช้ปุ๋ย 16-20-0 หรือ 20-20-0 ในอัตรา 30-50 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับท้องที่ต่าง ๆ ทั่วประเทศ ที่แนะนำปุ๋ยสูตรนี้ก็เพราะว่าเป็นปุ๋ยที่มีขายในท้องตลาดทั่ว ๆ ไป โดยปกติปุ๋ยที่ใช้ในแปลงข้าวโพดควรมีไนโตรเจนสูงกว่าฟอสฟอรัส นอกจากในดินบางแห่งซึ่งขาดฟอสฟอรัส ดินที่เหมาะกับการปลูกข้าวโพดควรมีระดับความเป็นกรดและด่าง (pH) ระหว่าง 5.6-7.5

GRAD VRU

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

วิธีการใส่ปุ๋ยถ้าใส่ขณะปลูกจะสะดวกที่สุด เพื่อลดการเสี่ยงแนะนำว่าควรจะใส่ปุ๋ย (ถ้าจะใส่) หลังจากการดายหญ้าซึ่งระยะนี้ข้าวโพดโตพอสมควรแล้วพอคาดคะเนได้ว่าการปลูกข้าวโพดฤดูนี้ จะล้มเหลวอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมหรือไม่ เช่น ฝนแล้งและอื่น ๆ นอกจากนั้นการใส่ปุ๋ยหลังจากดายหญ้าทำให้ปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินนั้นถูกนำไปใช้โดยข้าวโพดเป็นส่วนใหญ่ การใส่ปุ๋ยอาจกระทำโดยการแซะดินให้ห่างจากโคนต้นข้าวโพดประมาณหนึ่งคืบหลังจากใส่ปุ๋ยตามอัตราที่ต้องการแล้วก็ทำการกลบดิน ดินที่ใช้ปลูกข้าวโพดถ้าได้มีการปลูกพืชตระกูลถั่วหมุนเวียนจะทำให้สภาพและความอุดมสมบูรณ์ของดินดีขึ้น

2.4.2.10 ความต้องการน้ำ

ข้าวโพดก็เหมือนกับพืชไร่ชนิดอื่นโดยทั่ว ๆ ไป ซึ่งถ้าต้องการให้ได้ผลผลิตต่อไร่สูงต้องมีน้ำเพียงพอตลอดอายุของพืช แต่ปริมาณความต้องการน้ำในระยะต่าง ๆ จะไม่เท่ากัน ในระยะแรกของการเจริญเติบโต ข้าวโพดต้องการน้ำไม่มากนัก ความต้องการน้ำค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามอายุและสูงที่สุดในช่วงออกดอก และช่วงระยะต้นของการสร้างเมล็ด หลังจากนั้นการใช้น้ำของต้นข้าวโพดค่อย ๆ ลดลง ถ้าขาดน้ำในระยะออกดอกจะให้ผลผลิตลดลงมาก ดังนั้น ต้องเลือกวันปลูกที่เหมาะเพื่อไม่ให้ข้าวโพดเจอแล้งตอนออกดอก โดยเฉพาะอย่างยิ่งตอนออกดอกตัวเมียเรื่องการเลือกวันปลูกที่เหมาะอาจทำยากในทางปฏิบัติ แต่ถ้าดูข้อมูลการตกและการกระจายของฝนภายในท้องถิ่นจากหลาย ๆ ปี และคอยติดตามข่าวคราวก็พอจะช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับเวลาปลูกที่เหมาะสมได้ดีขึ้น

2.4.2.11 การเก็บเกี่ยวข้าวโพด

การเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ปลูกเพื่อขายเป็นเมล็ด ควรเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดแก่จัด ถ้าเก็บเกี่ยวเร็วไปผลผลิตจะต่ำและคุณภาพของเมล็ดไม่ดี เนื่องจากความชื้นในเมล็ดสูงทำให้เมล็ดถูกทำลายโดยโรคได้ง่าย ข้าวโพดที่ใช้ปลูกในประเทศไทยมีอายุตั้งแต่ 90-120 วัน ขึ้นกับพันธุ์ จึงควรเก็บเกี่ยวเมื่อครบอายุแก่จัดของพันธุ์ หรือสังเกตระยะที่กาบหุ้มฝักแห้งเป็นสีฟาง ถ้าเป็นไปได้ควรปล่อยให้เมล็ดแห้งในแปลงให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ แล้วจึงค่อยเก็บเกี่ยว ซึ่งจะทุ่นเวลาในการตากความชื้นในเมล็ดที่ฝักขณะเก็บเกี่ยวโดยทั่วไปยังสูงเกินไป จึงควรนำมาตากแดด 2-3 วันแล้วจึงค่อยกะเทาะเมล็ดในกรณีที่กะเทาะเอง ในบางท้องที่พ่อค้าจะไปรับซื้อและกะเทาะเมล็ดในไร่ข้าวโพดภายหลังจากกะเทาะเมล็ดแล้วควรตากเมล็ดให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 ทั้งนี้ เพื่อสามารถเก็บเมล็ดไว้ได้นานโดยที่ปลอดจากการทำลายของโรคโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดสารพิษอะฟลาท็อกซินในบางกรณีจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวข้าวโพดเร็วกว่ากำหนด เช่น ต้นหักล้มมาก หรือมีฝนตกหนัก ถ้าปล่อยทิ้งไว้จะทำให้เสียหายจากหนูกินและเมล็ดงอกคาฝักได้ หลักทั่วไปในการพิจารณา

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

วันเก็บเกี่ยวในกรณีนี้ก็คือเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดเจริญถึงระยะแก่ทางสรีรวิทยา ระยะนี้ตรวจสอบได้โดยแกะเมล็ดจากฝักมาดู ถ้าที่ฐานเมล็ดส่วนติดกับซังมีสีดำแสดงว่าเมล็ดเจริญถึงระยะนี้แล้วที่ระยะนี้น้ำหนักแห้งของเมล็ดถึงระดับสูงสุดแล้ว การปล่อยข้าวโพดไว้ในแปลงหลังจากระยะนี้จะไม่ทำให้น้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงแต่ความชื้นในเมล็ดลดลง ความชื้นในเมล็ดที่ระยะนี้ ยังสูงมากคือประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์

การปลูกข้าวโพดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวัตถุดิบ และขั้นตอนพื้นฐานที่ควรพิจารณาเมื่อปลูกข้าวโพด มีดังนี้

1) เลือกพันธุ์ข้าวโพดที่เหมาะสม ให้เลือกพันธุ์ข้าวโพดที่เหมาะสมกับสภาพดินและสภาพอากาศในพื้นที่ของคุณ ตรวจสอบกับศูนย์วิจัยข้าวโพดหรือผู้เชี่ยวชาญท้องถิ่นเพื่อคำแนะนำในการเลือกพันธุ์ที่เหมาะสม

2) เตรียมดิน ควรเตรียมดินให้พร้อมในการปลูกข้าวโพด ดินควรมีความอุดมสมบูรณ์ และการตรวจสอบค่า pH ของดินเพื่อให้มันเหมาะกับการปลูกข้าวโพด

3) การปรับปรุงดิน อาจจำเป็นต้องปรับปรุงดินโดยใส่ปุ๋ยหรือวัสดุอินทรีย์เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ตรวจสอบความต้องการของดินและปรับปรุงตามคำแนะนำ

4) การหว่านเมล็ดข้าวโพด หลังจากเตรียมดินเรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการหว่านเมล็ดข้าวโพดในแปลงปลูก ควรปฏิบัติตามคำแนะนำในบรรจุภัณฑ์ของเมล็ดพันธุ์หรือคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ

5) ระยะห่างและระยะระหว่างแถว การระบายน้ำและอนุรักษ์ความอุดมสมบูรณ์ของดินจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างแถวและระยะห่างระหว่างต้นข้าวโพด ควรปฏิบัติตามคำแนะนำของพันธุ์ข้าวโพดที่คุณเลือก

6) การให้น้ำควรให้น้ำในปริมาณที่เหมาะสมในช่วงระยะเวลาที่ข้าวโพดต้องการ ควรเรียนรู้เกี่ยวกับความต้องการของพืชในการรับน้ำในแต่ละระยะ

7) การดูแลและควบคุมโรคและแมลง ตรวจสอบพืชเพื่อตระหนักถึงการระบาดของโรคและแมลง ใช้วิธีการควบคุมและรักษาเพื่อป้องกันความเสียหายในระหว่างการปลูก

8) การเก็บเกี่ยว เมื่อข้าวโพดเริ่มสุกและพร้อมสำหรับการเก็บเกี่ยวควรเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่เหมาะสมและใช้เครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับงานนี้

9) การบำรุงรักษาและหยุดปลูกในฤดูที่ไม่เหมาะสม ในบางพื้นที่ข้าวโพดอาจปลูกได้มากกว่าหนึ่งฤดู แต่ในบางพื้นที่อาจมีการหยุดปลูกในฤดูที่ไม่เหมาะสม เพื่อป้องกันปัญหาโรคและแมลง

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

2.4.2.12 การเก็บรักษา

โดยทั่วไปเกษตรกรมักเก็บข้าวโพดไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนขาย การเก็บรักษาข้าวโพดมีทั้งในรูปเมล็ดที่กะเทาะแล้ว ฝักที่ฉีกกาบหุ้มฝักทิ้งแล้ว และฝักที่มีกาบหุ้มอยู่ แต่ไม่ว่าจะเก็บรักษาโดยวิธีใดความชื้นของเมล็ดไม่ควรเกินร้อยละ 14 เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับปัญหาสารพิษอะฟลาท็อกซิน การเก็บรักษาข้าวโพดในรูปฝักจะดีกว่าเก็บในรูปเมล็ดที่กะเทาะแล้ว สามารถเก็บไว้ในถุงหรือกระสอบในโรงเก็บ โดยวางซ้อนกันในลักษณะที่อากาศถ่ายเทได้ และกระสอบที่อยู่ชั้นล่างไม่ควรวางบนพื้นคอนกรีตโดยตรง ควรใช้ไม้วางบนพื้นคอนกรีตก่อนจะวางกระสอบเมล็ดข้าวโพดแต่วิธีที่ดีที่สุดในการเก็บรักษาเมล็ดที่กะเทาะแล้ว คือการเก็บไว้ในไซโลซึ่งมีเครื่องเป่าอากาศและสามารถรมยาได้

ฝักข้าวโพดที่ฉีกกาบหุ้มออกแล้ว ควรเก็บไว้ในโรงเรือนที่อากาศถ่ายเทได้ โรงเรือนอาจเป็นแบบง่าย ๆ ทำด้วยไม้หรือแฝกและยกพื้นให้สูงจากพื้นดิน สำหรับฝักที่ยังคงมีกาบหุ้มอยู่อาจเก็บโดยมัดฝักเข้าด้วยกัน แล้วแขวนเป็นแถวบนราวไม้หรือลวดในโรงเรือนที่อากาศถ่ายเทได้หรือในส่วนของบ้านเช่น ในครัวหรือใต้ถุนบ้าน สำหรับเมล็ดที่จะเก็บเป็นเมล็ดพันธุ์ควรคลุกด้วยมาลาไธออนหรือเซวินเพื่อกันแมลง และออร์โธไซค์ หรือซีรีแซน หรือแคบแตน เพื่อกันราในการเก็บเมล็ดทำพันธุ์นั้นต้องรำลึกเสมอว่าสามารถทำได้เฉพาะในกรณีพันธุ์ประเภทผสมเปิดเท่านั้น ส่วนพันธุ์ประเภทลูกผสมเก็บเมล็ดทำพันธุ์เองไม่ได้ต้องซื้อเมล็ดใหม่เสมอ

2.4.2.13 การใช้ประโยชน์

1) ใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักและมีโปรตีนอยู่ด้วย จึงสามารถใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ที่มีคุณภาพดีและราคาถูกด้วย ร้อยละ 72 ของเมล็ดข้าวโพดที่ผลิตได้ถูกใช้ในการผลิตอาหารเลี้ยงสัตว์ นอกจากใช้เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แล้วในบางประเทศแถบทวีปยุโรปปลูกข้าวโพดแล้วจะตัดต้น ทำเป็น Silage สำหรับเลี้ยงสัตว์ ซึ่งการปลูกข้าวโพดเพื่อทำ Silage นี้แนะนำให้ปลูกในอัตราปลูกและการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงกว่าการปลูกข้าวโพดเพื่อหวังเอาเมล็ด

2) ใช้เป็นอาหารมนุษย์ เมล็ดข้าวโพดสามารถใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์ได้มีประชากรในหลายประเทศที่นำเมล็ดข้าวโพดมาทำเป็นอาหารรับประทาน โดยตรงเหมือนกับที่เรารับประทานข้าว เช่น ทำขนมปัง โรตี เช่น ประเทศต่าง ๆ ในอเมริกาใต้ เม็กซิโก สเปน อิตาลี ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย เป็นต้น

3) ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมแป้ง น้ำมัน น้ำตาล น้ำเชื่อม น้ำส้ม อาหารกระป๋อง และอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น แอลกอฮอล์ พลาสติก เครื่องเคลือบ พรมน้ำมัน

1346770235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

สารเหนียว กระดาษ และเสื้อผ้า เป็นต้น ในปัจจุบันการผลิตน้ำเชื่อมจากข้าวโพดที่เรียกกันว่า high fructose corn syrup ได้ถูกนำมาใช้ในการปรุงอาหาร และเครื่องดื่มอย่างกว้างขวาง

2.5 ทฤษฎี การปลูกข้าวแบบหยอด

การปลูกข้าวแบบหยอด (Direct Seeding) เป็นวิธีการปลูกที่ไม่ต้องใช้ข้าวเมล็ดก่อนแทนที่จะเตรียมกล้าข้าวในหลุมกล้าแล้วนำมาปลูก วิธีการนี้จะปลูกข้าวโดยตรงในแปลงปลูกโดยใช้เมล็ดข้าวในระยะเวลาที่เหมาะสมในฤดูกาลการเพาะปลูกการปลูกข้าวแบบหยอดมีทฤษฎี และขั้นตอนดังนี้

2.5.1 การเตรียมแปลงปลูก ก่อนที่จะปลูกข้าวแบบหยอดต้องเตรียมแปลงปลูกให้พร้อม โดยทำการตรวจสอบความร้อนและความชื้นของดิน และทำการเตรียมดินให้เหมาะสมกับชนิดของเมล็ดข้าว โดยใช้การไถดินและบริเวณพอกลางในแปลงปลูก

2.5.2 เลือกพันธุ์ข้าว คุณควรเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมกับสภาพดินและสภาพอากาศในพื้นที่ของคุณ พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการปลูกแบบหยอดมักจะมีการแนะนำจากศูนย์วิจัยข้าวและผู้เชี่ยวชาญท้องถิ่น

2.5.3 การหยอดข้าว เมื่อมีพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมและแปลงปลูกพร้อมแล้ว คุณสามารถใช้เครื่องหยอดข้าวหรือหยอดข้าวด้วยมือได้ โดยการหยอดข้าวควรทำให้เมล็ดข้าวกระจายอย่างทั่วถึงบนแปลงปลูก

2.5.4 การรักษาและการดูแล หลังจากที่หยอดข้าวเสร็จสิ้นแล้วควรดูแลแปลงปลูกโดยรอบรวมถึงการให้น้ำและการควบคุมวัชพืช โรคและแมลงที่อาจเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของข้าว

2.5.5 การเก็บเกี่ยว เมื่อข้าวสุกและพร้อมสำหรับการเก็บเกี่ยว สามารถเก็บเกี่ยวข้าวและนำไปแปรรูปหรือจำหน่ายตามที่ต้องการ

2.5.6 ทฤษฎีของการปลูกข้าวแบบหยอดคือการใช้เมล็ดข้าวหยอดลงในดินในแปลงปลูกโดยตรง ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการเพาะปลูก และลดการสูญเสียเมล็ดข้าวในกระบวนการเพาะปลูก แต่การปลูกข้าวแบบหยอดต้องคำนึงถึงการจัดการน้ำและการดูแลเรื่องความสะอาดในแปลงปลูกเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของวัชพืชและโรคข้าวที่อาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการปลูกข้าวแบบนี้ด้วย

สำหรับการศึกษาวิจัยการพัฒนาวิธีการปลูกข้าวนาหยอดด้วยข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สยามคูโบต้า จะทำการทดสอบบนแปลงของเกษตรกรสมาชิกศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าว จังหวัดสุรินทร์ โดยใช้แทรกเตอร์ติดตั้งกับเครื่องหยอดเมล็ด ที่สามารถปรับระยะห่าง

1346702335 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ระหว่างกอ ระยะห่างระหว่างแถว และอัตราการหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ อีกทั้งยังสามารถควบคุมความลึกในการหยอดและกลบเมล็ดทำให้ความลึกในการหยอดสม่ำเสมอ ลดความเสียหายจากความร้อนและศัตรูพืช และสามารถฝังเมล็ดในดินที่ระดับความลึกที่เหมาะสมได้ ส่งผลให้รากข้าวเจริญเติบโตได้ดี แข็งแรง และทนทานต่อความแล้งได้

ผลจากการวิจัยในครั้งนี้ สยามคูโบต้า เชื่อมั่นว่าจะสามารถได้ผลผลิตข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในปริมาณ 500-600 กก./ไร่ จากเดิมที่เกษตรกรในพื้นที่เคยได้ผลผลิตปริมาณ 460 กก./ไร่ และจะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เมล็ดพันธุ์และวิธีการดูแลรักษาข้าวนาหยอดให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น รวมทั้งมีการใช้ปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพตามสภาพพื้นที่ และตรงกับความต้องการธาตุอาหารของข้าวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต เพื่อช่วยให้เกษตรกรลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต และสร้างรายได้ให้เกิดขึ้นอย่างยั่งยืน ผลการทดสอบ ณ แปลงของเกษตรกรสมาชิกศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าว จังหวัดสุรินทร์ 9 ในปี พ.ศ. 2559 ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพแวดล้อม ลักษณะการดูแลรักษา และสภาพดิน

ในปัจจุบันวิธีการปลูกข้าวที่เกษตรกรนิยม คือ การทำนาหว่าน ซึ่งมีข้อดีคือสะดวกและรวดเร็ว โดยเฉพาะพื้นที่นอกเขตชลประทานที่ต้องอาศัยน้ำฝนในการทำนาเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการทำนาหว่านข้าวแห้ง จึงเป็นวิธีปลูกข้าวที่แพร่หลายเป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม การหว่านข้าวแห้งมีข้อเสียด้วยเช่นกัน เนื่องจากเกษตรกรมีการใช้เมล็ดพันธุ์จำนวนมาก และการฝังเมล็ดไม่มีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความงอกจากความร้อนและศัตรูพืช อีกทั้งพื้นที่ในการเพาะปลูกไม่มีความเป็นระเบียบ ทำให้กำจัดวัชพืชและบำรุงรักษาแปลงนาได้ยาก

ในปีที่ผ่านมา สยามคูโบต้า ได้ร่วมมือกับกรมการข้าว โดยศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าว จ.สุรินทร์ทำการทดสอบและพัฒนาวิธีการปลูกข้าวโดยวิธี “การหยอดข้าวแห้ง” ในพื้นที่นอกเขตชลประทานด้วยการนำองค์ความรู้ (KUBOTA Agri) Solutions เกษตรครบวงจร มาประยุกต์ใช้ในการทดสอบ โดยพบว่าการหยอดข้าวในอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ปริมาณ 8-9 กก./ไร่ ด้วยการใช้เครื่องหยอดเมล็ดสามารถเพิ่มผลผลิตได้ร้อยละ 5-7 เมื่อเทียบกับวิธีการหว่านที่ใช้เมล็ดพันธุ์ในปริมาณ (20 กก./ไร่) ซึ่งช่วยเกษตรกรลดต้นทุนจากการใช้เมล็ดพันธุ์ได้ถึงร้อยละ 50-60 และยังช่วยให้มีกำไรเพิ่มขึ้นร้อยละ 24 อีกด้วย

จากความสำเร็จในปีที่ผ่านมา สยามคูโบต้า จึงได้มีแผนศึกษาวิจัยการพัฒนาวิธีการปลูกข้าวนาหยอดแห้งให้เหมาะสมกับพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีหัวข้อการวิจัยในเรื่องของช่วงเวลาที่เหมาะสมในการหยอดและวิธีการบำรุงรักษาที่เหมาะสม และภายใต้การศึกษาวิจัยดังกล่าว สยามคูโบต้ายังได้ร่วมมือกับคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการสนับสนุนองค์ความรู้

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

และให้คำปรึกษาชี้แนะตลอดช่วงการทำแปลงทดลอง ซึ่งได้เริ่มทำการศึกษาวิจัยในฤดูกาลเพาะปลูก ช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคม-เดือนพฤศจิกายน 2560

ภาพที่ 18 ลักษณะการทำงานของเครื่องหว่าน

ภาพที่ 19 การงอกของธัญพืช

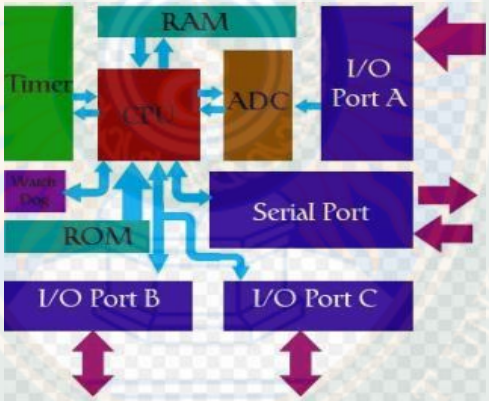
GRAD VRU

2.6 ทฤษฎีไมโครคอนโทลเลอร์ (Microcontroller)

ความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้นไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มักย่อว่า µC, uC หรือ (MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียูหน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ถ้าแปลความหมายแบบตรงตัวก็คือ ระบบคอนโทรลขนาดเล็กเรียกอีกอย่าง

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

หนึ่งคือเป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยผ่านการออกแบบ วงจรให้เหมาะกับงานต่าง ๆ และยังสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขา Input/Output เพื่อสั่งงานให้ไป ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อีกด้วย ซึ่งก็นับว่าเป็นระบบที่สามารถนำมาประยุคใช้งานได้หลากหลาย ทั้งทางด้าน Digital และ Analog ยกตัวอย่างเช่น ระบบสัญญาณตอบรับอัตโนมัติ ระบบบัตรคิว ระบบตอกบัตร พนักงาน และอื่น ๆ ยิ่งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในยุคปัจจุบันนั้นสามารถทำการเชื่อต่อกับระบบ Network ของคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้อีกด้วย ดังนั้นการสั่งงานจึงไม่ใช่แค่หน้าแผงวงจร แต่อาจจะเป็นการสั่งงานอยู่คนละซีกโลกผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตก็ได้ (Patrigeon et al., 2019)



ภาพที่ 20 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.6.1 Arduino Uno

เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดแบบสำเร็จรูปในยุคปัจจุบัน ซึ่งถูกสร้างมาจาก Controller ตระกูล ARM ของ ATMEL ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดคือเรื่องของ Open Source ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้และความสามารถในการเพิ่ม Boot Loader เข้าไปที่ตัว ARM จึงทำให้การ Upload Code เข้าตัวบอร์ดสามารถทำได้ง่ายขึ้นและยังมีการพัฒนา Software ที่ใช้ในการควบคุมตัวบอร์ด ของ Arduino มีลักษณะเป็นภาษา C++ ที่โปรแกรมเมอร์มีความคุ้นเคยในการใช้งาน ตัวบอร์ดสามารถนำ โมดูลมาต่อเพิ่ม ซึ่งทาง Arduino เรียกว่าเป็น Shield เพื่อเพิ่มความสามารถเพิ่มขึ้น

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ภาพที่ 21 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Arduino เป็นภาษาอิตาลี โดยเป็นชื่อโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ในรูปแบบ Open Source คือวิธีการในการออกแบบพัฒนาและแจกจ่ายสำหรับต้นฉบับของสินค้าหรือความรู้ โดยเฉพาะซอฟต์แวร์ โดยโอเพนซอร์ซถูกพิจารณาว่าเป็นทั้งรูปแบบหนึ่งในการออกแบบ และแผนการในการ ดำเนินการ โอเพนซอร์ซเปิดโอกาสให้บุคคลอื่นนำเอาระบบนั้นไปพัฒนาได้ต่อไป การพัฒนามาจากโครงการ Open Source เดิมของ AVR ที่ชื่อ Wiring โดยโครงการ Wiring ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATmega128 ซึ่งมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น เป็นชิปที่มีตัวถังแบบ SMD ทำให้นำมาใช้งานยากเพราะตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดเล็กเกินไป ทำให้ไม่สะดวกในการต่อใช้งานจริง มีขาอินพุทและเอ้าท์พุทจำนวนมากเกินไป ตัวบอร์ดมีขนาดใหญ่เกินไป ไม่เหมาะสมสำหรับผู้ที่เริ่มต้นเรียนรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย เหตุผลข้างต้นจึงทำให้ไม่ได้รับความนิยม ระยะต่อมาทีมงาน Arduino จึงได้นำโครงการ Wiring มาพัฒนาใหม่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ขนาดเล็ก คือ ATMega8 และATMega168 ทำให้ได้รับความนิยมจนถึงปัจจุบันนี้ตัวอย่างรายละเอียดรุ่นต่าง ๆ

2.6.2 Arduino Mega 2560

คือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาจาก ATmega2560 มี 54 DigitalInput/Output โดยมี 14 ขา สามารถใช้เป็น Output แบบ PWM ได้ มี Analog Inputs 16 ขา มี (UARTs hardware serial ports) 4 ขา ทำงานที่ความถี่ 16 MHz สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิล USB หรือใช้ Adaptor AC-to-DC เพื่อเริ่มต้นใช้งานและมีปุ่ม Reset สามารถต่อเข้ากับ Shields ที่ออกแบบเพื่อใช้งานกับ Arduino Duemilanove หรือ Diecimila

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ภาพที่ 22 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

2.6.2.1 Pin ทั่วไป

1) VIN เป็น input voltage ของบอร์ด Arduino โดยใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก

2) 5V เป็น output pin ที่ควบคุม 5 V จากบอร์ด

3) 3V3 เป็น 3.3 volt supply ที่สร้างขึ้นจาก regulator บนบอร์ด และให้กระแสได้สูงสุด 50 mA

4) GND เป็น Ground pin

IOREF เป็น pin ที่ให้ voltage reference กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเลือกค่าแรงดันให้กับ Shield ที่มาเชื่อมต่อกับบอร์ดหน่วยความจำ ATmega2560 มีหน่วยความจำ 256 KB 8 KB ใช้สำหรับ bootloader) นอกจากนี้ยังมีอีก 8 KB สำหรับ SRAM และ 4 KB สำหรับ EEPROM ส่วน Input and Output ในแต่ละ digital pins ทั้ง 54 pins บนบอร์ด Arduino Uno สามารถเป็นได้ทั้ง input และ output โดยจะทำงานที่แรงดัน 5V และให้กระแสสูงสุด 40 mA

2.6.2.2 ฟังก์ชั่นอื่น ๆ

1) External Interrupts (2 interrupt 0), (3 interrupt 1), (18 interrupt 5), (19 interrupt 4), (20 interrupt 3), (21 interrupt 2). Pins เหล่านี้สามารถที่จะกำหนดค่าที่เรียก Interrupt ในค่าต่ำ ๆ ขอบขาขึ้นและลง หรือเปลี่ยนแปลงค่า

2) PWM: 2 ถึง 13 และ 44 ถึง 46 ให้ output PWM output 8-bits

3) SPI: (50 MISO), (51 MOSI), (52 SCK), (53 SS) ใช้สำหรับรองรับการสื่อสารแบบ SPI โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกันกับ ICSP header ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับ Uno Duemilanove และ Diecimila

4) LED 13 : เป็น build-in LED ที่เชื่อมต่อกับ digital pin 13 และเมื่อ pin มีค่าเป็น HIGH LED จะติด แต่เมื่อ pin เป็น LOW LED จะดับ

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

5) TWI: 20 (SDA) and 21 (SCL) รองรับการเชื่อมต่อแบบ TWII2C

6) บอร์ด Mega2560 มี 16 analog inputs แต่ละ pins ให้ความละเอียดที่ 10 bits

7) AREF แรงดันอ้างอิงสำหรับ analog input

8) Reset ใช้ในการ reset ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทั่วไปจะใช้โดยการเพิ่มปุ่ม reset ไว้บน shield เพื่อป้องกันปุ่มที่อยู่บนบอร์ด

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

2.7 ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

กฎเกณฑ์การเขียนภาษาซี

2.7.1 กฎเกณฑ์ในการเขียนภาษา C ที่ควรคำนึง มีดังนี้

2.7.1.1 จะต้องกำหนดพรีโปรเซสเซอร์ที่ต้นโปรแกรมก่อน เช่น #include<stdio.h> #include<conio.h>

2.7.1.2 คำสั่งต่าง ๆ จะใช้อักษรพิมพ์เล็ก

2.7.1.3 ตัวแปรที่ใช้งานในโปรแกรมต้องประกาศไว้เสมอ

2.7.1.4 ภายในโปรแกรมต้องมีอย่างน้อยหนึ่งฟังก์ชั่น คือ (main)

2.7.1.5 ใช้เครื่องหมาย (เพื่อบอกจุดเริ่มต้นของชุดคำสั่ง และเครื่องหมาย) เพื่อบอกจุดสิ้นสุดของชุดคำสั่งโดยสามารถซ้อนเครื่องหมาย ( ) เพิ่มไว้ภายในได้

2.7.1.6 สิ้นสุดของแต่ละประโยคคำสั่ง จะต้องจบด้วยเครื่องหมาย; (semicolon)

2.7.1.7 เครื่องหมาย /*comment*/ หรือ //comment เพื่อระบุหมายเหตุภายในโปรแกรมโดยคำอธิบายที่อยู่ภายใต้เครื่องหมาย /*comment*/ หรือ //comment จะไม่ถูกนำไปประมวลผล

2.7.2 ตัวแปลภาษา (Translator)

เนื่องจากภาษาคอมพิวเตอร์โดยเฉพาะภาษารับสูง จะมีจุดประสงค์เพื่อให้มนุษย์สามารถสื่อสารเพื่อการเขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้น แต่ภาษาระดับสูงเป็นภาษาที่คอมพิวเตอร์ไม่รู้จัก ดังนั้น จึงต้องนำภาษาระดับสูงผ่านกระบวนการแปลเพื่อให้เป็นภาษาเครื่องเสียก่อน ตัวแปลภาษาแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

GRAD VRU

2.7.2.1 อินเตอร์พรีเตอร์ (Interpreter)

ตัวแปลภาษาชนิดอินเตอร์พรีเตอร์ จะทำการแปลคำสั่งที่ละคำสั่งและจะปฏิบัติตามในคำสั่งนั้น ๆ หากไม่พบข้อผิดพลาดใด ๆ จากนั้นก็จะนำคำสั่งต่อไปมาแปลต่อจะกระทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนจบถ้ามีข้อผิดพลาดในโปรแกรม เครื่องก็จะหยุดแล้วรายงานให้ทราบทันทีทางจอภาพ

2.7.2.2 คอมไพลเลอร์ (Compiler)

การแปลของคอมไพล์จะแปลทั้งโปรแกรมที่เดียว นั่นคือซอร์สโค้ดทั้งโปรแกรมจะถูกนำมาแปลเพียงครั้งเดียวถ้าเจอข้อผิดพลาดก็จะรายงานให้ทราบเพียงครั้งเดียวโดยไม่บอกตำแหน่งของการผิดพลาด

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบ ข้อดี ข้อเสีย ของอินเตอร์พรีเตอร์ และคอมไพเลอร์

ตัวแปลภาษา	ข้อดี	ข้อเสีย
คอมไพเลอร์ (Compiler)	- ทำงานได้เร็วเนื่องจากทำการแปลผลทีเดียวแล้วจึงทำงานตามคำสั่งของโปรแกรมในภายหลัง - เมื่อทำการแปลผลแล้วในครั้งต่อไปไม่จำเป็นต้องทำการแปลผลใหม่อีก เนื่องจากภาษาเครื่องที่แปลได้จะถูกเก็บไว้ที่หน่วยความจำสามารถเรียกใช้งานได้ทันที	เมื่อเกิดข้อผิดพลาดขึ้นกับโปรแกรมจะตรวจสอบหาข้อผิดพลาดได้ยาก เพราะทำการแปลผลทีเดียวทั้งโปรแกรม
อินเตอร์พรีเตอร์ (Interpreter)	-หาข้อผิดพลาดของโปรแกรมได้ง่าย เนื่องจากทำการแปลผลทีละบรรทัด -เนื่องจากทำงานทีละบรรทัดดังนั้นจึงสั่งให้โปรแกรมทำงานตามคำสั่งเฉพาะจุดที่ต้องการได้ -ไม่เสียเวลารอ การแปลโปรแกรมเป็นเวลานาน	ช้า เนื่องจากที่ทำงานทีละบรรทัด

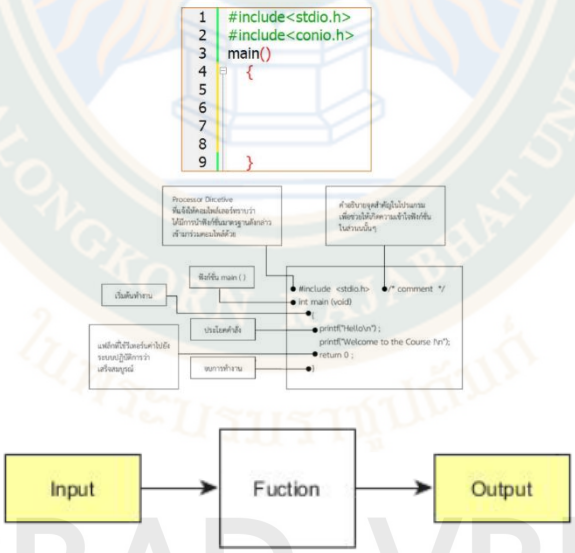
1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

2.7.3 โครงสร้างภาษาซี

คำสั่งที่ใช้งานในภาษา C นั้น ล้วนเป็นฟังก์ชั่นทั้งสิ้น ดังนั้นโปรแกรมที่เขียนขึ้นจึงประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นมากมาย ที่ถูกกำหนดให้ทำหน้าที่ใดหน้าที่หนึ่งในลักษณะของโมดูลย่อย เพื่อทำงานให้บรรลุเป้าหมาย และในเมื่อภาษา C คือภาษาที่ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับความหมายของฟังก์ชั่นเสียก่อน

ฟังก์ชั่น (Function) คือ ชุดคำสั่งที่เขียนขึ้นเพื่อสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานที่อนุญาตให้สามารถรับข้อมูล (Input) ประมวลผล (Processes) และแสดงผลข้อมูล (Output) โดยฟังก์ชั่นที่ถูกเขียนขึ้นใช้งาน และสามารถเรียกมาใช้งานได้ทันที จะถูกจัดเก็บไว้ใน ไลบรารีมาตรฐาน Standard (Library) ในขณะที่ฟังก์ชั่นอื่น ๆ จะเป็นฟังก์ชั่นที่ถูกเขียนขึ้นโดยโปรแกรมเมอร์ อย่างไรก็ตามในภาษา C จะมีฟังก์ชั่นพิเศษฟังก์ชั่นหนึ่งที่จำเป็นต้องมีไว้ในโปรแกรมเสมอ คือ ฟังก์ชั่น (main) ทั้งนี้ฟังก์ชั่นดังกล่าวจัดเป็นฟังก์ชั่นหลักที่นำมาใช้เป็นจุดเริ่มต้นของโปรแกรมเพื่อสั่งให้ทำงาน โดยฟังก์ชั่นอื่น ๆ จะถือเป็นรูทีนย่อย (Subroutines)



ภาพที่ 23 โครงสร้างภาษาซี (Structure Of C Programs)

GRAD VRU

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

2.7.3.1 โครงสร้างของโปรแกรมภาษา C สามารถแบ่งเป็นส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังนี้

1) พรีโปรเซสเซอร์ไดเรคทีฟ (Pre-processor Directive) ส่วนหัวของโปรแกรม Header File) เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของภาษา C เป็นส่วนที่บอกให้คอมไพล์เลอร์รับทราบว่า ให้นำไฟล์ส่วนดังกล่าวมาคอมไพล์ร่วมด้วยดังตัวอย่างเฮดเดอร์ไฟล์ คือ #include<stdio.h> โดยชื่อเฮดเดอร์ไฟล์ที่ผนวกเข้ามาสามารถเขียนอยู่ภายในเครื่องหมาย < > หรือ " " ก็ได้

เฮดเดอร์ไฟล์เป็นไฟล์ชนิดข้อความ (Text File) ที่ภายในโปรแกรมจะมีการประกาศค่าตัวแปรและค่าคงที่ต่าง ๆ ซึ่งจะบรรจุฟังก์ชั่นมาตรฐานต่าง ๆ รวมเข้าด้วยกันตามลักษณะงานที่ใช้และเก็บลงในไลบรารีโดยจะถูกนำมาอ่านรวมกันกับชุดคำสั่งขณะทำการคอมไพล์เลอร์เฮดเดอร์ไฟล์ที่เรานิยมใช้บ่อยมีอยู่ 2 เฮดเดอร์ คือ stdio.h และ conio.h โดยที่

stdio.h เป็นเฮดเดอร์ที่เกี่ยวข้องกับฟังชั่นอินพุตและเอาต์พุต Input and Output) เช่น ฟังก์ชั่น (printf) , (scanf) เป็นต้น

conio.h เป็นเฮดเดอร์ที่เกี่ยวกับฟังก์ชั่น รอรับคำสั่ง เช่น (getch) เป็นต้น

ความหมายของพรีโปรเซสเซอร์ คือ "ตัวประมวลผลก่อน" ซึ่งจะต้องถูกกำหนดไว้นอกฟังก์ชั่นเสมอ โดยส่วนนี้จะได้รับการประมวลผลก่อนชุดคำสั่งภายในฟังชั่น จึงเป็นที่มาของพรีโปรเซสเซอร์นั่นเอง การเขียนจะต้องนำหน้าด้วยเครื่องหมาย # เสมอ อย่างไรก็ตามพรีโปรเซสเซอร์มีอยู่หลายตัวด้วยกัน เช่น

#if	#ifdef	#ifndef	#else	#elif	#endif
#include	#define	#undef	#line	#error	#prama

2) ฟังก์ชั่นหลัก (Main Function) ฟังก์ชั่น (main) ในภาษา C จัดเป็นฟังก์ชั่นที่ทำหน้าเสมือนกับเป็นโปรแกรมหลักที่สั่งให้ชุดคำสั่งทำงานรวมถึงการเรียกใช้ฟังก์ชั่นย่อย ๆ อื่นทำงาน กล่าวคือการสั่งงานในโปรแกรมจะอยู่ภายในฟังก์ชั่น (main) นั่นเอง

3) ประโยคคำสั่ง (Compound Statement) เป็นชุดคำสั่งที่บรรจุอยู่ในฟังชั่นนั่น ๆ ซึ่งอาจจะเป็น

3.1) ประโยคที่ใช้สำหรับประกาศตัวแปร (Variable) หรือการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรต่าง ๆ โดยตัวแปรที่ใช้งานในโปรแกรม จำเป็นต้องได้รับการประกาศชนิดข้อมูลของตัวแปรนั้น ๆ ด้วย

3.2) ประโยคนิพจน์คณิตศาสตร์ เช่น ประโยคคำนวณตัวเลข

3.3) ประโยคคำสั่งควบคุมอื่น ๆ เช่น คำสั่งควบคุมวงจรลูป คำสั่งควบคุมเงื่อนไข เป็นต้น

1346770235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

4) คำอธิบายภายในโปรแกรม Program Comment)

คำอธิบายโปรแกรม เป็นส่วนที่ผู้เขียนโปรแกรมนำมาใช้อธิบายจุดสำคัญต่าง ๆ ภายในโปรแกรมเช่นใช้อธิบายจุดประสงค์ของโปรแกรมส่วนนั้น ๆ รวมถึงการป้องการหลงลืม กรณีที่ต้องกลับมาปรับปรุงโปรแกรมใหม่ รูปแบบการเขียนคำอธิบายในภาษา C/* คำอธิบาย*/ หรือ //คำอธิบาย เช่น /*comment*/ หรือ //comment

2.7.4 อักขระในภาษา C (Character Sets)

ภาษา C ได้เตรียมกลุ่มอักขระต่าง ๆ ให้ใช้งานที่เรียกว่า Character Sets โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ Basic Character set และ Execution Character set

2.7.4.1 Basic Character set ประกอบด้วยกลุ่มอักขระ ดังต่อไปนี้

1) อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ Alphabets Upper Case) ประกอบด้วยอักษร A-Z จำนวน 26 ตัว ดังนี้ A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

2) อักษรตัวพิมพ์เล็ก Alphabets Lower Case) ประกอบด้วยอักษร a-z จำนวน 26 ตัว ดังนี้ a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z

3) ตัวเลข Decimal Digits) ประกอบไปด้วยตัวเลข 0 - 9 จำนวน 10 ตัว ดังนี้ 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

4) ตัวอักขระแบบกราฟิก ประกอบด้วยสัญลักษณ์ต่าง ๆ จำนวน 29 ตัว ดังนี้

,	(comma)		(left parenthesis)
;	(semicolon)	)	(right parenthesis)
.	(period)	[	(left bracket)
?	(question mark)	]	(right bracket)
!	(exclamation)	(	(left brace)
:	(colon)	)	(right brace)
+	(plus)	<	(less than)
-	(minus)	>	(greater than)
*	(asterisk)	=	(equal sign)
/	(slash)	&	(ampersand)
\	(backslash)	%	(percent sign)
|	(vertical bar)	#	(number sign)
'	(single quote)	^	(caret)
"	(double quote)	_	(under score)
~	(tild)		

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

5) ตัวอักขระแบบช่องว่าง White space Character ประกอบด้วยอักขระที่เป็นช่องว่างในลักษณะต่าง ๆ จำนวน 5 ตัว ดังนี้ blank space, horizontal tab, vertical tab, newline, form feed

2.7.4.2 Execution Character set ประกอบด้วยกลุ่มอักขระ ดังต่อไปนี้

1) อักขระที่เป็นค่าว่าง (Null Character) อักขระที่เป็นค่าว่าง หรือค่า Null จะใช้สัญลักษณ์ \0

2) อักขระควบคุม (Escape Sequence) เป็นรหัสที่ใช้ควบคุมการแสดงผลทางจอภาพและเครื่องพิมพ์ ประกอบด้วย

\a	alert bell)	\\	backslash
\b	backspace	\?	backslash
\f	form feed	\'	single quote
\n	new line	\"	double quote
\r	carriage return	\ooo	octal number
\t	horizontal tab	\xhh	hexadecimal number
\v	vertical tab		

2.8 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระเบียบวิธี (finite element method FEM)

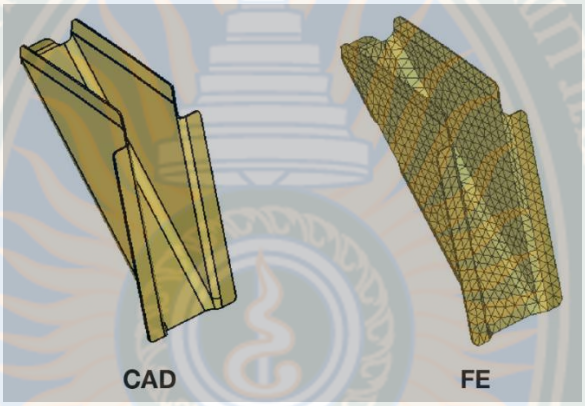
โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเครื่องมือในการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้เข้าถึงได้ง่าย ซึ่งมีหลากหลายตามสายงาน เช่น งานวิเคราะห์โครงสร้างงานวิเคราะห์การไหลและอื่น ๆ เพื่อเลียนแบบพฤติกรรมของวัสดุ และทำนายความเป็นไปได้ของพฤติกรรมวัสดุที่มีรูปร่างต่าง ๆ และเปลี่ยนไปจากสภาวะปกติไปสู่ภาวะใหม่ ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแผ่นเหล็กตรงไปเป็นแผ่นเหล็กโค้งด้วยแรงดัดขนาดต่าง ๆ เป็นต้น จุดเด่นของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ ลดต้นทุนในขั้นตอนของการออกแบบโดยการลองผิดลองถูกด้วยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแบบจำลอง 3 มิติบนคอมพิวเตอร์แทนการสร้างต้นแบบจริง

แม้ว่าไฟไนต์เอลิเมนต์จะเป็นเครื่องมือที่ดีสำหรับการระบุจุดอ่อนแอจากรูปร่างของชิ้นงานได้อย่างดี แต่ผู้วิเคราะห์ก็จำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจในหลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยเพื่อวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือตามหลักการและเหตุผล (Zhao et al., 2019)

ความผิดพลาดจากความเข้าใจแบบผิด ๆ และการขาดความรู้ในไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ส่วนใหญ่ถูกออกแบบให้ใช้งานง่าย จนอาจทำให้ผู้ใช้คิดว่าการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์มีความคล้ายคลึงกับการใช้โปรแกรมวาดแบบ 3 มิติ คือ เพียงแค่ทำตามคำแนะนำ

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

การใช้โปรแกรมก็จะสามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่มีลักษณะเดียวกันได้ ซึ่งเป็นความคิดที่ผิดเพราะในความง่ายนั้นได้ซ่อนและข้ามขั้นตอนบางอย่างเพื่อทำงานได้คล่องตัวมากขึ้น เช่น การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เปลี่ยนรูปร่างจากแบบ 3 มิติ ไปเป็นแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ (ภาพที่ 24)



ภาพที่ 24 เปรียบเทียบแบบจำ ลอง 3 มิติ (CAD) กับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (FE)

หากดูผิวเผินแล้ว CAD และ FE อาจดูคล้ายกัน แต่แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ คือการแบ่งแบบจำลองสามมิติออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ ซึ่งคุณภาพของความต่อเนื่องจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของขนาดของเอลิเมนต์ย่อย และบ่อยครั้งที่ผู้ชำนาญในการใช้โปรแกรม CAD มาใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์มักใช้การแบ่งเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติด้วยการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์เท่านั้น โดยที่ยังขาดความตระหนักในการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และความเข้าใจในการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์จริง ๆ

หลักการทั่วไปของการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์หรือการสร้างแบบจำลองเป็นเอลิเมนต์ย่อยทำได้ไม่ยาก แต่การสร้างแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลวิเคราะห์ที่ดีนั้นจะต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์พอสมควร เพราะเวลาประมาณร้อยละ 70 ของการเตรียมแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งหมดนั้น คือขั้นตอนการเตรียมแบบจำลอง 3 มิติทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่รวมถึงการปรับปรุงของแบบจำลอง CAD เพื่อสร้างแบบจำลอง FE แล้วทำการแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ ในแบบจำลอง 3 มิติ

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

2.8.1 ขั้นตอนการเตรียมแบบจำลองการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถพิจารณาได้ดังนี้

2.8.1.1 ถ้าแบบจำลองประกอบด้วยชิ้นส่วนประกอบหลายชิ้น ควรเลือกแต่ชิ้นส่วนที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ปัญหา โดยละทิ้งส่วนที่ไม่จำเป็นออกไป ซึ่งจะช่วยให้ขนาดของปัญหาลดลงและลดระยะเวลาในการคำนวณได้ แต่จำเป็นต้องอาศัยความรู้ และความเข้าใจถึงลักษณะของปัญหารวมถึงการกำหนดจุดยึด (support) และภาระกระทำ (loading) ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับสภาวะจำลอง

1) การตรวจสอบคุณภาพของแบบจำลอง 3 มิติ ถ้าพบจุดบกพร่องของแบบจำลอง เช่น ผิวของแบบจำลองทับซ้อนกัน ความไม่ต่อเนื่องของผิว เป็นต้น ก็ควรแก้ไขจุดบกพร่องเหล่านั้นให้เรียบร้อยก่อน ถ้าแบบจำลองมีรายละเอียดมากเกินไป เช่น ขอบ รู หรือช่องเล็ก ๆ บางครั้งก็สามารถละทิ้งได้ ถ้ารายละเอียดเหล่านั้นไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องหรือผลกระทบกับการวิเคราะห์ปัญหาความเข้าใจผิดอีกอย่างหนึ่ง คือความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ดูได้จากความละเอียดของเอลิเมนต์หรือยิ่งมีจำนวนเอลิเมนต์มาก ยิ่งให้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้นแท้จริงแล้วความละเอียดของเอลิเมนต์เป็นเพียงการประเมินคุณภาพของแบบจำลองอย่างผิวเผิน ลักษณะของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ดีนั้น ไม่สามารถระบุเป็นหลักการได้ชัดเจนนัก แต่สามารถระบุเป็นคำแนะนำได้คร่าว ๆ ดังนี้

1.1) การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ดี อาจต้องอาศัยการจินตนาการจากพฤติกรรมของปัญหาที่วิเคราะห์ ยกตัวอย่างเช่น บริเวณใดที่เป็นจุดสัมผัสก็ควรมีความละเอียดของเอลิเมนต์มากในบริเวณนั้นหรือบริเวณใดที่ไม่ได้เป็นจุดสนใจในการวิเคราะห์หรือส่งผลต่อการวิเคราะห์ก็ไม่จำเป็นต้องสร้างเอลิเมนต์อย่างละเอียด

1.2) บางครั้งการสร้างแบบจำลองด้วยลักษณะของการแบ่งเอลิเมนต์แบบหนึ่งอาจให้ผลลัพธ์ที่ดีต่อเงื่อนไขขอบเขตสำหรับการวิเคราะห์อย่างหนึ่ง แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขขอบเขตที่แตกต่างไปจากเดิมก็ไม่จำเป็นว่าแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะให้ผลลัพธ์ที่ดีเหมือนเดิม

1.3) ถ้าเป็นไปได้ควรสร้างแบบจำลองที่มีจำนวนเอลิเมนต์ให้เหมาะสมกับลักษณะของปัญหาที่วิเคราะห์ ถึงแม้ว่าจะมีคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่หรือความเร็วสูงเพียงใดก็ไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองที่มีจำนวนเอลิเมนต์มากเกินความจำเป็น เพราะการใช้จำนวนเอลิเมนต์มาก ๆ ก็ไม่ได้หมายความว่าผลการวิเคราะห์จะมีความถูกต้องมากขึ้นเสมอไปดังนั้นผู้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์จำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจในทฤษฎีของระเบียบ

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) พอสมควร เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาและกระบวนการวิเคราะห์รวมถึงการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้อย่างเหมาะสม

ในการดำเนินงานวิจัย ขั้นตอนการเตรียมแบบจำลองการวิเคราะห์โดยใช้วิธี (Finite Element Method FEM) เริ่มต้นด้วยการกำหนดปัญหาที่ต้องการแก้และระบุขอบเขตและเงื่อนไขขอบเขตที่เกี่ยวข้อง ระบบจากนั้นถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยที่เรียกว่า 'elements' เพื่อคำนวณที่ง่ายขึ้น โหนด (nodes) จะถูกกำหนดในแต่ละ element และฟังก์ชันพื้นฐานที่ใช้ในการประมาณค่าตัวแปรใน element นั้น ๆ จะถูกกำหนดสมการความสมดุลของปัญหาถูกสร้างขึ้นโดยใช้หลักการของปริพนธ์และขอบเขตของปัญหา เมื่อสมการเสร็จสมบูรณ์ วิธีการทางคณิตศาสตร์ถูกใช้ในการแก้สมการและคำนวณค่าตัวแปรทางฟิสิกส์ในแต่ละ element และโหนด ผลลัพธ์จะสามารถถูกวิเคราะห์เพื่อเข้าใจพฤติกรรมของระบบ (Tuffaha et al., 2019)

สุดท้ายความถูกต้องของผลลัพธ์ถูกตรวจสอบและแบบจำลองถูกปรับปรุงตามความจำเป็น ระดับความซับซ้อนของกระบวนการ FEM ขึ้นอยู่กับลักษณะและความซับซ้อนของปัญหาที่ต้องการการวิเคราะห์

2.8.2 ความผิดพลาดจากการขาดความรู้ในตัวผลิตภัณฑ์

การมอบหมายงานวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ให้กับวิศวกรออกแบบที่ขาดความรู้และประสบการณ์ในตัวของผลิตภัณฑ์อาจสร้างความเสียหายได้ เพราะวิศวกรที่ทำการวิเคราะห์ได้ดีนอกจากจะต้องมีความเข้าใจถึงหลักการของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แล้วยังต้องมีความเข้าใจหลักการและเหตุผลในการออกแบบของผลิตภัณฑ์นั้นด้วย ซึ่งความรู้ดังกล่าวเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการเตรียมแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ดีรวมถึงการประเมิน และวิเคราะห์ผลจากการคำนวณพร้อมทั้งสามารถคาดเดาที่มาของค่าความคลาดเคลื่อนได้เพื่อให้สามารถนำข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้มาปรับปรุงแบบจำลองให้มีความน่าเชื่อถือมากที่สุดและสรุปผลจากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ

ในอีกกรณีหนึ่ง คือการมอบหมายงานให้กับวิศวกรที่เพิ่งจบการศึกษาใหม่ ที่แม้จะมีความรู้ความสามารถในการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นอย่างดี แต่ยังมีประสบการณ์น้อยในการออกแบบผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ก็อาจให้ความสนใจกับการแสดงผลที่มีสีสันสวยงามบนคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจทำให้วิศวกรใหม่ผู้นั้นไม่ได้เกิดกระบวนการเรียนรู้อย่างที่ควรเป็น เนื่องจากขาดการเรียนรู้จากการทดลองจริงหรือขาดการเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลจากการทดลองจริงเพราะสิ่งสำคัญในการออกแบบลิตภัณฑ์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์คือการเลียนแบบพฤติกรรมของวัสดุ ดังนั้นการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยที่ไม่มีขั้นตอน

1346770235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ในการหาพารามิเตอร์อย่างเหมาะสมจากการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองจริง ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ก็จะไม่มีความน่าเชื่อถือดั่งคำพูดที่ว่า การเลียนแบบหรือการจำลองพฤติกรรมของวัสดุเพื่อใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์บางกรณีเป็นปัญหาที่สามารถคาดเดาได้ หรือในทางทฤษฎีเรียกปัญหาเหล่านี้ว่าปัญหาแบบเชิงเส้น (linear problem) การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาประเภทนี้ จะให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างตรงไปตรงมา และช่วยให้เห็นถึงลักษณะกายภาพได้อย่างถูกต้อง

ยกตัวอย่าง เช่น การกระจายตัวของความเค้น (stress) ของโต๊ะทำงานจากการออกแรงกดบนโต๊ะ ยิ่งออกแรงมากโต๊ะก็ยิ่งโก่งตัวมาก ค่าความเค้นก็จะมากขึ้น เป็นต้น จากตัวอย่างดังกล่าวความถูกต้องของการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกจำกัดอยู่บนเงื่อนไขที่ว่า โต๊ะมีการเสียรูปน้อยมาก ๆ ทำให้ค่าพารามิเตอร์ของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณสำหรับปัญหานี้มีเพียงค่ายังโมดูลัส (Young's Modulus) และอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio)

หากพิจารณาปัญหาเดียวกันนี้ แต่คราวนี้ให้แรงกดโต๊ะมากขึ้นจนกระทั่งโต๊ะเกิดการโก่งตัวอย่างมากจนสังเกตได้ด้วยตาจากแรงที่กด แล้วยังคงออกแรงต่อเนื่องไปจนโต๊ะหักพัง ปัญหานี้จะกลายเป็นปัญหาแบบคาดเดาไม่ได้หรือทางทฤษฎีเรียกว่า ปัญหาแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear problem) ซึ่งความซับซ้อนในการคำนวณด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์จะมีมากขึ้น นอกจากค่ายังโมดูลัสและอัตราส่วนปัวซองแล้ว ยังต้องมีค่าความเค้นคราก (yield stress) ค่าความเค้นไหล (flow stress) ค่าความไม่เท่ากันในแต่ละทิศทางของวัสดุ (anisotropy) ค่าความเครียดที่จุดแตกหัก (fracture strain) และอื่น ๆ อีกมาก ขึ้นอยู่กับว่าผู้วิเคราะห์ต้องการศึกษาพฤติกรรมใดของวัสดุและลักษณะการเสียรูปของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างไร เช่น เสียรูปจากการดึง เสียรูปจากการกด หรือเสียรูปจากการดัด เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการวิเคราะห์และคำนวณด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหา "แบบไม่เป็นเชิงเส้น" เนื่องจากปัญหานี้จะไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยการให้พารามิเตอร์พื้นฐานเพียงอย่างเดียวแต่ต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นในการอธิบายพฤติกรรมของวัสดุซึ่งตามมาด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่อาศัยการทดสอบอื่น ๆ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น เพื่อให้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับงานออกแบบผลิตภัณฑ์ได้จริง การเปรียบเทียบพฤติกรรมของวัสดุจากการคำนวณด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองจริงอย่างน้อยที่สุดควรเริ่มจากชิ้นทดสอบที่มีรูปร่างอย่างง่ายเพื่อปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง ก่อนที่จะนำพารามิเตอร์เหล่านั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป

1346770235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

2.8.3 ความผิดพลาดจากการระบุหน้าที่รับผิดชอบ

เคยมีคำถามที่ว่า “บริษัทควรให้วิศวกรออกแบบวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เอง หรือควรมีบุคลากรที่ทำงาน” ด้านการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์โดยเฉพาะ

วิธีที่ดีที่สุดคือวิศวกรออกแบบผลิตภัณฑ์ควรมีความสามารถในการใช้งานและวิเคราะห์ FEA ได้เอง เพราะรู้จักผลิตภัณฑ์เป็นอย่างดี วิศวกรออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบรมการวิเคราะห์ FEA จะสามารถออกแบบและวิเคราะห์ไปพร้อม ๆ กันได้อย่างมีหลักการและเหตุผล แต่ถ้าการวิเคราะห์ FEA มีปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น ปัญหาแบบไม่เป็นเชิงเส้น หรือปัญหาที่คาดเดาได้ยากก็อาจจำเป็นต้องมีบุคคลที่มีความรู้ทางด้านระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในเชิงเทคนิคโดยทำงานร่วมกันอย่างใกล้ชิด

การระบุหน้าที่ให้แก่วิศวกรเพื่อวิเคราะห์ด้วย FEA เพียงอย่างเดียวอาจเกิดข้อผิดพลาดได้เช่นกัน เมื่อใดก็ตามที่วิศวกรคนนั้นวิเคราะห์ FEA เป็นเหมือนกับชีวิตประจำวัน คนเหล่านั้นก็จะใช้การวิเคราะห์ FEA บนทุกสิ่งทุกอย่างแม้ว่าการคำนวณด้วยมือหรือทดลองจริงจะให้ผลลัพธ์ที่เร็วกว่า มีราคาถูกกว่าและแม่นยำมากกว่าก็ตาม

ผู้วิเคราะห์ FEA ควรเข้าไปมีส่วนร่วมทั้งในขั้นตอนการออกแบบ การทำต้นแบบและการทดสอบผลิตภัณฑ์โดยใช้ FEA เป็นเครื่องมือช่วยสะท้อนพฤติกรรมและหาเหตุผลจากการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์เหล่านั้น ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์มากกว่า เนื่องจากวิศวกรออกแบบเป็นผู้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ แต่ไม่ใช่เป็นผู้พัฒนา ดังนั้นข้อจำกัดในหลักการทางทฤษฎีต่าง ๆ ของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ถูกพัฒนามายังคงเป็น “กล่องดำ (black box)” สำหรับผู้ใช้ที่ไม่มีทางรู้และมั่นใจได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด ในบางครั้งการประกาศรับสมัครงานหาวิศวกรที่ระบุถึงประสบการณ์ในการใช้โปรแกรมใดโปรแกรมหนึ่งอาจทำได้กับการรับสมัครบุคคลากรทางด้าน CAD แต่ไม่ใช่สำหรับด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ ความจริงแล้วความเข้าใจต่อระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์หรือ FEM เป็นสิ่งสำคัญมากกว่าความสามารถในการใช้คำสั่งของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ การเรียนรู้การใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นสิ่งที่ไม่ยากสำหรับผู้ที่มีความรู้พื้นฐานและความเข้าใจในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาก่อน

การอบรมผู้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ แบ่งเป็นหลายระดับตามรายละเอียดของการออกแบบสำหรับการใช้งานเพื่อช่วยออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้ใช้ควรมีความรู้พื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แต่อาจไม่ต้องลงลึกถึงการพิสูจน์สร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ เพียงแต่ทำความเข้าใจถึงโครงสร้างของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่รวมถึงขั้นตอนการคำนวณ การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ความเข้าใจความหมายของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองของวัสดุที่เหมาะสมที่จำเป็นต่อการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในปัญหาที่สนใจ และชนิดของปัญหา เป็นต้น

บ่อยครั้งที่การอบรมการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์มาจากผู้ขายโปรแกรมเนื้อหาอบรมส่วนใหญ่จึงเป็นเพียงวิธีการใช้โปรแกรม โดยมองข้ามความสำคัญของทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา ทำให้ผู้ใช้คิดว่าโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ใช้งานง่าย เพียงแค่เพิ่มทักษะในการใช้โปรแกรม และใส่ค่าพารามิเตอร์ตามที่แบบฝึกหัดแนะนำเท่านั้น ก็จะได้ผลลัพธ์ออกมา ซึ่งการทำเช่นนี้อาจไม่เกิดประโยชน์ หรือให้นัยสำคัญอะไรในการออกแบบผลิตภัณฑ์

วิศวกรที่รับผิดชอบในส่วนของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะต้องตระหนักอยู่เสมอว่าข้อมูลและสมมติฐานต่าง ๆ จำเป็นจะต้องต้องสนับสนุนการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และสามารถอธิบายผลจากการคำนวณได้ เพื่ออธิบายและสร้างความเชื่อมั่นจากลำดับขั้นตอน ของการวิเคราะห์อย่างเป็นเหตุเป็นผลตามหลักการของการออกแบบและสามารถสร้างกระบวนการบางอย่าง เพื่อเป็นการตรวจสอบผลจากการคำนวณของแบบจำลอง ยกตัวอย่างเช่น ตรวจสอบผลจากการคำนวณโดยเปรียบเทียบกับผลจากปัญหาอย่างง่ายที่รู้ผลลัพธ์หรือที่มีผลการทดลองจริง เป็นต้น

2.8.4 ข้อแนะนำในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น FEA ถือว่าเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี แต่ถ้าผู้วิเคราะห์ละเลยขั้นตอนการวิเคราะห์บางอย่าง ก็อาจส่งผลให้การวิเคราะห์นั้นไม่ได้ผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อการออกแบบ ซึ่งในที่นี้ขอหยิบยกขั้นตอนการตรวจสอบของการวิเคราะห์ด้วย FEA อย่างคร่าว ๆ ดังนี้

2.8.4.1 ลักษณะของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ หรือการแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อยของแบบจำลอง และชนิดของเอลิเมนต์ที่ใช้มีความเหมาะสมกับปัญหาหรือไม่

2.8.4.2 การตรวจสอบความเหมาะสมของการให้แรงกระทำ การเคลื่อนที่จุดจับยึดต่าง ๆ และเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาให้เหมาะสมกับสภาวะจริงหรือสภาวะในการทดสอบของผลิตภัณฑ์

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

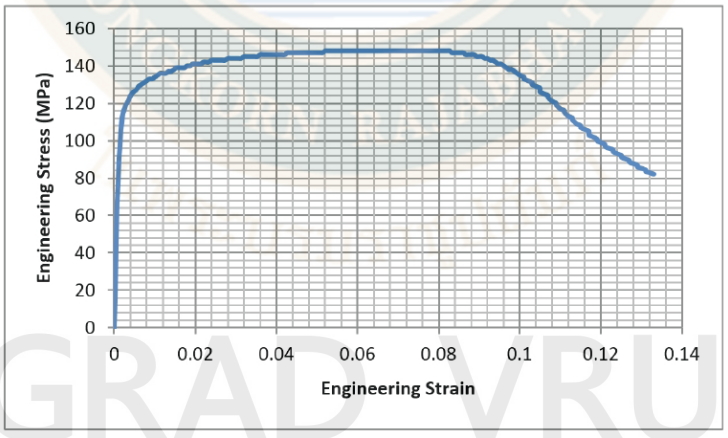
2.8.4.3 การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายถึงพฤติกรรมของวัสดุให้เหมาะสมกับรูปแบบของการเสียรูปและลักษณะของวัสดุ เช่น วัสดุมีคุณสมบัติเท่ากันทุกทิศทาง (isotropic material) หรือวัสดุมีคุณสมบัติไม่เท่ากันทุกทิศทาง (anisotropic material) เป็นต้น

2.8.4.4 การตรวจสอบผลการวิเคราะห์ได้จากการเปรียบเทียบกับปัญหาอย่างง่ายที่รู้ผลลัพธ์หรือที่มีผลการทดลองจริง ซึ่งสามารถทำได้ตั้งแต่ระดับชิ้นงานทดสอบมาตรฐานจนถึงระดับชิ้นงานขนาดเท่าของจริงที่มีสภาวะการทดสอบใกล้เคียงกับลักษณะการใช้งานจริง เพื่อประเมินค่าความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปทำการปรับปรุงระบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป

2.8.5 ตัวอย่างของความผิดพลาดจากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

ตัวอย่างความคลาดเคลื่อนของผลวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นจากการแปลงข้อมูล เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ที่ป้อนให้กับโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ และประโยชน์ของการตรวจสอบผลจากการคำนวณด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองด้วยชิ้นงานทดสอบมาตรฐานการต้านแรงดึง (tensile test) ซึ่งเป็นข้อมูลทางกลเบื้องต้น (basic mechanical property) ของวัสดุ

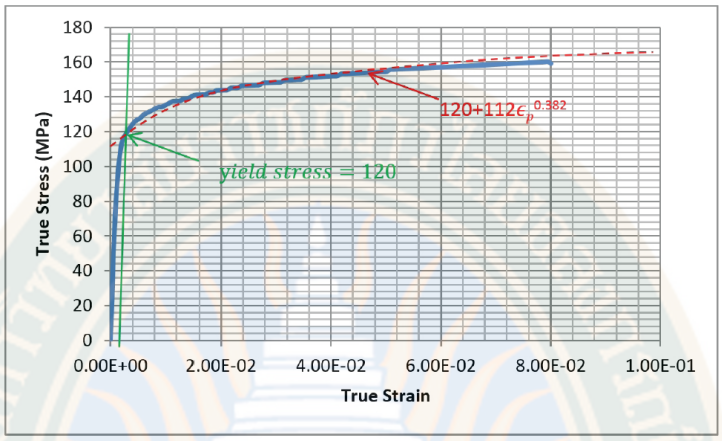
สมมติว่านำวัสดุโลหะแผ่น ทีมีขนาดชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานไปทดสอบการต้านแรงดึงแล้วได้ข้อมูลตามภาพที่ 25



ภาพที่ 25 กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียดทางวิศวกรรมของวัสดุโลหะแผ่นที่ได้จากการทดสอบการต้านแรงดึง

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70



ภาพที่ 26 แสดงค่าความสัมพันธ์ความเค้นที่แท้จริงและความเครียดที่แท้จริงของวัสดุโลหะแผ่นที่ได้จากการทดสอบการต้านแรงดึง

ค่าพารามิเตอร์ทางวัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่ในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น ได้มาจากความสัมพันธ์แผ่นจากการทดสอบ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทางวัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่ในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้มาจากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นที่แท้จริงกับความเครียดที่แท้จริง (true stress - true strain relation) ดังแสดงในภาพที่ 26 จากนั้นเลือกแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่อธิบายพฤติกรรมของวัสดุในรูปแบบของความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียดที่แท้จริง ในที่นี้ได้เลือกใช้ความสัมพันธ์แบบยกกำลัง (power law) มาเป็นสมการในการประมาณค่าความสัมพันธ์สามารถเขียนค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน ได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความสัมพันธ์ของวัสดุ

ค่ายังโมดูลัส Young's modulus MPa)	52000
อัตราส่วนของปัวซอง Poisson'sratio)	0.3
ความเค้นจัดครากของวัสดุ Yield stress MPa)	120

VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
13467023

และความเค้นไหล flow stress) สามารถเขียนอยู่ในของความสัมพันธ์แบบยกกำลังได้ดังนี้

$$\sigma_{flow} = \sigma_y + K\epsilon_p{}^n = 120 + 112\epsilon_p{}^{0.382}\ (MPa)$$

ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์แบบยกกำลัง

เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าความผิดพลาดของพารามิเตอร์ที่ได้จากการแปลงค่าโดยตรงจากการทดสอบการต้านแรงดึง การทวนสอบนี้จะทำการจำลองการวิเคราะห์ปัญหาการต้านแรงดึงด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังภาพที่ 27

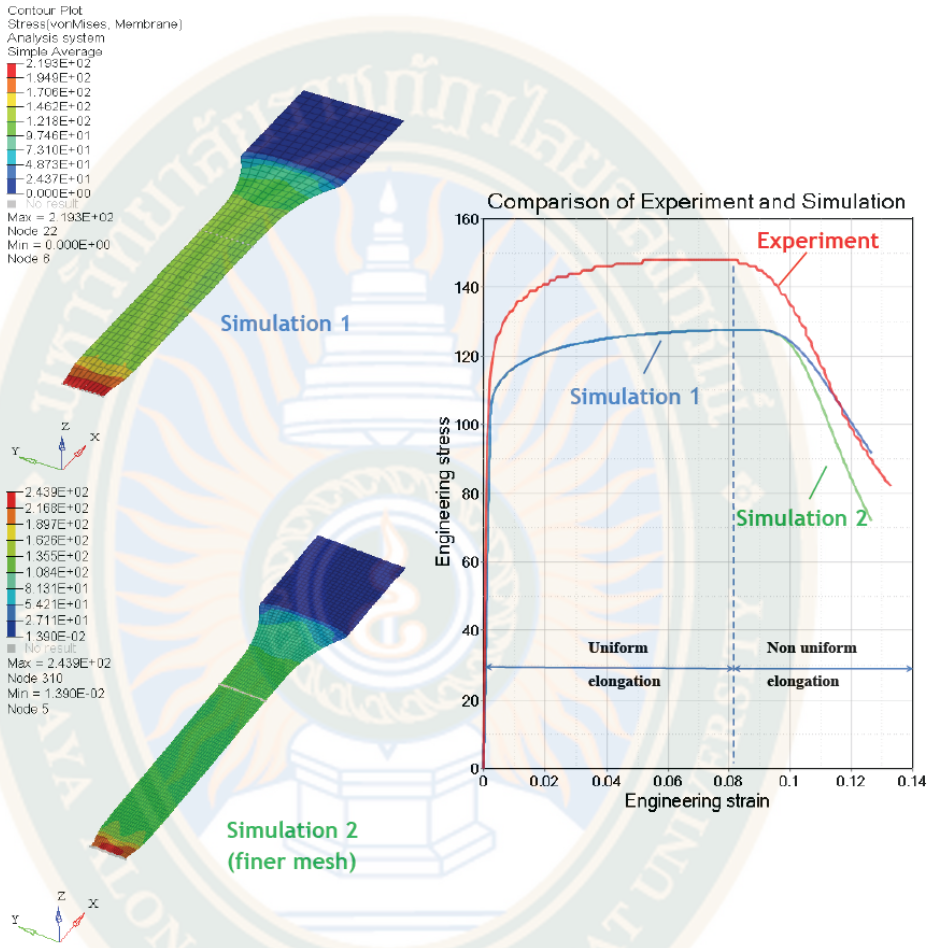
ภาพที่ 28 ภาพจำลองการวิเคราะห์การทดสอบการต้านแรงดึงด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

โดยที่คุณสมบัติของวัสดุสำหรับการวิเคราะห์มีค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 4 และสมการที่ 1 และกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ให้เหมือนกับการทดสอบจริง เช่น ตำแหน่งของการจับยึดชิ้นงานและความเร็วในการดึงนิดของเอลิเมนต์เลือกเป็นแบบเปลือก shell element) โดยทำแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 แบบ คือ แบบจำลองที่ 1 ที่มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 1 มม. และแบบจำลองที่ 2 ที่มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.5 มม.

หลังจากคำนวณแล้วผลปรากฏว่าเมื่อนำค่าแรงดึงและระยะยืดที่ได้จากเอลิเมนต์แถบสีน้ำเงินในภาพที่ 27 มาแปลงกลับเป็นค่าความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรมแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองเดิมสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 28

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70



ภาพที่ 29 ผลจากการวิเคราะห์การทดสอบการต้านแรงดึงด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการทวนสอบผลย้อนกลับ ผลจากการคำนวณที่ได้มีค่าที่แตกต่างจากการทดลองอย่างชัดเจนทั้ง ๆ ที่ค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใส่ให้กับแบบจำลองในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น เป็นค่าที่ได้จากการทดลองแล้วอะไรคือสาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนนี้ได้บ้างสามารถพิจารณาเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้ (Anche et al., 2020)

2.8.5.1 ค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าพารามิเตอร์เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์

1) เมื่อเปรียบเทียบค่าความสัมพันธ์ความเครียดที่แท้จริง-ความเค้นที่แท้จริงกับค่าประมาณความสัมพันธ์ด้วยสมการยกกำลัง (power law) ดังภาพที่ 27 สังเกตได้ว่าช่วงที่เกิดความไม่เสถียรของวัสดุจากเส้นกราฟจากการทดลองตำแหน่งของความเครียดที่มีค่าความเค้นเริ่มตกเท่ากับ 0.08 (เส้นสีน้ำเงิน) แต่การประมาณค่านอกช่วงด้วยสมการแบบยกกำลังนั้นมีการประมาณค่าความเครียดที่มากกว่า 0.08 ออกไปอีก ตามเส้นประในภาพที่ 26

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

2) ค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าเส้นแนวโน้ม (curve fitting) เพื่อหาค่า K และ n ของสมการยกกำลัง

2.1) ค่าความผิดพลาดจากการเลือกใช้เอลิเมนต์ ในที่นี้เราได้ใช้เอลิเมนต์แบบเปลือก (shell element) แบบ reduced integration point แต่เอลิเมนต์ชนิดนี้ยังสามารถสะท้อนพฤติกรรมการยืดตัวของวัสดุได้ดีสำหรับปัญหาการทดสอบการต้านแรงดึงนี้ เนื่องจากเป็นลักษณะการยืดตัวปกติ ดังนั้น จึงไม่น่าเป็นสาเหตุของค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น

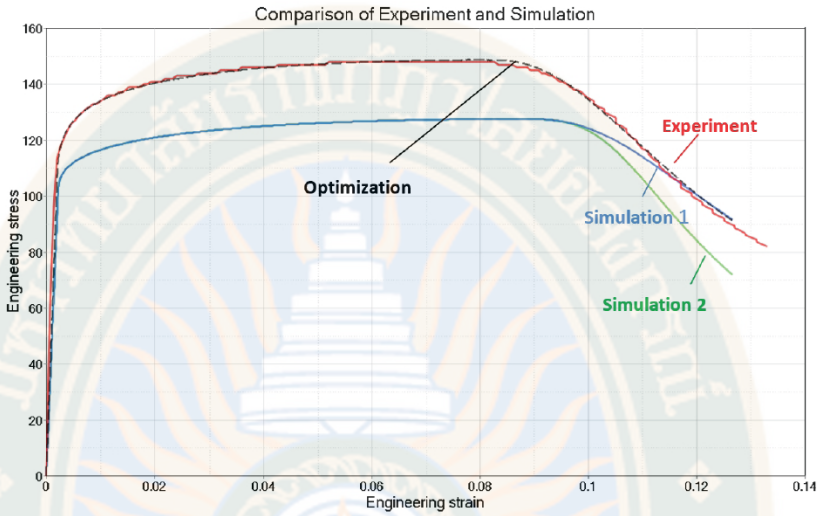
2.2) ค่าความผิดพลาดจากขนาดของเอลิเมนต์ จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้ทำการวิเคราะห์แบ่งออกเป็นแบบจำลองที่ 1 ที่มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 1 มม. และแบบจำลองที่ 2 ที่มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.5 มม. ซึ่งผลจากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากขนาดของเอลิเมนต์ที่ใช้สำหรับปัญหาการทดสอบแรงดึงให้ผลในช่วง uniform elongation ได้ค่อนข้างเหมือนกัน แต่ผลกระทบจากการเปลี่ยนขนาดของเอลิเมนต์จะเริ่มเห็นความแตกต่างของทั้งสองแบบจำลองในช่วง non-uniform elongation เนื่องจากค่าความเข้มข้นของความเค้น stress concentration แบบจำลองที่มีเอลิเมนต์เล็กกว่าจะมีค่ามากกว่าแบบจำลองที่มีเอลิเมนต์ใหญ่กว่า เป็นเหตุให้ให้กราฟของแบบจำลองที่ 2 ในภาพที่ 28 มีค่าต่ำกว่าในแบบจำลองที่ 1 แต่สิ่งสำคัญคือความสัมพันธ์ในช่วง uniform elongation ที่ผลการคำนวณของแบบจำลองทั้งสองแบบยังให้ผลที่เหมือนกันจนถึงจุดความเค้นสูงสุด ดังนั้นขนาดเอลิเมนต์ไม่ได้มีผลต่อการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับช่วง uniform elongation จากเหตุผลและที่มาของค่าความผิดพลาด สรุปได้ว่าถ้าเราต้องการลดความผิดพลาดของปัญหานี้สิ่งที่ควรปรับปรุงคือพารามิเตอร์ของสมบัติวัสดุ ก็คือค่า K และ n ที่เป็นพารามิเตอร์ของสมการยกกำลังให้เหมาะสม เครื่องมือหนึ่งที่ช่วยในการปรับค่าพารามิเตอร์ของสมบัติวัสดุ คือการทำ optimization ในที่นี้จะขอไม่กล่าวถึงวิธีการ optimization แต่เครื่องมือนี้สามารถช่วยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของสมบัติวัสดุ เช่น ค่ายังโมดูลัสค่าความเค้นจุดคราก และค่าความเค้นสูงสุดที่กำหนดให้เป็นพารามิเตอร์เพื่อทำ optimization โดยการทำการคำนวณแบบวนซ้ำ จนกระทั่งได้ค่าพารามิเตอร์ตรงกับเป้าหมายที่กำหนด (objective) ซึ่งในที่นี้เป้าหมายที่กำหนดก็คือ ความสัมพันธ์ความเค้น กับความเครียดทางวิศวกรรมในภาพที่ 25

หลังจากที่ผ่านการทำ Optimization แล้วสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองได้ดังภาพที่ 29 จากปัญหานี้ค่าที่เหมาะสมคือ ค่ายังโมดูลัส มีค่าประมาณ 64,000 MPa และอัตราส่วนปัวซอง เท่ากับ 0.3 ความเค้นคร่ากของวัสดุประมาณ 120 MPa ค่าความเค้นสูงสุดในช่วง uniform elongation เท่ากับ 284 MPa และความเค้นไหลสามารถเขียนอยู่ในของความสัมพันธ์แบบยกกำลังได้ ดังนี้ (Bah et al., 2020)

$$\sigma_{flow} = \sigma_y + K\epsilon_p{}^n = 120 + 135.664\epsilon_p{}^{0.26308}\ (MPa)$$

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU



ภาพที่ 30 ผลการเปรียบเทียบจากการวิเคราะห์การทดสอบการต้านแรงดึงด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ในแต่ละแบบจำลองและผลที่ได้จากการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วย optimization

จากตัวอย่างดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสำคัญ และประโยชน์ในการทวนสอบแบบจำลองทางไฟไนต์-เอลิเมนต์ด้วยปัญหาอย่างง่าย เพื่อเป็นการตรวจสอบและปรับพารามิเตอร์บางอย่างที่ทำให้เราเชื่อมั่นได้ว่าพารามิเตอร์ใหม่ที่ได้ปรับปรุงจะทำให้ผลของการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นสำหรับนำไปใช้กับแบบจำลองอื่นที่มีรูปร่างซับซ้อนมากกว่านี้

ดังนั้น วิธีการแปลงค่าพารามิเตอร์จากการทดลอง การเลือกใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ การเลือกใช้เอลิเมนต์การกำหนดขนาดของเอลิเมนต์และกระบวนการทวนสอบสิ่งเหล่านี้อาจส่งผลต่อความลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นอย่างมากถ้าผู้วิเคราะห์ได้ละเลยและไม่ได้มีกระบวนการตรวจสอบอย่างเป็นระบบการนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้ไปใช้ต่อก็จะส่งผลให้การวิเคราะห์แบบจำลองที่ซับซ้อนมากขึ้นมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงมากขึ้นไปอีก

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ เป็นการวิจัยเชิงสร้างสรรค์นวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ใหม่ที่ถูกคิดค้น โดยมีวัตถุประสงค์ในเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถในครั้งนี้ คือ

1) ออกแบบชิ้นส่วนย่อยของเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถโดยใช้โปรแกรมออกแบบ 3 มิติ (Solidworks)

2) นำชิ้นส่วนย่อยที่ได้ทำการออกแบบแล้วมาประกอบในแบบหลัก (Main Assembly)

3) ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ของเครื่องเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถว่าการทำงานของเครื่องเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

4) นำชิ้นส่วนทั้งหมดมาทำ 2D drawing หรือทำแบบ 2 มิติ

5) นำ drawing ไปทำการผลิตชิ้นส่วน แล้วนำมาประกอบ โดยการเชื่อม หรือยึดด้วย nut/screw ให้เป็นเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

6) ออกแบบระบบควบคุม PID ในส่วนของภาษา C โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE

7) ออกแบบระบบ monitoring ด้วย Visual studio

8) ติดตั้งระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถเข้ากับเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

9) ทำการทดสอบระบบและเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผล

การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้คิดค้นและทำการศึกษาพัฒนาระบบต้นแบบโดยการออกแบบดังนั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาขั้นตอนในการทำงานของเครื่องเพื่อนำมาเป็นข้อมูล ในการเลือกใช้วัสดุสำหรับมาสร้างเป็นเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถเพื่อให้เครื่องสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และสามารถใช้งานได้จริงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้งานทางผู้วิจัยได้นำระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาควบคุมการทำงาน ซึ่งการดำเนินการทางผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยอย่างละเอียด ดังนี้

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

3.1 การกำหนดขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย

3.2 การดำเนินการสร้างและทดสอบงานวิจัย

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

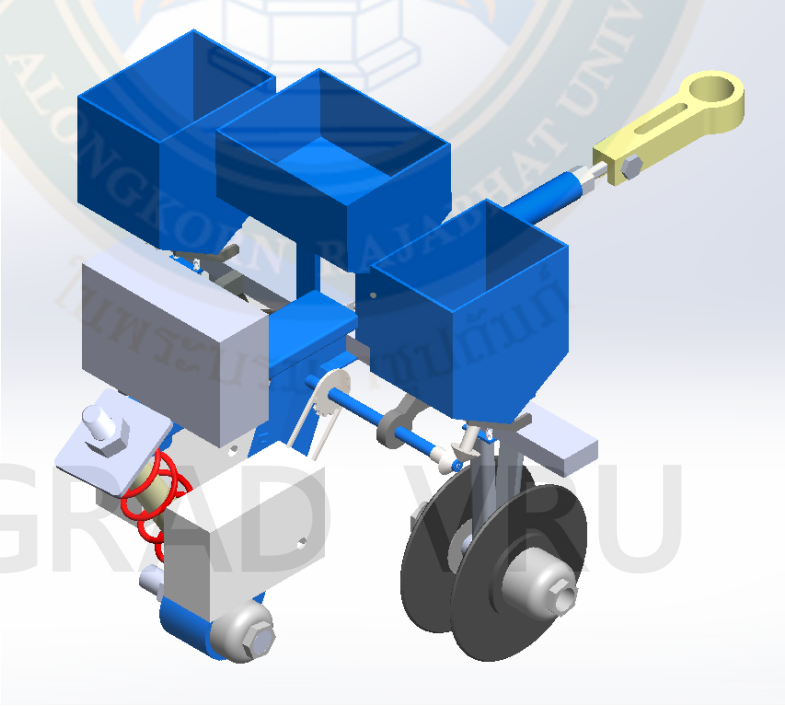
1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

3.1 การกำหนดขอบเขตและขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

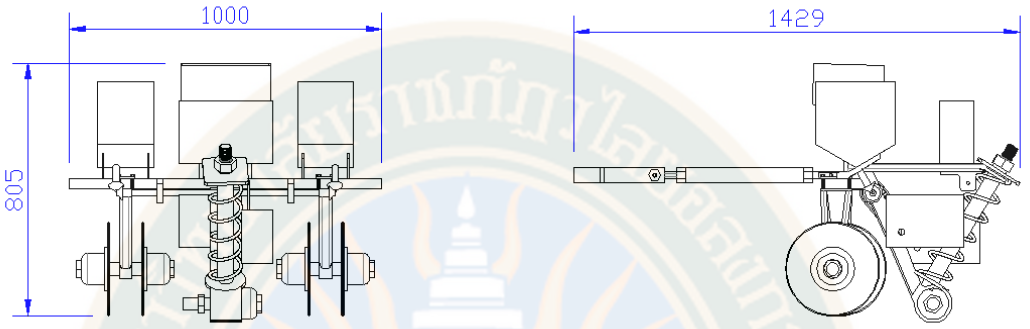
การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ทางผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ ดังนี้

3.1.1 การออกแบบกลไก

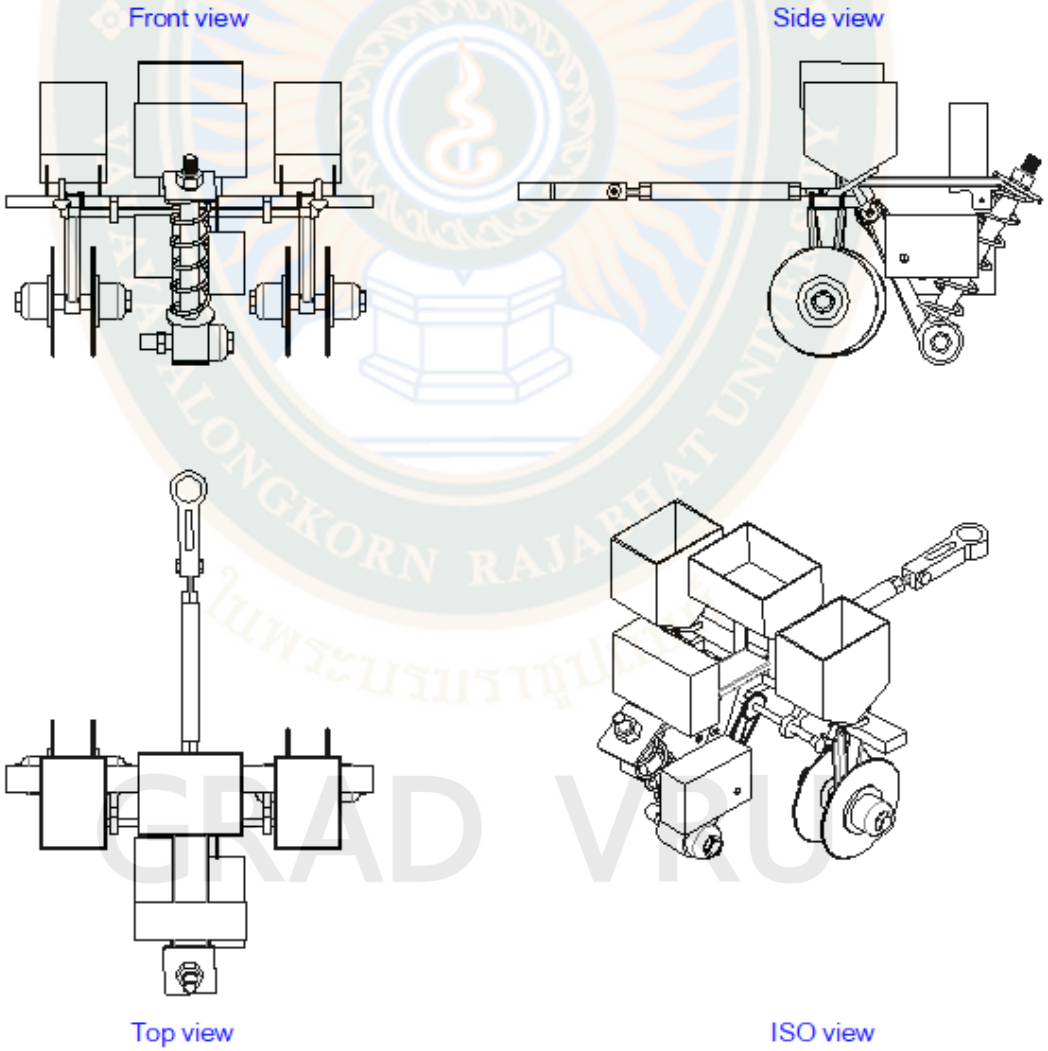
การออกแบบกลไกเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ในเบื้องต้นทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยใช้ระบบสามมิติ Solidworks เพื่อให้เห็นกลไกเบื้องต้นของเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 รูปสามมิติเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

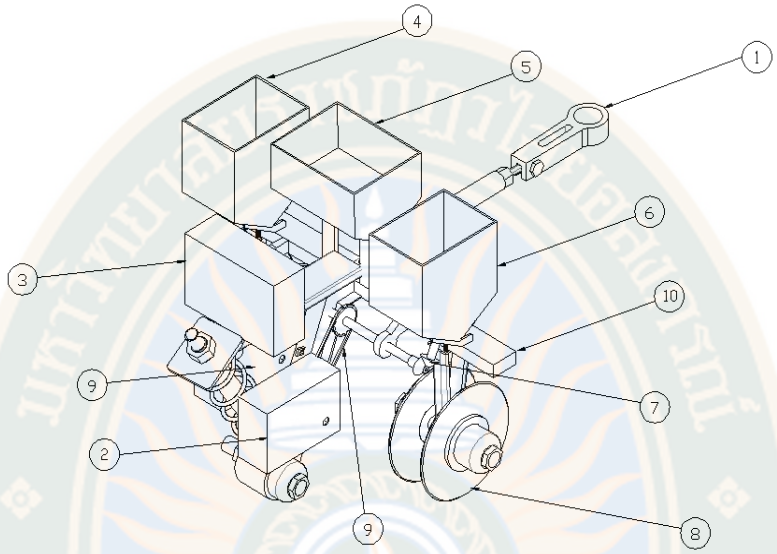


ภาพที่ 32 ขนาดทั่วไปของเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ



ภาพที่ 33 แสดงรูปการออกแบบโครงสร้างแบบมุมมองรอบด้าน

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70



ภาพที่ 34 แสดงรายละเอียดเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

จากภาพที่ 34 อธิบายรายละเอียดตามลำดับตัวเลข ดังนี้

1) ขอลาก

2) กล่องมอเตอร์ (Motor)

3) กล่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

4) ช่องเติมเมล็ดธัญพืช 1

5) ช่องเติมปุ๋ย

6) ช่องเติมเมล็ดธัญพืช 2

7) เฟืองขับ

8) ล้อเพื่อกลบเมล็ดธัญพืช

9) โซ่ขับ

โครงสร้างหลักการออกแบบและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ จากภาพที่ 33สามารถอธิบายการทำงานของอุปกรณ์ตามภาพกล่าวได้ ดังนี้

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ตามภาพที่ 33 คือ เครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถที่ควบคุมโดยชุดควบคุม (กล่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) จะประกอบไปด้วยแผงไมโครคอนโทรลเลอร์ออดูอิโน่ จำนวน 1 แผง แผงควบคุมการหมุนของมอเตอร์จำนวน 1 แผง พร้อมไฟแสดงผลการทำงานของเครื่อง โดยกล่องชุดควบคุมนี้จะทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของตัวเครื่อง โดยมีหลักการทำงาน ดังนี้

1) ต่อขอลากเข้ากับตัวรถไถ หรือรถไถแบบธรรมดาทั่วไปโดยการเสียบสลักเข้าที่ชุดข้อต่อ

2) เมื่อเสียบปลั๊กจ่ายไฟ 12 VDC เข้าที่ตัวเครื่องแล้วทำการเปิดสวิทช์ ไปยังตำแหน่ง ON

3) เติมเมล็ดธัญพืชเข้าในช่องเติมเมล็ดธัญพืชในช่องที่ 1 และ 2 โดยในการเติมแต่ละครั้งสามรถเดิมได้ช่องหละไม่เกิน 3 กิโลกรัมเพื่อให้เครื่องสามารถหยอดได้ 1 ชั่วโมงแบบต่อเนื่อง

4) เติมปุ๋ยลงในช่องเติมปุ๋ย เมื่อทำการหยอดจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยไปด้วยในเวลาเดียวกัน ปริมานขึ้นอยู่กับสภาพของดินเพื่อเลือกตะแกรงให้เหมาะสมในการใส่ปุ๋ย

5) เฟืองขับ เมื่อมอเตอร์เริ่มทำงานลำกับที่ 1 โดยภายในมอเตอร์นั้นมีเกียร์ทดอัตรา 23:1 นั้นหมายความว่ามอเตอร์หมุน 23 รอบ แกนเฟืองตามจะหมุนเพียง 1 รอบ ดังสมการต่อไปนี้

N_a = ความเร็วรอบเฟืองขับ

T_a = จำนวนฟันเฟืองขับ

N_b = ความเร็วรอบเฟืองตาม

T_b = จำนวนฟันเฟืองขับตาม

$N_b = T_a / T_b) x N_a$

ถ้ากำหนดให้มอเตอร์หมุน 500 รอบ / นาที และ เฟืองขับมีจำนวนฟันเฟือง 10 ฟัน เฟืองตามมีจำนวนฟัน 230 ฟัน

$N_b = 10 / 230 \times 500$

$= 21.74$ รอบ / นาที

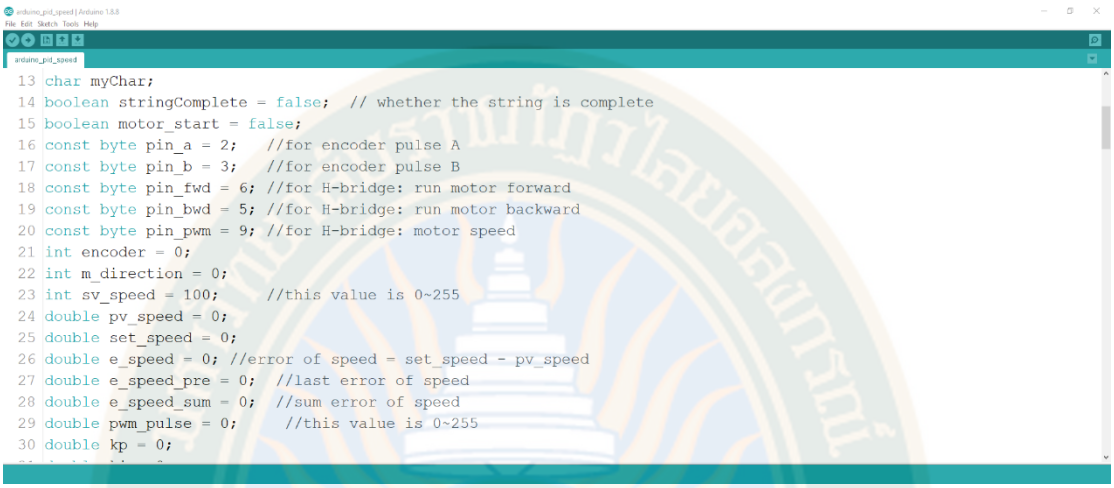
6) เริ่มการทำงานโดยการขับรถออกไปยังแปลงที่ต้องปลูก ตัวเครื่องจะสามารถจับความเร็วรถ และปรับระยะห่างของการหยอดเมล็ดธัญพืชได้ตามที่เราต้องการโดยระยะห่างนี้จะถูกเขียนไว้ในโปรแกรมภาษา C++ ที่ตัว Microcontroller แล้ว

3.1.2 การออกแบบระบบควบคุมโดยโปรแกรมภาษา C++

ทำการออกแบบโปรแกรมภาษา C++ ในการควบคุมการทำงานของเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ควบคุมด้วยระบบควบคุมวงปิด โดยกำหนดการทำงานให้สัมพันธ์กันระหว่างความเร็วของรถ และระยะห่างของการหยอด จะเท่า ๆ กันโดยการกำหนดเงื่อนไขในโปรแกรมและยังสามารถใช้ได้กับเมล็ดธัญพืชได้หลายชนิด โดยการกำหนดที่ปุ่มเพื่อเลือกชนิดของธัญพืชนั้น ๆ

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU



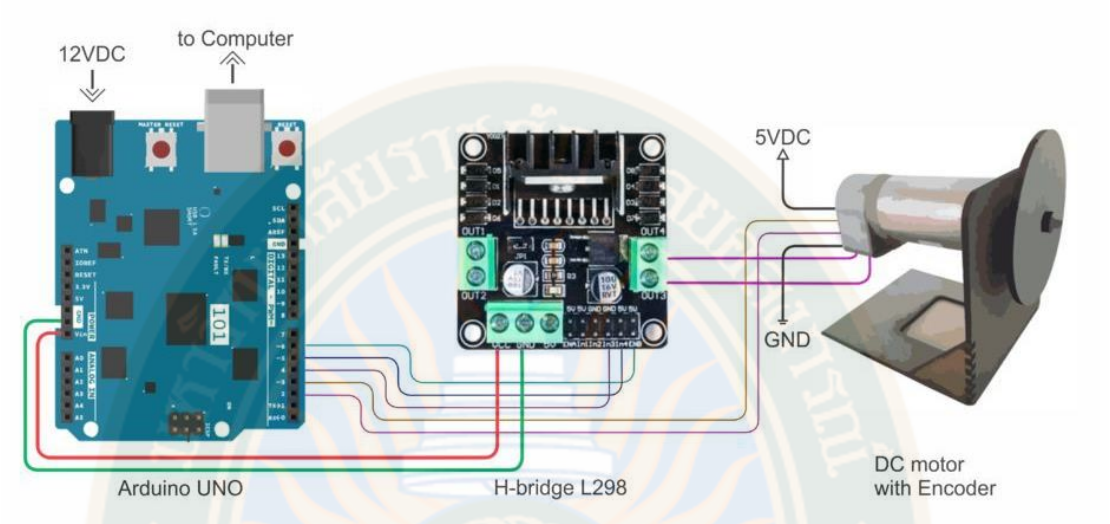
```
13 char myChar;
14 boolean stringComplete = false;  // whether the string is complete
15 boolean motor_start = false;
16 const byte pin_a = 2;   //for encoder pulse A
17 const byte pin_b = 3;   //for encoder pulse B
18 const byte pin_fwd = 6; //for H-bridge: run motor forward
19 const byte pin_bwd = 5; //for H-bridge: run motor backward
20 const byte pin_pwm = 9; //for H-bridge: motor speed
21 int encoder = 0;
22 int m_direction = 0;
23 int sv_speed = 100;     //this value is 0~255
24 double pv_speed = 0;
25 double set_speed = 0;
26 double e_speed = 0; //error of speed = set_speed - pv_speed
27 double e_speed_pre = 0;  //last error of speed
28 double e_speed_sum = 0;  //sum error of speed
29 double pwm_pulse = 0;     //this value is 0~255
30 double kp = 0;
```

ภาพที่ 35 แสดงการเขียนโปรแกรม C++ ให้กับตัวอาดูอิโน่ในการควบคุมการทำงาน

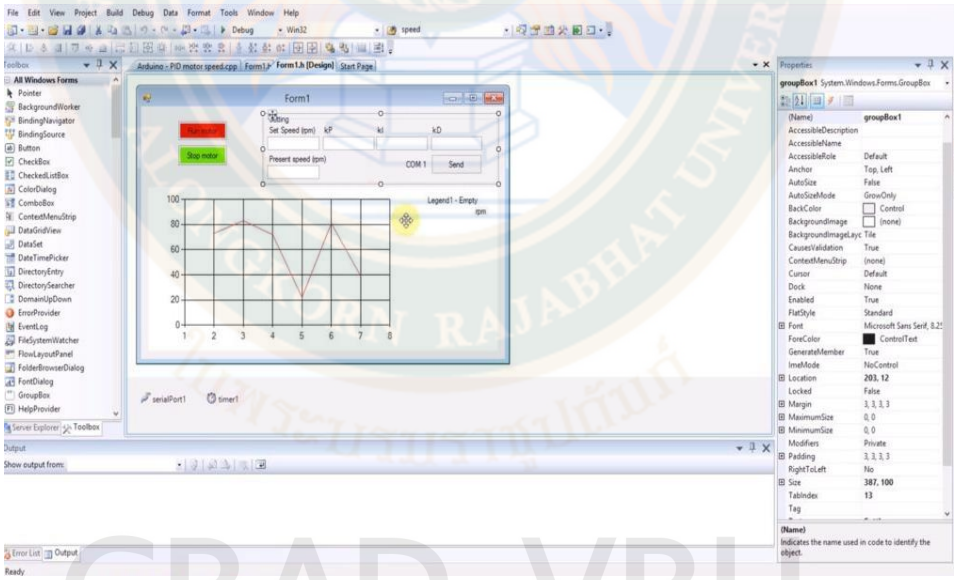
โค้ด Arduino นี้ถูกออกแบบเพื่อควบคุมการทำงานของระบบหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ โดยมีลักษณะการทำงานหลักดังนี้ กำหนด Pin กำหนดพินที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น encoder, motor, Ultrasonic sensor, LED และอื่น ๆ กำหนดตัวแปร ประกาศตัวแปรที่ใช้เก็บค่าต่าง ๆ เช่น encoder ความเร็วปัจจุบัน (pv_speed) ความเร็วที่ต้องการ (set_speed) ความคลาดเคลื่อน (e_speed) รวมความคลาดเคลื่อน (e_speed_sum) และอื่น ๆ Setup ตั้งค่าขา pin mode และเริ่มต้นการตั้งค่าต่าง ๆ เช่น motor LED และ interrupt สำหรับ encoder นอกจากนี้ยังทำการตั้งค่า Timer1 สำหรับการติดตาม encoder และคำนวณความเร็ว Loop ทำลูปที่ตรวจสอบข้อมูลที่รับมาจาก Serial และปรับค่าต่าง ๆ ตามคำสั่ง เช่น เริ่ม/หยุดการทำงานของรถ (motor) ตั้งค่าความเร็วที่ต้องการ และตั้งค่าพารามิเตอร์ของ PID controller (kp, ki, kd)

นอกจากนี้ยังทำการวัดระยะทางจาก Ultrasonic sensors และควบคุมการทำงานของรถไถตามข้อมูลที่ได้ getLength Function ฟังก์ชันในการวัดระยะทางจาก Ultrasonic sensor microsecondsToCentimeters Function ฟังก์ชันในการแปลงเวลาจากไมโครวินาทีเป็นเซนติเมตร serialEvent Function ฟังก์ชันในการอ่านคำสั่งที่ถูกส่งมาผ่าน Serial port detect_a Function ฟังก์ชันในการนับจำนวนความเร็วของ encoder (ISRTIMER1_OVF_vect) ฟังก์ชันในการคำนวณความเร็วจากการนับ encoder และคำนวณค่า PWM สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โค้ดนี้ใช้ Arduino เพื่อควบคุมระบบหยอดเมล็ดธัญพืชบนรถไถ โดยใช้ PID controller และเซนเซอร์ Ultrasonic ในการควบคุมตำแหน่งและการหยอดเมล็ดธัญพืชขณะเคลื่อนที่

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70



ภาพที่ 36 แสดง schematic diagram



ภาพที่ 37 แสดงหน้าจอ

GRAD VRU

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

3.1.3 การเตรียมแผนขึ้นรูปอุปกรณ์โครงสร้างของตัวเครื่อง

สำหรับงานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยได้เลือกใช้อุปกรณ์สำหรับสร้างเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ โดยคำนึงถึงหลักความปลอดภัยและความแข็งแรงในการใช้งานมีการนำอุปกรณ์จำพวกเหล็กสแตนเลสเข้ามาให้งานให้เหมาะสมตามคุณสมบัติและหลักเกณฑ์ในการใช้งานของตัววัสดุที่จะนำมาสร้าง นำมาออกแบบโครงสร้างจากท้องถิ่นทั่วไปได้ เพื่อสะดวกต่อการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ในการประกอบรวมถึงการซ่อมบำรุงตัวเครื่องในอนาคตด้วย

ทั้งนี้ การเตรียมแผนขึ้นรูปอุปกรณ์โครงสร้างต่าง ๆ ของตัวเครื่องมีวิธีและขั้นตอนดังนี้

3.1.3.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วน

ในขั้นตอนนี้จะนำวัตถุดิบที่ผู้ทำการวิจัยได้เลือก ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งหาได้ในท้องตลาดโดยทั่วไปทั้งเหล็กรูปพรรณ เหล็กแท่งเพื่อมาขึ้นรูป โดยใช้เครื่องจักรในงานอุตสาหกรรมในการขึ้นรูปในงานผลิตชิ้นส่วนบางชิ้นส่วน เช่น เครื่องกัด เครื่องกลึง เครื่องตัดด้วย Laser เครื่องพับโลหะ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนออกมาตามแบบที่ผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ในเบื้องต้น

ภาพที่ 38 การเตรียมชิ้นส่วน

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

3.1.3.2 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องกัด

การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องกัดจะใช้เครื่องจักรในการผลิตชิ้นส่วนที่มีความแม่นยำสูงและสามารถควบคุมคุณภาพของชิ้นส่วนได้ดี ในการผลิตชิ้นส่วนด้วยเครื่องกัดนั้นทางผู้วิจัยได้เลือกใช้งานเครื่อง กัดแบบ Computer numerical control (CNC)

ภาพที่ 39 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องกัด

3.1.3.3 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องตัด laser

การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องตัด laser เป็นการแสดงผลต่าง ๆ รวมถึงการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างหรือการแกะสลักทางศิลปะด้วยเลเซอร์เพื่อให้ได้ลักษณะที่เราต้องการ เครื่องตัดเลเซอร์ทำงานโดยการนำแสงเลเซอร์ผ่านวัสดุที่ต้องการตัดหรือแกะ แสงเลเซอร์จะสั่งการข้อมูลรูปร่างหรือรูปแบบที่เรากำหนดให้คอมพิวเตอร์ประมวลผล โดยนำเข้าไฟล์ที่มีข้อมูลรูปแบบในรูปแบบของไฟล์คอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องตัดเลเซอร์เครื่องตัดเลเซอร์จะทำการตัดผ่านวัสดุตามพิกัดและรูปแบบที่เรากำหนดผ่านการควบคุมและการเปิด/ปิด แสงเลเซอร์ตามที่ได้โปรแกรมไว้ในเครื่องหรือการเขียน G-code

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ภาพที่ 40 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องตัด laser

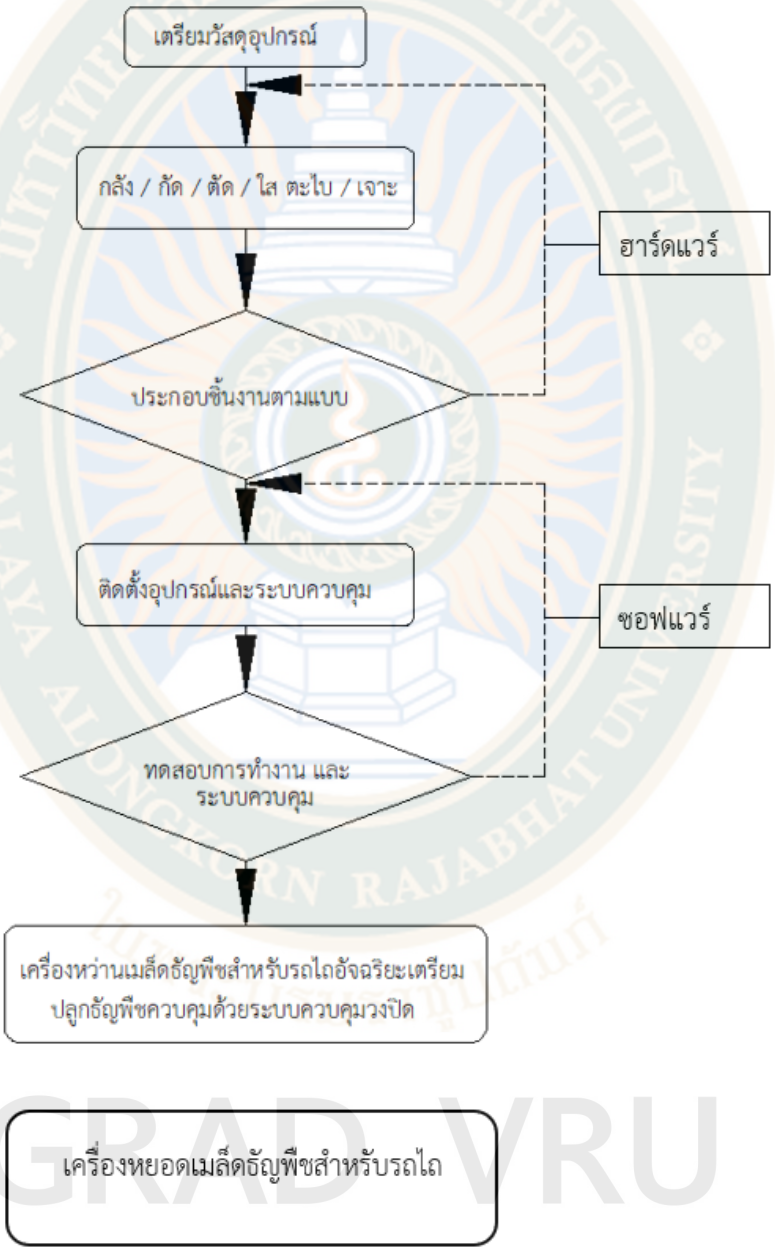
3.1.3.4 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องกลึงคือกระบวนการที่ใช้เครื่องกลึงเพื่อสร้างรูปร่างหรือรูปแบบบนวัสดุ กระบวนการนี้มักใช้ในการขัดหรือเปรี้ยววัสดุเพื่อให้ได้รูปร่างที่ต้องการ โดยมักใช้กับวัสดุที่แข็งแรงเช่นโลหะหรือพลาสติก กระบวนการนี้ต้องคำนึงถึงความแม่นยำในการกลึงวัสดุเพื่อให้ได้รูปร่างที่ตรงตามข้อกำหนด นอกจากนี้ ควรรักษาความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องกลึง เนื่องจากเครื่องกลึงมีมากจากความเร็วและแรงที่สามารถก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้

ภาพที่ 41 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องกลึง

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

3.2 การดำเนินการสร้างและทดสอบงานวิจัย

การดำเนินการสร้างและทดสอบงานวิจัยทางด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์

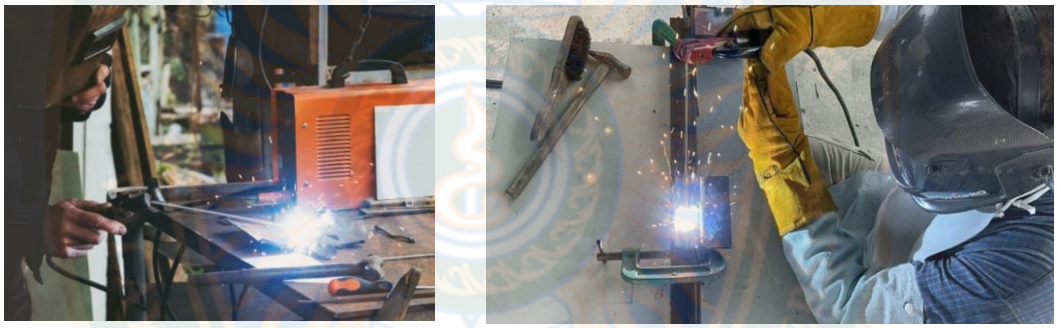


ภาพที่ 42 แสดงขั้นตอนสร้างและทดสอบงานวิจัยทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

3.2.1 การเชื่อมประกอบชิ้นส่วน จะดำเนินการหลังจากผลิตชิ้นส่วนแต่ละส่วน ขั้นตอนถัดไปคือการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนเหล่านี้เข้าด้วยกันเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ กระบวนการนี้เป็นส่วนสำคัญในการผลิตและประกอบชิ้นงาน การทำงานอย่างถูกต้องและแม่นยำเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้ใช้ นี่คือขั้นตอนทั่วไปในกระบวนการการเชื่อมประกอบชิ้นส่วน การเตรียมชิ้นส่วน ตรวจสอบและเตรียมชิ้นส่วนที่ต้องการประกอบ อาจรวมถึงการทำความสะอาดชิ้นส่วน การตรวจสอบความแม่นยำ และการเตรียมพื้นผิว การตั้งค่าและเตรียมอุปกรณ์ ตรวจสอบและตั้งค่าเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการการเชื่อมประกอบ



ภาพที่ 43 การเชื่อมประกอบชิ้นส่วน

การตรวจสอบเครื่องเชื่อม การเตรียมเครื่องมือ การจัดวางชิ้นส่วน การวางและการจัดเรียงชิ้นส่วนให้พร้อมสำหรับการเชื่อมประกอบ อาจเรียกว่าขั้นตอนการออกแบบและการจัดวางกระบวนการการเชื่อมประกอบ ขั้นตอนที่ชิ้นส่วนจะถูกเชื่อมหรือประกอบเข้าด้วยกัน มีหลายวิธี รวมถึงการเชื่อมลวด การตรวจสอบคุณภาพ หลังจากการเชื่อมประกอบ ชิ้นส่วนจะถูกตรวจสอบเพื่อทดสอบความแม่นยำและคุณภาพ อาจรวมถึงการใช้การวัดเพื่อตรวจสอบขนาด การตรวจสอบรอยต่อ การตรวจสอบความแข็งแรง และการตรวจสอบความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ หลังจากที่ชิ้นส่วนถูกเชื่อมประกอบอย่างถูกต้องและผ่านการตรวจสอบคุณภาพ การเชื่อมประกอบชิ้นส่วนเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการผลิตและมีความสำคัญในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและความแม่นยำ

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

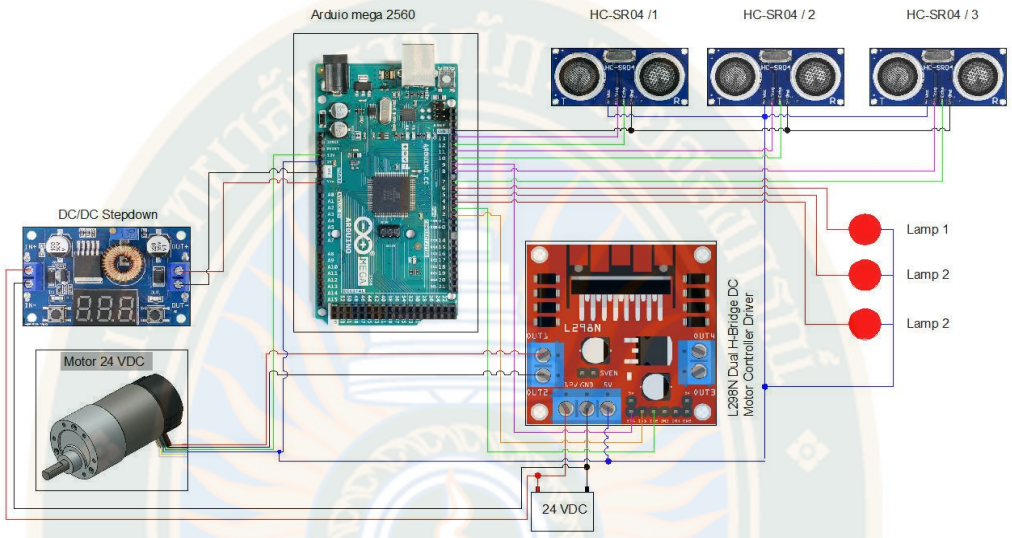
3.2.2 การประกอบงานไฟฟ้าและระบบควบคุม

การประกอบงานไฟฟ้าและระบบควบคุมเป็นกระบวนการติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบควบคุมเพื่อให้การทำงานของระบบได้ตรงตามแบบที่กำหนด การประกอบงานไฟฟ้าและระบบควบคุมเป็นกระบวนการที่ท้าทายและที่มีความสำคัญมาก การควบคุมโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมและสถานที่ที่มีความซับซ้อนในการใช้งาน การรักษาความปลอดภัยและคุณภาพของระบบเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง

ภาพที่ 44 การประกอบงานไฟฟ้าและระบบควบคุม

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU



ภาพที่ 45 ภาพที่ออกแบบวงจรควบคุม

ในการออกแบบวงจรควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชนั้นทางผู้วิจัยได้ใช้ซอฟแวร์และออกแบบตามหลักวิศวกรรม ทั้งด้านความปลอดภัยและมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์สามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด และง่ายต่อการใช้งานซ่อมบำรุง

ภาพที่ 46 การประกอบมอเตอร์ไฟฟ้าเข้ากับชุดเกียร์

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

การประกอบมอเตอร์ไฟฟ้าเข้ากับชุดเกียร์เป็นกระบวนการที่ค่อนข้างท้าทายและที่สำคัญในการสร้างเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ต้องการการหมุนหรือขับเคลื่อน กระบวนการนี้มักประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ การเตรียมมอเตอร์และชุดเกียร์ เริ่มต้นด้วยการเตรียมมอเตอร์ไฟฟ้าและชุดเกียร์ที่จะถูกประกอบ ขั้นตอนที่จะประกอบมอเตอร์และชุดเกียร์เข้าด้วยกัน การทำงานนี้อาจรวมการติดตั้งขายึดหรือระบบอื่น ๆ การทดสอบและปรับแต่งหลังจากประกอบเสร็จควรทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบว่ามอเตอร์และชุดเกียร์ทำงานอย่างถูกต้อง อาจจำเป็นต้องปรับแต่งการทำงานของมอเตอร์หรือชุดเกียร์ให้ตรงกับความต้องการ การประกอบมอเตอร์และชุดเกียร์ต้องทำอย่างรอบคอบและพิถีพิถันเพื่อให้เครื่องจักรทำงานอย่างถูกต้องและปลอดภัย การประกอบด้วยการติดตั้งและปรับแต่งมอเตอร์และชุดเกียร์อย่างถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้มอเตอร์ทำงานที่สูงสุดและเสถียรในการใช้งาน

3.2.3 การอัปโหลดซอฟต์แวร์

การอัปโหลดซอฟต์แวร์เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นกระบวนการที่ใช้ภาษาวิชาการที่ค่อนข้างซับซ้อน เป็นกระบวนการที่เริ่มต้นจากการเขียนและคอมไพล์ซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างไฟล์ที่พร้อมใช้ เช่น.hex แล้วนำไฟล์นี้มาอัปโหลดลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ กระบวนการนี้สามารถทำได้ผ่านช่องสื่อสารเช่น USB, UART หรืออินเตอร์เน็ตแบบไร้สาย ขั้นตอนนี้มักใช้ร่วมกับเครื่องมือพัฒนาซอฟต์แวร์ (IDE) ที่มาพร้อมกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือบอร์ดที่ใช้ การอัปโหลดซอฟต์แวร์เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับโปรเจกต์ต่าง ๆ ที่เราสร้างและพัฒนาขึ้น

ภาพที่ 47 การ upload software เข้าไมโครคอนโทลเลอร์

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

3.2.4 การสร้างฟอร์มใน Visual Studio

ใน Visual Studio ด้วยภาษาวิชาการนั้นเป็นกระบวนการที่ทำให้ สร้างหน้าต่างและอินเตอร์เฟซผู้ใช้สำหรับแอปพลิเคชัน นี่คือขั้นตอนสำคัญสร้างโปรเจกต์ใหม่ เริ่มต้นโดยสร้างโปรเจกต์ใหม่ใน Visual Studio โดยเลือกประเภทของโปรเจกต์ เช่น Windows Forms App NET Framework หรือ Windows App NET Core เลือกชนิดของโปรเจกต์ที่ตรงกับแอปพลิเคชัน เพิ่มฟอร์มในโปรเจกต์ใหม่สามารถเพิ่มฟอร์มได้โดยใช้เมนูหรือเครื่องมือที่มีใน Visual Studio เลือกเมนู "Add" แล้วเลือก "Windows Form" หรือ "WPF Window" ตามประเภทของโปรเจกต์ ออกแบบฟอร์มเมื่อเพิ่มฟอร์มจะได้รับหน้าต่างออกแบบที่สามารถปรับแต่งตามความต้องการของ สามารถเพิ่มคอนโทรล เช่น ปุ่ม กล่องข้อความ หรือแถบเครื่องมือเพื่อสร้างอินเตอร์เฟซที่ต้องการ โค้ดการประมวลผลหลังจากที่ออกแบบฟอร์มเสร็จจะต้องเขียนโค้ดเพื่อประมวลผลข้อมูลหรือการกระทำที่ผู้ใช้จะทำบนฟอร์มทดสอบและปรับแต่ง หลังจากเสร็จสิ้นการเพิ่มคอนโทรลและโค้ดควรทดสอบแอปพลิเคชัน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและปรับแต่งตามความต้องการคอมไพล์ เมื่อเชื่อมโยงโค้ดและฟอร์มเสร็จสิ้น ควรคอมไพล์โปรเจกต์เพื่อสร้างไฟล์ประยุกต์ที่สามารถรันได้ (exe) หรือไฟล์ติดตั้ง ติดตั้งและใช้งาน จากนั้น นำไฟล์ประยุกต์ที่สร้างขึ้นมาติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่ต้องการใช้งาน และใช้งานแอปพลิเคชัน กระบวนการนี้ช่วยให้สร้างแอปพลิเคชันที่มีหน้าต่างและอินเตอร์เฟซผู้ใช้ตามความต้องการของเรา

ภาพที่ 48 การทำ form แสดงผลและปรับค่า

VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
13467023

ในการปรับตั้งค่าให้กดที่ตัวเลขด้านข้างของหน้าจอ โดยกำหนดค่าระยะห่างที่เราต้องการ แล้วกดปุ่ม OK เครื่องก็จะสั่งงานให้ระยะห่างของการหยอดแต่ละหลุมปรับเปลี่ยนไปตามค่าที่เรากำหนดและจะแสดงความเร็วของรถแทรกเตอร์เป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้หน้าจอยังแสดงจำนวนร้อยละของเมล็ดพันธุ์และปุ๋ยที่เหลือในกล่อง และไฟบอกสถานการณ์ทำงานของเครื่องว่าเครื่องพร้อมทำงานหรือไม่ ถ้าพร้อมไฟจะขึ้นสีเขียว เมล็ดพันธุ์และปุ๋ยถ้าเหลือน้อยหรือหมดก็จะแสดงไฟเตือนสีแดง เช่นกัน

3.2.5 การเขียน Code

Code นี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วย PID controller ที่ใช้ตัวควบคุม PWM เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โดยรับคำสั่งจาก Visual Studio ผ่านพอร์ต COM1 และคำนวณค่า PWM สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้สอดคลองกับค่าที่กำหนดไว้ (set_speed) โดยใช้หลักการ PID (Proportional-Integral-Derivative) controller ยิ่งไปกว่านั้น code นี้ยังสามารถคำนวณความเร็วปัจจุบันของมอเตอร์ (pv speed) และส่งข้อมูลกลับไปยัง Visual Studio เพื่อแสดงผลการควบคุมมอเตอร์เริ่มหรือหยุดผ่านคำสั่งจาก Visual Studio และสามารถปรับค่าได้ตามต้องการ และ code ยังใช้ timer ในการคำนวณความเร็วของมอเตอร์ทุก 0.1 วินาที

ภาพที่ 49 การการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

3.2.6 การประกอบเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชเข้ากับรถไถ

การประกอบเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชเข้ากับรถไถเป็นกระบวนการที่เริ่มต้นด้วยการวางแผนและการออกแบบรวมถึงการเก็บอะไหล่และวัสดุที่จะใช้ในการประกอบเสริมด้วยขั้นตอนการเชื่อมต่อโครงสร้างหลักของเครื่อง การติดตั้งอะไหล่ที่ทำหน้าที่ในกระบวนการหยอดเมล็ดและการติดตั้งระบบไฟฟ้าและระบบควบคุม หลังจากการประกอบเสร็จสิ้น ครั้งถัดไปคือการทดสอบและปรับแต่งเครื่อง ตามด้วยการติดตั้งบนรถไถและทดสอบในสภาพการทำงานจริงโดยสุดท้ายคือการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงระบบเพื่อให้เครื่องทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ

ภาพที่ 50 การประกอบเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชเข้ากับรถไถ

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยและทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยการทำงานเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ เป็นการออกแบบการทดลองโดยกำหนดการทำงานของเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ เป็นการควบคุมวงจรแบบปิด โดยมีตัวเซนเซอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานในแต่ละขั้นตอนจะมีการเก็บและบันทึกข้อมูลการทำงานของเครื่อง โดยการใช้ตลับเมตรวัดระยะในการหยอดเมล็ดธัญพืช เปรียบเทียบระยะห่างที่ได้ในแต่ละความเร็วของรถ เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป

VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
13467023

ตารางที่ 5 แบบฟอร์มเก็บข้อมูลระยะห่างของการหยอดเมล็ดธัญพืช

ครั้งที่	ระยะหยอดเมล็ดพันธุ์ เซนติเมตร)					
	40	50	60	70	80	90
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ตารางที่ 6 แบบฟอร์มเก็บข้อมูลจำนวนการหยอดเมล็ดธัญพืช

ครั้งที่	จำนวนเมล็ดพันธุ์ ตะแกรง A)					
	40	50	60	70	80	90
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ จะเป็นการศึกษาการวิจัยเชิงปฏิบัติการ โดยจะใช้เครื่องมือในการวิจัยประกอบด้วย เครื่องมือวัดความเร็วของรถไถ เครื่องมือวัดระยะห่าง หรือ ช่วงระหว่างต้นของเมล็ดธัญพืช บันทึกลงตาราง เพื่อทำการสรุปผล การเก็บรวบรวมข้อมูลจากตารางการทดสอบเป็นกระบวนการที่เริ่มต้นด้วยการเตรียมความพร้อมและอุปกรณ์ที่จำเป็น เพื่อการจดบันทึกข้อมูลที่ถูกต้อง หมายความถึงวิธีที่ข้อมูลนำมาเรียงลำดับหรือจัดการโดยใช้เทคนิคและเครื่องมือที่เหมาะสม รวมถึงการวางแผนวิธีเก็บข้อมูล เลือกวิธีในการบันทึกข้อมูล และทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ถูกบันทึก ความสำคัญของการเก็บรวบรวมข้อมูลอยู่ในการสร้างฐานข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ รายงาน และการตัดสินใจ กระบวนการนี้ที่ดีและระมัดระวังจะช่วยให้สามารถดึงข้อมูลที่จำเป็นออกมาอย่างรวดเร็วและสามารถนำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่มีประสิทธิภาพแก่ผู้ใช้หรือผู้วิจัยที่จำเป็น ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากตารางการทดสอบต้องใช้เทคนิคการเขียนบันทึกข้อมูลวิธีตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และการจัดเก็บข้อมูลในระบบที่สามารถเรียกใช้และค้นหาข้อมูลได้ง่าย และปกป้องข้อมูลที่อยู่ในระบบอย่างปลอดภัย การใช้เครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น ฐานข้อมูล อุปกรณ์การบันทึกข้อมูล และโปรแกรมการบันทึกข้อมูล มีบทบาทสำคัญในกระบวนการนี้ การพิจารณาเรื่องความปลอดภัยของข้อมูลและความเป็นส่วนตัวก็เป็นข้อสำคัญเพื่อปกป้องข้อมูลที่เก็บรวบรวมในระบบ รวบรวมข้อมูลจากตารางการทดสอบคือกระบวนการของการจัดเก็บข้อมูลที่ถูกต้องและเรียบร้อย เพื่อให้สามารถนำข้อมูลนั้นไปใช้งานในอนาคตให้อย่างมีประสิทธิภาพและมีคุณค่า

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการทดลองที่มีการใช้เครื่องมือเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งได้นำค่าที่บันทึกลงในแบบบันทึกผลการทดลองมาหาค่าทางสถิติและนำมาเขียนสรุปเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพและประสิทธิภาพ โดยเขียนสรุปในรูปแบบของความถี่และร้อยละ เพื่อนำเสนอผลที่ได้จากการวิจัยทดลอง

3.5.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ในรูปของความถี่และร้อยละ ของความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและจำนวนของเมล็ดพันธุ์ที่กำหนดไว้

3.5.2 วิเคราะห์ประสิทธิผลของเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถในรูปแบบความถี่และร้อยละของความสัมพันธ์ระหว่างการความเร็วของรถไถกับระยะห่างของการหยอดจากการตั้งค่าในโปรแกรม

1346770235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

3.5.3 ความเรียบเรียงข้อมูล ในบางกรณีข้อมูลอาจต้องถูกจัดเรียงใหม่เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ หรือให้มีรูปแบบที่เหมาะสม

3.5.4 การวิเคราะห์ คือ ขั้นตอนที่คุณจะใช้เทคนิคและเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อเปลี่ยนข้อมูลเป็นข้อมูลที่มีความหมาย และสร้างข้อมูลที่มีคุณค่า วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลอาจรวมถึงการคำนวณสถิติ การสร้างกราฟ การค้นหาความสัมพันธ์ การสร้างแบบจำลอง หรือวิธีการอื่น ๆ

3.5.5 อภิปรายข้อมูล ควรอธิบายผลการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบที่ทำให้ผู้อื่นเข้าใจ โดยใช้ภาษาวิชาการและกราฟหรือแผนภาพ ควรเน้นผลลัพธ์ที่สำคัญและคำสรุปหรือข้อเสนอแนะถ้าจำเป็น

3.5.6 การนำไปใช้ ข้อมูลที่ถูกวิเคราะห์จะนำไปใช้ในการตัดสินใจ การวางแผน การแก้ปัญหา หรือการปรับเปลี่ยนทางการดำเนินงาน

การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นกระบวนการที่ทราบข้อมูลและนำมาใช้ในการสร้างความเข้าใจและคุณค่า โดยไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติการวิเคราะห์ข้อมูลทางธุรกิจ การวิเคราะห์ข้อมูลทางเทคโนโลยี หรือการวิเคราะห์ข้อมูลอื่น ๆ การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นส่วนสำคัญของการบริหารจัดการและการตัดสินใจในองค์กรและหลาย ๆ ด้าน

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบกลไกและระบบควบคุมสำหรับเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ และออกแบบระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ โดยผู้วิจัยได้ทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถในพื้นที่แปลงปลูกของผู้วิจัยเอง ซึ่งตั้งอยู่ที่ บ้านเลขที่ 169 หมู่ 9 หมูบ้านหนองเสาเล้า ตำบลหนองเสาเล้า อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ซึ่งทางผู้วิจัยได้เห็นว่ามีความเหมาะสม และมีความสะดวกในการทำงานวิจัยและเก็บผลการวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งในพื้นที่ใกล้เคียงนั้น มีเกษตรกรที่ทำการเพาะปลูกพืชชนิดเดียวกันนี้เป็นจำนวนมาก ซึ่งเกษตรกรในบริเวณใกล้เคียงได้ให้ความสนใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้ด้วย ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลนี้จะนำไปสู่การพัฒนาเพื่อก่อให้เกิดนวัตกรรมสำหรับเกษตรในยุคปัจจุบัน

โดยการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบกลไกเครื่องหลอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ และการออกแบบระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถมาใช้กับการเพาะปลูกในแปลงเพาะปลูกจริง เพื่อเป็นการใช้พื้นการเกษตรจริง จึงส่งผลทำให้ได้ผลการวิจัยออกมาแม่นยำและสามารถนำไปวิเคราะห์และใช้งานได้จริง โดยการนำเครื่องหลอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ที่ได้ทำการออกแบบและประกอบขึ้นมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เข้ามาทดลองใช้แปลงปลูกเพื่อทำการทดสอบระบบกลไกที่ได้ออกแบบไว้ และทดลองระบบควบคุมทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบกลไก และระบบที่ควบคุมด้วย PID ว่าสามารถทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดีหรือไม่และทำการเก็บผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้ตามวัตถุประสงค์ของการทำวิจัยในครั้งนี้ คือการศึกษาการออกแบบโครงสร้างของรถไถและพัฒนากลไกเครื่องหยอดให้สามารถนำไปใช้ได้กับรถไถส่วนใหญ่ ทั้งนี้ได้มีการออกแบบระบบควบคุมให้การหยอดเมล็ดพันธุ์มีความแม่นยำต่อการหยอดและมีประสิทธิผลต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์ธัญพืชที่นำมาทดสอบในที่นี้คือเมล็ดข้าวโพด

GRAD VRU

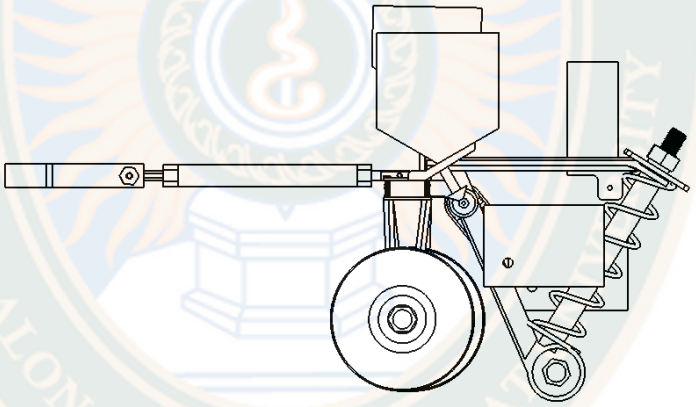
1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

4.1 ผลการวิเคราะห์การออกแบบกลไกเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

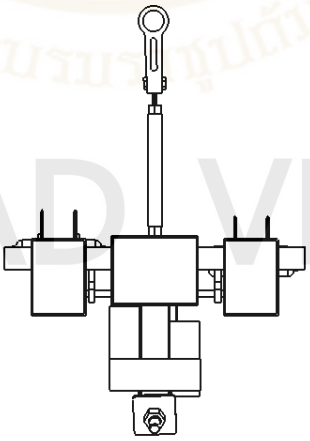
ผู้วิจัยได้แบ่งการวิจัยในในการออกแบบกลไกเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ ออกเป็น 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1.1 การออกแบบในรูปแบบ 2 มิติ (2D design)

การออกแบบ 2 มิติหรือ 2D design คือกระบวนการสร้างภาพหรือรูปแบบบนระนาบ 2 มิติ โดยใช้ความสัมพันธ์ของความยาวและความกว้าง เราสามารถเขียนหรือสร้างรูปภาพที่ประกอบด้วยเส้นตรง เส้นโค้ง รูปร่างต่าง ๆ และข้อความ เพื่อแสดงความคิดเรื่องการออกแบบหรือแผนการทำงานของสิ่งต่าง ๆ โดยไม่ได้พิจารณาถึงความลึกของวัตถุ 2D



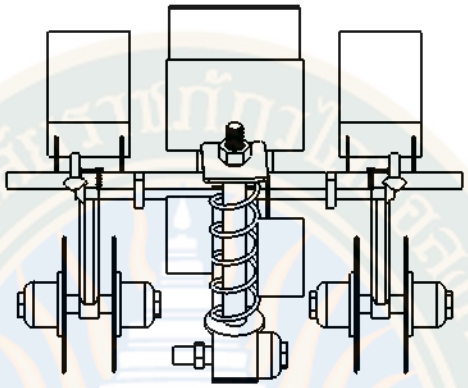
ภาพที่ 51 การออกแบบ 2D Side view



ภาพที่ 52 การออกแบบ 2D Top view

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU



ภาพที่ 53 การออกแบบ 2D Front view

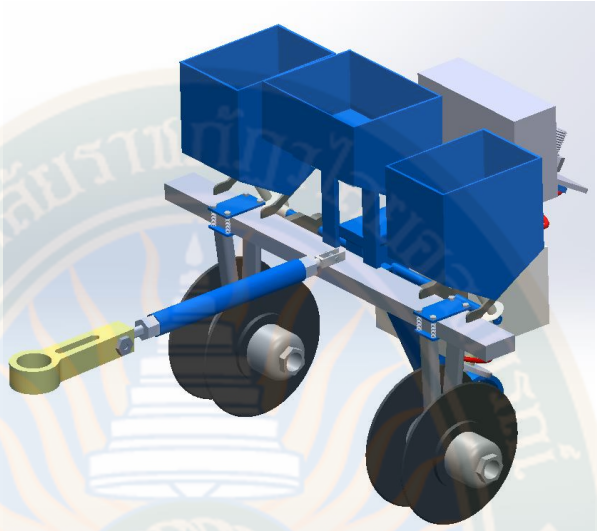
การออกแบบ 2D design ใช้เครื่องมือแบบคอมพิวเตอร์ เช่น โปรแกรมกราฟิก (เช่น Adobe Illustrator, CorelDRAW) หรือโปรแกรม CAD (Computer-Aided Design) เพื่อสร้างและแก้ไขภาพ รูปภาพ และการ์ตูน การออกแบบ 2 มิติเป็นส่วนสำคัญในการสร้างสื่อและสินค้าที่มีความสวยงามและเป็นเอกลักษณ์ที่มีคุณค่าในแวดวงอุตสาหกรรมและการออกแบบ ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม GstarCAD 2017

4.1.2 การออกแบบในรูปแบบ 3 มิติ (3D design)

4.1.2.1 การออกแบบในรูปแบบ 3 มิติ (3D design) คือกระบวนการสร้างและแสดงรูปภาพ แบบโมเดล หรือวัตถุต่าง ๆ ในระนาบ 3 มิติ โดยที่เราสามารถรับรู้ความลึกและมุมมองที่เปลี่ยนไปได้ 3D design สร้างภาพที่มีความคล้ายคลึงกับวัตถุจริงขึ้นมา ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญในอุตสาหกรรมออกแบบและผลิตสินค้า

GRAD VRU

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70



ภาพที่ 54 การออกแบบ 3D หรือการออกแบบ 3 มิติ

สำหรับเครื่องมือที่สำคัญในการออกแบบ 3D รวมถึงซอฟต์แวร์ออกแบบ 3D เช่น Autodesk AutoCAD, Autodesk Maya, Blender, 3ds Max, SolidWorks, Rhinoceros และอื่น ๆ ที่ช่วยให้นักออกแบบสร้างและแก้ไขโมเดล 3D ได้อย่างชำนาญและเชี่ยวชาญ นำไปสู่การออกแบบและผลิตผลงานที่สมจริงและมีคุณค่าสูงในหลายอุตสาหกรรมและงานอาชีพต่าง ๆ การออกแบบในรูปแบบ 3 มิติ มีความสำคัญในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการสร้างภาพยนตร์ โฆษณา การแพทย์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นต้น นอกจากนั้นยังสามารถใช้ซอฟต์แวร์การออกแบบ 3D เพื่อสร้างและแก้ไขโมเดล 3D ตามความต้องการของงาน และโปรเจกต์ที่ดำเนินการอยู่ สำหรับซอฟต์แวร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น Autodesk Maya, Blender, 3ds Max, Rhino, SolidWorks, Cinema 4D, ZBrush, และอื่น ๆ ซึ่งมีความสามารถและเครื่องมือที่หลากหลายสำหรับการออกแบบ 3D ในหลายระดับความซับซ้อน ทั้งนี้ ในการทำการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Solidworks 2019

4.1.2.2 ขั้นตอนและองค์ประกอบสำคัญในการออกแบบในรูปแบบ 3 มิติ

1) การสร้างโมเดล คุณสร้างโมเดล 3D โดยใช้เครื่องมือเช่น การสร้างเส้นขอบของวัตถุ (การวาดเส้นขอบ หรือการสร้างเม็ชริก) การดึงเส้นขอบ 3D (Extrusion) การสร้างหน้า (Face) การรวมเฟซ (Face merging) และการปรับแต่งโมเดลให้เป็นไปตามความต้องการ

2) การเปลี่ยนรูปแบบ สามารถปรับแต่งรูปร่างและขนาดของวัตถุ หรือเพิ่มรายละเอียดเข้าไปในโมเดล 3D ได้โดยใช้คำสั่ง เช่น การยืด (Scaling) การหมุน (Rotation) และการแปลงรูป (Deformation)

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

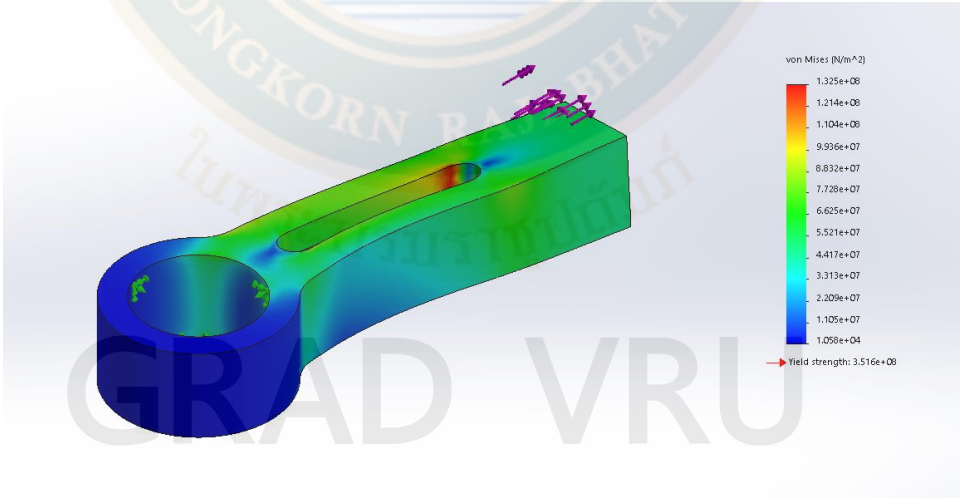
3) การจัดวางและการระบายสี หลังจากสร้างโมเดล จะวางวัตถุในพื้นที่ 3 มิติ และกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ คุณย่อหรือขยายวัตถุ และจัดเรียงภาพหรือสิ่งของในฉาก การระบายสีและการกำหนดวัสดุ (Material) เป็นส่วนสำคัญในการทำให้โมเดลมีลักษณะเหมือนจริง

4) การสร้างการแสดงผลแบบสำเร็จรูป (Rendering) เมื่อโมเดล 3D พร้อม และถูกจัดวางตามที่ต้องการ คุณสามารถสร้างรูปภาพสำเร็จรูปจากโมเดล 3D โดยใช้การแสดงผล (Rendering) เพื่อสร้างรูปที่มีการแสดงผลแสงและเงา และทำให้ดูเหมือนจริง

5) การนำเสนอและแชร์การออกแบบในรูปแบบ 3 มิติ สามารถนำไปใช้ในการสร้างภาพนิ่ง อนิเมชัน วิดีโอ หรือรูปแบบ 3D อื่น ๆ โดยสามารถนำเสนอผลงานหรือแชร์ให้คนอื่นเห็น

4.1.3 การรวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างด้วยวิธี Finite element

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง ด้วยวิธี Finite Element Analysis (FEA) เป็นกระบวนการทางวิศวกรรมที่ใช้เทคนิคการคำนวณคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์และทดสอบความแข็งแรงและประสิทธิภาพของโครงสร้างต่าง ๆ โดยการแบ่งโครงสร้างออกเป็นส่วนย่อย ๆ ที่เรียกว่า "จุดปลายของธาตุ" หรือ "Finite Elements" และคำนวณพฤติกรรมของแต่ละจุดปลายธาตุในตอนท้ายของการประมวลผล



ภาพที่ 55 การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วย finite night element

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

กระบวนการ FEA มักถูกใช้ในการทดสอบและคำนวณความสามารถของโครงสร้างต่าง ๆ ที่เป็นวัสดุที่เป็นคอมโพไลต์ หรือมีทรงร่างที่ซับซ้อน โดยการแยกโครงสร้างออกเป็นส่วนย่อย ๆ และคำนวณค่าของแรงกดและแรงยืดหยุ่น การแพร่กระจายความร้อน และค่าความแข็งแรงอื่น ๆ ที่สำคัญ ข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์ในการวิเคราะห์สภาพความแข็งแรงและการทนทานของโครงสร้างในสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น ในการออกแบบและทดสอบโครงสร้างสำหรับงานก่อสร้าง การออกแบบยานพาหนะ การวิเคราะห์โครงสร้างของเครื่องจักร และอื่น ๆ

4.1.3.1 กระบวนการ FEA นั้นมีขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) แบ่งโครงสร้าง โครงสร้างถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อย ๆ ที่เรียกว่า Finite Elements (ธาตุจำนวนจำกัด) โดยทั่วไปแล้วจะใช้ส่วนย่อยที่มีรูปร่างเรขาคณิต เช่น สี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยม

2) กำหนดเงื่อนไขขอบเขต ระบุเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา เช่น การใช้แรงกดหรือแรงยืดหยุ่นในจุดปลายของธาตุ รวมถึงการกำหนดขอบเขตของการรับแรงและการแพร่กระจายความร้อน

3) การคำนวณ จะทำการคำนวณค่าแรงและ moment ที่กระทำต่อจุดปลายธาตุในแต่ละตำแหน่งของโครงสร้าง โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์และวิศวกรรม

4) การวิเคราะห์ ค่าที่คำนวณได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงและประสิทธิภาพของโครงสร้างโดยใช้หลักการวิเคราะห์การกำเนิดแรงและการเคลื่อนที่ในโครงสร้าง

5) การแสดงผล ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ FEA นั้นถูกแสดงผลในรูปแบบกราฟิกหรือแผนภาพ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจและปรับปรุงโครงสร้างตามความต้องการ

FEA เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างในสถานการณ์ที่มีความซับซ้อน และช่วยลดเวลา และค่าใช้จ่ายในกระบวนการวิศวกรรม รวมทั้งการออกแบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยที่ยังคงรักษาความปลอดภัยและประสิทธิภาพของโครงสร้างไว้ได้ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Solidworks 2019

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

4.2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

ผู้วิจัยได้เลือกใช้ภาษาในการเขียน Code ของระบบควบคุมเครื่องหลอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถเป็นภาษา C++ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เป็นฮาร์ดแวร์ในการวิจัย โดยแบ่งการวิจัยในการออกแบบระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

4.2.1 การออกแบบ Flow chart การทำงานของโปรแกรม

Flowchart (แผนภาพการไหล) คือ เทคนิคการแสดงแผนการทำงานของโปรแกรมหรือกระบวนการในรูปแบบของแผนภาพที่มีรูปร่างเป็นกล่องและลูกศรเชื่อมโยงกัน เพื่อใช้ในการอธิบายและแสดงขั้นตอนการทำงานในลำดับตามลำดับ โดยที่แต่ละกล่องแทนขั้นตอนหรือการกระทำที่ต้องทำ และลูกศรจะบ่งบอกถึงการไหลของข้อมูลหรือการควบคุมระหว่างขั้นตอน โดยขั้นตอนการออกแบบ Flowchart การทำงานของโปรแกรมดังนี้

4.2.1.1 กำหนดการเริ่มต้น กำหนดขั้นตอนแรกของการทำงานในโปรแกรม โดยใช้รูปร่างแบบวงกลมหรือสี่เหลี่ยมรูปปกติ และเขียนคำว่า "เริ่มต้น" ในกล่องนี้

4.2.1.2 เพิ่มขั้นตอนหรือการกระทำ เพิ่มกล่องอื่น ๆ ใน Flowchart เพื่อแทนขั้นตอนหรือการกระทำต่าง ๆ ในโปรแกรม แต่ละกล่องควรมีคำอธิบายขั้นตอนที่ต้องทำ และสามารถใช้รูปร่างแบบวงกลมหรือสี่เหลี่ยมตามความเหมาะสม

4.2.1.3 เชื่อมโยงขั้นตอน ใช้ลูกศรเพื่อเชื่อมโยงกล่องแต่ละกล่องเข้าด้วยกัน โดยลูกศรจะบ่งบอกถึงลำดับของการทำงาน ว่าขั้นตอนใดต้องทำก่อนขั้นตอนใด

4.2.1.4 เพิ่มเงื่อนไขและการตัดสินใจ ในกรณีที่โปรแกรมต้องตัดสินใจหรือทำงานตามเงื่อนไขใด ๆ ให้เพิ่มกล่องเงื่อนไข (Decision) และเชื่อมโยงกับขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง ในกล่องเงื่อนไข ควรระบุเงื่อนไขที่ต้องตรวจสอบ เช่น "ถ้า x > 10 ให้ทำ A ถ้าไม่ใช่ ให้ทำ B" และสร้างลูกศรที่ชี้ไปยังขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับแต่ละสาขาการตัดสินใจ

4.2.1.5 สิ้นสุดขั้นตอน เพิ่มกล่องสิ้นสุด (End) เพื่อแสดงว่าการทำงานของโปรแกรมลงท้ายที่นี่ และลูกศรจะหยุดที่กล่องนี้

4.2.1.6 เพิ่มคำอธิบายและหมายเหตุ คำอธิบายเพิ่มเติมหรือหมายเหตุเป็นส่วนสำคัญในการอธิบายรายละเอียดหรือข้อมูลเพิ่มเติมที่ต้องการให้ผู้อื่นเข้าใจเกี่ยวกับ Flowchart หรือการทำงานของโปรแกรม

4.2.1.7 ตรวจสอบและปรับปรุง หลังจากที่สร้าง Flowchart เสร็จสิ้น ควรตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของขั้นตอน และทำการปรับปรุงตามความต้องการและความเหมาะสม

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

Flowchart เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการวางแผนและอธิบายการทำงานของโปรแกรมหรือกระบวนการ มันช่วยให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเข้าใจและทำงานได้อย่างมีระเบียบและแม่นยำ

4.2.2 การเขียนภาษา C++

การเขียนภาษา C++ เป็นการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษาโปรแกรม C++ ซึ่งเป็นภาษาโปรแกรมที่มีความกว้างขวางและมีประสิทธิภาพในการพัฒนาแอปพลิเคชันและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ นี่คือขั้นตอนหลักในการเขียนภาษา C++

ในการสร้างโปรแกรม ควรใช้โปรแกรมบรรทัดคำสั่ง (text editor) เช่น Visual Studio Code, Dev-C++, Code::Blocks หรือ IDE (Integrated Development Environment) ที่รองรับภาษา C++ เพื่อเขียนโค้ด ส่วนโปรแกรม C++ ทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนหัว (header) และส่วนโค้ด (code) โดยส่วนหัวมักมีการเรียกใช้ไลบรารี (libraries) และประกาศตัวแปรและฟังก์ชันการเขียนโค้ด ในส่วนของโค้ดสามารถเขียนคำสั่งที่ระบุการทำงานของโปรแกรม ตัวอย่าง เช่น

```
#include <iostream>

int main()

[

// แสดงข้อความบนหน้าจอ

std::cout << "Hello, World!" << std::endl;

// คืนค่า 0 เพื่อบอกว่าโปรแกรมทำงานสมบูรณ์

return 0;

]
```

ในตัวอย่างนี้ จะใช้ #include เพื่อเรียกใช้ไลบรารี iostream เพื่อใช้งานฟังก์ชัน cout เพื่อแสดงข้อความ "Hello, World!" บนหน้าจอ

GRAD VRU

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

การคอมไพล์และการรัน เมื่อเขียนโค้ดเรียบร้อยแล้วต้องคอมไพล์ (compile) โปรแกรมเพื่อแปลงโค้ดภาษา C++ ให้เป็นภาษาที่เครื่องคอมพิวเตอร์เข้าใจ ซึ่งสามารถใช้คอมไพเลอร์ (compiler) เช่น g++, Visual C++, หรือ Clang ในการทำงานนี้ หลังจากคอมไพล์เสร็จสิ้นจะสามารถรัน (run) โปรแกรมเพื่อดูผลลัพธ์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

จากนั้นทำการตรวจสอบและแก้ไข หากโปรแกรมมีข้อผิดพลาดหรือไม่ทำงานถูกต้องจะต้องตรวจสอบและแก้ไขโค้ดเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างถูกต้อง การใช้ Debugger จะช่วยในการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของโค้ด การเรียนรู้เพิ่มเติม C++ เป็นภาษาที่มีความซับซ้อนมาก สามารถเรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับภาษา C++ โดยอ่านหนังสือ บทเรียนออนไลน์ หรือดูคอร์สออนไลน์เพื่อพัฒนาทักษะการเขียนโปรแกรม C++ เพื่อให้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

การเขียนภาษา C++ เป็นกระบวนการที่ท้าทายและที่มีประสิทธิภาพสำหรับพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยมีความสามารถในการควบคุมการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างละเอียด และมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายอุตสาหกรรม เช่น การพัฒนาซอฟต์แวร์ การเขียนเกมส์ การควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอื่น ๆ นอกจากนี้ การเขียน C++ ยังเป็นพื้นฐานที่ดีสำหรับการเรียนรู้ภาษาโปรแกรมอื่น ๆ ด้วย

4.2.3 การทดสอบ code ในห้องทดลอง

ผู้วิจัยใช้โปรแกรมและเครื่องมือในห้องทดลองเพื่อหาค่าที่ถูกต้องการทดสอบโค้ด (code testing) เป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของโปรแกรม และมีหลายวิธีในการทดสอบโค้ด การทดสอบที่ดีจะช่วยให้พบและแก้ไขข้อผิดพลาดในโค้ดอย่างรวดเร็วและมั่นใจในประสิทธิภาพของโปรแกรม โดยมีขั้นตอน ดังนี้

4.2.3.1 หน่วยทดสอบ (Unit Testing) นี่คือการทดสอบโค้ดที่ระดับย่อยที่สุด โดยการทดสอบแต่ละฟังก์ชันหรือคลาสในโปรแกรมเพื่อตรวจสอบว่าพวกมันทำงานถูกต้องหรือไม่ สามารถใช้เฟรมเวิร์ก (framework) สำหรับการทดสอบเช่น Google Test, Catch2, หรือ Boost Test เพื่อเขียนทดสอบเป็นรูปแบบของโค้ด

4.2.3.2 การทดสอบอินทิเกรชัน (Integration Testing) การทดสอบว่าส่วนย่อยของโปรแกรมทำงานร่วมกันได้อย่างถูกต้อง โดยการทดสอบการติดต่อระหว่างคลาสหรือส่วนประกอบต่าง ๆ ในโปรแกรม

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

4.2.3.3 การทดสอบระบบ (System Testing) การทดสอบโปรแกรมในระดับระบบก็เพื่อตรวจสอบว่าโปรแกรมทำงานถูกต้องในสภาพแวดล้อมและการใช้งานจริง การทดสอบระบบนี้เป็นการทดสอบระดับสูงที่ครอบคลุมการทำงานของโปรแกรมในรูปแบบของระบบ

4.2.3.4 การทดสอบออโตเมชัน (Automation Testing) การใช้เครื่องมือและสคริปต์เพื่อทำการทดสอบโดยอัตโนมัติ การทดสอบออโตเมชันช่วยลดเวลาในการทดสอบและครอบคลุมการทดสอบได้มากขึ้น

4.2.3.5 การทดสอบการประสิทธิภาพ (Performance Testing) การทดสอบเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม เช่นการทดสอบประสิทธิภาพในการประมวลผลหรือการใช้งานที่มีฐานข้อมูล

4.2.3.6 การทดสอบความปลอดภัย (Security Testing) การทดสอบเพื่อค้นหาช่องโหว่ความปลอดภัยในโปรแกรม โดยการทดสอบการรังวัดการรังวัด เช่น การแฮกหรือการสร้างอุบัติเหตุความปลอดภัย

4.2.3.7 การทดสอบการใช้งาน (Usability Testing) การทดสอบประสิทธิภาพและความง่ายในการใช้งานของโปรแกรม โดยการทดสอบกับผู้ใช้จริงหรือผู้ทดสอบที่มีประสบการณ์ในการใช้งาน

การทดสอบโค้ดนั้น เป็นกระบวนการที่ต้องทำอย่างสม่ำเสมอและระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าโปรแกรมของจะสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย การใช้เครื่องมือการทดสอบและการเขียนทดสอบเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์และเป็นทักษะสำคัญสำหรับนักพัฒนาโปรแกรมต่อไป

1346702351 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ในการเก็บผลการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เก็บผลการวิจัยบันทึกลงตาราง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 7 แบบบันทึกการทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอดผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์และ โปรแกรมภาษา C++ ครั้งที่ 1 วันจันทร์

ครั้งที่	ระยะหยอดเมล็ดพันธุ์ (เซนติเมตร)					
	40	50	60	70	80	90
1	40.1	49.5	59.5	71.0	79.7	86.4
2	40.8	50.3	61.2	70.2	80.5	82.3
3	40.4	51.1	60.8	69.8	81.1	88.0
4	40.0	50.9	60.0	70.7	80.8	83.6
5	41.3	51.3	61.3	70.9	80.2	88.7
6	41.2	50.1	59.8	71.3	81.4	88.4
7	40.6	50.8	59.6	69.7	81.0	88.2
8	41.0	51.4	61.0	71.2	81.5	82.7
9	40.2	51.2	60.2	69.9	79.8	89.5
10	39.9	50.6	61.5	70.4	80.0	89.0
11	41.1	50.2	60.3	70.3	81.3	88.8
12	40.9	51.5	60.9	70.6	80.4	85.9
13	40.3	50.7	61.4	70.0	80.9	82.9
14	40.5	50.5	60.4	70.5	81.2	85.4
15	41.4	49.9	60.1	71.4	79.6	87.9
16	39.5	49.8	59.7	69.6	80.1	89.4
17	40.0	50.4	60.7	69.5	81.4	82.5
18	41.4	51.0	61.1	71.1	80.3	85.7
19	40.7	51.4	60.6	70.1	79.5	83.8
20	41.1	50.0	60.5	71.5	80.7	86.3
21	41.5	49.7	59.9	70.8	81.0	83.0
22	40.6	49.6	61.2	71.2	79.9	86.8
23	40.1	50.8	60.3	70.6	80.6	83.3
24	41.2	50.3	60.0	70.3	81.1	90.3

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ครั้งที่	ระยะหยอดเมล็ดพันธุ์ (เซนติเมตร)					
	40	50	60	70	80	90
25	40.4	50.8	60.5	69.7	81.1	90.2
26	40.6	50.4	59.8	70.1	80.7	90.7
27	40.7	50	59.6	70.8	80.4	90.1
28	40.2	50.9	60.9	70.7	79.7	90.6
29	40.9	50.7	60.8	70.3	79.8	91.2
30	40.3	50.1	60.3	69.6	80.9	90.4
31	40.8	50.3	60.4	70.4	80.1	90
32	40.5	50.6	59.7	69.5	79.4	90.9
33	40.4	50.2	59.5	70	79.2	90.3
34	40.1	50.8	60.1	70.5	79.9	91.1
35	40.6	50.5	60	69.9	79.3	90.8
36	40.2	50.4	60.6	70.6	79.5	90.5
37	40.7	50.7	59.9	70.2	81	91.3
38	40.9	50.9	60.2	70.1	80	90.2
39	40.3	50	60.5	70.7	80.6	91
40	40.8	50.1	59.8	70.8	80.2	91.4
41	40.5	50.6	59.6	69.7	79.6	91.5
42	40.4	50.3	60.4	70.3	80.3	90.1
43	40.1	50.2	60.3	69.5	79	90.7
44	40.2	50.8	60.7	70.4	79.7	91.2
45	40.6	50.4	59.7	70	79.1	90.6
46	40.7	50.7	59.5	69.6	81.3	90.4
47	40.3	50.9	60.8	70.5	80.5	90.3
48	40.8	50.5	60.1	69.9	81.2	90

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ครั้งที่	ระยะหยอดเมล็ดพันธุ์ (เซนติเมตร)					
	40	50	60	70	80	90
49	40.5	50.1	60	70.6	81.5	90.8
50	40.9	50.6	59.9	70.2	80.8	91.3
51	40.4	50	60.6	70.1	81.4	90.9
52	40.2	50.8	60.4	70.7	80.9	91.4
53	40.1	50.3	59.8	70.8	79.3	90.5
54	40.6	50.2	60.5	69.7	80.7	90.1
55	40.7	50.4	60.2	70.3	79.8	90.2
56	40.5	50.7	60.3	70.4	79.5	90.7
57	40.3	50.9	59.6	69.5	79.2	91
58	40.8	50.6	60.9	70	80.1	91.5
59	40.4	50.1	59.5	69.9	79.4	90.6
60	40.2	50.5	60.7	70.5	79.9	91.2
61	40.9	50.8	60.8	70.6	79.7	90.4
62	40.6	50	60.1	70.2	81	90.3
63	40.1	50.3	60	70.1	79.6	90.8
64	40.5	50.2	59.9	70.7	80.2	90.9
65	40.7	50.4	59.7	70.8	81.4	90.1
66	40.4	50.7	60.6	69.7	79.3	91.1
67	40.8	50.9	60.3	70.3	79.5	90
68	40.3	50.6	59.8	69.5	81.2	90.5
69	40.2	50.1	59.6	70.4	80.4	91.4
70	40.6	50.5	60.2	70	80	91.3
71	40.9	50.8	60.4	69.6	79.8	90.2
72	40.7	50	60.5	70.5	79.1	91.5

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ครั้งที่	ระยะหยอดเมล็ดพันธุ์ (เซนติเมตร)					
	40	50	60	70	80	90
73	40.5	50.3	59.5	69.9	81.1	90.7
74	40.1	50.2	59.7	70.6	81.3	90.6
75	40.8	50.4	60.1	70.2	79	90.4
76	40.4	50.7	60	70.1	81.5	91
77	40.3	50.9	60.3	70.7	80.3	90.8
78	40.2	50.1	60.9	70.8	80.6	91.2
79	40.6	50.6	60.6	69.7	80.7	90.9
80	40.7	50.5	59.9	70.3	80.5	90.1
81	40.9	50.8	60.2	70.4	80.1	90.3
82	40.5	50	60.4	69.5	79.4	90.5
83	40.1	50.3	60.8	70	80.8	91.4
84	40.8	50.2	59.8	69.9	80.9	91.1
85	40.4	50.7	59.6	70.5	79.2	91.3
86	40.3	50.4	60.5	70.6	79.7	90.7
87	40.6	50.9	60.7	70.2	79.6	91.5
88	40.2	50.6	60.1	70.1	79.3	90
89	40.7	50.1	59.5	70.7	80.2	90.2
90	40.9	50.5	60	70.8	79.9	90.6
91	40.5	50.8	60.3	69.7	80.3	90.8
92	40.1	50.3	59.7	70.3	81.3	91.2
93	40.8	50.2	59.9	69.5	81	90.9
94	40.4	50	60.4	70.4	79	90.4
95	40.3	50.4	60.6	70	81.2	90.3
96	40.6	50.7	60.8	69.6	79.5	90.5

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ตารางที่ 7 (ต่อ)

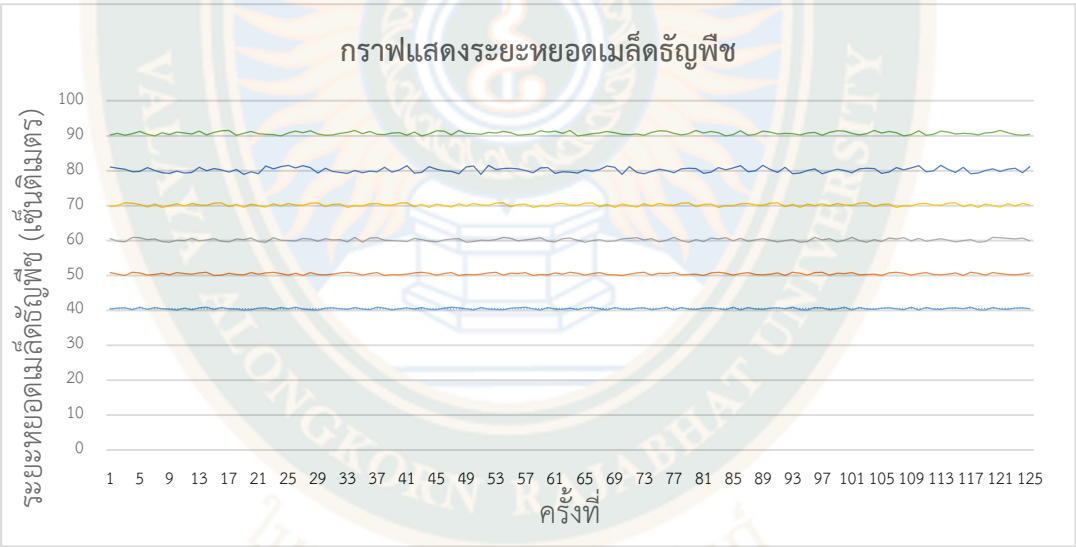
ครั้งที่	ระยะหยอดเมล็ดพันธุ์ (เซนติเมตร)					
	40	50	60	70	80	90
97	40.7	50.9	60.2	70.5	79.1	90.1
98	40.2	50.1	60.5	69.9	79.8	91
99	40.5	50.6	59.6	70.6	80.4	91.4
100	40.9	50.5	60.1	70.2	80.1	91.3
101	40.1	50.8	60.9	70.1	79.4	90.7
102	40.8	50.2	60	70.7	80.5	90.2
103	40.4	50.3	59.5	70.8	80.7	90.6
104	40.3	50.4	60.3	69.7	80.6	91.5
105	40.6	50	59.7	70.3	79.2	90.8
106	40.7	50.7	60.7	70.4	79.6	91.2
107	40.5	50.9	60.4	69.5	80.9	90.9
108	40.2	50.6	60.8	70	80.2	90
109	40.9	50.1	59.9	69.9	80.8	90.3
110	40.1	50.5	60.6	70.5	81.4	91.4
111	40.8	50.8	59.8	70.6	79.7	90.1
112	40.4	50.3	60.2	70.2	80	90.4
113	40.3	50.2	60.5	70.1	81.5	91.3
114	40.6	50.4	60.1	70.7	80.3	91.1
115	40.7	50.7	59.6	70.8	79.5	90.5
116	40.5	50	60	69.7	81	90.7
117	40.9	50.9	60.3	70.3	79.1	90.6
118	40.2	50.6	59.5	69.5	79.3	90.2
119	40.1	50.1	59.7	70.4	80.1	90.8
120	40.8	50.8	60.9	70	80.5	91

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ตารางที่ 7 (ต่อ)

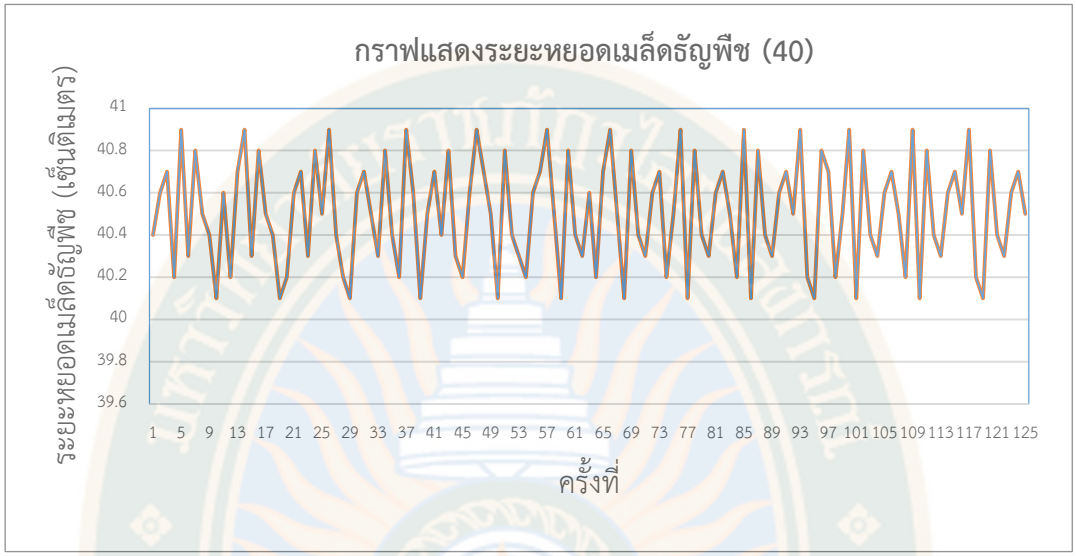
ครั้งที่	ระยะหยอดเมล็ดพันธุ์ (เซนติเมตร)					
	40	50	60	70	80	90
121	40.4	50.5	60.8	69.6	79.8	91.5
122	40.3	50.3	60.6	70.5	80.4	90.9
123	40.6	50.2	60.4	69.9	80.7	90.3
124	40.7	50.4	60.7	70.6	79.4	90.1
125	40.5	50.7	59.9	70.2	81.2	90.4



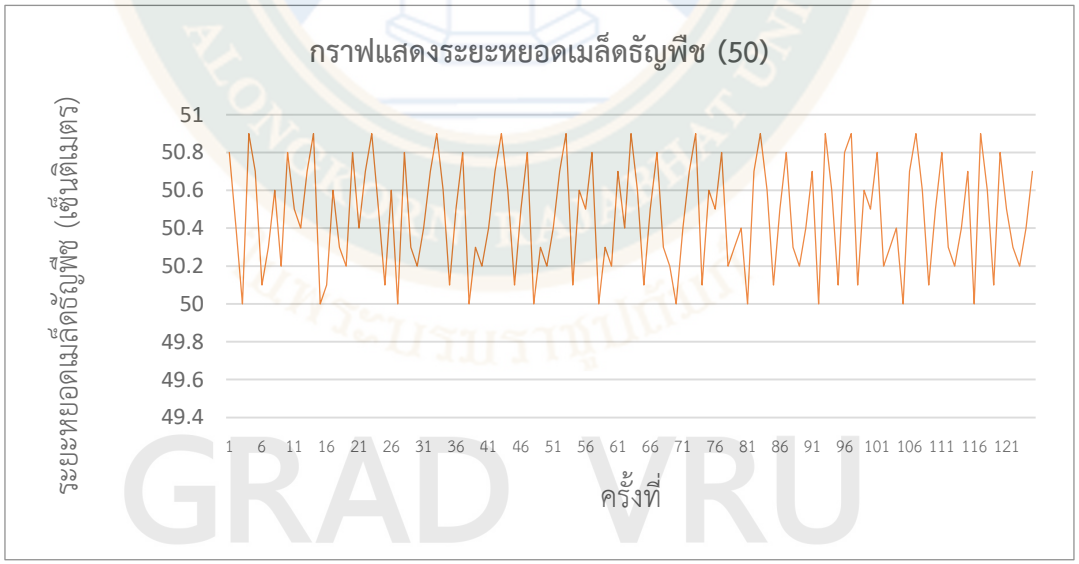
ภาพที่ 56 รวมการทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอดผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์

GRAD VRU

VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
13467023

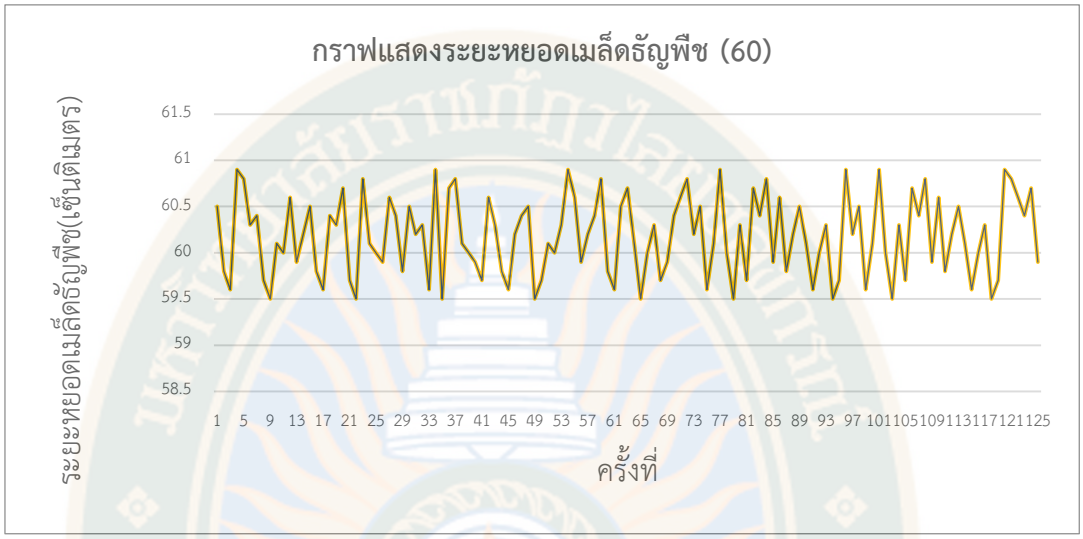


ภาพที่ 57 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 40 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์

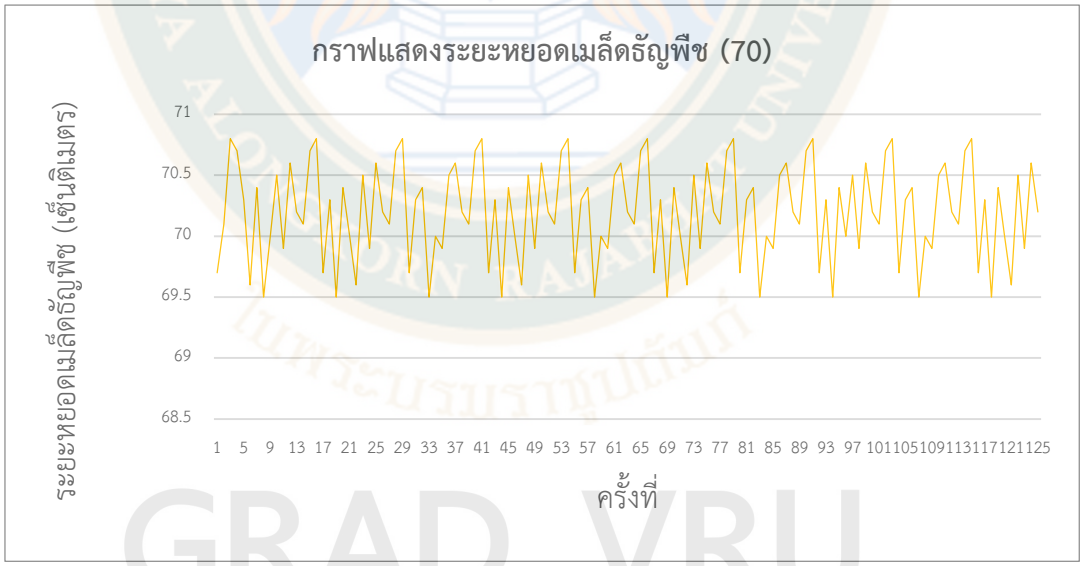


ภาพที่ 58 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 50 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์

GRAD VRU
VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
1346170235



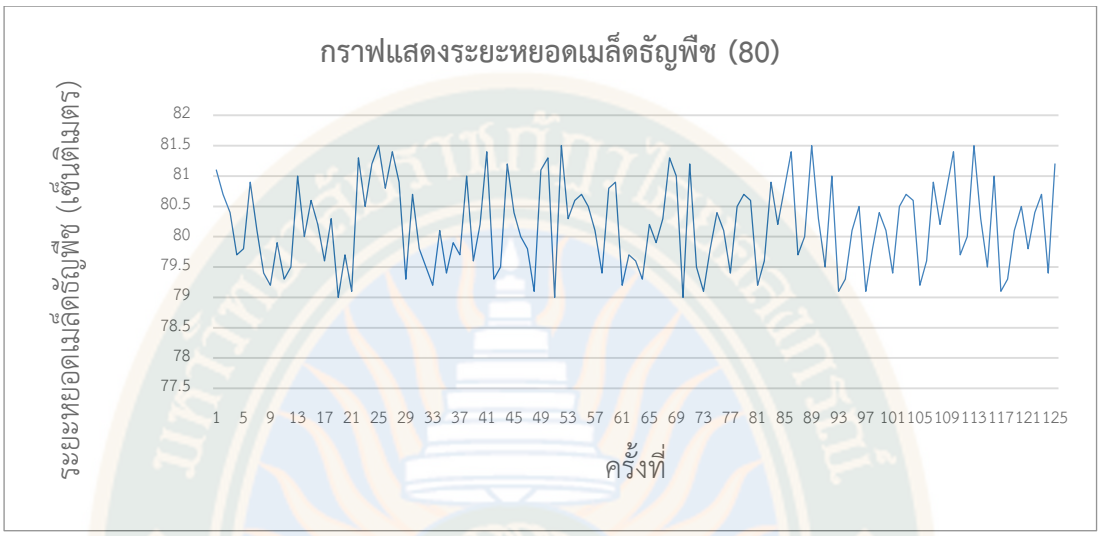
ภาพที่ 59 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 60 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์



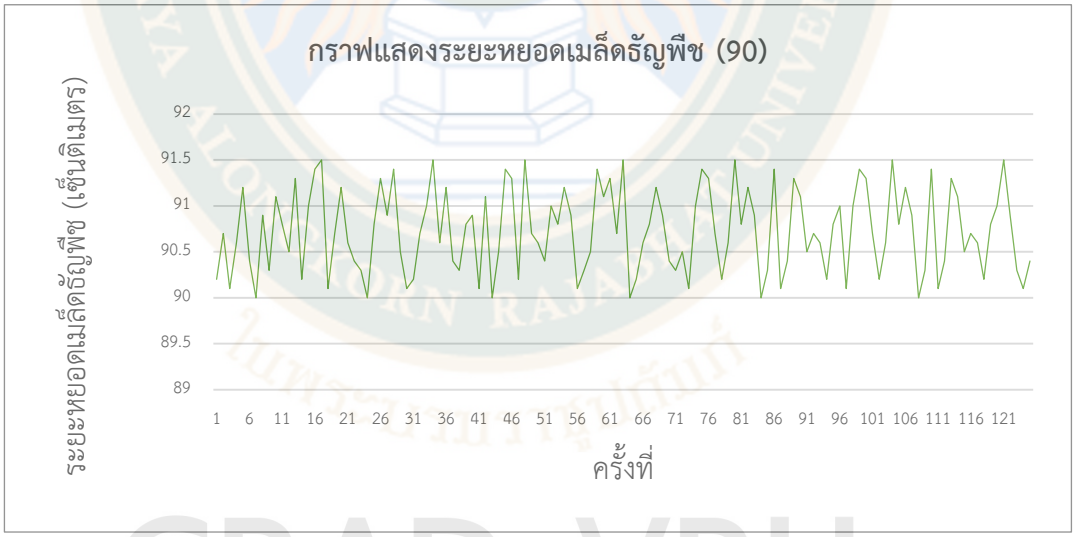
ภาพที่ 60 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 70 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์

GRAD VRU

VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
13467023



ภาพที่ 61 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 80 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์



ภาพที่ 62 การทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของระยะหยอด 90 เซนติเมตร ผ่านการควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทลเลอร์

GRAD VRU

VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
1346170235

ตารางที่ 8 แบบบันทึกการทดสอบการตรวจจับความแม่นยำของจำนวนเมล็ดที่ควบคุมด้วยกลไก

ครั้งที่	จำนวนเมล็ดพันธุ์ (ตะแกรง A)					
	40	50	60	70	80	90
1	3	2	3	2	3	3
2	2	3	1	3	1	2
3	1	2	1	1	3	1
4	3	1	2	3	3	3
5	1	2	1	2	3	1
6	2	3	2	2	3	2
7	3	2	2	3	1	3
8	2	3	3	1	2	2
9	3	1	1	1	1	3
10	1	2	3	1	2	1
11	3	2	2	1	1	3
12	3	1	2	2	3	3
13	2	3	1	3	3	2
14	2	1	3	1	3	2
15	2	3	3	2	2	2
16	2	1	3	1	2	2
17	3	1	3	3	3	3
18	1	3	1	3	3	1
19	3	2	3	3	1	3
20	3	3	2	2	1	3
21	3	2	3	2	1	3
22	1	3	2	2	1	1
23	2	1	3	3	2	2
24	2	1	3	3	2	2
25	2	3	1	2	2	2
26	1	3	1	3	2	1

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ครั้งที่	จำนวนเมล็ดพันธุ์ (ตะแกรง A)					
	40	50	60	70	80	90
27	1	3	1	3	2	1
28	1	1	1	2	3	1
29	3	3	3	1	2	3
30	2	2	1	3	2	2
31	3	1	1	3	3	3
32	3	2	1	1	2	3
33	2	2	1	2	3	2
34	3	3	1	2	1	3
35	3	1	3	3	2	3
36	3	1	2	1	3	3
37	3	2	2	3	2	3
38	1	3	1	1	1	1
39	1	1	3	2	3	1
40	1	3	1	1	1	1
41	2	2	2	3	3	2
42	2	2	2	3	3	2
43	2	1	2	2	1	2
44	3	2	1	2	3	3
45	3	3	1	3	1	3
46	1	2	2	1	3	1
47	3	1	2	2	1	3
48	3	3	2	1	2	3
49	1	3	3	1	1	1
50	1	3	2	2	2	1
51	2	2	1	3	1	2
52	2	3	3	2	2	2

GRAD VRU

1346702335 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ครั้งที่	จำนวนเมล็ดพันธุ์ (ตะแกรง A)					
	40	50	60	70	80	90
53	3	2	3	3	2	3
54	1	1	2	1	2	1
55	1	3	1	2	3	1
56	2	1	3	3	3	2
57	1	2	2	2	2	1
58	2	2	1	3	2	2
59	3	1	1	3	3	3
60	1	2	2	3	3	1
61	2	1	1	1	2	2
62	3	3	2	2	3	3
63	3	2	3	2	2	3
64	2	1	1	1	1	2
65	1	3	3	3	2	1
66	3	2	2	2	2	3
67	1	2	1	2	2	1
68	1	3	2	2	2	1
69	2	1	2	3	3	2
70	2	1	3	3	1	2
71	3	2	2	1	3	3
72	1	2	3	2	1	1
73	3	1	1	3	1	3
74	1	3	2	3	1	1
75	2	1	3	1	3	2
76	1	3	2	2	1	1
77	2	3	2	1	3	2
78	2	2	1	2	2	2

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ครั้งที่	จำนวนเมล็ดพันธุ์ (ตะแกรง A)					
	40	50	60	70	80	90
79	1	2	2	1	2	1
80	3	2	1	3	3	3
81	1	1	2	3	1	1
82	2	2	3	2	1	2
83	2	3	3	3	3	2
84	1	1	1	1	1	1
85	1	3	1	3	2	1
86	3	2	3	2	3	3
87	2	1	3	1	3	2
88	1	3	1	3	3	1
89	2	3	2	3	1	2
90	1	1	3	1	3	1
91	3	3	1	2	2	3
92	2	3	3	3	2	2
93	3	3	2	3	3	3
94	3	1	3	1	1	3
95	2	2	3	3	2	2
96	2	2	3	2	3	2
97	2	3	2	2	2	2
98	2	1	3	3	1	2
99	2	2	2	1	3	2
100	3	2	1	2	2	3
101	1	2	1	2	1	1
102	2	1	1	3	2	2
103	3	3	2	3	1	3
104	3	3	3	2	2	3

GRAD VRU

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

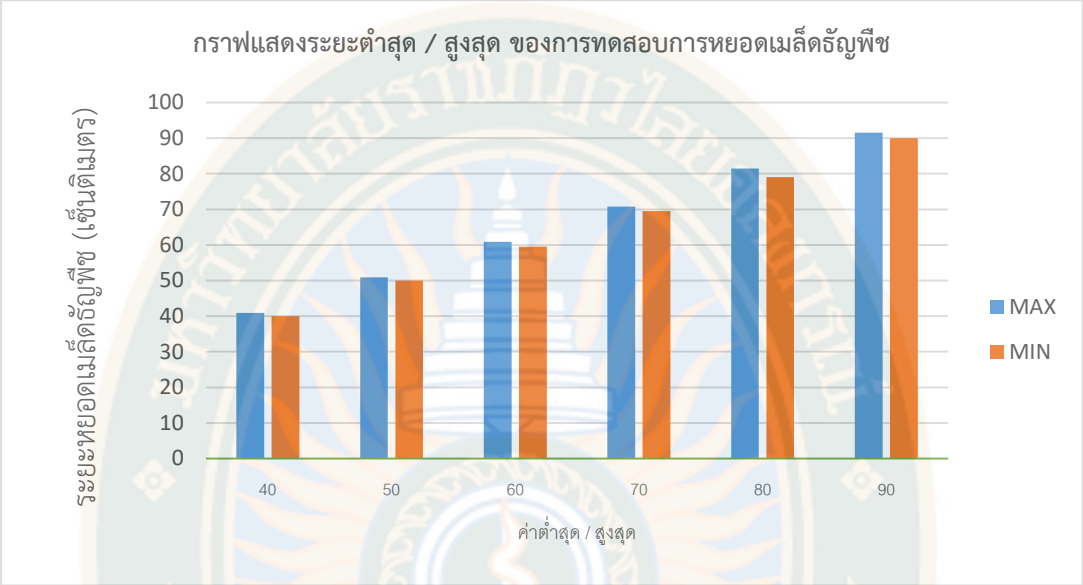
ตารางที่ 8 (ต่อ)

ครั้งที่	จำนวนเมล็ดพันธุ์ (ตะแกรง A)					
	40	50	60	70	80	90
105	2	1	2	2	1	2
106	3	3	2	1	1	3
107	1	3	3	3	1	1
108	3	3	3	2	2	3
109	2	1	1	3	2	2
110	3	2	3	2	3	3
111	2	1	3	2	2	2
112	2	3	3	3	1	2
113	3	2	2	1	3	3
114	2	2	2	1	3	2
115	1	2	1	3	3	1
116	3	2	3	3	2	3
117	2	3	3	2	3	2
118	1	2	1	1	2	1
119	3	3	2	3	1	3
120	1	3	2	2	3	1
121	2	2	2	2	3	2
122	2	3	2	3	1	2
123	3	1	3	1	2	3
124	1	1	3	2	1	1
125	3	3	2	3	3	3

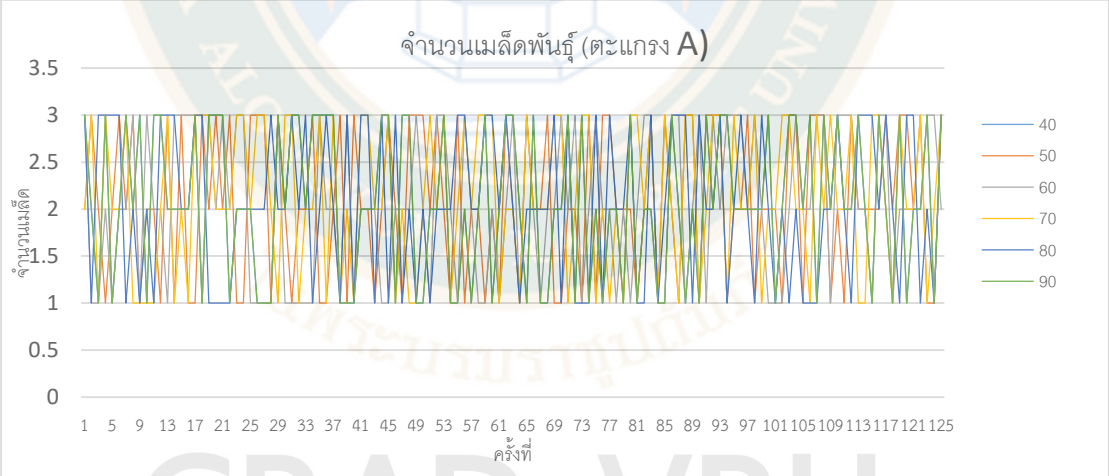
จำนวนที่แสดงในตารางนั้นเป็นจำนวนของเมล็ดธัญพืชที่เครื่องหยอดลงไปในแปลงปลูกในแต่ละหลุมตามระยะที่กำหนด 1 หมายความว่า จำนวนเมล็ดธัญพืช 1 เมล็ด 2 หมายความว่า จำนวนเมล็ดธัญพืช 2 เมล็ด และ 3 หมายความว่า จำนวนเมล็ดธัญพืช 3 เมล็ด

1346170235 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU



ภาพที่ 63 แสดงกราฟค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดในการทดสอบ



ภาพที่ 64 กราฟแสดงจำนวนเมล็ดธัญพืชที่ทำการทดลอง

GRAD VRU

VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
13467023

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำกรับรถไถ เป็นการวิจัยเชิงสร้างสรรค์ด้านการอกอแบบ และการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ โดยมีวัตถุประสงค์ คือ

1) เพื่อออกแบบกลไกเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

2) ออกแบบระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูกพืชทางการเกษตรเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อผลผลิตและประสิทธิภาพของการเกษตร หนึ่งในนวัตกรรมที่มีความสำคัญคือการพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชที่เชื่อมโยงกับรถไถ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ส่งเสริมกระบวนการการเพาะปลูกให้มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำ การออกแบบเครื่องหยอดเมล็ดที่มีประสิทธิภาพสำหรับรถไถครอบคลุมด้านโครงสร้าง ระบบกลไกการหยอด ระบบใส่ปุ๋ย ระบบการควบคุมจำนวนเมล็ด และความแข็งแรงของโครงสร้าง ระบบกลไกการหยอดต้องถูกออกแบบให้สามารถหยอดเมล็ดลงในดินอย่างแม่นยำและสม่ำเสมอ โดยคำนึงถึงมุมและความลึกที่เหมาะสม ระบบใส่ปุ๋ยควรสามารถใส่ปุ๋ยในขณะเดียวกันกับการหยอดเมล็ดอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบการควบคุมจำนวนเมล็ดเกี่ยวข้องกับการปรับจำนวนเมล็ดที่หยอดลงดินให้เป็นไปตามปริมาณที่ต้องการ โดยคำนึงถึงความหนาแน่นและระยะห่างของเมล็ดที่ต้องการในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้ความแข็งแรงของโครงสร้างต้องได้รับความสำคัญเนื่องจากต้องทนทานต่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมการเกษตรที่หลากหลาย การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชที่เชื่อมโยงกับรถไถมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการเพาะปลูก โดยการคำนึงถึงปัจจัยทั้งโครงสร้าง ระบบการหยอด ระบบใส่ปุ๋ย การควบคุมจำนวนเมล็ด และความแข็งแรง นักวิจัยและผู้พัฒนาสามารถพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและคงทนในสภาพแวดล้อมการเกษตรที่หลากหลาย

นอกจากนี้ การปรับใช้เทคโนโลยีที่ล้ำสมัยเข้าสู่การออกแบบเครื่องหยอดเมล็ดยังเป็นอนาคตที่มีความสำคัญ สำหรับการเพิ่มผลผลิตและยกระดับทางการเกษตรอีกด้วย

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

5.1.1 ออกแบบระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ

การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถที่ผสมควบคุมระยะห่างแบบ PID และใช้งานไฟฟ้าจากรถไถเป็นแหล่งพลังงานหลักมีความสำคัญเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการหยอดเมล็ดลงในดิน การออกแบบนี้ครอบคลุมการควบคุมระยะห่างระหว่างเมล็ดและความเร็วของรถไถเพื่อให้การหยอดเมล็ดมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับค่าที่กำหนด ระบบควบคุม PID ประกอบด้วยสามส่วนหลัก Proportional (P) Integral (I) และ Derivative (D) ส่วน P ทำหน้าที่ปรับค่าความคลาดเคลื่อนปัจจุบันของระบบ โดยเชื่อมโยงกับค่าคลาดเคลื่อนในการควบคุมระยะห่างระหว่างเมล็ด ส่วน I ทำหน้าที่ปรับค่าความคลาดเคลื่อนในระยะเวลายาวเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในระบบ ส่วน D ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อน เพื่อปรับปรุงความคลาดเคลื่อนในขณะนี้ การใช้ไฟฟ้าจากรถไถเป็นแหล่งพลังงานหลักในเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชช่วยลดการใช้พลังงานจากแหล่งที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้การใช้ไฟฟ้าจากรถไถยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเกษตร การออกแบบนี้ นอกจากจะเพิ่มประสิทธิภาพในการหยอดเมล็ดธัญพืชยังเป็นการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเสริมสร้างความยั่งยืนในการเกษตร การออกแบบระบบนี้ให้สามารถใช้งานไฟฟ้าจากรถไถได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้ตัวควบคุม PID ที่คำนึงถึงการควบคุมระยะห่างและความเร็วของรถไถในขณะเดียวกัน การออกแบบนี้นอกจากจะเพิ่มประสิทธิภาพในการหยอดเมล็ดธัญพืชยังเป็นการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเสริมสร้างความยั่งยืนในการเกษตร

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เน้นถึงการออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุมของระบบหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ โดยการทำร่วมกันกับระบบควบคุมแบบ PID Controller และการนำเข้าพลังงานจากรถไถเป็นแหล่งพลังงานหลัก มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการหยอดเมล็ดลงในดิน ระบบควบคุม PID ประกอบด้วย Proportional (P) Integral (I) และ Derivative (D) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการควบคุมระยะห่างและความเร็วของรถไถในขณะทำงาน การนำเข้าพลังงานจากรถไถเป็นแหล่งพลังงานหลักช่วยลดการใช้พลังงานจากแหล่งที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมและลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเกษตร ระบบนี้ไม่เพียงเพิ่มประสิทธิภาพในการหยอดเมล็ดธัญพืชเท่านั้น แต่ยังเสริมสร้างความยั่งยืนในการเกษตรและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การวิจัยและพัฒนาในด้านนี้เป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรที่ยั่งยืนและทำให้การเพาะปลูกพืชเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

1346702335 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

การพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำกรับรถไถ โดยใช้ ID Controller และนำเข้าพลังงานจากรถไถเป็นแหล่งพลังงานหลัก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการหยอดเมล็ดลงในดิน ระบบควบคุม PID ประกอบด้วย P, I, และ D ซึ่งควบคุมระยะห่างและความเร็วของรถไถ นอกจากนี้ยังนำเข้าพลังงานจากรถไถเพื่อลดการใช้พลังงานจากแหล่งที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเกษตร ระบบนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหยอดเมล็ดธัญพืชและเสริมสร้างความยั่งยืนในการเกษตร การวิจัยนี้สามารถนำไปปรับปรุงและพัฒนาระบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นตามความต้องการของการเกษตรในปัจจุบันและอนาคต

ผลงานนี้มีศักยภาพที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนในการเกษตรและเสนอแนวทางสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ต่อการเพาะปลูกพืชในปัจจุบันและในอนาคตได้เป็นอย่างดี

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการทำการวิจัยครั้งนี้พบว่า ยังมีข้อที่ต้องดำเนินการปรับปรุงเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลงานวิจัยและรูปแบบของงานวิจัย ในครั้งนี้ สามารถสรุปเป็นข้อได้ ดังต่อไปนี้

1. พัฒนากลไกเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถ การออกแบบและพัฒนากลไกหยอดเมล็ดที่มีประสิทธิภาพสำหรับการใช้กับรถไถ เพื่อให้การหยอดเมล็ดเป็นไปอย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

2. ระบบควบคุม PID Controller การใช้ PID Controller เพื่อควบคุมระยะห่างและความเร็วของรถไถ ทำให้การหยอดเมล็ดลงในดินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3. การใช้พลังงานจากรถไถ การนำเข้าพลังงานจากรถไถเป็นแหล่งพลังงานหลักเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเกษตร

4. ความแข็งแรงของโครงสร้าง การออกแบบโครงสร้างให้แข็งแรงเพียงพอ เพื่อทนทานต่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมการเกษตรที่หลากหลาย

5. นำเสนอผลลัพธ์และความสำเร็จ การนำเสนอผลลัพธ์จากการวิจัยที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพ เพื่อสนับสนุนความยั่งยืนในการเกษตร

6. การพัฒนาต่อยอด เสนอแนวทางในการพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดธัญพืชสำหรับรถไถในอนาคต เพื่อเข้าสู่เทคโนโลยีที่ยั่งยืนและทันสมัย

1346170235 VRU iThesis 63B5100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

บรรณานุกรม

Adhikari, S. P., Kim, G., & Kim, H. (2020). Deep Neural Network-Based System for Autonomous Navigation in Paddy Field. *IEEE Access*, 8, 71272-71278. https://doi.org/10.1109/access.2020.2987642

Anche, G. M., Devika, K. B., & Subramanian, S. C. (2020). Robust Pitching Disturbance Force Attenuation for Tractor Considering Functional Constraints. *IEEE Access*, 8, 86419-86432. https://doi.org/10.1109/access.2020.2992899

Bah, M. D., Hafiane, A., & Canals, R. (2020). CRowNet: Deep Network for Crop Row Detection in UAV Images. *IEEE Access*, 8, 5189-5200. https://doi.org/10.1109/access.2019.2960873

Felez, J., Garcia-Sanchez, C., & Lozano, J. A. (2018). Control Design for an Articulated Truck With Autonomous Driving in an Electrified Highway. *IEEE Access*, 6, 60171-60186. https://doi.org/10.1109/access.2018.2875904

Gómez-López, L. M., Miguel, V., Martínez, A., Coello, J., & Calatayud, A. (2013). Simulation and Modeling of Single Point Incremental Forming Processes within a Solidworks Environment. *Procedia Engineering*, 63, 632-641. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.253

Jaiswal, S., Korkealaakso, P., Aman, R., Sopanen, J., & Mikkola, A. (2019). Deformable Terrain Model for the Real-Time Multibody Simulation of a Tractor With a Hydraulically Driven Front-Loader. *IEEE Access*, 7, 172694-172708. https://doi.org/10.1109/access.2019.2956164

Lee, S., Cheng, W., & Yang, Y. (2022). Bias-Induced Point Auto-Encoder and Comparative Analysis of Point Encoder-Decoder Combinations. *IEEE Access*, 10, 61617-61630. https://doi.org/10.1109/access.2022.3180740

Liu, X., Madhusudhanan, A. K., & Cebon, D. (2019). Minimum Swept-Path Control for Autonomous Reversing of a Tractor Semi-Trailer. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(5), 4367-4376. https://doi.org/10.1109/tvt.2019.2895513

Lu, S., Ren, Y., Wang, X., & Dong, X. (2019). Design and implementation of multi-

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

grooved simultaneous separation and screening equipment. *The Journal of Engineering*, 2019(4), 3425-3431. https://doi.org/10.1049/joe.2018.5064

Patrigeon, G., Benoit, P., Torres, L., Senni, S., Prenat, G., & Di Pendina, G. (2019). Design and Evaluation of a 28-nm FD-SOI STT-MRAM for Ultra-Low Power Microcontrollers. *IEEE Access*, 7, 58085-58093. https://doi.org/10.1109/access.2019.2906942

Qin, J., Zhu, Z., Ji, H., Zhu, Z., Li, Z., Du, Y., Song, Z., & Mao, E. (2019). Simulation of active steering control for the prevention of tractor dynamic rollover on random road surfaces. *Biosystems Engineering*, 185, 135-149. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.006

Tuffaha, M., Bazoune, A., Al-Badour, F., Merah, N., & Shuaib, A. (2019). Dynamic Modeling and Analysis of a Horizontal Operating 3-Axis Machine for Friction Stir Welding. *IEEE Access*, 7, 129874-129882. https://doi.org/10.1109/access.2019.2939300

Wang, G., Xu, H., & Liu, H. (2018). Study on Directional Stability of B-Double Vehicle Combination. *IEEE Access*, 6, 77624-77633. https://doi.org/10.1109/access.2018.2883675

Watanabe, M., & Sakai, K. (2019). Impact dynamics model for a nonlinear bouncing tractor during inclined passage. *Biosystems Engineering*, 182, 84-94. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.03.013

Xu, L., Ma, H., & Ren, D. (2018). Numerical simulation for multi‐way valves and fit clearance research based on heat–fluid–solid coupling. *The Journal of Engineering*, 2019(13), 247-252. https://doi.org/10.1049/joe.2018.9036

Zhao, J., Li, Z., Zheng, D., & Fan, S. (2019). Modal simulation and experiment analysis of coriolis mass flowmeter. *The Journal of Engineering*, 2019(23), 9013-9016. https://doi.org/10.1049/joe.2018.9169

1346702351 VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70

GRAD VRU

GRAD VRU

VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
134670235

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายสมสมัย บุญก้อน
วัน เดือน ปี เกิด	15 พฤษภาคม 2522
สถานที่เกิด	บ้านนองแคน ตำบลบุสูง อำเภอวังหิน จังหวัดศรีสะเกษ
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น
ที่อยู่ปัจจุบัน	หมู่บ้านศุภาลัยรอยอลริเวอร์ บ้านเลขที่ 322/119 หมู่ 6 ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

1346702351
VRU iThesis 63B55100107 thesis / recv: 03032567 09:59:47 / seq: 70
GRAD VRU