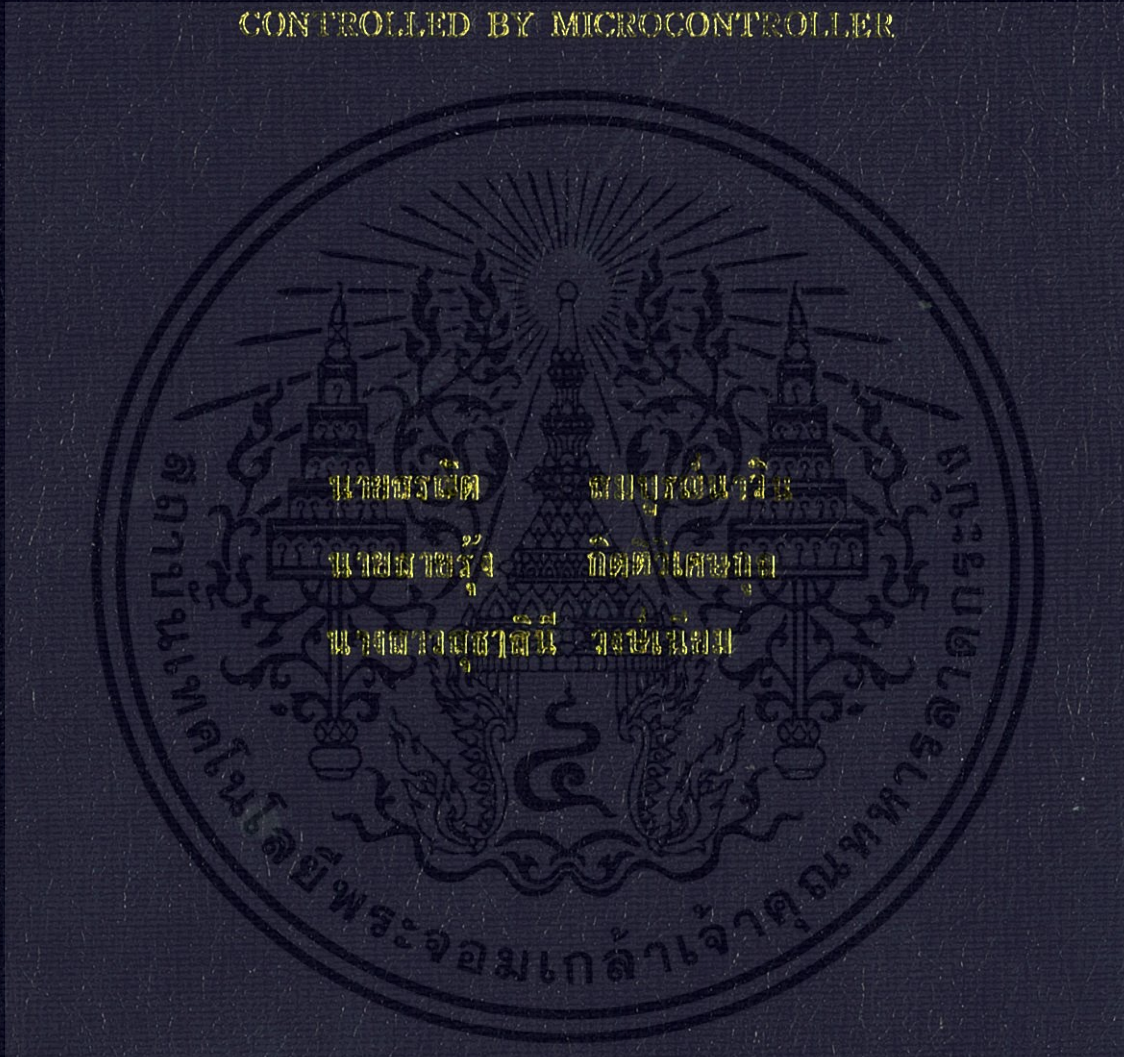


เครื่องควบคุมการพ่นยาแบบแม่นยำควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

A PRECISION GRANULAR PESTICIDE APPLICATOR
CONTROLLED BY MICROCONTROLLER



ปริญญานิพนธ์ วิชาเทคโนโลยีบัณฑิตศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ศาสตราจารย์ ดร. อรุณรัตน์ อรุณรัตน์

รองศาสตราจารย์ ดร. อรุณรัตน์ อรุณรัตน์

สาขาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เครื่องหยอดสารเคมีแบบแม่นยำควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

A PRECISION GRANULAR PESTICIDE APPLICATOR

CONTROLLED BY MICROCONTROLLER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A PRECISION GRANULAR PESTICIDE APPLICATOR CONTROLLED BY
MICROCONTROLLER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องหยอดสารเคมีแบบแม่นยำควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
A Precision Granular Pesticide Applicator Controlled by
Microcontroller

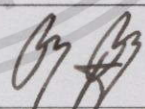
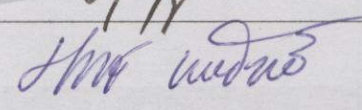
นักศึกษาผู้จัดทำ นายสรณิต สมบูรณ์นาวิน รหัสนักศึกษา 53011638
นายสายรุ่ง กิตติวิเศษกุล รหัสนักศึกษา 53011668
นางสาวสุธาสินี วงษ์นิยม รหัสนักศึกษา 53011748

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร. วสุ อุดมเพทายกุล	
ผศ. อีรพงศ์ ผลโพธิ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	เครื่องหยอดสารเคมีแบบแม่นยำควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายสรณิต	สมบูรณ์นาวิน	53011638
	นายสายรุ่ง	กิตติวิเศษกุล	53011668
	นางสาวสุธาสิณี	วงศ์เนียม	53011748
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. วสุ อุดมเพทายกุล		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ. อีรพงศ์	ผลโพธิ์	
ปีการศึกษา	2556		

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษา ออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องหยอดสารเคมีเพื่อการเกษตรแบบความแม่นยำที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบที่พัฒนาขึ้นวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ด้วยเอนโคเดอร์ แล้วจึงคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของชุดหัวหยอดเพื่อให้ได้อัตราการหยอดที่กำหนดและส่งสัญญาณไปควบคุมสเต็ปมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนหัวหยอด ในงานศึกษานี้ ได้ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 3 ความเร็ว (0.7, 1.0 และ 1.4 m/s) และระยะห่างในการหยอดที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (30, 40 และ 50 cm) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่และระยะห่างในการหยอด ไม่มีผลต่ออัตราการหยอดต่อหลุม ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถกำหนดอัตราการหยอดต่อหลุมได้อย่างแม่นยำ

Thesis Title	A Precision Granular Pesticide Applicator Controlled by Microcontroller		
Author	Soranit	Somboonnawin	53011638
	Sairung	Kittiwisetkul	53011668
	Suthasinee	Wongniem	53011748
Thesis Advisor	Dr. Vasu	Udompetaikul	
	Assoc. Prof. Teerapong	Pholpo	
Year	2013		

Abstract

The objective of this agricultural engineering project was to design and test of a precision granular pesticide applicator. The system is controlled by two microcontrollers. The main microcontroller with an encoder was used to measure the traveling distance. Rotational speed of the metering unit was calculated and then transmitted to the secondary microcontroller to drive a stepper motor with accuracy. In this study, the system has been tested in laboratory at 3 traveling speeds (0.7, 1.0 and 1.4 m/s) and 3 levels of discharge spacing (30, 40 and 50 cm). Statistical analysis showed that traveling speed and discharge spacing did not affect the amount of granular discharged per hole.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี โดยได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากบุคคลหลายๆฝ่ายด้วยกัน

บุคคลแรกที่ต้องกล่าวขอขอบพระคุณที่ทำให้ปริญญาบัตรฉบับนี้เสร็จลงได้คือ ดร. วสุ อุดมเพทายกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำ ดูแลเอาใจใส่ และความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ผศ. ธีรพงษ์ ผลโพธิ์ สำหรับคำแนะนำ และความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณบริษัท เอร่าวันเคมีเกษตร จำกัด ที่ให้ข้อมูลทางเทคนิค และเอื้อเฟื้อสารเคมีสำหรับการทดลอง

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้งบประมาณสนับสนุน (โครงการงบประมาณเงินรายได้ ปีงบประมาณ 2557)

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน สำหรับคำแนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการ

ขอขอบพระคุณบุคลากรหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำงาน

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือ

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูมาเป็นอย่างดี ให้ความเอาใจใส่เสมอมา และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง พร้อมทั้งให้โอกาสทางการศึกษาอย่างเต็มที่ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายสรณิต สมบูรณ์นาวิน

นายสายรุ่ง กิตติวิเศษกุล

นางสาวสุธาสิณี วงษ์เนียม

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เครื่องหยอดสารเคมี	3
2.2 ไล่เดือนฝอย	3
2.3 Fosthiazate	4
2.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	5
2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	5
2.4.2 สเต็ปมอเตอร์	6
2.4.3 เอนโคเดอร์	7
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง	
3.1 แนวคิดของระบบ	9
3.2 การออกแบบเครื่องหยุดสารเคมี	10
3.2.1 การออกแบบชุดหัวหยุด	10
3.2.2 การออกแบบถังบรรจุสารเคมี	13
3.2.3 การออกแบบล้อควบคุม	15
3.2.4 การออกแบบโครง	15
3.3 การออกแบบการเขียนโปรแกรม	17
3.3.1 การออกแบบโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก	17
3.3.2 การออกแบบโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เสริม	18
3.4 การสร้างอุปกรณ์	20
3.5 การติดตั้งอุปกรณ์	21
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	
4.1 การทดสอบความแม่นยำภายในห้องปฏิบัติการ	22
4.1.1 วัตถุประสงค์	22
4.1.2 วัสดุและอุปกรณ์	22
4.1.3 วิธีการทดลอง	23
4.1.4 ผลการทดลอง	24
4.1.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
4.2 การทดสอบความแม่นยำภายในแปลงทดสอบ	26
4.2.1 วัตถุประสงค์	26
4.2.2 วัสดุและอุปกรณ์	26
4.2.3 วิธีการทดลอง	26
4.2.4 ผลการทดลอง	27
4.2.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	27
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในเครื่องหยอดสารเคมี	31
ก.1 รายละเอียดอุปกรณ์	31
ภาคผนวก ข. โปรแกรม	38
ข.1 โปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก	38
ข.2 โปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์เสริม	40
ภาคผนวก ค. รายละเอียดผลการทดลอง	42
ค.1 รายละเอียดผลการทดลองภายในห้องปฏิบัติการ	42
ค.2 รายละเอียดผลการทดลองภายในแปลงทดสอบ	46
เอกสารอ้างอิง	51

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการทางสถิติของ ระยะระหว่างหลุมกับความเร็ว ต่อ น้ำหนักสารตัวอย่างต่อหลุม	25
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดสอบภายในแปลงทดสอบทางสถิติของ ระยะระหว่างหลุมกับความเร็ว ต่อ น้ำหนักสารตัวอย่างต่อหลุม	27
ตารางที่ ค.1.1 ตารางผลการทดสอบความแม่นยำภายในห้องปฏิบัติการ	42
ตารางที่ ค.1.2 ตารางวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยวิธีทางสถิติ (ANOVA)	43
ตารางที่ ค.1.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน	43
ตารางที่ ค.1.4 ตารางผลการทดสอบสำหรับ Simple main effect	44
ตารางที่ ค.1.5 ตารางทดสอบสมมติฐาน ด้วยวิธี Simple main effect test	45
ตารางที่ ค.2.1 ตารางผลการทดสอบความแม่นยำภายในแปลงทดสอบ	46
ตารางที่ ค.2.2 ตารางวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยวิธีทางสถิติ (ANOVA)	47
ตารางที่ ค.2.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน	47
ตารางที่ ค.2.4 ตารางทดสอบสมมติฐานของระยะการหยอดที่ 30 เซนติเมตร ด้วยวิธี One-way ANOVA	48
ตารางที่ ค.2.5 ตารางทดสอบสมมติฐานของระยะการหยอดที่ 40 เซนติเมตร ด้วยวิธี One-way ANOVA	49
ตารางที่ ค.2.6 ตารางทดสอบสมมติฐานของระยะการหยอดที่ 50 เซนติเมตร ด้วยวิธี One-way ANOVA	50

สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	5
รูปที่ 2.2 สเต็ปมอเตอร์	6
รูปที่ 2.3 เอนโคเดอร์	7
รูปที่ 3.1 ภาพแสดงหลักการของเครื่องหยอดโดยทั่วไป	9
รูปที่ 3.2 ภาพแสดงหลักการของเครื่องหยอดควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	10
รูปที่ 3.3 ภาพแสดงลักษณะและขนาดของลูกกลิ้ง	12
รูปที่ 3.4 ภาพแสดงลักษณะและขนาดของถังบรรจุสารเคมี	14
รูปที่ 3.5 ภาพแสดงลักษณะของโครง	16
รูปที่ 3.6 ภาพแสดงหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	19
รูปที่ 3.7 ลูกกลิ้ง	20
รูปที่ 3.8 ภาพแสดงชุดหัวหยอด	20
รูปที่ 3.9 ภาพแสดงล้อควบคุม	21
รูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งของอุปกรณ์ (ไม่รวมถังบรรจุสารเคมี)	21
รูปที่ 4.1 สารตัวอย่าง (อาหารปลาแบบเม็ดขนาดเล็ก)	22
รูปที่ 4.2 การติดตั้งเครื่องหยดสารเคมีบนรถแทรกเตอร์ พร้อมปูผ้าเพื่อรองรับสารตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ	23
รูปที่ 4.3 แสดงสารตัวอย่างหลังจากการถูกลบด้วยเครื่องหยอด	24
รูปที่ 4.4 การติดตั้งเครื่องหยดสารเคมีบนรถแทรกเตอร์ พร้อมปูผ้าเพื่อรองรับสารตัวอย่างในแปลงทดสอบ	26
รูปที่ 5.1 รูปที่ออกแบบเพื่อทำการเกษตรกรรมในพื้นที่ขนาดใหญ่	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันเกษตรกรนิยมใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืช เพื่อช่วยควบคุมปัญหาโรคและแมลงในการผลิตทางการเกษตร อย่างไรก็ตามมีเกษตรกรบางส่วนนำมาใช้อย่างไม่ถูกวิธี เช่น ใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจนความจำเป็นเพื่อให้มั่นใจว่าสามารถกำจัดศัตรูพืชได้อย่างได้ผล ซึ่งเป็นความเชื่อที่ผิด และส่งผลกระทบต่อตามมา ต่อทั้งสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

โครงการนี้ได้แรงบันดาลใจมาจาก ดร.ชาตรี พิทักษ์ไพรวรรณ ที่ปรึกษารัฐกิจอาวุโส บริษัท เอร่าวิชั่นเคมิคอล จำกัด ที่ต้องการเครื่องมือสำหรับกำจัดสารเคมี Fosthiazate เพื่อกำจัดไล่เดือนฝอยที่เป็นศัตรูพืชที่สำคัญ โดยในการใช้สารเคมีดังกล่าวต้องโรยสารเคมีให้ทั่วทั้งแปลงอย่างสม่ำเสมอ ในปริมาณเพียง 2-3 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งการให้สารเคมีด้วยวิธีทั่วไปสามารถทำได้ยากมาก

ดังนั้น ทางเราจึงได้มีแนวคิดในการการนำเทคโนโลยีด้านไมโครคอนโทรลเลอร์มาพัฒนาและออกแบบเครื่องหยอดสารเคมีให้มีความแม่นยำสม่ำเสมอมากขึ้น ช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีที่มากเกินไปจนความจำเป็น เกษตรกรและผู้บริโภคได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบควบคุมระบบการหยอดสารเคมีที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.2.2 เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบระบบการหยอดสารเคมีที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.2.3 เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบที่พัฒนาขึ้น

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมปริมาณการใช้สารเคมีได้ตรงตามที่ต้องการ
- 1.3.2 สามารถใช้สารเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า
- 1.3.3 ได้ระบบการหยอดสารเคมีที่ใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน
- 1.3.4 ระบบการหยอดสารเคมีแบบแม่นยำสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกลชนิดอื่นๆ

ได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 แผนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 สร้างแบบจำลองชุดหัวหยอดและทดสอบเพื่อคุณสมบัติความสามารถในการหยอด
- 1.4.3 สร้างและพัฒนาชุดหัวหยอดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 1.4.4 เขียนโปรแกรมควบคุมระบบการหยอดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.4.5 สร้างโครงสร้าง พร้อมทั้งติดตั้งชุดหัวหยอด, ล้อขับ, สเต็ปมอเตอร์, เอนโคเดอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- 1.4.6 ทดสอบระบบการหยอดในห้องปฏิบัติการและแปลงทดสอบ
- 1.4.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องหยอดสารเคมี

การใช้สารเคมีของเกษตรกรในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะมีส่วนช่วยเพิ่มผลผลิตด้านการเกษตร แต่ปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้นมากผนวกกับการใช้ที่ไม่ถูกต้อง ได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อทั้งสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ในปี พ.ศ. 2537 ได้มีการประเมินผลทางเศรษฐกิจถึงผลกระทบจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชว่าก่อให้เกิดความเสียหายต่อสังคมไทยคิดเป็นมูลค่า 463 ล้านบาท ไม่นับรวมต้นทุนที่เกิดจากสารพิษตกค้างในผักและผลไม้ ซึ่งคิดเป็นมูลค่า 5,000 ล้านบาท [1]

การให้สารเคมีต่อพืชนอกจากจะสามารถให้ได้ในรูปของสารเคมีละลายน้ำแล้ว ยังสามารถให้ได้ในรูปที่เป็นผงหรือเป็นเม็ดได้อีกด้วย สารเคมีแห้งเหล่านี้มีน้ำหนักเบาไม่ต้องผสม ใช้อุปกรณ์ง่ายๆและในบางกรณีมีประสิทธิภาพดีกว่าสารเคมีละลายน้ำ ซึ่งเครื่องให้สารเคมีในรูปผงสามารถใช้แทนเครื่องพ่นสารเคมีในการกำจัดแมลงและโรคพืช และเป็นที่ยอมรับใช้กันมากสำหรับพืชสวน [2]

เครื่องให้สารเคมีในรูปของเม็ดสามารถใช้แทนเครื่องพ่นสารเคมีในการกำจัดวัชพืช แมลง และศัตรูพืชในดิน อุปกรณ์ให้สารเคมีในรูปเม็ดมีขนาดเล็ก สามารถปรับอัตราการให้สารได้ และมักจะต่อพ่วงเข้ากับเครื่องปลูกพืชแบบเป็นระยะ อัตราการให้สารเคมีในรูปเม็ดส่วนใหญ่จะเป็นอัตราต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งต่ำ ซึ่งการให้สารเคมีในรูปเม็ดด้วยอัตราที่ผิดพลาดไปเพียงเล็กน้อย อาจเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายต่อพืช ซึ่งเป็นการสิ้นเปลือง หรืออาจจะใช้ไม่ได้ผลเลย [2]

2.2 ไล่เดือนฝอย

ไล่เดือนฝอยศัตรูพืช (Plant Parasitic Nematodes) มีหลายชนิด โดยชนิดที่ก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงในประเทศไทย ได้แก่ ไล่เดือนฝอยรากปม มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Meloidogyne* spp. เป็นศัตรูพืชชนิดหนึ่งที่เกิดความเสียหายกับพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจทุกกลุ่ม เช่น พืชหัว พืชผัก ไม้ผล พืชเส้นใย ไม้ดอก ไม้ประดับ และ ธัญพืช เป็นต้น มีพืชอาศัยมากกว่า 2,000 ชนิด เช่น มันฝรั่ง พริก มะเขือเทศ ยาสูบ ขิง ฝรั่ง ข้าว ผ้าย เยอบีรา ฯลฯ โดยทำให้พืชแสดงอาการแคระแกรน โตช้า ใบเหลืองเหี่ยว ผลผลิตได้รับความเสียหาย เนื่องจากระบบรากถูกทำลาย ทำให้เกิดปุ่มปมจำนวนมากที่รากพืช โดยไล่เดือนฝอยระยะเข้าทำลายจะใช้อวัยวะที่เรียกว่า Stylet แทงเข้ารากพืชและปล่อยเอนไซม์เพื่อทำลายเซลล์รากให้อ่อนนุ่ม จากนั้นตัวอ่อนไล่เดือนฝอยจะเข้าไปในรากพืชและดูดสารอาหารจากพืช ทำให้สรีรวิทยาของพืชผิดปกติ ไล่เดือนฝอยจะลอกคราบอีก 3 ครั้งแล้วเจริญเป็นตัวเต็มวัย โดยเพศเมียจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีลักษณะค่อนข้างกลมและสามารถออกไข่ได้ประมาณ 100-250 ฟอง ได้โดย

ไม่ต้องรับน้ำเชื้อจากเพศผู้ โดยวงจรชีวิตของไส้เดือนฝอยใช้เวลาประมาณ 25 วันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นหลัก โดยอุณหภูมิสูงจะครบวงจรชีวิตเร็วขึ้น [3]

2.3 Fosthiazate

Fosthiazate เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่ใช้ควบคุมไส้เดือนฝอยที่อาศัยภายในดิน ซึ่งเป็นศัตรูพืชของพืชผักผลไม้ อาทิ มันฝรั่ง มะเขือเทศ และกล้วย แต่มีข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ใช้ในปริมาณ 2-3 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ในรูปแบบแห้งโดยไม่มีการผสมน้ำ (จากการสัมภาษณ์ ดร.ชาติรี พิทักษ์ไพรวรรณ ที่ปรึกษาอาวุโสฝ่ายธุรกิจ บริษัท เอรารวัฒน์เคมีเกษตร จำกัด)

คุณสมบัติของสารเคมี Fosthiazate

ตระกูลสาร : organophosphate

ชื่อ IUPAC : RS-[S-(RS)-sec-butyl O-ethyl 2-oxo-1,3-thiazolidin-3-ylphosphonothioate] or (3RS)-3-[(RS)-sec-butylthio(ethoxy)phosphinoyl]-1,3-thiazolidin-2-one

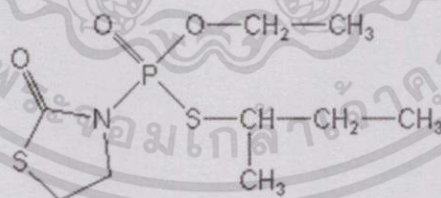
น้ำหนักโมเลกุล : 283.3

สูตรโมเลกุล : $C_9H_{18}NO_3PS_2$

ความดันไอ : 5.6×10^3 mPa (25°C)

การละลายน้ำ : 9.85 g/L (20°C)

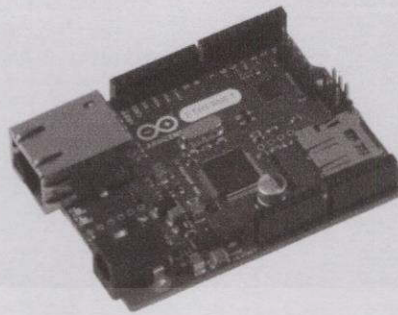
โครงสร้างทางเคมี :



ประโยชน์ : ใช้ควบคุมไส้เดือนฝอยที่อาศัยภายในดิน ซึ่งเป็นศัตรูพืชของพืชผักผลไม้ อาทิ มันฝรั่ง มะเขือเทศ และกล้วย [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน ดังนี้

- 1) หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)
- 2) หน่วยความจำ (Memory) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ
 - 1) หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory)

เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้ จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง
 - 2) หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

ใช้เป็นเหมือนกระดานขุดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไป เมื่อไม่มีไฟเลี้ยงและเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง
- 3) พอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะ คือ
 - 1) พอร์ตอินพุต (Input Port) คือ พอร์ตรับสัญญาณ
 - 2) พอร์ตเอาต์พุต (Output Port) คือ พอร์ตส่งสัญญาณ

ทั้งสองพอร์ตนี้ถือเป็นส่วนที่สำคัญ ซึ่งใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกอาจจะด้วยการกด สวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและแสดงผล เช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

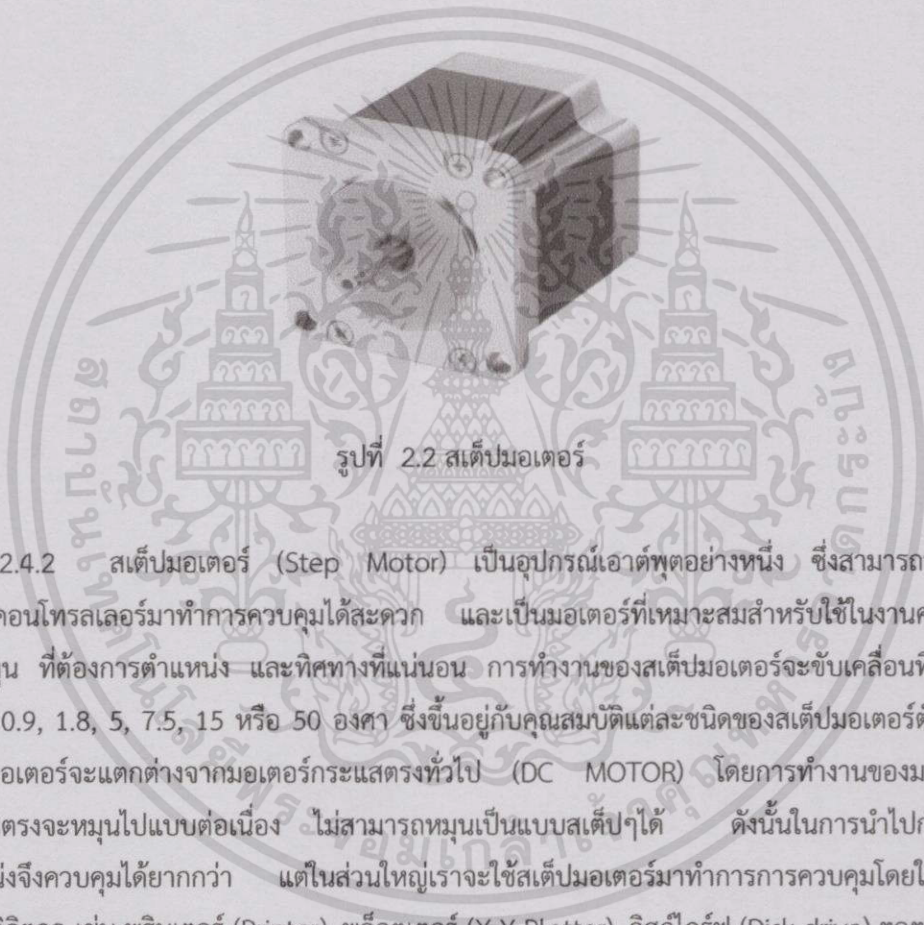
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS)

คือ เส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus), บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการทำงานจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย [5]

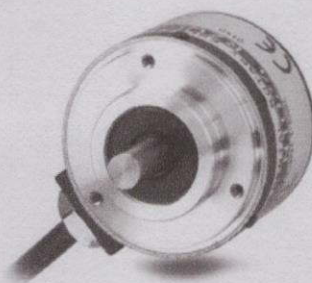


รูปที่ 2.2 สเต็ปมอเตอร์

2.4.2 สเต็ปมอเตอร์ (Step Motor) เป็นอุปกรณ์เอาต์พุตอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการควบคุมได้สะดวก และเป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานควบคุมการหมุน ที่ต้องการตำแหน่ง และทิศทางที่แน่นอน การทำงานของสเต็ปมอเตอร์จะขับเคลื่อนทีละขั้นขั้นละ 0.9, 1.8, 5, 7.5, 15 หรือ 50 องศา ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแต่ละชนิดของสเต็ปมอเตอร์ตัวนั้นๆ สเต็ปมอเตอร์จะแตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรงทั่วไป (DC MOTOR) โดยการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงจะหมุนไปแบบต่อเนื่อง ไม่สามารถหมุนเป็นแบบสเต็ปๆได้ ดังนั้นในการนำไปกำหนดตำแหน่งจึงควบคุมได้ยากกว่า แต่ในส่วนใหญ่เราจะใช้สเต็ปมอเตอร์มาทำการการควบคุมโดยใช้วิธีในระบบดิจิทัล เช่น พรินเตอร์ (Printer), พล็อตเตอร์ (X-Y Plotter), ดิสก์ไดรฟ์ (Disk drive) ฯลฯ

ข้อดีของสเต็ปมอเตอร์เมื่อเปรียบกับมอเตอร์กระแสตรง

- 1) การควบคุมไม่ต้องอาศัยตัวตรวจจับการหมุน
- 2) ไม่ต้องใช้แปรงถ่าน ดังนั้นจึงทำให้ไม่มีส่วนที่จะต้องสึกหรอ และปัญหาของการสปาร์ค (ที่เกิดจากหน้าสัมผัสของแปรงถ่านแหวนตัวนำในโรเตอร์) ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน
- 3) การควบคุมโดยทางวงจรถิจิตอลหรือไมโครโพรเซสเซอร์ ทำได้ง่าย และสะดวก [6]



รูปที่ 2.3 เอนโคเดอร์

2.4.3 เอนโคเดอร์ (Encoder) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเชิงกลในรูปแบบของการหมุนหรือการกระจัดมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยใช้หลักการทางแสง (Optical) เข้ามาช่วย การใช้งานส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์นับรอบการหมุนของมอเตอร์หรืออุปกรณ์วัดองศาการหมุนของมอเตอร์ก็ได้ สัญญาณทางเอาต์พุตของเอนโคเดอร์มีทั้งแบบที่เป็นสัญญาณดิจิทัลและแบบที่เป็นสัญญาณอนาล็อก แต่ที่พบเห็นส่วนใหญ่จะเป็นแบบดิจิทัล

ส่วนประกอบที่สำคัญของเอนโคเดอร์ประกอบด้วย ตัวส่งแสง ตัวรับแสง และจานรหัส โดยส่วนที่เป็นตัวส่งและตัวรับแสงจะติดตั้งคนละด้านโดยมีจานรหัสเป็นตัวคั่นกลาง จานรหัสจะยึดกับมอเตอร์ที่เราต้องการวัดรอบ ลักษณะของจานรหัสจะมีส่วนที่เป็นช่องที่แสงผ่านได้และส่วนที่ทึบแสง เมื่อมอเตอร์หมุนจะทำให้จานรหัสหมุนตามไปด้วย ถ้าจานรหัสหมุนส่วนที่ทึบแสงจะไปกั้นลำแสงทำให้เอาต์พุตที่ส่วนรับแสงเป็นลอจิก 0 แต่ถ้าจานรหัสหมุนส่วนที่แสงผ่านได้ตรงกับลำแสง ทำให้ตัวรับสามารถรับแสงได้ เอาต์พุตที่ตัวรับแสงจะเป็นลอจิก 1 สลับกันเป็นเช่นนี้จนครบรอบ เอนโคเดอร์ขนาด 1 บิต มีรหัสเพียงหลักเดียวในการใช้งานจริง ตัวรับและตัวส่งแสงอาจมีมากกว่า 1 บิต เพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งของจานได้ละเอียดขึ้น และตัวจานรหัสเองก็จะมีหลายชิ้นขึ้นขึ้นสอดคล้องกับจำนวนบิต รหัสที่ได้ออกมาจะมีหลายรูปแบบแล้วแต่การออกแบบ โดยทั่วไปรหัสที่ใช้ได้แก่ Binary code, BCD code เป็นต้น ชนิดของเอนโคเดอร์มีดังนี้

1) โรตารีเอนโคเดอร์ชนิดแม่เหล็ก (Magnetic Type Rotary Encoder)

ฮอลล์เซนเซอร์ (Hall Sensor) และทรงกลมหมุนที่เป็นแม่เหล็ก, ทรงกลมหมุนที่เป็นแม่เหล็กนี้จะมีแม่เหล็กเล็กๆวางอยู่ในที่ตำแหน่งถาวร ฮอลล์เซนเซอร์จะถูกติดตั้งกับทรงกลมหมุน ในขณะที่ทรงกลมหมุนสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือจะวิ่งไปสู่ขั้วใต้และผ่านฮอลล์เซนเซอร์ ทำให้ความต้านทานของฮอลล์เซนเซอร์นี้เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่ถูกตรวจจับได้นี้จะเป็นสัญญาณให้รู้ว่า ขณะนี้ทรงกลมกำลังหมุน ดังนั้นบางเวลาระบบอาจจะถูกออกแบบให้สัญญาณเฟสเป็นตัวบอกทิศทางการหมุนด้วย

ฮอลล์เซนเซอร์มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตั้งนั้นจึงต้องการกระจายสัญญาณหรือวงจรบริดจ์เข้ามาช่วยด้วย ข้อได้เปรียบของเอนโคเดอร์ชนิดนี้คือจะมีความทนทานต่อการสั่นสะเทือนทางกล รวมทั้งมีการปฏิบัติงานที่ดีในความเร็วสูง ดังนั้นมันจึงเหมาะสมที่จะใช้ในวงจร

ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor), การใช้งานตรวจจับความเร็วใน AC/DC Servo Motor, วัดความเร็วรอบ (RPM) ของมอเตอร์

2) โรตารีเอนโคเดอร์ชนิดออปติคัล (Optical Type Rotary Encoder)

ออปติคัลโรตารีเอนโคเดอร์ (Optical Rotary Encoder) จะไม่มีผลตอบสนองต่ออุณหภูมิและการสั่นสะเทือนทางกลมากนัก แผ่นดิสก์นี้จะมีน้ำหนักเบาและมันสามารถที่จะหมุนและหยุดหมุนได้โดยไม่มีภาระหน่วงจึงทำให้ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในข้อมูลจะน้อยมาก ดังนั้นจึงง่ายมากที่จะจับแผ่นดิสก์, การใช้งานตรวจจับความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเล็กๆและเครื่องจักรกลหมุนต่างๆ [7]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบการหยุดอย่างแม่นยำส่วนมากเป็นการพัฒนาในส่วนของเครื่องหยุดเมลิต อาทิ

งานที่ 1 Lin Haibo et al. [8]. ได้ทำการพัฒนาเครื่องหยุดข้าวสาลี โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมเครื่องหยุดระบบนิวเมตริก และมีการกำหนดตำแหน่งด้วยระบบ GPS โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถหยุดเมลิตข้าวสาลีได้ 624 เมลิต/นาที่ ซึ่งมีค่าความผิดพลาดในการหยุดเพียง 6%

งานที่ 2 Amandeep Koundal et al. [9]. ได้ทำการพัฒนาและการประมวลผลเครื่องหยุดปุ๋ยชนิดเม็ด โดยใช้ไฮดรอลิกมอเตอร์ในการขับเคลื่อนงานต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm มีค่าความแปรปรวนสูงสุดอยู่ที่ 11.35% และความเร็วรอบ 3500 rpm มีค่าความแปรปรวนต่ำสุดอยู่ที่ 3.69% ซึ่งความเร็วรอบจะส่งผลต่อความแปรปรวนในการทำงานด้วย

งานที่ 3 Caicong Wu et al. [10]. ได้สร้างแบบจำลองระบบและการควบคุมเครื่องหยุดปุ๋ยอัตโนมัติ ซึ่งจะใช้ GPS ในการวัดระยะทาง เพื่อช่วยปรับค่าอัตราการให้ปุ๋ยโดยถูกควบคุมด้วย Step motor มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดของตัวแบบจำลองน้อยกว่า 7 %

งานที่ 4 F. Ehtesham and M. Loghavi. [11]. ได้มีการพัฒนาและประเมินสมรรถนะของระบบการหยุดปุ๋ยเม็ดด้วยวิธีการป้อนแบบแปรผันตามแผนที่ (map-based VRA) เพื่อใช้ในการปลูกพืชแบบแถว ซึ่งมีค่าเฉลี่ยโดยรวมของค่าความผิดพลาดของอัตราการหยุดอยู่ที่ 5.4% ในกรณีที่เหมาะสมที่สุด (อัตราการหยุดสูงสุดและความเร็วในการเคลื่อนที่สูงสุด), ค่าความผิดพลาดของอัตราการหยุดคือ 9% ซึ่งเปรียบเทียบได้เป็นการหยุดเท่ากับ 15 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์

บทที่ 3

การออกแบบและสร้าง

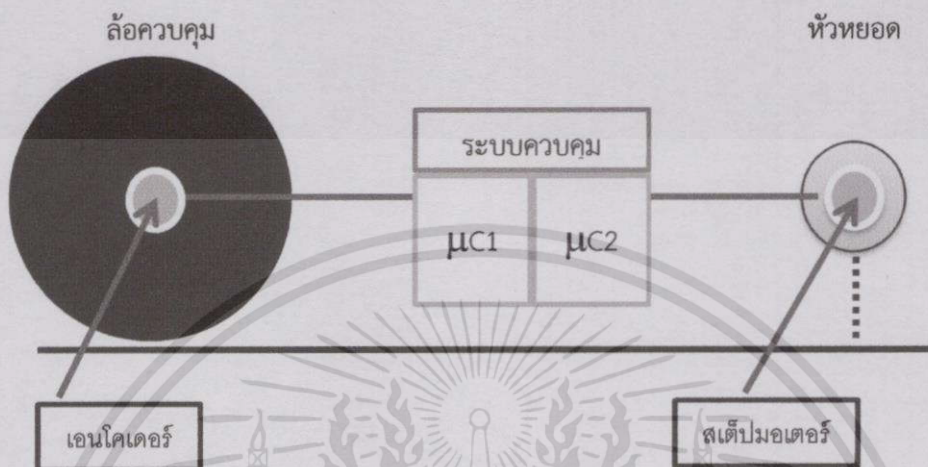
3.1 แนวคิดของระบบ

เครื่องหยอดโดยทั่วไปใช้ล้อขับเป็นตัวส่งกำลังเพื่อขับเคลื่อนหัวหยอดโดยส่งกำลังผ่านชุดเกียร์ทด ซึ่งในการส่งกำลังผ่านชุดเกียร์ทดนี้ จะทำให้ความแม่นยำในการหยอดสารเคมีลดลงเนื่องจาก ในชุดเกียร์ทดมีค่า friction ที่เกิดจากการเสียดสีของอุปกรณ์ อีกทั้งยังยุ่งยากในการเปลี่ยนระยะการหยอด เพราะต้องทำการเปลี่ยนชุดเกียร์ทด



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงหลักการของเครื่องหยอดโดยทั่วไป

โครงการนี้เป็นการพัฒนาเครื่องหยอดที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะใช้เอนโคเดอร์เพื่ออ่านค่าความเร็วเชิงมุมของล้อควบคุม จากนั้นจะทำการส่งสัญญาณพัลส์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำการประมวลผล จากนั้นก็ทำการควบคุมสเต็ปมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนหัวหยอด จะเห็นได้ว่าสามารถลดกลไกของชุดเกียร์ทด ง่ายต่อการเปลี่ยนระยะการหยอด และช่วยทำให้การหยอดมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.2 ภาพแสดงหลักการของเครื่องหยอดควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2 การออกแบบเครื่องหยอดสารเคมี

3.2.1 การออกแบบชุดหัวหยอด

ข้อกำหนด

ในพื้นที่	1	ไร่	ใช้สารเคมี	3	กิโลกรัม
หน้ากว้าง	20	เซนติเมตร	หยอดทุก	20	เซนติเมตร
ความหนาแน่นของสารเคมีเท่ากับ 1.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร					

วิธีการคำนวณ

พื้นที่	1,600	ตารางเมตร	ใช้สารเคมี	3,000	กรัม
ถ้าพื้นที่	1	ตารางเมตร	จะใช้สารเคมี	1.875	กรัม
ใน	1	ตารางเมตร	หยอดทุก	20	เซนติเมตร
ใน	1	ตารางเมตร	มีจำนวน	25	หลุม
เพราะฉะนั้น	1	หลุม	มีสารเคมี	75	มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การหาปริมาตรหลุม

จากสูตร

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

$$1.24 = \frac{0.075}{v}$$

$$v = 0.0605 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

2) การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุม

จากสูตร

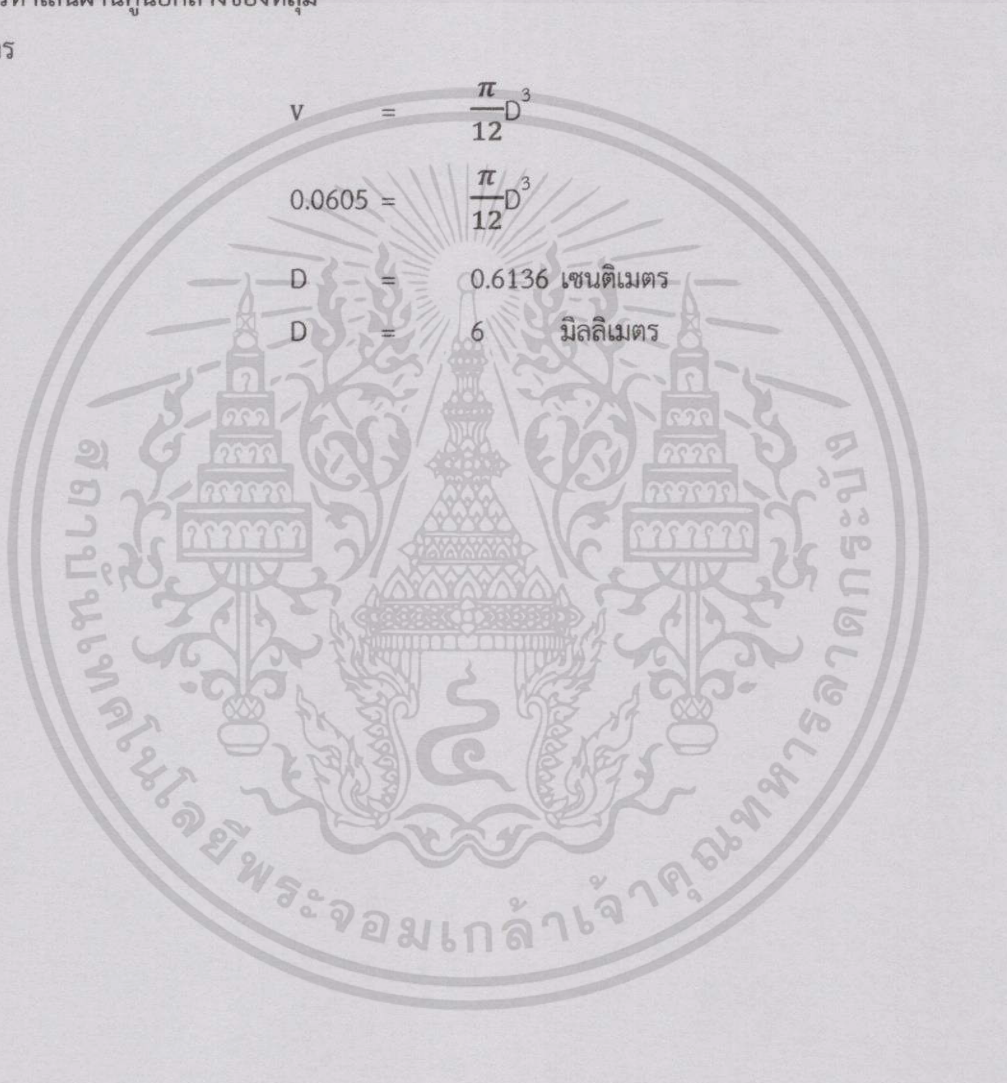
$$v = \frac{\pi}{12} D^3$$

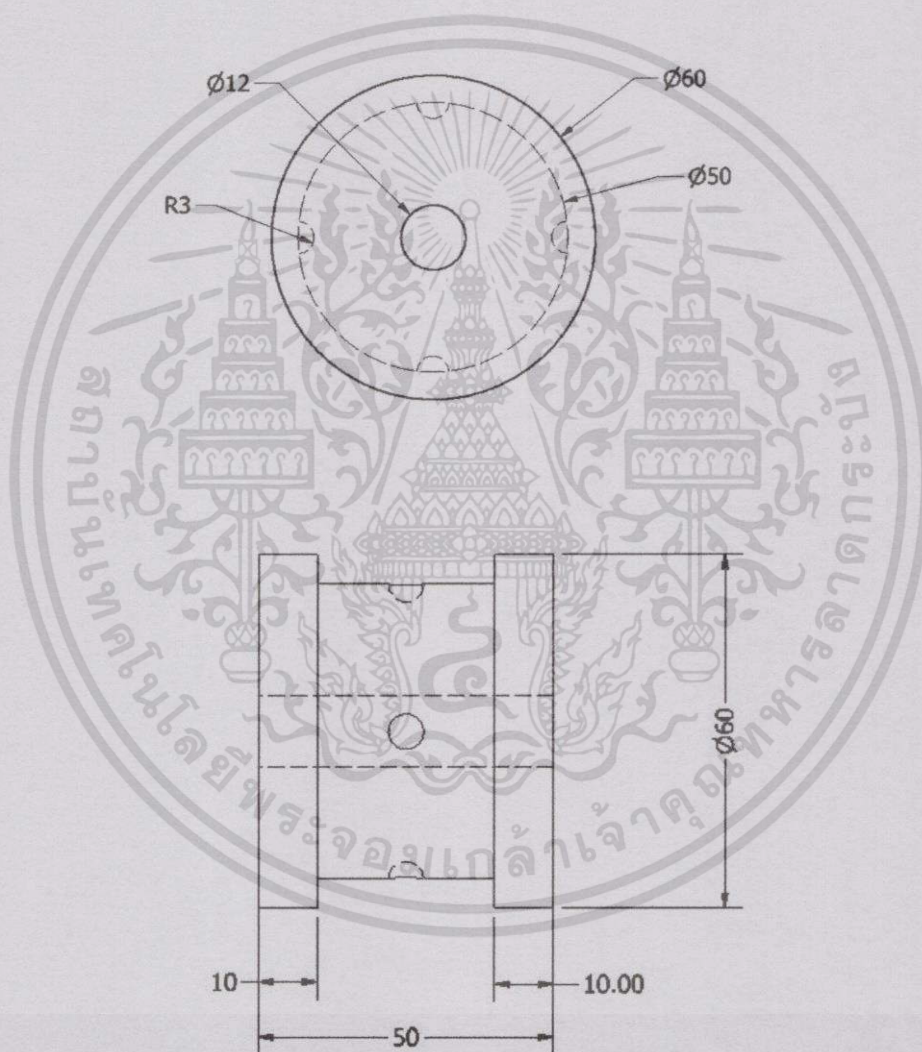
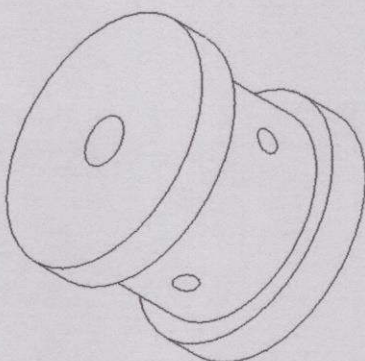
$$0.0605 = \frac{\pi}{12} D^3$$

$$D = 0.6136 \text{ เซนติเมตร}$$

หรือ

$$D = 6 \text{ มิลลิเมตร}$$





รูปที่ 3.3 ภาพแสดงลักษณะและขนาดของลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การออกแบบถังบรรจุสารเคมี

ข้อกำหนด

ต้องการบรรจุ	15	กิโลกรัม	ในหัวหยอด	4	หัวหยอด
ออกแบบ	1	หัวหยอด	ปริมาณที่บรรจุ	3.75	กิโลกรัม

1) การหาปริมาตรของสารเคมี

จากสูตร

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

$$1.24 = \frac{3,750}{v}$$

$$V_{\text{สารเคมี}} = 3,024.1936 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

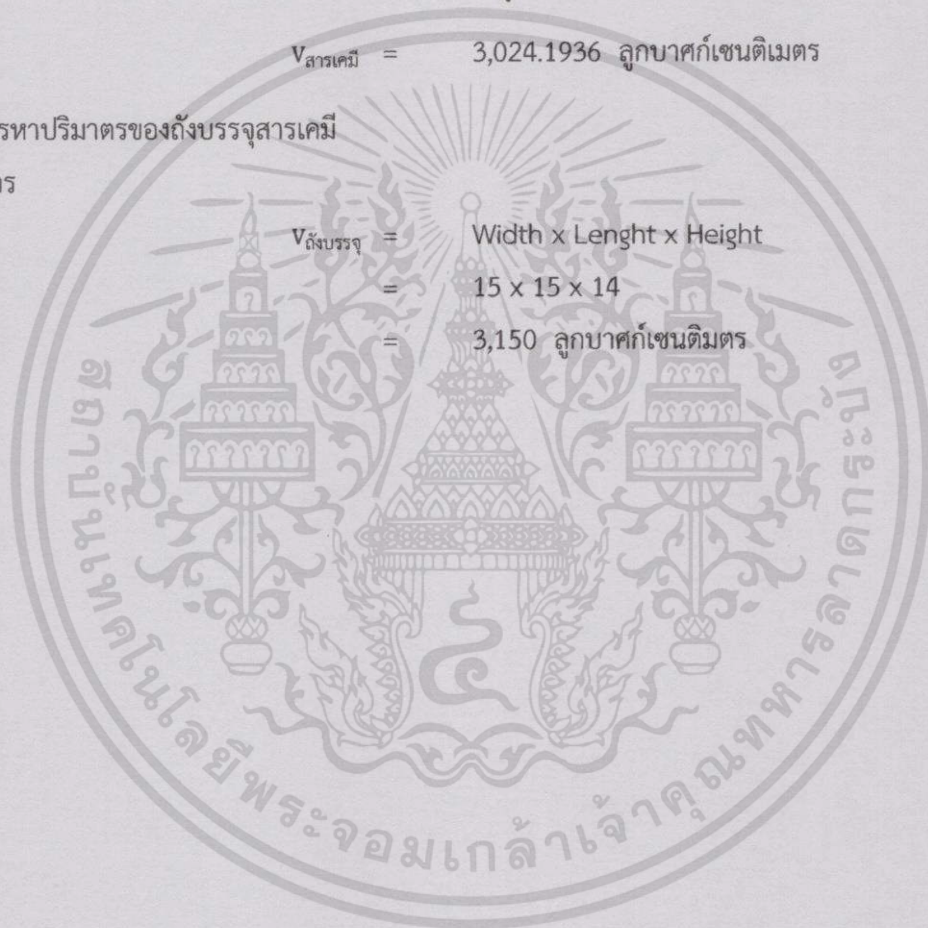
2) การหาปริมาตรของถังบรรจุสารเคมี

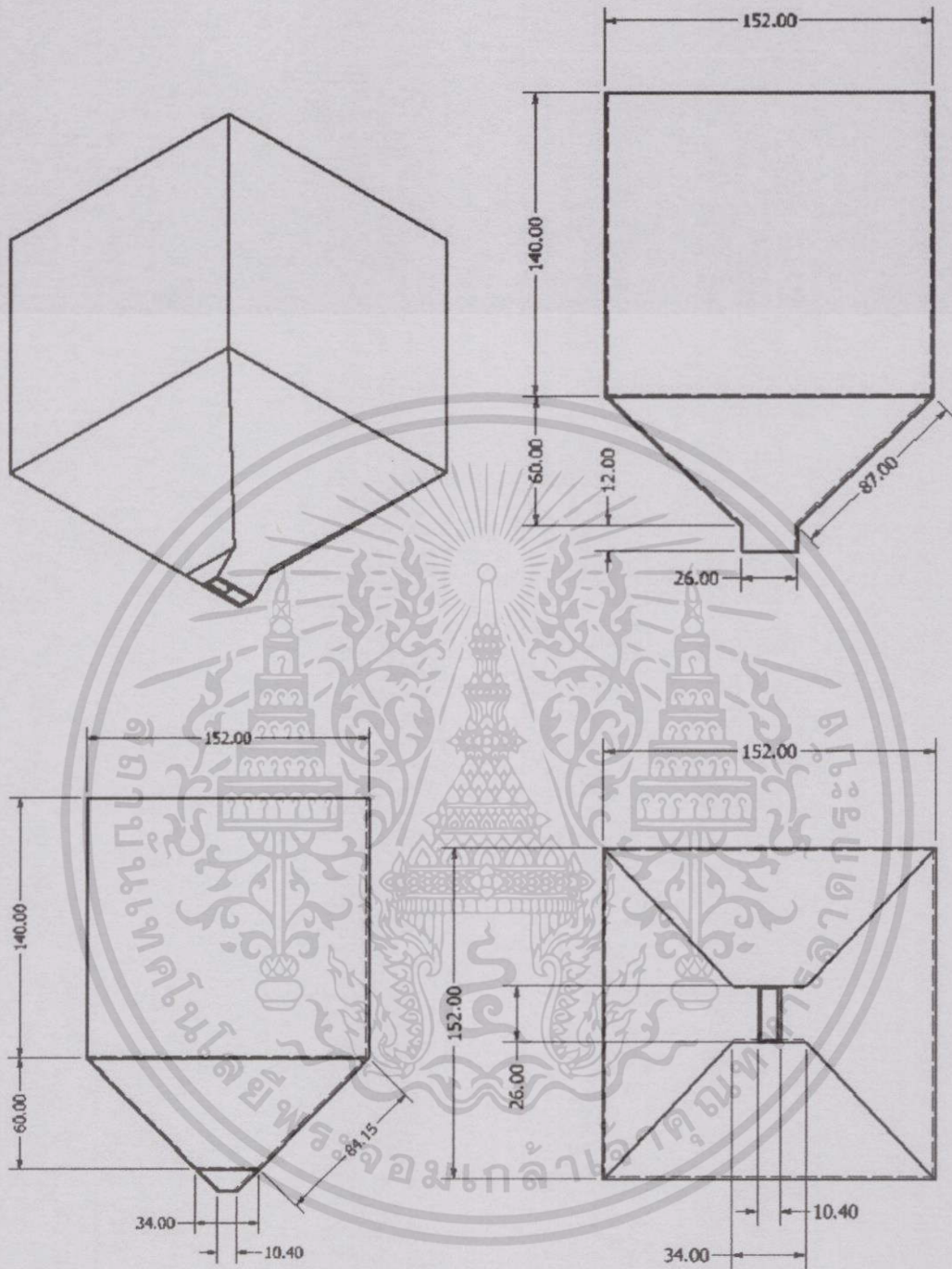
จากสูตร

$$V_{\text{ถังบรรจุ}} = \text{Width} \times \text{Lenght} \times \text{Height}$$

$$= 15 \times 15 \times 14$$

$$= 3,150 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$





รูปที่ 3.4 ภาพแสดงลักษณะและขนาดของถังบรรจุสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การออกแบบล้อควบคุม

1) การหาขนาดเส้นรอบวงของล้อควบคุม

ข้อกำหนด

ขนาดของล้อที่มีในท้องตลาดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร

จากสูตร

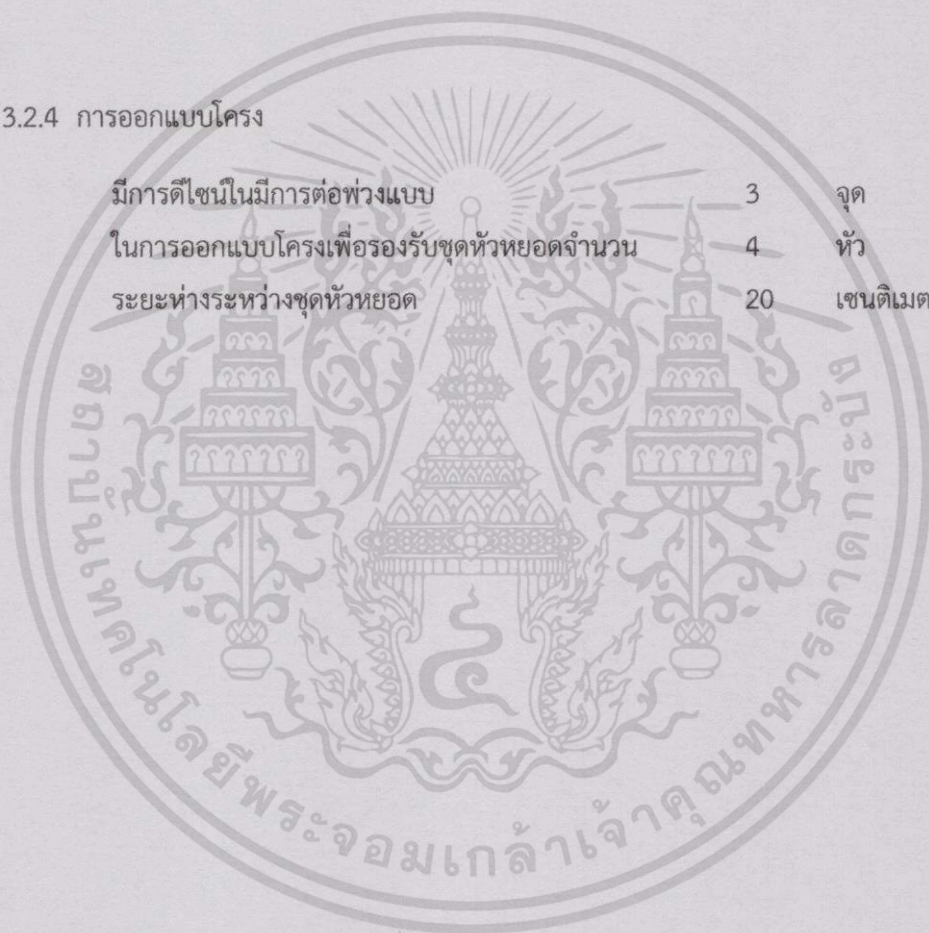
$$\text{เส้นรอบวงของล้อควบคุม} = \pi D$$

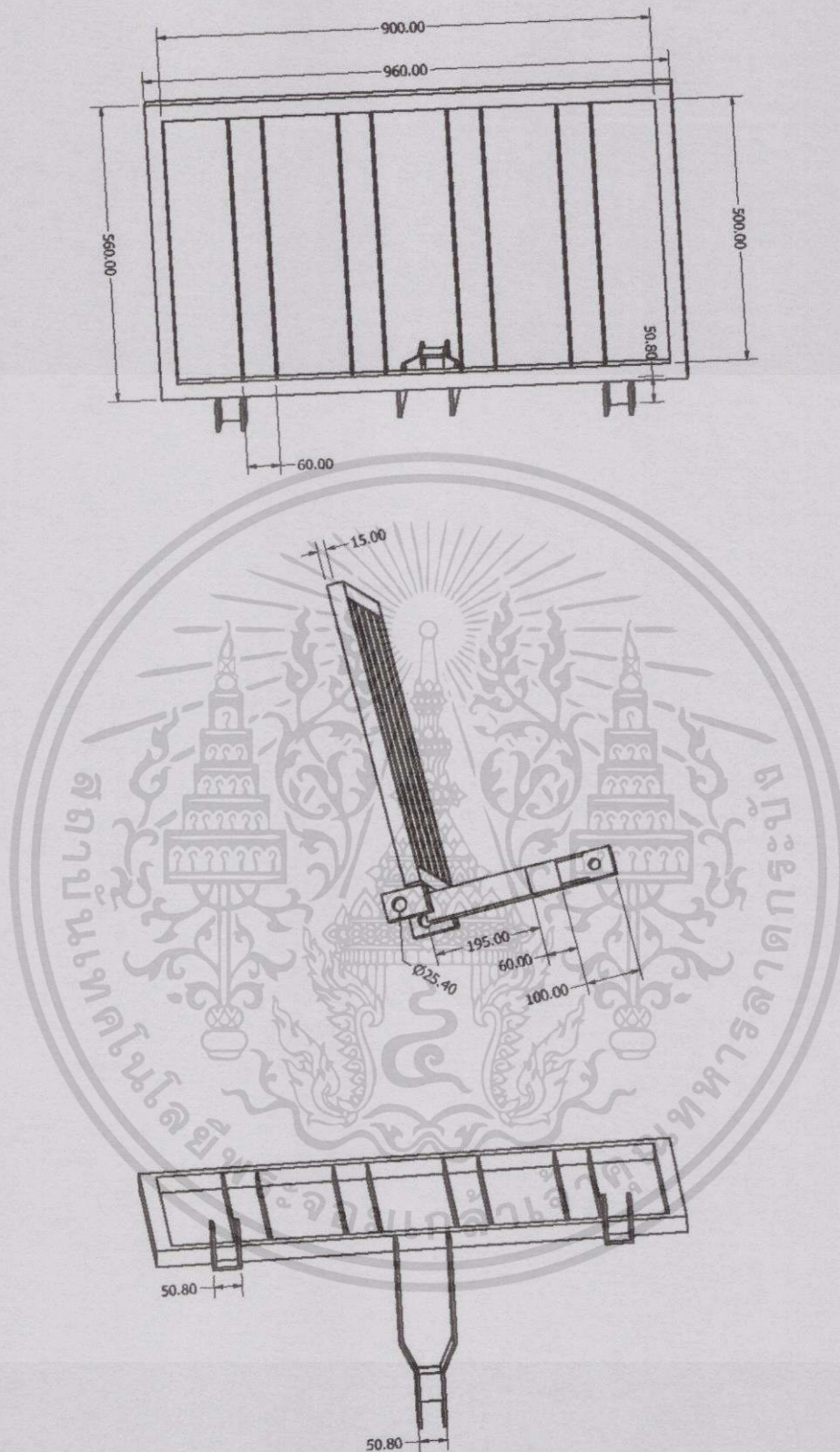
$$\text{เส้นรอบวงของล้อควบคุม} = \pi \times 30$$

$$\text{เส้นรอบวงของล้อควบคุม} = 94.25 \text{ เซนติเมตร}$$

3.2.4 การออกแบบโครง

มีการตีไซนในมีการต่อพ่วงแบบ	3	จุด
ในการออกแบบโครงเพื่อรองรับชุดหัวหยอดจำนวน	4	หัว
ระยะห่างระหว่างชุดหัวหยอด	20	เซนติเมตร





รูปที่ 3.5 ภาพแสดงลักษณะของโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบการเขียนโปรแกรม

3.3.1 การออกแบบโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์หลักที่ใช้สำหรับในการคำนวณและรับค่าจากเอนโคเดอร์

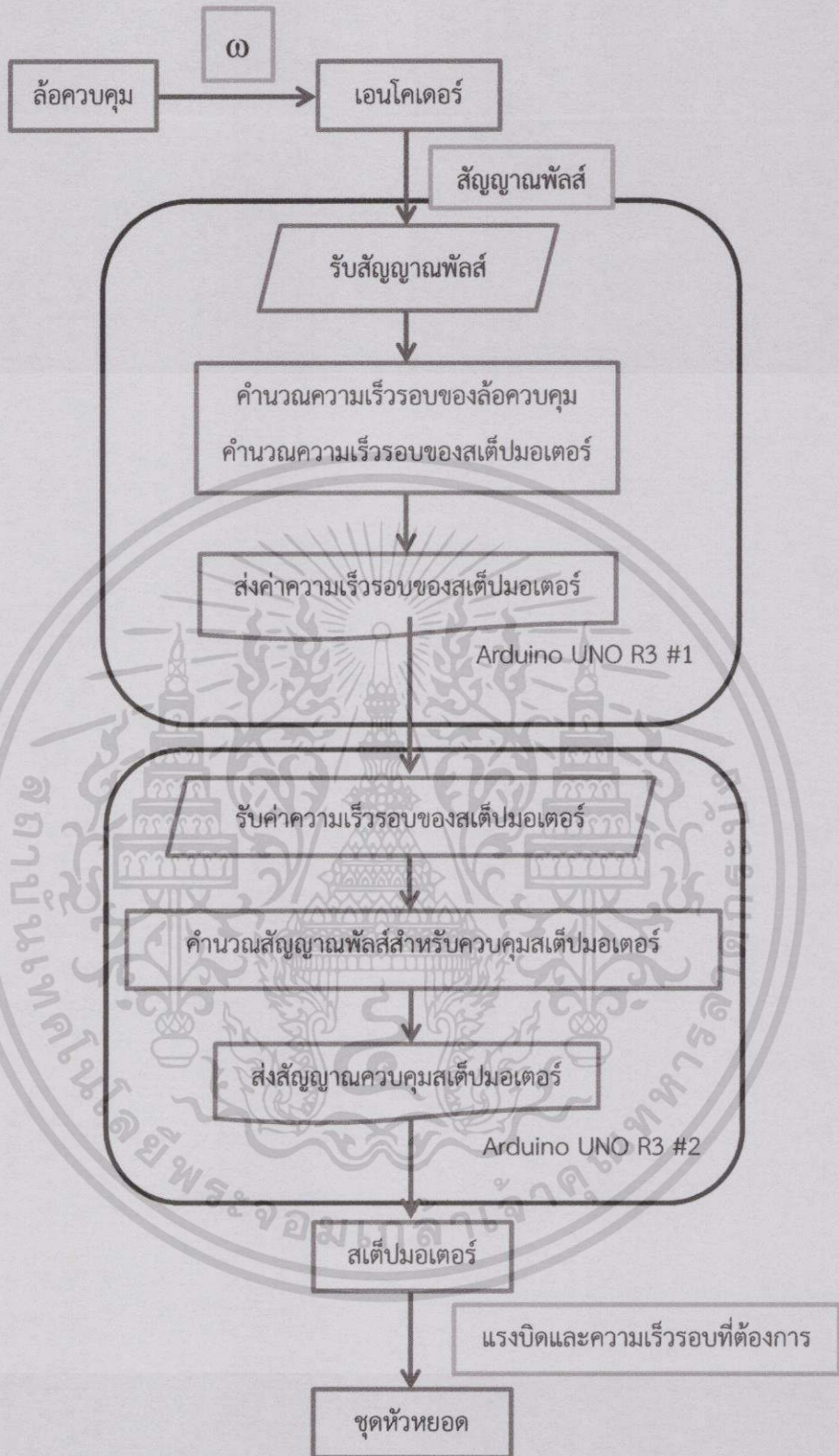
- 1) เอนโคเดอร์มีการส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมาพร้อมกันสองค่า (เฟส A และ เฟส B) ซึ่งมีมุมต่างกัน 90 องศา การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทั้งสองจะช่วยให้ทราบทิศทางการหมุนของเอนโคเดอร์ด้วย กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ (เปลี่ยนเป็น high หรือเปลี่ยนเป็น low) หากสัญญาณของทั้งสองเฟสมีค่าเท่ากัน (เป็น high ทั้งคู่หรือ low ทั้งคู่) แสดงว่าเอนโคเดอร์หมุนในทิศทางหนึ่ง และจะนับจำนวนพัลส์ (เพื่อคำนวณความเร็ว) เพิ่มขึ้น แต่ถ้ามีค่าไม่เท่ากัน แสดงว่าหมุนไปในอีกทิศทางหนึ่ง และจะนับจำนวนพัลส์ลดลง โดยจะใช้ Interrupt ของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในเฟส A และเฟส B
- 2) ใช้ Timer Interrupt ในการคำนวณค่าพัลส์ให้เป็นจำนวนรอบที่ต้องการ และทำการส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เสริม โดยมีการคำนวณดังนี้
 - จากเอนโคเดอร์สามารถอ่านได้ 360 พัลส์ต่อรอบ ซึ่งจะทำให้การอ่านค่าในทุกๆ 100 มิลลิวินาที ซึ่งทำให้มีค่าในการแปลงหน่วยเป็นรอบต่อนาทีคือ 1.667 นอกจากนี้ทำการใส่ค่าสัมประสิทธิ์เพื่อให้สามารถเปลี่ยนระยะการหยุดได้ ซึ่งคำนวณได้จาก ลูกกลิ้งที่มีจำนวน 4 หลุม ล้อตามมีเส้นรอบวงอยู่ที่ 94.25 เซนติเมตร ดังนั้นระยะการหยุดจะอยู่ที่ 23.56 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 1, ระยะการหยุดที่ 30 เซนติเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ เท่ากับ 0.79, ระยะการหยุดที่ 40 เซนติเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ เท่ากับ 0.59 และระยะการหยุดที่ 50 เซนติเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ เท่ากับ 0.47 เมื่อทำการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์เข้าไปในความเร็วรอบของล้อ จะกลายเป็นความเร็วรอบของมอเตอร์
- 3) ส่งค่าความเร็วรอบที่สแตมป์มอเตอร์ต้องการออกทางพอร์ตอนุกรม ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เสริม

3.3.2 การออกแบบโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เสริมที่รับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์หลักและควบคุมความเร็วรอบของสเต็ปมอเตอร์

- 1) รับค่าความเร็วรอบที่สเต็ปมอเตอร์ต้องการจากไมโครคอนโทรลเลอร์หลักผ่านทางพอร์ตอนุกรม
- 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผล โดยใช้ฟังก์ชันจาก library ของสเต็ปมอเตอร์ให้กลายเป็นสัญญาณพัลส์ที่สเต็ปมอเตอร์ต้องการ
- 3) หลังจากนั้นจะส่งค่าสัญญาณพัลส์ไปยัง ตัวแปลงไฟฟ้า (Dual H Bridge) เพื่อขยายแรงดันไฟฟ้าให้เพียงพอในการขับสเต็ปมอเตอร์ที่จะไปหมุนชุดหัวหยอด

*หมายเหตุ โปรแกรมที่ใช้สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก และไมโครคอนโทรลเลอร์เสริม แสดงในภาคผนวก ข.1 และ ข.2 ตามลำดับ



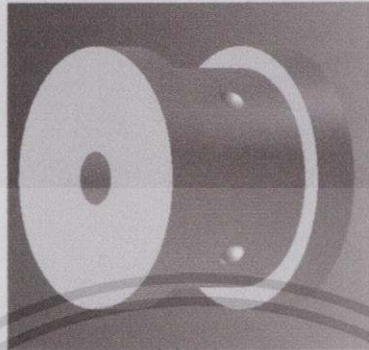


รูปที่ 3.6 ภาพแสดงหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

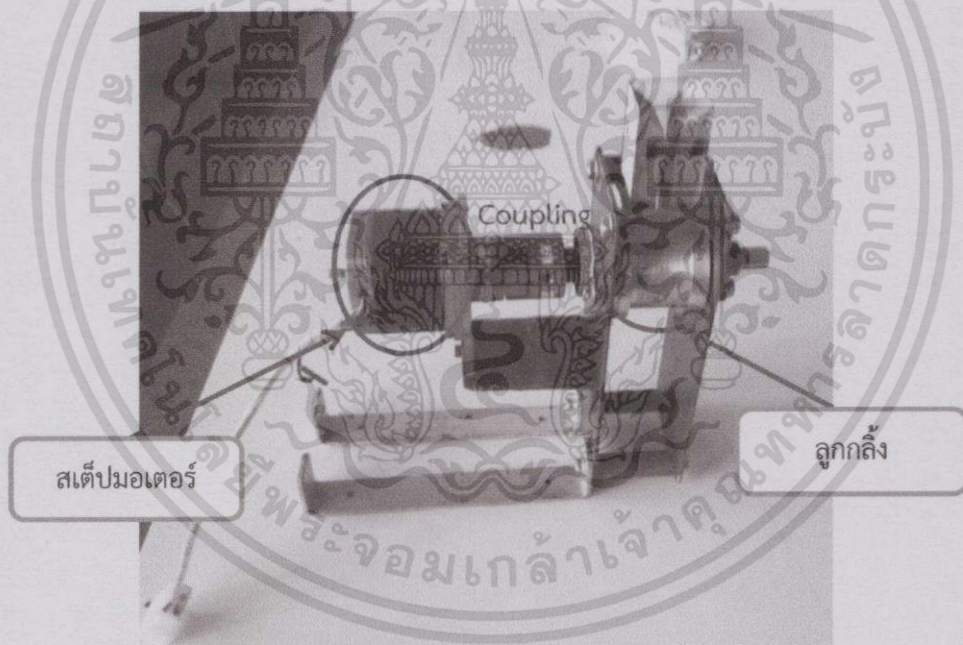
3.4 การสร้างอุปกรณ์

เริ่มทำการสร้างลูกกลิ้งอะลูมิเนียมให้มีขนาดตามที่ทำการออกแบบ



รูปที่ 3.7 ลูกกลิ้ง

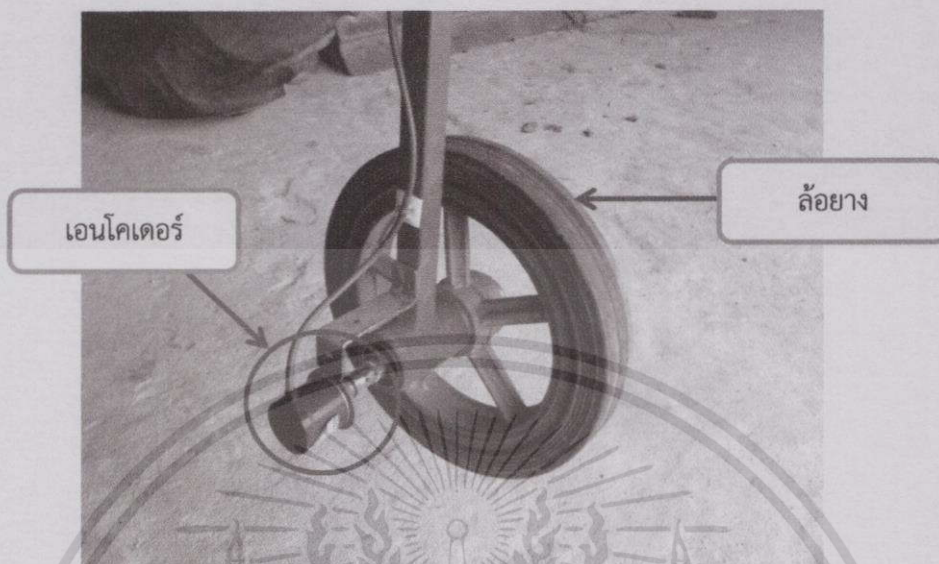
ทำการประกอบลูกกลิ้ง coupling และสเต็ปมอเตอร์เป็นชุดหัวหยอด



รูปที่ 3.8 ภาพแสดงชุดหัวหยอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการประกอบล้อควบคุมซึ่งมีล้อยาง แชนล้อ และ เอนโคเดอร์ เพื่อวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของระบบจากการเคลื่อนที่เชิงมุม



รูปที่ 3.9 ภาพแสดงล้อควบคุม

3.5 การติดตั้งอุปกรณ์

ในส่วนนี้จะทำการประกอบกันของอุปกรณ์ทั้งหมด ซึ่งได้แก่ ชุดหัวหยอด ล้อควบคุม โครงต่อพ่วงแบบ 3 จุด และกล่องอิเล็กทรอนิกส์ หลังจากนั้นนำมาติดตั้งบนรถแทรกเตอร์ เพื่อเตรียมที่จะทำการทดสอบต่อไป



รูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งของอุปกรณ์ (ไม่รวมถึงบรรจุสารเคมี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบความแม่นยำภายในห้องปฏิบัติการ

4.1.1 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบในพื้นที่ที่มีความสม่ำเสมอ

4.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) สารตัวอย่าง (อาหารปลาแบบเม็ดขนาดเล็ก)

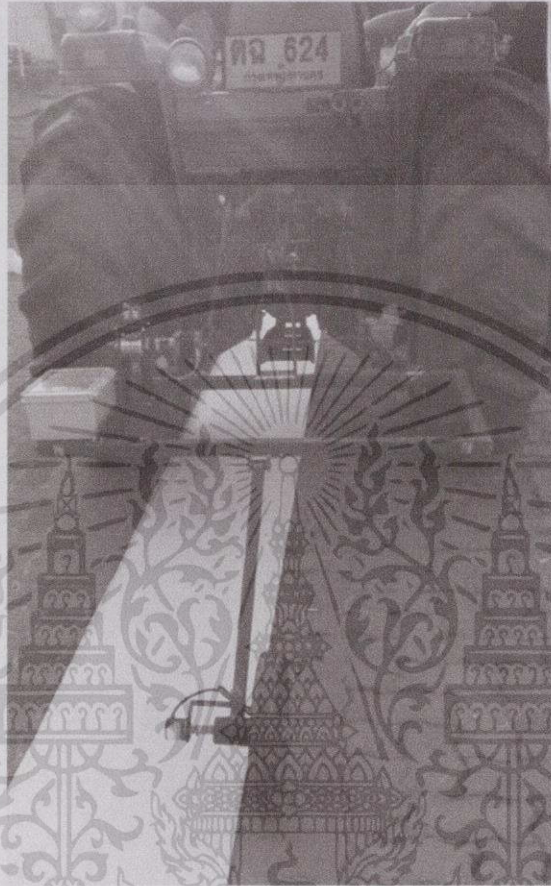


รูปที่ 4.1 สารตัวอย่าง (อาหารปลาแบบเม็ดขนาดเล็ก)

- 2) เครื่องหยอดสารเคมีแบบแม่นยำที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3) ผ้าขาว ยาว 120 เซนติเมตร กว้าง 45 เซนติเมตร
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนักสาร (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- 5) ตลับเมตร
- 6) รถแทรกเตอร์
- 7) ถุงพลาสติก

4.1.3 วิธีการทดลอง

- 1) เตรียมเครื่องหยดสารเคมี ตรวจสอบความพร้อมในการทำงาน พร้อมทำการติดตั้งบนรถแทรกเตอร์ และปูผ้าเพื่อรองรับสารตัวอย่างที่ถูกปล่อย



รูปที่ 4.2 การติดตั้งเครื่องหยดสารเคมีบนรถแทรกเตอร์ พร้อมปูผ้าเพื่อรองรับสารตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

- 2) เทสารตัวอย่างที่ใช้แทนสารเคมีเป้าหมายลงในที่บรรจุสาร
- 3) ทำการทดสอบโดยใช้แทรกเตอร์ลากเครื่องหยดสารเคมี ตามระยะระหว่างหลุม ที่มีด้วยกัน 3 ระยะ (30, 40, และ 50 เซนติเมตร) และตามความเร็วในการเคลื่อนที่ที่มีด้วยกัน 3 ระดับเช่นกัน (0.7, 1.0 และ 1.4 เมตรต่อวินาที)
- 4) ทำการเก็บสารตัวอย่างที่ถูกปล่อยตามระยะ คือที่ 30, 40 และ 50 เซนติเมตร ทั้งหมดเป็นจำนวน 15 ช่วง ด้วยกัน ใส่ลงพลาสติกเพื่อนำไปชั่งน้ำหนักของวัสดุที่ถูกปล่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) ชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ถูกปล่อย ด้วยเครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง
- 6) บันทึกผลการทดลอง พร้อมนำค่าไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

4.1.4 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.3 แสดงสารตัวอย่างหลังจากการถูกปล่อยด้วยเครื่องหยอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการทางสถิติของระยะระหว่างหลุม กับความเร็ว ต่อ น้ำหนักสารตัวอย่างต่อหลุม

ความเร็ว (เมตร/วินาที)	มวลสารตัวอย่างต่อหลุม (มิลลิกรัม/หลุม) ที่ระยะระหว่างหลุม		
	30	40	50
0.7	38.1±3.1a	29.2±4.2b	42.7±4.4a
1.0	31.1±6.8b	43.4±3.5a	31.8±5.1b
1.4	35.7±3.7a	42.0±5.5a	46.1±5.2a

* ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
(a = 0.05)

4.1.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ ค.1.2 แสดงผลการทดลอง ANOVA ซึ่งได้ค่า Sig. = 0.000 ≤ 0.05 สำหรับ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ในการเคลื่อนที่และระยะระหว่างหลุม

จากตารางที่ ค.1.3 แสดงผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของความ คลาดเคลื่อน ซึ่งได้ผลว่า Sig. = 0.095 ≥ 0.05 แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือ ความแปรปรวน ของความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากัน จึงต้องทำการทดสอบสมมติฐานของ Main effect ด้วยวิธี Simple main effect test

จากตารางที่ ค.1.5 แสดงผลการเปรียบเทียบพหุคูณ LSD จะทำการพิจารณาผลเมื่อผลการ ทดสอบสำหรับ Simple main effect แสดงว่ามีการปฏิเสธสมมติฐานหลักสำหรับระยะระหว่างหลุม

จากตารางที่ ค.1.4 แสดงผลการทดสอบสำหรับ Simple main effect เนื่องจากเราตัดแปลง โปรแกรมให้เปรียบเทียบระยะระหว่างหลุมในแต่ละความเร็วในการเคลื่อนที่ ซึ่งได้ค่า Sig. ≤ 0.05 ใน ทุกความเร็ว แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลักสำหรับระยะระหว่างหลุมในทุกความเร็ว นั่นคือ ระยะ ระหว่างหลุมมีผลต่อมวลสารตัวอย่างต่อหลุมในทุกความเร็วในการเคลื่อนที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α = 0.05) จากนั้นจึงกลับไปพิจารณาตารางที่ ค.1.5 ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.1

จากการทดลองพบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างระยะระหว่างหลุมกับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่อ น้ำหนักสารตัวอย่าง ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าของน้ำหนักสารตัวอย่างแตกต่างกัน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้พบข้อผิดพลาด คือการรั่วของสารตัวอย่างจากชุดหัวหยอด จึงทำให้ค่าของ น้ำหนักสารตัวอย่างมากเกินไปกว่าค่าที่กำหนด

4.2 การทดสอบความแม่นยำภายในแปลงทดสอบ

4.2.1 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบในพื้นที่ที่ไม่มีความสม่ำเสมอ

4.2.2 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) สารตัวอย่าง (อาหารปลาแบบเม็ดขนาดเล็ก)
- 2) เครื่องหยอดสารเคมีแบบแม่นยำที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3) ผ้าขาว ยาว 120 เซนติเมตร กว้าง 45 เซนติเมตร
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนักสาร (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- 5) ตลับเมตร
- 6) รถแทรกเตอร์
- 7) ถังพลาสติก

4.2.3 วิธีการทดลอง

- 1) เตรียมเครื่องหยอดสารเคมี ตรวจสอบความพร้อมในการทำงาน พร้อมทำการติดตั้งบนรถแทรกเตอร์ และปูผ้าเพื่อรองรับสารตัวอย่างที่ถูกปล่อย



รูปที่ 4.4 การติดตั้งเครื่องหยอดสารเคมีบนรถแทรกเตอร์ พร้อมปูผ้าเพื่อรองรับสารตัวอย่างในแปลงทดสอบ

- 2) เทสารตัวอย่างที่ใช้แทนสารเคมีเป้าหมายลงในที่บรรจุสาร
- 3) ทำการทดสอบโดยใช้แทรกเตอร์ลากเครื่องหยอดสารเคมี ตามระยะระหว่างหลุมที่มีด้วยกัน 3 ระยะ (30, 40, และ 50 เซนติเมตร) และตามความเร็วในการเคลื่อนที่ที่มีด้วยกัน 3 ระดับเช่นกัน (0.7, 1.0 และ 1.4 เมตรต่อวินาที)

- 4) ทำการเก็บสารตัวอย่างที่ถูกปล่อยตามระยะ คือที่ 30, 40 และ 50 เซนติเมตร ทั้งหมดเป็นจำนวน 15 ช่วง ด้วยกัน ใส่ถุงพลาสติกเพื่อนำไปแช่ น้ำหนักของวัสดุที่ถูกปล่อย
- 5) ชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ถูกปล่อย ด้วยเครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง
- 6) บันทึกผลการทดลอง พร้อมนำค่าไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

4.2.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดสอบภายในแปลงทดสอบทางสถิติของระยะระหว่างหลุม กับความเร็ว ต่อ น้ำหนักสารตัวอย่างต่อหลุม

ความเร็ว (เมตร/วินาที)	มวลสารตัวอย่างต่อหลุม (มิลลิกรัม/หลุม) ที่ระยะระหว่างหลุม		
	30	40	50
0.7	28.0±4.4a	24.4±3.3ns	26.7±2.6ns
1.0	27.9±2.3a	23.8±2.9ns	27.2±2.3ns
1.4	20.8±4.6b	25.6±2.3ns	26.7±2.9ns

* ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (a = 0.05)

4.2.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ ค.2.2 แสดงผลการทดลอง ANOVA ซึ่งได้ค่า Sig. = 0.000 ≤ 0.05 สำหรับ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง แสดงว่า ปฏิสัมพันธ์ฐานหลัก นั่นคือ มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ในการเคลื่อนที่และระยะระหว่างหลุม

จากตารางที่ ค.2.3 แสดงผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน ซึ่งได้ผลว่า Sig. = 0.020 ≤ 0.05 แสดงว่าปฏิสัมพันธ์ฐานหลัก นั่นคือ ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่เท่ากัน จึงต้องทำการทดสอบสมมติฐานของ Main effect ด้วยวิธี One-way ANOVA ของปัจจัยที่ละตัว

จากตารางที่ ค.2.4 แสดงผลการทดสอบ One-way ANOVA ได้ผลค่า Sig. = 0.000 ≤ 0.05 แสดงว่าปฏิสัมพันธ์ฐานหลัก นั่นคือ มวลสารตัวอย่างต่อหลุมที่ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่อย่างน้อย สองความเร็วแตกต่างกัน ($\alpha = 0.05$) โดยผลการทดสอบ Post Hoc Test ด้วยวิธี DMRT แสดงผลดังนี้

28.0a 27.9a 20.8b

จากตารางที่ ค.2.5 แสดงผลการทดสอบ One-way ANOVA ได้ผลค่า Sig. =0.246 \geq 0.05 แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือ มวลสารตัวอย่างต่อหลุมที่ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

จากตารางที่ ค.2.6 แสดงผลการทดสอบ One-way ANOVA ได้ผลค่า Sig. =0.874 \geq 0.05 แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือ มวลสารตัวอย่างต่อหลุมที่ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

จากการทดลองพบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างระยะระหว่างหลุมกับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่อน้ำหนักสารตัวอย่าง ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน มีน้ำหนักสารตัวอย่างแตกต่างกันที่ระยะระหว่างหลุม 30 เซนติเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ 1.4 เมตรต่อวินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยมีน้ำหนักสารตัวอย่างน้อยที่สุดและแตกต่างจากความเร็วในการเคลื่อนที่อื่นๆ



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 เครื่องต้นแบบที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยมีหลักการง่ายๆ คือ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตัวในการควบคุม ตัวที่หนึ่งรับสัญญาณจากเอนโคเดอร์ และตัวที่สองส่งสัญญาณควบคุมสเต็ปมอเตอร์

5.1.2 ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถหยุดสารเคมีได้ในปริมาณน้อยได้อย่างแม่นยำ โดยช่วงระยะเวลาการหยุด และความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 40-50 เซนติเมตร และ 0.7-1.4 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ มีอัตราการหยุดต่อหลุมอยู่ที่ 25.6 ± 2.9 มิลลิกรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการทดลองทำให้ทราบว่าสเต็ปมอเตอร์มีข้อจำกัดทางด้านความเร็ว ดังนั้นควรเพิ่มจำนวนหลุมของลูกกลิ้ง เพื่อเป็นการลดความเร็วรอบของสเต็ปมอเตอร์

5.2.2 จากการทำวิจัยครั้งนี้มีการสร้างเครื่องหยุดสารเคมีเพียงจำนวน 1 หัวหยุดเท่านั้น จึงควรเพิ่มจำนวนชุดหัวหยุดให้มากขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อการทำงานที่เหมาะสมกับหน้ากว้างของรถแทรกเตอร์ (รูป 5.1)



รูปที่ 5.1 แบบแปลนของเครื่องหยุดสารเคมีควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 4 แกว

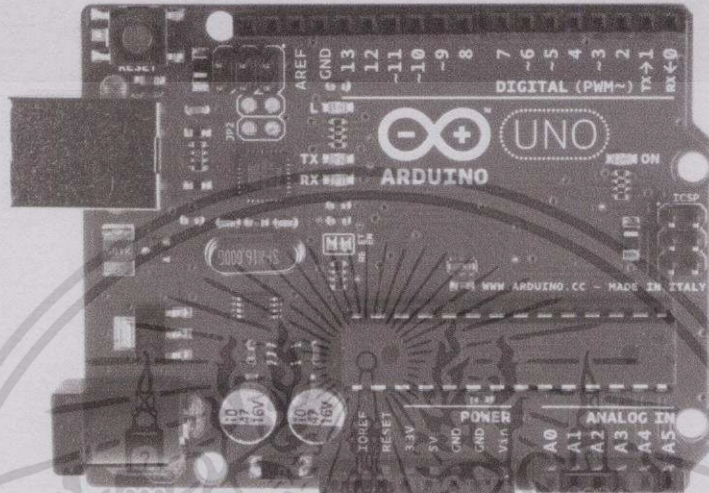


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในเครื่องหยอดสารเคมี

ก.1 รายละเอียดของอุปกรณ์

(1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)



รายละเอียด :

Microcontroller	Arduino UNO R3 (ATmega328)
Operating Voltage	5V
Input Voltage	7-12V
Digital I/O Pins	14
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง Pin ของไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก

Pin (digital)	อุปกรณ์	Pin (digital)	อุปกรณ์
IREF		0	
RESET		1	
3.3 V		2	encoder (Phase A)
5 V	encoder	3	encoder (Phase B)
GND	encoder	4	
GND	microcontroller 2	5	
Vin	microcontroller 2	6	microcontroller 2
A0		7	microcontroller 2
A1		8	
A2		9	
A3		10	
A4		11	
A5		12	
		13	

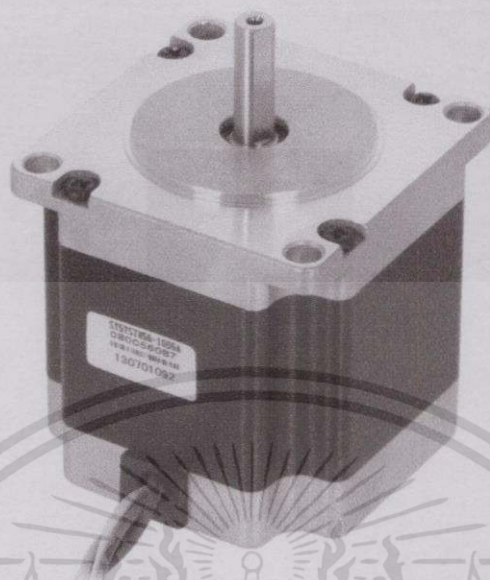
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง Pin ของไมโครคอนโทรลเลอร์เสริม

Pin (digital)	อุปกรณ์	Pin (digital)	อุปกรณ์
IOREF		0	
RESET		1	
3.3 V		2	
5 V		3	
GND	step motor	4	
GND	microcontroller 1	5	
Vin	microcontroller 1	6	microcontroller 1
A0		7	microcontroller 1
A1		8	step motor
A2		9	step motor
A3		10	step motor
A4		11	step motor
A5		12	
		13	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) สเต็ปมอเตอร์ (Step Motor)



รายละเอียด :

Step Motor	NEMA 23
Size	56.4 mm square x 56 mm
Weight	0.7 kg (25 oz)
Shaft diameter	1/4" (6.35 mm) "D"
Steps per revolution	200
Current rating	1 A per coil
Voltage rating	7.4 V
Resistance	7.4 Ohm per coil
Holding torque	9 kg-cm (125 oz-in)
Inductance	10 mH per coil
Lead length	12 in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

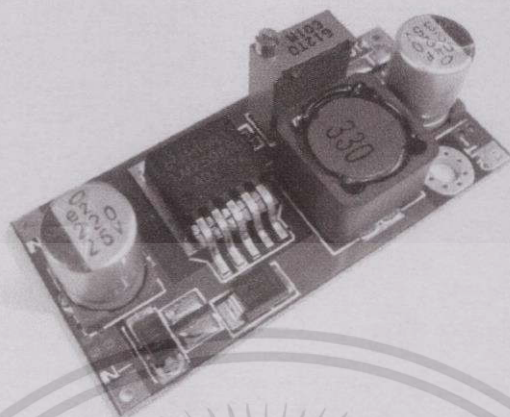
(3) เอนโคเดอร์ (Encoder)



รายละเอียด :

Encoding method	Incremental
Power supply voltage	5 VDC -5% to 24 VDC +15%
Resolution (Single turn type)	360 P/R
Output phases	A, B and Z
Phase difference on output	90 DEG -45 to +45 DEG
Rise and fall times of output	Rise time of output: 1 us Max. Fall time of output: 1 us Max.

(4) เรกูเลเตอร์ (Regulator)

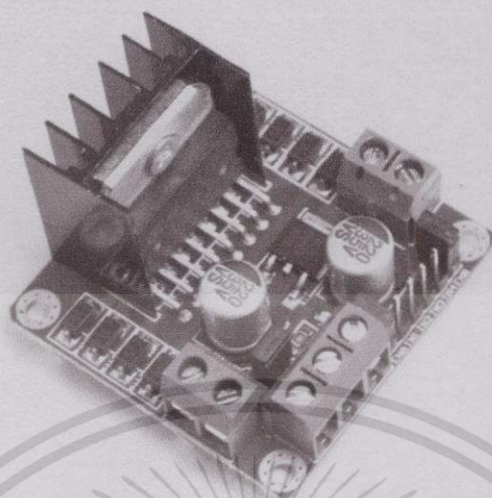


รายละเอียด :

Input Voltage	3.5 - 40V
Output Voltage	1.25 - 37V
Output Current	3A (Max)
Efficiency	92% (Max)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) ตัวแปลงไฟฟ้า (Dual H Bridge)



รายละเอียด :

Driver	L298
Driver power supply	+5V~+46V
Driver peak current	2A
Logic power output Vss	+5~+7V (internal supply +5V)
Logic current	0~36mA
Controlling level	Low : -0.3V~1.5V High : 2.3V~Vss
Enable signal level	Low : -0.3V~1.5V High : 2.3V~Vss
Max drive power	25W (Temperature 75 °C)
Working temperature	-25°C~+130°C
Dimension	60mm*54mm
Driver weight	~48g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปรแกรม

ข.1 โปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก

```

//Arduino4
#include <TimerOne.h> //เรียกใช้ libraries (Timer)
#include <SoftwareSerial.h> //เรียกใช้ libraries
                               (Softwareserial)

#define pinA 2 //กำหนด pin 2 ชื่อ pinA
#define pinB 3 //กำหนด pin 3 ชื่อ pinB

int enA = 0; //เก็บข้อมูล ชื่อ enA มีค่า
              เริ่มต้น=0 แบบ integer
int enB = 0; //เก็บข้อมูล ชื่อ enB มีค่า
              เริ่มต้น=0 แบบ integer
volatile long a = 0; //เก็บข้อมูล ชื่อ a มีค่าเริ่มต้น=0
                     แบบ volatile long
float k = 0.5; //กำหนดสัมประสิทธิ์ แบบ float
               เพื่อกำหนดระยะระหว่างหลุม
volatile long rpm ; //เก็บข้อมูล ชื่อ rpm
                   แบบ volatile long
volatile int pulse = 0; //เก็บข้อมูล ชื่อ pulse มีค่า
                       เริ่มต้น=0 แบบvolatile integer
SoftwareSerial ssl(7,6); //TX = digital pin 7,
                        RX = digital pin 6

void setup(){
  pinMode(pinA, INPUT_PULLUP); //กำหนดชนิดของ pinA ให้รับ
                                ค่าแบบ INPUT_PULLUP
  pinMode(pinB, INPUT_PULLUP); //กำหนดชนิดของ pinB ให้รับ
                                ค่าแบบ INPUT_PULLUP
  attachInterrupt(1, Encoder, RISING); //กำหนด Interrupt ให้อยู่ที่
                                        ตำแหน่ง pin3 โดยใช้ชื่อ
                                        Encoder และรับค่าแบบ Rising

```

```

Serial.begin(115200); //ตั้งค่าการสื่อสารอนุกรมที่
                        115200
ssl.begin(57600); //ตั้งค่าพอร์ทอนุกรม ชื่อ ssl ที่
                   จะส่งข้อมูลที่ 57600

Timer1.initialize(100000); //ตั้งค่าTimer ที่ 100 มิลลิวินาที
Timer1.attachInterrupt(timerEn); //ตั้งค่า Interrupt ของ Timer
                                   ชื่อ TimerEn
}
void Encoder(){
  enA = digitalRead(pinA); //คำสั่งอ่านค่า pin
  enB = digitalRead(pinB); //คำสั่งอ่านค่า pin
  if(enA == enB) //สร้างเงื่อนไข เมื่ออ่าน
    pulse++; //ค่า enA = enB ให้ค่า pulse
  else //เพิ่มขึ้น แต่ถ้าไม่เท่าให้
    pulse--; //ค่า pulse ลดลง
}
void timerEn(){
  rpm = pulse*1.667; //คำนวณความเร็วรอบของ
                    ล้อควบคุม
  a = k*rpm; //คำนวณความเร็วรอบของ
             สเต็ปมอเตอร์
  ssl.println(int(a)); //ส่งค่าความเร็วรอบของ
                       สเต็ปมอเตอร์ผ่านพอร์ทอนุกรม
                       ssl

  // Serial.print(pulse);
  // Serial.print('\t');
  Serial.print(rpm); //แสดงค่าทางมอเนเตอร์
  Serial.print('\t');
  Serial.println(a);
  pulse = 0;
}
void loop(){
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 โปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์เสริม

```

//Arduino3
#include <Stepper.h> //เรียกใช้ libraries
(Steptomotor)
#include <SoftwareSerial.h> //เรียกใช้ libraries
(Softwareserial)
#include <TimerOne.h> //เรียกใช้ libraries (Timer)
Stepper stepper(200,8,9,10,11); //กำหนดการใช้งานของสเต็ปมอเตอร์
//ที่ pin 8-11 ที่ 200 สเต็ปต่อรอบในชื่อ stepper
SoftwareSerial ssl(6,7); //TX = digital pin 6,
//RX = digital pin 7
volatile long b; //เก็บข้อมูล ชื่อ b มีค่าเริ่มต้น=0 แบบvolatile long
void setup(){
  Serial.begin(115200); //ตั้งค่าการสื่อสารอนุกรมที่ 115200
  ssl.begin(57600); //ตั้งค่าพอร์ทอนุกรม ชื่อ ssl ที่ จะรับข้อมูลที่ 57600
  Timer1.initialize(100000); //ตั้งค่า Timer ที่ 100
  มิลลิวินาที
  Timer1.attachInterrupt(timer); //ตั้งค่า Interrupt ของ Timer ชื่อ timer
}
void timer(){
  if(ssl.available()){ //สร้างเงื่อนไข
    เมื่อ ssl มีการทำงาน
    b = ssl.parseInt(); //รับค่าความเร็วรอบของ สเต็ปมอเตอร์ทางพอร์ทอนุกรม
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println(b);
stepper.setSpeed(abs(b));
}
}
void loop(){
  if(b>0)
    stepper.step(-1);
  if(b<0)
    stepper.step(1);
}

```

แสดงค่าทางมอนิเตอร์

ตั้งค่าความเร็วของสเต็ปมอเตอร์

//สร้างเงื่อนไขเมื่อค่า

ที่รับมากกว่า 0

ให้สเต็ปหมุน 1สเต็ป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
รายละเอียดผลการทดลอง

ค.1 รายละเอียดผลการทดลองภายในห้องปฏิบัติการ

ค.1.1 ตารางผลการทดสอบความแม่นยำภายในห้องปฏิบัติการ

ระยะระหว่างหลุม (เซนติเมตร)	30			40			50		
ความเร็วในการ เคลื่อนที่ (เมตรต่อ วินาที)	0.7	1.0	1.4	0.7	1.0	1.4	0.7	1.0	1.4
ซ้ำ									
1	35.1	32.3	29.2	24.5	40.4	34.3	42.6	31.3	41.5
2	37.7	34.0	31.4	26.7	41.5	38.8	43.5	35.5	42.4
3	38.7	36.0	33.4	27.8	42.7	43.4	45.6	36.0	44.8
4	39.2	41.7	36.7	30.2	45.0	44.2	46.1	40.0	48.1
5	39.6	45.8	39.0	32.5	46.0	46.0	47.6	40.5	52.8
6	36.2	27.6	30.1	19.8	38.0	32.3	35.5	26.1	38.7
7	39.6	28.8	33.8	24.5	38.3	35.7	35.7	26.9	41.5
8	40.4	29.7	36.0	28.5	43.8	42.5	43.3	31.0	46.9
9	41.1	31.4	36.5	30.8	44.0	44.5	43.3	31.9	50.6
10	41.2	35.6	40.1	35.7	46.0	49.4	44.1	36.0	51.8
11	30.2	19.4	34.1	27.6	38.0	37.7	34.1	22.2	39.9
12	34.7	24.0	36.2	30.5	44.1	37.9	41.4	28.0	42.4
13	36.9	26.7	38.2	32.9	46.4	46.3	43.6	29.0	45.3
14	39.4	26.9	40.2	33.1	47.8	46.9	44.9	30.7	48.1
15	41.7	27.2	40.7	33.6	48.8	49.7	49.6	32.2	56.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1.2 ตารางวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยวิธีทางสถิติ (ANOVA)

Dependent Variable: Weight

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4489.863 ^a	8	561.233	24.984	.000
Intercept	192893.400	1	192893.400	8586.860	.000
Distance	625.054	2	312.527	13.912	.000
Speed	840.977	2	420.489	18.719	.000
Distance * Speed	3023.832	4	755.958	33.652	.000
Error	2830.437	126	22.464		
Total	200213.700	135			
Corrected Total	7320.300	134			

a. R Squared = .613 (Adjusted R Squared = .589)

ค.1.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

Dependent Variable: Weight

F	df1	df2	Sig.
1.744	8	126	.095

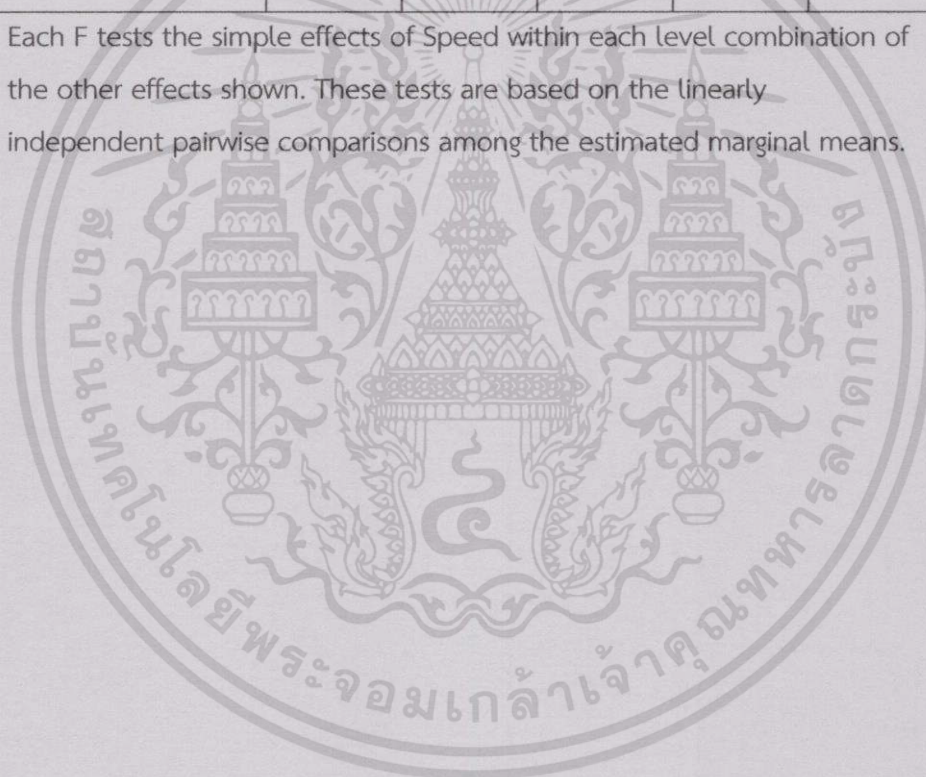
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

ค.1.4 ตารางผลการทดสอบสำหรับ Simple main effect

Dependent Variable: Weight

Distance		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
30 cm	Contrast	376.369	2	188.185	8.377	.000
	Error	2830.437	126	22.464		
40 cm	Contrast	1819.526	2	909.763	40.499	.000
	Error	2830.437	126	22.464		
50 cm	Contrast	1668.914	2	834.457	37.147	.000
	Error	2830.437	126	22.464		

Each F tests the simple effects of Speed within each level combination of the other effects shown. These tests are based on the linearly independent pairwise comparisons among the estimated marginal means.



ค.1.5 ตารางทดสอบสมมติฐาน ด้วยวิธี Simple main effect test

Dependent Variable: Weight

Distance			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
						Lower Bound	Upper Bound
30 cm	Low	Medium	6.973*	1.731	.000	3.548	10.398
		High	2.407	1.731	.167	-1.018	5.832
	Medium	Low	-6.973*	1.731	.000	-10.398	-3.548
		High	-4.567*	1.731	.009	-7.992	-1.142
	High	Low	-2.407	1.731	.167	-5.832	1.018
		Medium	4.567*	1.731	.009	1.142	7.992
40 cm	Low	Medium	-14.140*	1.731	.000	-17.565	-10.715
		High	-12.727*	1.731	.000	-16.152	-9.302
	Medium	Low	14.140*	1.731	.000	10.715	17.565
		High	1.413	1.731	.416	-2.012	4.838
	High	Low	12.727*	1.731	.000	9.302	16.152
		Medium	-1.413	1.731	.416	-4.838	2.012
50 cm	Low	Medium	10.907*	1.731	.000	7.482	14.332
		High	-3.360	1.731	.054	-6.785	.065
	Medium	Low	-10.907*	1.731	.000	-14.332	-7.482
		High	-14.267*	1.731	.000	-17.692	-10.842
	High	Low	3.360	1.731	.054	-.065	6.785
		Medium	14.267*	1.731	.000	10.842	17.692

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Least Significant Difference (equivalent to no adjustments).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 รายละเอียดผลการทดลองภายในแปลงทดสอบ

ค.2.1 ตารางผลการทดสอบความแม่นยำภายในแปลงทดสอบ

ระยะระหว่างหลุม (เซนติเมตร)	30			40			50		
ความเร็วในการ เคลื่อนที่ (เมตรต่อ วินาที)	0.7	1.0	1.4	0.7	1.0	1.4	0.7	1.0	1.4
ซ้ำ									
1	21.5	22.6	15.1	23.5	23.4	23.4	25.8	25.3	18.1
2	27.2	27.6	19.5	25.4	24.8	24.8	26.4	25.4	19.0
3	28.1	28.1	20.7	25.5	26.0	27.4	27.1	26.4	21.5
4	30.2	29.2	26.6	28.8	26.8	27.4	28.2	27.5	25.0
5	33.0	30.2	27.6	29.0	27.1	28.7	29.8	28.0	35.2
6	24.1	26.6	15.7	20.9	21.9	23.5	22.0	24.8	23.3
7	25.8	27.0	18.6	21.8	22.4	25.2	25.8	25.0	23.8
8	27.7	28.7	19.3	21.9	24.1	25.3	27.9	28.1	25.2
9	27.9	29.4	22.7	22.0	24.2	25.7	30.7	30.3	26.0
10	31.0	33.2	25.6	26.1	24.2	25.8	30.7	31.3	28.0
11	21.0	25.7	15.6	17.3	18.9	21.0	22.6	26.3	23.4
12	23.9	26.8	15.8	24.9	19.1	22.2	24.5	28.8	27.5
13	28.9	27.7	17.6	24.9	21.6	27.1	25.9	32.3	28.7
14	32.3	28.1	22.5	25.9	23.1	28.0	26.5	34.8	28.7
15	37.4	28.3	28.5	28.8	29.8	28.2	26.9	37.1	32.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2.2 ตารางวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยวิธีทางสถิติ (ANOVA)

Dependent Variable: weight

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	644.108 ^a	8	80.514	7.754	.000
Intercept	80166.289	1	80166.289	7720.418	.000
Distance	98.124	2	49.062	4.725	.011
Speed	107.481	2	53.740	5.175	.007
Distance * Speed	416.222	4	104.056	10.021	.000
Error	1204.506	116	10.384		
Total	83676.480	125			
Corrected Total	1848.614	124			

a. R Squared = .348 (Adjusted R Squared = .303)

ค.2.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

Dependent Variable: weight

F	df1	df2	Sig.
2.389	8	116	.020

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

ค.2.4 ตารางทดสอบสมมติฐานของระยะเวลาการหยุดที่ 30 เซนติเมตร ด้วยวิธี One-way

ANOVA

weight

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	520.343	2	260.172	16.849	.000
Within Groups	648.553	42	15.442		
Total	1168.896	44			

Duncan^a

Speed	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
High	15	20.7600	
Medium	15		27.9467
Low	15		28.0000
Sig.		1.000	.971

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2.5 ตารางทดสอบสมมติฐานของระยะเวลาหยุดที่ 40 เซนติเมตร ด้วยวิธี One-way

ANOVA

weight

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	23.715	2	11.858	1.452	.246
Within Groups	342.991	42	8.166		
Total	366.706	44			

Duncan^a

Speed	N	Subset for alpha = 0.05
		1
Medium	15	23.8267
Low	15	24.4467
High	15	25.5800
Sig.		.119

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

ค.2.6 ตารางทดสอบสมมติฐานของระยะการหยอดที่ 50 เซนติเมตร ด้วยวิธี One-way

ANOVA

weight

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.805	2	.903	.136	.874
Within Groups	212.962	32	6.655		
Total	214.767	34			

Duncan^{a,b}

Speed	N	Subset for alpha = 0.05
High	10	26.6900
Low	15	26.7200
Medium	10	27.2100
Sig.		.6566

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 11.250.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jungbluth et al. 1996. "Crop protection policy in Thailand: economic and political factors influencing pesticide use." **A publication of the pesticide policy project.** Publication series No. 5. Hannover, Germany.
- [2] วินิต ชินสุวรรณ. 2530. "เครื่องจักรกลเกษตรและการจัดการเบื้องต้น". ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [3] ความสำคัญของไส้เดือนฝอยศัตรูพืชต่อผลผลิตทางการเกษตรและการส่งออกนำเข้าของประเทศไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/04-plant/anongnuch/plant_00.html. (วันที่ค้นข้อมูล 11 กรกฎาคม 2556)
- [4] Fosthiazate. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.iskweb.co.jp/products/pdf/fosthiazate.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล 7 กรกฎาคม 2556).
- [5] ไมโครคอนโทรลเลอร์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://th.wikipedia.org/wiki/ไมโครคอนโทรลเลอร์>. (วันที่ค้นข้อมูล 9 กรกฎาคม 2556).
- [6] สเตปปิงมอเตอร์ (Stepping Motor). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://adisak-diy.com/page22.html>. (วันที่ค้นข้อมูล 9 กรกฎาคม 2556).
- [7] เซนเซอร์ตรวจจับระยะการหมุนและการวัดความเร็วของมอเตอร์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://hallencodersensorbme3.blogspot.com/2011/07/blog-post_25.html. (วันที่ค้นข้อมูล 9 กรกฎาคม 2556).
- [8] Lin Haibo et al. 2010. "Research and development on the key technology of wheat single seed robot." **World Automation Congress (WAC),2010.** 19-23 September 2010. Kobe. Pages : 339 – 343.
- [9] Amandeep Koundal et al. 2012. "Development and Evaluation of an Experimental Machine for Variable Rate Application of Granular Fertilizers." **Sensing Technology (ICST), 2012 Sixth International Conference on.** 18-21 December 2012. Kolkata. Pages : 370 – 373.
- [10] Caicong Wu et al. 2004. "System modeling and control of automatically variable rate fertilizer applicator." **Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on (Volume:1).** 10-13 October 2004. Pages : 513 - 518 vol.1.
- [11] F. Ehtesham, and M. Loghavi. 2012. "Design, development and field evaluation of a map-based variable rate granular fertilizer application control system." **Agric Eng Int: CIGR Journal, 14(4): 255-261.**