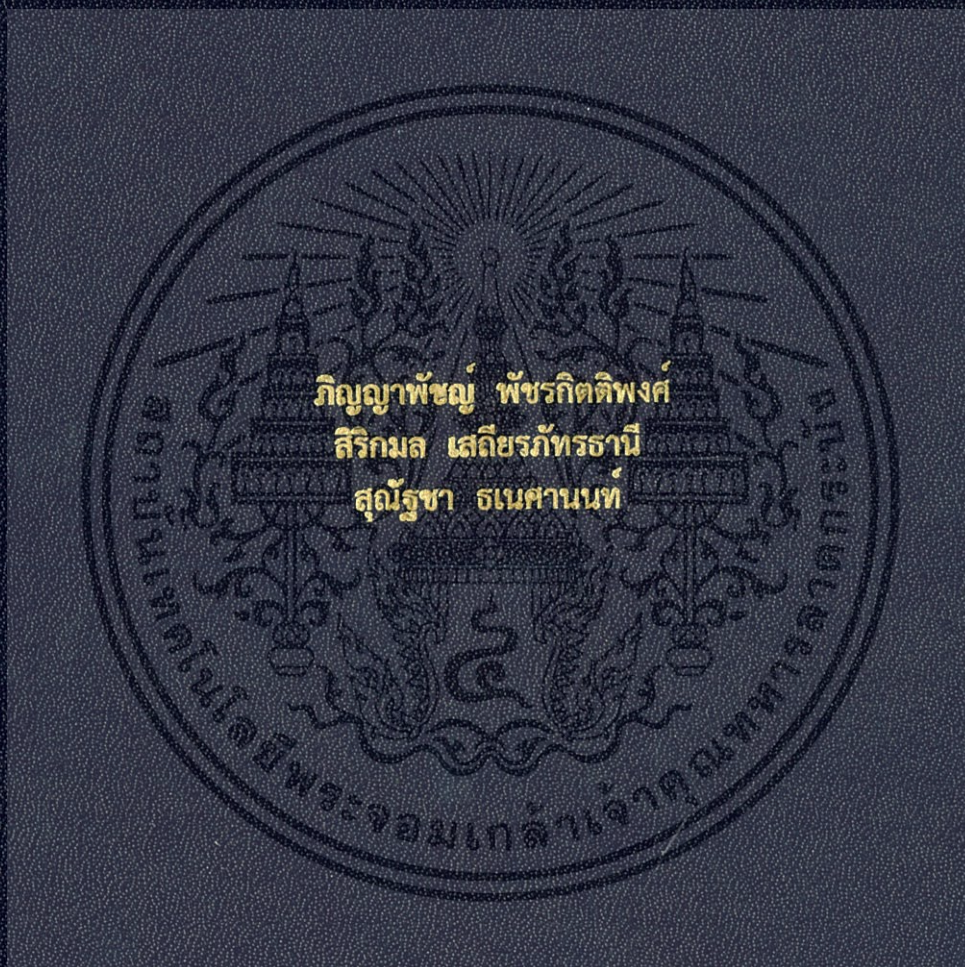


การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมเกลียวลำเลียงในเครื่องหยอดปุ๋ย  
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC SCREW FEEDER CONTROL SYSTEM FOR  
GRANULAR FERTILIZING MACHINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมเกลียวลำเลียงในเครื่องหยอดปุ๋ย

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC SCREW FEEDER CONTROL SYSTEM FOR  
GRANULAR FERTILIZING MACHINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC SCREW FEEDER CONTROL SYSTEM FOR  
GRANULAR FERTILIZING MACHINE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
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 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมเกลียวลำเลียงในเครื่องหยอดปุ๋ย	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวภิญญาพัชญ์ พชรกิตติพงศ์	56010942
	นางสาวสิริกมล เสถียรภัทรธานี	56011321
	นางสาวสุนัฐษา ธเนศานนท์	56011336
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. วสุ อุดมเพทายกุล	
ปีการศึกษา	2559	

### บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการให้ปุ๋ยแบบผันแปร (Variable Rate Technology, VRT) เป็นการควบคุมการให้ปุ๋ยต่อพื้นที่ตามอัตราที่กำหนดถึงแม้ว่าความเร็วในการเคลื่อนที่จะเปลี่ยนแปลงในขณะทำงาน ช่วยให้การให้ปุ๋ยมีสม่ำเสมอ ลดการใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็น และลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร โครงการวิศวกรรมเกษตรนี้เป็นการพัฒนาและทดสอบระบบอัตโนมัติควบคุมความเร็วรอบของเกลียวลำเลียงสำหรับติดตั้งในเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยเพื่อให้มีอัตราการหยอดปุ๋ยเชิงพื้นที่ตามที่กำหนด ระบบที่พัฒนาขึ้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA เป็นระบบควบคุม รับสัญญาณความเร็วจากเครื่องรับ GPS เพื่อคำนวณและส่งสัญญาณควบคุมให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงควบคุมเกลียวหยอดปุ๋ยตามความเร็วรอบที่เหมาะสม

การทดสอบการในห้องปฏิบัติการ พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีการตอบสนองต่อคำสั่งที่ดี สามารถปรับอัตราการหยอดได้อย่างรวดเร็ว และมีความแม่นยำในการหยอด (เชิงมวล) ที่ดี ส่วนการทดสอบภาคสนาม พบว่าระบบสามารถหยอดปุ๋ยได้ใกล้เคียงกับอัตรา (เชิงพื้นที่) ที่กำหนด ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งเกิดจากความหนาแน่นของปุ๋ยที่เปลี่ยนแปลงตามความชื้นอากาศ ซึ่งควรได้รับการพัฒนาปรับปรุงต่อไป

Thesis Title	DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC SCREW FEEDER CONTROL SYSTEM FOR GRANULAR FERTILIZING MACHINE	
Authors	PINYAPHAT PATCHARAKITTIPONG	56010942
	SIRIKAMOL SATIANPATTARATANEE	56011321
	SUNATCHA THANESANON	56011336
Thesis Advisor	Dr. Vasu Udompetaikul	
Year	2016	

### Abstract

Variable Rate Technology (VRT) in fertilization is to control fertilizing at the desired rate with a compensation of traveling speed variation. VRT helps farmers to utilize the fertilizer as needed and, so that, to minimize farmer's production cost. This senior project is to develop an automatic screw feeder control system installed on a typical sugarcane fertilizing machine for a VRT application. The system uses an Arduino MEGA microcontroller to receive the traveling speed from a GPS receiver, then, calculates and sends the control signal to a motor driver for controlling a DC motor and the screw feeder at a desired rate.

In laboratory, the system showed a high accuracy in application rate with fast response. Output rate instantly followed the change of input command. For the field test, the system performed good accuracy in application rate at the S.D. of 1.6-4.2 kg/rai. One significant error in the system was the variation of fertilizer's density due to environmental humidity, which should be taken into account in the further study.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายๆฝ่ายด้วยกัน ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่ข้าพเจ้าใคร่ขอกล่าวขอบพระคุณที่ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้คือ ดร.วสุ อุดมเพทายกุล อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ให้คำแนะนำ ดูแลเอาใจใส่ และความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยอ้อย จังหวัดอุดรธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ยืมเครื่องหยอดปุ๋ย

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้งบประมาณสนับสนุน

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน สำหรับความรู้ทางวิชาการ และคำแนะนำที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณบุคลากรหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำงาน

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในหลายๆด้าน

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเหล่าบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ได้แก่ บิดา นายภูริพันธ์ พิชรกิตติพงศ์ นายสมเกียรติ เสถียรภัทรธานี และนายพิศาล บุญเข้ม มารดา นางจันทรานุช พิชรกิตติพงศ์ นางสาวณัททัย พรหมดวง และนางสาวสุนันทา ธเนศานนท์ อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูมาเป็นอย่างดี ให้ความเอาใจใส่เสมอมา และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง พร้อมทั้งให้โอกาสทางการศึกษาอย่างเต็มที่ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นางสาวภิญญาพัชญ์ พิชรกิตติพงศ์

นางสาวสิริกมล เสถียรภัทรธานี

นางสาวสุนัฐชา ธเนศานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญรูป	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ปูย	5
2.2 การออกแบบเกลียวลำเลียง	6
2.3 GPS	8
2.4 Arduino MEGA 2560 ADK	9
บทที่ 3 ขั้นตอนการศึกษา	10
3.1 การศึกษาเครื่องต้นแบบเครื่องหยุดปูยอ้อยแบบแม่นยำ	10
3.1.1 อุปกรณ์	10
3.2 แนวคิดและหลักการทำงาน	13
3.3 การออกแบบระบบชั่ง	15
3.4 การใช้ระบบ GPS เข้ามาระบุความเร็วของรถแทรกเตอร์	16
3.5 การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมเกลียวลำเลียง	17
3.5.1 การทดสอบเพื่อหาสมการแปลงจาก $Q_t$ เป็น PWM	17
3.5.2 การทดสอบเพื่อหา $Q_t$ เทียบกับเวลา แบบ Transient	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ซ้ำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_t$ , RPM และ PWM	19
4.2 การทดสอบการตอบสนองของระบบควบคุม	21
4.3 การทดสอบภาคสนาม	22
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	24
5.1 สรุปผลการทดสอบ	24
6.3 ข้อเสนอแนะ	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก	26
ภาคผนวก ก	26
ภาคผนวก ข	28
ภาคผนวก ค	30
ภาคผนวก ง	34



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1      แผนการดำเนินงาน

หน้า

3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปุ๋ยยูเรีย	5
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบเกลียวลำเลียง	6
รูปที่ 2.3 GPS Receiver	8
รูปที่ 2.4 Arduino MEGA 2560 ADK	9
รูปที่ 3.1 ขนาด Hopper ของเครื่องหยอดปุ๋ย	11
รูปที่ 3.2 เกลียวลำเลียง	12
รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของระบบ	13
รูปที่ 3.4 Flow Chart การทำงานของระบบ	13
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์สำหรับระบบชั่ง	15
รูปที่ 3.6 ภาพแสดงระบบของวงจร	16
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงผลการทดสอบความแม่นยำของ GPS	16
รูปที่ 3.8 ภาพแสดงระบบของวงจร	17
รูปที่ 3.9 ภาพแสดงระบบของวงจร	18
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_r$ ที่ได้ และ RPM	19
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง PWM และ RPM	20
รูปที่ 4.3 การตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม	21
รูปที่ 4.4 การทดสอบภาคสนาม	22
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบภาคสนามที่ $Q_A$ และความเร็วในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน	23
รูปที่ 4.6 โครงเครื่องพ่นสารเคมีเกษตร	23
รูปที่ ง.1 Arduino MEGA 2560 R3	34
รูปที่ ง.2 Encoder	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ๓.3 Regulator	37
รูปที่ ๓.4 Motor driver	38
รูปที่ ๓.5 DC Motor	39



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ผลผลิตทางการเกษตรจะมีคุณภาพที่ดีในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการนั้น พืชต้องได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นในปริมาณที่เหมาะสม พื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจนั้นมักมีการเพาะปลูกอย่างต่อเนื่อง ทำให้ดินขาดความสมบูรณ์ การใส่ปุ๋ยจึงมีความจำเป็นเพื่อให้การเจริญเติบโตของพืช ได้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตตามที่คาดหวัง เป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ปุ๋ยจึงกลายเป็นปัจจัยการผลิตหลักคิดเป็นต้นทุนที่สำคัญของการผลิตพืชในเชิงเศรษฐกิจ ในการผลิตอ้อย ค่าปุ๋ยโดยเฉลี่ยทั้งประเทศคิดเป็นร้อยละ 16.2 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด และมากที่สุดถึงร้อยละ 20.2 ในภาคตะวันออก ในฤดูการผลิต 2555/56 [1] จากการสำรวจพบว่าเกษตรกรมักนิยมให้ปุ๋ยเกินอัตราที่กำหนด โดยเชื่อว่าจะให้ผลผลิตที่สูงขึ้น โดยถึงแม้ว่าจะมีการใช้เครื่องให้ปุ๋ยมาช่วยลดการใช้แรงงานและเพิ่มความสม่ำเสมอ แต่ก็พบว่ายังมีความแปรปรวนของปริมาณการให้ปุ๋ย เกษตรกรจึงต้องชดเชยความไม่สม่ำเสมอโดยใส่ปุ๋ยในปริมาณที่สูงขึ้นกว่าคำแนะนำ หากสามารถพัฒนาระบบการให้ปุ๋ยที่มีความแม่นยำก็จะช่วยลดปริมาณปุ๋ยที่ต้องใช้ เป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรได้

เครื่องหยอดปุ๋ยแบบทั่วไปกำหนดอัตราการหยอดที่สัมพันธ์กับความเร็วรอบของล้อดาว ซึ่งมีโอกาสสั่นไถลเมื่อวิ่งบนพื้นที่ไม่สม่ำเสมอของแปลงดิน ดังนั้นโครงการนี้จะให้ความสนใจกับเทคโนโลยีการให้ปุ๋ยแบบผันแปร (Variable Rate Technology, VRT) [2] ซึ่งเป็นการควบคุมปริมาณปุ๋ยต่อพื้นที่ตามอัตราที่กำหนดแม้ความเร็วในการเคลื่อนที่จะเปลี่ยนแปลงในขณะทำงานเข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหา โครงการนี้เป็นการพัฒนาต่อเนื่องจากโครงการวิศวกรรมเกษตรของณัชพล ศิริล้วน และคณะ [3] ที่พัฒนาไว้เมื่อปีการศึกษา 2558 ซึ่งยังพบปัญหาเรื่องความแม่นยำในการหยอดเนื่องจากการพัฒนาและใช้ระบบควบคุมที่ไม่เหมาะสม โครงการนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมที่มีความแม่นยำสูงขึ้น สามารถนำไปใช้งานจริงได้ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาระบบอัตโนมัติควบคุมความเร็วรอบของเกลิยวลำเสียงสำหรับติดตั้งในเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อย
- 2) เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบที่พัฒนาขึ้น

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) พัฒนาโดยใช้เครื่องแบบจากโครงการพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยแบบแม่นยำของ รัชพล ศิริล้วน และคณะ
- 2) ทดลองภายในห้องปฏิบัติการ และแปลงทดสอบของภาควิชากรรมเกษตร

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ระบบอัตโนมัติควบคุมอัตราการหยอดในเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยในอัตราที่ต้องการอย่างแม่นยำ
- 2) ได้ต้นแบบระบบ Variable Rate Technology ราคาถูกที่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1) ศึกษาเครื่องหยอดปุย จาก โครงการพัฒนาเครื่องหยอดปุย แบบแม่นยำ ของ นายณัชพล และ คณะ	↔							
2) ศึกษาระบบอัตโนมัติสำหรับ ควบคุมเกลียวลำเลียงในเครื่อง หยอดปุย	↔							
3) วางแผนงานการพัฒนาและ ปรับปรุง		↔						
4) GPS								
4.1) เขียนโปรแกรมสำหรับให้ GPS อ่านค่าความเร็วของรถ แทรกเตอร์และบันทึกข้อมูล				↔				
4.2) ทดสอบความแม่นยำของ GPS					↔			
5) พัฒนาระบบชี้								
5.1) ออกแบบเครื่องชี้				↔				
5.2) เขียนโปรแกรมสำหรับให้ Load Cell อ่านน้ำหนัก และ บันทึกข้อมูล					↔			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน (ต่อ)

5.3) ทดสอบความแม่นยำของระบบซึ่ง					↔			
6) พัฒนาและปรับปรุงระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมเกลียวลำเลียงในเครื่องหยอดปุ๋ย					↔			
6.1) เขียนโปรแกรมสำหรับระบบอัตโนมัติควบคุมเกลียวลำเลียง					↔			
6.2) ทดสอบเครื่องหยอดปุ๋ยหลังพัฒนาและปรับปรุงระบบ						↔		
7) ปรับปรุงอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของตัวเครื่องหยอดปุ๋ย							↔	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ปุ๋ย

ในการปลูกพืชให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ นอกจากปัจจัยทั่วไปอย่างน้ำและสภาพอากาศแล้วนั้น ดินยังจำเป็นอย่างยิ่งเพราะสภาพและธาตุอาหารในดิน มีผลโดยตรงกับพืช ดังนั้นหากดินมีแร่ธาตุที่ไม่เพียงพอ อาจทำให้พืชขาดสารอาหารและได้ผลผลิตที่ไม่มีคุณภาพ เกษตรกรจึงเลือกใช้ปุ๋ย ซึ่งทำหน้าที่ปลดปล่อยสารอาหารจำพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมแก่พืช

ปุ๋ยถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ปุ๋ยอินทรีย์ และ ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ปุ๋ยอินทรีย์ ยังถูกแบ่งออกเป็น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด ในขณะที่ปุ๋ยเคมี ซึ่งผลิตขึ้นจากธาตุอาหารหลักอย่าง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ก็ถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทเช่นกัน โดยปุ๋ยเชิงเดี่ยว เป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักเพียงธาตุเดียว ปุ๋ยผสม เป็นปุ๋ยที่มีการผสมปุ๋ยเชิงเดี่ยวเข้าด้วยกันให้ได้ธาตุอาหารตามความต้องการ และปุ๋ยเชิงประกอบ ประกอบด้วยธาตุปุ๋ย 2 ธาตุขึ้นไป อยู่ในลักษณะองค์ประกอบเดียวกัน การใช้ปุ๋ยเคมีให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องคำนึงถึงชนิดของปุ๋ย ปริมาณที่ต้องการใช้ การใส่ให้พืชในระยะเวลาที่เหมาะสม และการใส่โดยใช้วิธีการที่ถูกต้อง



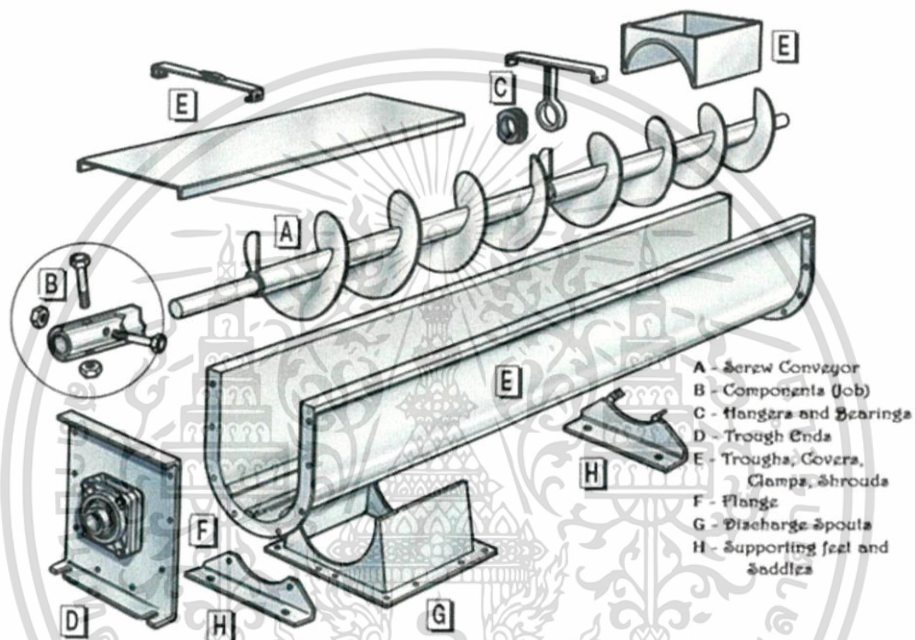
รูปที่ 2.1 ปุ๋ยยูเรีย

ที่มา: [http://db.lnwfile.com/\\_/db/\\_raw/v0/qh/w1.jpg](http://db.lnwfile.com/_/db/_raw/v0/qh/w1.jpg) (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การออกแบบเกลียวลำเลียง

ในการพัฒนาระบบควบคุมเกลียวลำเลียงในเครื่องหยอดปุ๋ย การศึกษาลักษณะการทำงานของระบบเกลียวลำเลียงที่ใช้จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการปรับค่า และกำหนดสมการ เพื่อให้เครื่องทำงานได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเกลียวลำเลียง

ที่มา: [http://i01.i.aliimg.com/img/pb/663/713/070/1070713663\\_614.jpg](http://i01.i.aliimg.com/img/pb/663/713/070/1070713663_614.jpg) (2559)

เกลียวลำเลียง มักนิยมใช้ในการขนถ่ายวัสดุปริมาณมวลเพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการเคลื่อนไหล รวมถึงสามารถใช้ในการป้อนวัสดุ และควบคุมอัตราการไหลของวัสดุ ชิ้นส่วนสำคัญประกอบไปด้วย Screw conveyor[A] Components(job)[B] Hangers and Bearings[C] Trough ends[D] Troughs, Covers, Clamps and Shrouds[E] Flange[F] Discharge Spouts[G] และ Supporting feet and Saddles [H] (รูปที่ 2.2) โดยเกลียวลำเลียงที่ใช้ขึ้นอยู่กับ การออกแบบให้สามารถปรับความเร็วรอบในการหมุนทำให้สามารถป้อนวัสดุไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ตามความต้องการ ในการออกแบบเกลียวลำเลียงจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติของวัสดุที่จะลำเลียงเป็นอย่างดี ต้องเข้าใจถึงบทบาทของเกลียวลำเลียง เนื่องจากขณะที่ลำเลียงวัสดุจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลุกเคล้ากันและอาจเกิดการแตกสลายได้ ส่งผลให้คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนไป และยังต้องเข้าใจถึงลักษณะการเคลื่อนไหลและผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนไหลของวัสดุอีกด้วย ดังนั้นการคำนวณความเร็วรอบของเกลิยวจึงประกอบไปด้วยค่าความหนาแน่นของวัสดุขณะลำเลียง โดยเกลิยวลำเลียงต้องสามารถรับภาระส่วนเกินเนื่องจากวัสดุมีปริมาณตลอดเกลิยวลำเลียงมาก ผิดปกติ જેื่อนไขในการตรวจสอบขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางใบเกลิยวกับขนาดของวัสดุคือต้องทราบก่อนว่าเป็นวัสดุที่คัดขนาดแล้วหรือไม่ ก่อนหาค่าเฉลี่ยของวัสดุในลำดับถัดมา หรือตรวจสอบจากตารางขนาดวัสดุใหญ่ที่สุดที่เกลิยวลำเลียงสามารถรับได้ หากทราบสมบัติของวัสดุเป็นอย่างดีแล้วการหาค่ากำลังขับที่เหมาะสมจึงเป็นลำดับต่อไป ค่ากำลังขับที่เหมาะสมนั้นเกลิยวลำเลียงจำเป็นต้องถูกติดตั้งในตำแหน่งที่ถูกต้อง แนวหัวท้ายของเกลิยวต้องได้ระดับ และวัสดุต้องถูกป้อนอย่างสม่ำเสมอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 GPS (Global Position System)



รูปที่ 2.3 GPS Receiver

ที่มา: <http://bighobby.weloveshopping.com/> (2559)

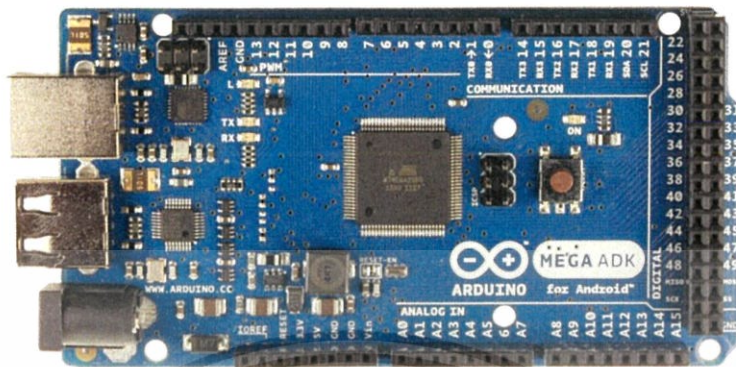
ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกโดยคำนวณจากความถี่นาฬิกา เครื่องรับสัญญาณ GPS ใช้ดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวง ในการระบุตำแหน่ง สามารถคำนวณความเร็ว และทิศทางได้ GPS แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ฮาร์ดแวร์ หรือตัวเครื่อง GPS และ ซอฟต์แวร์ หรือระบบปฏิบัติการ โดยตัวเครื่องทำหน้าที่ในการรับสัญญาณดาวเทียม ส่วนระบบปฏิบัติการจะเป็นในส่วนของการแสดงผล [5]

ปัจจุบัน GPS ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างหลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น การใช้ GPS ในการควบคุมเครื่องจักรกลการเกษตร เพื่อความสะดวกรวดเร็วและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยติดตั้งระบบ GPS ในรถแทรกเตอร์เพื่อควบคุมการหยุดเมล็ด หยอดปุ๋ย ให้น้ำและเก็บเกี่ยว ด้วยค่าพิกัดที่แม่นยำตามแผนที่หรือตามคำสั่งจากโปรแกรม

ในที่นี้ นำ GPS มาประยุกต์เข้ากับระบบ Microcontroller ใช้ในการวัดความเร็วของรถแทรกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 Arduino MEGA 2560 ADK



รูปที่ 2.4 Arduino MEGA 2560 ADK

ที่มา: <https://www.arduitronics.com/article/19/arduinos-boards-buying-guide> (2560)

บอร์ด Arduino มีหลากหลายประเภท โดยในโครงการนี้ได้เลือกใช้ Arduino MEGA 2560 R3 [6] เนื่องจากมีจำนวน จำนวน Input / Output port, Flash Memory และฟังก์ชันการทำงานที่มาพร้อมบอร์ดอย่างจำนวนขา PWM ที่มากกว่าบอร์ด Arduino UNO R3 ที่นิยมใช้โดยทั่วไป

Arduino MEGA 2560 R3 [7] เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานบนพื้นฐาน AT mega 2560 ประกอบไปด้วย Digital input/output 54 ช่อง (โดยสามารถใช้เป็น PWM ได้ 15 ช่อง), Analog input 16 ช่อง, UARTs 4 ช่อง, Crystal oscillator 16 MHZ, ช่องเชื่อมต่อ USB, Power jack, ICSP header และปุ่ม Reset Arduino MEGA R3 มีฟังก์ชันที่จำเป็นต่อการสนับสนุนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพียงแค่เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยสาย USB หรือแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งส่งผลให้ใช้งานได้สะดวกและคลอบคลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการศึกษา

บทนี้กล่าวถึงการศึกษาเครื่องต้นแบบจากโครงการเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยแบบแม่นยำของ นาย ณัฏพล ศิริล้วน และการทดสอบเครื่องต้นแบบเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยแบบแม่นยำ, ความแม่นยำของ GPS, การทดสอบความแม่นยำระบบซิ่ง และการทดสอบความแม่นยำในการหยอดของ เครื่องหยอด ปุ๋ยอ้อยแบบแม่นยำหลังพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมเกลียวลำเลียงในเครื่องหยอดปุ๋ย เพื่อ เปรียบเทียบความแม่นยำของเครื่องหยอดปุ๋ยหลังพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมเกลียวลำเลียง ทั้งกับเครื่องต้นแบบและอัตราการหยอดที่ต้องการขณะใช้งานจริง

ซึ่งจากโครงการพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยแบบแม่นยำ ของนายณัฏพล ศิริล้วน และ คณะ ได้มีการศึกษาเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยที่เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยโดยทั่วไปใช้งานและวิเคราะห์ปัญหา สำหรับนำมาออกแบบและพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบจากเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยของเกษตรกรเพื่อ แก้ปัญหา ซึ่งมีรายละเอียดที่ยกมาพัฒนาต่อดังนี้

### 3.1 การศึกษาเครื่องต้นแบบเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยแบบแม่นยำ

#### 3.1.1 อุปกรณ์

##### 1) Hopper

เครื่องหยอดปุ๋ยที่นำมาใช้ศึกษามีขนาดของ Hopper ดังรูปที่ 3.1 สามารถคำนวณ ปริมาตรของปุ๋ยที่บรรจุได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก} & \quad \text{ปริมาตรพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม} = \frac{1}{3} \times \text{พื้นที่ฐาน} \times \text{สูง} \\ \text{จะได้ว่า} & \quad \text{ปริมาตร Hopper} = \frac{H}{3} \times (a^2 + ab + b^2) \end{aligned} \quad (3.1)$$

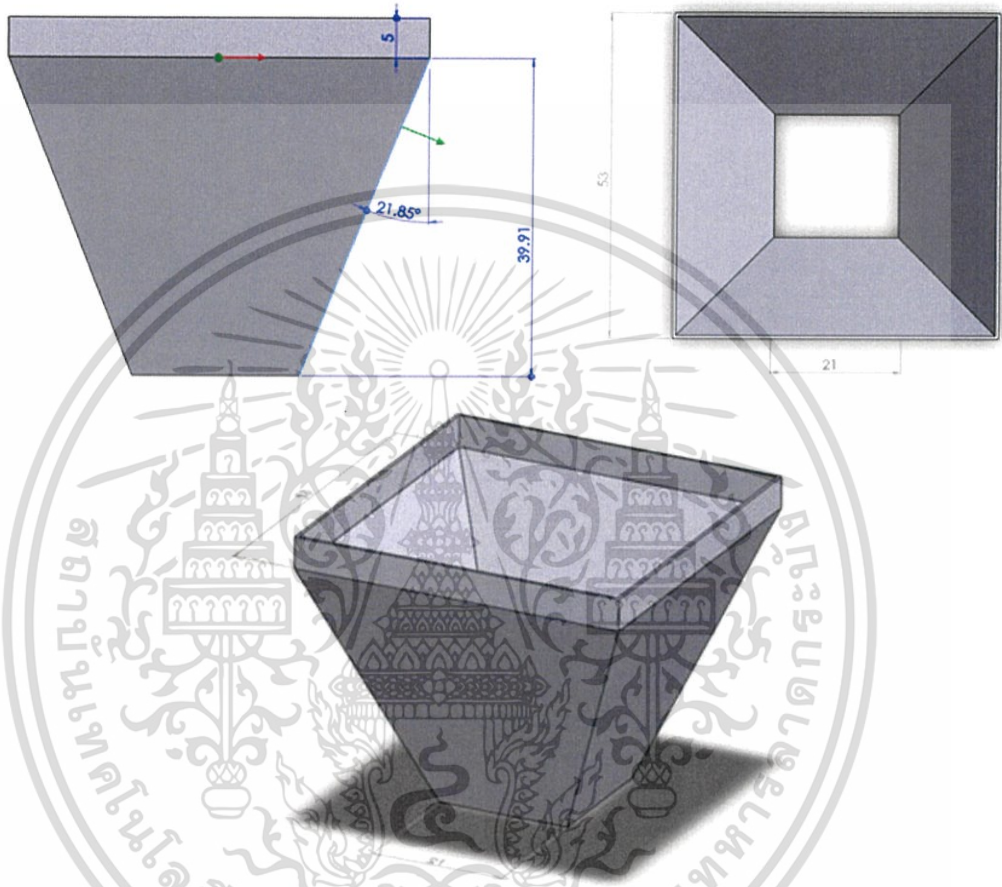
เมื่อ  $H$  คือ ความสูงของพีระมิดถึงปลายที่ถูกตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a คือ ความยาวฐานพีระมิต

b คือ ความยาวฐานของปลายที่ถูกตัด

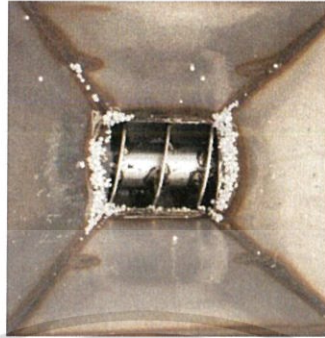
ดังนั้น Hopper มีปริมาตร  $58,042 \text{ cm}^3$  สามารถบรรจุปุ๋ยเรียที่มีความหนาแน่น  $1.36 \text{ g/cm}^3$  ได้ประมาณ 78 kg.



รูปที่ 3.1 ขนาด Hopper ของเครื่องหยอดปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) เกลียวลำเลียง



รูปที่ 3.2 เกลียวลำเลียง

เกลียวลำเลียงจากเครื่องต้นแบบของเกษตรกร มีลักษณะเป็นเกลียวเดี่ยว หมุนตามเข็มนาฬิกา มีขนาดดังรูปที่ 3.2 ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณขนถ่ายต่อการหมุนหนึ่งรอบได้ดังนี้

ขั้นตอนการคำนวณอัตราการขนถ่ายวัสดุ

จากโครงการพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยแบบแม่นยำของนายณัฐพล ศิริล้วน และคณะ โดยอ้างอิงค่าตัวแปร ทำให้ทราบ

$$D_s = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางใบเกลียว } 0.068 \text{ m}$$

$$D_p = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเพลลา } 0.032 \text{ m}$$

$$p = \text{ระยะพิช } 0.03 \text{ m}$$

$$\rho = \text{ความหนาแน่นของปุ๋ยยูเรีย } 1.36 \text{ kg/m}^3$$

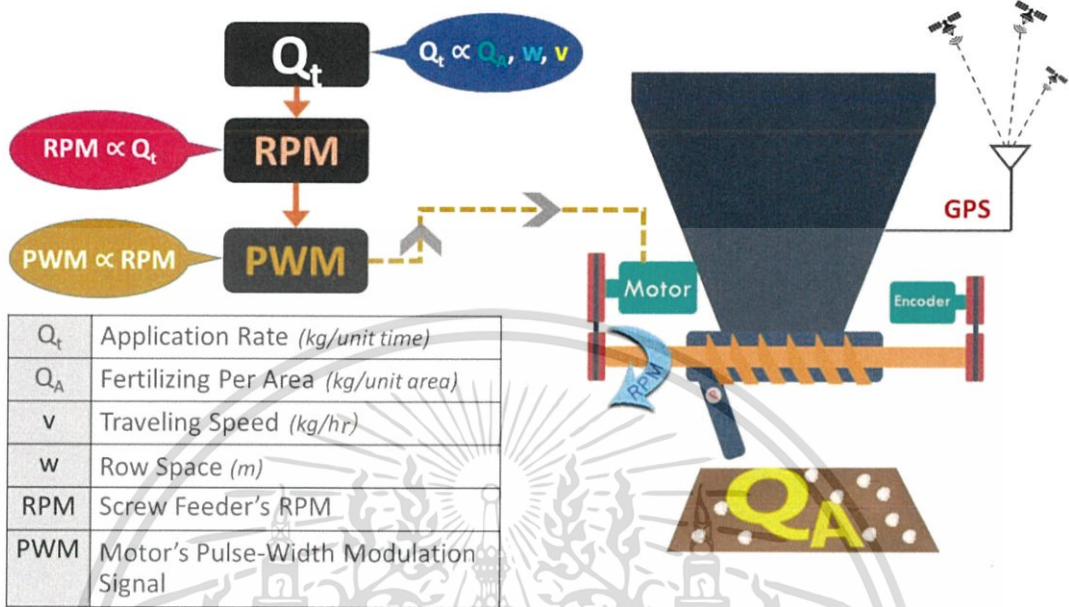
$$\emptyset = \text{สัมประสิทธิ์ลดอัตราการขนถ่ายเนื่องจากมุมเอียง}$$

$$N = \text{ความเร็วรอบเกลียวลำเลียง}$$

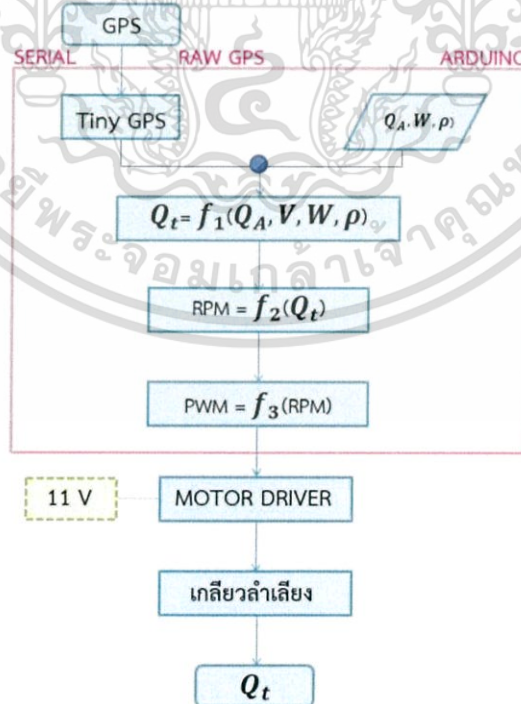
$$C = \left( \frac{\pi}{4} \times (D_s^2 - D_p^2) \right) \times (p \times N \emptyset) \times \rho \quad [4] \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แนวคิดและหลักการทำงาน



รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.4 Flow Chart การทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

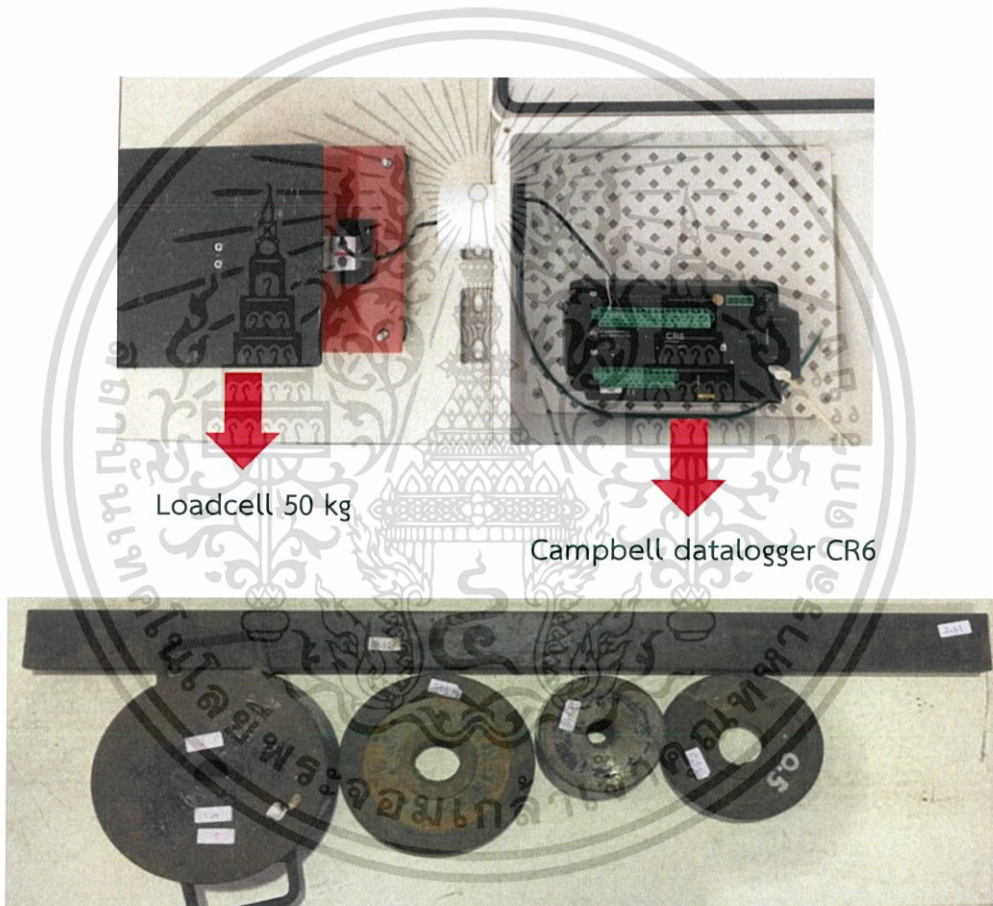
ระบบที่พัฒนาขึ้นเป็นการดัดแปลงเครื่องหยุดปฎิที่มีใช้อยู่โดยทั่วไปโดยถอดล้อดาวและชุดโซ่ส่งกำลังออก พร้อมติดตั้งมอเตอร์กระแสตรงแทน ระบบควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA รับสัญญาณความเร็วของรถแทรกเตอร์จากเครื่องรับ GPS เพื่อคำนวณและส่งสัญญาณควบคุมให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อขับเคลื่อนกระแสตรงควบคุมเกลิยวหยุดปฎิตามความเร็วรอบที่เหมาะสม สามารถแสดงแผนผังการทำงานของระบบได้ดังรูปที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบระบบชั่ง

ในการทดสอบเครื่องหยอดปุ๋ยเพื่อหาความแม่นยำของเครื่องและอัตราการหยอดปุ๋ย จำเป็นต้องทราบค่าน้ำหนักของปุ๋ยที่ถูกปล่อยโดยเครื่องหยอดปุ๋ยที่แน่นอน ผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบชั่งน้ำหนักด้วยโหลดเซลล์แบบต่อเนื่อง โดยมีความถี่สำหรับบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง 0.2 วินาที โดยใช้ Daralogger CR6 (Campbell Scientific Inc., USA) เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

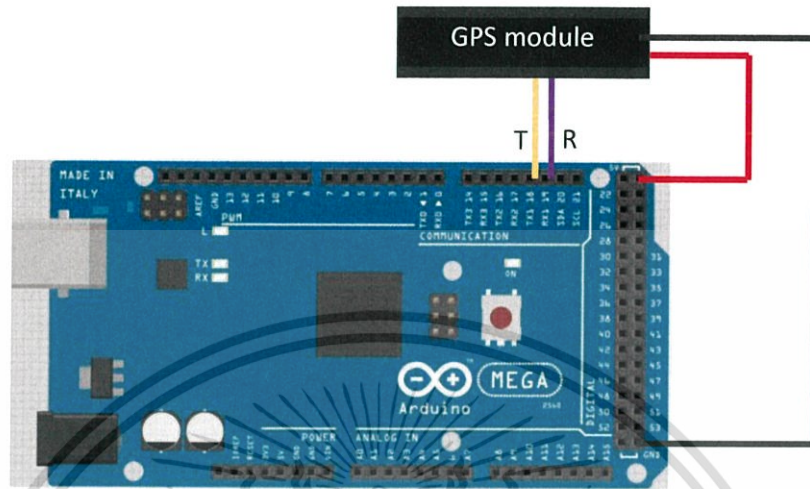


วัตถุที่ทราบน้ำหนัก 5 ชั้น

รูปที่ 3.5 อุปกรณ์สำหรับระบบชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

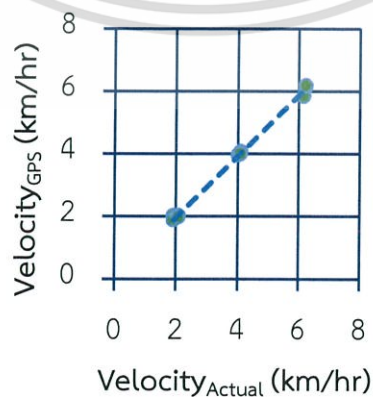
### 3.4 การใช้ระบบ GPS เข้ามาช่วยในการระบุความเร็วของรถแทรกเตอร์



รูปที่ 3.6 ภาพแสดงระบบของวงจร

อุปกรณ์มี Arduino MEGA 2560 และ GPS module with compass รุ่น NEO-M8N มีการต่อสัญญาณ Rx, Tx ที่ Rx, Tx Serial channel 1 ดังรูปที่ 3.6

โดยมีการทำงานคือ เมื่อมีสัญญาณค่าเข้าที่ Rx TinyGPS จะทำการถอดรหัสจากสัญญาณแล้วแสดงผลออกเป็นความเร็วในหน่วย km/hr ด้วยความถี่ 10Hz หรือ ทุกๆ 200 millisec จากนั้นบันทึกผล ซึ่งได้มีการทดสอบความแม่นยำของ GPS ได้ผลแสดงดังรูป 3.7



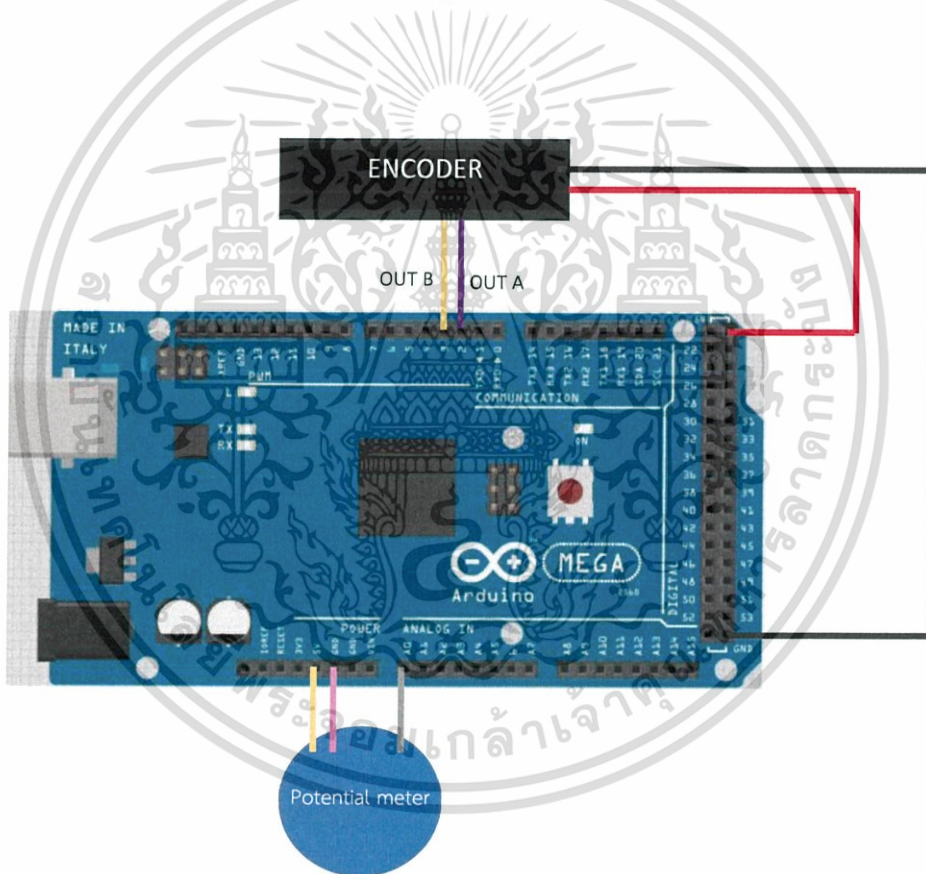
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงผลการทดสอบความแม่นยำของ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมเกลิยวลำเลียง

#### 3.5.1 การทดสอบเพื่อหาสมการแปลงจาก $Q_t$ เป็น pwm

ในระบบ digital จะไม่สามารถควบคุมการควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้โดยตรง ต้องมีใช้สัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ในการควบคุม โดยจะเป็นการปรับสัดส่วนของสัญญาณที่เรียกว่า Duty ratio เราจะสามารถคำนวณหา  $Q_t$  ได้จากความเร็วซึ่งต้องมีการหา PWM จากฟังก์ชันของ  $Q_t$



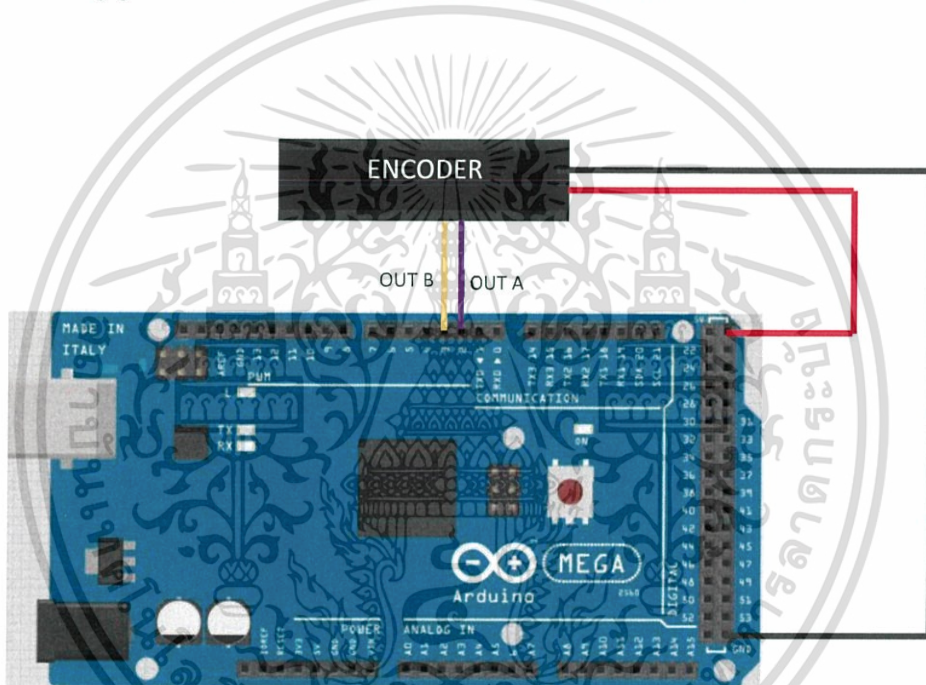
รูปที่ 3.8 ภาพแสดงระบบของวงจร

อุปกรณ์ที่ใช้ได้แก่ Arduino MEGA 2560 ,Potentiometer และ Encoder โดยมี การต่อสัญญาณ output A และ output B ของ Encoder เข้าขา Interrupt 0 pin 2 เพื่อ นับ Pulse เพื่อมาคำนวณ RPM จากนั้นแสดงผลและเก็บค่า ในการทดลอง ใช้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Potentiometer .ในการสร้างสัญญาณเพื่อปรับระดับของ PWM ให้เป็นไปตามต้องการโดยแบ่งไว้ โดยเป็นสามระดับ

### 3.5.2 การทดสอบเพื่อหา $Q_t$ เทียบกับเวลา แบบ Transient

เป็นการทดสอบเพื่อหาความแม่นยำในการอ่านค่าของ encoder ทดสอบโดยการป้อนสัญญาณ PWM คงที่ 5 ระดับ ดังตารางและผลที่ได้ก็ดังตาราง



รูปที่ 3.9 ภาพแสดงระบบของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

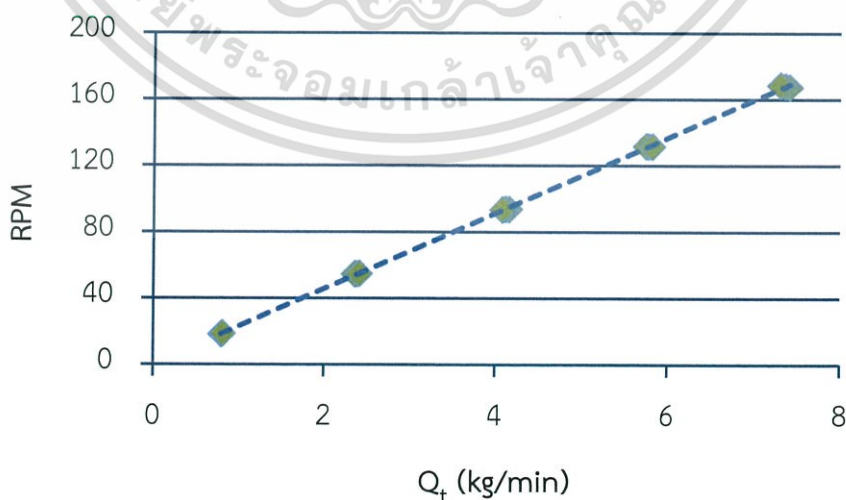
## บทที่ 4

### การทดสอบและผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบ และผลการทดสอบ โดยครอบคลุมหัวข้อ (4.1) การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดเชิงมวล ( $Q_t$ ), ความเร็วรอบของเกิลียวลำเลียง (RPM) และ สัญญาณควบคุม Pulse-Width Modulation (PWM) (4.2) การทดสอบการตอบสนองของระบบควบคุม และ (4.3) ผลทดสอบภาคสนาม

#### 4.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดเชิงมวล ( $Q_t$ ), ความเร็วรอบของเกิลียวลำเลียง (RPM) และ สัญญาณควบคุม Pulse-Width Modulation (PWM)

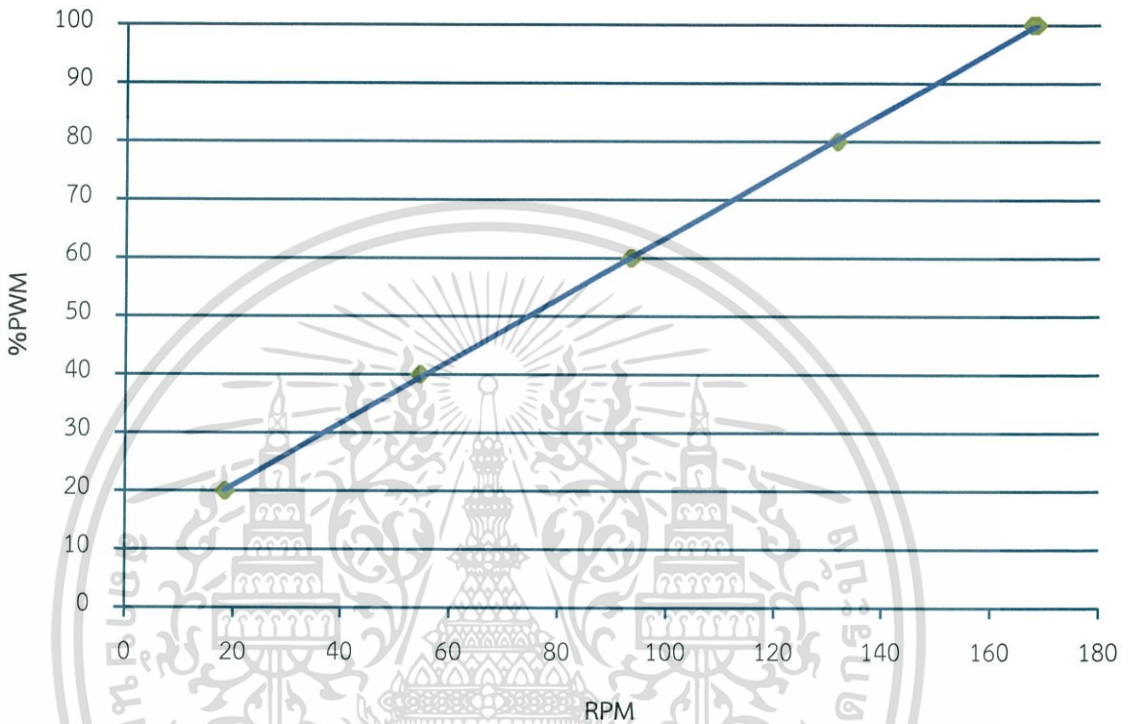
เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดเชิงมวล ( $Q_t$ ) ที่ได้, ความเร็วรอบของเกิลียวลำเลียง (RPM) ที่เกิดขึ้น และ สัญญาณควบคุม Pulse-Width Modulation (PWM) ที่ต้องใช้ โดยทำการทดสอบการหยอดปุ๋ยที่ระดับสัญญาณ PWM 51, 102, 153, 204 และ 255 (คิดเป็น duty cycle 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ตามลำดับ) แล้วสุ่มเก็บปริมาณปุ๋ยที่ได้ในระยะเวลา 10 วินาที ของแต่ละระดับสัญญาณ เป็นจำนวน 3 ซ้ำ นำมาชั่งมวล บันทึกผล และแสดงเป็นกราฟ ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอด ( $Q_t$ ) ที่ได้ และความเร็วรอบของเกิลียวลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 อัตราการหยอด ( $Q_t$ ) ที่ได้ และความเร็รรอบของเกลียวลำเลียง (RPM) ที่ใช้มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงเป็นสมการ  $RPM_{screw} = 22.78 \times Q_t$  โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) สูงถึง 99.97% นั่นคือตัวชุดเกลียวลำเลียงนี้สามารถกำหนดการจ่ายปุ๋ยในปริมาณที่ต้องการได้ด้วยการควบคุมความเร็รรอบของเกลียวลำเลียง

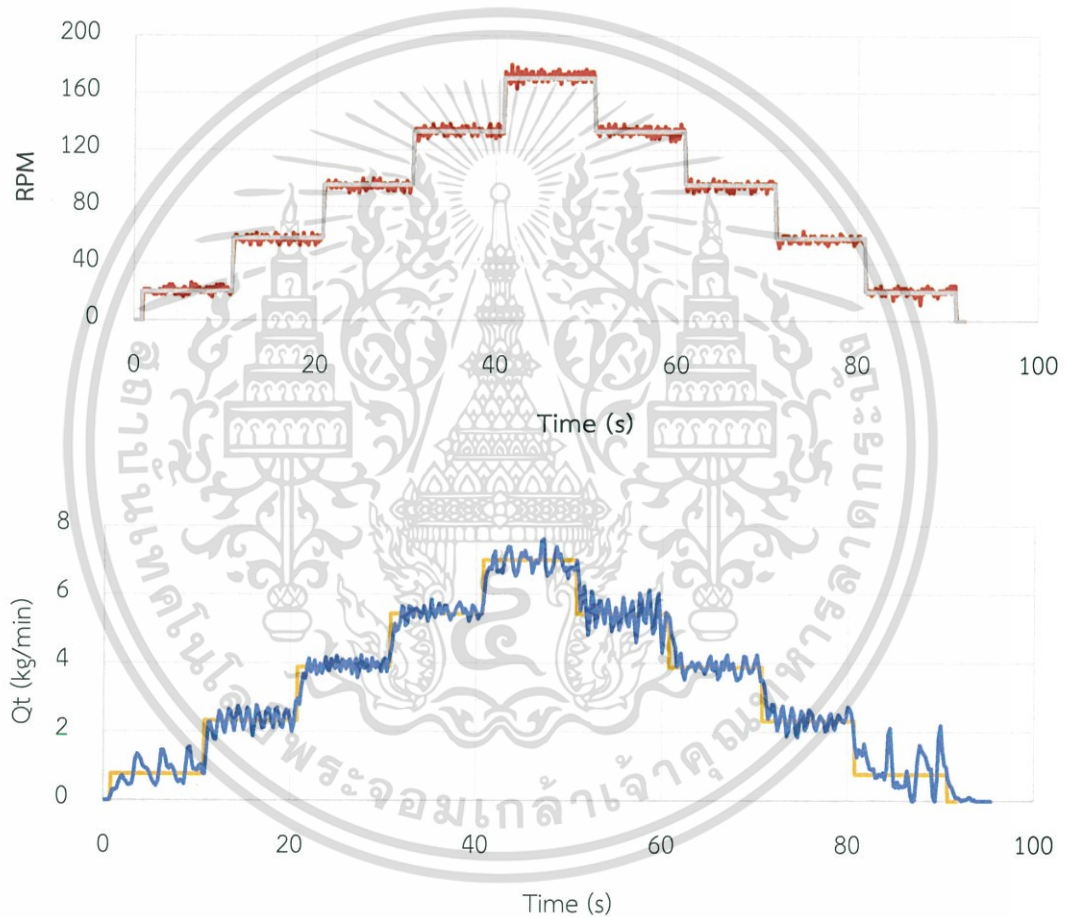


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม และความเร็รรอบของเกลียวลำเลียง

และเช่นเดียวกัน ค่าสัญญาณควบคุม PWM แปรผันโดยตรงอย่างเป็นเชิงเส้นกับความเร็รรอบของเกลียวลำเลียง โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ  $PWM = 1.3565 \times RPM_{screw} + 26.541$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 99.98% เมื่อรวมสมการทั้งสองเข้าด้วยกัน จะสามารถกำหนดค่าสัญญาณควบคุม PWM ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้อัตราการหยอด  $Q_t$  ที่ต้องการ

## 4.2 การทดสอบการตอบสนองของระบบควบคุม

ทำการทดสอบโดยการส่งสัญญาณควบคุม PWM ที่ระดับ 0, 51, 102, 153, 204 และ 255 เป็นลักษณะขั้นบันได (รูปที่ 4.3) ที่ระดับละ 10 วินาที โดยบันทึกข้อมูลมวลของวัสดุแบบ Real-time ด้วย Load cell และ Data logger พร้อมบันทึกความเร็วรอบของเกลียวลำเลียงในขณะที่ทำงาน เนื่องจากค่ามวลที่ได้เป็นค่ามวลสะสมจึงต้องนำมาคำนวณเทียบกับเวลาเพื่อหาค่าอัตราเชิงมวล ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.3 การตอบสนองความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม

เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อป้อนสัญญาณ PWM เข้าไปในระบบ เกลียวลำเลียงจะตอบสนองต่อคำสั่งทันที และอัตราการหยอดมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนระดับของ  $RPM_{screw}$  โดยจะใช้เวลาเล็กน้อยในการเข้าสู่จุดที่ต้องการ จากกราฟนี้เราสามารถบอกได้แล้วว่าระบบของเราสามารถสั่งให้เกลียวลำเลียงทำงานตามคำสั่งได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

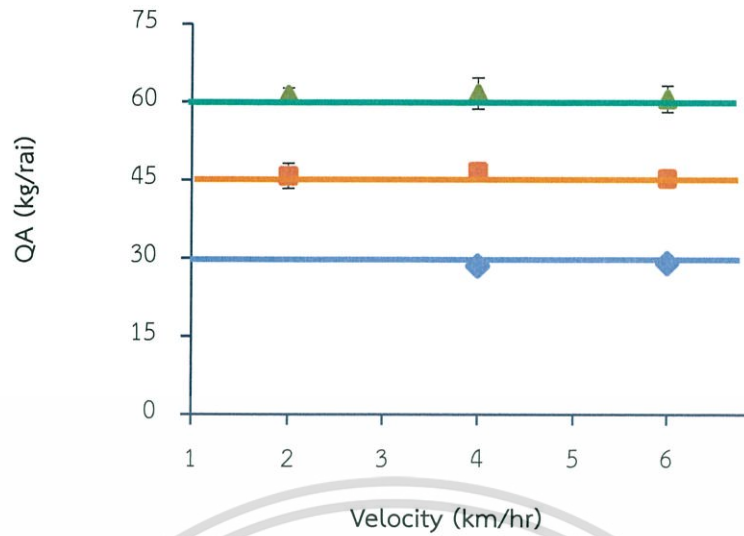
### 4.3 ผลทดสอบภาคสนาม



รูปที่ 4.4 การทดสอบภาคสนาม

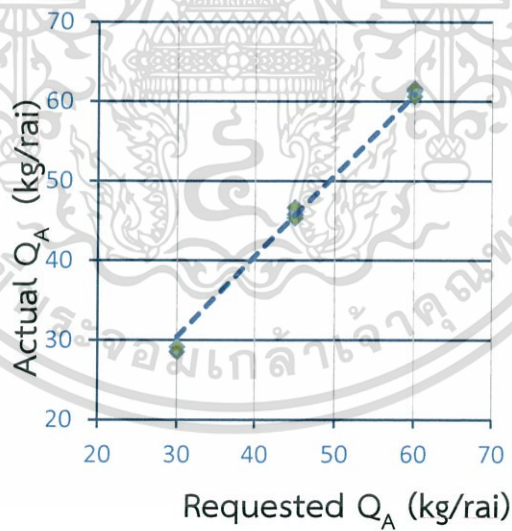
ทดสอบโดยติดตั้งระบบรถแทรกเตอร์วิ่งในระยะทาง 30 เมตร ที่ความเร็วต่างระดับ 3 ระดับคือ 2, 4 และ 6 กิโลเมตร/ชั่วโมง แต่ละความเร็วกำหนดอัตราการหยอดปุ๋ยที่ต้องการ 3 ระดับคือ 30, 45 และ 60 กิโลกรัม/ไร่ ทำการสุ่มตัวอย่างทุก 10 เมตร แต่ละการทดสอบทำการทดลอง 3 ซ้ำ ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง บันทึกลง และวิเคราะห์ผลการทดสอบ ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.5 โดยพบว่ามีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 0.4 ถึง 1.2 กิโลกรัมต่อไร่ ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งเกิดจากความหนาแน่นของปุ๋ยที่เปลี่ยนแปลงจากการความชื้นอากาศ และการอัดแน่นของปุ๋ยในถังเก็บในขณะเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบภาคสนามที่อัตราการหยอดเชิงพื้นที่และความเร็วในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน

จากการทดสอบภาคสนามพบว่า อัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่ได้นั้น มีค่าใกล้เคียงกับอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ที่กำหนดเทียบกับอัตราการหยอดเชิงพื้นที่จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดสอบ

- 1) ระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมเก็วลำเลียงในเครื่องหยอดปุ๋ยถูกพัฒนาขึ้น
- 2) ในห้องปฏิบัติการ ระบบสามารถสร้างสัญญาณควบคุมมอเตอร์เพื่อให้ได้อัตราการหยอดเชิงเวลาที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ
- 3) ในการทดสอบภาคสนาม ระบบสามารถควบคุมอัตราการหยอดเชิงพื้นที่ได้อย่างแม่นยำ ในช่วง 30-60 กิโลกรัม/ไร่ ที่ความเร็ว 2-6 กิโลเมตร/ชั่วโมง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการพัฒนาในส่วนของการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกสารประกอบการฝึกอบรมโครงการจัดทำต้นทุนผลผลิตและถ่ายทอดความรู้เพื่อลดต้นทุนการผลิตอ้อยของเกษตรกร ในปีเพาะปลูก 2557/58. 2557, สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย.
- [2] The Precision Farming Guide for Agriculturists. 2003. Delmar Cengage Learning.
- [3] ณัชพล ศิริล้วน, ณัฐสิทธิ์ ต้นทสุทานนท์, ณัฐวุฒิ จิระประสิทธิ์ และ นิรุช ลอยบัณดิษฐ์. 2559. ปรินญาณินพณ์ เรื่อง การพัฒนาเครื่องหยอดปุ๋ยอ้อยแบบแม่นยำ. หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สจล.
- [4] ปานมนัส ศิริสมบุญ. บทที่ 7 เกลียวล่าเสียง. ใน วิศวกรรมการขนถ่ายวัสดุเล่ม 1, 5: 139-175. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ มิน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2556.
- [5] “GPS คืออะไร?”. 2559.[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.kroobannok.com/1/กันยายน/2559>.
- [6] “Arduino's Boards Buying Guide”. 2560. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.arduitronics.com/article/19/arduinob-boards-buying-guide/> (7/กันยายน/2560).
- [7] “Arduino MEGA 2560& Genuino MEGA 2560”. 2560. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoard Mega2560/> (7/กันยายน/2560).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยุดเชิงมุม ( $Q_t$ ), ความเร็วรอบของเกิลีเยว  
ลำเลียง (RPM) และ สัญญาณควบคุม Pulse-Width Modulation (PWM)

```
#include <TimerOne.h>

volatile long int    i = 0 ; //ตัวแปรนับจุดของEncoder
volatile float      rpm,pwm ; //ตัวแปรใช้คำนวณ
volatile int        vel ; //ตัวแปรใช้รับค่าPotentiometer เพื่อปรับ
                    //ระดับที่ใช้ทดลอง

void setup() {
  Serial.begin(384000);
  pinMode(2,INPUT_PULLUP);
  attachInterrupt(0,encCount,RISING); //นับ Pulse เมื่อหมุนผ่านจุดมีดใน Encoder
  Timer1.initialize(100000);
  Timer1.attachInterrupt(calRPM);
}

void loop() {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void encCount(){

  i++; //นับจุดเมื่อหมุนผ่านจุดมืดในEncoders ตาม
      attachinterrupt

}

void calRPM(){

  rpm = (i*60)/(0.1*360);

  vel = (analogRead(A0)*5.0)/1023;

  pwm = vel*51;

  analogWrite(5,pwm);

  showtime1();

}

void showtime1(){

  Serial.print(vel);   Serial.print('\t');   Serial.print(pwm);   Serial.print('\t');
  Serial.println(rpm);

  i=0;

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## ทดสอบการตอบสนองของระบบควบคุม

```

#include <TimerOne.h>

volatile long   i;                               //ตัวแปรใช้เก็บข้อมูลการนับจาก Encoder
volatile float  rpm,pwm;                         //ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ
volatile int    vel ;

void setup() {
  Serial.begin(38400);
  pinMode(2,INPUT_PULLUP);                       // INTO
  pinMode(3,INPUT_PULLUP);
  attachInterrupt(0, encCount,RISING);
  Timer1.initialize (100000);                    //ทุกๆ0.1 จี
  Timer1.attachInterrupt (calRPM);
  Serial.print("PWM"); Serial.print("\t"); Serial.println("rpm");

  for (int k=0; k<=5; k++) {
    pwm = k*51;
    analogWrite(5,pwm);
    delay(10000);
  }

  for (int k=4; k>=0; k--){
    pwm = k*51;
    analogWrite(5,pwm);
    delay(10000);
  }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void loop() {
    Serial.println("#####");
    delay(1000);
}

void encCount(){
    if(digitalRead(3)==0) // Check the rotational direction
        i++;
    else
        i--;
}

void calRPM(){
    rpm = (i*60.0)/(0.1*360);
    i=0;
    showtime1(); // แสดงผลผ่าน Serial Port ทุกๆ 0.1s
}

void showtime1(){
    Serial.print (pwm);    Serial.print ('\t');    Serial.println (rpm);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

## ภาคสนาม

```

#include <TimerOne.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <EEPROM.h>
#include<TinyGPS++.h>

/*-----
Pin of SD CARD = MISO/MOSI/CLK/CS = 50/51/52/53
-----*/

volatile long i,j ; // count Encoder
volatile float vel,hrr,minn ; // เก็บข้อมูลเวลาจาก GPS
volatile float rpm,pwm,Calrpm; // ตัวแปรที่ใช้การคำนวณ
volatile float vel; //Velocity from GPS (km/hr)
volatile float Qt; //kg/hr
volatile float w = 1.5; //work width (m)
volatile float Qa= 30.0/1600; //Rate kg/rai
bool recFlag; //Flag ของswitchที่ใช้บันทึกค่าลง SD Card
TinyGPSPlus gps; //กำหนดชื่อให้ GPS ที่ใช้
File dataFile; //กำหนดชื่อให้ SD card

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial3.begin(115200);
  pinMode(2,INPUT_PULLUP); // INTO
  pinMode(3,INPUT_PULLUP);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pinMode(7,INPUT_PULLUP);           //recSW for SD CARD
pinMode(9,OUTPUT);                 //lcd แสดงสถานะSD card ว่าพร้อมไหม
pinMode(44,OUTPUT);               //lcd แสดงสถานะSD card ว่า กำลังบันทึก
attachInterrupt(0,encCount,RISING); //Pin2 is interrupt0
Timer1.initialize(100000);        //ทุกๆ0.1 วิ
Timer1.attachInterrupt(calRPM);   //ทุก0.1s ไปทำ void calRPM()

if ( ! SD.begin (53) ) {          //เช็คความพร้อม SD card
    Serial.println("Card Error !!");
    digitalWrite(44,HIGH);        //ถ้าไม่พร้อมLED Pin44จะติด
}
dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE); //คำสั่งเปิดไฟล์ใน SD card
if (!dataFile ) {
    Serial.println("File Error !!");
    digitalWrite(44,HIGH);        //ถ้าไม่พร้อมLCD Pin44จะติด
}
dataFile.close();                //คำสั่งปิดไฟล์ใน SD card
}

void loop() {
    fileCtrl();                   //ให้โปรแกรมเช็คความมีการเปิดสวิตช์บันทึกข้อมูล
    while( Serial3.available() )
        if(gps.encode(Serial3.read())) {
            hrr = gps.time.hour();
            minn = gps.time.minute();
        }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void encCount(){
  If (digitalRead(3)==0) // Check the rotational direction
    i++;
  else
    i--;
}

void calRPM(){
  rpm = (i*60.0)/(0.1*360);
  i=0; //นับการหมุนของEncoder เสร็จใน
  //หนึ่งรอบเวลาก็เซตให้เป็น 0 เพื่อเริ่มนับ
  //ใหม่

  vol = gps.speed.kmph(); // velocity from GPS (km/hr)
  Qt = Qa*w*vol*1000; //Qt(kg/hr) , 1000 m = 1kg
  Calrpm=0.3797*Qt; //จากผลการทดลองที่ 4.1(รูปที่ 4.1)
  pwm = (1.3565*Calrpm)+26.541; //จากผลการทดลองที่ 4.1(รูปที่ 4.2)
  analogWrite(5,pwm); //ส่งคำสั่งไปควบคุมมอเตอร์
  showtime1(); //คำสั่งแสดงผล
}

void showtime1() {
  Serial.println( String(vol)+ "," + String(Qt)+ "," + String(pwm)+ "," + String(Calrpm)+ ","
+ String(rpm));
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if ( recFlag==1)                                     //regFlag=1 แสดงว่ามีการบันทึก
ข้อมูล
    dataFile.println( String(vol)+ "," + String(Qt)+ "," + String(pwm)+"," +
String(Calrpm)+"," + String(rpm)) ;
}

void fileCtrl(){
    if ( !digitalRead(7) ==1 && recFlag==0){
        recFlag = 1;
        byte fileNo = EEPROM.read(0);
        EEPROM.write(0,++fileNo);
        char fileName[8];
        sprintf(fileName,"%d.csv",fileNo);
        dataFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
        Serial.print("Recording ..");
        Serial.println(fileName);
        dataFile.println(String(hrr) + ":" + String(minn)+"," + String(Qa));
        digitalWrite(9,HIGH);                          //หากมีการบันทึกลงSDcard ledจะติด
    }

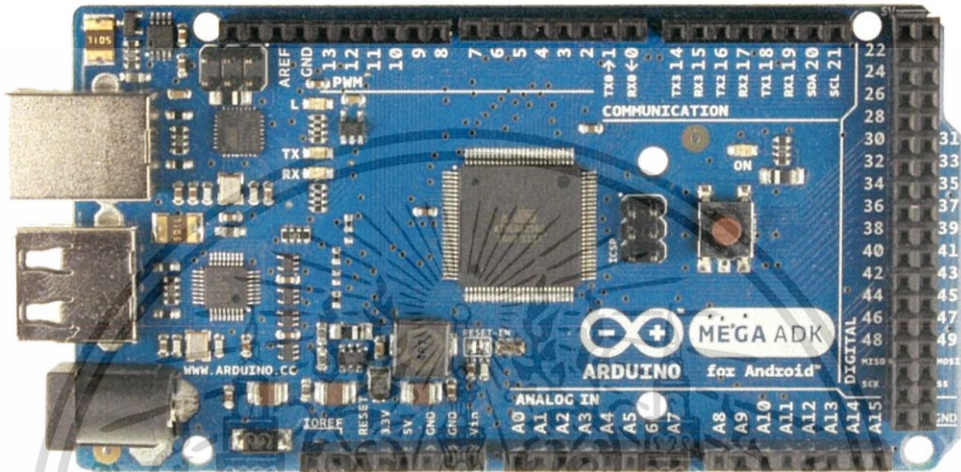
    if (!digitalRead(7)==0 && recFlag==1){
        recFlag = 0;
        dataFile.close();
        Serial.println("File Closed");
        digitalWrite(9,LOW);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

## Microcontroller



รูปที่ ง.1 Arduino MEGA 2560 R3

## รายละเอียด

Make :	Arduino.cc, Italy
Model :	Arduino MEGA 2560 R3 (ATmega2560)
Operating Voltage	5V
Input Voltage	7-12V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output, 4 UART TTL)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256KB of which 8KB used by bootloader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลิขสิทธิ์สงวนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 8 KB อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EEPROM

4 KB

Clock Speed

16 MHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Encoder



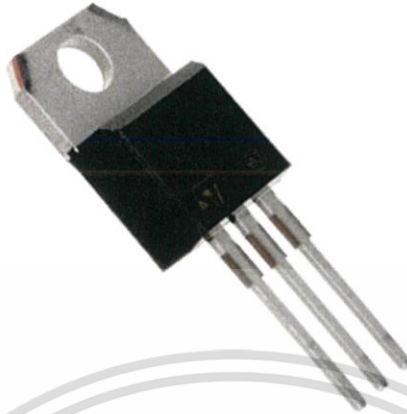
รูปที่ ง.2 Encoder

## รายละเอียด

Make :	Omron Co.Ltd, USA
Model :	E6B2-CWZ6C
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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Regulator



รูปที่ ๓.3 Regulator

รายละเอียด

Source : <http://www.arduinoall.com/product/579>

โมดูลเรกูเลเตอร์-xl4015-dc-dc-step-down-5a-adjustable-power-supply-module-xl4015-step-down-buckInput

Voltage range 4-38VDC

Output voltage range 1.25-36VDC adjustable

Output current 0-5A, recommended for use in 4.5A.

Output power 75W

Working temperature -40 ถึงประมาณ +85 degrees

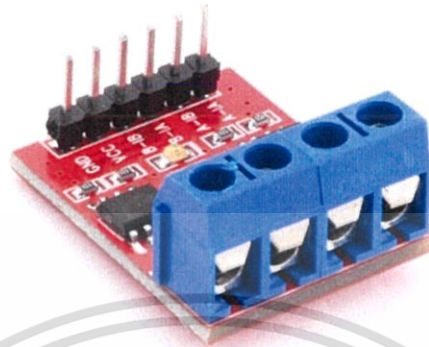
Operating Frequency 180KHz

Efficiency 96% (max)

L x W x H 54 x 23 x 18 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรขับมอเตอร์ (Motor Driver)



รูปที่ 4 Motor Driver

### รายละเอียด

Make :	Pololu, USA
Model :	Pololu High-Power Motor Driver 24v12
L x W	1.3 x 0.8 inch
Input voltage range	5.5 to 40 V
Output voltage range	5 V
Output current	12 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)



รูปที่ ๑.5 DC Motor

### รายละเอียด

Make :	Zhengke Electromotor Co.,Ltd. ,Cina
Model :	ZGBX80FNN
Type	Direct Current
Voltage	12 V
RPM	100
Ratio	1:18
Power	60 watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้