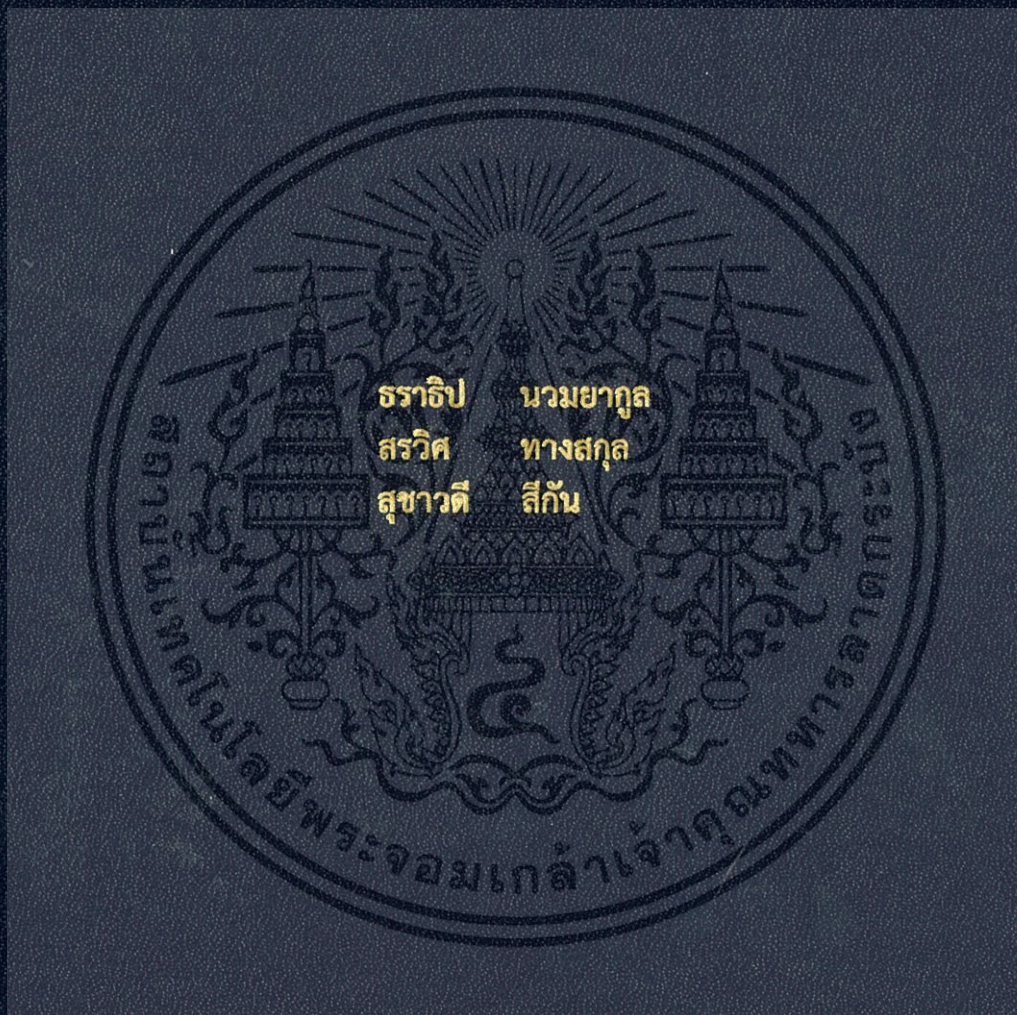


เครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์
(A precision sprayer controlled by a microcontroller)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์
(A precision sprayer controlled by a microcontroller)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A PRECISION SPRAYER CONTROLLED BY A MICROCONTROLLER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEER IN AGRICULTURAL ENGINEER
FACULTY OF ENGINEER

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำควบคุมด้วยระบบ
ไมโครคอนโทรลเลอร์

A precision sprayer controlled by a microcontroller

นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธราธิป นวมยากุล	รหัสนักศึกษา	56010585
	นายสรวิศ ทางสกุล	รหัสนักศึกษา	56011275
	นางสาวสุชาวดี สีกัน	รหัสนักศึกษา	56011334

ปริญญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.วสุ อุดมเพทยกุล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำควบคุมด้วยระบบ
ไมโครคอนโทรลเลอร์

นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธราธิป	นวมยากุล	รหัสนักศึกษา	56010585
	นายสรวิศ	ทางสกุล	รหัสนักศึกษา	56011275
	นางสาวสุชาวดี	สีกัน	รหัสนักศึกษา	56011334
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. วสุ	อุดมเพทยกุล		
ปีการศึกษา	2559			

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมเกษตรนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบระบบฉีดพ่นสารเคมีเกษตรที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และเพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยได้ศึกษาและพิจารณาในส่วนของการทำงานของเครื่องพ่นสารเคมีที่เกษตรกรใช้ทั่วไปพบว่า การทำงานของเครื่องยังควบคุมให้ทำงานอย่างแม่นยำไม่ได้ โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์พ่นยาและอัตราการพ่นสารเคมียังไม่สามารถควบคุมให้สัมพันธ์กันได้

ซึ่งในการทดสอบความแม่นยำนั้นมิเป้าหมายเพื่อที่จะควบคุมอัตราการพ่นสารเคมีที่แปรผันไปตามความเร็ว โดยที่เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เปลี่ยนไปอัตราการพ่นสารเคมีก็ต้องเปลี่ยนไปเช่นกัน ซึ่งในแนวคิดของระบบการทำงานของเครื่องต้นแบบนั้นจะทำได้โดยการรับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่มาจาก GPS เพื่อปรับสัญญาณ PWM ไปที่ตัว Motor Driver เพื่อสั่งให้ปั๊มทำงานตามต้องการ และนั่นจะทำให้อัตราการไหลหรืออัตราการพ่นสารเคมีของเครื่องต้นแบบมีค่าที่สัมพันธ์กันกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ซึ่งในการทำงานของระบบควบคุมนั้น จะมี Pressure Sensor เพื่อใช้ในการควบคุมแบบระบบปิดเพื่อให้ได้อัตราการฉีดพ่นที่แม่นยำ และได้มีข้อกำหนดของการทำงานของเครื่องต้นแบบดังต่อไปนี้คือ หน้ากว้างในการทำงานให้คงที่ที่ 1 เมตร ความสูงของหัวฉีดจากพื้น 0.5 เมตรโดยพิจารณาความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ 4-7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และที่อัตราการฉีดพ่นสารเคมี 50-70 ลิตรต่อไร่ และผลการทดสอบมีค่า standard deviation อยู่ที่ 0.7-3.5 ลิตรต่อไร่

Thesis Title	A precision sprayer controlled by a microcontroller		
Authors	Tharathip	Nuamyakul	56010585
	Sorawit	thangsakul	56011275
	Suchawadee	seekun	56011334
Thesis Advisor	Dr. Vasu	Udompetaikul	
Year	2016		

Abstract

This agricultural engineering project aims to design and fabricate an agricultural sprayer prototype, which is controlled by a microcontroller, and also to test the accuracy of the system. According to a preliminary survey, the chemical applied to the agricultural fields from conventional chemical sprayers still be inconsistent. Spraying rate is required to be varied with its traveling speed.

The prototype shows the concept of variable-rate application (VRA) which consistently maintains the amount of chemical per area by controlling of spraying rate associated with traveling speed. The control system receives traveling speed information from a GPS receiver, then calculates and sends the control signal to a motor driver to drive the pump at the correct motor speed to get a right amount of chemical at that location. A pressure sensor is used for system monitoring. It measures the working pressure which is directly related to its corresponding spraying rate. The prototype was tested at spraying rate of 50-70 l/rai under traveling speed of 4-7 km/h. The results show that the system was able to control the spraying rate under variation of traveling speed to maintain the amount of chemical per area was consistent with standard deviation of 0.7-3.5 l/rai.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความร่วมมือจาก บุคคลหลายฝ่าย

บุคคลแรกที่ต้องขอขอบพระคุณคือ ดร. วสุ อุดมเพทายกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ คำแนะนำ ดูแลเอาใจใส่ และความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ดร. วันพุทธ แซ่ฉั่ว อาจารย์ภายในภาควิชาวิศวกรรมเกษตรที่ให้การ สนับสนุนเป็นอย่างมาก ในเรื่องของอุปกรณ์เพื่อการศึกษาและการทดสอบโครงงานวิศวกรรมเกษตร ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ให้งบประมาณสนับสนุน (โครงการงบประมาณเงินรายได้ ปีงบประมาณ 2559)

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับคำแนะนำ และความรู้ด้านวิชาการ

ขอขอบพระคุณบุคคลากรหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ ความ ช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำงาน

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดมา

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ คือ บิดา มารดา และ ผู้ปกครอง อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเลี้ยงดูมาเป็นอย่างดี ให้ความเอาใจใส่เสมอมา และให้การ สนับสนุนในทุกเรื่อง พร้อมทั้งให้โอกาสทางการศึกษาอย่างเต็มที่ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายธราธิป นวมยากุล

นายสรวิศ ทางสกุล

นางสาวสุชาวดี สীগัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 GPS และหลักการหาความเร็วจาก GPS	3
2.1.1 GPS	3
2.1.2 หลักการหาความเร็วจาก GPS	4
2.2 Arduino รุ่น MEGA 2560 R3	5
2.3 PWM (Pulse Width Modulation)	6
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง	8
3.1 แนวคิดและข้อกำหนดในการออกแบบ	8
3.2 การออกแบบระบบควบคุม	9
3.3 การออกแบบชุดเครื่องฟั่นสารเคมี	11
3.4 การออกแบบโครงของเครื่องฟั่นสารเคมี	12
3.5 การสร้างเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำ	14
ควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์	

บทที่ 4	วิธีการทดสอบ	19
4.1	การทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ	19
4.1.1	การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการใช้พลังงานและสัญญาณ PWM	19
4.1.2	การทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลอง ความเร็วในห้องปฏิบัติการ	21
4.2	การทดสอบภาคสนาม	22
4.2.1	การทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง	22
4.2.2	การทดสอบการทำงานของระบบ	23
บทที่ 5	ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ	25
5.1	ผลการทดสอบเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตรภายในห้องปฏิบัติการ	25
5.1.1	ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการใช้พลังงานและสัญญาณ PWM	25
5.1.2	ผลการทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลอง ความเร็วในห้องปฏิบัติการ	26
5.2	ผลการทดสอบเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตรภาคสนาม	27
5.2.1	ผลการทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง	27
5.2.2	ผลการทดสอบการทำงานของระบบ	28
บทที่ 6	สรุปผลการศึกษา	31
6.1	การสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตร แบบแม่นยำด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์	31
6.2	สรุปผลการทดสอบ	32
6.3	ข้อเสนอแนะ	32
เอกสารอ้างอิง		33

ภาคผนวก	35
ภาคผนวก ก. รายละเอียดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	36
ภาคผนวก ข. รายละเอียดโปรแกรมที่ใช้	41
ภาคผนวก ค. ข้อมูลจากการทดสอบ	44
ภาคผนวก ง. ข้อมูลเครื่องต้นแบบ(เก่า)	51



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ ค.1.1 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและความดัน	45
ตารางที่ ค.1.2 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและความดัน	45
ตารางที่ ค.1.3 ผลการทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลองความเร็วในห้องปฏิบัติการ	46
ตารางที่ ค.1.4 ผลการทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง	46
ตารางที่ ค.1.5 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ : อัตราการพ่นเชิงพื้นที่ 50 ลิตรต่อไร่	47
ตารางที่ ค.1.6 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ : อัตราการพ่นเชิงพื้นที่ 60 ลิตรต่อไร่	48
ตารางที่ ค.1.7 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ : อัตราการพ่นเชิงพื้นที่ 70 ลิตรต่อไร่	49
ตารางที่ ค.1.8 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ : ตารางสรุป	50

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 หลักการทำงานของ GPS	3
รูปที่ 2 หลักการหาความเร็วจาก GPS	4
รูปที่ 3 Arduino รุ่น MEGA 2560 R3	5
รูปที่ 4 PWM (Pulse Width Modulation)	6
รูปที่ 5 แผนภาพการทำงานของระบบ	9
รูปที่ 6 Flow Chart ของระบบควบคุม	10
รูปที่ 7 ส่วนประกอบของชุดเครื่องฟั่นสารเคมี	11
รูปที่ 8 ภาพ Front View	12
รูปที่ 9 ภาพ Side View	12
รูปที่ 10 ภาพ Top View	13
รูปที่ 11 ภาพ Isometric	13
รูปที่ 12 Drawing แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องฟั่นสารเคมี 1	14
รูปที่ 13 Drawing แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องฟั่นสารเคมี 2	14
รูปที่ 14 Drawing แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องฟั่นสารเคมี 3	15
รูปที่ 15 Drawing แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องฟั่นสารเคมี 4	15
รูปที่ 16 โครงเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตรจริง ด้านหน้า	16
รูปที่ 17 โครงเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตรจริง ด้านหลัง	16
รูปที่ 18 โครงเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตรจริง ด้านข้าง	17
รูปที่ 19 โครงเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตร	17
รูปที่ 20 การติดตั้งเครื่องกับพ่วงท้ายแทรกเตอร์	18
รูปที่ 21 ตัวอย่างคำสั่งที่ใช้ป้อนสัญญาณ PWM	20
รูปที่ 22 รูปการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและสัญญาณ PWM	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 23	รูปการทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลองความเร็วในห้องปฏิบัติการ	21
รูปที่ 24	รูปการทดสอบภาคสนามหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง	22
รูปที่ 25	การทดสอบการทำงานของระบบ 1	23
รูปที่ 26	การทดสอบการทำงานของระบบ 2	24
รูปที่ 27	การทดสอบการทำงานของระบบ 3	24
รูปที่ 28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและสัญญาณPWM	25
รูปที่ 29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Qt จากการทดลองกับQt จากความเร็ว	26
รูปที่ 30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว GPS เทียบกับความเร็วจริง	27
รูปที่ 31	กราฟเปรียบเทียบอัตราการพ่นที่ 50 Vrai	28
รูปที่ 32	กราฟเปรียบเทียบอัตราการพ่นที่ 60 Vrai	29
รูปที่ 33	กราฟเปรียบเทียบอัตราการพ่นที่ 70 Vrai	29
รูปที่ 34	กราฟเปรียบเทียบอัตราการพ่นเชิงพื้นที่ระหว่าง 50,60 และ 70 ลิตรต่อไร่	30
รูปที่ 35	เครื่องต้นแบบของเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์	31
รูปที่ 36	รูปตัวอย่างมอเตอร์ไดเวอร์ (Motor Driver)	37
รูปที่ 37	รูปตัวอย่าง DC Converter	39
รูปที่ 38	รูปตัวอย่างการทำงานของเครื่องต้นแบบ(เดิม)	52
รูปที่ 39	รูปตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่องต้นแบบ(เดิม)	53
รูปที่ 40	รูปตัวอย่างการทำงานของระบบของเครื่องต้นแบบ(เดิม)	54
รูปที่ 41	รูปแผนผังวงจรแสดงการทำงานของระบบควบคุมความดันของเครื่องต้นแบบ(เดิม)	55
รูปที่ 42	การทดสอบหาอัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยเวลาเทียบกับความดัน	56
รูปที่ 43	ตารางผลการทดสอบของเครื่องต้นแบบ(เดิม)	57
รูปที่ 44	กราฟผลการทดสอบของเครื่องต้นแบบ(เดิม)	58
รูปที่ 45	กราฟผลการทดสอบของเครื่องต้นแบบ(เดิม)	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีการทำเกษตรกรรมประเภทพืชไร่เป็นจำนวนมาก โดยในปี 2558 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ทั้งประเทศมีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยโรงงาน มันสำปะหลัง และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีประมาณ 9.96 9.54 และ 7.16 ล้านไร่ ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ แต่อย่างไรก็ตามในการเพาะปลูกพืชไร่เหล่านั้นได้มีการใช้สารเคมีเพื่อฉีดพ่นในการกำจัดวัชพืชและศัตรูพืชอย่างแพร่หลายสำหรับการใช้สารเคมีเพื่อฉีดพ่นในแปลงที่ทำเกษตรกรรมนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ในการทำงานและอุปกรณ์ที่เกษตรกรนิยมใช้ได้แก่ อุปกรณ์ฉีดพ่นแบบเป่าสายหลัง อุปกรณ์ฉีดพ่นต่อพ่วงท้ายแทรกเตอร์ ฯลฯ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของอุปกรณ์นั้นยังควบคุมให้ทำงานอย่างแม่นยำไม่ได้ โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์พ่นยาและอัตราการพ่นสารเคมียังไม่สามารถควบคุมให้สัมพันธ์กันได้ ก่อให้เกิดปัญหาตามมาคือ การสิ้นเปลืองสารเคมีเกินความจำเป็นและปริมาณของสารเคมีที่ฉีดพ่นไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง

จึงเป็นเหตุผลหลักที่คณะผู้จัดทำได้นำมาพิจารณา เพื่อศึกษาการควบคุมอัตราการพ่นสารเคมีของอุปกรณ์ต่อพ่วงท้ายแทรกเตอร์เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของแทรกเตอร์เปลี่ยนไป โดยมีแนวคิดที่จะนำระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ควบคุมและสั่งงานอัตราการพ่นสารเคมีเพื่อให้แม่นยำในการฉีดพ่นและเหมาะสมในด้านของปริมาณสารเคมีที่ใช้ ซึ่งจะทำให้ลดปริมาณการใช้สารเคมีและลดค่าใช้จ่าย อีกทั้งจะสามารถควบคุมให้อัตราการพ่นสารเคมีพ่นได้อย่างสม่ำเสมอ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบระบบฉีดพ่นสารเคมีเกษตรที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 2) เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- โครงการนี้เป็นการพัฒนาเครื่องต้นแบบในห้องปฏิบัติการและแปลงทดสอบ เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ศึกษา จึงใช้น้ำเป็นตัวอย่างในการทดลองแทนสารเคมี
- อัตราการพ่นของเครื่องต่อหน่วยพื้นที่ ที่ศึกษา 50, 60, 70 ลิตรต่อไร่

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องต้นแบบเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถควบคุมปริมาณอัตราการไหลได้สอดคล้องกับความเร็วในการเคลื่อนที่ สามารถพัฒนาเพื่อใช้ในการพ่นสารเคมีเกษตรได้ต่อไป

1.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ปี/เดือน							
	2559				2560			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ปรับเทียบเครื่องมือ								
- ปรับเทียบเซนเซอร์วัดความดัน								
- ปรับเทียบจีพีเอสวัดความเร็ว								
2. สร้างถังบรรจุสารเคมีและติดตั้งวาล์วต่างๆ								
3. เขียนโปรแกรมควบคุมความดันภายในถัง								
4. หาอัตราการไหล (Q _i)								
5. หาหน้ากว้างในการทำงานของหัวฉีด								
6. ทดสอบความแม่นยำของระบบควบคุมการทำงาน								
7. ปรับปรุงระบบควบคุม								
8. ติดตั้งถังบรรจุสารเคมีและระบบควบคุม								
9. ทดสอบเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรในแปลงทดสอบ สจล.								
10. วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

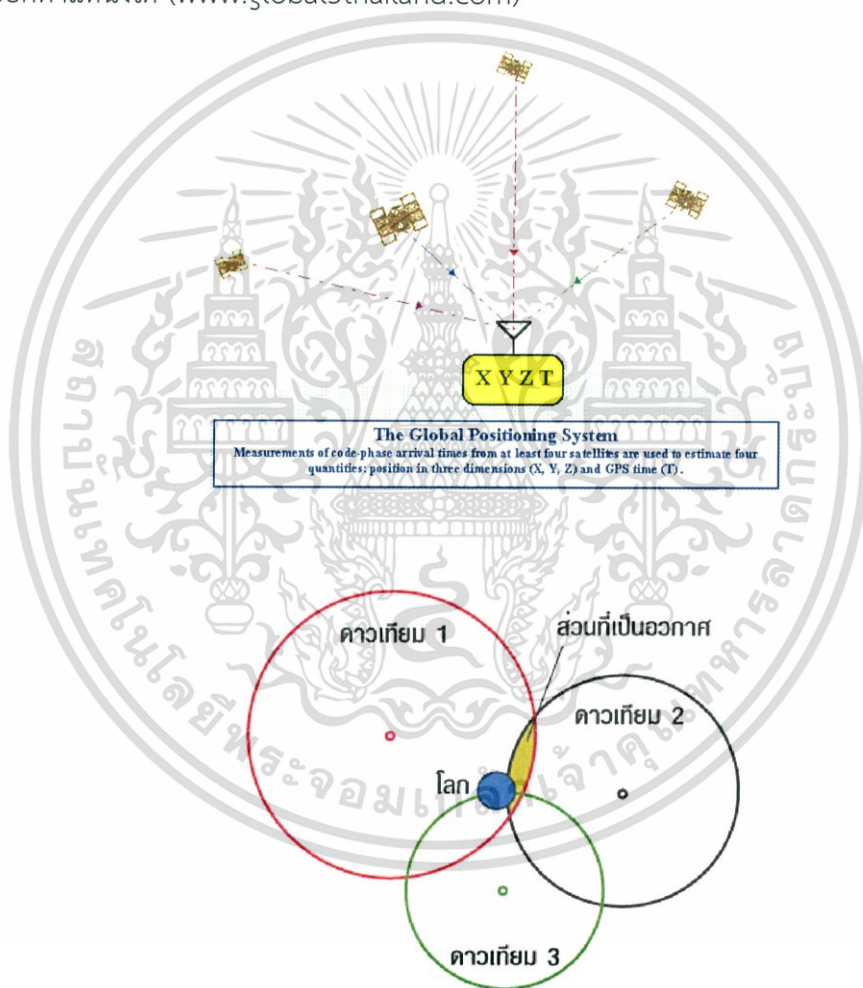
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 GPS และหลักการหาความเร็วจาก GPS

2.1.1 GPS

GPS ย่อมาจาก Global Positioning System หรือ ระบบกำหนดพิกัดบนโลก โดยใช้งานคำนวณพิกัดจากดาวเทียมที่โคจรรอบโลก จำเป็นต้องใช้ดาวเทียมตั้งแต่ 3 ดวงขึ้นไป ที่จะทำให้สามารถบอกตำแหน่งได้ (www.global5thailand.com)



รูปที่ 1 หลักการทำงานของ GPS

(<http://www.a-tracking.com/aboutgps.php>) (<http://www.vcharkarn.com/blog/35727/5556>) 14/11/59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวเทียมนี้ประกอบไปด้วยข้อมูลที่ระบุตำแหน่งและเวลาขณะส่งสัญญาณ ตัวเครื่องรับสัญญาณ GPS จะต้องประมวลผลความแตกต่างของเวลาในการรับสัญญาณเทียบกับเวลาจริง ณ ปัจจุบันเพื่อแปลงเป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งได้ระบุมีตำแหน่งของมันมากับสัญญาณดังกล่าวข้างต้น เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการค้นหาตำแหน่งด้วยดาวเทียมต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อบอกตำแหน่งบนผิวโลก ซึ่งระยะห่างจากดาวเทียมทั้ง 3 กับเครื่อง GPS จะสามารถระบุตำแหน่งบนผิวโลกได้ หากพื้นโลกอยู่ในแนวระนาบแต่ในความเป็นจริงพื้นโลกมีความโค้งเนื่องจากสัณฐานของโลกมีลักษณะกลม ดังนั้นดาวเทียมดวงที่ 4 จะทำให้สามารถคำนวณเรื่องความสูงเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องมากขึ้น (www.it24hrs.com)

2.1.2 หลักการหาความเร็วจาก GPS

นอกเหนือจากการใช้ GPS ในการระบุตำแหน่งแล้ว ยังสามารถนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการหาความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ โดยหลักการที่จะใช้ GPS ในการหาความเร็วโดยหลักการง่ายๆคือ เมื่อ GPS สามารถระบุตำแหน่งของเราที่เวลาใดๆ เมื่อเวลาผ่านไป เมื่อ GPS ระบุตำแหน่งได้อีกหนึ่งจุดแล้วสามารถหาระยะว่าห่างจากจุดก่อนหน้าเท่าใดเมื่อนำระยะทางที่เปลี่ยนไปหารด้วยเวลาที่เปลี่ยนไปเราก็จะได้ความเร็วของสิ่งที่เราต้องการ และสามารถที่จะลดความคลาดเคลื่อนจากการวัดความเร็วในแบบอื่น อย่างเช่นการวัดความเร็วด้วยล้อหมุนที่จะทำให้เกิดการเลื่อนไถลได้



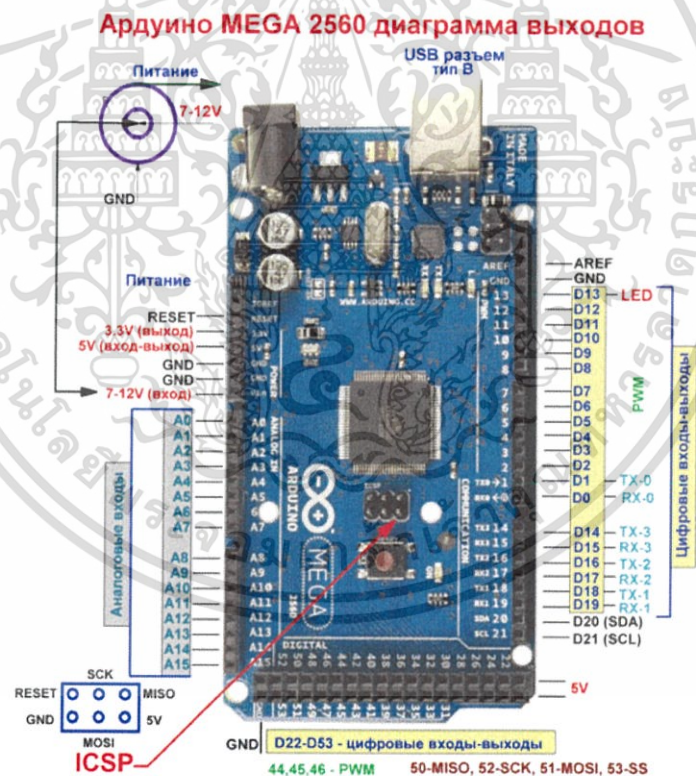
$$\text{จะได้ ความเร็ว} = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} \text{ ----- (2.1.2)}$$

แต่เนื่องด้วยวิธีนี้ยังไม่ความคลาดเคลื่อนอยู่มากคลาดเคลื่อนจนถึงระดับ เมตรต่อวินาที จึงจำเป็นที่จะต้องมียุทธวิธีอื่นๆ มาช่วยในการประมาณค่าให้ได้แม่นยำยิ่งขึ้น โดยการใช้การเครื่องมือวัดการเกิด ปรากฏการณ์ Doppler ที่เชื่อมโยงระหว่างผู้ใช้ และการโคจรของดาวเทียม สามารถทำให้การคลาดเคลื่อนเกิดได้เพียงในระดับ เซนติเมตรต่อวินาที (<http://www.global5thailand.com/thai/gps.htm>)

2.2 Arduino รุ่น MEGA 2560 R3

Arduino เป็นชุดระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบมาให้ง่ายต่อการใช้งานทั้งส่วนของ hardware และ software โดยบอร์ด Arduino สามารถอ่านข้อมูลเข้าจากเซ็นเซอร์, การกดปุ่มต่างๆ หรือการส่งข้อความ และยังสามารถส่งออกข้อมูล สั่งให้มอเตอร์ทำงาน, เปิดไฟLED, สั่งบางอย่างให้ทำงาน สามารถสั่งงานโดยการส่งคำสั่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่บอร์ด เพื่อใช้งาน โดยใช้ ภาษา และซอฟต์แวร์ของ Arduino (www.arduino.cc)

โครงงานนี้เลือกใช้ Arduino รุ่น MEGA 2560 R3 ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560 เป็นชิพหลักของระบบ มี digital input/output จำนวน 54 ช่องสัญญาณ (โดยมี 15 ช่องที่สามารถใช้งาน PWM output ได้), analog inputs 16 ช่องสัญญาณ, ความเร็ว CPU 16 MHz, สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วย USB มีหน่วยความจำและขาสัญญาณต่างๆ ให้ต่อใช้งานมากขึ้น (www.arduino.cc)

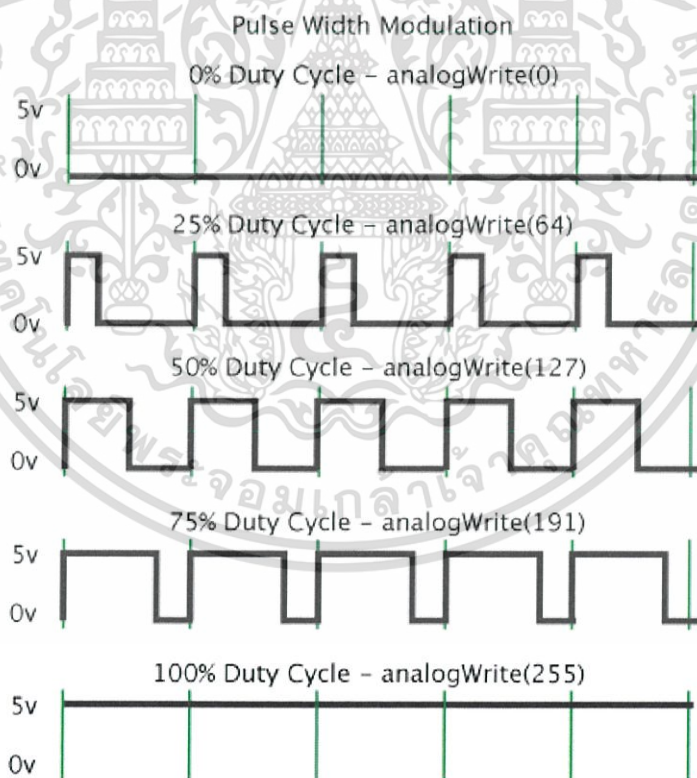


รูปที่ 3 Arduino รุ่น MEGA 2560 R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 PWM (Pulse Width Modulation)

เป็นเทคนิคที่ Arduino ใช้ในการควบคุมวงจรและ เขียนค่าแบบ Analog ทาง Digital Port โดยปกติพอร์ตดิจิทัล จะสามารถมีได้แค่ 2 สถานะ คือ HIGH (5 โวลต์) กับ LOW (0 โวลต์เท่านั้น จึงทำให้สร้างค่าสัญญาณลอจิกได้เพียง เปิดหรือปิด (1 หรือ 0 , มีไฟหรือไม่มีไฟ) ซึ่งการใช้เทคนิค PWM นั้น จะเป็นการทำให้พอร์ตดิจิทัล สามารถเขียนค่าได้มากกว่า HIGH หรือ LOW โดยทำให้สามารถเขียนค่าเป็นแบบอนาล็อกได้ (อาจเป็น 0-255 หรือ 0-1023) โดยวิธีการนั้นจะการใช้การปรับสถานะของสัญญาณลอจิก HIGH / LOW สลับกันไปมาด้วยคาบเวลาหนึ่งๆ ซึ่งค่าที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับ สัดส่วนเวลาของสัญญาณในช่วงเวลาที่มีสถานะเป็น HIGH กับช่วงเวลาที่ เป็น LOW โดย ช่วงเวลาทั้งหมดที่สัญญาณมีสถานะเป็น HIGH นั้นจะเรียกว่าเป็น "ความกว้าง Pulse (Pulse Width)" โดยสัญญาณพัลส์เมื่อเทียบ % ของช่วงเวลาที่ เป็น HIGH (หรือก็คือ % ของ Pulse Width) กับ % ของคาบเวลา (Period) ของพัลส์สัญญาณนั้นๆ เราจะเรียกว่า Duty Cycle ส่วนใหญ่แล้ว การใช้ PWM ใน Arduino ที่สามารถพบเห็นได้บ่อยที่สุด คือการนำไปใช้ในการ ควบคุมความเร็วมอเตอร์ ผ่านชุดไดรฟ์ (Motor Driver) [<http://naringroup.blogspot.com>]



รูปที่ 4 PWM (Pulse Width Modulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

R.Gonzalez et.al (2012) ได้ทำการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมความดันสำหรับเครื่องพ่นสารเคมีเคลื่อนที่ในโรงเรือนโดยทำการทดลองโดยใช้ Raspberry PI controller โดยทดสอบที่แรงดัน 4 ถึง 14 bar โดยพบว่ามีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนที่ 0.3 bar ได้ข้อสรุปการทำงานได้อย่างเหมาะสมและการกระจายตัวของของเหลว และในช่วงความดันที่กว้าง

Manas Gupta et.al (2015) ได้สร้างเครื่องพ่นยาฆ่าแมลงกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้การปิดเปิดหัวฉีดด้วยโซลินอยด์วาล์ว โดยใช้ Arduino ควบคุมร่วมกับSensorวัดระยะเมื่อถึงระยะที่เหมาะสมจึงเปิดโซลินอยด์วาล์วเพื่อเปิดหัวฉีด

A. I. Bugaje and et.al (2015) ได้พัฒนายานยนต์ไร้คนขับเพื่อใช้ในการรมควันฆ่าเชื้อ โดยใช้ Arduino Uno ควบคุมมอเตอร์กระแสตรง 4 ตัว servo motor 1 ตัว ตัวพ่นสเปรย์ สามารถควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของรถและทิศทางการฉีดของสเปรย์ ผ่านการเชื่อมต่อด้วย Bluetooth สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในฟาร์ม หรือการพ่นยาฆ่าแมลง โดยไม่ต้องใช้คนในการทำงานในที่ที่มีอันตราย

ปริญญานิพนธ์ของ นายสรณิต สมบูรณ์นาวัน และคณะ (2556) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องหยอดสารเคมีแบบแม่นยำควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีการวัดความเร็วของเครื่องด้วยเอนโคเดอร์ โดยคำนวณอัตราการหยอดจากความเร็วเพื่อให้ได้อัตราการหยอดที่กำหนด และส่งสัญญาณไปควบคุมสเตปมอเตอร์เพื่อขับหัวหยอด ได้ทำการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ 3 ความเร็ว 0.7, 1.0, และ 1.4 m/s และระยะห่างในการหยอดที่แตกต่างกัน 3 ระดับ 30, 40, และ 50 cm พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่และระยะห่างในการหยอด ไม่มีผลต่ออัตราการหยอดต่อหลุม ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถกำหนดอัตราการหยอดต่อหลุมได้อย่างแม่นยำ

ปริญญานิพนธ์ของ นายปวรปรัชญ์ พรหมอ่อน และคณะ(2558) ได้ทำการปรับปรุงเครื่องหยอดสารเคมีแบบแม่นยำควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ของนายสรณิต สมบูรณ์นาวัน และคณะ ได้มีการขยายหน้ากว้างในการทำงาน 20 เซนติเมตร เป็น 50 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของระบบและได้ใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส วัดความเร็วในการเคลื่อนที่เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของระบบวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ในระบบล้อดิน พิจารณาที่ 3 ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2.0, 4.0 และ 5.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง และที่ 3 อัตราการหยอด คือ 1.5, 2.5 และ 2.5 กิโลกรัม/ไร่ จากการทดสอบ พบว่าเครื่องหยอดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อัตราการหยอด 1.5 กิโลกรัม/ไร่ ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2.0 กิโลเมตร/ชั่วโมง

บทที่ 3

การออกแบบและสร้าง

3.1 แนวคิดและข้อกำหนดในการออกแบบ

แนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำ ควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในโครงงานวิศวกรรมเกษตรนี้ โดยจะพิจารณาในส่วนการทำงานของเครื่องพ่นสารเคมีที่เกษตรกรใช้ทั่วไปพบว่า การทำงานของเครื่องยังควบคุมให้ทำงานอย่างแม่นยำไม่ได้ โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์พ่นยาและอัตราการพ่นสารเคมียังไม่สามารถควบคุมให้สัมพันธ์กันได้ จึงก่อให้เกิดปัญหาตามมา เพราะฉะนั้นในการออกแบบและสร้างเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรที่มีความแม่นยำควรจะพิจารณาดังต่อไปนี้

1. อัตราการพ่นสารเคมี สามารถควบคุมได้ด้วยการกำหนดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ปั๊มฉีดพ่นสารเคมี ซึ่งสามารถควบคุมได้ด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ต้องมีการควบคุมอัตราการพ่นสารเคมีให้สัมพันธ์กับความเร็วในการเคลื่อนที่ เพื่อให้ได้สารเคมีต่อพื้นที่ในปริมาณที่เหมาะสม
3. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องพ่นสารเคมี สามารถทราบโดยใช้ระบบ GPS

จากที่กล่าวมาข้างต้นในการออกแบบและสร้างเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรนั้นสามารถกำหนดข้อกำหนดหรือเรียกอีกอย่างว่าขอบเขตในการออกแบบและสร้างเครื่องเพื่อให้เครื่องพ่นสารเคมีเกษตรมีความสามารถตรงตามความต้องการและวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบ จึงมีข้อกำหนดดังนี้

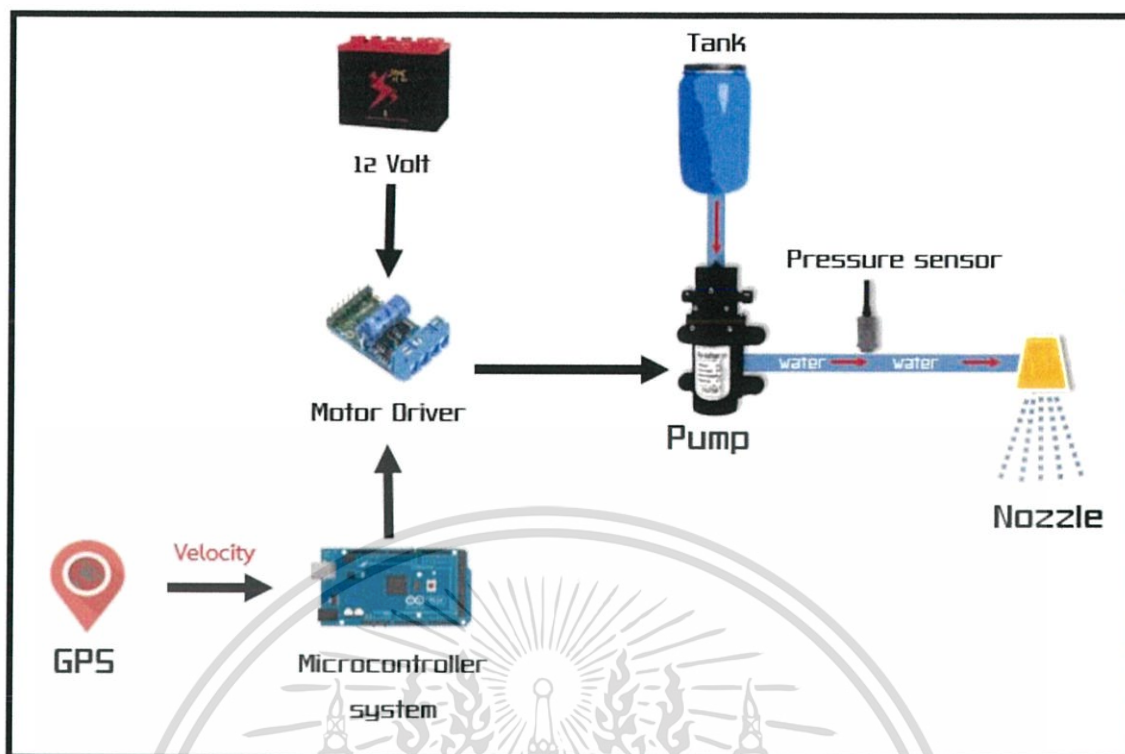
ข้อกำหนดในการออกแบบมีดังนี้

- | | | |
|---|------------|------------------|
| 1. หัวฉีดน้ำสเปรย์แบบโคนท (F-IS Hollow Cone Spray Nozzles) | | |
| 2. อัตราการพ่นสารเคมี | 50, 60, 70 | ลิตร/ไร่ |
| 3. ความสูงของหัวฉีดจากพื้น | 0.5 | เมตร |
| 4. ความเร็วที่ใช้ในการทำงาน | 4-7 | กิโลเมตร/ชั่วโมง |
| 5. หน้ากว้างของการกระจายของสารเคมี | 1 | เมตร |

เครื่องพ่นสารเคมีประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ระบบควบคุม และชุดถังบรรจุสารเคมี

- ระบบควบคุม ทำหน้าที่ รับค่าความเร็วจากระบบวัดความเร็วมาประมวลผล และควบคุมการทำงานของระบบ
- ชุดเครื่องพ่นสารเคมี ทำหน้าที่ บรรจุสารเคมีและจ่ายสารเคมีลงสู่พื้นดิน โดยใช้หัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 แผนภาพการทำงานของระบบ

ในการทำงานของเครื่องต้นแบบของเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นต้องการให้อัตราการพ่นสารเคมีมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการทำงานของรถแทรกเตอร์เพื่อควบคุมปริมาณการพ่นของสารเคมีในการทำเกษตรกรรมและลดการสิ้นเปลืองโดยใช้เหตุผลของสารเคมี โดยที่เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เปลี่ยนไปอัตราการพ่นสารเคมีก็ต้องเปลี่ยนไปเช่นกัน ซึ่งในแนวคิดของระบบการทำงานของเครื่องต้นแบบนั้นจะทำได้โดยการรับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่มาจาก GPS เพื่อปรับสัญญาณ PWM ไปที่ตัว Motor Driver เพื่อสั่งให้ปั๊มทำงานตามต้องการ และนั่นจะทำให้อัตราการไหลหรืออัตราการพ่นสารเคมีของเครื่องต้นแบบมีค่าที่สัมพันธ์กันกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ซึ่งในการทำงานของระบบควบคุมนั้น จะมี Pressure Sensor เพื่อใช้ในการตรวจสอบการทำงานระบบแบบระบบปิดเพื่อให้ได้อัตราการฉีดพ่นที่แม่นยำ

3.2 การออกแบบระบบควบคุม

จากข้อกำหนดที่ได้กล่าวมาข้างต้นในการออกแบบระบบควบคุม การที่จะควบคุมอัตราการไหลเชิงพื้นที่(Q_A) จำเป็นจะต้องทราบค่าอัตราการไหลเชิงเวลา(Q_t) หน้ากว้างในการทำงาน(W) ซึ่งเป็นค่าคงที่และความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์(v) โดยจะได้รับค่าความเร็วมาจาก GPS และเนื่องด้วยความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์จึงต้องมีการปรับอัตราการไหลเชิงเวลา(Q_t) ดังนั้นจากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q_A = Q_t / (v \cdot W) \quad \text{----- (3.2.0)}$$

โดยค่า

$$Q_t = Q_{t1}$$

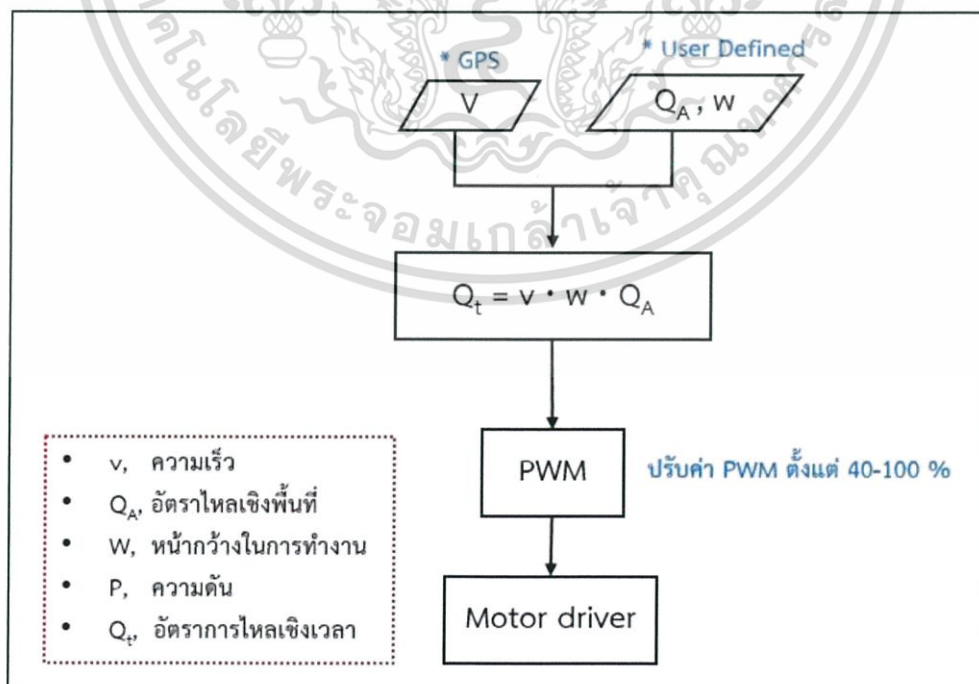
จะได้

$$Q_{t1} = Q_A \cdot v \cdot W \quad \text{----- (3.2.1)}$$

จากข้อกำหนด

Q_A และ W (คงที่)

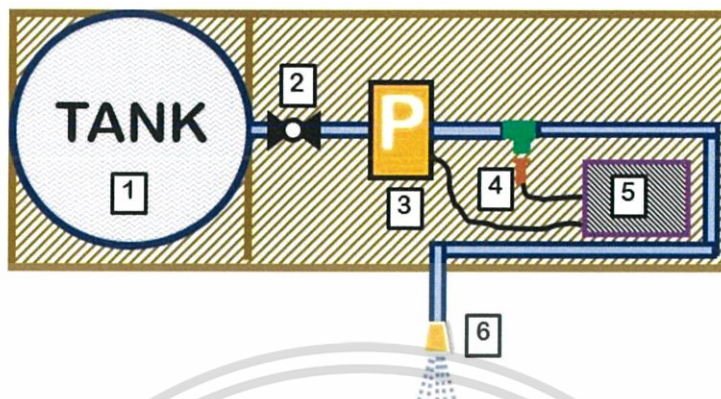
ซึ่ง v จะได้จากGPS จะส่งค่าไปยังระบบควบคุมแล้วระบบควบคุมจะทำการประมวลผลและส่งค่าไปสั่งงาน PWM (สามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 – 100 %) จากนั้น PWM จะส่งสัญญาณไปยัง motor driver เพื่อขับปั๊มให้ทำงาน โดยมีเซนเซอร์วัดความดันคอยตรวจสอบและส่งค่าไปยังระบบควบคุมเพื่อให้อัตราการไหลต่อหน่วยเวลาตรงตามที่เราต้องการ ซึ่งค่าความดันมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับอัตราการไหล (Q_t) จึงสามารถทำให้อัตราการฉีดพ่นของระบบนี้แม่นยำ โดยแสดงการทำงานของระบบควบคุมได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 6 Flow Chart ของระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบชุดเครื่องพ่นสารเคมี



รูปที่ 7 ส่วนประกอบของชุดเครื่องพ่นสารเคมี

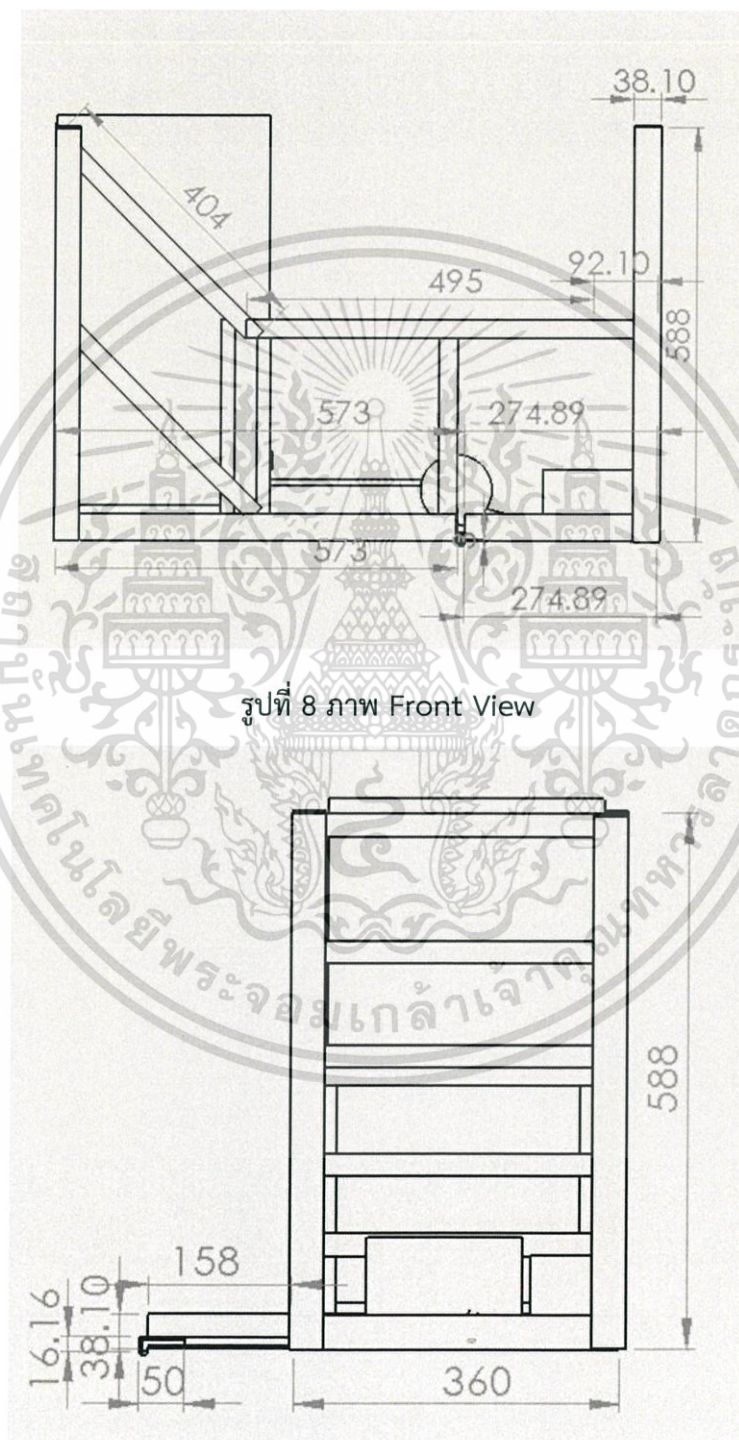
ในการออกแบบชุดเครื่องพ่นสารเคมีประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

- | | |
|---|---|
| 1. ถังบรรจุเคมี (Tank) | ทำหน้าที่ เก็บสารเคมี |
| 2. บอลวาล์ว (ball valve) | ทำหน้าที่ ปิด/เปิดสารเคมีให้เข้าสู่ระบบ |
| 3. ปัมไดอะแฟม (Diaphragm) | ทำหน้าที่ ปัมสารเคมีไปยังหัวฉีด |
| 4. เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Sensor) | ทำหน้าที่ วัดความดันส่งไปยังระบบควบคุม |
| 5. กล่องระบบควบคุม (Control Box) | ทำหน้าที่ จัดเก็บอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของระบบควบคุม |
| 6. หัวฉีด (Nozzle) | ทำหน้าที่ ฉีดพ่นสารเคมีลงสู่พื้นดิน |

ระบบใช้แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ของรถแทรกเตอร์ เพื่อจ่ายไปยังมอเตอร์ไทรฟ์เวอร์ซึ่งจะทำให้ปั๊มทำงาน และเมื่อระบบทำงาน GPS ที่ติดตั้งอยู่ในตำแหน่งหน้ารถแทรกเตอร์ และส่งค่าความเร็วมายังระบบควบคุม

3.4 การออกแบบโครงของเครื่องพ่นสารเคมี

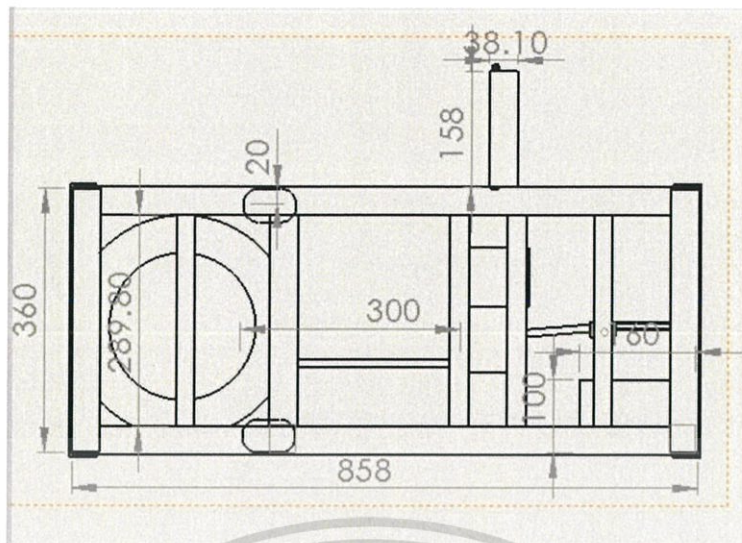
ในการออกแบบโครงของเครื่องเพื่อต่อกับท้ายแทรกเตอร์ ได้มีการวางแผนและออกแบบโดยโปรแกรมออกแบบ 3D ดังต่อไปนี้



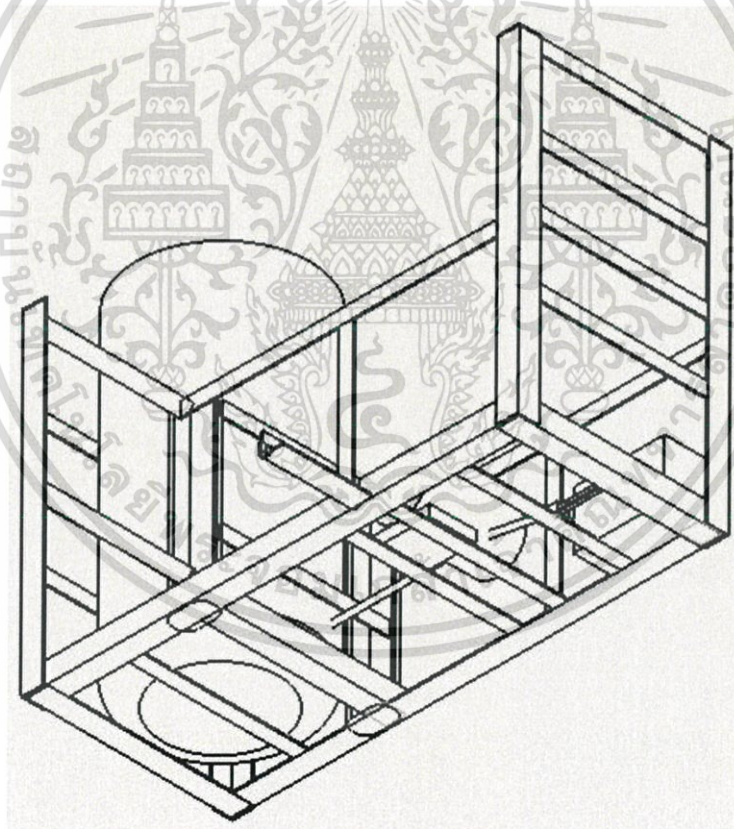
รูปที่ 8 ภาพ Front View

รูปที่ 9 ภาพ Side View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 ภาพ Top View

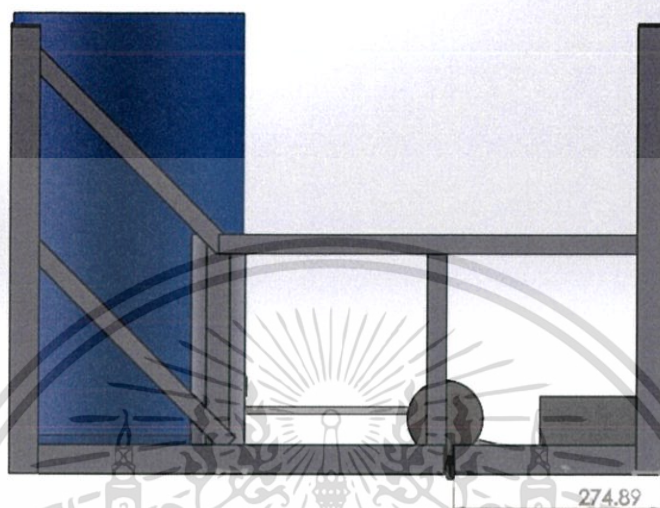


รูปที่ 11 ภาพ Isometric

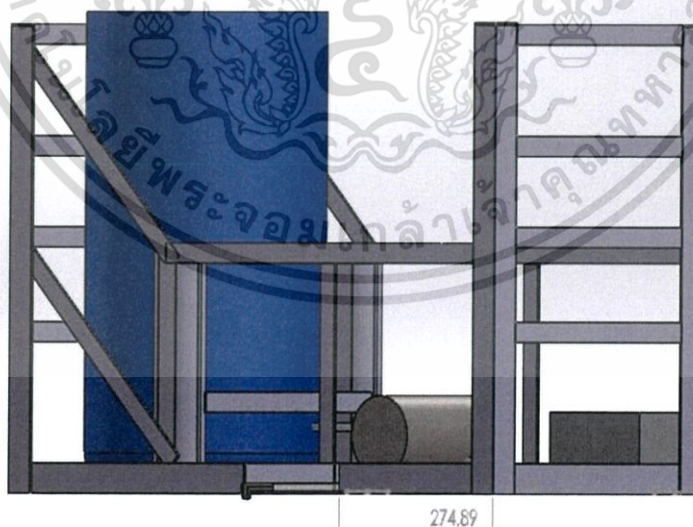
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การสร้างเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

- ภาพแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องพ่นสารเคมี

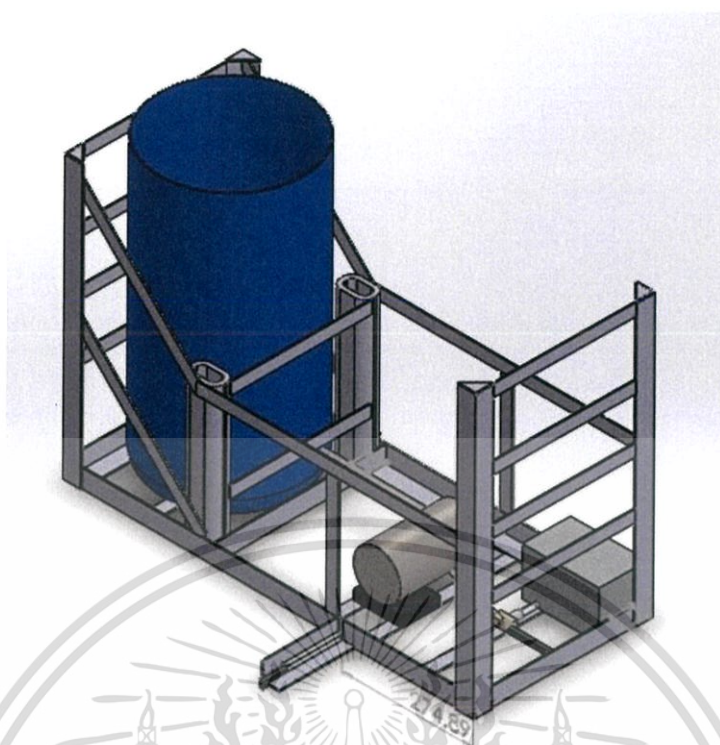


รูปที่ 12 Drawing แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องพ่นสารเคมี 1

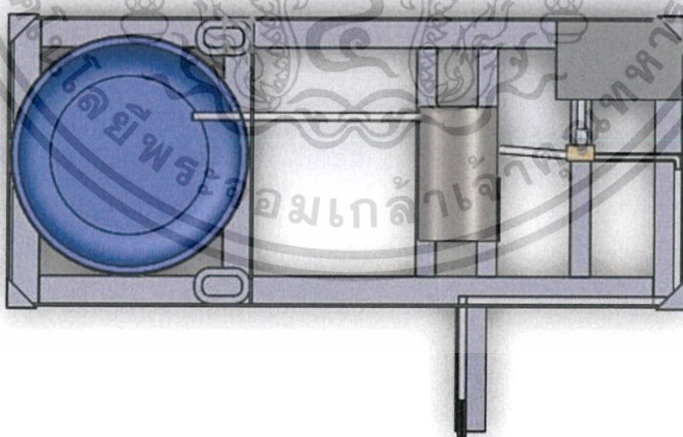


รูปที่ 13 Drawing แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องพ่นสารเคมี 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 Drawing แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องพ่นสารเคมี 3



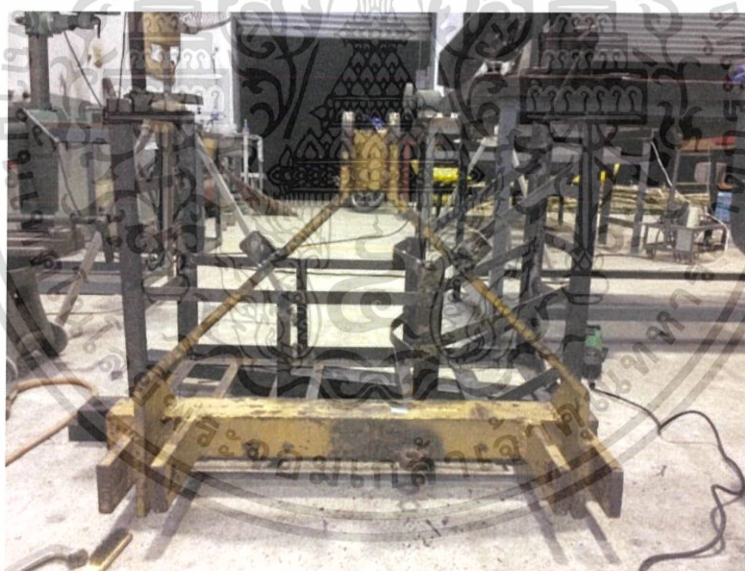
รูปที่ 15 Drawing แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องพ่นสารเคมี 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สร้างและติดตั้งเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตรกับรถแทรกเตอร์



รูปที่ 16 โครงเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตร ด้านหน้า



รูปที่ 17 โครงเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตร ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

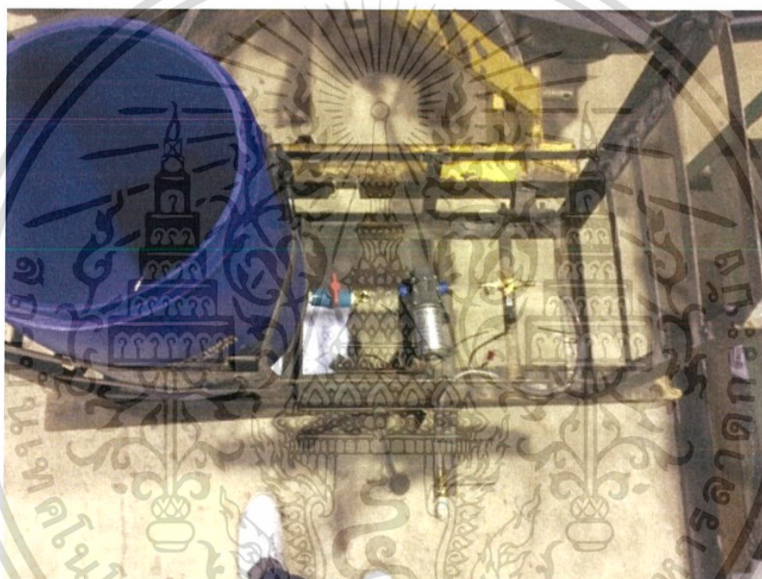


รูปที่ 18 รูปโครงเครื่องพ่นสารเคมีเกษตร ด้านข้าง



รูปที่ 19 โครงเครื่องพ่นสารเคมีเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 การติดตั้งเครื่องกับฟองท้ายแทรกเตอร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการทดสอบ

บทนี้กล่าวถึงการทดสอบความแม่นยำของระบบที่ใช้กับเครื่องฟั่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำ ที่ซึ่งได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาในบทที่ 3 โดยการทดสอบความแม่นยำนั้นมีเป้าหมายเพื่อที่จะควบคุมอัตราการฟั่นสารเคมีที่แปรผันไปตามความสัมพันธ์ของความเร็ว ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการ และภาคสนาม โดยมีหัวข้อและวิธีการทดสอบดังนี้

4.1 การทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ

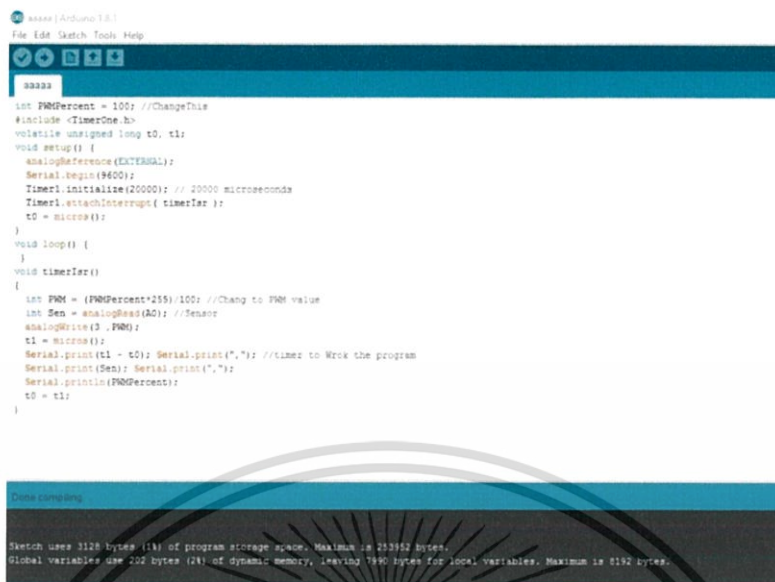
ประกอบด้วย 2 หัวข้อ คือ การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและสัญญาณPWM และการทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลองความเร็ว

4.1.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและสัญญาณ PWM

การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและสัญญาณPWM เป็นการทดสอบหาว่าที่สัญญาณ PWM ในช่วงใดที่มีอัตราการไหลเชิงเวลาและลักษณะการฉีดพ่นตามที่กำหนดไว้ เมื่อได้ค่าอัตราการไหลจากการทดสอบแล้วเราก็จะสามารถบอกได้ว่าช่วงของสัญญาณ PWM ได้ จึงได้ดำเนินการทดสอบดังนี้

- 1) จัดเตรียมอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลอัตราการไหลเชิงเวลา และระบบควบคุม
- 2) เปิดระบบควบคุม ซึ่งจะป้อนสัญญาณ PWM ไปยังระบบควบคุมตั้งแต่ 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% ให้มีการฟั่นสารเคมีลงบนพื้นที่ทดสอบตามสภาวะการทำงานที่กำหนดในแผนการทดลอง
- 3) วัดอัตราการไหลของสารเคมีโดยกระบอกตวงเมื่อระบบควบคุมทำงาน ซึ่งจะทดลองวัดอัตราการไหลที่สัญญาณPWM แต่ละค่าอย่างละ 3 ชั่วโมง พร้อมจับเวลา 10 วินาที
- 4) บันทึกผลการทดสอบ เพื่อนำค่าอัตราการไหลที่ไปเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณของ PWM ที่ป้อนให้กับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

// Arduino IDE
File Edit Sketch Tools Help

a a a a a

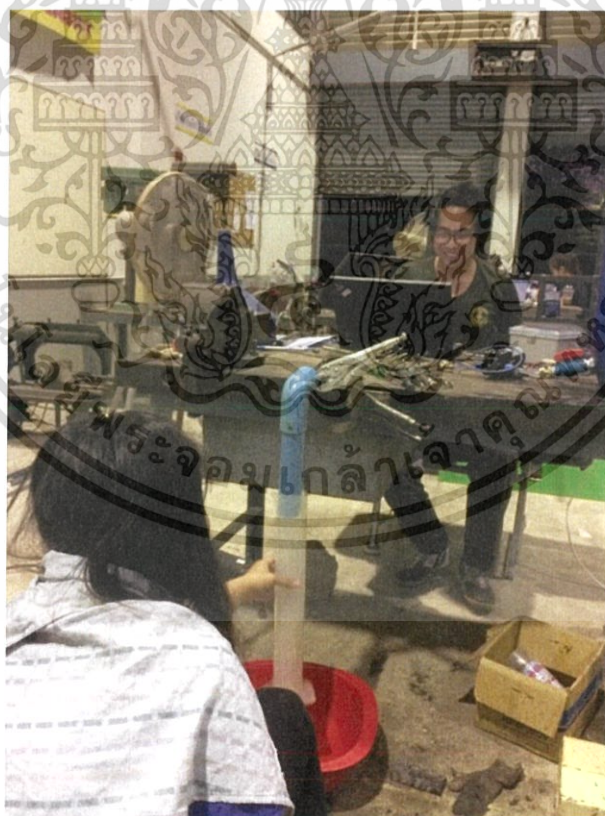
int PWMPercent = 100; //ChangeThis
#include <TimerOne.h>
volatile unsigned long t0, t1;
void setup() {
  analogReference(EXTERNAL);
  Serial.begin(9600);
  Timer1.initialize(20000); // 20000 microseconds
  Timer1.attachInterrupt(timerIsr);
  t0 = micros();
}
void loop() {
}
void timerIsr() {
  int PWM = (PWMPercent*255)/100; //Chang to PWM value
  int Sen = analogRead(A0); //Sensor
  analogWrite(3, PWM);
  t1 = micros();
  Serial.print(t1 - t0); Serial.print(","); //times to Wick the program
  Serial.print(Sen); Serial.print(",");
  Serial.println(PWMPercent);
  t0 = t1;
}

```

Done compiling.

Sketch uses 3128 bytes (14% of program storage space. Maximum is 25392 bytes.
Global variables use 202 bytes (2% of dynamic memory, leaving 1998 bytes for local variables. Maximum is 8192 bytes.

รูปที่ 21 ตัวอย่างคำสั่งที่ใช้ป้อนสัญญาณ PWM



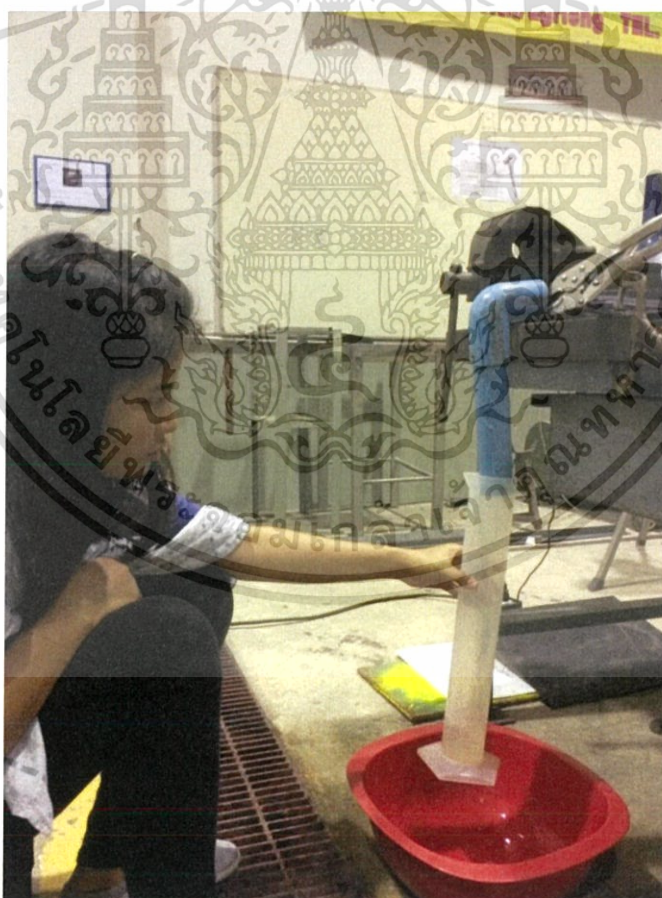
รูปที่ 22 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและสัญญาณPWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลองความเร็วในห้องปฏิบัติการ

เป็นการทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลองความเร็วโดยใช้วิธีการป้อนค่าความเร็วที่ได้จากการคำนวณของการทดสอบ 4.1.1 เพื่อจำลองค่าความเร็วที่จะส่งไปยังระบบควบคุมและเราจะสามารถหาความสัมพันธ์ของความเร็วกับอัตราการไหลเชิงเวลาได้ อีกทั้งยังได้อัตราการไหลเชิงพื้นที่และหน้ากว้างในการทำงานตามที่กำหนดไว้

- 1) จัดเตรียมอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลอัตราการไหลเชิงเวลา และระบบควบคุม
- 2) เปิดระบบควบคุม ป้อนค่าความเร็วที่ได้จากการคำนวณ เพื่อดูพฤติกรรมของค่าที่อ่านได้จากการทำงานของระบบควบคุม ตามช่วงเวลาที่วางแผนไว้
- 3) วัดอัตราการไหลเชิงเวลาที่ได้จากการทดสอบในช่วงต่างๆ ที่เราได้ป้อนค่าความเร็วลงในระบบควบคุม โดยกระบอกตวง พร้อมจับเวลา 10 วินาที
- 4) บันทึกผลการทดสอบ เพื่อนำค่าอัตราการไหลที่ไปคำนวณหาช่วงความเร็วที่เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องพ่นสารเคมีในทางทฤษฎี



รูปที่ 23 การทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลองความเร็วในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบภาคสนาม

การทดสอบเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรนอกห้องปฏิบัติการเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำงานของเครื่องพ่นสารเคมีในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ เมื่อเครื่องพ่นสารเคมีทำงานบนพื้นที่ทดสอบ โดยใช้ความเร็วที่สภาวะในการทำงานจริง ซึ่งทดสอบให้ครอบคลุมทั้งความเร็วจาก GPS และอัตราการไหลที่ต้องใช้ โดยมี 2 หัวข้อในการทดสอบคือ การทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง และการทดสอบการทำงานของระบบดังต่อไปนี้

4.2.1 การทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง

การทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริงเป็นการทดสอบหาความเร็วที่ GPS วัดค่าได้ที่ติดกับรถแทรกเตอร์ ขณะที่รถแทรกเตอร์วิ่งบนพื้นที่ทดสอบ เปรียบเทียบกับความเร็วจริงของรถแทรกเตอร์ มีวิธีการทดสอบ ดังนี้

- 1) ติดตั้ง GPS บนรถแทรกเตอร์และจัดเตรียมระบบควบคุม
- 2) ทำการทดสอบโดยให้รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงบนพื้นที่ทดสอบตามที่กำหนดไว้ (30 เมตร) พร้อมจับเวลา ทดสอบที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 3 ระดับ ซึ่งจะทำให้การทดสอบทั้งหมด 5 ชั่วโมง
- 3) บันทึกผลการทดลอง นำค่าความเร็วที่วัดได้จาก GPS มาวิเคราะห์ทางสถิติ และนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วจริง เพื่อแสดงให้เห็นว่าความเร็วที่ GPS แสดงค่าได้กับความเร็วที่รถแทรกเตอร์ใช้ในการเคลื่อนที่สามารถแสดงค่าออกมาได้ตรงกันในสภาวะการทำงานจริง



รูปที่ 24 การทดสอบภาคสนามหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบการทำงานของระบบเป็นการทดสอบการทำงานจริงของเครื่องพ่นสารเคมีเกษตร เพื่อหาอัตราการไหลเชิงพื้นที่ในการทำงานจริงที่มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลเชิงเวลา ความเร็ว และหน้ากว้างในการทำงานของเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรที่สามารถควบคุมด้วยระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้และทำงานอย่างแม่นยำ โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

- 1) ติดตั้งเครื่องพ่นสารเคมีและระบบควบคุมบนรถแทรกเตอร์ เตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บรวบรวมสารเคมี
- 2) เปิดระบบควบคุม ทดสอบที่ความเร็วของรถแทรกเตอร์คงที่ โดยให้แทรกเตอร์วิ่งไปบนพื้นที่ทดสอบ(เป็นระยะทาง 50 เมตร) โดยครอบคลุมทั้งอัตราการไหล ความดัน และความเร็วของรถแทรกเตอร์ เมื่อรถวิ่ง ระบบจะทำงาน ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ ทำการเก็บสารตัวอย่างตลอดการทำงานของเครื่องพ่นยา
- 3) บันทึกผลการทดลอง นำปริมาตรที่วัดได้จากการทดสอบจริงไปหาอัตราการพ่นสารเคมี หลังการทดสอบ เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยของอัตราการพ่นสารเคมีที่เครื่องพ่นออกมาจริง เพื่อไปเปรียบเทียบกับปริมาณที่ต้องการพ่นออกมา เปรียบเทียบความผิดพลาดระหว่างอัตราการไหลเชิงพื้นที่ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ
- 4) นำค่าจากการบันทึกผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ และปรับปรุงระบบควบคุมให้สามารถควบคุมเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรได้อย่างแม่นยำตามความต้องการและตรงตามข้อกำหนดของผู้ออกแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 25 การทดสอบการทำงานของระบบ 1
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 26 การทดสอบการทำงานของระบบ 2



รูปที่ 27 การทดสอบการทำงานของระบบ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

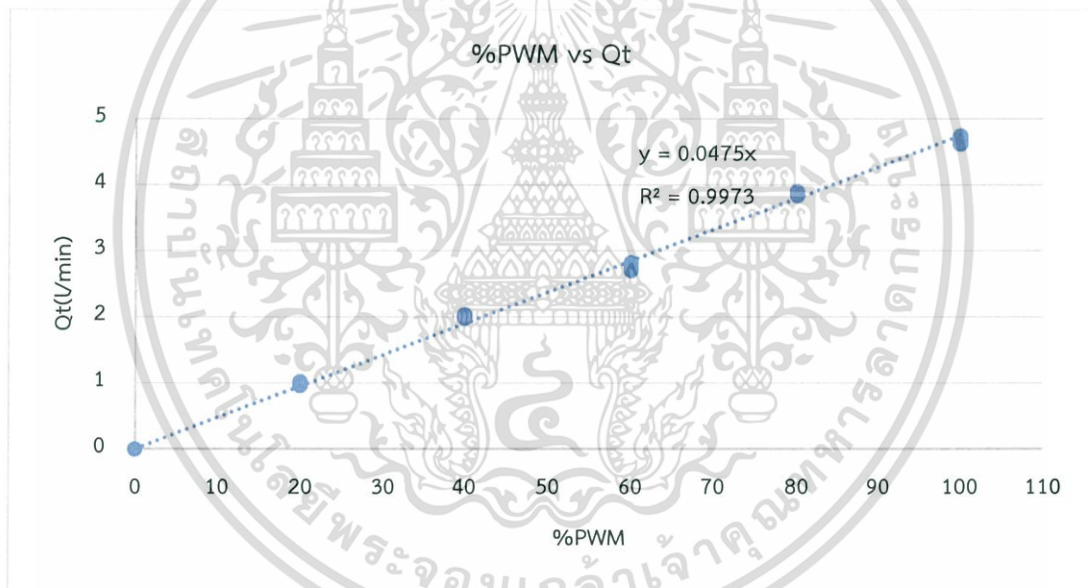
บทที่ 5

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

5.1 ผลการทดสอบเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรภายในห้องปฏิบัติการ

5.1.1 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและสัญญาณ PWM

จากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและสัญญาณ PWM โดยใช้ค่าสัญญาณ PWM 100%, 80%, 60%, 40% และ 20% ได้อัตราการไหลเชิงเวลา 4.68, 3.88, 2.76, 2.02 และ 0.98 L/min ตามลำดับ (ภาคผนวกตารางที่ ค.1.2) โดยกราฟแสดงให้เห็นว่า มีความสัมพันธ์กันเป็นสมการเส้นตรงและมีค่า R^2 ที่สูง ค่าความสัมพันธ์นี้ถือว่าสามารถนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของ Motor driver เพื่อให้ระบบทำงานอย่างแม่นยำ



รูปที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและสัญญาณPWM

5.1.2 ผลการทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลองความเร็วในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลองความเร็วในห้องปฏิบัติการทำได้โดยป้อนค่าความเร็วที่ได้จากการคำนวณของสมการ ($Q_t = Q_A \cdot v \cdot W$) ซึ่งจะได้อัตราการไหลเชิงเวลาจากการทดลองที่ 5.1.2 จึงทำให้เราได้อัตราการไหลเชิงเวลาในช่วงความเร็วที่สัมพันธ์กันกับการทดสอบทั้ง 2 ข้อที่ผ่านมา เมื่อป้อนค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ 59.2, 68.53, 77.33, 92.53, 109.33, 118.13 และ 123.20 m/min จะได้อัตราการไหลเชิงเวลา 370, 428.33, 483.33, 578.33, 683.33, 738.33 และ 770.00 ml/10s ตามลำดับ (ภาคผนวกตารางที่ ค.1.3) ซึ่งเมื่อนำค่าอัตราการไหลเชิงเวลาในการทดลองที่ 5.1.2 และอัตราการไหลเชิงเวลาจากการทดลองจำลองความเร็ว จากการสังเกตกราฟมีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการเส้นตรง โดยมีค่า R^2 ที่เข้าใกล้ 1 มาก

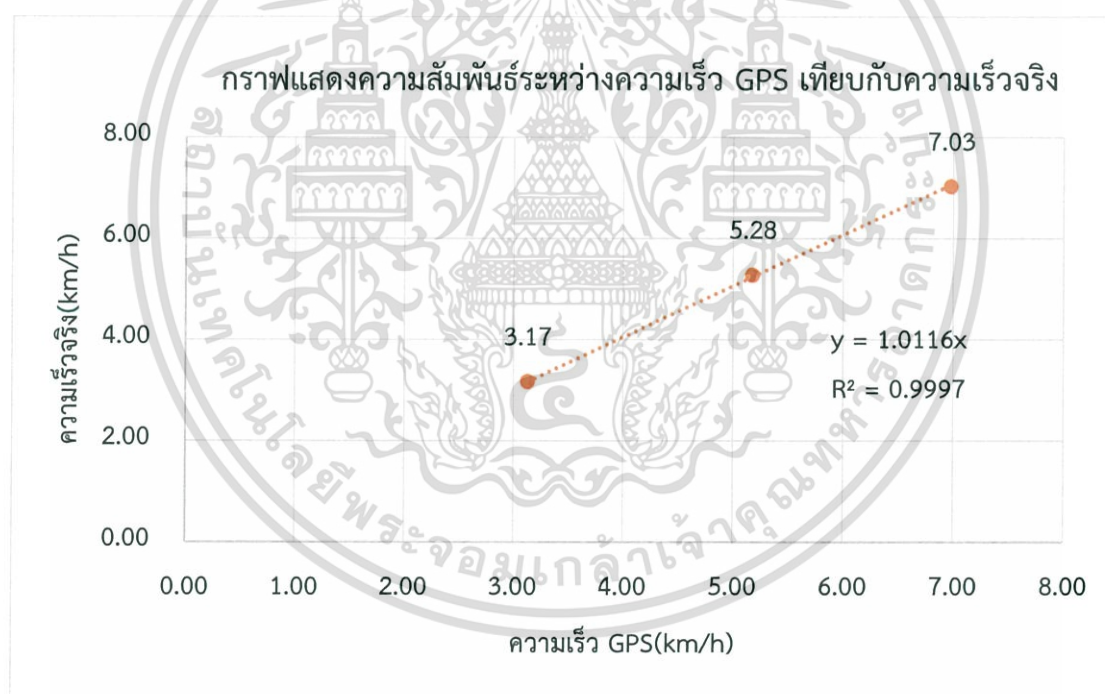


รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q_t จากการทดลองกับ Q_t จากความเร็ว

5.2 ผลการทดสอบเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรภาคสนาม

5.2.1 ผลการทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง

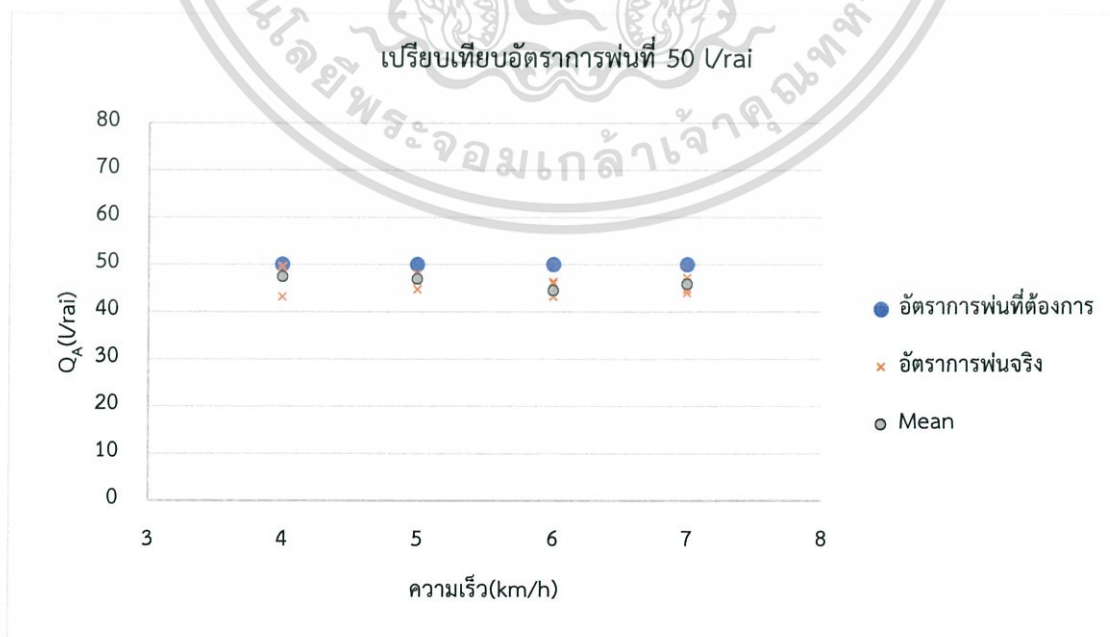
ในการทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริงเป็นการทดสอบโดยให้รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง 50 เมตร ซึ่งในการเคลื่อนที่นั้นเราได้ใช้ความเร็วที่แตกต่างกัน ซึ่งความเร็วที่เหมาะสมในการทำงานจะอยู่ที่ gear 2-3 โดยการทดลองจะทดลองที่ gear 2 , gear 3 ที่ความเร็วคงที่ และ gear 3 ที่ความเร็วค่อยๆเพิ่มขึ้น จะได้ผลการทดลองดังนี้ ความเร็วจาก GPS เฉลี่ย ได้ 3.13, 5.18 และ 6.98 km/h และความเร็วจริง เฉลี่ย ได้ 3.17, 5.28 และ 7.03 km/h (ภาคผนวกตารางที่ ค.1.4) เมื่อนำความเร็วจาก GPS มาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเร็วจริง ได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง ซึ่งถือว่าความเร็วที่ได้จาก GPS มีความแม่นยำในระดับดีมาก จึงสามารถนำมาใช้ในการควบคุมของระบบควบคุมได้



รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว GPS เทียบกับความเร็วจริง

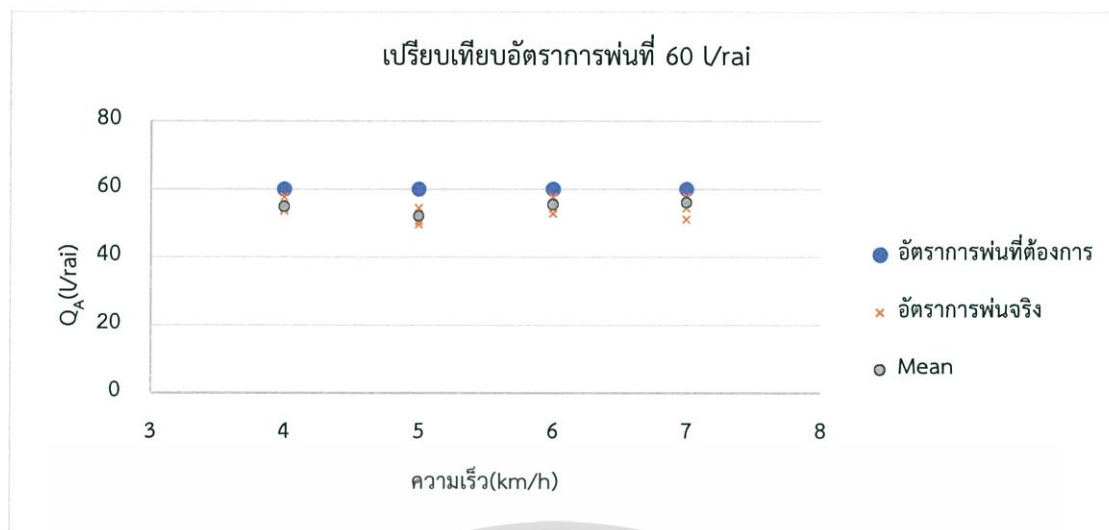
5.2.2 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

จากการทดสอบการทำงานของระบบโดยการวัดปริมาณสารเคมีที่เครื่องพ่นสารเคมีได้ฉีดพ่นออกมาบนพื้นที่ทดสอบ เป้าหมายในการทดสอบระบบนี้คือ เมื่อวัดปริมาณของสารเคมีแล้วนำมาคำนวณอัตราการพ่นเชิงพื้นที่ (Q_A) ที่อัตราการไหลเชิงพื้นที่ 50, 60, 70 ลิตร/ไร่ ตามข้อกำหนดในการออกแบบเครื่อง ทดสอบที่ 4 - 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งการทำงานของระบบสามารถบอกได้จากการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการพ่นจริงและอัตราการพ่นที่ต้องการ(ตารางที่ ค.1.5,ค.1.6,ค.1.7,ค.1.8) โดยอัตราการพ่นเชิงพื้นที่ 50 ลิตร/ไร่ ที่ความเร็ว 4 5 6 และ 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้อัตราการพ่นเชิงพื้นที่จริง 47.47, 46.93, 44.51 และ 45.87 ลิตร/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย -3.81 ลิตร/ไร่ และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.54 ที่อัตราการพ่นเชิงพื้นที่ 60 ลิตร/ไร่ ที่ความเร็ว 4 5 6 และ 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้อัตราการพ่นเชิงพื้นที่จริง 54.80, 52.03, 55.47 และ 56.00 ลิตร/ไร่ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย -5.43 ลิตร/ไร่ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.94 และที่อัตราการพ่นเชิงพื้นที่ 70 ลิตร/ไร่ ที่ความเร็ว 4 5 และ 6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าอัตราการพ่นเชิงพื้นที่ได้แก่ 63.49, 67.20 และ 67.2 ลิตร/ไร่ ตามลำดับ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย -4.04 ลิตร/ไร่ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.18 ซึ่งที่ความเร็ว 7 กิโลเมตร/ชั่วโมงไม่สามารถบันทึกค่าได้ เนื่องจากความต้องการของอัตราการพ่นสูง และจะต้องใช้ความเร็วที่สูง เป็นผลให้การส่งค่าสัญญาณ PWM เกินขีดจำกัดที่จะส่งไปยัง motor driver. ให้ปัมทำงาน จึงทำให้ไม่มีอัตราการพ่นเชิงพื้นที่และเชิงเวลาที่มีความเร็วนี้ กล่าวคือ ความเร็วที่ 7 กิโลเมตร/ชั่วโมงไม่สามารถทำการทดสอบได้ แสดงผลการทดสอบดังกราฟข้างล่างนี้



รูปที่ 31 กราฟเปรียบเทียบอัตราการพ่นที่ 50 Urai

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

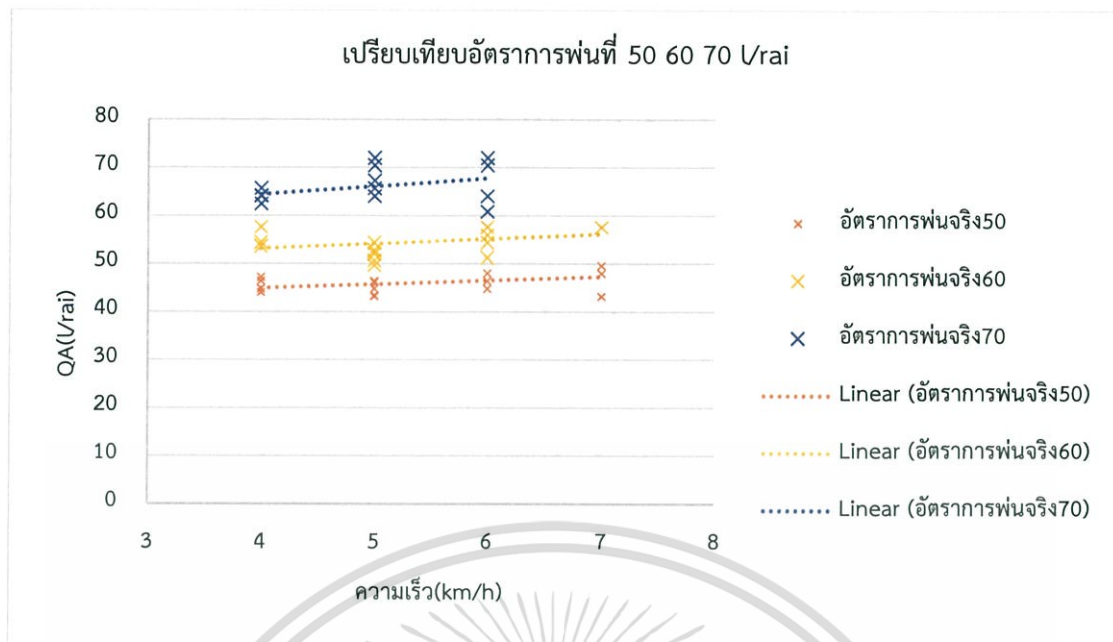


รูปที่ 32 กราฟเปรียบเทียบอัตราการพ่นที่ 60 Urai



รูปที่ 33 กราฟเปรียบเทียบอัตราการพ่นที่ 70 Urai

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



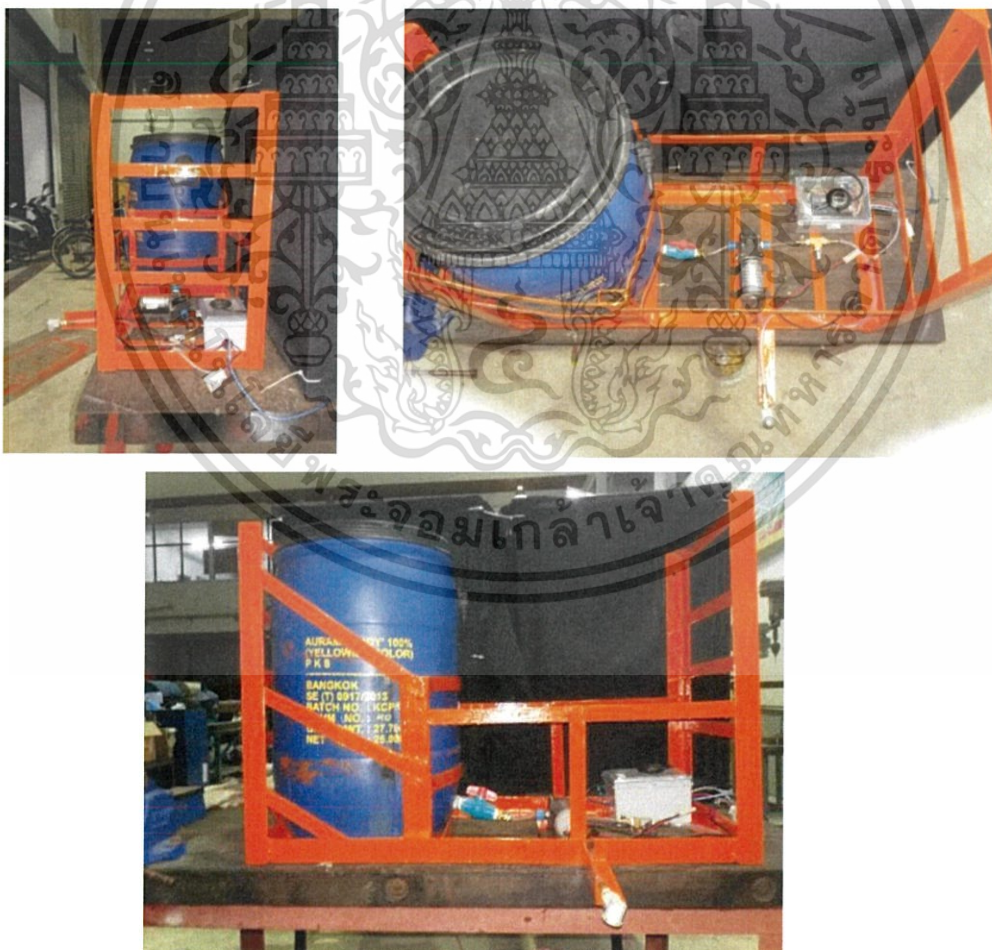
รูปที่ 34 กราฟเปรียบเทียบอัตราการพ่นเชิงพื้นที่ระหว่าง 50,60 และ 70 ลิตรต่อไร่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 การสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำนั้น ได้สร้างจำลองจากเครื่องที่เกษตรกรใช้อยู่ทั่วไป โดยขนาดของเครื่องคือ 85.5 X 36.0 เซนติเมตร และมีอุปกรณ์ที่ใช้กับเครื่อง ได้แก่ ปั๊มไดอะแฟรมขนาด DC12V, 60 KW, Pressure 0.8 Mpa, Flow (max) 5 L/min ซึ่งปั๊มไดอะแฟรมนี้จะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างจากปั๊มที่ใช้ในระบบเดิม (ภาคผนวก) คือจะให้ค่าความดันสม่ำเสมอต่ำกว่าระบบเดิม แต่อย่างไรก็ตามเราได้ใช้ฟังก์ชัน Smooth v0.2 ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ทำให้ค่าที่เซนเซอร์อ่านได้จากการทำงานของปั๊มมีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยจะส่งผลให้ทำงานของระบบแม่นยำขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 35 เครื่องต้นแบบของเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 สรุปผลการทดสอบ

ผลการศึกษาจากการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น ศึกษาอัตราการพ่นของสารเคมีที่ 50 60 และ 70 ลิตร/ไร่ ทดสอบที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแทรกเตอร์ที่ 4 5 6 และ 7 กิโลเมตร/ชั่วโมง แสดงให้เห็นการทำงานของระบบที่แม่นยำจากการวัดค่าความเร็วจาก GPS การวัดค่าของเซนเซอร์วัดความดันและระบบที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกัน และสามารถปรับอัตราการพ่นของหัวฉีดได้ แต่อย่างไรก็ตามอัตราการพ่นเชิงพื้นที่ยังเกิดความคลาดเคลื่อนอยู่โดยที่ อัตราการพ่นเชิงพื้นที่ 50 ลิตร/ไร่ มีความคลาดเคลื่อน -7.67 ลิตร/ไร่ ที่อัตรา 60 ลิตร/ไร่ มีความคลาดเคลื่อน -6.60 ลิตร/ไร่ และที่ อัตราการพ่นเชิงพื้นที่ 70 ลิตร/ไร่ มีความคลาดเคลื่อน -8.31 ลิตร/ไร่ จากการวิเคราะห์สาเหตุของความคลาดเคลื่อนสามารถเกิดได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและการวิเคราะห์ได้ถึงการควรใช้ปั๊มขนาดใหญ่และกำลังในการทำงานมากขึ้น เพื่อที่จะได้อัตราการพ่นที่มากขึ้น และใช้ช่วงความเร็วการทำงานได้สูงขึ้น และควรเพิ่มจำนวนหัวฉีดในการทดสอบ เพื่อรักษาหน้ากว้างในการทำงานอีกทั้งยังสามารถจะทำการทดสอบในหัวข้อการกระจายตัวของสารเคมี

เอกสารอ้างอิง

- A. I. Bugaje¹, A. Z. Loko², A. U. Ismail³, Anugwom Samuel. 2015. Design and Implementation of an Unmanned Ground Vehicle for Fumigation Purpose. International Journal of Engineering Trends and Technology, 440-443
- ArduinoBoard Uno. (n.d.). 28 สิงหาคม 2559,
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- GPS ไกลตัว นำมาใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง. (2011). 28 สิงหาคม 2559,
<http://www.global5thailand.com/thai/gps.htm>
- Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3. (n.d.). 29 สิงหาคม 2559,
www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/บทความ-arduino-คืออะไร-เริ่มต้นใช้งาน-arduino.html
- Manas Gupta, Ankit Rathj, Prof. Ashish Goel. 2015. Semi-Automatic Pesticide Sprayer. Aduaced Research Publications, 2(1), 1-8
- MARK PETOVELLO. (n.d.). How does a GNSS receiver estimate velocity? Retrieved 13 September 2016. <http://www.insidegnss.com/node/4433>
- R. Gonzalez, A. Pawlowski, C. Rodriguez, J. L. Guzman and J. Sanchez-Hermosilla. 2012. Design and implementation of an automatic pressure-control system for a mobile sprayer for greenhouse applications. Spanish Journal of Agricultural Research, 10(4), 939-949
- What is Arduino?. (n.d.). 28 สิงหาคม 2559,
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> 27/8/2559
- ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ GPS. (n.d.). 28 สิงหาคม 2559, <http://www.it24hrs.com/2011/about-gps/>
- ปวรปรัชญ์ พรหมอ่อน, พีรพัฒน์ สมชื่น, อรุณรุ่ง เอื้อชัยสิทธิ์. 2558. การปรับปรุงเครื่องหยอดสารเคมีแบบแม่นยำควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. ปรินญาณิพนธ์การศึกษามหบัณฑิตศึกษา. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

สรณิต สมบูรณ์าวิน, สายรุ้ง กิตติวิเศษกุล, สุธาธิณี วงษ์นิยม 2556. เครื่องหยอดสารเคมีแบบ
แม่นยำด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. ปริญญาโทการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา. สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559, ตอนที่1พืชอาหาร,วารสารสถิติการเกษตรของประเทศไทย,
สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2558, 2-32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

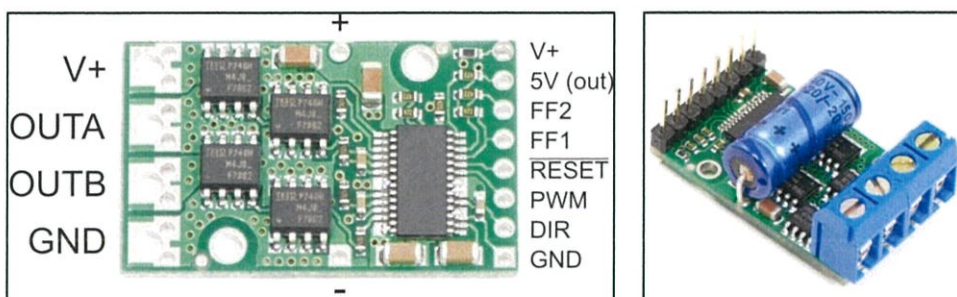


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Pololu High-Power Motor Driver 18v15



รูปที่ 36 รูปตัวอย่างมอเตอร์ไดเวอร์ (Motor Driver)

รายละเอียด

Dimensions

Size: 1.3" x 0.8"

General specifications

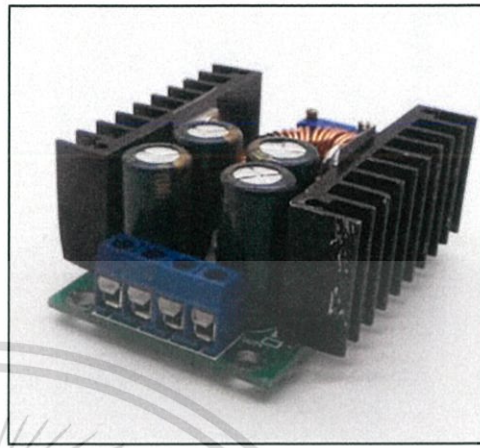
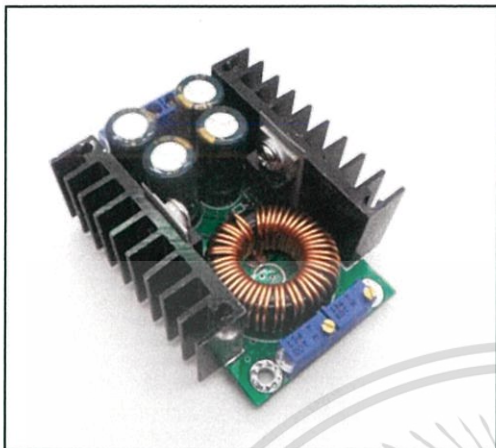
- Motor driver: IRF7862PbF MOSFETs
- Motor channels: 1
- Minimum operating voltage: 5.5 V
- Maximum operating voltage: 30 V
- Continuous output current per channel: 15 A₁
- Peak output current per channel: 170 A₂
- Maximum PWM frequency: 40 kHz
- MOSFET on-resistance (per leg): 3.7 m Ω
- Reverse voltage protection: N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN	Default State	Description
V+		This is the main 5.5 – 30 V motor power supply connection, which should typically be made to the larger V+ pad. The smaller V+ pads along the long side of the board are for power supply capacitors. The small V+ pad on the
5V (out)		This regulated 5V output provides a few milliamps. It can be shorted to VCS to power the current sensor. This output should not be connected to other external power supply lines.
VCS		Connect 5 V to this pin to power the current sensor.
GND		Ground connection for logic and motor power supplies.
CS		ACS714 current sensor output (66 mV/A centered at 2.5 V).
OUTA		A motor output pin.
OUTB		B motor output pin.
PWMH	LOW	Pulse width modulation input: a PWM signal on this pin corresponds to a PWM output on the motor outputs.
PWML	HIGH	Control input that enables coasting when both PWML and PWMH are low. See the “motor control options” section below for more information.
DIR	LOW	Direction input: when DIR is high current will flow from OUTA to OUTB, when it is low current will flow from OUTB to OUTA.
RESET	HIGH	The reset pin, when pulled low, puts the board into a low-power sleep mode and clears any latched fault flags.
FF1	LOW	Fault flag 1 indicator: FF1 goes high when certain faults have occurred. See table below for details.
FF2	LOW	Fault flag 2 indicator: FF2 goes high when certain faults have occurred. See table below for details.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) DC Converter 7-32V to 0.8-28V output Voltage booster module
(สำหรับอุปกรณ์ 12Aทุกชนิด)



รูปที่ 37 รูปตัวอย่าง DC Converter

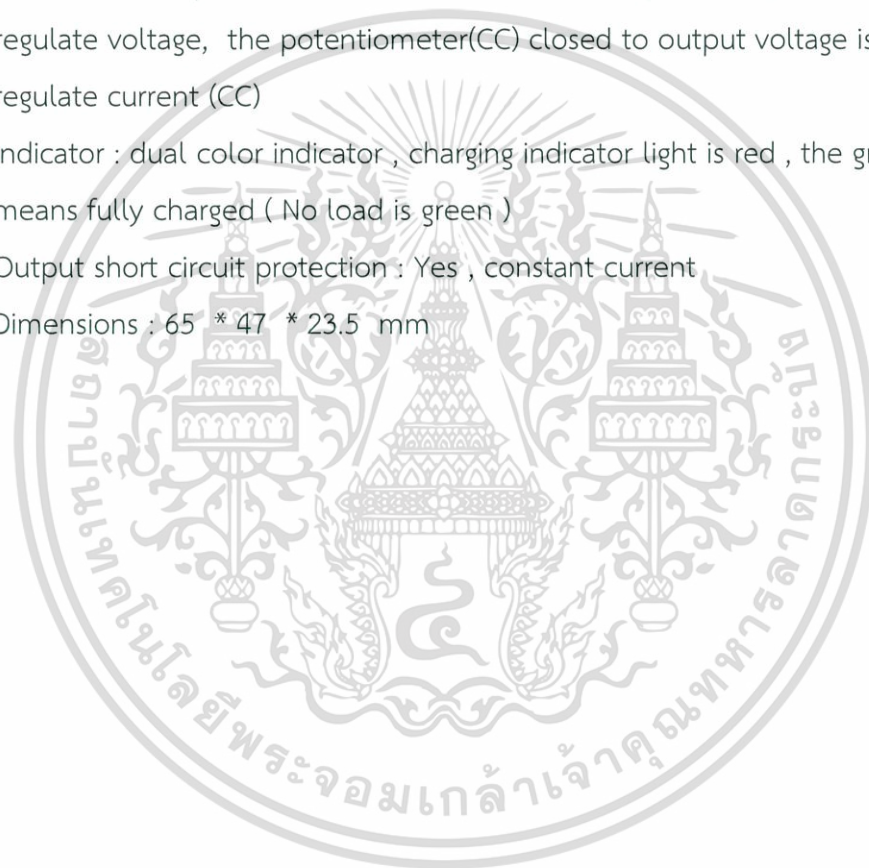
รายละเอียด

Module parameters:

- Module Properties: non-isolated step-down constant current , constant voltage module (CC CV) charging module
- Input voltage : 7-40V
- Output voltage :1.2-35V continuously adjustable
- Output Current: 8A (when power tube's temperature exceeds 65 degrees, please add cooling fan)
- Constant current range :0.2-12A (adjustable)
- Turn lamp current : constant current value * (0.1) , turn the lamp current and constant value linkage, such as constant current value is 3A, turn the lamp current is set to a constant current is 0.1 times ($0.1 * 3A = 0.3A$).
- Lowest pressure : 1V
- Output Power: Maximum power is about 300W
- Conversion efficiency : up to about 95%
- Operating frequency : 300KHZ
- Output ripple : 20M bandwidth
- Input 24V Output 12V 5A ripple around 50mV (excluding noise)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Operating temperature : Industrial grade (-40 °C to +85 °C) (please note the actual use of the power tube temperature , high temperature heat strengthened please)
- No-load current : Typical 20mA (24V switch 12V)
- Load regulation : $\pm 1\%$ (constant)
- Voltage regulation : $\pm 1\%$
- Dynamic response speed : 5% 200uS
- Potentiometer adjustment direction: clockwise (increase), counterclockwise (decrease). the potentiometer(CV) closed to the input voltage is used to regulate voltage, the potentiometer(CC) closed to output voltage is used to regulate current (CC)
- Indicator : dual color indicator , charging indicator light is red , the green light means fully charged (No load is green)
- Output short circuit protection : Yes , constant current
- Dimensions : 65 * 47 * 23.5 mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

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

int address = 0;
byte value;
TinyGPSPlus gps;
File dataFile;
// 50 (MISO)  51 (MOSI)  52 (SCK)  53 (CS)

#include <TimerOne.h>
volatile unsigned long t0, t1, t2;
volatile int    Sen,i,hrr,minn;    // Sensor
volatile float Velo;    // Velocity
volatile float Qt1,Qt2;    // Qt1 Calculate    Qt Actually
volatile float filterVal = 0.99;    // smoothness
volatile float smoothedSen;    // this holds the last
                                // loop value just use a unique variable for
                                // every different sensor that needs smoothing
volatile float PWM1;
char Header[5];

void setup() {
    analogReference(EXTERNAL);
    pinMode(2,INPUT_PULLUP); //recSW
    Serial.begin(115200);
    Serial3.begin(115200);

    while (!Serial) {
        ; // wait for serial port to connect. Needed for
          native USB port only
    }

    Serial.println("Initializing SD card...");
    if (!SD.begin(53)) {
        Serial.println("Fail##");
        // don't do anything more:
    }
    Serial.println("OK!!");

    Timer1.initialize(20000); // 20000 microsec 50Hz
    Timer1.attachInterrupt( timerIsr ); // attach
}

bool recFlag

void loop() {
    fileCtrl();
    if (Serial3.available())

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    gps.encode(Serial3.read());
    if (gps.time.isUpdated()){
    Velo = gps.speed.kmph(); // Convert from m/s to m/min
    hrr = gps.time.hour();
    minn = gps.time.minute();
    }
    Sen = analogRead(A0); //Sensor
}

void timerIsr() {
    t0 = micros();
    PWM1 = 22.527*pow(Velo,1.0736);
    analogWrite(3 , PWM1); //PWM
    smoothedSen = Sen*(1 - filterVal) +
        smoothedSen*filterVal; //Smoothed Sensor
    i++;
    if(i==5){
        dataFile.println(String(micros()-t0) + "," +
            String(PWM1) + "," + String(smoothedSen) +
            "," + String(Velo)); //RecSD
        i=0;
    }
}

void fileCtrl(){
    if (!digitalRead(2)==1 && recFlag==0){
        recFlag = 1;
        byte fileNo = EEPROM.read(0);
        EEPROM.write(0,++fileNo);
        char fileName[8];
        sprintf(fileName,"%d.txt",fileNo);
        dataFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
        Serial.print("Recording ... ");
        Serial.println(fileName);
        dataFile.println(String(hrr) + ":" + String(minn));
    }
    if (!digitalRead(2)==0 && recFlag==1){
        recFlag = 0;
        dataFile.close();
        Serial.println("File Closed");
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลจากการทดสอบ

ค.1 ผลการทดสอบเครื่องฟ่นสารเคมีเกษตรภายในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ ค.1.1 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและความดัน

ความดัน (bar)	อัตราการไหล (mL/s)			อัตราการไหลเฉลี่ย (mL/s)	อัตราการไหลเฉลี่ย (L/s)	อัตราการไหลเฉลี่ย (L/min)
1	55	54.5	57.3	55.6	0.0556	3.336
2	81.7	79	80.5	80.4	0.0804	4.824
3	96	95.5	96	95.83333333	0.095833333	5.75
4	108	110.2	114	110.7333333	0.110733333	6.644
5	121	126.5	123	123.5	0.1235	7.41

ตารางที่ ค.1.2 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงเวลาและสัญญาณPWM

%PWM	PWM	Q(mL/10s)	Q(L/min)	Q เฉลี่ย
100	255	790	4.74	4.68
100	255	770	4.62	
100	255	780	4.68	
80	204	650	3.9	3.88
80	204	650	3.9	
80	204	640	3.84	
60	153	450	2.7	2.76
60	153	460	2.76	
60	153	470	2.82	
40	102	340	2.04	2.02
40	102	340	2.04	
40	102	330	1.98	
20	51	160	0.96	0.98
20	51	170	1.02	
20	51	160	0.96	
0	0	0	0	0
0	0	0	0	
0	0	0	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1.3 ผลการทดสอบระบบควบคุมโดยการจำลองความเร็วในห้องปฏิบัติการ

ความเร็ว (m/min)	Qt จากความเร็ว (mL/10s)			Qt จากความเร็ว (mL/10s) เฉลี่ย	Qt จากการทดลอง (mL/10s)
59.2	360	370	370	366.6666667	370
68.53333333	430	430	430	430	428.3333333
77.33333333	470	480	450	466.6666667	483.3333333
92.53333333	570	560	550	560	578.3333333
109.3333333	710	720	700	710	683.3333333
118.1333333	760	760	760	760	738.3333333
123.2	780	770	790	780	770

ตารางที่ ค.1.4 ผลการทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง

ความเร็ว GPS เฉลี่ย (km/hr.)	ความเร็วจริงเฉลี่ย (km/hr.)
3.13	3.17
5.18	5.28
6.98	7.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1.5 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ : อัตราการพ่นเชิงพื้นที่ 50 ลิตรต่อไร่

ความเร็ว (km/h)	QA(L/rai)	Error (L/rai)	S.D. (L/rai)
4	48		
	48		
	49.6		
	43.2		
	48		
	48		
เฉลี่ย	47.5	-2.53	2.19
5	48		
	46.4		
	48		
	48		
	46.4		
	44.8		
เฉลี่ย	46.9	-3.07	1.31
6	46.08		
	44.8		
	46.4		
	43.2		
	43.2		
	43.36		
เฉลี่ย	44.5	-5.49	1.47
7km/h	46.4		
	44.8		
	44		
	47.2		
	46.4		
	46.4		
เฉลี่ย	45.9	-4.13	1.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1.6 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ : อัตราการพ่นเชิงพื้นที่ 60 ลิตรต่อไร่

ความเร็ว(km/h)	QA(l/rai)	Error (l/rai)	S.D. (l/rai)
4	54.4		
	54.4		
	57.6		
	53.6		
	54.4		
	54.4		
เฉลี่ย	54.8	-5.20	1.41
5	54.4		
	52.8		
	52.8		
	50.56		
	49.6		
	52		
เฉลี่ย	52.0	-7.97	1.72
6	54.4		
	52.8		
	54.4		
	57.6		
	56		
	57.6		
เฉลี่ย	55.5	-4.53	1.94
7	51.2		
	54.4		
	57.6		
	57.6		
	57.6		
	57.6		
เฉลี่ย	56.0	-4.00	2.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1.7 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ : อัตราการพ่นเชิงพื้นที่ 70 ลิตรต่อไร่

ความเร็ว(km/h)	QA(l/rai)	Error (l/rai)	S.D. (l/rai)
4	62.4		
	62.4		
	65.6		
	64.16		
	62.4		
	64		
เฉลี่ย	63.5	-6.51	1.32
5	64		
	70.4		
	72		
	64		
	67.2		
	65.6		
เฉลี่ย	67.2	-2.8	3.36
6	72		
	64		
	72		
	64		
	60.8		
	70.4		
เฉลี่ย	67.2	-2.8	4.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1.8 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ : ตารางสรุป

50l/rai			
ความเร็ว (km/h)	ค่าเฉลี่ย l/rai)	Error (l/rai)	S.D. (l/rai)
4km/h	47.46667	-2.53	2.19
5km/h	46.93333	-3.07	1.31
6km/h	44.50667	-5.49	1.47
7km/h	45.86667	-4.13	1.20
เฉลี่ย	46.19	-3.81	1.54
60l/rai			
	ค่าเฉลี่ย l/rai)	Error (l/rai)	S.D. (l/rai)
4km/h	54.8	-5.20	1.41
5km/h	52.03	-7.97	1.72
6km/h	55.47	-4.53	1.94
7km/h	56.00	-4.00	2.68
เฉลี่ย	54.57	-5.43	1.94
70l/rai			
	ค่าเฉลี่ย l/rai)	Error (l/rai)	S.D. (l/rai)
4km/h	63.49333	-6.51	1.32
5km/h	67.2	-2.8	3.36
6km/h	67.2	-2.8	4.85
เฉลี่ย	65.96	-4.04	3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ด้านออกแบบและสร้าง

ในตอนเริ่มต้น โครงการนี้มีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรในอีกรูปแบบหนึ่ง โดยมีการพัฒนา ทดสอบ และพบว่าสามารถทำงานได้ดี อย่างไรก็ตาม ยังติดปัญหาเรื่องการนำไปใช้งานบนรถแทรกเตอร์ จึงต้องมีการออกแบบและพัฒนาใหม่ดังรายละเอียดในปฏิญญาพนธ์ฉบับนี้

เพื่อเป็นรวบรวมงานที่ได้ดำเนินการศึกษา พัฒนา และทดสอบทั้งหมด ให้ผู้ที่สนใจศึกษางานในลักษณะเดียวกันได้เรียนรู้ จึงขอสรุปรายละเอียดการพัฒนาและทดสอบระบบต้นแบบแรกของโครงการ ดังต่อไปนี้

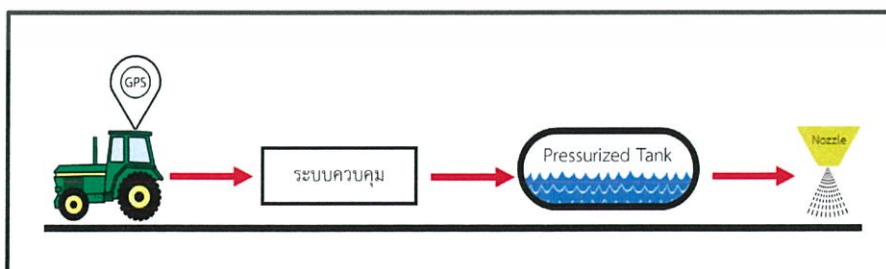
ข้อกำหนดในการออกแบบ

6. หัวฉีดน้ำสเปรย์แบบโดนัท (F-IS Hollow Cone Spray Nozzles)
7. อัตราการพ่นสารเคมี 60 ลิตร/ไร่
8. ความสูงของหัวฉีดจากพื้น 0.5 เมตร
9. มุมของหัวฉีดที่ใช้ 99-108 องศา
10. ความดันที่ใช้ 1-5 บาร์
11. ความเร็วที่ใช้ในการทำงาน 3-7 กิโลเมตร/ชั่วโมง
12. หน้ากว้างของการกระจายของสารเคมี 1-1.5 เมตร

เครื่องพ่นสารเคมีประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ชุดถังบรรจุสารเคมี , ระบบควบคุมและระบบวัดความเร็วในการเคลื่อนที่

- ชุดถังบรรจุสารเคมี ทำหน้าที่ บรรจุสารเคมีและจ่ายสารเคมีลงสู่พื้นดิน โดยใช้หัวฉีด
- ระบบวัดความเร็ว ทำหน้าที่ วัดและส่งค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ให้ระบบควบคุม
- ระบบควบคุม ทำหน้าที่ ประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบ

ระบบวัดความเร็วจะรับค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ จากนั้นจะทำการส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมและทำการประมวลผล โดยจะส่งสัญญาณไปควบคุมความดันภายในชุดถังบรรจุสารเคมีเพื่ออัตราการพ่นสารเคมีของหัวฉีดออกมาตรงตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.1

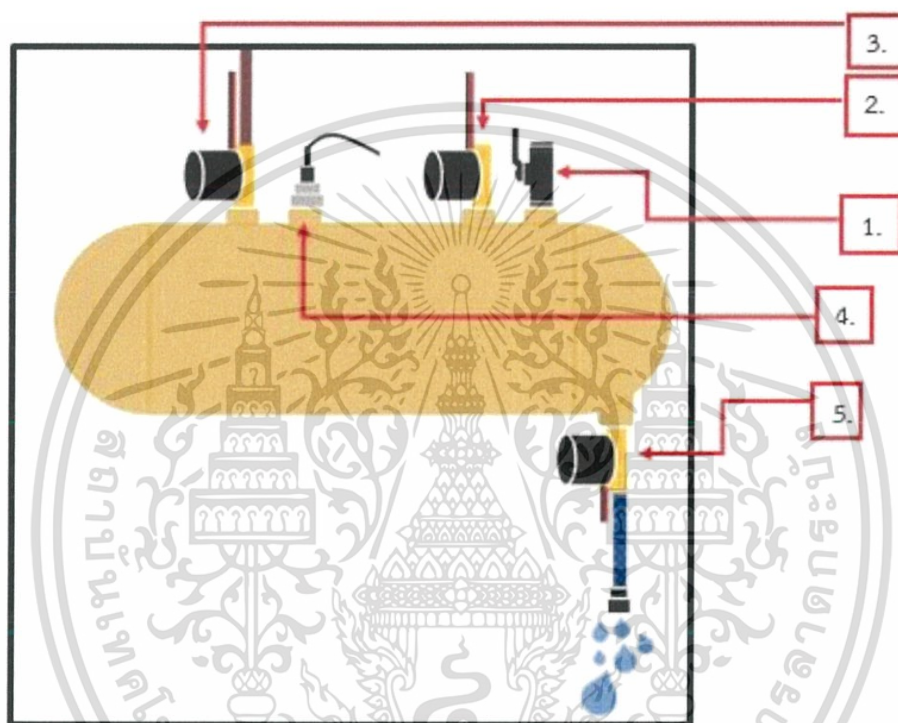


รูปที่ 38 รูปตัวอย่างการทำงานของเครื่องต้นแบบ(เดิม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 การออกแบบถังบรรจุสารเคมี

1. โซลินอยด์วาล์ว ทำหน้าที่ รับลมเข้าเพื่อเพิ่มความดันภายในถังบรรจุสารเคมี
2. โซลินอยด์วาล์ว ทำหน้าที่ ปลดปล่อยลมเพื่อลดความดันภายในถังบรรจุสารเคมี
3. เซนเซอร์วัดความดัน ทำหน้าที่ วัดค่าความดันแล้วส่งไปยังระบบประมวลผล
4. วาล์ว ทำหน้าที่ เป็นช่องทางเข้าของสารเคมี
5. โซลินอยด์วาล์ว ทำหน้าที่ ปลดปล่อยสารเคมีไปยังหัวฉีดเพื่อพ่นลงสู่แปลง

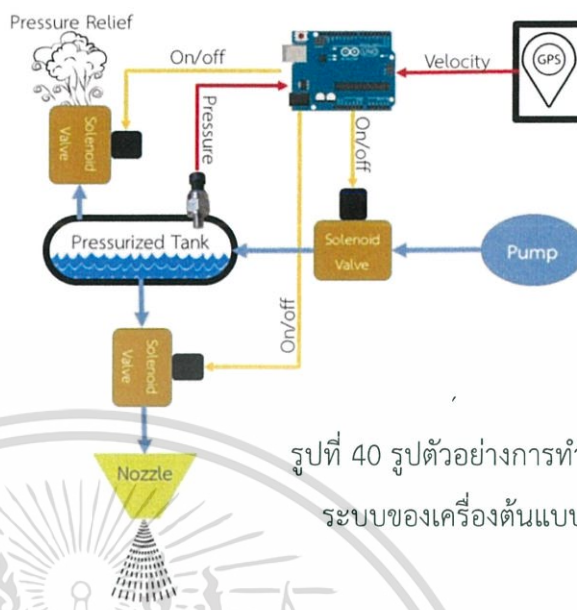


รูปที่ 39 รูปตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่องต้นแบบ(เดิม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การออกแบบระบบควบคุม

ในการที่จะควบคุมอัตราการไหลเชิงพื้นที่(Q_A) จำเป็นจะต้องทราบค่าอัตราการไหลเชิงเวลา(Q_t) หน้ากว้างในการทำงาน(W) ซึ่งเป็นค่าคงที่และความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์(v) ซึ่งจะได้รับค่าความเร็วมาจาก GPS และเนื่องด้วยความเร็วที่ไม่จึงต้องมีการปรับอัตราการไหลเชิงเวลา(Q_t) จากสมการที่ 8.2 อัตราการไหลจะแปรผันไปตามความดัน ความดันสามารถรับค่าได้จาก Sensor วัดความดัน เพื่อนำค่า



รูปที่ 40 รูปตัวอย่างการทำงานของระบบของเครื่องต้นแบบ(เดิม)

ไปเพื่อที่จะสั่งการให้ลดหรือเพิ่มความดันจากการเปิดปิดวาล์วต่างๆ

Solenoid Valve ตัวที่1 มีหน้าที่เปิดแรงดันจากปั๊มเข้าสู่ถังน้ำเพื่อที่จะเพิ่มความดันภายในถัง

Solenoid Valve ตัวที่2 มีหน้าที่ระบายลมจากถังน้ำทิ้งเพื่อลดความดัน

Solenoid Valve ตัวที่3 มีหน้าที่เปิด/ปิดหัวฉีด

และเมื่อเราสามารถปรับความดันได้ก็จะสามารถเปลี่ยนอัตราการไหลเชิงเวลาให้ได้อัตราการไหลเชิงพื้นที่เท่าเดิมเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่เปลี่ยนไป

1.3.1 การคำนวณหาความดันที่เหมาะสมกับความเร็ว

ข้อกำหนดในการคำนวณหาความดันที่เหมาะสมกับความเร็ว

1. หน้ากว้างในการทำงาน โดยประมาณ 0.9 เมตร
2. อัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ 60 ลิตรต่อไร่
3. V คือ ความเร็วที่ได้จาก GPS
4. P คือแรงดันภายในถังที่ต้องการ

เมื่อทำการทดลองหาอัตราการไหลต่อหน่วยเวลาที่แปรผันตามความดันจะได้กราฟและสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตรการหาอัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่

$$Q_A(\text{l/min}) = \frac{Q_t(\text{l/min})}{v(\text{m/s}) \times W(\text{m})}$$

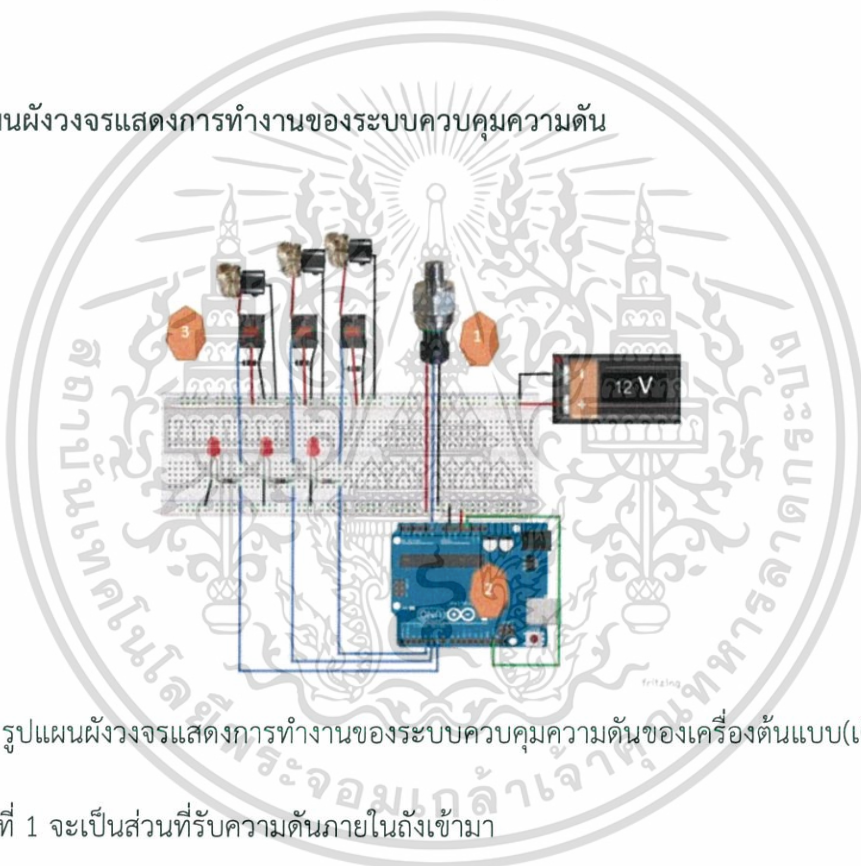
เมื่อ Q_t มีความสัมพันธ์กับความดัน แทนค่า เป็นตัวแปรความดันลงไป

$$Q_A(\text{l/min}) = \frac{P/K}{v(\text{m/s}) \times W(\text{m})}$$

เมื่อจัดรูปสมการให้ได้ความดันที่ต้องการ

$$P = \frac{Q_A(\text{l/min}) \times v(\text{m/s}) \times W(\text{m})}{K}$$

1.3.2 แผนผังวงจรแสดงการทำงานของระบบควบคุมความดัน



รูปที่ 41 รูปแผนผังวงจรแสดงการทำงานของระบบควบคุมความดันของเครื่องต้นแบบ(เดิม)

- ตำแหน่งที่ 1 จะเป็นส่วนที่รับความดันภายในถังเข้ามา
- ตำแหน่งที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะประมวลผลว่าควรเพิ่มหรือความดัน
- ตำแหน่งที่ 3 จะเป็นชุดควบคุมการเปิดปิดของวาล์วต่างๆ โดยจะมีรีเลย์ที่รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเปิดปิดกระแสไฟ 12V เพื่อให้ Solenoid ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ด้านการทดสอบ

จะกล่าวถึงการทดสอบความแม่นยำของระบบที่ใช้กับเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรแบบแม่นยำที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมา โดยการทดสอบความแม่นยำนั้นมีเป้าหมายเพื่อที่จะควบคุมอัตราการพ่นสารเคมีที่แปรผันไปตามความสัมพันธ์ของความดันและความเร็ว ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการ และนอกห้องปฏิบัติการ โดยมีหัวข้อและวิธีการทดสอบดังนี้

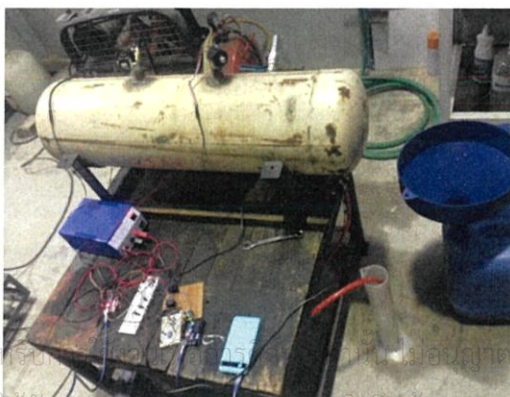
2.1 การทดสอบเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรภายในห้องปฏิบัติการ

ประกอบด้วย 2 หัวข้อ คือ การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความดัน และการทดสอบการกระจายตัวของสารเคมี

2.1.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความดัน

เป็นการทดสอบเพื่อหาอัตราการพ่นสารเคมีที่แปรผันตามความสัมพันธ์ของความดันและความเร็วภายในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ความเร็วจากจีพีเอสที่แสดงค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์และอัตราการพ่นสารเคมีที่คาดว่าจะมีการใช้งาน โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

- 1) จัดเตรียมอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล อัตราการพ่นสารเคมี และระบบควบคุม
- 2) หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการพ่นสารเคมีต่อเวลากับความดัน
- 3) เปิดระบบควบคุม ตั้งค่าระบบให้มีการพ่นสารเคมีตามสภาวะการทำงานที่กำหนดในแผนการทดลอง พร้อมจับเวลา 10 วินาที และรองรับสารเคมีด้วยกระบอกตวง ดังรูป
- 4) นำสารเคมีตัวอย่างที่รองรับได้ในแต่ละรอบมาอ่านค่าปริมาณสารเคมีที่เครื่องพ่นออกมา ด้วยสายตา
- 5) ทดสอบซ้ำในข้อ 4-5 จนครบทุกสภาวะการทำงานที่กำหนดในแผนการทดลอง
- 6) หาอัตราการพ่นสารเคมีสารเคมีตัวอย่างหลังการทดสอบ เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของอัตราการพ่นสารเคมี และนำปริมาตรที่วัดได้จากการทดสอบจริง นำไปเทียบกับปริมาตรที่ต้องการพ่นในทางทฤษฎี
- 7) บันทึกผลการทดลอง คำนวณอัตราการพ่นสารเคมีของเครื่องพ่น ทำการวิเคราะห์ทางสถิติ เปรียบเทียบความผิดพลาดระหว่างอัตราการพ่นทางปฏิบัติและทางทฤษฎี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้บุคคลภายนอกได้รับทราบ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้เกี่ยวข้อง

รูปที่ 42 การทดสอบหาอัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยเวลาเทียบกับความดัน

2.2 การทดสอบเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรนอกห้องปฏิบัติการ

การทดสอบเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรนอกห้องปฏิบัติการเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำงานของเครื่องพ่นสารเคมีในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ เมื่อเครื่องพ่นสารเคมีทำงานบนพื้นที่ทดสอบ โดยใช้ความเร็วที่สภาวะในการทำงานจริง ซึ่งทดสอบให้ครอบคลุมทั้งความเร็วจาก GPS ความดัน และอัตราการไหลที่ต้องใช้ โดยมี 2 หัวข้อในการทดสอบคือ การทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง และการทดสอบการทำงานของระบบดังต่อไปนี้

2.2.1 การทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง

การทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริงเป็นการทดสอบหาความเร็วที่ GPS วัดค่าได้ที่ติดกับรถแทรกเตอร์ ขณะที่รถแทรกเตอร์วิ่งบนพื้นที่ทดสอบ เปรียบเทียบกับความเร็วจริงของรถแทรกเตอร์ มีวิธีการทดสอบ ดังนี้

- 4) ติดตั้ง GPS บนรถแทรกเตอร์และจัดเตรียมระบบควบคุม
- 5) ทำการทดสอบโดยให้แทรกเตอร์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงบนพื้นที่ทดสอบตามที่กำหนดไว้ (30 เมตร) พร้อมจับเวลา ซึ่งจะทำให้การทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ
- 6) บันทึกผลการทดลอง นำค่าความเร็วที่วัดได้จาก GPS มาวิเคราะห์ทางสถิติ และนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วจริง เพื่อแสดงให้เห็นว่าความเร็วที่ GPS แสดงค่าได้กับความเร็วที่รถแทรกเตอร์ใช้ในการเคลื่อนที่สามารถแสดงค่าออกมาได้ตรงกันในสภาวะการทำงานจริง

3. ด้านผลการทดสอบ

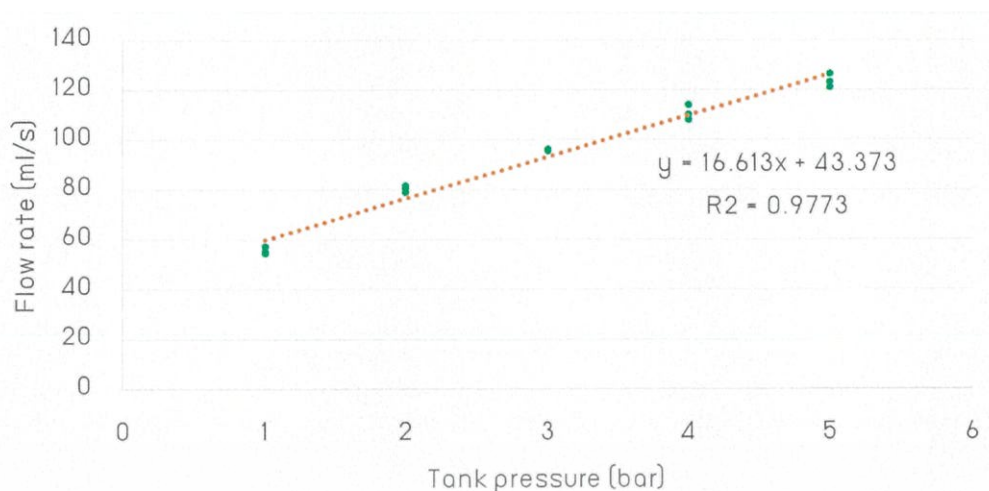
3.1 การทดสอบเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรภายในห้องปฏิบัติการ

3.1.1 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความดัน

Tank pressure (bar)	Flow rate (ml/s)			Average (ml/s)
	Rap. 1	Rap. 2	Rap. 3	
1	55.0	54.5	57.3	55.6
2	81.7	79.0	80.5	80.4
3	96.0	95.5	96.0	95.8
4	108.0	110.2	114.0	110.7
5	121.0	126.5	123.0	123.5

รูปที่ 43 ตารางผลการทดสอบของเครื่องต้นแบบ(เดิม)

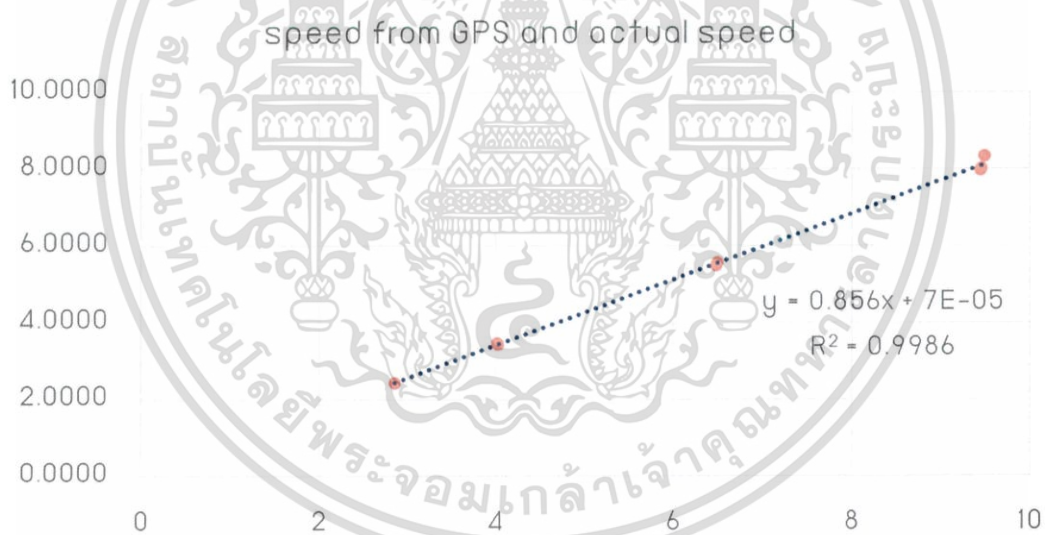
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 44 ผลการทดสอบของเครื่องต้นแบบ(เดิม)

3.2 การทดสอบเครื่องพ่นสารเคมีเกษตรนอกห้องปฏิบัติการ

3.2.1 การทดสอบหาความเร็วที่ได้จาก GPS เทียบกับความเร็วจริง



รูปที่ 45 ผลการทดสอบของเครื่องต้นแบบ(เดิม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ข้อเสนอแนะ

ในการทำโครงการวิศวกรรมเกษตร โดยการออกแบบและการทดสอบในรูปแบบนี้ ยังมีอุปสรรคในการออกแบบ การสร้างเครื่องต้นแบบ และการทดสอบระบบ เนื่องด้วยการออกแบบและการใช้อุปกรณ์ที่ผู้จัดทำได้คิดไว้เป็นการออกแบบที่ใช้ได้กับการฉีดย่นแบบเฉพาะทาง หรือการใช้สารเคมีเฉพาะชนิด ซึ่งถือว่าไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของผู้จัดทำที่ตั้งไว้ จึงยกเลิกการออกแบบและการทดสอบเครื่องต้นแบบนี้และได้จัดทำเครื่องต้นแบบรูปแบบใหม่ขึ้นมาตามเนื้อหาข้างต้นในปริญญานิพนธ์เล่มนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้