



ระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลายด้วยกระบอกฉีดยา
สำหรับการให้ยาปริมาณน้อย โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต
ปีการศึกษา 2567



**SYSTEM FOR CONTROLLING MOVEMENT AND FLOW OF SOLUTIONS
WITH A SYRINGE FOR SMALL DOSES USING SERVO MOTOR**

BY

NATPAPAT SORNSUNTHORN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN
BIOMEDICAL ENGINEERING
COLLEGE OF BIOMEDICAL ENGINEERING**

GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2024

วิทยานิพนธ์เรื่อง

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลายด้วยกระบอกฉีดยา
สำหรับการให้ยาปริมาณน้อย โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์

โดย
ณัฐปภัทร์ ศรสุนทร

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

มหาวิทยาลัยรังสิต
ปีการศึกษา 2567

ศ. ดร. ชูชาติ ปิ่นทาวีรัตน์
ประธานกรรมการสอบ

ดร. ชเนศ อังศุวัฒนากุล
กรรมการ

ผศ. ดร. ยุทธนา ปิติธีรภาพ
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ศ.ดร. สৌจิตต์ เพ็ชรประสาน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
27 สิงหาคม 2567

Thesis entitled

**SYSTEM FOR CONTROLLING MOVEMENT AND FLOW OF SOLUTIONS WITH
A SYRINGE FOR SMALL DOSES USING SERVO MOTOR**

by

NATPAPAT SORNSUNTHRON

was submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master of Engineering in Biomedical Engineering

Rangsit University
Academic Year 2024

Prof. Chuchart Pintavirooj, Ph.D.
Examination Committee Chairperson

Thanate Angsuwatanakul, Ph.D.
Member

Asst. Prof. Yutthana Pititheeraphap, Ph.D.
Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Prof. Suejit Pechprasarn, Ph.D.)

Dean of Graduate School

August 27, 2024

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่องระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลายด้วย
กระบอกฉีดยา สำหรับการให้ยาปริมาณน้อยโดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ สำเร็จตามวัตถุประสงค์ได้
เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ปิติธีรภาพ ที่ได้ให้คำแนะนำ
และคำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์มาตลอด

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ ซึ่งเป็น
ประธานกรรมการสอบ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในด้านการวางแผนการดำเนินงานในเรื่อง
การทำวิทยานิพนธ์

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส สังวรศิลป์ ที่ได้
ช่วยเหลือและให้ความอนุเคราะห์ตั้งแต่เข้าเรียนในวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ จนกระทั่งสำเร็จ
การศึกษา

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัย
รังสิต อันเป็นสถานที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำวิทยาลัย
วิศวกรรมชีวการแพทย์ ทุกท่านที่ได้ให้การสั่งสอนรายวิชาพื้นฐานในการทำงานวิจัยครั้งนี้ให้
คำแนะนำและข้อคิดอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้โอกาสให้ได้รับการศึกษา
ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในระดับวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต

สุดท้ายนี้ความรู้ และประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอ
มอบความดีให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอกราบอภัยไว้ ณ โอกาสนี้

ณัฐปภัทร์ ศรสุนทร

ผู้วิจัย

6610117 : ญัฐปภัสร ศรีสุนทร
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : ระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลายด้วยกระบอกฉีดยา
 สำหรับการให้ยาปริมาณน้อย โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์
 หลักสูตร : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ยุทธนา ปิติธีรภาพ

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการรักษาด้วยวิธีการฉีดยาเข้าชั้นใต้ผิวหนังโดยใช้เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง (Syringe driver) ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ป่วยที่อยู่ในระยะประคับประคอง เนื่องจากเครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนังสามารถให้สารละลายปริมาณอย่างน้อยที่สุด 1 มิลลิลิตร และควบคุมปริมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการทำวิจัยเพื่อออกแบบระบบควบคุมที่สามารถให้สารละลายในปริมาณน้อย โดยใช้การพิจารณาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) ของระบบการให้สารละลายนี้ เพื่อสร้างระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ การวิจัยนี้จะใช้พัลส์วidthมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) ควบคู่กับการใช้เอ็นโค้ดเดอร์ เพื่อควบคุมปริมาณของสารละลายที่ออกมาให้มีปริมาณน้อย และทำการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เพื่อควบคุมระบบเกี่ยวกับการปรับความเร็วของการให้สารละลายให้น้อยที่สุด ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยในการวัดระยะทางทั้งหมดคือ 0.377% และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยในการวัดปริมาณการไหลทั้งหมดคือ 0.35% ซึ่งสะท้อนถึงระดับความแม่นยำที่ดีของระบบทั้งในการวัดและการควบคุม นอกจากนี้ ยังพบว่าการคำนวณอัตราการไหลของสารละลายมีความแม่นยำสูง และระบบสามารถรักษาความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 รอบต่อวินาที ได้อย่างเสถียร

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 49 หน้า)

คำสำคัญ: เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง, การฉีดยาเข้าชั้นใต้ผิวหนัง, เซอร์โวมอเตอร์, เอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุน

6610117 : Natpapat Sornsunthorn
 Thesis Title : System for Controlling Movement and Flow of Solutions with a Syringe
 for Small Doses Using Servo Motor
 Program : Master of Engineering in Biomedical Engineering
 Thesis Advisor : Asst. Prof. Yutthana Pititheeraphap, Ph.D.

Abstract

At present, there is a treatment method involving subcutaneous drug injection using a syringe driver, which is suitable for patients in palliative care. The syringe driver can deliver a solution in a minimum volume of 1 milliliter and can effectively control the dosage. Therefore, the researcher had the idea to conduct research to design a control system capable of delivering solutions in small quantities by considering the transfer function of the solution delivery system to create an automatic control system. This research will use pulse width modulation in conjunction with an encoder to control the amount of solution delivered to be minimal and control the motor speed to adjust the gear system to minimize the delivery speed of the solution. The analysis results show that the average percentage error in total distance measurement is 0.377%, and the average percentage error in total flow measurement is 0.35%, reflecting a good level of accuracy in both measurement and control. Furthermore, it was found that the calculation of the solution flow rate is highly accurate, and the system can maintain motor speeds of 2, 4, 6, 8, and 10 revolutions per minute stably.

(Total 49 pages)

Keywords: Syringe Driver, Subcutaneous Drug Injection, Servo Motor, Rotary Encoder

Student's Signature Thesis Advisor's Signature

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย	3
1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	4
1.6 นิยามศัพท์	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	15
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	15
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล	16
3.3 วิธีการทดสอบงานวิจัย	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	ผลการวิจัย
	28
4.1	ผลการทดสอบ
	29
4.2	ผลการทดสอบงานวิจัย
	31
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ
	45
5.1	สรุปผลการวิจัย
	45
5.2	ข้อเสนอแนะ
	45
บรรณานุกรม	47
ประวัติผู้วิจัย	49



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ตารางแสดงระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย	4
4.1	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอ็นโค้ดเดอร์กับระยะทาง	30
4.2	การวัดระยะทางเกลียวที่ยึดติดกับมอเตอร์	32
4.3	การทดสอบปริมาณของสารละลาย	37
4.4	การทดสอบการหาอัตราการผลิตของสารละลาย	39



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การนิยามเข้าสู่ร่างกายบริเวณต่าง ๆ	2
1.2	กรอบแนวคิดการทำงานวิจัย	3
2.1	เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง ยี่ห้อ Micrel รุ่น Thala pump 20	6
2.2	ส่วนประกอบเครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง	7
2.3	รูปร่างและส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์	9
2.4	ไคอะแกรมการทำงานของแผนวงจรควบคุมในเซอร์โวมอเตอร์ชนิด อนาล็อก	10
2.5	ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	11
2.6	สัญญาณพัลส์ที่เกิดจาก Incremental Rotary	12
3.1	ส่วนประกอบของกระบอกฉีด	16
3.2	แสดงบล็อกไคอะแกรมที่ออกแบบ	17
3.3	กราฟแสดงอัตราการไหลของกระบอกฉีด	18
3.4	บล็อกไคอะแกรมหลักการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของ ของเซอร์โวมอเตอร์	19
3.5	บล็อกไคอะแกรมการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	19
3.6	บล็อกไคอะแกรมแสดงการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	19
3.7	บล็อกไคอะแกรมหลักการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของ ของมอเตอร์กระแสตรง	20
3.8	บล็อกไคอะแกรมการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์ กระแสตรง	20
3.9	บล็อกไคอะแกรมแสดงการทำงานของมอเตอร์เอ็นโค้ดเดอร์	21
3.10	บล็อกไคอะแกรมหลักการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของ ของมอเตอร์เอ็นโค้ดเดอร์	21
3.11	บล็อกไคอะแกรมการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์เอ็นโค้ด เดอร์	22

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 การทดสอบการควบคุมระยะทางเกลิยวที่ซิดคิดกับมอเตอร์	23
3.13 การทดสอบการควบคุมความเร็วรอบ	24
3.14 การทดสอบปริมาณของสารละลาย	25
3.15 การทดสอบการหาอัตราการไหลของสารละลาย	26
4.1 เครื่องให้สารละลายปริมาตรน้อย	28
4.2 ผลของหลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	29
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอ็นโค้ดเดอร์กับระยะทาง	31
4.4 การทดสอบการควบคุมระยะทางเกลิยว	31
4.5 กราฟความเร็วรอบที่ 2 รอบต่อนาที	33
4.6 กราฟความเร็วรอบที่ 4 รอบต่อนาที	33
4.7 กราฟความเร็วรอบที่ 6 รอบต่อนาที	34
4.8 กราฟความเร็วรอบที่ 8 รอบต่อนาที	34
4.9 กราฟความเร็วรอบที่ 10 รอบต่อนาที	35
4.10 การทดสอบปริมาณของสารละลายโดยการใช้การวัด	36
4.11 การทดสอบการหาอัตราการไหลของสารละลายโดยการใช้การวัด	38
4.12 ปริมาณสารละลายที่ 0.10 มิลลิลิตร	39
4.13 ปริมาณสารละลายที่ 0.22 มิลลิลิตร	40
4.14 ปริมาณสารละลายที่ 0.30 มิลลิลิตร	40
4.15 ปริมาณสารละลายที่ 0.40 มิลลิลิตร	41
4.16 ปริมาณสารละลายที่ 0.51 มิลลิลิตร	41
4.17 ปริมาณสารละลายที่ 0.61 มิลลิลิตร	42
4.18 ปริมาณสารละลายที่ 0.70 มิลลิลิตร	42
4.19 ปริมาณสารละลายที่ 0.80 มิลลิลิตร	43
4.20 ปริมาณสารละลายที่ 0.90 มิลลิลิตร	43
4.21 ปริมาณสารละลายที่ 1.00 มิลลิลิตร	44

บทที่ 1

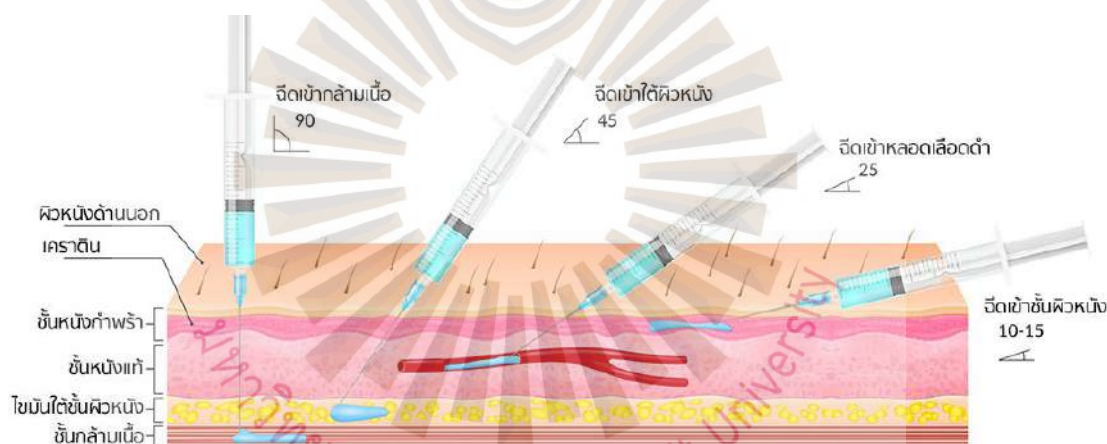
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การรักษาด้วยการฉีดเป็นการให้ยาที่อยู่ในรูปแบบสารละลาย ซึ่งการฉีดนั้นจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เนื่องจากวิธีการฉีดที่เข้าร่างกายมีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลาย โดยทั่วไปแล้ว การฉีดแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1. การฉีดเข้าหลอดเลือดดำ (Intravenous Administration; IV) ซึ่งเป็นการส่งยาเข้าไปในหลอดเลือดดำของผู้ป่วย 2. การฉีดเข้ากล้ามเนื้อ (Intramuscular Injection; IM) จะมีปริมาณของเหลวอยู่ระหว่าง 2-5 มิลลิกรัม ที่เข้าไปในชั้นกล้ามเนื้อ 3. การฉีดเข้าชั้นผิวหนัง (Intradermal Injection; ID) ใช้สำหรับการทดสอบอาการแพ้ที่ผิวหนัง และ 4. การฉีดเข้าชั้นใต้ผิวหนัง (Subcutaneous Injection; SQ) จะเป็นการฉีดเข้าไปในชั้นไขมันที่อยู่ใต้ผิวหนังและอยู่เหนือกล้ามเนื้อ โดยสถานที่นิยมสำหรับการฉีดคือบริเวณหน้าขาสำหรับเด็กเล็ก ส่วนเด็กโตหรือผู้ใหญ่จะนิยมฉีดที่บริเวณ upper outer triceps ของแขน ซึ่งการฉีดทั้ง 4 ประเภทจะแสดงอยู่ในรูปที่ 1.1

การฉีดเข้าชั้นใต้ผิวหนัง ซึ่งการให้ยาด้วยวิธีนี้ เป็นการนำยา หรือสารละลายผ่านเข้าไปเพียงแค่ชั้นผิวหนังเท่านั้น ขนาดยา หรือสารละลายที่ฉีดมีปริมาณ 1 มิลลิกรัม ใช้สำหรับยา หรือสารละลายที่ไม่ต้องการให้ดูดซึมมาก วิธีการให้ยาทางใต้ผิวหนังเป็นการให้ยาแบบต่อเนื่อง พบว่าดีกว่าการให้ยา หรือสารละลายทางหลอดเลือดดำ และการให้ยาทางกล้ามเนื้อ เพราะก่อให้เกิดความเจ็บปวดที่น้อยกว่า ซึ่งในปีคริสต์ศักราช 1979 เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง (Syringe Driver) เริ่มถูกมองเห็นว่าเป็นเครื่องมือที่จำเป็นในการดูแลผู้ป่วยที่อยู่ในลักษณะแบบประคับประคอง เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนด้วยกำลังสำหรับการดันลูกสูบของกระบอกฉีดยาไปข้างหน้า ด้วยอัตราที่สามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำ เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนังสามารถใช้ได้ทั้งในระยะเวลาที่สั้นหรือระยะเวลาที่ยาว การให้สารละลายปริมาณน้อยและการควบคุมปริมาณอย่างสม่ำเสมอในผู้ป่วยเป็นส่วนสำคัญของการรักษาทางการแพทย์ที่ต้องการความแม่นยำสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยที่ต้องการการดูแลอย่างใกล้ชิดและผู้ป่วยกลุ่มเสี่ยง เช่น ผู้ป่วยวิกฤต ผู้ป่วยเด็ก หรือผู้ป่วยที่ได้รับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากการให้สารละลายในปริมาณที่ต้องการมีความละเอียดและ

แม่นยำสูง การควบคุมระบบการให้สารละลายจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ทางผู้วิจัยจึงได้พัฒนาแนวคิดในการออกแบบเครื่องควบคุมการให้สารละลายในปริมาณน้อย เพื่อให้การควบคุมปริมาณสารละลายมีความแม่นยำและเสถียรภาพสูง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพการรักษาและการทดลองทางวิทยาศาสตร์ โดยเริ่มจากการพิจารณาจากระบบทรานเฟอร์ฟังก์ชันของกระบอกสูบ เพื่อที่จะนำไปสร้างระบบควบคุมการให้สารละลายปริมาณน้อยแบบอัตโนมัติ โดยการนำข้อมูลระบบควบคุมแบบเซอร์โวมาใช้ ซึ่งมีการนำเอาสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชัน ควบคู่กับการใช้เอ็นโค้ดเดอร์ ในการทำการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ให้ทำการควบคุมระบบชุดเกียร์ เพื่อที่จะนำไปควบคุมความเร็วของสารละลายให้น้อยที่สุด การวิจัยครั้งนี้จึงมีความสำคัญในการพัฒนาระบบควบคุมการให้สารละลายที่มีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูง เพื่อตอบสนองความต้องการทางการแพทย์ที่ต้องการการควบคุมการให้สารละลายอย่างแม่นยำและสม่ำเสมอในผู้ป่วยกลุ่มต่าง ๆ



รูปที่ 1.1 การฉีดยาเข้าสู่ร่างกายบริเวณต่าง ๆ

ที่มา: Kapook Health, 2022

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

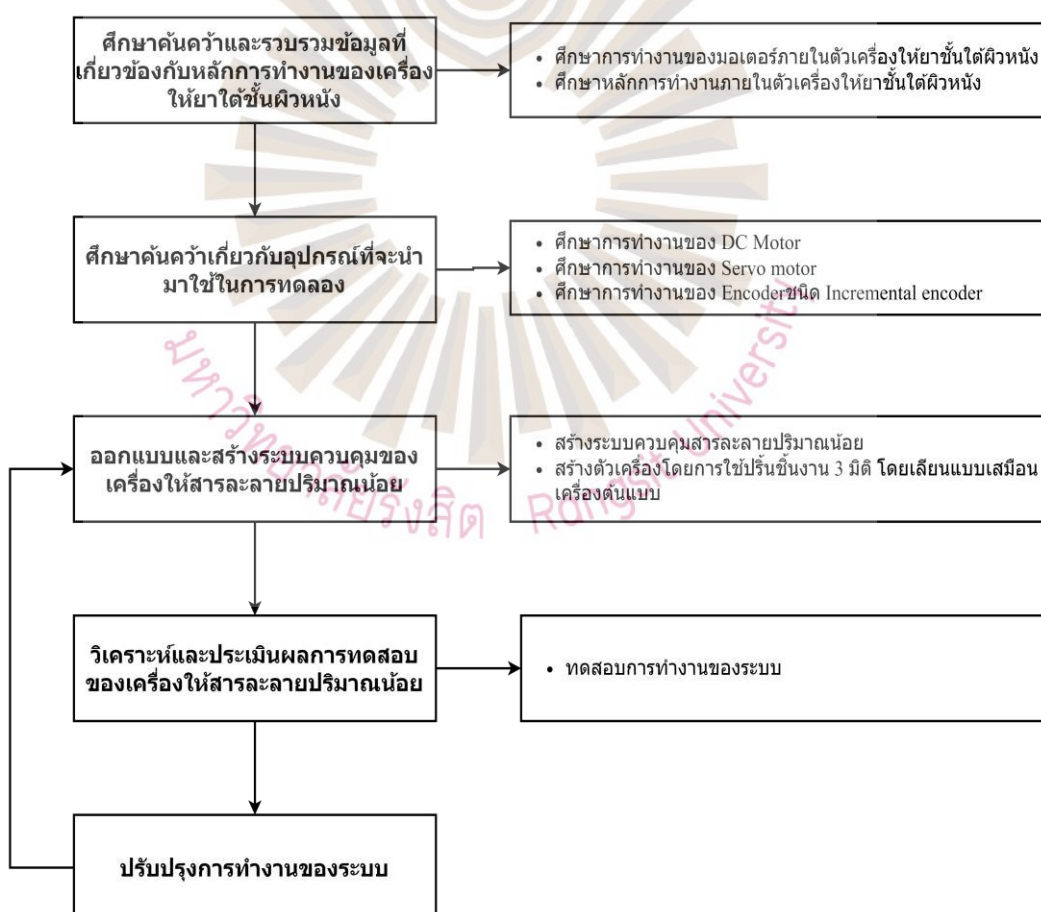
- 1) ศึกษาการทำงานของระบบควบคุมแบบ Open loop และ Close loop ของเซอร์โวมอเตอร์ โดยการควบคุมของเอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดกับมอเตอร์
- 2) ศึกษาการควบคุมการให้สารละลาย โดยการปรับเปลี่ยนความเร็วเข้าไปได้ให้น้อยที่สุด
- 3) ออกแบบตัวเครื่องให้สารละลายปริมาณน้อยโดยคำนึงถึงทรานเฟอร์ฟังก์ชันของกระบอกสูบ

1.3 สมมติฐานการวิจัย

- 1) การออกแบบระบบควบคุมแบบอัตโนมัติที่ใช้พัลส์วิดท์มอดูเลชัน (PWM) ควบคู่กับการใช้เซ็นโค้ดเตอร์จะสามารถควบคุมปริมาณสารละลายที่ฉีดเข้าชั้นใต้ผิวหนังได้อย่างแม่นยำ
- 2) การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยระบบเกียร์สามารถปรับความเร็วของสารละลายที่ฉีดเข้าชั้นใต้ผิวหนังให้น้อยที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดของงานวิจัยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

1.6 นิยามศัพท์

นิยามศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์มีดังต่อไปนี้

เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง (Syringe Driver) หมายถึง อุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้ในการให้ยาหรือสารละลาย โดยการฉีดเข้าสู่ชั้นใต้ผิวหนังของผู้ป่วย

การฉีดยาเข้าชั้นใต้ผิวหนัง (Subcutaneous Injection; SQ) หมายถึง การให้ยาเข้าไปในชั้นไขมันซึ่งอยู่ใต้ผิวหนังและอยู่เหนือชั้นกล้ามเนื้อ

เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) หมายถึง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มักถูกนำมาใช้ในการควบคุมตำแหน่งเชิงเส้นที่มีความละเอียดสูง โดยเซอร์โวมอเตอร์จะประกอบด้วย มอเตอร์ ชุดเกียร์ และบอร์ดควบคุมรวมไว้เป็น โมดูลเดียวกัน ภายในตัวเซอร์โวมอเตอร์นั้นมี 3 สาย 1. ไฟเลี้ยง (VCC) 2. กราวด์ (GND) 3. สัญญาณ (Signal)

เอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุน (Incremental Encoder) หมายถึง เอ็นโค้ดเดอร์ที่มีรูปแบบสัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นลักษณะของสัญญาณพัลส์ที่เป็นคลื่นสี่เหลี่ยม โดยจำนวนพัลส์ที่ออกมา นั้นจะมีความสัมพันธ์กับระยะการเคลื่อนที่ตำแหน่งระยะห่าง ความเร็ว และความเร่ง

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีที่สำคัญและเกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย โดยเนื้อหาจะประกอบไปด้วยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลายผ่านกระบอกฉีดยา สำหรับการให้ยาปริมาณน้อย โดยการใช้เซอร์มอเตอร์ ซึ่งต้องพิจารณาหลายองค์ประกอบร่วมกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องอ้างอิงถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อชี้ให้เห็นถึงเหตุผลในการเลือกใช้ทฤษฎีต่าง ๆ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ มี 4 ทฤษฎี ดังต่อไปนี้

2.1.1 เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง

เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง หรือที่เรียกว่า Syringe Driver คืออุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้ในการให้ยา หรือสารละลายโดยการฉีดเข้าสู่ชั้นใต้ผิวหนังของผู้ป่วย เครื่องนี้มีขนาดเล็กและใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เพื่อให้ยาอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง โดยสามารถควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ของลูกสูบในกระบอกฉีดยาได้อย่างแม่นยำ เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนังสามารถใช้งานได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว สำหรับผู้ป่วยที่อยู่นอกโรงพยาบาลหรือผู้ที่ต้องนอนเตียง โดยเครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนังมีลักษณะตามที่แสดงในรูปที่ 2.1 และมีรายละเอียดต่างๆ ตามที่ปรากฏในรูปที่ 2.2 (ศูนย์การอนุรักษ์, 2564)

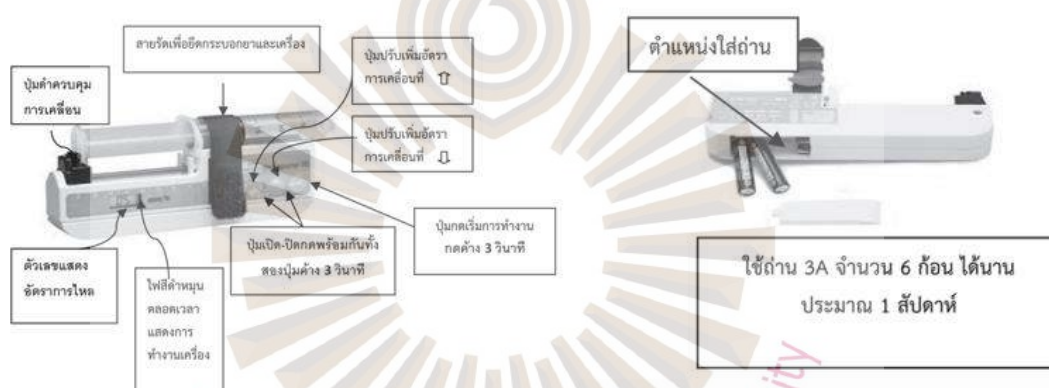


รูปที่ 2.1 เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง ยี่ห้อ Micrel รุ่น Thala pump 20

ที่มา: Medical Intertec, n.d.

การทำงานของเครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนังเป็นการใช้ลูกสูบภายในกระบอกฉีดเพื่อทำให้ของเหลวไหลในลักษณะที่สามารถควบคุมได้ โดยเริ่มจากการอัดของเหลวด้วยลูกสูบไปข้างหน้าในแนวเส้นตรง ในช่วงที่ลูกสูบเคลื่อนที่ไปข้างหน้า จะมีการไล่ของเหลวจำนวนเล็กน้อยออกจากกระบอกฉีดผ่านช่องทางออกของเครื่อง จากนั้น เครื่องจะรักษาอัตราการไหลให้คงที่โดยการควบคุมความเร็วและการทำงานของลูกสูบอย่างแม่นยำ เพื่อให้มั่นใจว่าของเหลวจะถูกส่งในอัตราที่สม่ำเสมอ (Medical Intertec, n.d.)

หลักการทำงานของเครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนังนั้น ใช้ถ่านแบตเตอรี่ในการดันกระบอกสูบของกระบอกยาให้เคลื่อนที่ทีละน้อย โดยกำหนดอัตราการเคลื่อนที่เป็นมิลลิเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบเครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง

ที่มา: ศูนย์การุณรักษ์, 2564

2.1.1.1 ข้อบ่งชี้ในการใช้เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง

- 1) ผู้ป่วยไม่สามารถรับประทานยาเองได้
ผู้ป่วยที่มีอาการคลื่นไส้ อาเจียนทำให้ไม่สามารถรับประทานยาได้
ผู้ป่วยที่มีแผลในช่องปากอย่างรุนแรง ทำให้ไม่สามารถกลืนยาได้
- 2) ผู้ป่วยมีการอุดตันของลำไส้ที่เป็นมะเร็ง
การอุดตันของลำไส้จากเนื้องอกหรือมะเร็ง ทำให้การดูดซึมยาผ่านทางระบบทางเดินอาหารไม่ได้ผล
- 3) ผู้ป่วยไม่สามารถหาเส้นเลือดหรือให้ยาทางหลอดเลือดดำได้

ผู้ป่วยที่มีเส้นเลือดเล็กหรือหายาก ทำให้การเจาะเพื่อให้ยาทางหลอดเลือดดำเป็นไปได้ยาก

ผู้ป่วยที่มีสภาวะทางการแพทย์ที่ทำให้ไม่สามารถใช้เส้นเลือดดำในการให้ยาได้

2.1.1.2 ข้อดีของการใช้เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง

- 1) สะดวกและง่ายในการใช้งาน เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนังถูกออกแบบมาให้ใช้งานง่าย ทำให้ผู้ป่วยสามารถฉีดยาด้วยตนเองได้ที่บ้านโดยไม่ต้องไปโรงพยาบาลหรือคลินิก
- 2) ลดความเจ็บปวดและไม่สบาย การฉีดยาใต้ผิวหนังจะมีความเจ็บปวดน้อยกว่าการฉีดเข้ากล้ามเนื้อหรือเส้นเลือดดำ เนื่องจากเข็มมีขนาดเล็กและการเจาะเข้าไปในชั้นผิวหนังที่ไม่ลึกมาก
- 3) การดูดซึมยาเข้าสู่ร่างกายอย่างสม่ำเสมอ ยาที่ฉีดใต้ผิวหนังจะถูกปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ ทำให้ระดับยาในเลือดคงที่และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
- 4) ลดความเสี่ยงจากการติดเชื้อ เนื่องจากการฉีดยาใต้ผิวหนังมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อน้อยกว่าการฉีดเข้ากล้ามเนื้อหรือเส้นเลือดดำ
- 5) สามารถใช้กับยาหลายประเภท ยาหลายชนิดสามารถฉีดใต้ผิวหนังได้ เช่น อินซูลิน ยารักษาโรคข้ออักเสบ ยาต้านไวรัส และวัคซีน

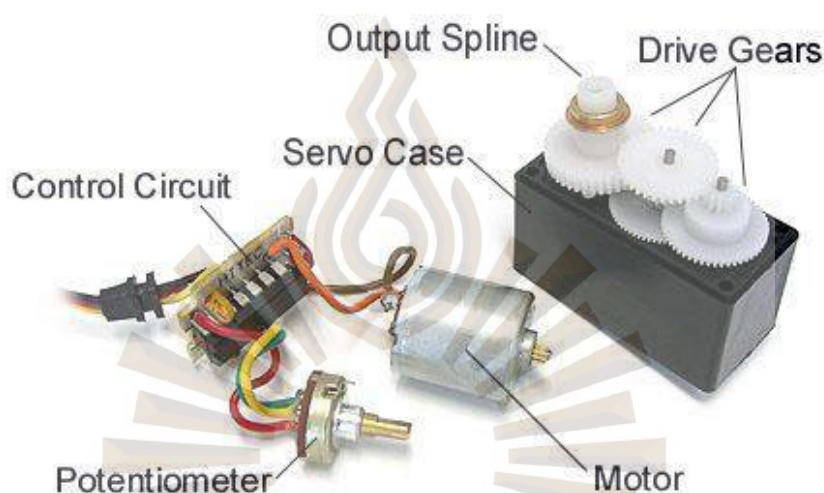
2.1.1.3 ข้อเสียของการใช้เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนัง

- 1) ความไม่สะดวกในการใช้สำหรับบางคน บางคนอาจพบว่าการฉีดยาด้วยตนเองเป็นเรื่องยากหรือไม่สะดวก เช่น ผู้ที่มีปัญหาการมองเห็นหรือการเคลื่อนไหวมือ
- 2) ความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ หากไม่ได้ทำความสะอาดบริเวณที่ฉีดหรือเครื่องมืออย่างเหมาะสม อาจทำให้เกิดการติดเชื้อที่บริเวณที่ฉีดได้
- 3) ความรู้สึกไม่สบายหรือเจ็บปวด แม้ว่าการฉีดยาใต้ผิวหนังจะเจ็บปวดน้อยกว่าการฉีดเข้ากล้ามเนื้อหรือเส้นเลือด แต่ก็ยังคงมีความเจ็บปวดหรือไม่สบายบ้าง

4) การเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหนัง การนวดได้ผิวหนังอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ผิวหนัง เช่น อาการแพ้ บวมแดง หรือคันที่บริเวณที่นวด

5) ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ เครื่องให้ยาชั้นใต้ผิวหนังและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอาจมีค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะเมื่อจำเป็นต้องใช้งานเป็นระยะเวลานาน

2.1.2 ทฤษฎีของเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)



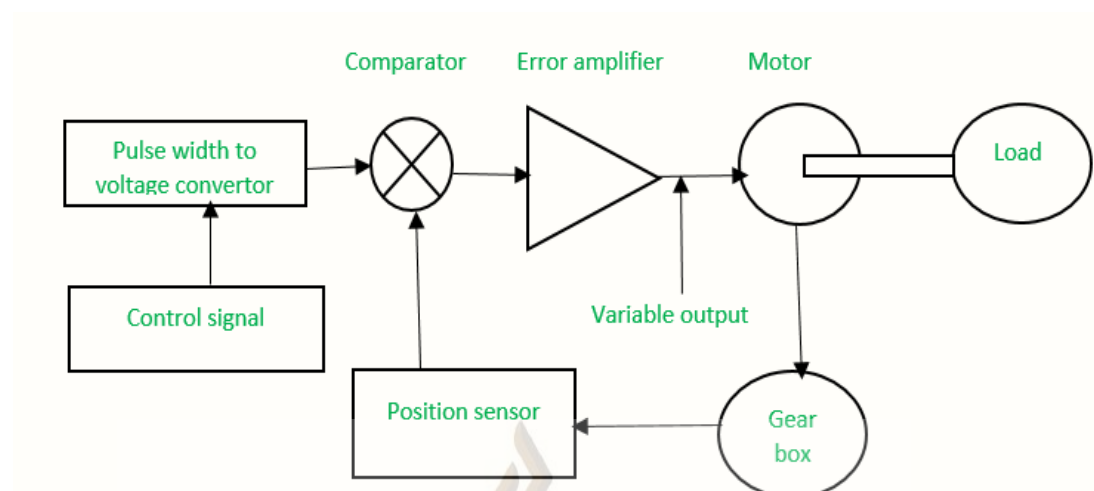
รูปที่ 2.3 รูปร่างและส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์

ที่มา: เสฏฐวุฒิ ลำเลียง, 2556

เซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor), ชุดเฟืองทดรอบ (Gear System), ปุ่มปรับแรงดัน (Potentiometer หรือ VR) และวงจรควบคุม (Control Electronics) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.3 (เสฏฐวุฒิ ลำเลียง, 2556)

2.1.2.1 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

เมื่อมีการจ่ายสัญญาณพัลส์เข้าสู่เซอร์โวมอเตอร์ วงจรควบคุมภายในจะทำการอ่านและประมวลผลค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ได้รับมาเพื่อนำไปแปลเป็นตำแหน่งองศาที่ต้องการให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งนั้น จากนั้นจะส่งคำสั่งไปยังมอเตอร์เพื่อให้หมุนไปยังตำแหน่งที่กำหนด โดยมีเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่ส่งกลับค่ามุมที่แกนหมุน ซึ่งจะถูกลำเลียงมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุตในวงจรควบคุมเพื่อให้สามารถควบคุมตำแหน่งให้ถูกต้องและแม่นยำตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.4 ไคอะแกรมการทำงานของแผงวงจรควบคุมในเซอร์โวมอเตอร์ชนิดอนาล็อก

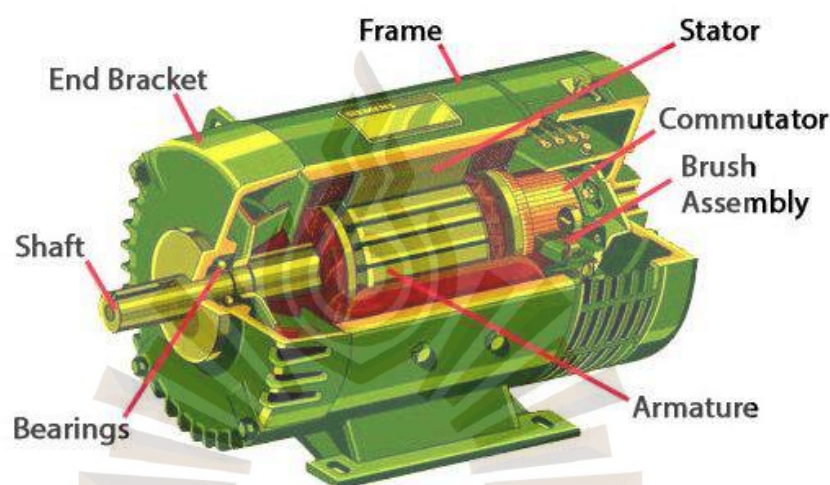
ที่มา: Robu, 2020

2.1.2.2 ไคอะแกรมการทำงานของวงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ชนิดอนาล็อก

สัญญาณพัลส์ควบคุมที่เข้ามาทางอินพุต จะถูกส่งต่อไปยังวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ภายใน โดยความกว้างของสัญญาณจะสัมพันธ์กับตำแหน่งของแกนหมุนในขณะนั้น สัญญาณพัลส์ที่สร้างขึ้นภายในจะถูกส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบ เพื่อทำการหักล้างสัญญาณ โดยทิศทางของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสัญญาณพัลส์ควบคุมทางอินพุตกับสัญญาณพัลส์ภายใน ว่าสัญญาณใดมีความกว้างมากกว่า โดยส่งผลให้เกิดเอาต์พุตเป็นสัญญาณลอจิก “0” หรือ “1” ที่จะถูกส่งไปยังวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ H-bridge เพื่อตัดสินใจทิศทางการหมุน ขณะที่ค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างพัลส์ทั้งสองสัญญาณจะถูกส่ง ไปยังวงจรกำเนิดความกว้างพัลส์ เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ที่จ่ายไปขับเคลื่อนมอเตอร์ ผ่านวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ H-bridge การแตกต่างของความกว้างพัลส์ 1% จะทำให้เกิดสัญญาณพัลส์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ระดับ 50% และความเร็วดังกล่าวจะลดลงเมื่อแกนหมุนของมอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนด ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของความกว้างสัญญาณพัลส์ที่เริ่มลดลง และหยุดเมื่อสัญญาณพัลส์ที่นำมาเปรียบเทียบมีความกว้างเท่ากัน แสดงให้เห็นตามรูปที่ 2.4 (Robu, 2020)

2.1.3 ทฤษฎีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคือมอเตอร์ที่ทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟ DC ซึ่งสามารถแบ่งประเภทออกเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีแปรงถ่านและมอเตอร์ไฟฟ้าไร้แปรงถ่าน ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานในการเลือกใช้ประเภทใดประเภทหนึ่ง



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

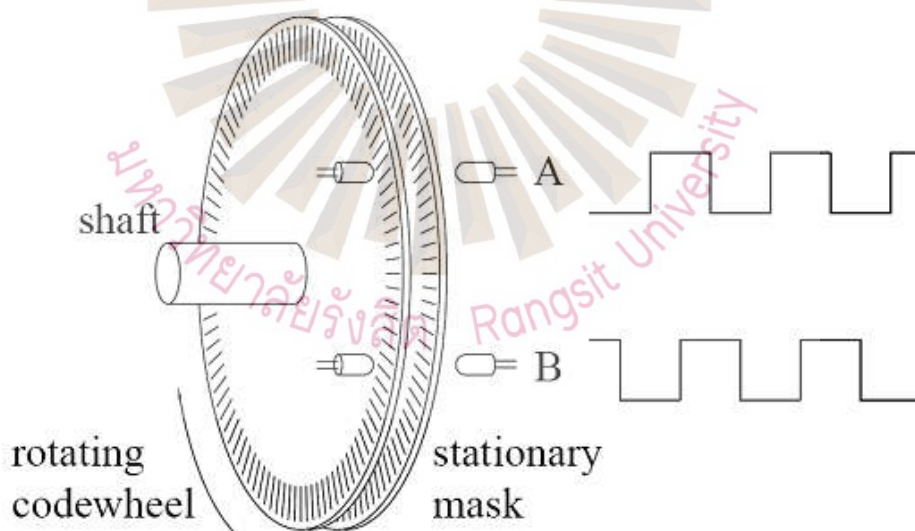
ที่มา: Veichi, 2018

เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่มอเตอร์ กระแสไฟฟ้าบางส่วนจะไหลผ่านแปรงถ่านไปยังคอมมิวเตเตอร์ เพื่อเข้าสู่ขดลวดอาร์มาเจอร์และสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น ขณะที่กระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าสู่ขดลวด ซึ่งจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้น 2 สนาม ทำให้เกิดขั้วเหนือและขั้วใต้ ทั้งนี้ สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางเดียวกันจะเสริมแรงกัน ในขณะที่สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกัน ส่งผลให้เกิดแรงบิดในดิวอาร์มาเจอร์ที่ตั้งอยู่บนแกนเพลลา ทำให้เกิดการหมุน ดิวอาร์มาเจอร์ที่หมุนเรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) โดยการหมุนนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสอง และการหมุนของขดลวดอาร์มาเจอร์ หรือโรเตอร์ เป็นไปตามกฎซ้ายมือของเฟลมมิง (Fleming left hand rule) ตามที่แสดงในรูปที่ 2.5 (Veichi, 2018)

2.1.4 ทฤษฎีของเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุน (Incremental Encoder)

เอ็นโค้ดเดอร์ชนิดนี้มีลักษณะเอาต์พุตเป็นสัญญาณพัลส์ที่เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งแตกต่างจากสัญญาณไซน์เวฟ โดยจำนวนพัลส์ที่ผลิตขึ้นมีความสัมพันธ์กับระยะทาง การเคลื่อนที่ ตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่ง นอกจากนี้ยังสามารถระบุทิศทางการหมุนของเอ็นโค้ดเดอร์ได้ว่าหมุนตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา ด้วยการตรวจสอบมุมเฟสของสัญญาณเอาต์พุต A และ B ว่าสัญญาณใดเกิดขึ้นก่อน ซึ่งมีมุมเฟสที่ต่างกัน 90 องศา แสดงในรูปที่ 2.6 (Northwestern University, 2010)

อย่างไรก็ตาม เอ็นโค้ดเดอร์ประเภทนี้มีข้อจำกัดตรงที่ไม่สามารถบันทึกตำแหน่งแกนหมุนได้ ทำให้การกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้นหรือ Homing Point เป็นเรื่องที่ท้าทาย จึงจำเป็นต้องเก็บข้อมูลพัลส์ตั้งแต่เริ่มต้นเพื่อหาค่าตำแหน่ง โดยบางครั้งอาจอ้างอิงจากจุด Zero Point ซึ่งจะมีพัลส์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมุนครบ 1 รอบ จากนั้นจึงตรวจสอบว่าหมุนไปในทิศทางใดและระยะทางเท่าไรจากจุดนี้



รูปที่ 2.6 สัญญาณพัลส์ที่เกิดจาก Incremental Rotary Encoder

ที่มา: Northwestern University, 2010

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2016 ได้มีงานวิจัยเรื่อง Liquid low-flow calibration rig using syringe pump and weighing tank system ในการศึกษาได้พัฒนาอุปกรณ์สอบเทียบที่ใช้อัตราการไหลต่ำระหว่าง 0.02 ลิตรต่อชั่วโมง ถึง 60 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยถังชั่งน้ำหนักแบบกราวิเมตริกและปั๊มหลอดฉีดได้รับการพัฒนาในการศึกษานี้ ปั๊มกระบอกฉีดจะถูกสอบเทียบโดยใช้วิธีเริ่มต้นและหยุดแบบขึ้นของการชั่งน้ำหนักแบบคงที่ เนื่องจากปัญหาเกี่ยวกับวิธีการขึ้นแบบขึ้นสามารถหลีกเลี่ยงได้ในขั้นตอนการสอบเทียบกระบอกฉีด มิเตอร์วัดอัตราการไหล DUT ได้รับการสอบเทียบโดยใช้ปั๊มกระบอกฉีดพร้อมวิธีเริ่มต้นและสิ้นสุดการบิน ในขั้นตอนการสอบเทียบ DUT ผลกระทบของข้อผิดพลาดในการระเหยจะหมดไป เนื่องจากแท่นสอบเทียบสามารถสร้างระบบท่อแบบปิดได้ ได้มีการพัฒนาระบบถังชั่งน้ำหนักที่ลดผลกระทบของการสัมผัสต่อทางออกและการระเหยให้เหลือน้อยที่สุด วิธีการป้องกันของเหลวที่มีอยู่ลงในถังชั่งน้ำหนักได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยใช้กลไกการเคลื่อนที่ในแนวตั้งเพื่อแยกท่อทางออกออกจากพื้นผิวของเหลวในถังชั่งน้ำหนัก อัตราการระเหยลดลงโดยใช้เทคนิคการจับการระเหยที่เกี่ยวข้องกับบรรยากาศไออัมดว อย่างไรก็ตาม ผลของการระเหยได้รับการแก้ไขในระหว่างการสอบเทียบกระบอกฉีด เนื่องจากผลการระเหยโดยประมาณยังคงมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปริมาตรของเหลวที่เก็บรวบรวมที่อัตราการไหลต่ำ มีการตรวจสอบการพึ่งพาตำแหน่งของแฟกเตอร์พัลส์ของกระบอกฉีดในขอบเขตปริมาตรของกระบอกสูบ และได้รับการยืนยันว่าน้อยกว่าความสามารถในการทำซ้ำ มีการตรวจสอบผลกระทบของก๊าซละลายและหลีกเลี่ยงได้สำเร็จโดยใช้เครื่องไล่ก๊าซแบบอินไลน์ ปัจจัยพัลส์ของหลอดฉีดที่ปรับเทียบแล้วที่อัตราการไหลทั้งหมดกับน้ำมันเบนและน้ำมันเบนซินอุตสาหกรรม มีการประเมินความไม่แน่นอนในงานวิจัยนี้ ความไม่แน่นอนที่ประเมินแล้วเป็นไปตามข้อกำหนดเป้าหมายของการศึกษานี้ มีการเปิดเผยว่าแหล่งที่มาหลักของความไม่แน่นอนคือองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับความเสถียรของอุณหภูมิและความสามารถในการทำซ้ำในระยะยาวของปัจจัยพัลส์ของกระบอกฉีด สำหรับแท่นชั่งที่มีอัตราการไหลต่ำที่เสนอ ผลลัพธ์ที่ได้รับในการศึกษานี้บ่งชี้ว่าความเสถียรของอุณหภูมิมีความสำคัญ และปริมาณการเชื่อมต่อระหว่าง DUT และมาตรฐานอ้างอิงควรลดลงให้เหลือน้อยที่สุด (Doihara, Shimada, Cheong, & Terao, 2016, pp.90-101)

ในปี 2016 มีงานวิจัยเรื่อง An Inexpensive Programmable Dual-Syringe Pump for the Chemistry Laboratory ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปั๊มหลอดฉีดที่ถูกควบคุมโดย Raspberry Pi อินเทอร์เน็ต Raspberry Pi กับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรมซอฟต์แวร์เพื่อ

ควบคุมปั๊มหลอดฉีดยาได้รับการพัฒนาใน Python ซึ่งเป็นภาษาการเขียนโปรแกรมที่เน้นความเรียบง่าย ไวยากรณ์ที่อ่านได้ รหัสนี้ใช้กับกระบอกฉีดยาโดยเฉพาะและสามารถบันทึกไว้เพื่อใช้ในภายหลังได้ สำหรับกระบอกฉีดยาแต่ละอัน ผู้ใช้ป้อนความจุของกระบอกฉีดยา (เป็นมิลลิลิตร) ความยาวของกระบอกฉีดยาตั้งแต่ 0 มิลลิลิตร ถึงปริมาตรสูงสุด (เป็นมิลลิเมตร) และชื่อของกระบอกฉีดยา (เช่น กระบอกฉีดยา 50 มิลลิลิตร) ในการจ่ายยา ผู้ใช้ป้อนชื่อของกระบอกฉีดยาที่จะใช้ ปริมาตรที่จะจ่าย (เป็นมิลลิลิตร) และเวลาที่ต้องจ่าย (เป็นชั่วโมง) ด้วยตัวแปรเหล่านี้ โปรแกรมจะคำนวณจำนวนก้าวที่มอเตอร์ต้องดำเนินการ (ขึ้นอยู่กับขั้นตอนต่อการรอบการหมุนของมอเตอร์ อัตราทดเกียร์ และเกลียวต่อนิ้วของเกลียว) และแบ่งเวลาในการจ่ายตามขั้นตอนเหล่านี้ โดยรวมแล้ว ประสิทธิภาพของปั๊มกระบอกฉีดไม่ขึ้นอยู่กับกระบอกฉีดแก้วที่ใช้และ/หรือปริมาตรการจ่าย (ค่า p ที่ได้มาจากการทดสอบ t แบบสองด้าน (ปริมาตรการจ่ายจริงเทียบกับปริมาตรการจ่ายตามทฤษฎี) ล้วนมากกว่า 0.05) แม้ว่าเปอร์เซ็นต์ข้อผิดพลาดสัมพัทธ์จะบ่งชี้ว่าความแม่นยำของการจ่ายยาเทียบได้กับปั๊มโอเพ่นซอร์สจำพวกอื่น ๆ แต่เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยสัมพัทธ์ระหว่างการจ่าย 5 เปอร์เซ็นต์บ่งชี้ว่าโดยรวมแล้วยังขาดความแม่นยำในการจ่ายซ้ำ หากไม่มีสถิติและแท่งเรียบที่ออกแบบมาเป็นพิเศษพร้อมดัดลูกปืนเชิงเส้น จึงไม่ใช่เรื่องไม่คาดคิดที่การออกแบบจะแสดงให้เห็นสัญญาณการสั่นเป็นจังหวะ แม้ว่าการขาดความแม่นยำอาจทำให้ประโยชน์ของปั๊มหลอดฉีดยาสำหรับงานไทเทรตลดลง แต่พบว่าปั๊มหลอดฉีดยาทำงานได้โดยไม่เกิดข้อผิดพลาดในการจ่ายยาแบบควบคุมข้ามคืน (Cubberley, & Hess, 2016, pp.72-74)

ในปี 2019 มีงานวิจัยเรื่อง An Open Source Syringe Pump Controller for Fluid Delivery of Multiple Volumes มีเป้าหมายเพื่อการพัฒนาตัวควบคุมของปั๊มแบบ Open source และสามารถทำงานอัตโนมัติในการส่งของเหลวที่มีปริมาณต่าง ๆ วิธีการในการทำงาน คือ ตัวควบคุมปั๊มจะถูกพัฒนาโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และซอฟต์แวร์แบบ Open source ตัวควบคุมนี้สามารถจ่ายมอเตอร์ของปั๊มในระดับต่าง ๆ ได้ตามที่กำหนด โดยที่ผู้ใช้สามารถกำหนดปริมาณที่ต้องการจะส่งของเหลวได้ สรุปคืองานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมแบบ Open source ที่สามารถนำไปใช้ในการส่งของเหลวที่มีปริมาณต่าง ๆ ได้ การทำงานอัตโนมัติและความสามารถในการกำหนดปริมาณทำให้ตัวควบคุมนี้เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการใช้งานในการทำวิจัย (Amarante, Newport, Mitchell, Wilson, & Laubach, 2019, pp.1-8)

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยเรื่องระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลายด้วยกระบอกฉีดยา สำหรับการให้ยาปริมาณน้อยโดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1 ทัศนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1.1.1 โปรแกรม MATLAB 2020 ใช้ในการคำนวณหาทรานส์ฟอร์มฟังก์ชันของระบบที่ต้องการศึกษา

3.1.2 ภาคประมวลผล

ภาคประมวลผลประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมและประมวลผลของข้อมูล รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้การวัดผลของการทดสอบต่าง ๆ

3.1.2.1 Microcontroller Arduino Nano จำนวน 1 ตัว

3.1.2.2 Power Supply 5V จำนวน 1 เครื่อง

3.1.2.3 Servo Motor 360° จำนวน 1 ตัว

3.1.2.4 DC Motor จำนวน 1 ตัว

3.1.2.5 N20 Motor Encoder จำนวน 1 ตัว

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยเรื่องระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลายด้วยกระบอกฉีดยา สำหรับการให้ยาปริมาณน้อย โดยการใช้เซอร์โวมอเตอร์ แบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็น 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

3.2.1 การหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของกระบอกฉีด

การออกแบบระบบควบคุมเครื่องให้สารละลายปริมาณน้อย เริ่มต้นจากการหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของกระบอกฉีด โครงสร้างของกระบอกฉีด ดังแสดงรูปที่ 3.1 สามารถพิจารณาอยู่ในรูปแบบของทรานเฟอร์ฟังก์ชันได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของกระบอกฉีด

โดยการกำหนดตัวแปรคือ

q = อัตราการไหล หน่วย ml/s

$X(t)$ = ระดับสารละลาย

A = พื้นที่หน้าตัด หน่วย m

R = ความต้านทาน หน่วย Ω

F = แรงที่กระทำกับกระบอกฉีด

พิจารณาการไหลของกระบอกฉีดได้ดังนี้

$$\frac{A dx(t)}{dt} = q_{in}(t) - q_{out}(t) \quad (3-1)$$

$$q_{out} = \frac{1}{R} x(t) \quad (3-2)$$

เมื่อนำสมการที่ 1 และ 2 มารวมกันจะได้เป็น

$$\frac{A dx(t)}{dt} + \frac{1}{R} x(t) = q_{in}(t) \quad (3-3)$$

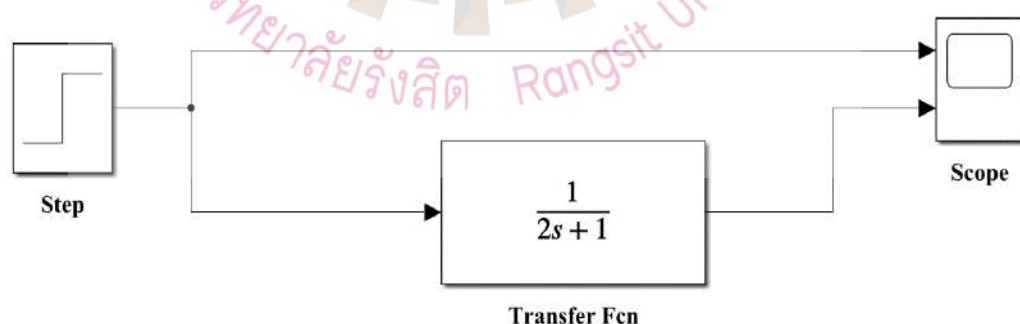
หลังจากนั้นทำการหา Transfer function ของระบบ โดยการพิจารณาในรูปแบบ Laplace Transform

$$x(s) = \frac{K}{Ts+1} q_{in}(s) \quad (3-4)$$

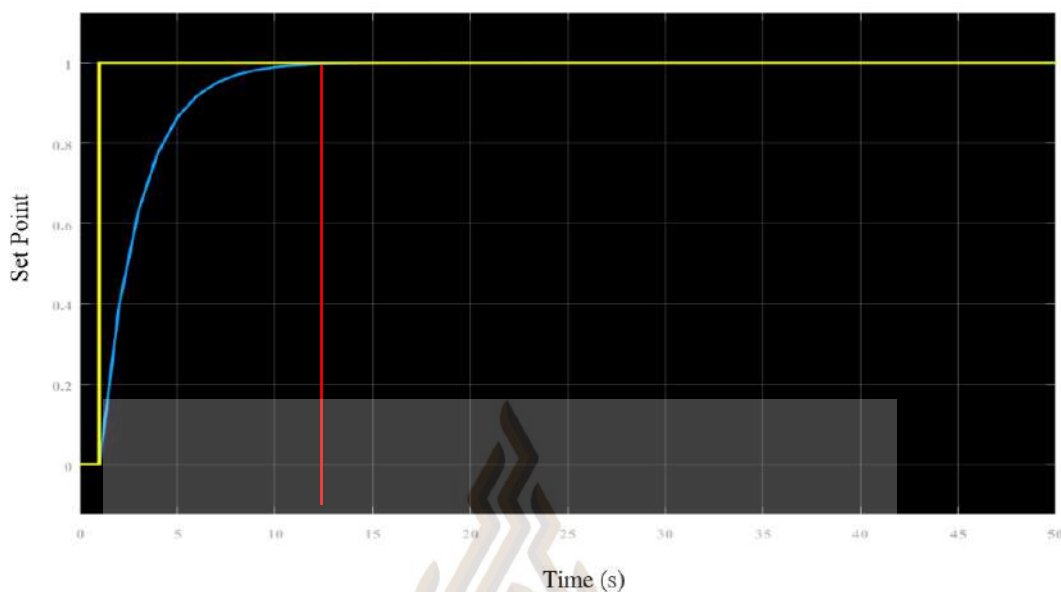
ทำการ Transform

$$x(s) = \frac{R}{ARs+1} q_{in}(s) \quad (3-5)$$

หลังจากนั้นนำสมการที่ 5 ใช้โปรแกรม Simulink ทำจำลองการทำงาน โดยที่กำหนดคุณสมบัติให้ $R=1$, $AR=2$ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่ออกแบบ



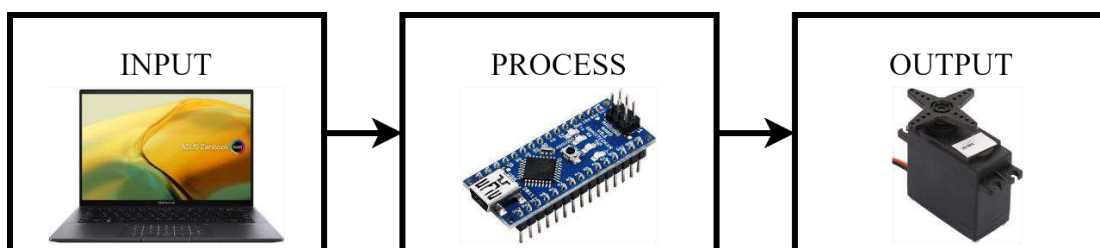
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงอัตราการไหลของกระบอกฉีด

จากรูปที่ 3.3 กราฟที่แสดงค่าของ Set point มีค่าเป็นคงที่ที่ 1 ซึ่งถูกกำหนดไว้ในเส้นสีเหลือง ขณะที่เส้นสีฟ้าแสดงถึงการเริ่มต้นการไหลของสารละลายในกระบอกฉีด โดยสังเกตเห็นว่าอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณจะเข้าสู่จุด Set point ประมาณ 10 วินาที ดังนั้น การทำงานของระบบนี้จะต้องเริ่มต้นที่ 10 วินาที

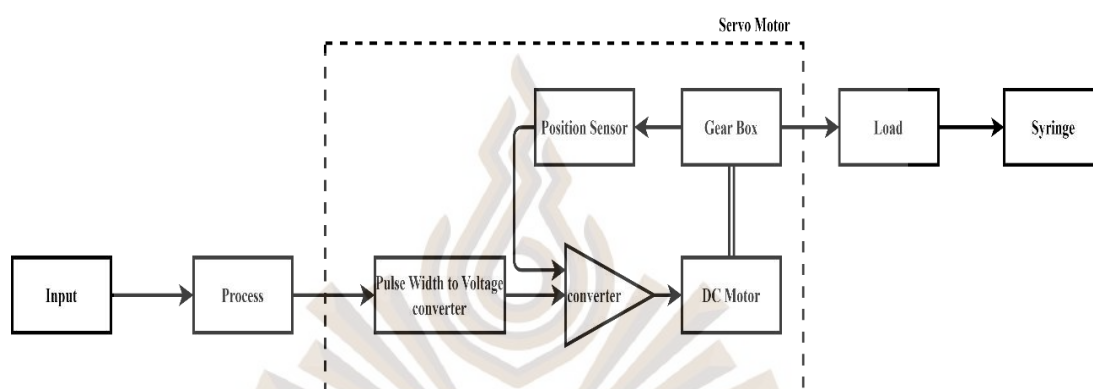
3.2.2 การทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์นั้นเกิดขึ้นจากการป้อนสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (PWM) เข้าไปที่วงจรแปลงสัญญาณ เพื่อเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า หลังจากนั้นแรงดันไฟฟ้าจะเข้าสู่ชุดขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และทำขับมอเตอร์ให้ทำการหมุน ซึ่งมอเตอร์นั้นถูกยึดติดกับชุดเกียร์ที่มีโพเทนชิโอมิเตอร์ที่ทำหน้าที่คอยเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างมอเตอร์ที่ทำการหมุนกับสัญญาณที่ถูกป้อนเข้ามา ซึ่งโพเทนชิโอมิเตอร์จะส่งการให้มอเตอร์หยุดที่ตำแหน่งนั้น ๆ แต่ในการทดลองครั้งนี้เป็นการใช้เซอร์โวมอเตอร์แบบ Close loop เนื่องจากต้องการให้มอเตอร์นั้นทำการหมุนแบบต่อเนื่อง และใช้ความกว้างของพัลส์วิดท์มอดูเลชันในการควบคุมความเร็วของเซอร์โวมอเตอร์

การทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์นั้นมีหลักการออกแบบตามบล็อกไดอะแกรม ตามรูปที่ 3.4 ซึ่งประกอบด้วย Input, Process, Output



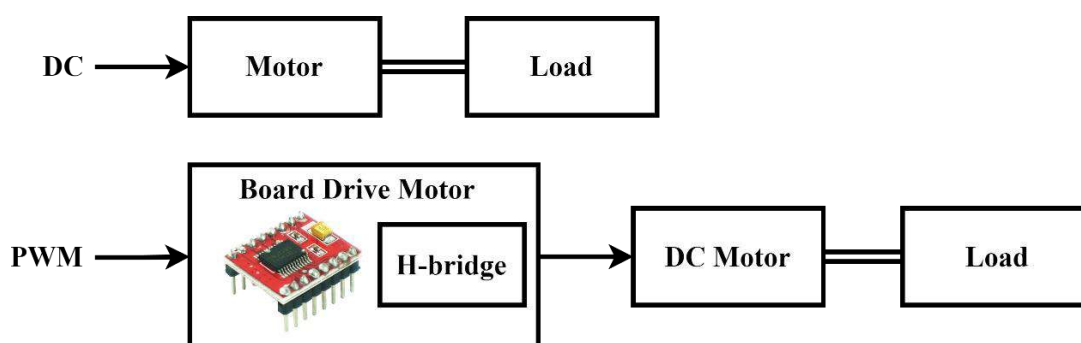
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมหลักการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

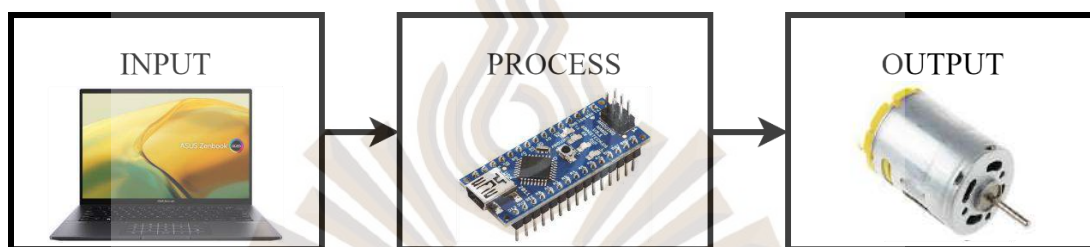
เมื่อขยายบล็อกไดอะแกรมหลักการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ตามรูปที่ 3.5 เริ่มต้นจากการเขียนโปรแกรมเพื่อส่งชุดข้อมูลไปยังชุดประมวลผล หลังจากนั้นชุดประมวลผลจะส่งข้อมูลเพื่อสั่งการการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ที่ได้กล่าวหลักการทำงานไว้ข้างต้น เมื่อสั่งการการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ตัวเซอร์โวมอเตอร์นั้นจะมีชุดเกียร์ที่จะเชื่อมไปยังตัวรางสไลด์เพื่อทำการควบคุมกระบอกฉีด

3.2.3 การทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง



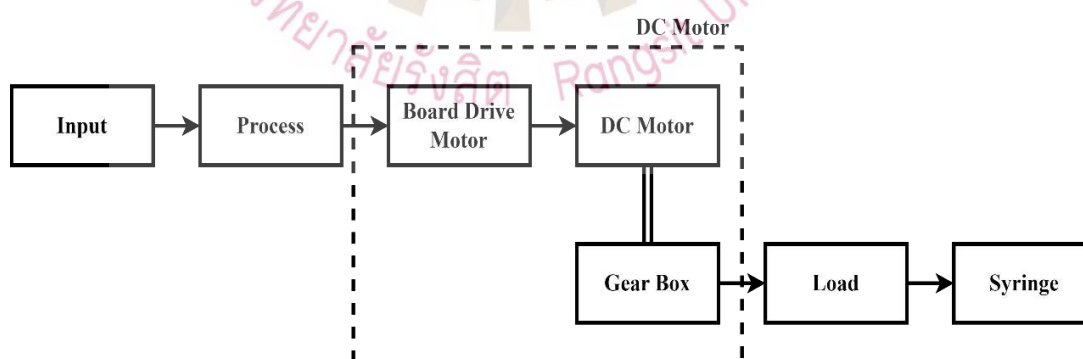
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

การทำงานของมอเตอร์กระแสตรงนั้น สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 แบบที่ทำการศึกษารูปที่ 3.6 การทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบที่ 1 คือการป้อนไฟตรงไปยังมอเตอร์ ซึ่งการทำงานแบบนี้ สามารถการทำงานและการควบคุมความเร็วได้ แต่ยังไม่เสถียรพอสำหรับระบบควบคุมที่ทำการศึกษางานของมอเตอร์กระแสตรงแบบที่ 2 คือ การป้อนสัญญาณพัลส์วิตช์มอดูเลชันเข้าสู่ชุดขับมอเตอร์ ซึ่งในชุดขับมอเตอร์นั้นมีคุณสมบัติของ H-bridge มอเตอร์ ที่เป็นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่สลับขั้วไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ เพื่อที่สามารถทำการสั่งการให้มอเตอร์ทำการหมุนทวนเข็มนาฬิกา หรือ ตามเข็มนาฬิกาได้โดยการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมหลักการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

การทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงนั้นมีหลักการออกแบบตามบล็อกไดอะแกรม ตามรูปที่ 3.7 ซึ่งประกอบด้วย Input, Process, Output

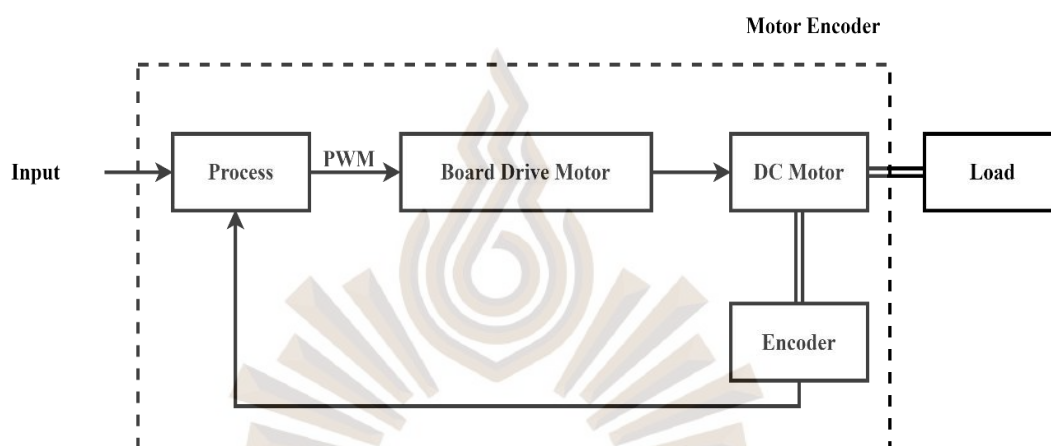


รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

เมื่อขยายบล็อกไดอะแกรมหลักการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงตามรูปที่ 3.8 เริ่มต้นจากการเขียนโปรแกรมเพื่อส่งชุดข้อมูลไปยังชุดประมวลผล หลังจากนั้นชุดประมวลผลจะส่งข้อมูลเพื่อสั่งการการทำงานที่วงจรของมอเตอร์กระแสตรงที่ได้

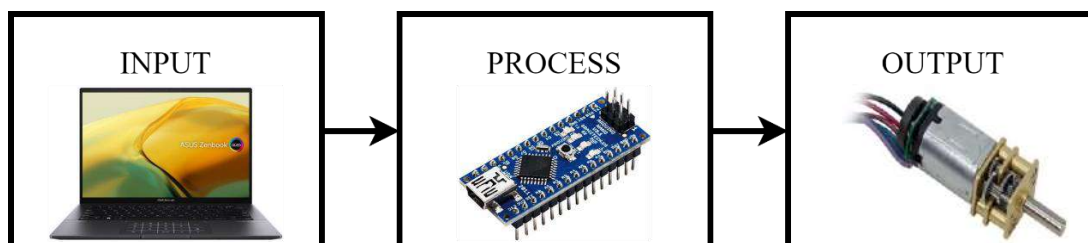
กล่าวหลักการการทำงานไว้ข้างต้นในการทำงานแบบที่ 2 เมื่อสั่งการการทำงานของมอเตอร์ กระแสตรง ตัวมอเตอร์กระแสตรงนั้นจะมีชุดเกียร์ที่จะเชื่อมไปยังตัวรางสไลด์เพื่อทำการควบคุม กระบอกน็อค

3.2.4 การทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์เอนโค้ดเดอร์



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของมอเตอร์เอนโค้ดเดอร์

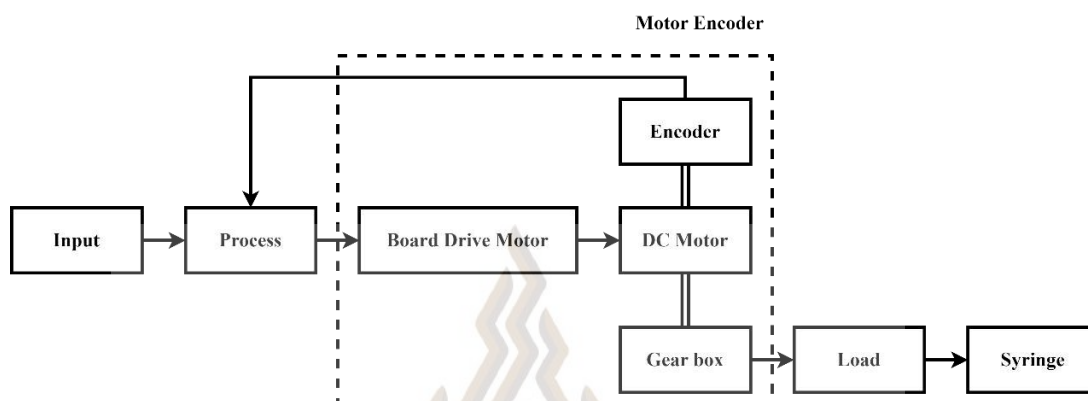
การทำงานของมอเตอร์เอนโค้ดเดอร์นั้นเป็นตามดังรูปที่ 3.9 เมื่อชุดประมวลผลส่ง สัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (PWM) ไปยังชุดขับมอเตอร์ ชุดขับมอเตอร์จะควบคุมมอเตอร์ กระแสตรง ซึ่งมอเตอร์กระแสตรงนี้มีเอนโค้ดเดอร์ชนิด Incremental Rotary Encoder ที่ทำงานโดยใช้การหมุนของแกนเฟลา สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์จะมีลักษณะเป็นสแควร์เวฟ สัญญาณนี้จะถูกส่งกลับไปยังชุดประมวลผล เพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตที่ ป้อนเข้ามา กับข้อมูลที่รับจากเอนโค้ดเดอร์



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมหลักการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบ

การทำงานของมอเตอร์เอนโค้ดเดอร์

การทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์เอนโค้ดเดอร์นั้นมีหลักการออกแบบตามบล็อกไดอะแกรม ตามรูปที่ 3.10 ซึ่งประกอบด้วย Input, Process, Output



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์เอนโค้ดเดอร์

เมื่อขยายบล็อกไดอะแกรมหลักการการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์เอนโค้ดเดอร์ตามรูปที่ 3.11 เริ่มต้นจากการเขียนโปรแกรมเพื่อส่งชุดข้อมูลไปยังชุดประมวลผล หลังจากนั้นชุดประมวลผลจะส่งข้อมูลเพื่อสั่งการการทำงานที่วงจรของมอเตอร์เอนโค้ดเดอร์ที่ได้กล่าวหลักการการทำงานไว้ข้างต้น เมื่อสั่งการการทำงานของมอเตอร์เอนโค้ดเดอร์ ตัวมอเตอร์เอนโค้ดเดอร์นั้นจะมีชุดเกียร์ที่จะเชื่อมไปยังตัวรางสไลด์เพื่อทำการควบคุมกระบอกฉีด

3.3 วิธีการทดสอบงานวิจัย

เพื่อทำการทดสอบผลที่ออกแบบถูกต้อง และเหมาะสมกับงานวิจัยนี้หรือไม่ งานวิจัยนี้ได้แบ่งวิธีการทดสอบออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

3.3.1 การทดสอบการควบคุมระยะทางเกลียวที่ยึดติดกับมอเตอร์

การทดสอบการควบคุมระยะทางเกลียวที่ยึดติดกับมอเตอร์ จำเป็นต้องมีการวัดระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่เมื่อมอเตอร์ทำงาน การทดสอบนี้สามารถดำเนินการได้โดยการตั้งค่าและปรับแต่งมอเตอร์และเกลียวให้เหมาะสมกับการใช้งาน

3.3.1.1 วัตถุประสงค์

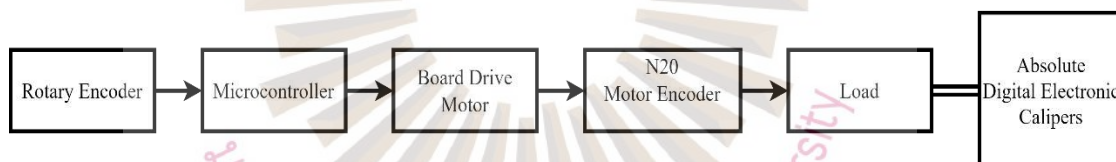
เพื่อศึกษาระยะทางของเกลียวขณะที่มอเตอร์กำลังทำงาน

3.3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

- 1) Microcontroller Arduino Nano
- 2) Power Supply 5V
- 3) N20 Motor Encoder
- 4) Absolute Digital Electronic Calipers
- 5) Board Drive Motor
- 6) Rotary Encoder

3.3.1.3 วิธีการทดสอบ



รูปที่ 3.12 การทดสอบการควบคุมระยะทางเกลียวที่ยึดติดกับมอเตอร์

จากรูปที่ 3.12 คือ การออกแบบวงจรเพื่อทดสอบระยะทางเกลียวที่ยึดติดกับมอเตอร์ โดยเริ่มจากการส่งข้อมูลจาก Rotary Encoder ไปยัง Microcontroller Arduino Nano ซึ่งจะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับแล้วส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Board Drive Motor เพื่อสั่งการให้ N20 Motor Encoder ทำการหมุน เมื่อมอเตอร์หมุน Load ที่เชื่อมต่ออยู่จะหมุนตามคำสั่งที่ได้รับ หลังจากนั้นการหมุนของมอเตอร์จะทำการวัดระยะทางที่เกิดขึ้นด้วย Absolute Digital Electronic Calipers และบันทึกผล

3.3.2 การทดสอบการควบคุมความเร็วรอบ

การทดสอบการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เป็นกระบวนการที่สำคัญในการพัฒนาและตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบที่ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อน

3.3.2.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สามารถใช้ในการควบคุมระบบ

3.3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

- 1) Microcontroller Arduino Nano
- 2) Power Supply 5V
- 3) N20 Motor Encoder
- 4) Board Drive Motor
- 5) Rotary Encoder

3.3.2.3 วิธีการทดสอบ



รูปที่ 3.13 การทดสอบการควบคุมความเร็วรอบ

จากรูปที่ 3.13 คือ การทดสอบการควบคุมความเร็วรอบทำการป้อนความเร็วรอบต่อหน้าที่ต่างกัน เพื่อผลลัพธ์ว่าช่วงไหนเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการควบคุมและการทดลองต่อไป

3.3.3 การทดสอบปริมาณของสารละลาย

การทดสอบปริมาณของสารละลายเป็นกระบวนการที่สำคัญในการนำมาวิเคราะห์สารละลาย

3.3.3.1 วัตถุประสงค์

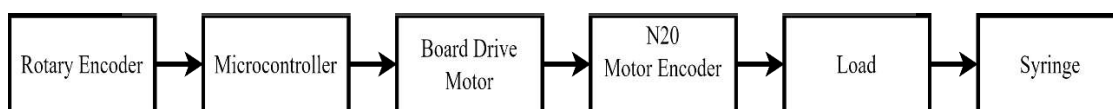
เพื่อศึกษาสัญญาณที่ป้อนเข้าไปว่าจะได้ปริมาณสารละลายที่ได้ออกมาเท่าไร

3.3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

- 1) Microcontroller Arduino Nano
- 2) Power Supply 5V
- 3) N20 Motor Encoder
- 4) Board Drive Motor
- 5) Rotary Encoder
- 6) Syringe

3.3.3.3 วิธีการทดสอบ



รูปที่ 3.14 การทดสอบปริมาณของสารละลาย

จากรูปที่ 3.14 คือ การทดสอบปริมาณของสารละลาย โดยเริ่มจากการส่งข้อมูลจาก Rotary Encoder ไปยัง Microcontroller Arduino Nano ซึ่งจะทำให้ประมวลผลข้อมูลที่ได้รับแล้วส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Board Drive Motor เพื่อสั่งการให้ N20 Motor Encoder ทำการหมุน

เมื่อมอเตอร์หมุน Load จะหมุนตาม ซึ่งจะทำให้การควบคุม Syringe ให้ดันสารละลายออกมา จากนั้น จะทำการวัดปริมาณสารละลายที่ถูกดันออกมาและบันทึกผล

3.3.4 การทดสอบการหาอัตราการไหลของสารละลาย

การทดสอบการหาอัตราการไหลของสารละลายเป็นกระบวนการที่สำคัญในการวิเคราะห์ และควบคุมการไหลของสารละลาย

3.3.4.1 วัตถุประสงค์

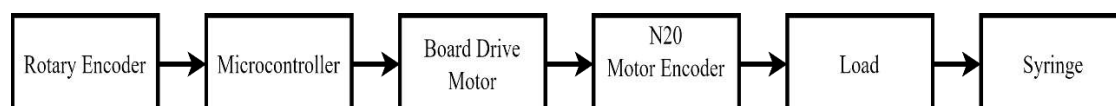
เพื่อศึกษาสัญญาณที่ป้อนเข้าไปว่าจะได้ปริมาณสารละลายพร้อมกับการจับเวลาว่าจะได้อัตราการไหลเท่าไร

3.3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

- 1) Microcontroller Arduino Nano
- 2) Power Supply 5V
- 3) N20 Motor Encoder
- 4) Board Drive Motor
- 5) Rotary Encoder
- 6) Syringe

3.3.4.3 วิธีการทดสอบ



รูปที่ 3.15 การทดสอบการหาอัตราการไหลของสารละลาย

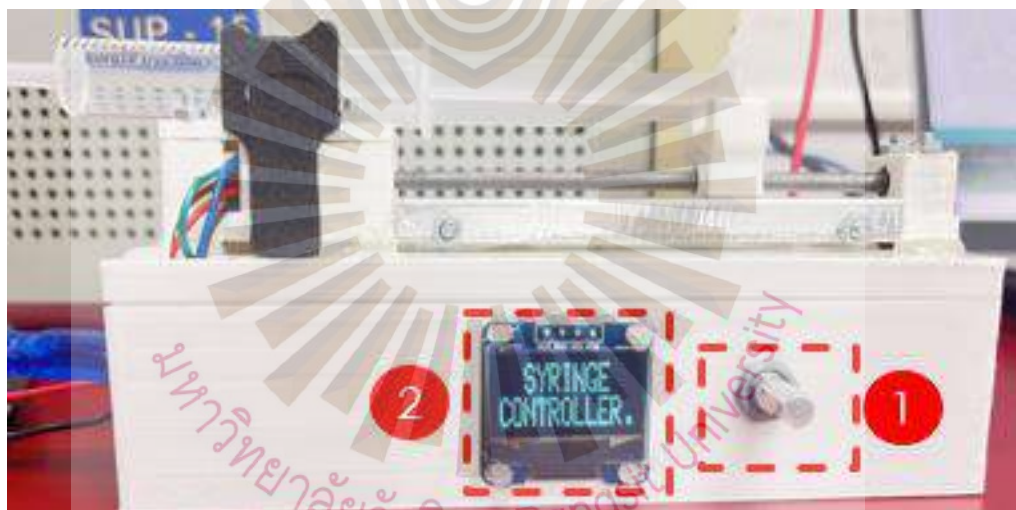
จากรูปที่ 3.15 คือ การทดสอบการหาอัตราการไหลของสารละลาย โดยเริ่มจากการส่งข้อมูลจาก Rotary Encoder ไปยัง Microcontroller Arduino Nano ซึ่งจะทำให้การประมวลผลข้อมูลที่ได้รับแล้วส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Board Drive Motor เพื่อสั่งการให้ N20 Motor Encoder ทำการหมุน เมื่อมอเตอร์หมุน Load จะหมุนตาม ซึ่งจะทำให้การควบคุม Syringe ให้ดันสารละลายออกมา จากนั้นจะทำการวัดปริมาณสารละลายที่ถูกดันออกมาและทำการจับเวลา หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่าอัตราการไหลพร้อมบันทึกผล



บทที่ 4

ผลการวิจัย

การจัดทำงานวิจัยเรื่องระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลายด้วยกระบอกฉีดยาสำหรับการให้ยาปริมาณน้อย โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมการให้สารละลายปริมาณน้อย ทางผู้จัดทำงานวิจัยจึงได้ทำการทดสอบเน้นที่การตรวจสอบระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลาย รวมถึงการทดสอบความสามารถในการใช้งานของตัวควบคุมที่ออกแบบมาตรฐานตามขอบเขตที่กำหนดไว้ในการวิจัย



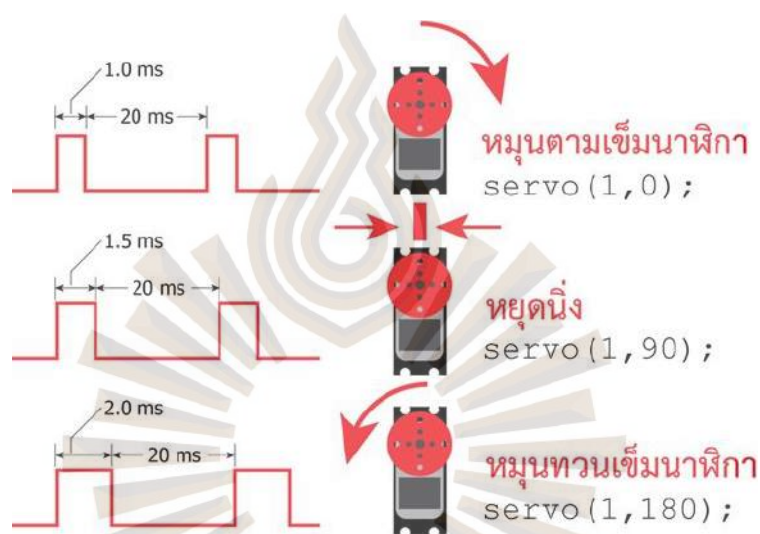
รูปที่ 4.1 เครื่องให้สารละลายปริมาณน้อย

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงผลงานที่เสร็จสมบูรณ์ ซึ่งประกอบไปด้วยชุดควบคุมที่ทำมาจากเอ็นไอคัดเตอร์ หมายเลข 1 หน้าจอนั้นใช้ OLED ในการแสดงผล หมายเลข 2 รวมไปถึงการใช้มอเตอร์เอ็นไอคัดเตอร์ในการควบคุมเครื่องให้สารละลายปริมาณน้อย

4.1 ผลการทดสอบ

การจัดทำงานวิจัยระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลายด้วยกระบอกฉีดยาสำหรับการให้ยาปริมาณน้อย โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ ได้ทำผลการวิจัยที่เสร็จสมบูรณ์ ดังนี้

4.1.1 การทดสอบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 4.2 ผลของหลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

ที่มา: Inex, 2016

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลการศึกษาหลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แบบ 360 องศา พบว่า แม้จะสามารถควบคุมทิศทางการหมุนได้แต่ไม่สามารถควบคุมตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นเซอร์โวมอเตอร์ประเภทนี้จึงไม่เหมาะสมสำหรับการทดสอบระบบที่ต้องการความแม่นยำสูงในการกำหนดตำแหน่ง

4.1.2 การทดสอบการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

จากการศึกษามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพบว่า การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถปรับความเร็วและทิศทางการหมุนได้โดยการปรับแรงดันและกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ อย่างไรก็ตาม ในการควบคุมระบบให้สารละลายที่ต้องการนั้น จำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจจับตำแหน่งเพื่อให้ได้ความแม่นยำสูง การใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพียง

อย่างเฉียวไม่สามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้ เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีความสามารถในการตรวจจับตำแหน่งที่แม่นยำโดยตรง ดังนั้นการใช้งานในระบบที่ต้องการการควบคุมตำแหน่งที่แม่นยำควรพิจารณาการใช้มอเตอร์ประเภทอื่นที่มีระบบตรวจจับตำแหน่งหรือการเสริมเซ็นเซอร์เพิ่มเติมเพื่อให้การควบคุมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

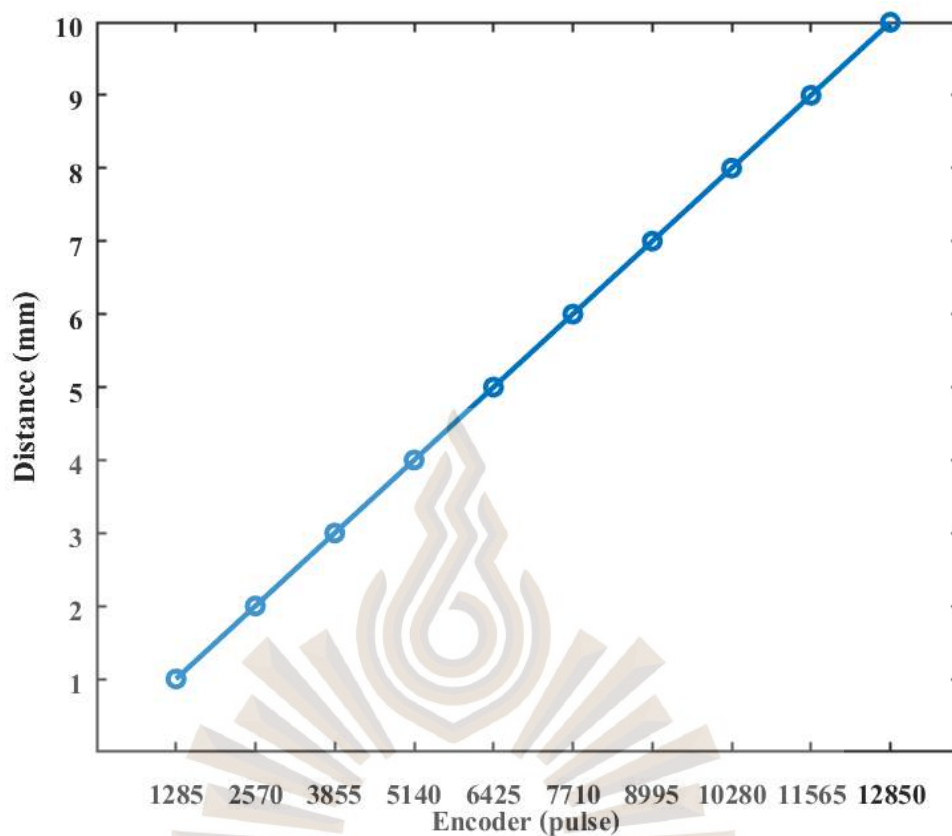
4.1.3 การทดสอบการทำงานของมอเตอร์เอ็นโค้ดเดอร์

จากการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์เอ็นโค้ดเดอร์ พบว่ามอเตอร์เอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้ในระบบนี้คือมอเตอร์เอ็นโค้ดเดอร์ N20 ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือ มอเตอร์หนึ่งรอบจะมีค่าเอ็นโค้ดเดอร์ 1 เฟส อยู่ที่ 900 พัลส์ และมีระยะของเกลียวอยู่ที่ 0.7 พิช เมื่อต้องการให้มอเตอร์ในระบบมีระยะการขยับของเกลียวเท่ากับ 1 มิลลิเมตร จะต้องให้ค่าเอ็นโค้ดเดอร์ 1 เฟส เท่ากับ 1285 พัลส์ โดยสามารถคำนวณค่าเหล่านี้ได้โดยใช้วิธีการเทียบบัญญัติไตรยางศ์

ความสัมพันธ์นี้ได้แสดงในตารางที่ 4.1 และภาพประกอบในรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอ็นโค้ดเดอร์และระยะทางที่มอเตอร์ขยับอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอ็นโค้ดเดอร์กับระยะทาง

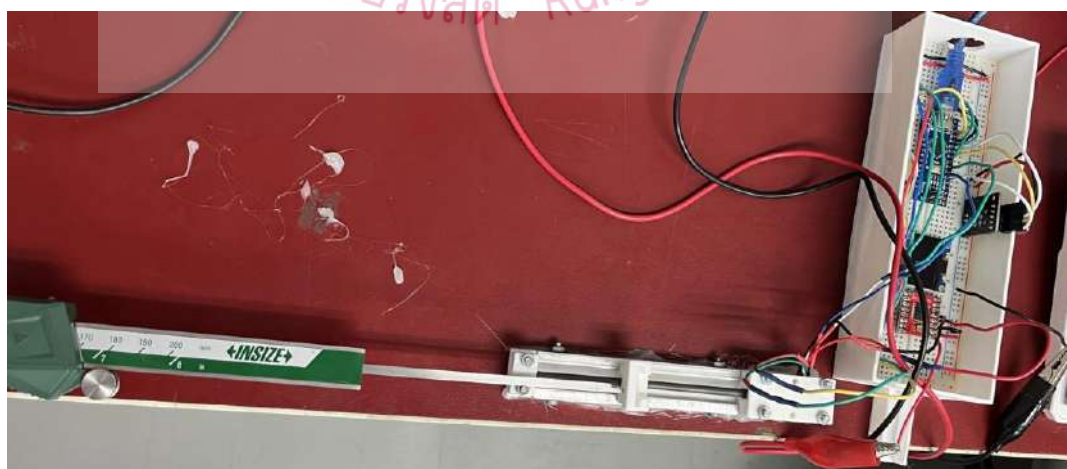
เอ็นโค้ดเดอร์ (pulse)	ระยะทาง (มิลลิเมตร)
1285	1
2570	2
3855	3
5140	4
6425	5
7710	6
8995	7
10200	8
11565	9
12850	10



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอ็นโค้ดเดอร์กับระยะทาง

4.2 ผลการทดสอบงานวิจัย

4.2.1 การทดสอบการควบคุมระยะทางเกลียวที่ยึดติดกับมอเตอร์



รูปที่ 4.4 การทดสอบการควบคุมระยะทางเกลียว

จากรูป 4.4 คือวิธีการทดสอบการควบคุมระยะทางเกลิยวที่ยึดติดกับมอเตอร์ ซึ่งได้ผลการทดสอบการควบคุมระยะทางเกลิยวที่ยึดติดกับมอเตอร์โดยได้จากการใช้ Absolute Digital Electronic Calipers ในการวัดค่าระยะทาง เป็นไปตามตารางดังต่อไปนี้

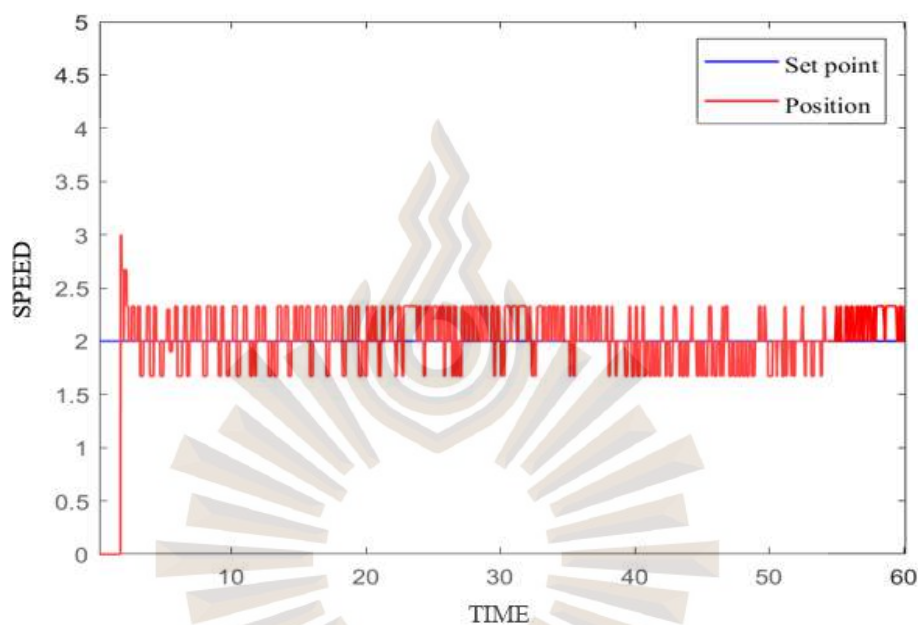
ตารางที่ 4.2 การวัดระยะทางเกลิยวที่ยึดติดกับมอเตอร์

เอ็นโค้ดเดอร์ (pulse)	ระยะทาง (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ยการวัด ระยะ (มิลลิเมตร)	ผลต่างระหว่าง ระยะทางจริง เทียบกับค่าเฉลี่ย การวัดระยะ (มิลลิเมตร)	เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด (%)
1285	1.00	1.00	0.00	0.00%
2570	2.00	2.01	0.01	0.50%
3855	3.00	3.04	0.04	1.33%
5140	4.00	4.01	0.01	0.25%
6425	5.00	5.01	0.01	0.20%
7710	6.00	6.03	0.03	0.50%
8995	7.00	7.01	0.01	0.14%
10200	8.00	8.02	0.02	0.25%
11565	9.00	9.00	0.00	0.00%
12850	10.00	10.01	0.01	0.10%

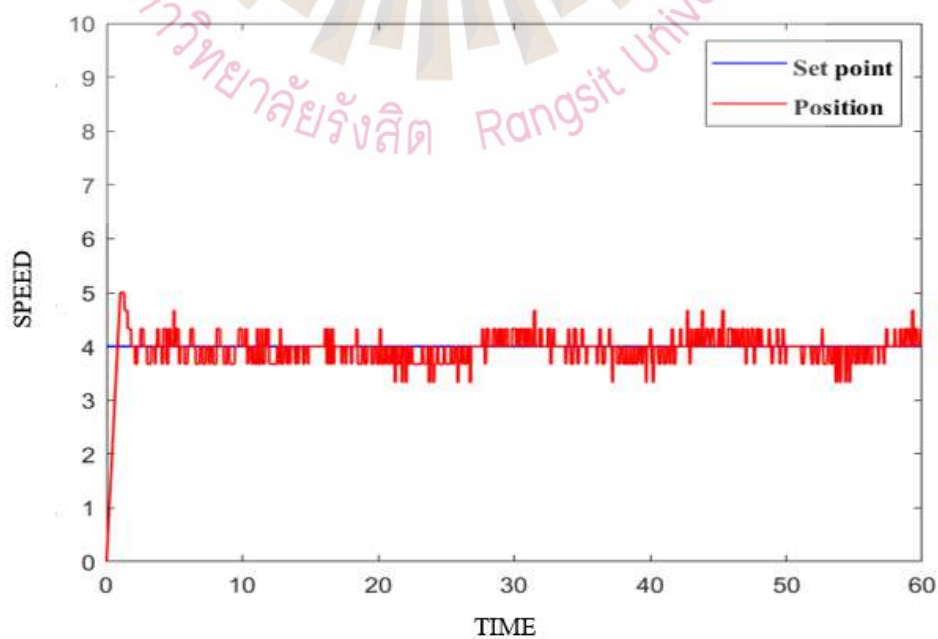
จากตารางที่ 4.2 จากการวัดระยะทางเกลิยวที่ยึดติดกับมอเตอร์ โดยการวัดจะทำการบันทึกข้อมูลจำนวน 10 ค่า และในแต่ละค่าจะทำการวัดซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของการวัดระยะทางสำหรับแต่ละค่า หลังจากได้ค่าเฉลี่ยแล้ว จะนำมาคำนวณหาผลต่างระหว่างระยะทางจริงและค่าเฉลี่ยการวัดระยะเพื่อประเมินความแม่นยำและความสอดคล้องของการทำงานของมอเตอร์กับการวัดระยะทาง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยสำหรับการวัดระยะทางทั้งหมดคือ 0.377% ซึ่งแสดงถึงระดับความแม่นยำที่ดีของระบบการวัดและการทำงานของมอเตอร์

4.2.2 การทดสอบการควบคุมความเร็วรอบ

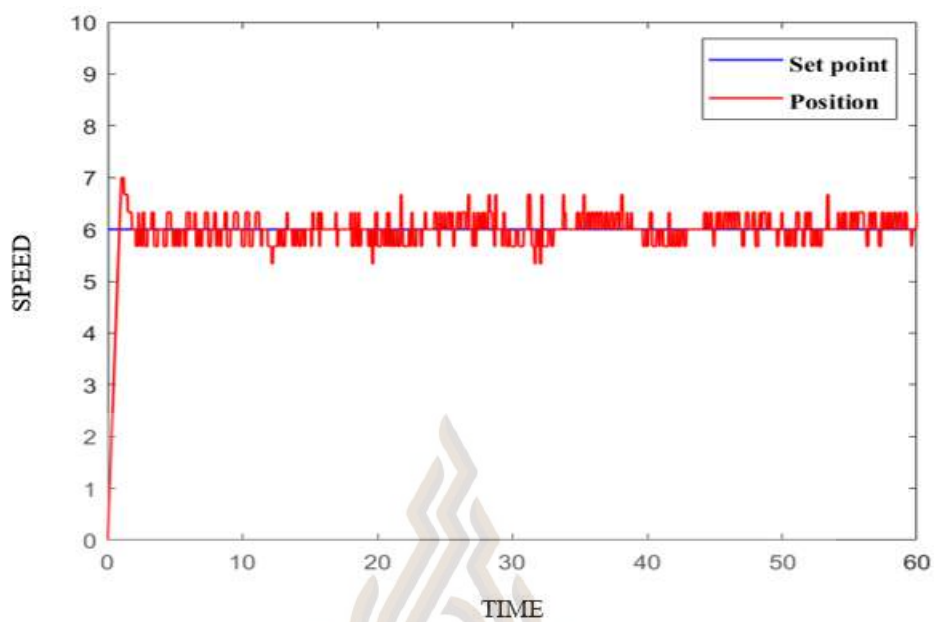
ผลการทดสอบการควบคุมความเร็วรอบ โดยใช้ความเร็วรอบที่ 2,4,6,8,10, รอบต่อ นาที แสดงผลออกมาเป็นกราฟดังนี้



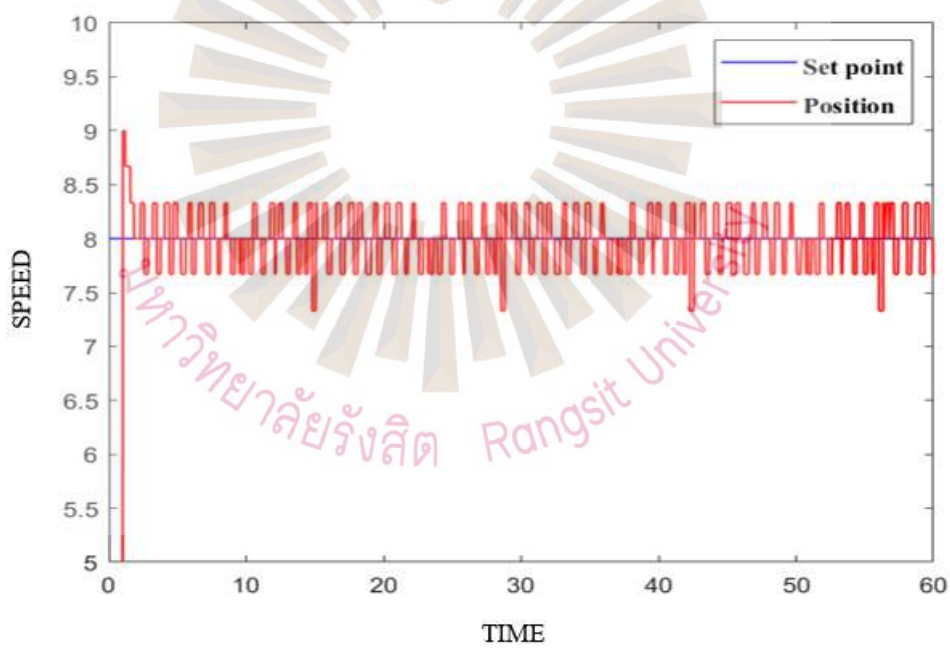
รูปที่ 4.5 กราฟความเร็วรอบที่ 2 รอบต่อนาที



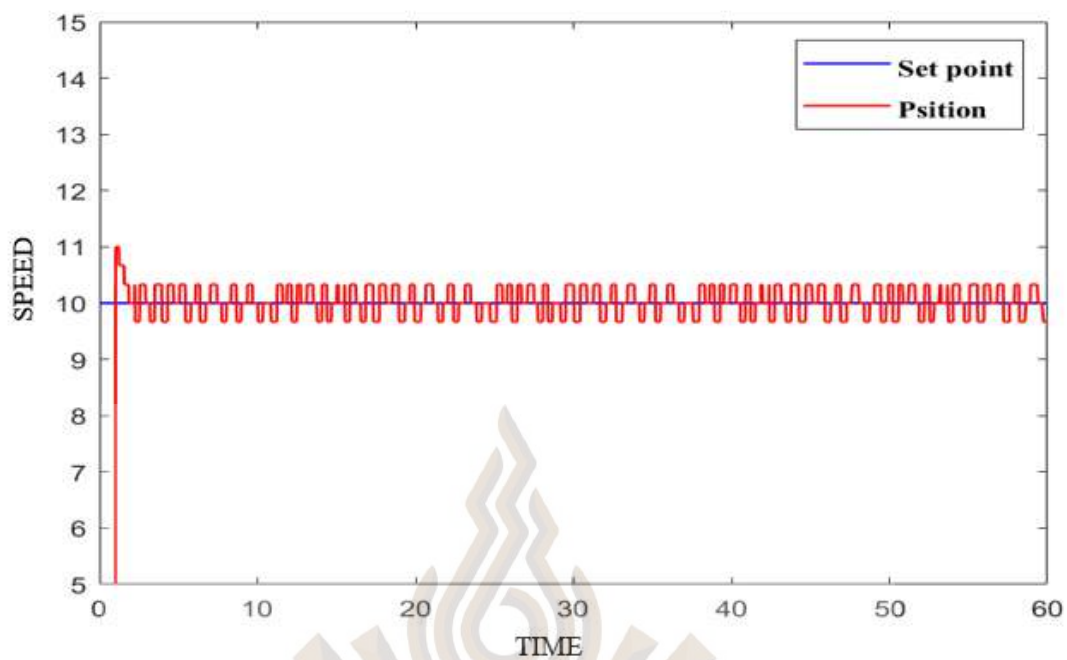
รูปที่ 4.6 กราฟความเร็วรอบที่ 4 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.7 กราฟความเร็วรอบที่ 6 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.8 กราฟความเร็วรอบที่ 8 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.9 กราฟความเร็วรอบที่ 10 รอบต่อนาที

จากรูป 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 แสดงกราฟที่แสดงให้เห็นถึงความเร็วรอบที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 รอบต่อนาที ซึ่งทำให้เห็นถึงความเสถียรของมอเตอร์

4.2.3 การทดสอบปริมาณของสารละลาย



รูปที่ 4.10 การทดสอบปริมาณของสารละลายโดยใช้การวัด

จากรูปที่ 4.10 คือวิธีการทดสอบปริมาณของสารละลาย ซึ่งผลการทดสอบปริมาณของสารละลาย โดยได้จากการใช้เครื่องชั่ง EPS-302 zepper ในการชั่งปริมาณสารละลายเป็นไปตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 การทดสอบปริมาณของสารละลาย

เอ็นโค้ดเดอร์ (pulse)	ปริมาณการไหล (มิลลิลิตร)	ค่าเฉลี่ยปริมาณที่ วัดได้ (มิลลิลิตร)	ผลต่างระหว่าง ปริมาณการไหล จริงเทียบกับ ค่าเฉลี่ยปริมาณท (มิลลิลิตร)	เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด (%)
1285	0.10	0.10	0.00	0.00%
2570	0.20	0.21	0.01	0.50%
3855	0.30	0.32	0.02	0.67%
5140	0.40	0.41	0.01	0.25%
6425	0.50	0.50	0.00	0.00%
7710	0.60	0.62	0.02	0.33%
8995	0.70	0.70	0.00	0.00%
10200	0.80	0.80	0.00	0.00%
11565	0.90	0.90	0.00	0.00%
12850	1.00	1.01	0.01	1.00%

จากตารางที่ 4.3 การทดสอบปริมาณสารละลายนี้ดำเนินการโดยการป้อนค่า Pulse และตั้ง
 น้ำหนักปริมาณสารละลายที่ไหลออกมา การทดสอบนี้ทำการวัดทั้งหมด 10 ค่า โดยในแต่ละค่า จะ
 ทำการวัดซ้ำจำนวน 10 ครั้ง จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสำหรับแต่ละปริมาณการไหล
 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยของการวัดปริมาณการไหลทั้งหมดอยู่ที่ 0.35% ซึ่งสะท้อนถึง
 ระดับความแม่นยำที่ดีของระบบการวัดและการควบคุมปริมาณการไหล

4.2.4 การทดสอบการหาอัตราการไหลของสารละลาย



รูปที่ 4.11 การทดสอบการหาอัตราการไหลของสารละลายโดยการใช้การวัด

จากรูปที่ 4.11 คือวิธีการทดสอบการหาอัตราการไหลของสารละลาย ซึ่งผลการทดสอบการหาอัตราการไหลของสารละลาย โดยได้จากการใช้เครื่องชั่ง EPS-302 zepper ในการชั่งปริมาณสารละลายและการจับเวลา เป็นไปตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 การทดสอบการหาอัตราการไหลของสารละลาย

เอ็นโค้ดเดอร์ (pulse)	ค่าเฉลี่ยปริมาณที่ วัดได้ (มิลลิลิตร)	Time (s)	Time (min)	อัตราการไหลที่ วัดได้ (ml/min)
1285	0.10	9.42	0.157	0.625
2570	0.22	16.98	0.283	0.714
3855	0.30	22.25	0.370	0.810
5140	0.40	26.68	0.444	0.900
6425	0.51	30.48	0.508	1.003
7710	0.61	32.34	0.539	1.132
8995	0.70	34.41	0.573	1.221
10200	0.80	36.40	0.606	1.322
11565	0.90	38.78	0.636	1.415
12850	1.00	40.15	0.669	1.494



รูปที่ 4.12 ปริมาณสารละลายที่ 0.10 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.13 ปริมาณสารละลายที่ 0.22 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.14 ปริมาณสารละลายที่ 0.30 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.15 ปริมาณสารละลายที่ 0.40 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.16 ปริมาณสารละลายที่ 0.51 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.17 ปริมาณสารละลายที่ 0.61 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.18 ปริมาณสารละลายที่ 0.70 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.19 ปริมาณสารละลายที่ 0.80 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.20 ปริมาณสารละลายที่ 0.90 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.21 ปริมาณสารละลายที่ 1.00 มิลลิลิตร

จากตารางที่ 4.4 การทดสอบอัตราการไหลของสารละลายดำเนินการโดยการป้อนค่า Pulse และตั้งน้ำหนักของปริมาณสารละลายที่จ่ายออกมา พร้อมกับการจับเวลา ข้อมูลที่ได้จากการวัดน้ำหนักและเวลาเหล่านี้จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาอัตราการไหลของสารละลาย ซึ่งแสดงในรูป 4.12 – 4.21 ผลการคำนวณพบว่าการวัดอัตราการไหลของสารละลายมีความแม่นยำสูง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลายโดยใช้กระบอกฉีดสำหรับการให้ยาปริมาณน้อย โดยอาศัยเซอร์โวมอเตอร์และเทคนิคพัลส์วidthมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) ร่วมกับเอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) ที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมปริมาณสารละลายที่จ่ายออกมาได้อย่างแม่นยำ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยในการวัดระยะทางและปริมาณการไหลอยู่ที่ 0.377% และ 0.35% ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนระดับความแม่นยำที่โดดเด่น นอกจากนี้ การวิเคราะห์อัตราการใช้ของสารละลายและความเสถียรของความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 รอบต่อนาที ยังแสดงถึงความแม่นยำสูงของระบบอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นอย่างชัดเจน.

5.2 ข้อเสนอแนะ

เมื่อพิจารณาการพัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการไหลของสารละลายด้วยกระบอกฉีดสำหรับการให้ยาปริมาณน้อย โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์และผลการทดสอบที่พบว่าระบบสามารถจ่ายสารละลายได้อย่างแม่นยำและสม่ำเสมอ ข้อเสนอแนะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความเชื่อถือของระบบมีดังนี้

5.2.1 การปรับปรุงความแม่นยำของการจ่ายสารละลาย ควรดำเนินการทดสอบและปรับปรุงระบบควบคุมเพื่อให้สามารถจ่ายสารละลายได้แม่นยำยิ่งขึ้น โดยอาจพิจารณาใช้เซ็นเซอร์ที่มีความละเอียดสูงหรือเทคนิคการควบคุมที่ทันสมัย เช่น ระบบควบคุมแบบฟีดแบ็ก (Feedback Control) หรือเทคนิคการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนขึ้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมปริมาณสารละลายที่จ่ายออกมา

5.2.2 การประเมินผลในระยะยาว ควรมีการทดสอบระบบในระยะยาวเพื่อประเมินความเสถียรและความทนทานของระบบในช่วงการใช้งานเป็นเวลานาน ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงความสามารถของระบบในการรักษาความแม่นยำและประสิทธิภาพการทำงานตลอดอายุการใช้งาน

5.2.3 การทดลองกับยาและสารละลายชนิดต่าง ๆ ควรทดสอบระบบกับยาและสารละลายประเภทต่าง ๆ เพื่อประเมินความสามารถของระบบในการทำงานในทุกสถานการณ์และประเภทของสารละลาย ซึ่งจะช่วยให้ยืนยันว่าระบบสามารถตอบสนองความต้องการในการจ่ายสารละลายที่หลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ



บรรณานุกรม

- การฉีดเข้าสู่ว่างกาย ต้องรู้อะไรบ้าง. (2564). สืบค้น 2 พฤษภาคม 2566, จาก <https://nursesoulciety.com/2021/04/23/injection-into-the-body/>
- ศูนย์การุณรักษ์. (2564). คู่มือการให้ยาฉีดใต้ผิวหนังที่บ้าน สำหรับผู้ป่วย. สืบค้นจาก <https://shorturl.asia/oXz54>
- เสถียรวุฒิ ลำเลียง. (2556). รวมบทความเกี่ยวกับเครื่องบินบังคับและกีฬาวิทยุบังคับ. สืบค้นจาก https://sattawutrc.blogspot.com/2013/06/blog-post_18.html
- เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) คืออะไร มีหลักการทำงานอย่างไร. (2560). สืบค้น 10 พฤษภาคม 2567, จาก <https://www.tic.co.th/th/news/detail/387/2>
- Aomkewalee. (2015). มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. Retrieved from <https://citly.me/TBYaS>
- Amarante, L. M., Newport, J., Mitchell, M., Wilson, J., & Laubach, M. (2019). An Open Source Syringe Pump Controller for Fluid Delivery of Multiple Volumes. *eNeuro*, 6(5). doi:10.1523/ENEURO.0240-19.2019
- Cubberley, M. S., & Hess, W. A. (2016). An Inexpensive Programmable Dual-Syringe Pump for the Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 94(1), 72-74. doi:10.1021/acs.jchemed.6b00598
- Doihara, R., Shimada, T., Cheong, K.-H., & Terao, Y. (2016). Liquid low-flow calibration rig using syringe pump and weighing tank system. *Flow Measurement and Instrumentation*, 50, 90-101. doi:10.1016/j.flowmeasinst.2016.06.014
- Graham, F., & Clark, D. (2005). The syringe driver and the subcutaneous route in palliative care: the inventor, the history and the implications. *Journal of Pain and Symptom Management*, 29(1), 32-40. doi:10.1016/j.jpainsymman.2004.08.006
- Islam, M. R., Zahid Rusho, R., & Rabiul Islam, S. M. (2019). Design and Implementation of Low-Cost Smart Syringe Pump for Telemedicine and Healthcare. *2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, 440-444. doi:10.48175/IJARSCT-7341

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Kassis, T., Perez, P. M., Yang, C. J. W., Soenksen, L. R., Trumper, D. L., & Griffith, L. G. (2018). PiFlow: A biocompatible low-cost programmable dynamic flow pumping system utilizing a Raspberry Pi Zero and commercial piezoelectric pumps. *HardwareX*, 4, e00034. doi:10.1016/j.ohx.2018.e00034
- Kong, D. S., Thorsen, T. A., Babb, J., Wick, S. T., Gam, J. J., Weiss, R., & Carr, P. A. (2017). Open-source, community-driven microfluidics with Metafluidics. *Nat Biotechnol*, 35(6), 523-529. doi:10.1038/nbt.3873
- Lake, J. R., Heyde, K. C., & Ruder, W. C. (2017). Low-cost feedback-controlled syringe pressure pumps for microfluidics applications. *PLoS One*, 12(4), e0175089. doi:10.1371/journal.pone.0175089
- Lee, P. (2014). Syringe driver safety issues: An update. *International Journal of Palliative Nursing*, 20, 115-119. doi:10.12968/ijpn.2014.20.3.115
- Northwestern University. (2010). *Rotary encoder*. Retrieved from https://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary_Encoder
- Robu. (2020). *Servo motor working*. Retrieved from <https://robu.in/servo-motor-working/>
- Veichi. (2018). *What is the difference between AC and DC motors*. Retrieved from <https://www.veichi.com/knowledge/what-is-the-difference-between-ac-and-dc-motors.html>
- Weiss, M., Hug, M. I., Neff, T., & Fischer, J. (2000). Syringe size and flow rate affect drug delivery from syringe pumps. *Canadian Journal of Anaesthesia = Journal Canadien D'anesthesie*, 47(10), 1031-1035. <https://doi.org/10.1007/BF03024878>
- Yin, Y., Soon, C., Zainal, N., Khairul, M., & Tee, K. (2016). Customizing a High Flow Rate Syringe Pump for Injection of Fluid to a Microfluidic Device Based on Polyimide Film. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11, 3845-3855.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	ณัฐปภัสร ศรีสุนทร
วัน เดือน ปีเกิด	2 เมษายน 2544
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์, 2566
ทุนการศึกษา	ทุนสนับสนุนการทำวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยรังสิต
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 80/3 ตำบลหนองปลาไหล อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี 20150

