



การควบคุมและรายงานผลการไหลของสารละลายจากระยะไกล  
SOLUTION DRIPPING CONTROLLING BY REMOTE

โดย

นางสาวกัญฐิชา	ชั้นแข็ง
นายธีรศักดิ์	สั๊กกัตติยกุล
นายวัชรพงษ์	รัตนเทพี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมและรายงานผลการไหลของสารละลายจากระยะไกล

SOLUTION DRIPPING CONTROLLING BY REMOTE

ผู้จัดทำ

- |    |               |               |          |
|----|---------------|---------------|----------|
| 1. | นางสาวกัญธิชา | ชั้นแข็ง      | 53010085 |
| 2. | นายธีรศักดิ์  | สั๊กทัตติยกุล | 53010762 |
| 3. | นายวัชรพงษ์   | รัตนเทพี      | 53011450 |



.....  
( ผศ.ดร.นภัทร สระเอี่ยม )

อาจารย์ที่ปรึกษา



.....  
( ผศ. ดร.ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์ )

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากความกรุณาใส่ใจดูแล และให้คำแนะนำปรึกษาในกระบวนการวิจัยอย่างสม่ำเสมอ ตลอดจนแนวคิดต่างๆ จาก ผศ.ดร.นภัทร สระเอี่ยม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่จุดประกายความคิดในการริเริ่มทำโครงการนี้ และคอยให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำเพิ่มเติม ให้ความสมบรูณ์ อีกทั้งขาดไม่ได้ คือ ทันตแพทย์อนุพันธ์ สระเอี่ยม และเจ้าหน้าที่พยาบาลโรงพยาบาลรามาริบัติ ที่เสียสละเวลาให้คำปรึกษา ให้ข้อมูลในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา - มารดา ที่ส่งเสียค่าเล่าเรียนและดูแลอย่างดี อีกทั้งยังคอยให้กำลังใจตลอดมา และเพื่อนร่วมงานที่เสียสละเวลาทำงานให้เสร็จลุล่วงไปด้วยกัน ท้ายสุดนี้หวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ จะสามารถเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจเพื่อนำไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อในอนาคต

กัญจวิษา            ชั้นแข็ง  
ธีรศักดิ์        สีกกทัตติยกุล  
วัชรพงษ์        รัตนเทพี  
                          ผู้จัดทำ

การควบคุมและรายงานผลการไหลของสารละลายจากระยะไกล  
SOLUTION DRIPPING CONTROLLING BY REMOTE

โดย	นางสาวกันธิษา	ชั้นแข็ง	53010085
	นายธีรศักดิ์	สั๊กกัทธิยกุล	53010762
	นายวัชรพงษ์	รัตนเทพี	53011450

อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นภัทร สระเอี่ยม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์

### บทคัดย่อ

โครงการปริญญาโทฉบับนี้ เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมและรายงานผลการไหลของสารละลายจากระยะไกล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานหลัก ซึ่งจะรับค่าเป็นจำนวนมิลลิลิตรต่อชั่วโมงจากบราวเซอร์บนเครือข่ายเดียวกัน ตามที่ได้กำหนดตั้งแต่ 50 - 250 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีการแสดงผลอัตราการไหล ปริมาตรคงเหลือ และปริมาตรที่ใช้ไปของสารละลายผ่านทาง LCD และจอแสดงผลบนหน้าควบคุมจากผู้ใช้ โดยระบบจะทำการเตือนเมื่อเกิดความผิดพลาดของการไหล หรือเมื่อสารละลายกำลังจะหมด โดยทำการตรวจสอบจากเซนเซอร์ตรวจวัดระดับปริมาตรของสารละลาย และควบคุมการไหลของสารละลายจากชุดกลไกโรตัสยา สารละลายจากสเต็ปมอเตอร์

### ABSTRACT

The purposes of this project was to design, construction of remote controlling machine and report solution flow on web application. The machine used a microcontroller for controlling function and received from web browser in network which determined from 50-200 milliliter per hour. Rate flow, remaining volume and used volume of solution will be displayed via LCD and monitor. The system will alert when and error of flow or solution is running out. Inspected the volume of solution by using volume measurement sensor and controlling solution flow by machine of stepping motor.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
<b>บทที่ 1</b>	<b>1</b>
<b>บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
<b>บทที่ 2</b>	<b>2</b>
<b>ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>2</b>
2.1 กลไกในการรีดสายสารละลาย	2
2.1.1. ป้อนแบบปริมาตร	2
2.1.2. ป้อนแบบรีดด้วยลูกกลิ้ง	2
2.1.3. ป้อนแบบรีดด้วยแผ่นกด	3
2.2 การตรวจวัดจำนวนสารละลาย	4
2.2.1. DROP DETECTOR	4
2.2.2. VOLUME DETECTOR	4
2.3 ทฤษฎีทั่วไปทางการแพทย์	4
2.3.1. การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้สารละลาย	4
2.3.2. ปริมาณและระยะเวลาที่ให้สารละลาย	6
2.4 อุปกรณ์ตรวจจับแสง	8
2.4.1 โฟโตทรานซิสเตอร์	8
2.5 สเต็ปป์มอเตอร์	13
2.5.1 ชนิดของสเต็ปป์มอเตอร์	13
2.5.2 แบ่งตามโครงสร้างพื้นฐาน	13
2.5.3 แบ่งตามการพันขดลวดบนสเตเตอร์	14
2.5.4 การทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์	15
2.5.5 การควบคุมการหมุนของสเต็ปป์มอเตอร์	18

## สารบัญ (ต่อ)

	2.5.6	วิธีการตรวจสอบหาเฟสของขดลวดสเต็ปป์มอเตอร์	21
	2.5.7	ข้อดีของสเต็ปป์มอเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR)	22
	2.6	ARDUINO	22
	2.6.1	ข้อมูลเบื้องต้นของ ARDUINO HARDWARE	23
	2.7	โมดูลอีเทอร์เน็ต (ETHERNET SHIELD MODULE FOR ARDUINO)	25
	2.8	ชุดแสดงผลจอแอลซีดี (LIQUID CRYSTAL DISPLAY)	27
<b>บทที่ 3</b>		<b>การออกแบบและการจัดทำปฏิญานิพนธ์</b>	<b>29</b>
	3.1	การออกแบบระบบรวม	29
	3.1.1	แผนภาพการทำงานรวมของปฏิญานิพนธ์	29
	3.1.2	การออกแบบโดยรวม	31
	3.2	การออกแบบวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย	32
	3.2.1	แผนภาพการทำงานของวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย	32
	3.2.2	การออกแบบวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย	33
	3.3	การออกแบบชิ้นส่วนสำหรับรีดสาย	40
	3.4	การออกแบบวงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์	42
	3.5	การออกแบบกล่องและสร้างเครื่องควบคุมสารละลายต้นแบบ	43
	3.6	การออกแบบและสร้างโปรแกรมควบคุม	44
	3.6.1	แผนภาพการทำงานของชุดควบคุมหลัก	45
	3.7	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	46
	3.8	การจัดเก็บผลการทดลอง	47
<b>บทที่ 4</b>		<b>ผลการทดลอง</b>	<b>48</b>
	4.1	ด้านตัวเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล	48
	4.2	ผลการทดสอบการทำงานของชิ้นส่วนสำหรับรีดสายละลาย	51
	4.3	ผลการทดสอบวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย	51
	4.4	ผลการดำเนินงานด้านโปรแกรม	55
	4.4.1	WEB APPLICATION	55
	4.5	การทดสอบระบบโดยรวม	59

## สารบัญ (ต่อ)

4.5.1 การทดลองการนับจำนวนหยดของสารละลายตามค่าอัตรา การไหลเริ่มต้นที่ค่าต่างๆ	61
4.5.2 ผลการทดสอบสัญญาณเตือนเมื่อสารละลายไหลผิดปกติ	64
<b>บทที่ 5</b> <b>สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>66</b>
5.1 สรุปผล	66
5.2 ปัญหาของโครงการงานและการแก้ไข	67
5.3 ข้อเสนอแนะ	67
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>68</b>

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	2
2.2	3
2.3	3
2.4	9
2.5	10
2.6	11
2.7	12
2.8	12
2.9	14
2.10	16
2.11	16
2.12	17
2.13	18
2.14	19
2.15	21
2.16	22
2.17	23
2.18	26
2.19	27
3.1	30
3.2	31
3.3	32
3.4	33
3.5	33
3.6	34
3.7	34
3.8	35

3.9	วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 3	35
3.10	ผลการทดลองวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 3 เมื่อมีสารละลาย	36
3.11	สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 3 เมื่อมีสารละลาย	36
3.12	ผลการทดลองวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 3 เมื่อไม่มีสารละลาย	37
3.13	สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 3 เมื่อไม่มีสารละลาย	37
3.14	วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย 5 จุด	38
3.15	วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย 5 จุด	39
3.16	ผลการทดลองวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย 5 จุด	39
3.17	การออกแบบชิ้นงานวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย 5 จุด	40
3.18	การคำนวณระยะห่างของแขนสำหรับรีดสาย	40
3.19	กลไกการรีดสาย	41
3.20	วงจรถับสแต็ปป์มอเตอร์ โดยใช้ IC ULN 2003	42
3.21	วงจรถับสแต็ปป์มอเตอร์ โดยใช้ IC ULN 2003	42
3.22	โครงสร้างของเสาน้ำเกลือที่ถูกติดตั้งด้วยชุดควบคุมหลัก	43
3.23	เครื่องควบคุมสารละลายต้นแบบ	44
3.24	แผนภาพการทำงานของชุดควบคุมหลัก	46
4.1	การวางอุปกรณ์ภายในเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล	48
4.2	ลักษณะภายนอกเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล	49
4.3	สายส่งข้อมูล	49
4.4	ลักษณะของเสาแขวนสารละลาย	50
4.5	ชิ้นส่วนสำหรับรีดสายละลาย	51
4.6	การทดลองวัดปริมาตรของน้ำเกลือโดยการนับหยดสารละลาย	52
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวัดปริมาตรของสารละลายโดยการนับจำนวนหยดสารละลาย	54
4.8	แสดงหน้าล็อกอินเข้าสู่ระบบ	55
4.9	แสดงหน้าล็อกอินชื่อและรหัสผ่านเข้าสู่ระบบ	56
4.10	หน้าจอแสดงผล(LCD) เมื่อเปิดเครื่อง	56
4.11	แสดงสถานการณ์ทำงานของเครื่องควบคุมการไหล	57
4.12	แสดงการเลือกสถานะทำงานของเครื่องควบคุมการไหล	57
4.13	หน้าจอแสดงผล(LCD) แสดงสถานะอัตราการไหล	58
4.14	แสดงสถานะเมื่อเกิดความผิดพลาด	58

4.15	แสดงการแจ้งเตือนเมื่อปริมาตรมีระดับต่ำกว่า 100 มล.	59
4.16	หน้าจอแสดงผล(LCD) แสดงการแจ้งเตือนเมื่อปริมาตรของสารละลายต่ำกว่า 100 มล.	59
4.17	ระบบโดยรวมของเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล	60
4.18	แสดงข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์	61
4.19	ความสัมพันธ์ของจำนวนหยดจากการทดลองกับค่าที่คำนวณที่อัตราการไหลต่างๆ	63

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ	19
2.2	ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส	20
2.3	ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป	21
2.4	แสดงคุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ ARDUINO ATMEGA2560	24
2.5	แสดงคุณสมบัติของโมดูลอีเทอร์เน็ต ETHERNET SHIELD W5100	26
4.1	ผลการทดลองการวัดปริมาตรของสารละลายโดยนับจำนวนหยดของ สารละลาย	53
4.2	แสดงผลการทดลองการนับจำนวนหยดของสารละลายตามค่าอัตราการ ไหลเริ่มต้นที่ค่าต่างๆ	62
4.3	ผลการทดลองการตรวจสอบเมื่อสารละลายไหลผิดปกติ	65

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการให้ยาหรือสารอาหารผ่านทางสายน้ำเกลือเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นสำหรับผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลหรือผู้ที่ไม่สามารถรับสารอาหารได้เหมือนคนปกติ ซึ่งอาจมีวิธีการที่ช่วยเพิ่มในการรักษาให้ง่ายขึ้นโดยการให้ยาได้ การรักษาในลักษณะนี้เป็นการให้ยาชนิดที่เป็นของเหลวผสมลงในน้ำเกลือที่ไหลเข้าเส้นเลือดของผู้ป่วยในอัตราส่วนที่เหมาะสมในระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้นวิธีการรักษาแบบนี้จำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมปริมาณการไหลของสารละลายต่างๆ อย่างแม่นยำ ถ้าหากผู้ป่วยได้รับสารละลายในปริมาณที่ไม่เหมาะสมอาจเกิดผลเสียตามมาได้อย่างไรก็ตาม เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายที่มีจำหน่ายในปัจจุบันส่วนใหญ่ผลิตในต่างประเทศและมีราคาแพงมาก หากเราสามารถพัฒนาเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายได้จะสามารถช่วยประหยัดงบประมาณด้านการสาธารณสุขได้

จากแนวคิดที่ต้องการอำนวยความสะดวกในการดูแลผู้ป่วยให้กับแพทย์หรือพยาบาล เพื่อให้แพทย์ พยาบาลหรือผู้ดูแลผู้ป่วย ได้มีเวลาดูแลผู้ป่วยและทำหน้าที่อื่นๆ ได้มากยิ่งขึ้น จึงมีแนวคิดในการสร้างเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล มีแนวคิดคล้ายกับเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือด (Infusion Pump) เพื่อให้ผู้ดูแลผู้ป่วยรับทราบความคืบหน้าในการให้น้ำเกลือแก่ผู้ป่วย ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมระบบและนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งมีการควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย โดยจะส่งการข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต อีกทั้งยังสามารถแสดงข้อมูลกลับมาที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ด้วย

#### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องควบคุมการไหลของสารละลาย
- 2) เพื่อศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งการมอเตอร์
- 3) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบเซนเซอร์ตรวจจับความเข้มแสง
- 4) เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมการไหลของสารละลายที่สามารถตรวจสอบการทำงานได้จากระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

#### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

พัฒนาเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย แสดงสถานะ และตรวจสอบการทำงานได้จากระยะไกล

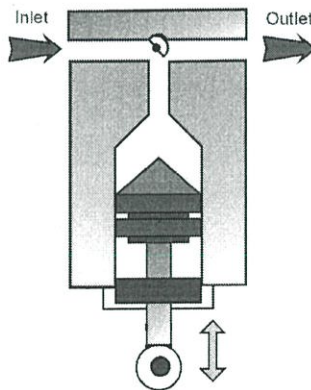
## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายเป็นอุปกรณ์เชิงไฟฟ้าเครื่องกล (Electro-mechanical) ที่ใช้สำหรับควบคุมการไหลของสารละลายที่เราจะใช้ประโยชน์โดยไม่มีส่วนประกอบใดสัมผัสสารละลาย แต่ใช้หลักการรีดสายแทนโดยมีกลไกในการบีบอัดสายที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสาย

### 2.1 กลไกในการรีดสายสารละลาย

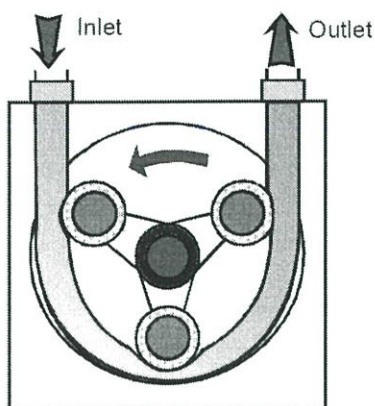
ความหนืดของของเหลวและอัตราการไหล ตัวขับเคลื่อนสารละลาย ซึ่งลักษณะทั่วไปที่ใช้ขับสารละลายใช้กันอยู่ 3 รูปแบบ คือ

2.1.1 **ปั๊มแบบปริมาตร** กลไกนี้ไม่เป็นที่นิยมเพราะเกิดการกระเพื่อมของสารละลาย จำนวนสารละลายที่ถูกส่งออกไปมีความคลาดเคลื่อนมากและไม่สม่ำเสมอ จะเหมาะสำหรับสารละลายที่มีความหนืดเปลี่ยนแปลงได้ง่าย โดยการใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนแผ่นไดอะแฟรมให้ผลักดันสารละลาย ดังรูปที่ 2.1



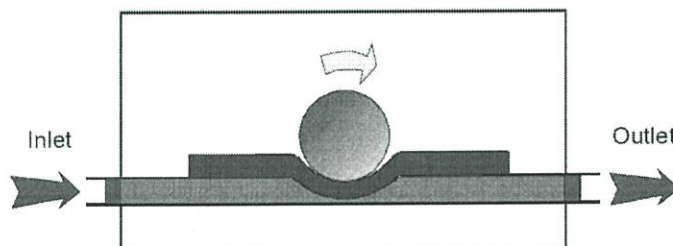
รูปที่ 2.1 ปั๊มแบบปริมาตร

2.1.2 **ปั๊มแบบรีดด้วยลูกกลิ้ง** กลไกนี้ใช้ Stepping motor ขับเคลื่อนด้วยลูกกลิ้งให้รีดสายโดยตรง สามารถให้สารละลายในอัตราการไหลสูงๆ ได้ดี ควบคุมได้ง่าย แต่อาจจะเสียหายได้ง่ายเนื่องจากการเสียดสีกับลูกกลิ้งดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปัมแบบบริดด้วยลูกกลิ้ง

2.1.3 ปัมแบบบริดด้วยแผ่นกด กลไกนี้ใช้ Stepping motor ขับเคลื่อนให้นิวแต่ละอันให้เคลื่อนที่ในลักษณะรูปคลื่น Sine wave ทำการรีดสารละลายที่อยู่ในสายได้อย่างต่อเนื่องและปริมาณน้อยๆ สามารถให้อัตราการไหลของสารน้ำในปริมาณต่างๆ ได้ดี ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปัมแบบบริดด้วยแผ่นกด

โดยการออกแบบการรีดสายสารละลายที่จะนำมาใช้นั้นต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในลักษณะการไหลของสารต่างๆ ซึ่งเหมาะในการขับดันสารละลายที่มีการไหลที่ชนิดแบบต่างๆได้ ซึ่งโดยทั่วไปมอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกใช้เป็นเครื่องต้นกำลังในกลไกของเครื่องควบคุมการไหลของสารละลาย เพื่อควบคุมอัตราการไหลอย่างแม่นยำ

## 2.2 การตรวจวัดจำนวนสารละลาย

มีหลายวิธีในการตรวจวัด เช่น

### 2.2.1 Drop Detector

วิธีใช้หลักการของ Photo Detector โดยใช้ LED ส่งแสงไปยังตัวรับแสงที่ยึดติดอยู่ภายในตัว drop detector ที่ติดอยู่ที่บริเวณกระเปาะของสายสารละลาย ในขณะที่มีสารละลายหยดลงมา 1 หยด สารละลายนั้นจะขวางกั้นแสงสว่างที่ส่งจาก LED มายัง Photo Detector ทำให้เกิดสัญญาณลูกคลื่น 1 ลูกคลื่น ถ้าจำนวนการไหลของสารละลายมีความเร็วมากขึ้นลูกคลื่นก็จะมากขึ้นตามจำนวนหยด จำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นนี้จะถูกส่งเข้าไปยังวงจรเปรียบเทียบเพื่อใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในการให้สารละลาย เครื่องที่ใช้วิธีของ drop detector จะต้องใช้สายสารละลาย เฉพาะของยี่ห้อต่างๆ จึงจะได้ค่าที่ถูกต้องทั้งนี้เพราะเส้นผ่าศูนย์กลางของสาย แต่ละบริษัทมีขนาดที่แตกต่างกัน

### 2.2.2 Volume Detector

วิธีนี้เป็นการตรวจวัดปริมาตรที่ส่งไปให้ผู้ดูแลเครื่องโดยที่เครื่องจะทำการ คำนวณค่า Volume ที่ตั้งกับขนาดสายสารละลายที่ใช้และส่งผลไปยังหน่วยควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน โดยมีตัวตรวจวัดอยู่บริเวณข้างที่ใส่สารละลาย ใช้หลักการของ Photo Detector โดยใช้ LED ส่งแสงไปยังตัวรับแสงที่ยึดติดอยู่ภายในตัว หรือใช้วิธีสะท้อนแสงของตัวส่งมายังตัวรับ สารละลายนั้นจะขวางกั้นแสงสว่างที่ส่งจาก LED มายัง Photo Detector เพื่อเปรียบเทียบและนำไปรายงานผล

## 2.3 ทฤษฎีทั่วไปทางการแพทย์

### 2.3.1 การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้สารละลาย

การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้สารละลายมีความสำคัญต่อความปลอดภัย และการบำบัดรักษาให้ได้ผลดี กล่าวคือ ผู้ป่วยจะได้รับสารละลายที่ปลอดภัยถูกต้องตามชนิดและปริมาณที่กำหนดไว้โดยการตรวจสอบเครื่องใช้ให้ถูกต้อง อยู่ในสภาพพร้อมที่ใช้ได้ตลอดเวลา รายการอุปกรณ์ที่ต้องเตรียมมีดังนี้

2.3.1.1 ขวดสารน้ำ สารน้ำบรรจุในขวดแก้วหรือพลาสติกสุญญากาศ มีลักษณะใส ขนาดบรรจุที่ใช้คือ 500 มิลลิลิตร และ 1,000 มิลลิลิตร ผิวขวดด้านนอกจะมีขีดนูนบอกระดับสารละลาย สามารถอ่านได้ในขณะวางตั้ง และเมื่อแขวนขวดสารละลาย ฝาขวดควรเป็นยางสำหรับแทงเข็มพลาสติกของชุดสายให้สารละลายผ่านได้สะดวก สารละลายที่บรรจุขวดแก้วจำเป็นต้องใช้ชุดสายให้สารละลายที่มีท่อหรือสายอากาศผ่าน เพื่อเพิ่มแรงดันในขวดทำให้สารละลายไหลผ่านลงไปตามสาย แต่สารละลายที่บรรจุในขวดพลาสติกไม่จำเป็นต้องใช้สายอากาศผ่าน เพราะแรงดันจากบรรยากาศภายนอกจะบีบขวดไล่สารละลายลงตามสายได้เอง ส่วนวิธีการผสมยาในลงขวดสารละลายให้เช็ดจุกยางของขวดสารละลายด้วยแอลกอฮอล์ก่อนแทงเข็มฉีดยาผ่านจุกยาง และ

เขียนป้ายปิดขวดสารละลาย ระบุชื่อสกุลผู้ป่วย เตียง ชนิดของสารละลาย ชนิดและขนาดยาที่ผสม อัตราการหยด เวลาที่เริ่มให้ และชื่อผู้เตรียมสารละลายอย่างถูกต้อง ชัดเจน

2.3.1.2 ชุดสายให้สารละลาย ใช้เป็นทางผ่านของสารละลายจากขวดไปสู่หลอดเลือดดำของผู้ป่วยบรรจุในช่องหรือกล่องที่ปิดผนึกมิดชิด ผ่านการฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้ว สามารถเปิดใช้ได้ทันทีลักษณะของชุดสายให้สารละลายเป็นสายสีขาวใส มองเห็นสารละลายได้ตลอดสาย ส่วนบนเป็นเข็มพลาสติกแข็ง ใช้แทงผ่านจุดขวดต่อจากโคนเข็มมีกระเปาะพักน้ำ ซึ่งบางชนิดมีท่ออากาศผ่านเพื่อความสะดวกในการแทงเข็มผ่านจุดขวดเพียงครั้งเดียว บางชนิดมีสายให้อากาศผ่านแยกต่างหากสารละลายจะไหลผ่านลงมาผ่านสายและมีอัตราการหยดตามการหมุนเกลียวหรือใช้แผ่นปรับบังคับการหยดของสารละลาย ซึ่งอยู่ระหว่างสายให้สารละลาย ชุดสายให้สารละลาย โดยทั่วไป มีอัตราการหยดประมาณ 10 15 หรือ 20 หยด/มล. ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต ที่ปลายสายให้สารละลายเป็นท่อสำหรับแทงเข็มฉีดยา ให้ยาฉีดผ่านสายเข้าหลอดเลือดดำ และที่ปลายท่ออาจมีข้อต่อเข้ากับหัวเข็มที่แทงเข้าหลอดเลือดดำ สายให้สารละลายบางชนิดมีเข็ม และปลอกเข็มไว้ในสายให้สารละลายด้วย ส่วนชุดสายให้สารละลายที่สามารถควบคุมอัตราการหยดให้ได้แน่นอนกว่า เรียกว่า ชนิดโวลูโทรล (VOLUTROL) มีอัตราการหยด 60 หยด/มล. ใช้สำหรับให้สารละลายแก่เด็ก ผู้สูงอายุผู้ป่วยที่มีภาวะไต หัวใจล้มเหลว หรือเพื่อให้เข้าหลอดเลือดดำอย่างช้าๆ เนื่องจากช่วงระหว่างสายให้สารละลายมีกระบอกเก็บน้ำขนาด 100 มล. ฝากระบอกส่วนบนมีท่อสำหรับแทงเข็มฉีดยา และมีสายให้อากาศผ่าน ส่วนล่างมีแผ่นยางปิด-เปิดให้สารละลายผ่านท่อโลหะเล็กๆ ลงไปพักในกระเปาะพักน้ำ ขณะให้สารละลายจึงต้องหมั่นสังเกตกระบอกเก็บน้ำมิให้ว่างเปล่าจนอากาศผ่านเข้าไปในสายให้สารละลาย ซึ่งจะทำให้เกิดอาการแทรกซ้อนกับผู้ป่วยได้ นอกจากนี้ ในกรณีที่สารละลายหมด กระบอกจะต้องปล่อยสารละลายจากขวดลงไปในกระเปาะพักน้ำให้เต็มใหม่ อาจมีแรงดันทำให้แผ่นยางที่ปิดกั้นน้ำภายในกระบอกปิดช่องทางที่สารละลายจะไหลลงไปในกระเปาะพักน้ำและสายให้สารละลายช่วงล่าง ถ้าพบเหตุการณ์เช่นนี้ ให้บีบกระเปาะพักน้ำด้านล่างของกระเปาะพักน้ำ แรงบีบจะดันแผ่นยางให้เปิดออกและสารละลายจะไหลผ่านลงสู่กระเปาะพักน้ำได้ตามปกติ

2.3.1.3 เข็ม เข็มที่แทงเข้าหลอดเลือดดำมีหลายชนิดและหลายขนาด สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับขนาดของหลอดเลือดดำ ชนิดของสารละลาย อายุของผู้ป่วย และอัตราความเร็ว หรือระยะเวลาที่ให้สารละลาย เข็มตรงหรือเข็มฉีดยามีความยาวประมาณ 0.5-1 นิ้ว มีหลายขนาด ตั้งแต่เบอร์ 18,19, 20, 21, 22, 23 และ 25 เบอร์ 18 จะมีขนาดใหญ่ เหมาะสำหรับ การให้เลือด เพราะเลือดมีความหนืดสูงเข็มเบอร์ 19 และ 20 ยาว 1.5 นิ้ว ใช้สำหรับให้สารละลายในผู้ใหญ่ เข็มเบอร์ 22-25 ใช้ให้สารในเด็กเล็ก เพราะหลอดเลือดดำเด็กมีขนาดเล็ก เข็มตรงมีข้อเสียที่มีความยาวมากปลายตัวยาวแหลมคม จึงแทงทะลุหลอดเลือดดำได้ง่าย ปัจจุบันจึงนิยมใช้ เข็มชเคิ้ลพเวน(SCALP VEIN) เข็มชเคิ้ลพเวน มีความยาวเพียง 0.75-1 นิ้ว มีเบอร์ 18-25 เช่นเดียวกับเข็มตรงบริเวณหัวเป็นปีกพลาสติก จึงสามารถพับปีกจับเข็มแทงได้สะดวก เมื่อวางปีกลงจะแบนราบติดกับผิวหนัง ทำให้ยึดเข็มให้อยู่กับที่ได้ดีกว่าเข็มตรง นอกจากนี้เข็มมีความยาวไม่

มากสามารถแทงเข้าหลอดเลือดดำได้ง่าย และไม่ค่อยแทงทะลุหลอดเลือด เพราะปลายตัดสั้นกว่า เข็มตรง เหมาะในการให้สารละลายในระยะเวลานั้นๆ และให้สารละลายบริเวณศีรษะเด็กเล็ก เข็มพลาสติกมีความยาว 1.5 นิ้ว มีแกนในเป็นเข็มโลหะแทงนำให้เข็มพลาสติกเข้าไปอยู่ในหลอดเลือดดำก่อน แล้วจึงดึงออกให้เหลือแต่เข็มพลาสติกซึ่งโค้งงอได้ง่าย เหมาะสำหรับให้สารละลายแก่ผู้ป่วยที่เคลื่อนไหวตัวมาก และได้รับสารละลายเป็นเวลานานๆ แต่มีข้อเสียที่เข็มอาจพับหรืองอเมื่อแทงเข็มใกล้ข้อพับแล้วผู้ป่วยงอแขน และมีอาการแทรกซ้อน คือหลอดเลือดอักเสบได้ง่ายกว่า อย่างไรก็ตามผู้ป่วยบางรายที่มีหลอดเลือดดำแพบ แบน เห็นไม่ชัดเจน แขนงเข็มเข้าหลอดเลือดดำได้ลำบากมาก แพทย์จะกรีดผิวหนังและหลอดเลือดดำส่วนบนแล้วสอดใส่สายพลาสติกชนิดพิเศษหรือสายสวนเข้าไปแทนเข็ม และเย็บผูกยึดสายพลาสติกนี้ให้อยู่ในหลอดเลือดปลายสายด้านนอกต่อกับเข็มเพื่อต่อกับชุดสายให้สารละลาย มักทำให้ผู้ป่วยที่ต้องให้สารละลายนานๆ ผู้ป่วยที่ได้รับสารอาหารทางหลอดเลือดดำ หรือผู้ป่วยที่ต้องวัดความดันเลือดส่วนกลาง สำหรับการเปลี่ยนเข็ม เพื่อป้องกันการอักเสบของหลอดเลือดและการติดเชื้อ ให้เปลี่ยนเข็มหรือสายสวนทุกๆ 48-72 ชั่วโมง

2.3.1.4 เสาแขวนขวดสารน้ำ ใช้ในการแขวนขวดสารละลาย เพื่อให้เกิดแรงโน้มถ่วง ทำให้สารละลายไหลลงมาตามสายให้สารละลาย ถ้าแขวนขวดสารละลายสูง สารละลายจะหยดเร็วกว่าการแขวนขวดสารละลายต่ำ นอกจากนี้เสาแขวนขวดสารละลายบางชนิด ยังใช้เป็นเครื่องพยุงตัวผู้ป่วยได้ด้วยตนเอง เพราะที่ฐานเสามีล้อเลื่อน สามารถเคลื่อนย้ายไปได้อย่างสะดวก ควรเช็ดทำความสะอาดไว้เสมอ เพื่อป้องกันการหมักหมมของสิ่งสกปรก

2.3.1.5 การเปลี่ยนชุดสายให้สารละลายการให้สารละลายแก่ผู้ป่วยเป็นเวลานานหลายวัน อาจเกิดการติดเชื้อจากชุดสายให้สารละลายได้ตามนโยบายการป้องกันการติดเชื้อของแต่ละสถาบัน พยาบาลพิจารณาเปลี่ยนชุดสายให้สารละลายชนิดธรรมดาได้ทุกๆ 24-72 ชั่วโมง และชุดสายให้สารละลายชนิดโวลูโทรลเปลี่ยนทุก 5 วัน และเพื่อป้องกันการลิ่ม ควรเขียนแถบป้ายเล็กๆ ระบุวันเดือนปีที่เริ่มใช้ชุดสายสารละลายติดไว้ใต้เกลียวของชุดสายให้สารละลาย และทำการเปลี่ยนแปลงเมื่อครบกำหนด เพื่อความสะดวกควรเปลี่ยนพร้อมกับการเปลี่ยนสารละลายขวดใหม่ ข้อควรระวังหลังการเปลี่ยนชุดสายให้สารละลาย คือ การไล่ฟองอากาศให้หมด และ ต่อปลายข้อต่อกับหัวเข็มให้แน่น เพื่อป้องกันการแทรกซ้อน ที่อาจเกิดแก่ผู้ป่วย ในภายหลัง

### 2.3.2 ปริมาณและระยะเวลาที่ให้สารละลาย

การให้สารละลายจำนวนมากหรือให้ช้าๆ จะใช้เวลานานๆ โอกาสที่เข็มจะแทงทะลุหลอดเลือดจึงมีมากขึ้น ดังนั้นผู้ป่วยที่คาดว่าจะต้องได้รับสารละลายเป็นเวลานาน หรือให้ยาทางหลอดเลือดดำบ่อยครั้งจึงควรเริ่มแทงเข็มที่หลอดเลือดดำบริเวณหลังมือก่อน เพื่อสำรองหลอดเลือดดำขนาดใหญ่บริเวณแขนไว้ใช้ภายหลังเมื่อจำเป็นหรือในเวลาฉุกเฉินได้ และควรแทงเข็มที่มือหรือแขนข้างที่ไม่ถนัดก่อน เพื่อให้ใช้มือข้างที่ถนัดได้เต็มที่

2.3.2.1 การคำนวณสารน้ำที่ให้ทางหลอดเลือดดำ สารละลายที่ผู้ป่วยได้รับ แพทย์ จะกำหนดชนิดและปริมาณที่ให้ในแต่ละวัน ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณให้แน่นอนว่า ผู้ป่วยควรได้รับ สารละลายตามปริมาณที่กำหนด ในอัตราการหยดเร็วหรือช้าเพียงใด เพื่อให้การรักษาได้ผลดีและไม่ มีอาการแทรกซ้อน โดยขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

- ดูจากจำนวนหยด/มล. ที่ระบุไว้หน้าชุดสายให้สารละลาย เช่น 10, 15 หรือ 20 หยด/มล. ส่วนชุดโวลูโทรล จะมี 60 หยด/มล.

- จำนวนอัตราการหยด/นาที ใช้สูตร

$$\frac{\text{จำนวนสารละลายที่ใช้} \times \text{จำนวนหยด/มล.}}{\text{เวลาที่ให้ (นาที) ทั้งหมด}} = \text{อัตราการหยด/นาที}$$

- การคำนวณเวลาที่ให้สารละลายแก่ผู้ป่วย ใช้สูตร

$$\frac{\text{จำนวนสารละลายทั้งหมด}}{\text{อัตราการไหล (มล./ชม.)}} = \text{เวลาที่ได้ (ชม.)}$$

2.3.2.2 อัตราการหยดเพื่อเปิดทางเข้าหลอดเลือดดำ ในกรณีที่มีการแทงเข็มเพื่อ เปิดทางเข้าของหลอดเลือดดำ (keep vein open เขียนตัวย่อว่า KVO) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการให้ยา จำนวนน้อยๆ ครั้ง โดยหลีกเลี่ยงการแทงเข็มซ้ำ ให้ปรับอัตราหยดช้าๆ แต่ไม่ควรต่ำกว่า 10 มล./ชม. มิฉะนั้นแรงดันในหลอดเลือดจะมากกว่า ทำให้เลือดไหลย้อนเข้ามาในสายให้สารน้ำเกิด เป็นก้อนเลือดอุดตันทางผ่านของสารน้ำได้

2.3.2.3 ปัจจัยที่ทำให้อัตราการหยดของสารละลายเปลี่ยนแปลง เมื่อสารละลาย เข้าสู่กระแสเลือด จะมีการดูดซึมอย่างรวดเร็ว พบว่าร่างกายผู้ใหญ่นำสารละลายไปใช้ประโยชน์ได้ เมื่อมีอัตราการหยดประมาณ 20-60 หยด/นาที หรือจำนวน 80-250 มล./ชม. การควบคุมอัตรา การหยดของสารละลายจึงมีความสำคัญมากในการรักษาความสมดุลของน้ำและเกลือแร่ การให้เร็ว เกินไปอาจเกิดอาการหัวใจวายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยเด็ก ผู้สูงอายุ ผู้ป่วยที่มีปัญหาการ ทำงานของหัวใจและไต แต่ถ้าให้ช้าเกินไป ร่างกายจะขาดน้ำหรือความสมดุลของน้ำในร่างกาย เกิดขึ้นช้าไป พยาบาลจึงมีหน้าที่รับผิดชอบที่จะต้องหมั่นสังเกตอัตราการหยดของสารน้ำอยู่เสมอ ทุกๆ 15-30 นาที และคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราการหยดของสารน้ำ ดังนี้

1. ระดับขวดสารละลายสูงหรือต่ำเกินไป การแขวนขวดสารละลายให้สูง สารละลายจะหยดเร็วกว่าการแขวนขวดในระดับต่ำ และถ้าขวดสารละลายอยู่ต่ำกว่าระดับหลอด เลือดแรงดันในหลอดเลือดจะมากกว่า ทำให้เลือดไหลย้อนเข้ามาในเข็ม และปนกับสารละลายใน สายให้สารละลาย

2. ความหนืดของสารละลายถ้าสารละลายมีความหนืดสูงอัตราการหยด จะช้า

3. ขนาดของเข็มที่แทงเข้าทางหลอดเลือดดำ เข็มขนาดใหญ่จะมีทางผ่าน กว้างอัตราการหยดจะเร็วกว่าใช้เข็มขนาดเล็ก

4. เกล็ดยวปรับบังค้ำหยดที่ถี่เกินไปจะบังค้ำการหยดได้ไม่ดีพอ ทำให้ อัตราการหยดจะเร็ว

5. สายให้สารละลายมีความยาวมาก จะบังค้ำการหยดได้ไม่ดีพอ อัตรา การหยดจะเร็วสะดวก อัตราการไหลจะช้าลง และถ้าปลายข้อต่อของสายให้สารละลายถูกดึงรั้งจน หลวมหลุดจากเข็มสารละลายไหลเร็ว แต่ไม่เข้าหลอดเลือดดำ และจะมีเลือดออกมาจากหัวเข็มด้วย

6. การผูกยึดบริเวณหลอดเลือดแน่น หรือ ตึงเกินไป จะปิดกั้นทางผ่าน ของสารละลายทำให้อัตราการหยดช้าลง

7. การเคลื่อนย้ายและการเคลื่อนไหวร่างกายของผู้ป่วย อาจทำให้เข็ม เคลื่อนที่ปลายตัดของเข็มแนบชิดผนังหลอดเลือด หรือแทงทะลุหลอดเลือด สารละลายไหลไม่ สะดวก อัตราการหยดจะช้าลง

8. การปรับอัตราการหยดโดยผู้ป่วยที่เด็กที่เอื้อมมือไปหมุนปรับเล่น หรือ ญาติผู้ป่วยไปหมุนปรับเอง

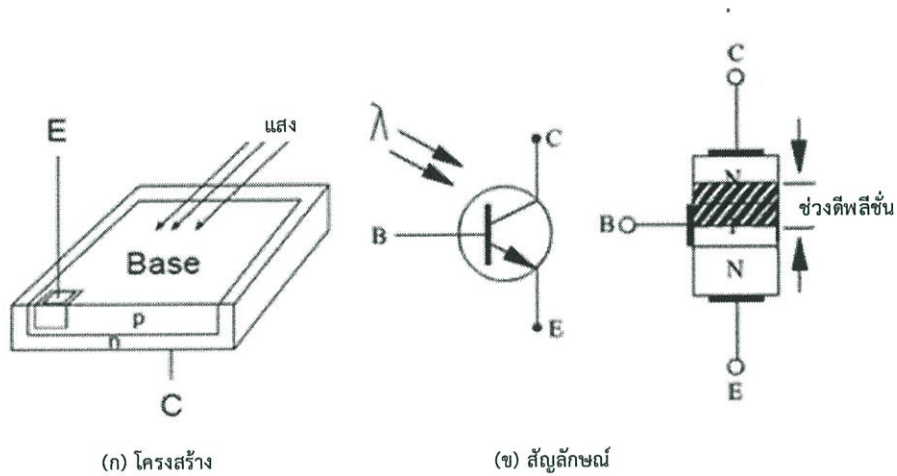
## 2.4 อุปกรณ์ตรวจจับแสง

อุปกรณ์ตรวจจับแสง หมายถึง อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้แปรค่ากับค่าของ พลังงานทางไฟฟ้าได้ โดยตัวอุปกรณ์จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ ซึ่งอาจจะนำมาต่อเชื่อมให้เกิด เป็นรอยต่อหรือเป็นเนื้อสารกึ่งตัวนำอย่างเดียวกันก็ได้ตัวอย่างอุปกรณ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

### 2.4.1 โฟโตทรานซิสเตอร์

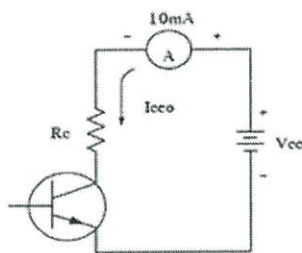
โฟโตทรานซิสเตอร์ เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถควบคุมการทำงานได้ด้วยแสง ถูก สร้าง และพัฒนาขึ้นมาจากทรานซิสเตอร์ธรรมดา นำมาใช้งานแทนโฟโตไดโอด ได้โดย โฟโตทรานซิสเตอร์มีข้อดีกว่าโฟโตไดโอดตรงที่เวลาการทำงานสามารถขยายสัญญาณที่ส่งออก เอาต์พุตได้ มีความไวต่อแสงมากทั้งที่มีแสงส่องมากระทบเพียงเล็กน้อยโครงสร้างของ โฟโตทรานซิสเตอร์ เหมือนกับทรานซิสเตอร์แบบธรรมดา (BJT) แตกต่างกันตรงการต่อขาออกมาใช้ งานภายนอก จะไม่ต้องต่อขาเบส (B) ออกมาใช้งาน จะต่อเฉพาะขาคอลเลคเตอร์ (C) และขา

อิมิตเตอร์ (E) ออกมาใช้งานเท่านั้น สภาวะที่แสงตกกระทบบนตัวโฟโตทรานซิสเตอร์เพื่อให้เกิดการทำงาน แสงจะต้องตกกระทบที่บนรอยต่อระหว่างคอลเลคเตอร์และเบส โครงสร้าง และสัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.4

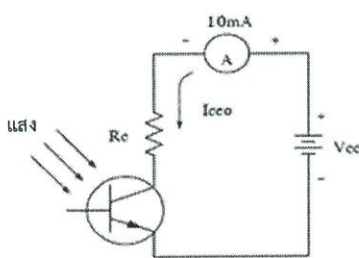


รูปที่ 2.4 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 2.4(ก) เป็นโครงสร้างพื้นฐานของโฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นชนิด NPN ทรานซิสเตอร์ มีขาต่อออกใช้งานเพียง 2 ขา คือ ขา E และขา C ส่วนขา B อาจต่อออกมาใช้งานหรือไม่ก็ได้ ส่วนที่รับแสงเพื่อให้เกิดการทำงานของตัวโฟโตทรานซิสเตอร์ อยู่ที่สารชนิด PN ของ B และ C แสงที่ส่งมากระทบรอยต่อ PN ของโฟโตทรานซิสเตอร์ มักผ่านเลนส์รวมแสงก่อนเสมอ ทำให้แสงมีความเข้มมาก พอดีการควบคุมให้โฟโตทรานซิสเตอร์ทำงาน สัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.4 (ข) การจ่ายไบอัสให้โฟโตทรานซิสเตอร์ทำงาน การจ่ายไบอัสให้โฟโตทรานซิสเตอร์ทำงานเหมือนกับการจ่ายไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ธรรมดา คือจ่ายไบอัสตรงให้ขา E จ่ายไบอัสกลับให้ขา C ส่วนขา B ไม่ต้องต่อใช้งานจึงไม่จำเป็นต้องจ่ายไบอัสให้ ลักษณะการจ่ายไบอัส และการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์แสดง ดังรูปที่ 2.5



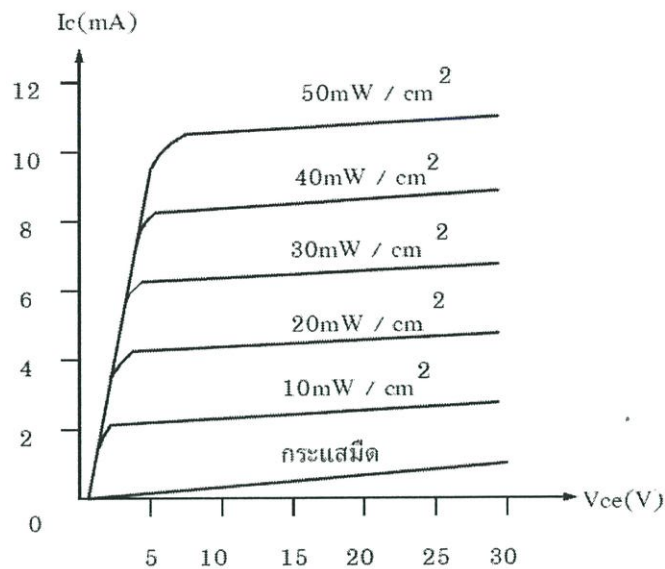
(ก) ขณะไม่มีแสงตกกระทบ



(ข) ขณะมีแสงตกกระทบ

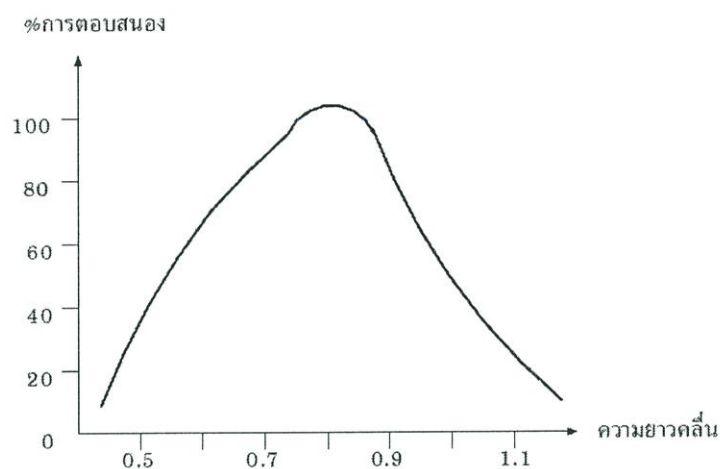
## รูปที่ 2.5 การจ่ายไบอัส และการทำงานของโพโตทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 2.5 เป็นการจ่ายไบอัส และการทำงานของโพโตทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ดังนั้นไบอัสตรงให้ขา E คือจ่ายแรงดันลบให้ และจ่ายไบอัสกลับให้ขา C คือจ่ายแรงดันบวกให้รูปที่ 2.5 (ก) เป็นขณะที่ยังไม่มีแสงส่องมากระทบรอยต่อ PN ที่ขา B และ C แม้จะจ่ายไบอัสให้โพโตทรานซิสเตอร์แล้วก็ตาม โพโตทรานซิสเตอร์ยังไม่นำกระแส ไม่มีกระแสไหลในวงจร เพราะค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อขา C และ E สูงมาก มีเพียงกระแสรั่วซึมไหลผ่าน ( $I_{ce0}$ ) กระแสที่ไหลนี้เรียกว่ากระแสมืด (Dark Current) มีค่ากระแสเพียงนาโนแอมป์ (nA) ค่ากระแสน้อยมากจนถือว่าโพโตทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแส ส่วนรูปที่ 2.5 (ข) เป็นขณะที่มีแสงส่องมากระทบรอยต่อ PN ที่ขา B และ C เกิดกระแสเบส ( $I_b$ ) ไหล โดยกำหนดให้  $I_b$  เป็นกระแสเบสที่ไหลเกิดขึ้น เนื่องจากแสงที่ส่องมากระทบรอยต่อ PN กระแส  $I_b$  นี้ทำให้ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อขา C และ E ลดลงเกิดจากกระแส  $I_c$  ค่ากระแส  $I_c$  หาได้จากสมการ  $I_c = \beta_{bc} I_b$  ค่ากระแส  $I_c$  ที่เกิดขึ้นในโพโตทรานซิสเตอร์มีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความเข้มของแสงสว่างที่ส่องมากระทบรอยต่อ PN แสงมีความเข้มน้อย  $I_b$  ไหลน้อยทำให้กระแส  $I_c$  ไหลน้อยเพราะแสงมีความเข้มมาก  $I_b$  ไหลมาก ทำให้กระแส  $I_c$  ไหลมาก ความเข้มแสงที่ตกกระทบ รอยต่อ PN วัตต์ออกมา มีหน่วยเป็นมิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร สภาวะการทำงานของโพโตทรานซิสเตอร์ตามค่าความเข้มแสงของแสงที่ส่องมากระทบรอยต่อ PN เขียนเป็นกราฟคุณสมบัติทางเอาต์พุตได้ดังรูปที่ 2.6



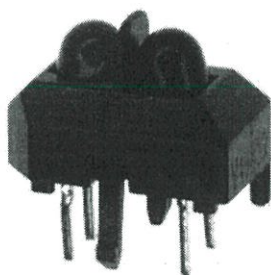
รูปที่ 2.6 กราฟคุณสมบัติทางเอาต์พุตของโฟโตทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 2.6 เป็นกราฟคุณสมบัติทางเอาต์พุตของโฟโตทรานซิสเตอร์ กราฟแนวตั้งเป็นค่าของกระแสคอลเล็กเตอร์ ( $I_c$ ) และกราฟแนวนอนเป็นค่าแรงดันตกคร่อมขา C ขา E ( $V_{ce}$ ) เส้นกราฟที่เกิดขึ้นจากความเข้าของแสงที่ส่องมากระทบรอยต่อ PN ขา B ขา C ขณะไม่มีแสงตกกระทบมีกระแสมืดเพียงเล็กน้อย ขณะที่แสงตกกระทบมีความเข้มน้อย ( $10\text{mW} / \text{Cm}^2$ ) เกิดกระแส  $I_c$  ไหลน้อย และขณะที่แสงตกกระทบมีความเข้มมาก ( $50\text{mW} / \text{Cm}^2$ ) เกิดกระแส  $I_c$  ไหลมาก ความไวในการรับแสงของโฟโตทรานซิสเตอร์ต้องเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นแสงเฉพาะย่านที่โฟโตทรานซิสเตอร์ตอบสนองเท่านั้น แสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงของโฟโตทรานซิสเตอร์

โฟโตทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับโฟโตไดโอดทุกประการ เมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตไดโอดแล้ว โฟโตทรานซิสเตอร์จะมีความไวต่อแสงมากกว่าประมาณ 100 เท่า แต่จะใช้งานได้ที่มีความถี่ต่ำกว่าโฟโตไดโอด ในการใช้งานสามารถต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ระหว่างขาเบสและอิมิตเตอร์ของโฟโตทรานซิสเตอร์ เพื่อให้สามารถเลือกได้ว่าต้องการใช้กับงานที่มีความไวต่อแสงมากๆ หรือต้องการใช้กับงานที่มีความถี่สูงๆ โดยใช้ Reflective Optical Sensor ซึ่งเป็นอุปกรณ์รับ-ส่งอินฟราเรดโดยวิธีการสะท้อนของวัตถุ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ Reflective Optical Sensor

## 2.5 สเต็ปป์มอเตอร์

สเต็ปป์มอเตอร์ เป็นมอเตอร์ประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานกันมาก ไม่ว่าจะเป็นส่วนประกอบในหุ่นยนต์ หรือเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ต่างก็ต้องใช้สเต็ปป์มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ตัวอย่างใกล้ตัวที่มีให้เห็น เช่น ฟลอปปีไดรฟ์ และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ภายในคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้สเต็ปป์มอเตอร์ขนาดเล็กในการขับเคลื่อนหัวอ่านสำหรับเขียนข้อมูลลงไปในผิวของแผ่นดิสก์เพื่อให้ตรงกับตำแหน่งแทร็กที่ต้องการ

### 2.5.1 ชนิดของสเต็ปป์มอเตอร์

การแบ่งชนิดของสเต็ปป์มอเตอร์หากแบ่งตามโครงสร้างพื้นฐาน หรือความแตกต่างของรูปแบบโรเตอร์จะแบ่งได้ 4 ชนิด แต่ถ้าแบ่งตามวิธีการพันขดลวดบนสเตเตอร์จะแบ่งออกได้ 2 ชนิด อย่างไรก็ตามการแบ่งในลักษณะนี้เพียงยึดหลักที่ว่าหาซื้อง่าย และใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.5.2 แบ่งตามโครงสร้างพื้นฐาน

2.5.2.1 ชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Permanent Magnet หรือ PM) มีโครงสร้างของโรเตอร์แบบเรียบไม่มีซี่ขั้วแม่เหล็ก บนโรเตอร์จะเป็นแบบแม่เหล็กถาวร การควบคุมทำได้โดยป้อนกระแสกระตุ้นที่ขดลวดบนสเตเตอร์ เช่น ถ้าเป็นสเตเตอร์แบบ 4 เฟส จะมีซี่แม่เหล็กอยู่ 4 ขั้ว ซึ่งมีคอคอยล์พันแยกจากกัน ขั้วแม่เหล็กถาวรบนโรเตอร์จะถูกแรงดึงดูดจากซี่แม่เหล็กบนสเตเตอร์นั้นถึงแม้ว่าจะไม่ป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวด โรเตอร์จะอยู่คงที่ที่ซี่แม่เหล็กบนสเตเตอร์นั้นถึงแม้ว่าจะไม่ป้อนกระแสไฟฟ้าอีกต่อไป ทำให้เกิดแรงยึดหน่วงขึ้น ชนิดนี้มีข้อดีในความถูกต้องของตำแหน่งแม้ความเร็วจะมากเมื่อเทียบกับชนิดอื่น

2.5.2.2 ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable Reluctance หรือ VR) มีโครงสร้างโรเตอร์แบบมัลติทิว (Multi-Tooth) ทำจากเหล็กอ่อน สามารถทราบว่าเป็นมอเตอร์ชนิดนี้โดยการทดสอบได้ง่ายมาก คือ ใช้มือหมุนเพลลาของมอเตอร์ และสังเกตเห็นว่าหมุนได้ตลอดโดยไม่ติดขัด เพราะที่โรเตอร์จะไม่เกิดปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กแตกต่างจากชนิด PM และชนิดไฮบริด ซึ่งมีสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ขณะหมุนจะรู้สึกขั้วๆ เหมือนเป็นฟันเฟือง ชนิดนี้มีจุดด้อยในความถูกต้องของตำแหน่ง และทำงานได้ไม่ดีนักเมื่อมีสเต็ปในการหมุนสูง

2.5.2.3 ชนิดแรเอิร์ทเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Rare Earth Permanent Magnet) เป็น สเต็ปป์มอเตอร์แบบใหม่อีกชนิดหนึ่ง ปรับปรุงมาจากชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต มีโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแผ่นยึดติดกับเพลลามอเตอร์ มีโมเมนต์ความเฉื่อยต่ำ อัตราเร่งสูง แรงบิดดีทั้งกำลังทางกล และความถูกต้องของตำแหน่งสูงมาก ความเร็วเริ่มหมุน และหยุดสูง สูญเสียพลังงานต่ำ ชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่าดิสก์แมกเน็ตสเต็ปป์มอเตอร์ (Disc Magnet Steppers)

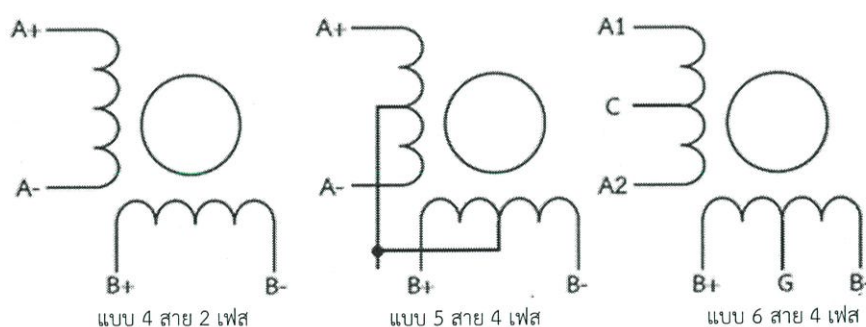
2.5.2.4 ชนิดไฮบริด (Hybrid) เป็นชนิดที่นิยมใช้งานกันมากที่สุด โดยเฉพาะนำมาใช้กับอุปกรณ์ในเครื่องคอมพิวเตอร์ โครงสร้างภายในได้จากการรวมเอาโครงสร้างของ

โรเตอร์ชนิดวาริโอเบิลรีลักแตนซ์ และชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต มาประกอบเข้าด้วยกัน จึงทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีแรงยึดเหนี่ยวสูง มีแรงบิดดี และผลักได้ดี มีความคงที่ และทำงานได้ดีถึงแม้ว่าจะมีสลิปต่อรอบในการหมุนสูง

### 2.5.3 แบ่งตามการพันขดลวดบนสเตเตอร์

2.5.3.1 แบบไบโพลาร์ (Bipolar) มีการพันขดลวด 1 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ถูกกำหนดโดยทิศทางของกระแสไฟฟ้า และทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามได้โดยการกลับทิศทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งกำหนดทิศทางการไหล และการกลับทิศทางของกระแสไฟฟ้าได้โดยการใช้วงจรสวิตซ์กลับขั้วไฟฟ้า

2.5.3.2 แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) มีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามกัน การกลับขั้วของแม่เหล็กเปลี่ยนไปมาได้โดยการสวิตซ์กระแสไฟฟ้าจากขดลวดหนึ่งไปยังอีกขดลวดหนึ่ง ขดลวดทั้งสองจะมีการเชื่อมต่อกันหรือมีจุดร่วมเพื่อลดจำนวนของสายไฟที่ต่อจากมอเตอร์ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ทำได้ง่ายกว่าชนิดไบโพลาร์ เพราะใช้เพียงสวิตซ์ธรรมดาในการเปิดและปิดกำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดบนสเตเตอร์ในทิศทางที่ต้องการให้หมุนได้ทันที ลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสแต็ปมอเตอร์ทั้งสองแบบนี้ แสดงดังรูป 2.9 การพิจารณาว่าสแต็ปมอเตอร์ตัวใดมีการพันขดลวดแบบใดสังเกตได้ง่าย ถ้าเป็นแบบไบโพลาร์จะมีสายไฟต่อออกจากมอเตอร์เพียง 4 สาย และถ้าเป็นแบบยูนิโพลาร์จะมี 5 หรือ 6 สาย หรือดูได้จากป้ายชื่อที่ติดอยู่กับมอเตอร์ก็ได้



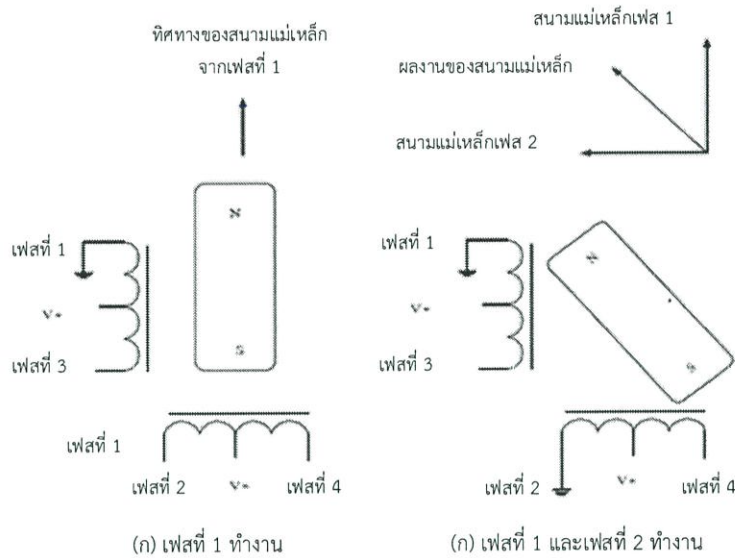
(ก) แบบไบโพลาร์

(ข) แบบยูนิโพลาร์

รูปที่ 2.9 ลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์

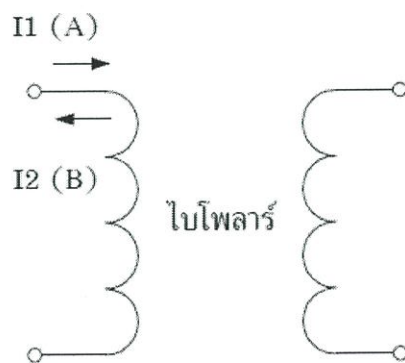
### 2.5.4 การทำงานของสแต็ปป์มอเตอร์

การทำงานของสแต็ปป์มอเตอร์มีความแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วๆไป โดยเมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับตัวมันก็จะหยุดหมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวง และหยุด แต่มอเตอร์ทั่วๆไปจะหมุนทันทีและตลอดเวลาสแต็ปป์มอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งการหมุนด้วยตัวเลขได้อย่างละเอียด โดยการใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนด และจัดเก็บตัวเลขเหล่านั้นไว้ สแต็ปป์มอเตอร์สามารถทำงานในระบบเปิด (Open Loop System) แต่วิธีกำหนดตำแหน่งการหมุนให้ถูกต้องจำเป็นต้องมีการป้อนกลับไปยังระบบให้รับรู้ โดยทั่วไปจะติดตั้งสวิตช์ไว้ที่ตำแหน่งที่ต้องการตรวจจับ (Limit Switch) เมื่อสแต็ปป์มอเตอร์เริ่มหมุน และหมุนจนกระทั่งถึงตำแหน่งของสวิตช์ที่ติดตั้งไว้ สัญญาณก็จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบ และทราบการทำงานของ สแต็ปป์มอเตอร์ได้ตลอดเวลา โดยปกติในวงจรคอนโทรลเลอร์จะมีการกำหนดจุดอ้างอิงไว้ด้วยเพื่อใช้ในตอนเริ่มต้นทำงาน และอ้างอิงตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างง่ายๆ เช่น ถ้าเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับฟลอปปีดิสก์ไดรฟ์ จะได้ยินเสียงขณะกำลังเคลื่อนที่เพื่อหาจุดอ้างอิงที่กำหนด หลังจากนั้นวงโคจรคอนโทรลเลอร์จะเริ่มทำงานได้ โดยตัวมันจะทราบถึงทุกๆสแต็ปป์ที่กำลังขับเคลื่อนหัวอ่าน เขียน ไปยังแต่ละแตร็กบนดิสก์การทำให้เกิดการหมุนของโรเตอร์ก็เช่นเดียวกับมอเตอร์ทั่วไปคือ ต้องมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดวางขั้วแม่เหล็กการหมุนทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องและกลับทิศทางไปมา โดยกระบวนการทางฟิสิกส์หรือจัดวางแปรงถ่าน การจัดแยกคอมมิวเตเตอร์ การสวิตซ์กำลังไฟฟ้าให้เกิดแรงดึงดูดของแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็กสร้าง และหยุดสลับกัน ผลคือเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นบนสเตเตอร์ โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ละคู่ ของขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามกันตลอดเวลา และเมื่อต้องการให้หยุดหมุนทำได้โดยหยุดการเกิดขั้วแม่เหล็กที่จุดหนึ่ง โดยหยุดการสวิตซ์ซึ่งในลำดับต่อไปเสีย การหมุนกลับทิศทางก็ทำได้เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว เพียงแต่ทำการสวิตซ์กำลังไฟฟ้าที่เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในทิศทางกลับกัน หรือกลับลำดับการสวิตซ์ของมันเพื่อให้เข้าใจมากขึ้นมาดูหลักการการทำงานแบบง่ายๆ ของสแต็ปป์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ 4 เฟส ตัวโรเตอร์เป็นแม่เหล็กโดยจะเปลี่ยนทิศทางไปตามสนามแม่เหล็ก การให้พลังแก่ขดลวดใดขดลวดหนึ่งโรเตอร์ก็จะหมุนไป 90 องศา ดังรูปที่ 2.10(ก) แต่ถ้าให้ทีเดียว 2 ขดพร้อมกันโรเตอร์ก็จะหมุนไป 45 องศา ดังรูปที่ 2.10(ข) ซึ่งแบบหลังจะสร้างแรงบิดได้มากกว่าแบบแรกสแต็ปป์มอเตอร์จะมีมุมการเคลื่อนที่แต่ละสแต็ปป์เป็น 1.8 องศา ดังนั้นโรเตอร์จะต้องมีขั้วแม่เหล็ก 50 ขั้ว ( $90/50 = 1.8$ ) สแต็ปป์มอเตอร์ 4 เฟส ความจริงแล้วยังเรียกชื่อไม่ถูกต้องนัก น่าจะเรียกว่าเป็นแบบ 2 เฟสมากกว่า ถึงแม้ว่าขดลวดจะมี 4 ขด การทำงานของเฟสที่ 3 หรือเฟสที่ 4 มีค่าเท่ากับเฟสที่ 1 หรือเฟสที่ 2 การที่มี 4 ขด ก็เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุม เพียงใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตซ์ 4 ตัวก็ได้



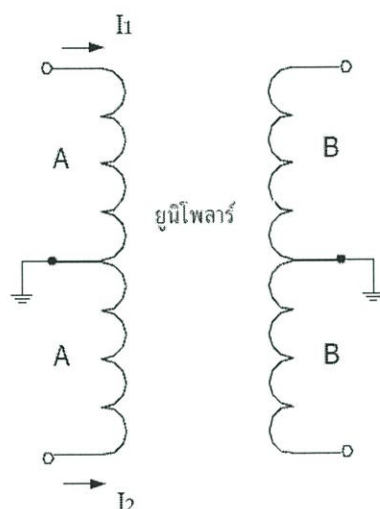
รูปที่ 2.10 ทิศทางการหมุนโรเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์ 4 เฟส

ส่วนในรูปที่ 2.11 เป็นการผันขดลวดแบบไบโพลาร์ เมื่อขดลวด A และ B กระแสไหลผ่าน สเตเตอร์จะเกิดขั้วแม่เหล็ก เป็นผลให้โรเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็กต่างกับสเตเตอร์ถูกดูด ต่อมาเมื่อกระแส ที่ไหลในขดลวด A เปลี่ยนทิศทางกลับ จึงเป็นผลให้ขั้วแม่เหล็กที่แกน A เปลี่ยนจากขั้ว S เป็นขั้ว N จากขั้ว N เป็นขั้ว S สลับกัน โรเตอร์จึงถูกผลักให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา 90 องศาลำดับการหมุนไป 1 รอบเป็นสเต็ปดังนี้ AB, AB, AB, AB, AB มี 4 สเต็ปๆละ 90 องศา เครื่องหมายขีด (-) บนอักษร A,B แทนการกลับขั้ว



รูปที่ 2.11 ไบโพลาร์สเต็ปมอเตอร์แบบ 2 เฟส สนามแม่เหล็กจะเปลี่ยน

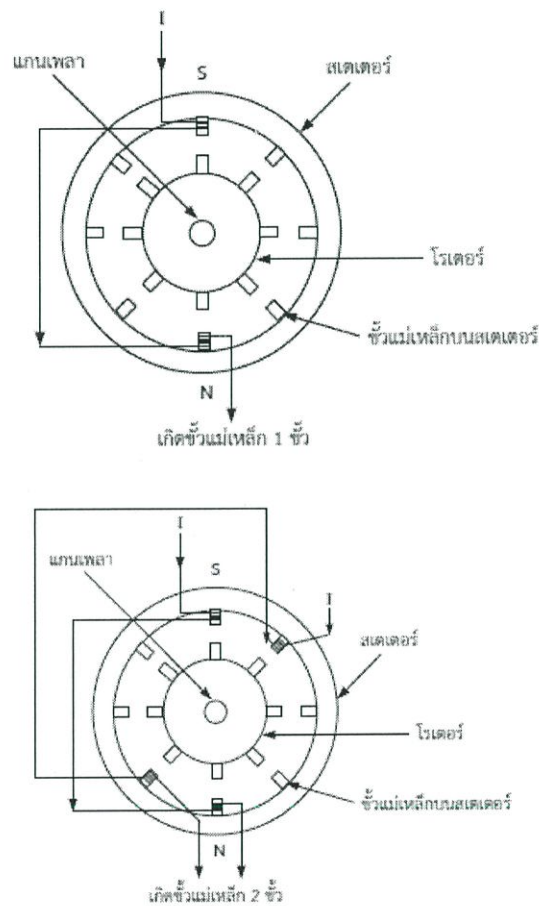
เมื่อกลับทิศทางการไหลกระแสจะสังเกตได้ว่าเมื่อกลับขั้วแม่เหล็กในแต่ละเฟสจะต้องมีการหยุดกระแสก่อน แล้วกระแสจึงค่อยเปลี่ยนทิศทาง จึงสรุปเป็นสเต็ปได้ คือ AB, B, AB, A, B, AB, A, AB การทำงานเป็นแบบครึ่งสเต็ปนี้ เป็นผลให้ค่าโมเมนต์มีค่าน้อยกว่าปกติ เพราะมีช่วงเวลาทีกระแสไหลแค่เฟสเดียว ส่วนแบบยูนิโพลาร์ก็คล้ายกับแบบไบโพลาร์โดยคิดขดเดียว ในแต่ละเฟสของยูนิโพลาร์จะมีแทป กลางซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ขด ดังรูปที่ 2.12 เป็นผลให้ค่าฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าน้อยกว่า ไบโพลาร์ ดังนั้นเมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงกระแสจะไม่เปลี่ยนทิศทางการไหล สนามแม่เหล็กที่ได้ก็น้อยตามแรงบิดที่ขึ้นกับสนามแม่เหล็กก็น้อยกว่าด้วย



รูปที่ 2.12 ยูนิโพลาร์สเต็ปปึงมอเตอร์ การเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กเกิดจากกระแสไหลต่างขดกัน กระแสจะไม่ไหลพร้อมกัน 2 ขด ในสเตเตอร์เดียวกัน

โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ประกอบขึ้นจากแผ่นเหล็กวงแหวน ที่มีซี่ยื่นออกมา แต่ละซี่เหล่านี้นจะมีคอยล์พันสวมอยู่ เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านคอยล์จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ด้านตรงข้ามของแต่ละขั้วแม่เหล็กจะได้รับกระแสไฟฟ้าในขณะเดียวกันแต่จะไหลวนในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศตรงข้ามขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.13(ก) ถ้าเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กมากขึ้น จะเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อวงรอบมากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามผู้ใช้สามารถเพิ่มจำนวนของสเต็ปได้อีกวิธีหนึ่ง โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายใน โดยทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้โรเตอร์หยุดหมุนอยู่ระหว่างกลาง 2 ขั้ว แม่เหล็กนั้นหรือเคลื่อนที่ไปครึ่งสเต็ปเท่านั้นและวิธีการนี้ยังช่วยให้เกิดแรงบิดขึ้นมากด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.13(ข) สเต็ปปึงมอเตอร์โดยทั่วไปมีจำนวนของขั้วแม่เหล็กหรือ จำนวนสเต็ปต่อรอบเป็นจำนวนมาก ปกติอยู่ที่ประมาณ 100-400 สเต็ปต่อรอบ การมี

จำนวนสแต๊ปหลายๆ อย่างนี้ไม่ได้เพิ่มที่จำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าที่สเตเตอร์ แต่ทำได้โดยเพิ่มจำนวนซี่ขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ เช่น ถ้ามีขั้วแม่เหล็ก 3 ขั้วบนสเตเตอร์ และ 8 ซี่ขั้วแม่เหล็กบนโรเตอร์ สแต๊ปปั๊มมอเตอร์ตัวนี้จะทำงานที่ 24 สแต๊ปต่อรอบหรือหมุนเป็น 15 องศาต่อสแต๊ป

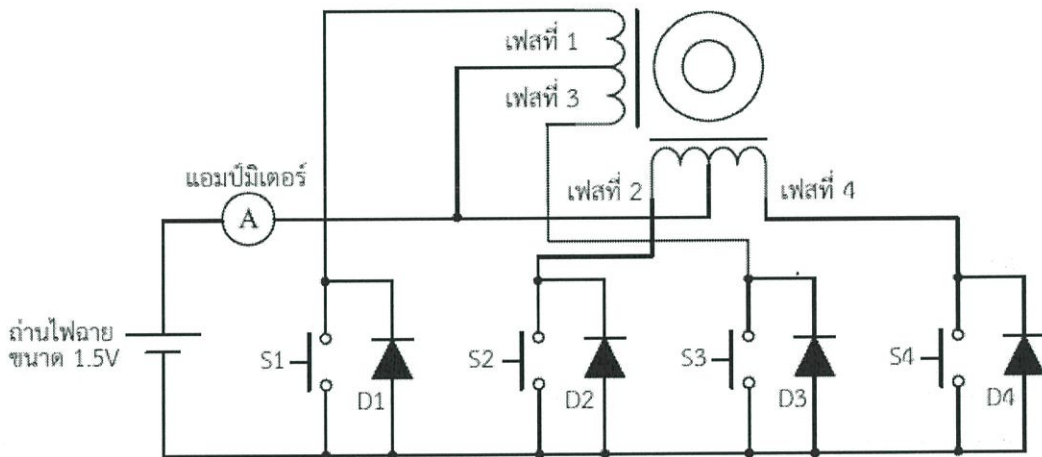


รูปที่ 2.13 โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์

### 2.5.5 การควบคุมการหมุนของสแต๊ปปั๊มมอเตอร์

วิธีศึกษาการทำงานของสแต๊ปปั๊มมอเตอร์มีวิธีง่ายๆ ดังรูปที่ 2.14 โดยป้อนแรงดันขนาด 1.5 โวลต์ มาใช้ขับให้เกิดแรงบิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์ ใช้สวิทช์กด 4 ตัว ควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานแบบเวฟหรือครึ่งสแต๊ป ไดโอด D1-D4 ป้องกันการสปาร์กที่หน้าคอนแทกสวิทช์ และแรงดันย้อนกลับ สมมติว่าขดลวดเฟสที่ 1 สวิทช์ S1 ปิดวงจรจะมีกระแสไหลผ่านขดลวดเฟสที่ 1 ลงกราวด์ และเมื่อสวิทช์

S1 เปิดวงจรที่จะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวดเฟสที่ 3 โดยผ่านทางไดโอด D3 ในขณะเดียวกันก็จะมีแรงดันตกคร่อมขดลวด 2 ขณะเปิดวงจร (เป็นแรงดันตกคร่อมไดโอด) ซึ่งจะมีขนาดแรงดันเป็น 2 เท่าของแรงดันในตอนแรกเพราะฉะนั้นการเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ต้องคำนึงถึงข้อนี้ด้วยเมื่อนำมาใช้ในการขับมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์การกระตุ้นเพื่อ ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ป ในการใช้งานจริงทำได้โดย จ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีควเอนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้อง แบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ



รูปที่ 2.14 วงจรทดลองการทำงานของสเต็ปมิ่งมอเตอร์

1. แบบเวฟ (Wave) เป็นการกระตุ้นรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่ง และเรียงถัดกันไป เช่น ขดที่ 1, 2, 3, 4, 1 หรือ 1, 4, 3, 2, 1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุนดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาถูก และง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

2. แบบ 2 เฟส (Two Phase) เป็นการกระตุ้นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งคล้ายกับแบบเวฟ แต่จ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ชุด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบเวฟคือ ขดลวดที่ 12, 23, 34, 41, 12 หรือ 14, 43, 32, 21, 14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนการเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ 11 ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ชุด ที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อด้วยแรงดึงจากอีก 2 ชุด ถัดไป สำหรับข้อเสียของการกระตุ้นแบบนี้ ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

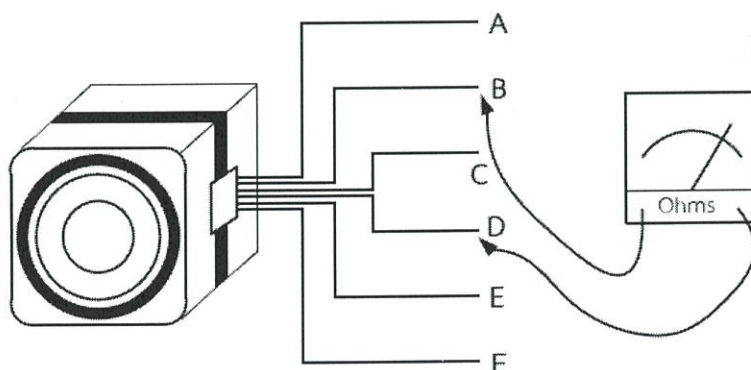
3. แบบครึ่งสเต็ป (Half Step) เป็นรูปแบบผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบเวฟ และแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกหนึ่งเท่าตัว จะกระตุ้นขดลวด เรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ ขดลวด 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1 หรือในการหมุนอีกทิศทางหนึ่งจะได้เป็น 14, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีกเพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง และแต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ชุด ที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องระวังไว้ว่าเมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ป จึงจะได้เท่ากับ 1 สเต็ปเต็มเหมือนกับการควบคุม 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้เทียบเท่ากับ 2 เฟส จึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

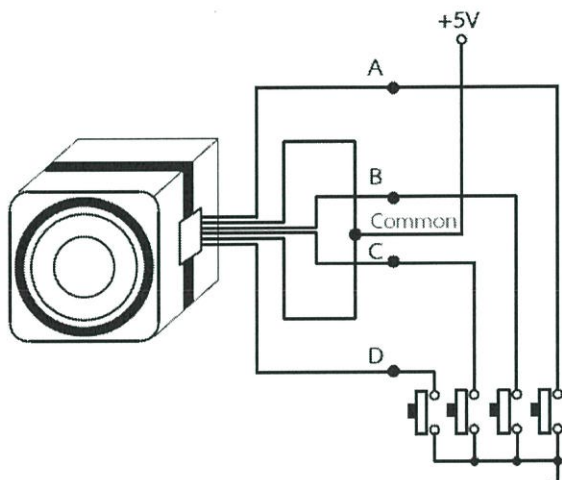
### 2.5.6 วิธีการตรวจสอบหาเฟสของขดลวดสเต็ปโป่งมอเตอร์

พิจารณาว่าสเต็ปโป่งมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ (Uni-polar Stepper Motor) จะมีจำนวนสาย 5 เส้นหรือ 6 เส้น ขั้นต่อมา ใช้มิเตอร์วัดค่าความต้านทานของเส้นลวดในแต่ละขดดังรูปที่ 2.15 ซึ่งขั้นตอนการวัดให้หาสายที่ต่อเป็นจุดร่วมเสียก่อน โดยให้ใช้ มัลติมิเตอร์ตั้งค่าไว้สำหรับการวัดค่าความต้านทานแต่ละเส้น สังเกตที่ค่าความต้านทาน ถ้าไม่ได้วัดระหว่างจุดต่อร่วมกับสายแต่ละเส้น ค่าความต้านทานจะมีค่าเป็น 2 เท่าของการวัดระหว่างจุดต่อร่วมกับสายที่ใช้งาน ตัวอย่างเช่น ถ้าให้จุด B เป็นจุดร่วม หากวัดระหว่างจุด A กับจุด B จะมีค่าเท่ากับ 60 โอห์ม แต่ถ้าวัดระหว่างที่จุด A และจุด C ซึ่งไม่ใช่จุดร่วมก็จะได้ค่าเท่ากับ 120 โอห์ม หากเป็นแบบที่มีสาย 6 เส้นจะมีจุดร่วมสองจุด เพราะมีขดลวดคนละชุดกัน และสายที่เป็นจุดร่วมส่วนใหญ่จะมีสีเหมือนกัน ทำนองเดียวกันหากเป็นแบบที่มีสาย 5 เส้น ก็จะมีจุดร่วมเพียงจุดเดียวเท่านั้น



รูปที่ 2.15 การใช้มิเตอร์วัดค่าความต้านทาน

หากเป็นแบบที่มีสาย 6 เส้น ก็ให้ทำการต่อจุดรวมเข้าด้วยกันจะได้เป็น 5 เส้น แล้วต่อวงจรตามรูปที่ 2.16 จากนั้นให้ทดลองกดสวิตช์ ที่ต่อเข้ากับแต่ละจุดโดยเริ่มที่ จุด A จุด B จุด C และจุด D แล้วให้สังเกตการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์ว่าหมุนได้ต่อเนื่องหรือไม่ หากมีการกระโดดข้ามสเต็ปก็ให้ทดลองโดยเรียงลำดับการกดสวิตช์ใหม่ จนหาลำดับของสายได้ถูกต้องคือมอเตอร์เดินตามทีละสเต็ปอย่างเป็นลำดับ



รูปที่ 2.16 การต่อวงจรเพื่อทดสอบโดยการสวิตช์เพื่อหาลำดับ

### 2.5.7 ข้อดีของสเต็ปปีงมอเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)

2.5.7.1 การควบคุมไม่ต้องอาศัยตัวตรวจจับการหมุน

2.5.7.2 ไม่ต้องใช้แปรงถ่านดังนั้นจึงทำให้ไม่มีส่วนที่จะต้องสึกหรอ และปัญหาของการสปาร์ค (ที่เกิดจากหน้าสัมผัสของแปรงถ่านแหวนตัวนำในโรเตอร์) ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน

2.5.7.3 การควบคุมโดยทางวงจรถิฉิตอลหรือไมโครโพรเซสเซอร์จะทำได้ง่ายและสะดวก

## 2.6 ARDUINO

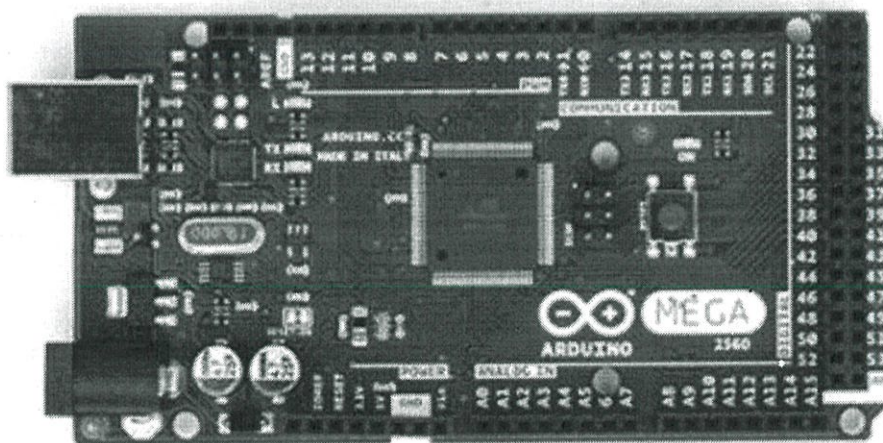
Arduino เป็นชื่อโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบ Open Source ที่ได้รับการปรับปรุงมาจากโครงการ Wiring ซึ่งเลือกใช้ AVR เบอร์ ATmega 128 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีจำนวนของหน่วยความจำและพอร์ตค่อนข้างมาก เป็นอุปสรรคในการสร้างบอร์ดและต่อวงจร ทำให้บอร์ดมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าที่ควร ต่อมาพัฒนาปรับปรุงใหม่โดยให้สามารถใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ขนาดเล็กอย่าง Mega8 และ Mega168 ได้ทำให้ระบบวงจรของบอร์ดมีขนาดเล็กและใช้อุปกรณ์น้อยชิ้นทำให้

ง่ายต่อการต่อวงจรและประหยัดต้นทุนในการสร้างบอร์ดทำให้ Arduino ได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานทั่วโลกเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ยังมีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายในการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากมีการออกแบบคำสั่งต่าง ๆ ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งาน ด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อน แต่สามารถนำไปใช้งานได้จริง และยังสามารถสร้างคำสั่ง และ Library ใหม่ ๆ ขึ้นมาใช้เองได้เมื่อมีความชำนาญมากขึ้น รองรับการทำงานทั้ง Windows Linux และ Macintosh OSX

Arduino สามารถประยุกต์ทำเครื่องใช้อัจฉริยะ รับสัญญาณจากสวิทช์ หรือ เซนเซอร์, และควบคุม หลอดไฟ, มอเตอร์, หรืออุปกรณ์อื่นๆ

### 2.6.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ Arduino Hardware

Arduino ATmega2560 เป็น Microcontroller board ที่ใช้ ATmega2560 เป็น MCU หลัก ซึ่งตัวนี้จะมีขา Digital 54 ขา อินพุต/เอาต์พุต (สามารถทำเป็น PWM ได้ถึง 4 ขา) และมีขา Analog อินพุตได้อีก 16 ขา, Flash memory 256 kB รั้นที่ความถี่ 16 MHz มี USB Connector และ Power Jack DC ซึ่ง Concept ของ Arduino Board นี้ทำมาเพื่อความสะดวกง่ายในการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ สามารถต่อ USB เข้ากับช่องคอมพิวเตอร์ ก็สามารถ Run โปรแกรมที่ Board ได้



รูปที่ 2.17 Arduino mega 2560

ที่มา (<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>)

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Arduino ATmega2560

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

ตัวบอร์ดสามารถประกอบขึ้นใช้เองหรือจะซื้อสำเร็จก็มีขาย ส่วนโปรแกรมพัฒนา Arduino สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี โค้ดที่ใช้ในการพัฒนาไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามรุ่นของบอร์ด การโปรแกรม Arduino จะเรียกว่า Sketch บอร์ด Arduino ใช้พัฒนาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR (Atmega 168 และ Atmega 328) ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างสูงทั่วโลก เพราะเป็น Open Source สามารถดัดแปลง ไปใช้งานได้ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ได้ทันที ภาษาที่ใช้กับบอร์ดนี้ จะเป็นลักษณะของ C/C++ โดยจัดให้มี Libraries ต่าง ๆ ให้พร้อมให้เรียกใช้งานได้ทันทีมากมาย ครอบคลุมการติดต่อกับ I/O ต่าง ๆ ได้กว้างมาก การใช้งานก็เพียงแค่เสียบสายยูเอสบี ติดตั้งโปรแกรมที่ให้มาด้วยเท่านั้น

2.6.1.1 อินพุตและเอาต์พุต ขาดิจิตอลทั้ง 54 ขาบนบอร์ด mega สามารถใช้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ โดยการใช้คำสั่ง pinMode(), digitalWrite() และ digitalRead() บอร์ดจะทำงานที่แรงดัน 5 โวลต์ แต่ละขาสามารถจ่ายหรือรับกระแสได้สูงสุด 40 มิลลิแอมป์ และมีตัวต้านทานภายในแบบ pull-up ขนาด 20-50 กิโลโอห์ม และมีบางขาที่มีหน้าที่พิเศษดังนี้

(ก) Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX) ใช้การรับส่งข้อมูล TTL อนุกรม ขา 0 และ ขา 1 จะต่ออยู่กับขา corresponding ของชิพ ATmega16U2 USB-to-TTL

(ข) External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2) ขาเหล่านี้ จะสามารถตั้งค่าให้กระตุ้นการอินเทอร์รัพท์ในสถานะต่ำหรือมีการเปลี่ยนแปลงค่า

(ค) PWM: 2 to 13 and 44 to 46 เอาต์พุตขนาด 8 บิตด้วยคำสั่ง analogWrite()

(ง) SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS) ขาเหล่านี้ สนับสนุนการสื่อสารแบบ SPI โดยใช้ SPI library

(จ) แอลอีดี: 13 เป็นแอลอีดีที่เชื่อมต่ออยู่กับขาดิจิตอลขาที่ 13 จะทำงานเมื่อขามีสถานะ High จะหยุดทำงานเมื่อขาอยู่ในสถานะต่ำ 6

(ฉ) TWI: 20 (SDA) and 21 (SCL) สนับสนุนการสื่อสารแบบ TWI โดยใช้ Wire-library

(ช) AREF ขาแรงดันอ้างอิงสำหรับอินพุตแอนาลอกใช้กับคำสั่ง analogReference()

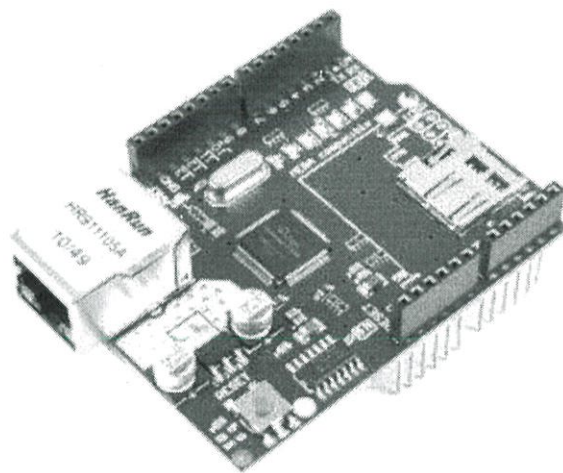
(ซ) Reset ทำให้ขาอยู่ในสถานะต่ำเพื่อ reset ไมโครคอนโทรลเลอร์

## 2.7 โมดูลอีเทอเน็ต (Ethernet Shield Module For Arduino)

โมดูลอีเทอเน็ต (Ethernet Shield W5100) เป็นบอร์ดที่ออกแบบมาเพื่อเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระบบสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ไม่มีพอร์ต Ethernet กับโครงข่าย Ethernet โดยบอร์ดนี้จะใช้ชิพ Ethernet Controller เบอร์ W5100 ซึ่งข้อดีของ ชิพเบอร์นี้ คือ มี Hardwired TCP/IP stack ในตัวชิพเลย ไม่ต้องมาเขียน Software TCP/IP Stack ภายนอกอีก รองรับการเชื่อมต่อแบบ TCP/IP Protocols TCP, UDP, ICMP, IPv4 ARP, IGMP, PPPoE, Ethernet ทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น และไม่เปลืองทรัพยากร ระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มาต่อร่วมด้วย

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของโมดูลอีเทอร์เน็ต Ethernet Shield W5100

Ethernet Controller	W5100 with internal 16K buffer
Operating Voltage	5V
Connection speed	10/100Mb
Connection with Arduino	SPI port
Input voltage range	3.6V to 5.7V
Output	9V
High efficiency DC/DC converter	typ 75% @ 50% load
Low output ripple and noise	100mVpp
input to output	1500V



รูปที่ 2.18 Ethernet Shield W5100

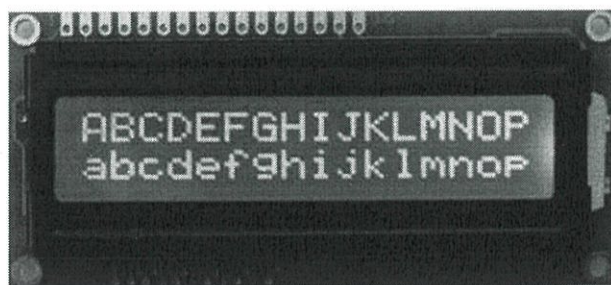
## 2.8 ชุดแสดงผลจอแอลซีดี (Liquid Crystal Display)

ชุดแสดงผลเป็นจอแอลซีดีขนาดไม่น้อยกว่า 2 บรรทัด 16 ตัวอักษร เพื่อแสดงความถี่รูปแบบสัญญาณและขนาดแรงดันโดยแอลซีดี (Liquid Crystal Display) เป็นอุปกรณ์แสดงผลที่นิยมนำมาใช้งาน โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. Character LCD Module
2. Graphic LCD Module

โดยองค์ประกอบสำคัญของแอลซีดีทั้ง 2 ประเภท ก็จะประกอบไปด้วย

1. จอ LCD แบบดอตแมทริกซ์ ( Dot Matrix LCD) เป็นตัวแสดงผลให้เรามองเห็นในลักษณะการปิดและเปิดตัวเองกับแสงก็คือ ส่วนของที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก
2. ไดรเวอร์ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับผลึก LCD อีกทางหนึ่ง โดยมีเบอร์ที่นิยมใช้กันคือ HD44780 ซึ่งใช้ในแบบ Character LCD Module คือการแสดงผลเป็นตัวอักษรใดๆเป็นส่วนใหญ่ ส่วน HD61830 จะใช้ในแบบ Graphic LCD Module หรือแสดงในลักษณะกราฟิกได้
3. HD44780 เป็นไอซี LSI ตัวหนึ่งใช้ควบคุม LCD โดยแสดงผลในรูปแบบของตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ต่างๆ ตัวมันเองสามารถต่อใช้งานได้ 4 บิต หรือ 8 บิต โดยถ้าเราต่อแบบ 4 บิตจะต่อใช้งานที่ DB7-DB4 เท่านั้น โดยข้อมูลครั้งแรกที่ส่งนั้น HD44780 จะถือเป็นข้อมูล 4 บิตบนข้อมูลที่ส่งต่อมานั้นเป็นข้อมูล 4 บิตล่าง
4. ส่วนของการทำงานของคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นหัวใจหลักในการควบคุมการทำงานที่มาจากส่วนต่าง ๆ ร่วมกัน ทั้งหมดจึงถูกเรียกว่า แอลซีดีโมดูล โดยบางรุ่นอาจจะมีส่วนของแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแสดงผลหรือที่เรียกว่าแบ็กไลท์ (Backlight) เป็นอุปกรณ์เพิ่มเติมเข้ามา



รูปที่ 2.19 LCD Module ขนาด 16x2

รายละเอียดการต่อขาจอ LCD มีดังนี้คือ

- ขา Vss เป็นขาต่อลงกราวด์ (GND)
- ขา Vdd เป็นขาจ่ายไฟ +5 V
- ขา Vo เป็นขาที่ต่อไฟสำหรับควบคุมความเข้ม (Contrast) ของตัวอักษรที่แสดงผลปรับได้ 0 – 5 V ถ้าปรับเข้าใกล้ 0 V ตัวอักษรจะเข้มสุด หากไม่ต้องการปรับให้ต่อลง GND
- ขา RS เป็นขาที่ใช้ควบคุมการป้อนคำสั่ง กับข้อมูลที่แสดงผล
- ขา RAW เป็นขาที่ใช้ควบคุมว่าจะให้อ่านค่าตัวอักษรจากหน้าจอ หรือเขียนเขียนตัวอักษรลงไปหน้าจอ หากต้องการจะส่งข้อมูลออกแสดงผลเพียงอย่างเดียว ให้ต่อขานี้ลง GND
- ขา EN เป็นขาควบคุมสถานการณ์อ่าน หรือ แสดงผลข้อความ
- ขา D0 - D7 เป็นขาที่ส่งข้อมูลเข้า - ออก เพื่อแสดงผล
- ขา A และ ขา K เป็นขาที่ต่อไฟ Back Light สำหรับเป็นจอที่มี Back light ที่เหมาะกับการใช้งานในที่มืดไฟที่ต่อเป็นไฟตรง +5 V

### บทที่ 3

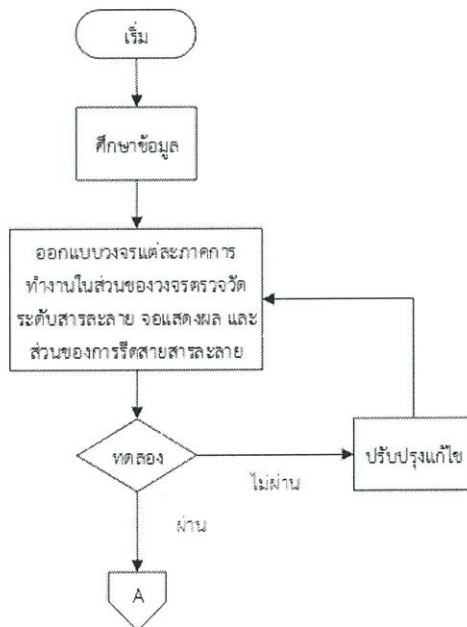
## การออกแบบและการจัดทำปฏิญญาพันธ

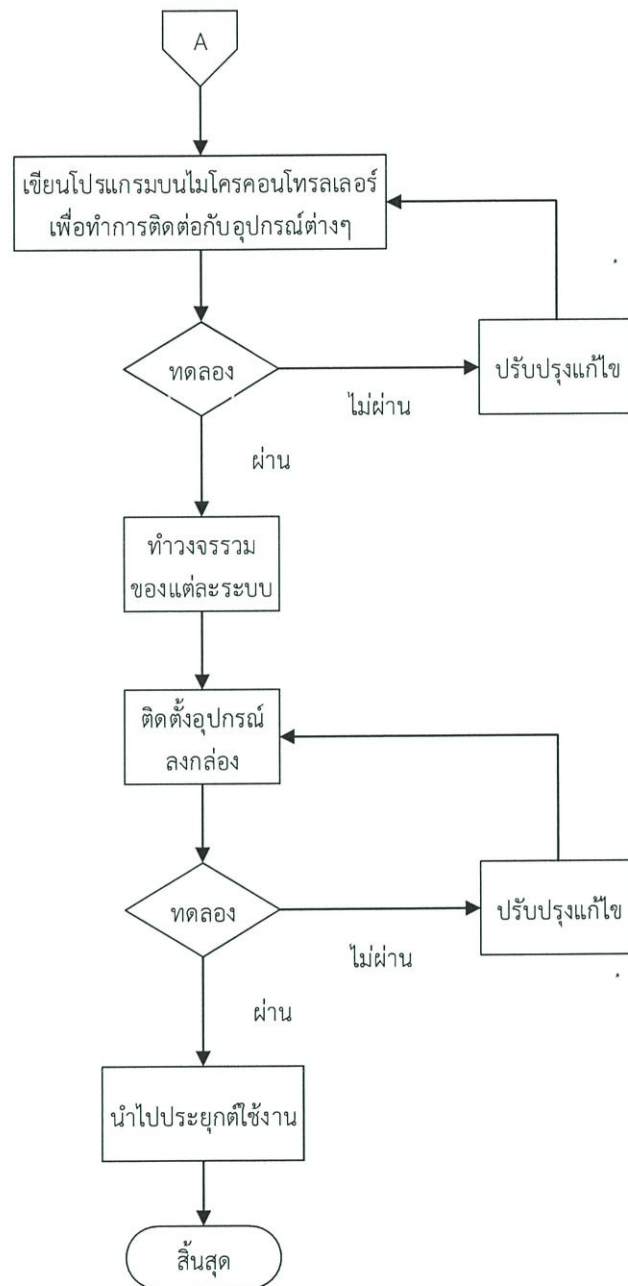
ในการพัฒนาเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายที่สามารถตรวจสอบการทำงานได้จากระยะไกล ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานให้เสร็จตามเป้าหมายตามขั้นตอนดังนี้

- 3.1 การออกแบบระบบรวม
- 3.2 การออกแบบวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย
- 3.3 การออกแบบชิ้นส่วนสำหรับกลไกรีดสายของสารละลาย
- 3.4 การออกแบบวงจรขับมอเตอร์
- 3.5 การออกแบบกล่องและสร้างโครงสร้าง
- 3.6 การออกแบบและสร้างโปรแกรมควบคุม
- 3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
- 3.8 การจัดเก็บผลการทดลอง

### 3.1 การออกแบบระบบรวม

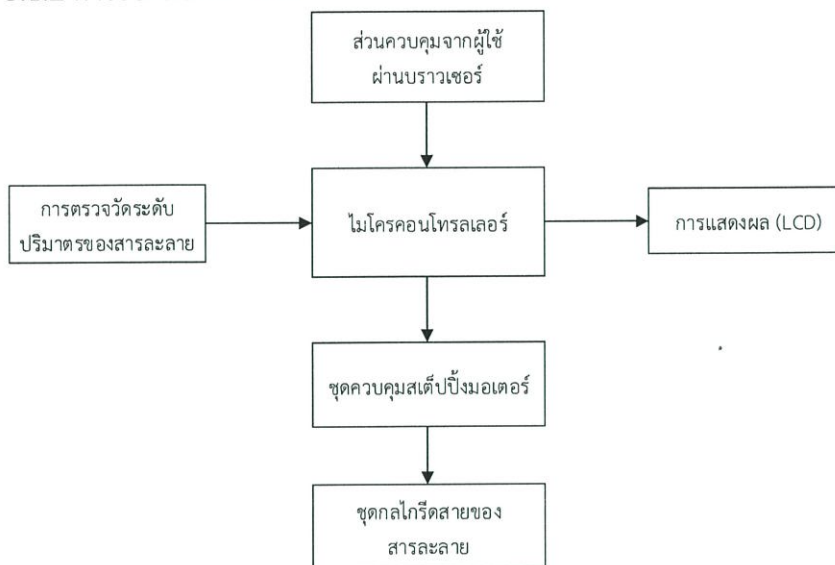
#### 3.1.1 แผนภาพการทำงานรวมของปฏิญญาพันธ





รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานรวมของปริญญานิพนธ์

### 3.1.2 การออกแบบโดยรวม



รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมการทำงานโดยรวมของเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล

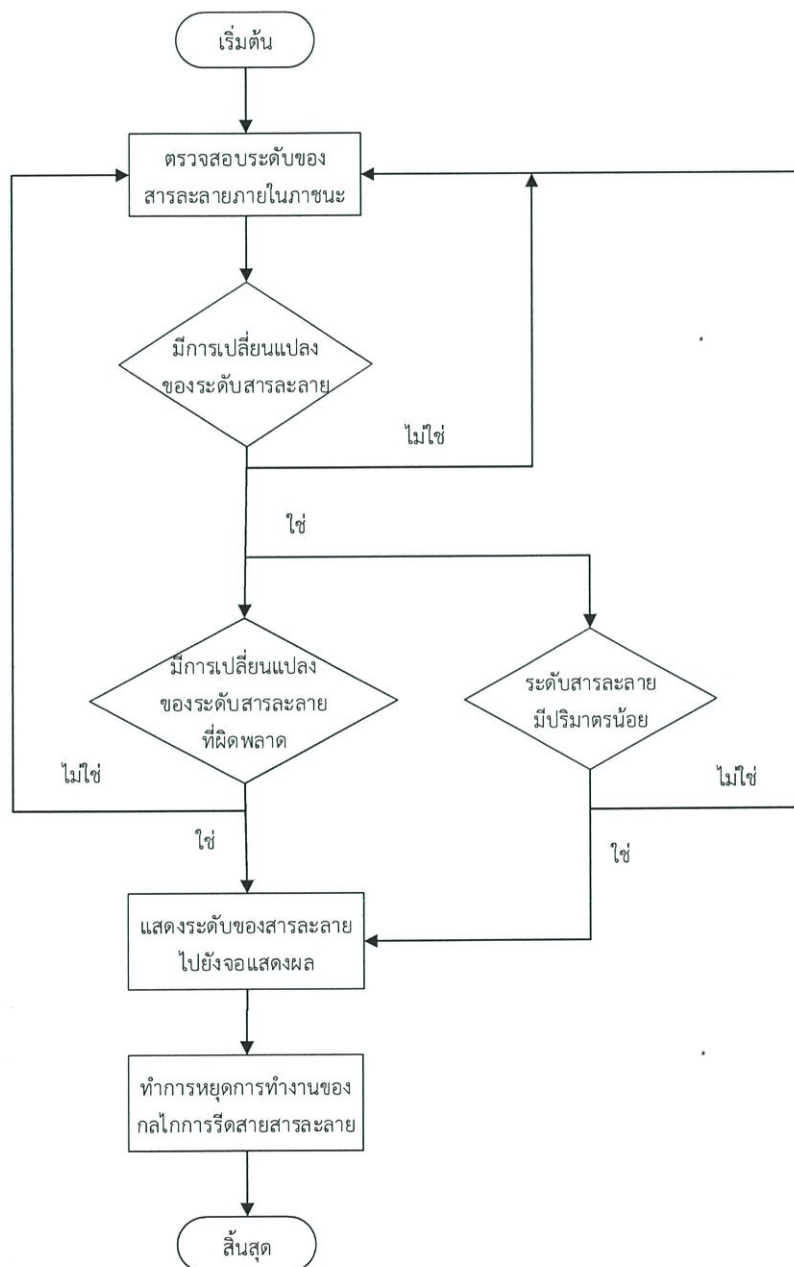
จากรูปที่ 3.2 การทำงานของระบบจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ส่วนการตรวจวัดระดับปริมาณสารละลาย ทำหน้าที่ตรวจจับปริมาณการไหลของสารละลาย ซึ่งจะทำการเปลี่ยนหยดน้ำเกลือเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้หลักการตรวจจับด้วยแสงอินฟราเรด ถ้ามีสารละลายตัดผ่านแสงอินฟราเรด ตัวตรวจสอบจะส่งสัญญาณไปยังวงจรเพื่อเปรียบเทียบแรงดัน จากนั้นจะสร้างสัญญาณพัลส์ 0 กับ 1 ขึ้นมา เพื่อทำการส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล
2. ส่วนควบคุมจากผู้ใช้งานผ่านบราวเซอร์ เป็นส่วนที่ผู้ใช้สามารถเลือกอัตราการไหลของสารละลายที่ต้องการบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน
3. ส่วนควบคุมสแต็ปมอเตอร์ ทำหน้าที่รับสัญญาณจาก Arduino mega 2560 ให้สแต็ปมอเตอร์ทำงาน เพื่อควบคุมชุดกลไกการรีดสาย
4. ส่วนการแสดงผล จะแสดงโดยใช้แอลอีดี โดยจะแสดงค่าอัตราการไหลของสารละลายและแสดงสถานะปริมาณล่าสุด
5. ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องควบคุมการไหลของสารละลาย โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino mega 2560
6. ส่วนชุดกลไกรีดสายของสารละลาย ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารละลาย เพื่อให้ได้ตามอัตราการไหลที่ต้องการ

### 3.2 การออกแบบวงจรชีวิตระดับปริมาตรสารละลาย

#### 3.2.1 การทำงานของวงจรชีวิตระดับปริมาตรสารละลาย

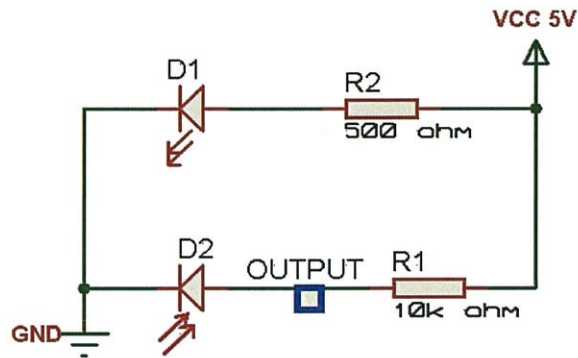
แผนภาพการทำงานของวงจรชีวิตระดับปริมาตรสารละลาย แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของวงจรชีวิตระดับปริมาตรสารละลาย

### 3.2.2 การออกแบบวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย

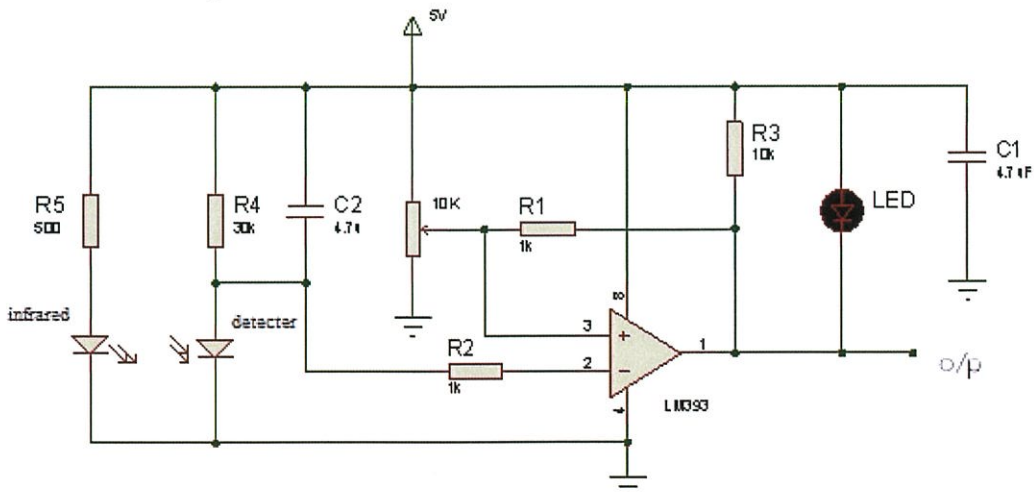
วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย จะรับค่าสถานะของปริมาตรที่วัดจากวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย เพื่อส่งข้อมูลสถานะล่าสุดของปริมาตร โดยใช้หลักการกำหนดอัตราการใช้ที่คงที่ โดยเริ่มต้นได้มีการใช้วงจรในรูปที่ 3.4 ในการวัดระดับสารละลายโดยใช้ Infrared Diode เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินฟราเรด และใช้ Photo Detector เป็นตัวรับสัญญาณอินฟราเรด



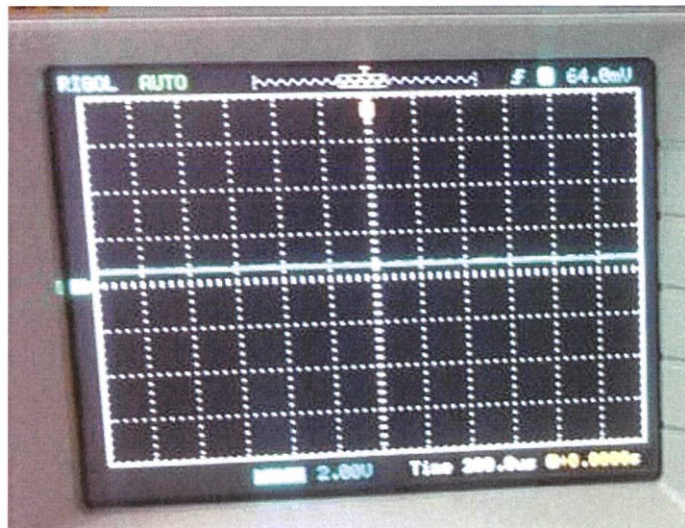
รูปที่ 3.4 วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายเริ่มต้น

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าวงจรเริ่มต้นสามารถจับสัญญาณของหยดสารละลายได้ยังไม่ชัดเจน ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาวงจรในการตรวจจับต่อ

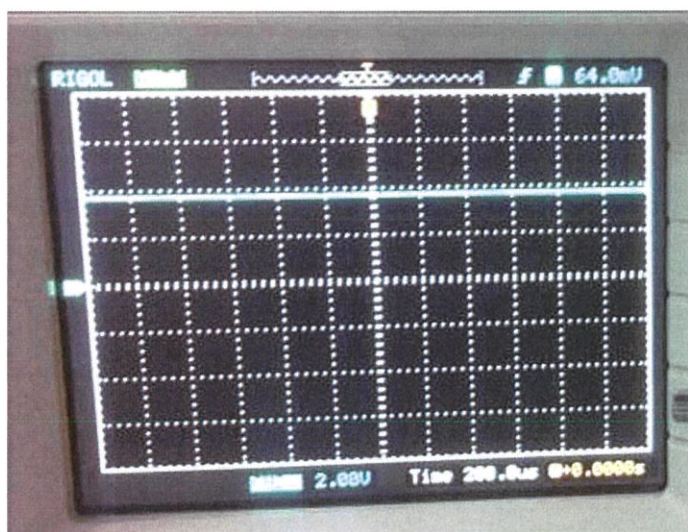
โดยการเพิ่มวงจรขยายแรงดัน และวงจรเปรียบเทียบแรงดัน เพื่อที่จะให้สัญญาณที่ได้ออกมามีความชัดเจน และทำการเพิ่มวงจรเปรียบเทียบแรงดันเข้าไป ส่งผลให้สัญญาณที่ได้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 2



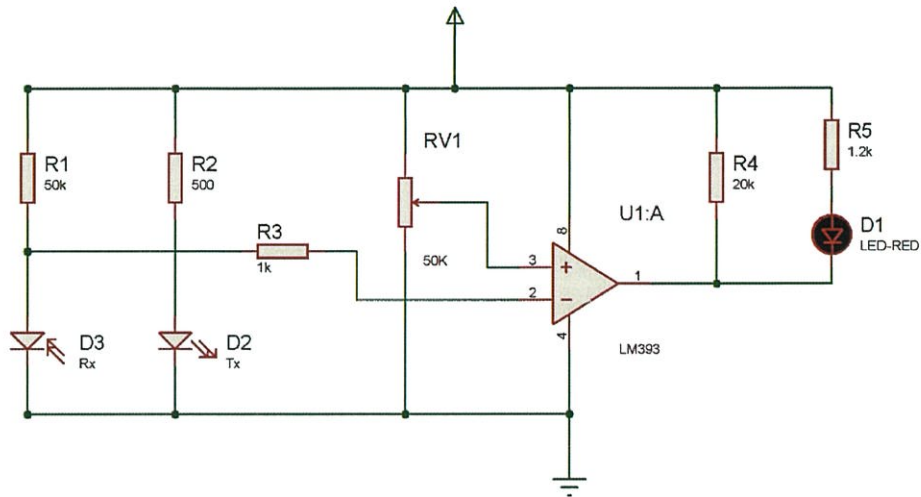
รูปที่ 3.6 สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดระดับสารละลายรุ่นที่ 2 เมื่อมีสารละลาย



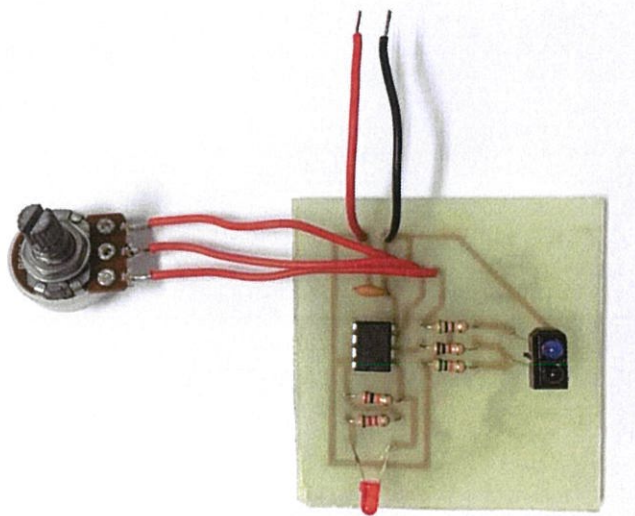
รูปที่ 3.7 สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดระดับสารละลายรุ่นที่ 2 เมื่อไม่มีสารละลาย

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าวงจรวัดปริมาณสารละลายไม่สามารถตรวจสอบ ปริมาณสารละลายได้ชัดเจน เนื่องจากปริมาณและตำแหน่งของสารวัดปริมาณสารละลายมี ผลกระทบ โดยถ้าวงจรวัดสารละลายไม่ตรงกับระดับปริมาณสารละลายจะไม่สามารถจับได้ และ สัญญาณที่ได้ยังไม่อยู่ที่ระดับแรงดัน 0 V ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนางจรในการตรวจจับต่อไป

โดยเปลี่ยนมาใช้ Reflective Optical Sensor with Transistor Output ทำการเพิ่มค่าตัวต้านทาน และปรับปรุวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ได้ดังรูปที่ 3.8



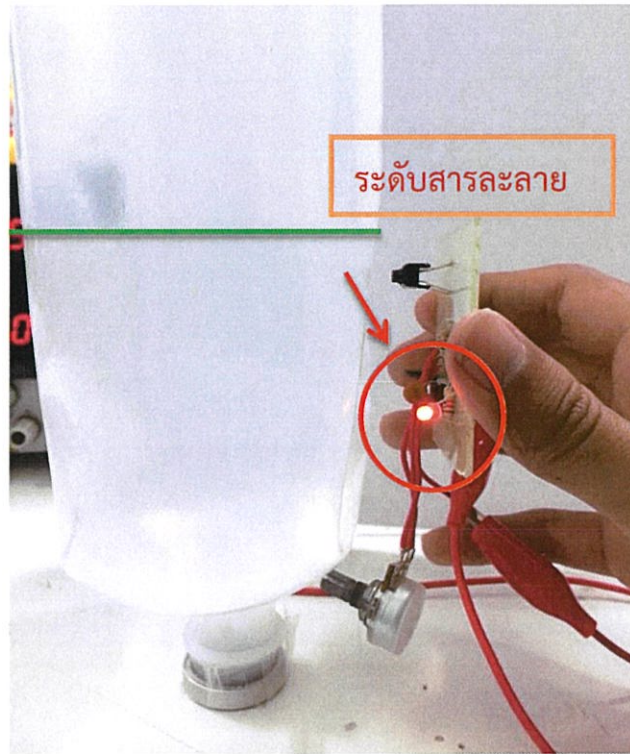
รูปที่ 3.8 วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 3



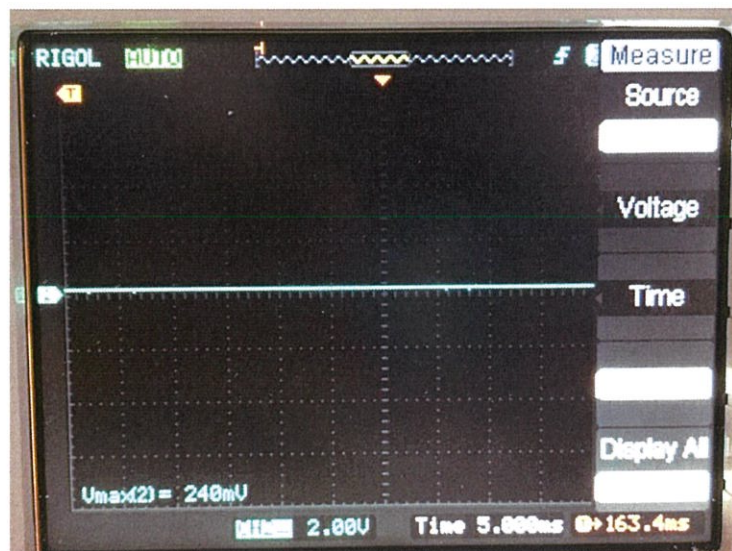
รูปที่ 3.9 วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 3

การทดสอบวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย เป็นวงจรที่ใช้แสดงสถานะปริมาตรของสารละลาย โดยจะรับค่าสถานะของปริมาตรที่วัดได้ โดยใช้ Reflective Optical Sensor with Transistor Output เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินฟาเรด และเป็นตัวรับสัญญาณอินฟาเรด ในตัวเดียวกัน

- หลอดไฟ LED ในวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย จะสว่าง เมื่อในขวดมีปริมาตรสารละลาย



รูปที่ 3.10 ผลการทดลองวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 3 เมื่อมีสารละลาย

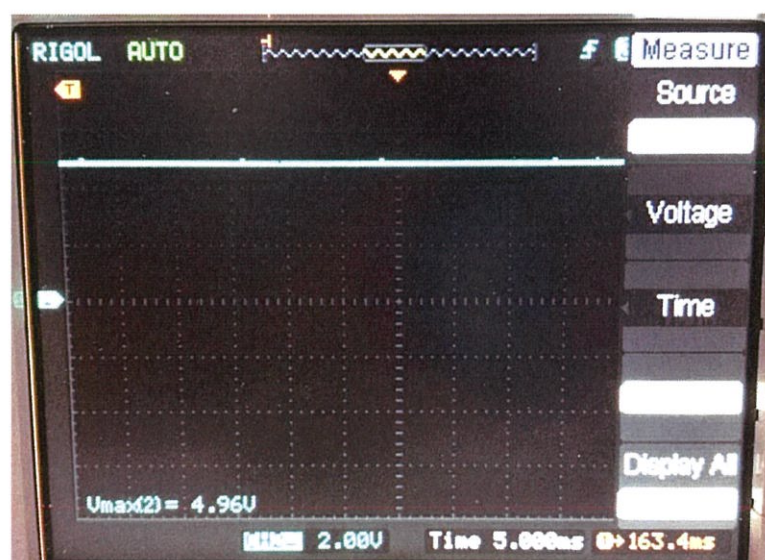


รูปที่ 3.11 สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 3 เมื่อมีสารละลาย

- หลอดไฟ LED ใน วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย จะดับ เมื่อปริมาตรสารละลายในขวดหายไป

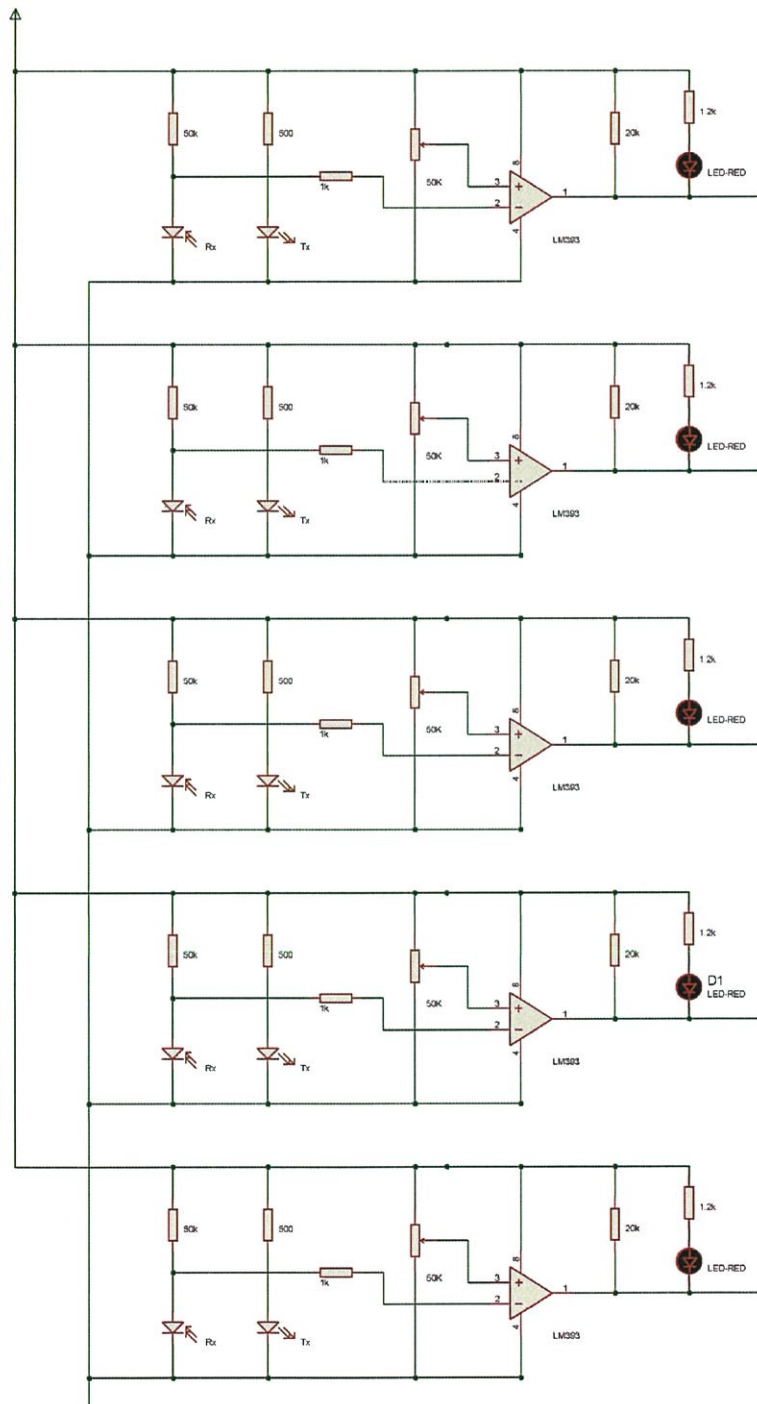


รูปที่ 3.12 ผลการทดลองวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 3 เมื่อไม่มีสารละลาย

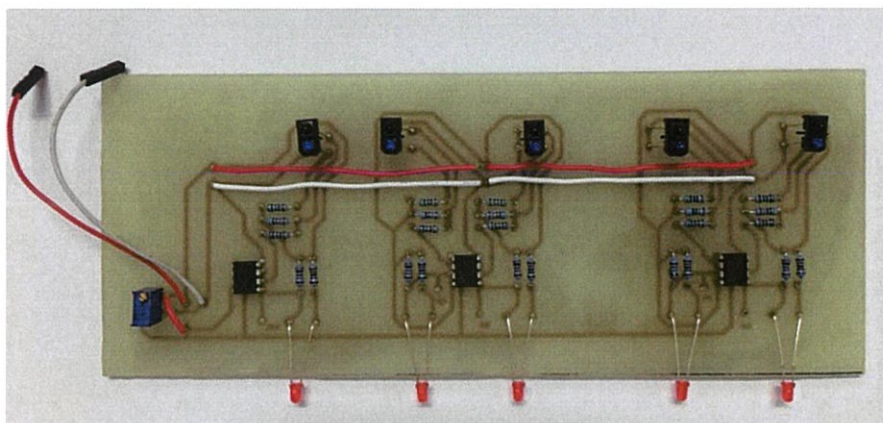


รูปที่ 3.13 สัญญาณที่ได้จากวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลายรุ่นที่ 3 เมื่อไม่มีสารละลาย

เมื่อทำการทดสอบและปรับปรุงวงจรให้มีประสิทธิภาพให้ใช้งานได้เรียบร้อยแล้ว ทำการออกแบบวงจรให้เหมาะกับการนำมาทำโครงการ ซึ่งได้ทำการออกแบบรวมวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย เพื่อใช้ในการเตือนวัดระดับปริมาตรของสารละลายทั้งหมด 5 จุด ดังรูปที่ 3.14

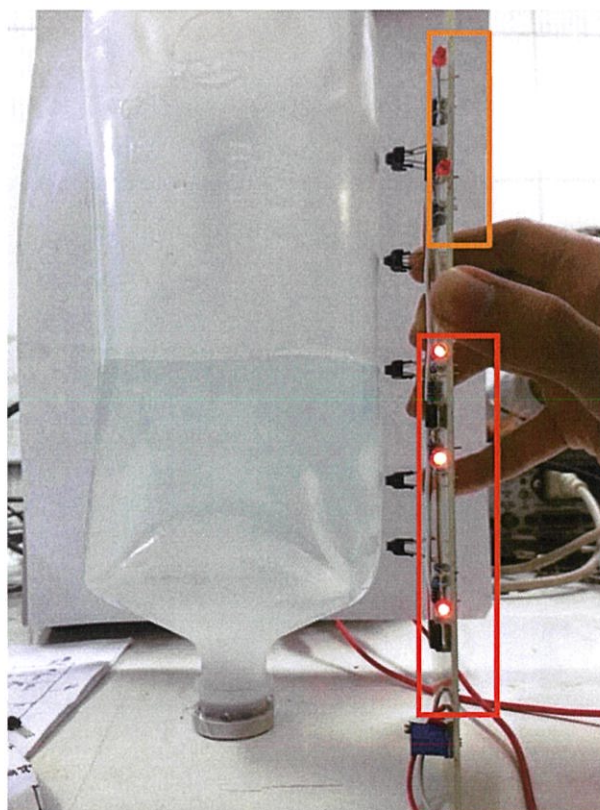


รูปที่ 3.14 วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย 5 จุด

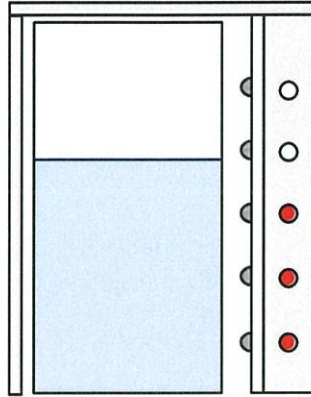


รูปที่ 3.15 วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย 5 จุด

การทดสอบวัดระดับปริมาตรสารละลาย 5 จุด ทำได้โดยการวัดระดับปริมาตรน้ำในขวดว่าเมื่อเวลาผ่านไป ถ้าปริมาตรของน้ำเหลือลดลง ดังรูปที่ 3.16 หลอดไฟ LED ณ ตำแหน่งที่เหนือระดับปริมาตรน้ำจะดับ ส่วนในตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับปริมาตรน้ำอยู่ หลอดไฟ LED ยังคงสว่างอยู่



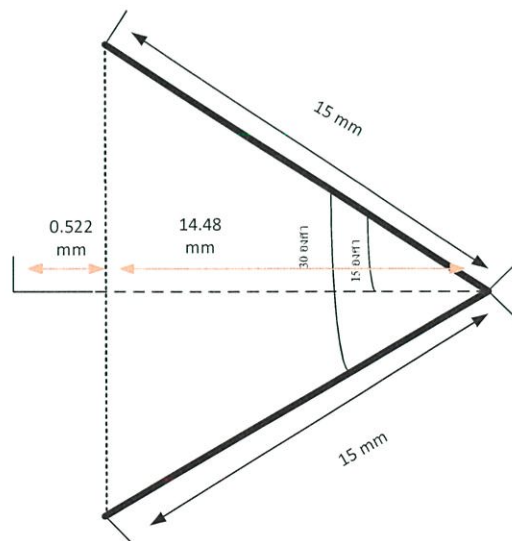
รูปที่ 3.16 ผลการทดลองวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย 5 จุด



รูปที่ 3.17 การออกแบบชิ้นงานวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย 5 จุด

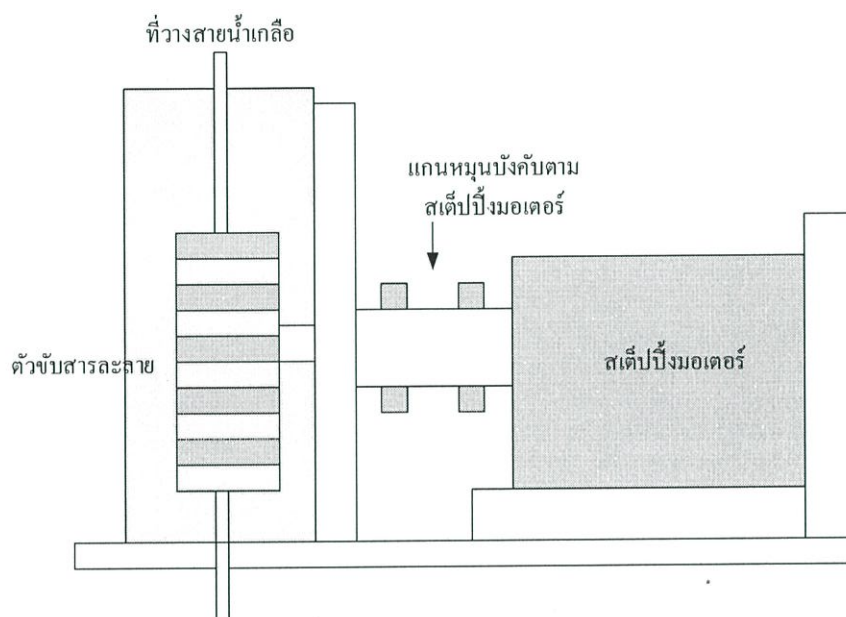
### 3.3 การออกแบบชิ้นส่วนสำหรับรีดสาย

ชิ้นส่วนสำหรับรีดสายที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเป็นล้อเฟืองคล้ายกับกังหัน มีส่วนของแขนที่เป็นตัวรีดสารละลายออกจากสายได้ โดยมีแขนยื่นออกมาจากแกนกลางทั้งหมด 12 แขน แขนแต่ละแขนนั้นจะมีความห่างกัน 30 องศา สามารถที่จะคำนวณระยะการวางสายดังรูปที่ 3.18 คือจะต้องวางตัวรีดห่างจากสายเป็นระยะทางเท่ากับ 14.48 มิลลิเมตร ความยาวของแขนเฟืองนับจากแกนกลางคือ 15 มิลลิเมตร และเฟืองมีเส้นรอบวง 94.25 มิลลิเมตร โดยแขนแต่ละแขนของเฟืองจะต้องมีตัวช่วยของฝั่งด้านที่กดเข้ามา ซึ่งที่ด้านกดจะใช้วัสดุยืดหยุ่นในระยะยึดและหดได้เข้าไปชิดเฟืองเป็น 0.522 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.18 การคำนวณระยะห่างของแขนสำหรับรีดสาย

ชิ้นส่วนสำหรับรีดสายที่ออกแบบไว้แสดงในรูปที่ 3.19 โดยผู้ใช้จะต้องถอดสลักที่ทำหน้าที่ล็อกสายด้านนอกออกก่อน แล้วจึงจะใส่สายสารละลายลงไปในช่องได้ จากนั้นจึงทำการรีดสาย



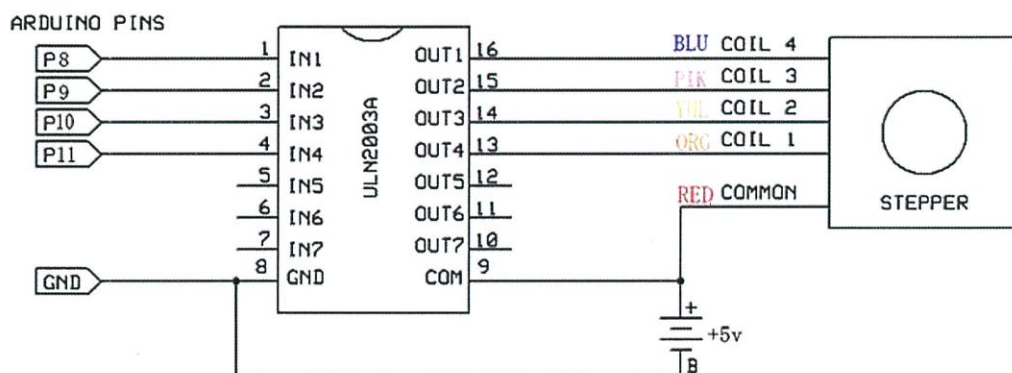
รูปที่ 3.19 กลไกการรีดสาย

ส่วนประกอบของชุดกลไกการบีบสาย จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

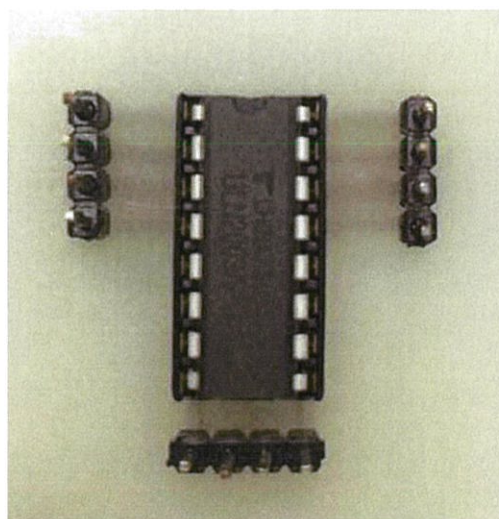
1. สเต็ปป์มอเตอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนชุดแกนหมุนในการบังคับล้อเฟืองให้รีดสาย เพื่อควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย
2. แกนหมุนบังคับทิศทางกรรไกรรีดสายในแนวนอน เมื่อบีบหรือคลายสายน้ำเกลือ จะหมุนไปตามสเต็ปป์มอเตอร์
3. ฝาหนีบ เป็นตัวล็อกตำแหน่งของสาย เพื่อที่จะทำการรีดสารละลายได้ตามต้องการ
4. ช่องใส่สายน้ำเกลือ จะเป็นที่ สอดสายน้ำเกลือในแนวตั้งของสายน้ำเกลือ และจะมีวัสดุพลาสติกบีบสายเพื่อให้เกิดการบีบที่แน่นไม่ให้น้ำเกลือไหลผ่าน

### 3.4 การออกแบบวงจรขับสเต็ปมอเตอร์

วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ โดยใช้ IC ULN 2003 สามารถขับสเต็ปมอเตอร์ ได้ตั้งแต่ 5-30 V โดย ULN 2003 มีความสามารถในการจ่ายกระแสได้สูงสุด 500 mA ต่อขา เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนให้ส่งข้อมูล “1” โล่เรียงไปตามลำดับ จาก PIN 11-8 แล้ววนกลับมาที่ PIN11 ใหม่ หากต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางก็ให้ส่งข้อมูลย้อนกลับ โดยเริ่มจาก P8 ก่อนแล้วสิ้นสุด รอบที่ PIN 11 แล้ววนกลับไป PIN 8 ใหม่ เมื่อ ULN 2003 ได้รับข้อมูล “1” ก็จะทำการกลับลอจิก ทำให้เกิดกระแสไฟไหลผ่านขอลวดของมอเตอร์ที่อยู่กับขาเอาต์พุตที่ทำงานส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของแกนมอเตอร์ขึ้น



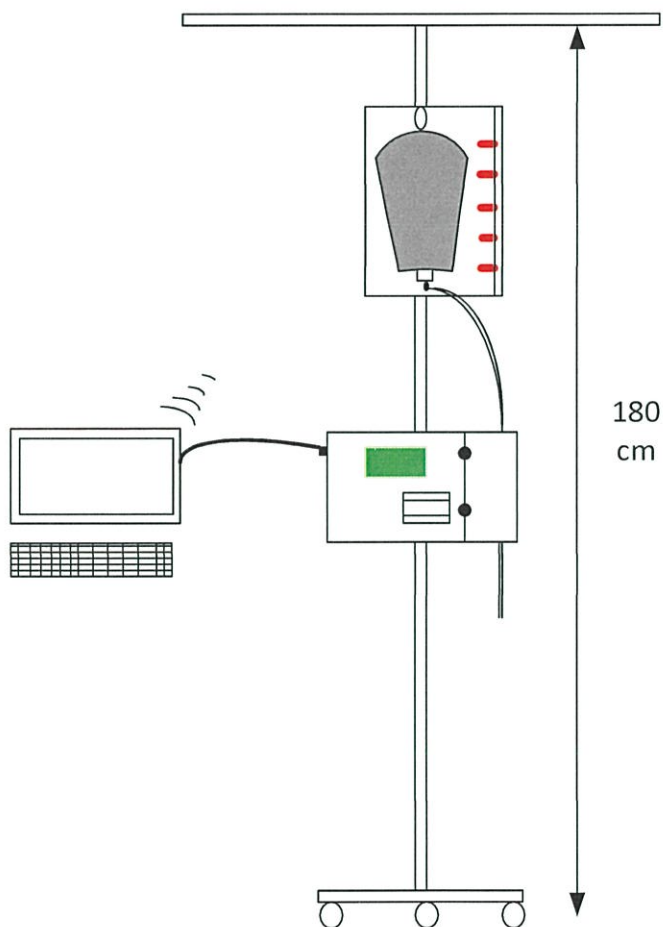
รูปที่ 3.20 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ โดยใช้ IC ULN 2003 ต่อกับ Arduino



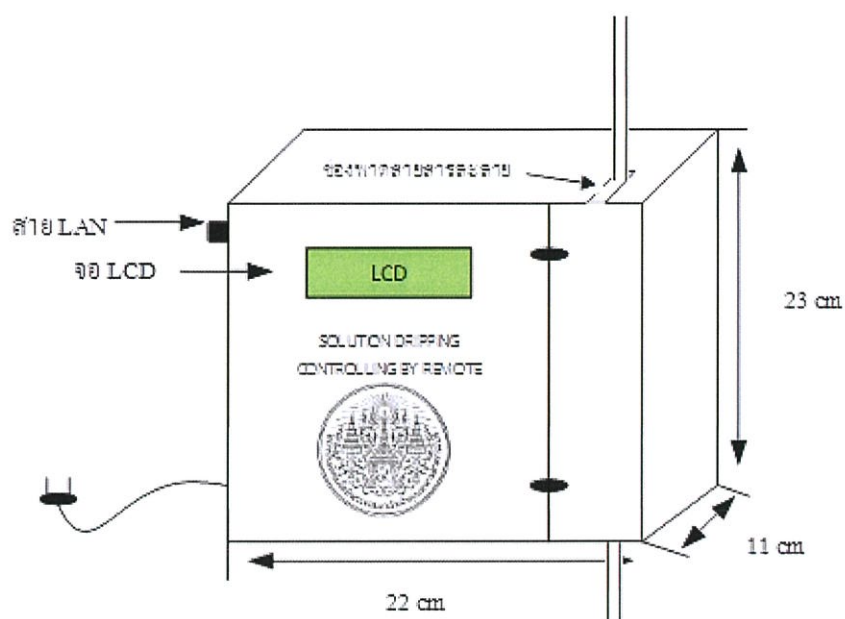
รูปที่ 3.21 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ โดยใช้ IC ULN 2003

### 3.5 การออกแบบกล่องและสร้างเครื่องควบคุมสารละลายต้นแบบ

เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล ประกอบด้วย ฐานรองมีลูกล้อในการเคลื่อนย้าย เพื่อให้เสาแขวนถุงน้ำเกลืออยู่ได้เพื่อความมั่นคง ซึ่งเสาจะมีความสูงประมาณ 180 เซนติเมตร และสามารถปรับระดับความสูงได้ ในช่วงกลางของเสาจะถูกติดตั้งชุดควบคุมหลักดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 โครงสร้างของเสาน้ำเกลือที่ถูกติดตั้งด้วยชุดควบคุมหลัก



รูปที่ 3.23 เครื่องควบคุมสารละลายต้นแบบ

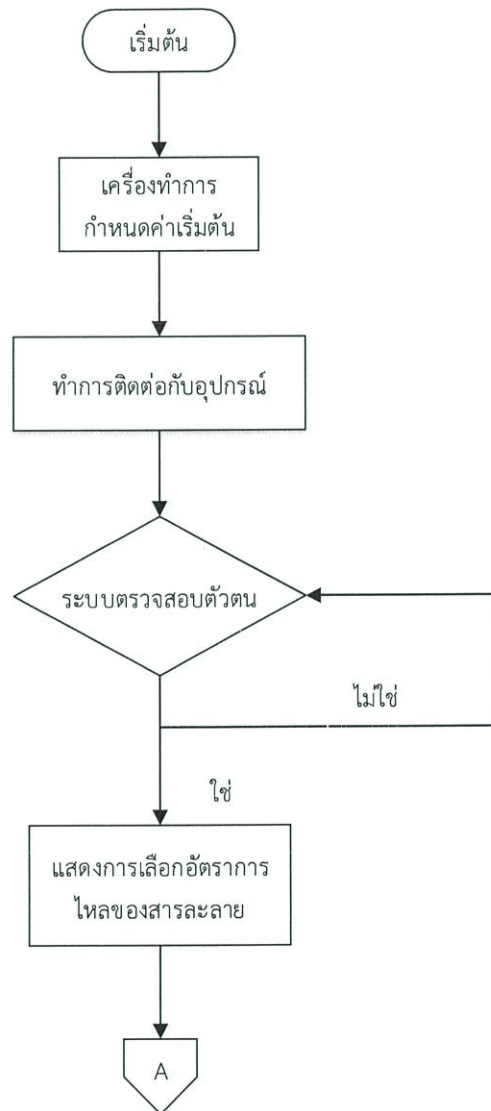
จากรูปที่ 3.23 คือ เครื่องควบคุมสารละลายต้นแบบ โดยด้านหน้าจะเป็นส่วนของแสดงผลของการทำงานผ่าน LCD ภายในจะประกอบด้วยส่วนควบคุมจากที่รับค่าจากผู้ใช้ ชุดควบคุมสแต็ปมอเตอร์ และการรับค่าจากวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย

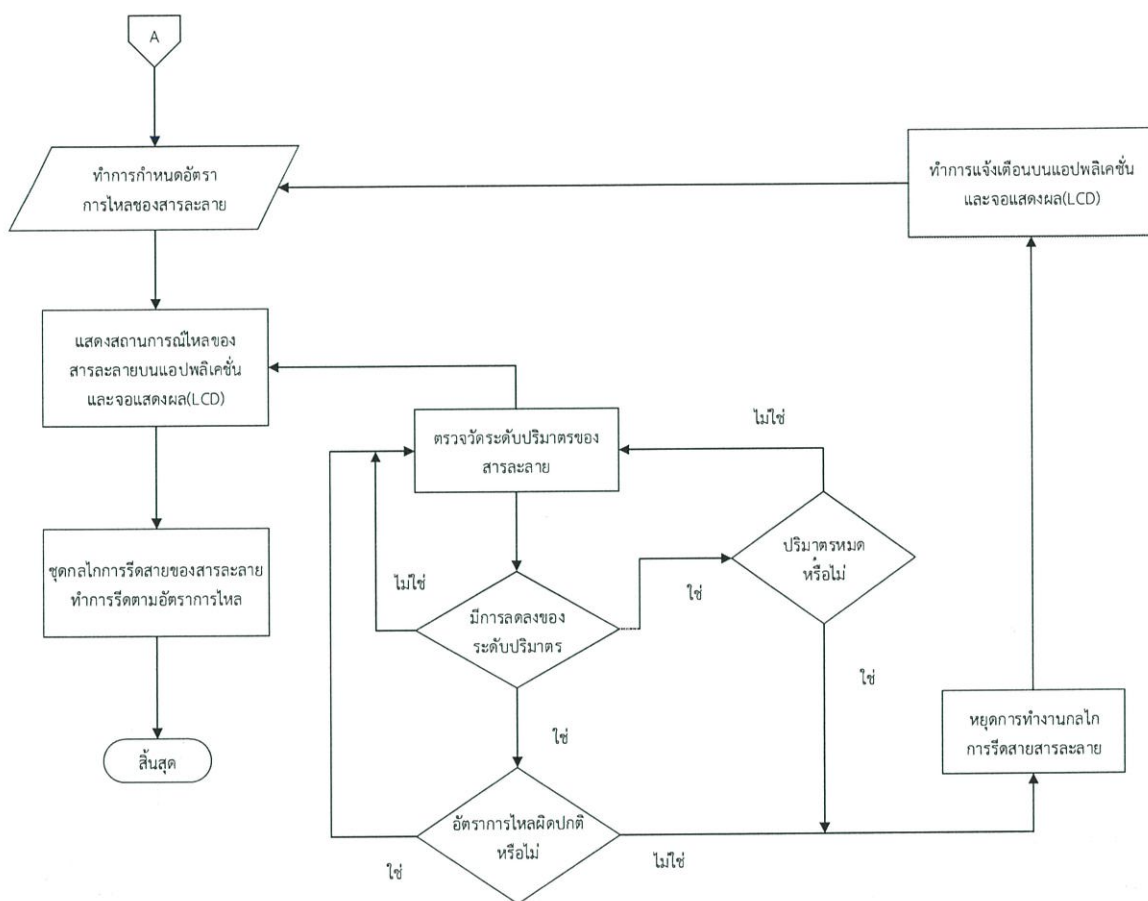
### 3.6 การออกแบบและสร้างโปรแกรมควบคุม

โปรแกรมควบคุม คือชุดคำสั่งต่าง ๆ ที่รวบรวมเอาไว้เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัดสินใจทำงานตามความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างถูกต้อง โครงการนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ Arduino mega 2560 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR มีหน่วยความจำแบบแฟลช 256 กิโลไบต์ โดยเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกลนี้ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหน่วยประมวลผล และชุดควบคุมหลัก

### 3.6.1 แผนภาพการทำงานของชุดควบคุมหลัก

ขั้นตอนองค์ประกอบการทำงานทั้งหมดแสดง ดังรูปที่ 3.24





รูปที่ 3.24 แผนภาพการทำงานของชุดควบคุมหลัก

### 3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการออกแบบโดยรวมจะใช้เครื่องมือในการทำงาน โดยจะแบ่งการออกแบบในส่วนต่างๆ แยกได้ดังนี้

#### 3.7.1 ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

- Arduino mega 2560
- Ethernet shield

### 3.7.2 ส่วนวงจร

- Power Supply
- Signal Generator
- Oscilloscope

## 3.8 การจัดเก็บผลการทดลอง

### 3.8.1 การทดสอบเว็บแอปพลิเคชัน

1. ทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและเปิดหน้าเว็บแอปพลิเคชันที่จะใช้ทดสอบ
2. เปิดแอปพลิเคชัน ทำการ login เข้าระบบ
3. ทำการเลือกข้อมูลที่จะป้อนค่าลงไป
4. แสดงสถานะ และข้อมูล ที่เลือกป้อนไป
5. บันทึกผลการทดลอง และทำซ้ำ 5-7 ครั้ง

### 3.8.2 การทดสอบวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย

1. ต่อดวงจรมารูปที่ 3.4-3.16
2. วัดสัญญาณเอาต์พุตที่วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย เมื่อมีสารละลาย
3. วัดสัญญาณเอาต์พุตที่วงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย เมื่อไม่มีสารละลาย
4. บันทึกผลการทดลอง
5. ทดสอบวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย 5 จุด

### 3.8.3 การทดสอบวงจรสแต็ปมอเตอร์

1. ต่อดวงจรมารูปที่ 3.20
2. บันทึกผลการทดลอง

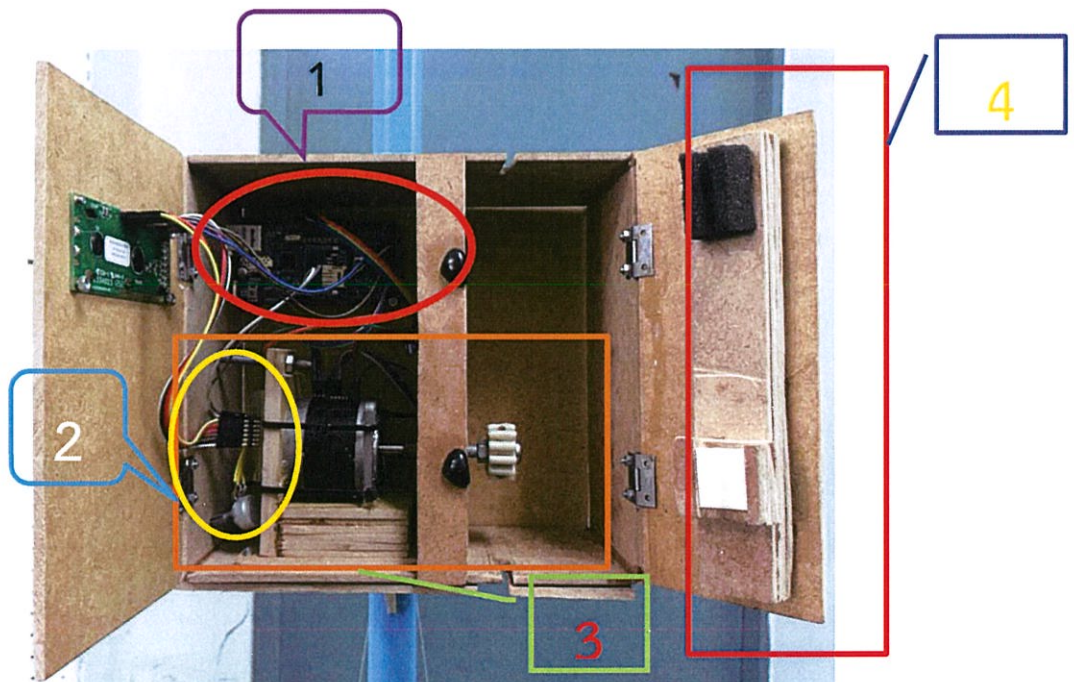
## บทที่ 4 ผลการทดลอง

จากการดำเนินงาน ผลที่ได้คือ ตัวเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล ซึ่งประกอบไปด้วยชุดควบคุมหลัก และการแสดงผล ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการดำเนินงานสามารถแบ่งผลที่ได้ออกเป็น 5 ส่วนคือ

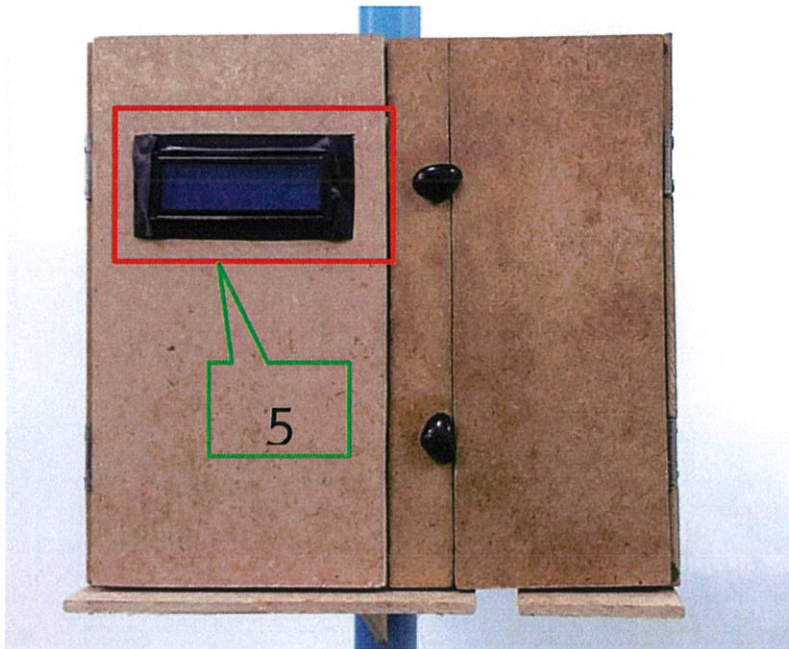
- 4.1 ผลด้านตัวเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล
- 4.2 ผลการทดสอบการทำงานของชิ้นส่วนสำหรับรีดสายละลาย
- 4.3 ผลการทดสอบวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย
- 4.4 ผลการดำเนินงานด้านโปรแกรม
- 4.5 ผลการทดสอบปริญญานิพนธ์

### 4.1 ด้านตัวเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล

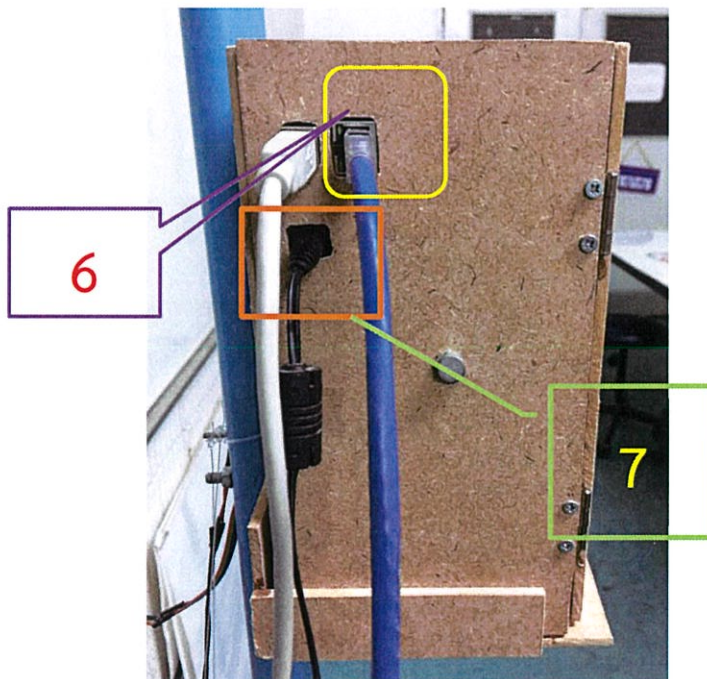
เมื่อทำการลงอุปกรณ์ลงบนแผ่น PCB และทำการทดสอบความถูกต้องของวงจรต่างๆ เรียบร้อยแล้วจึงทำการบรรจุแผ่นวงจรทั้งหมดลงกล่องด้านตัวเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล



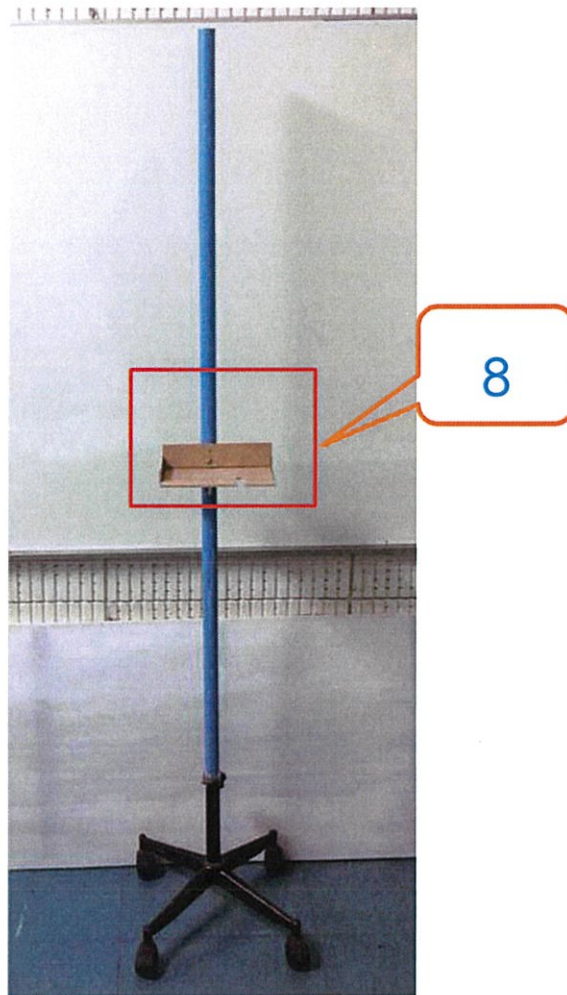
รูปที่ 4.1 การวางอุปกรณ์ภายในเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล



รูปที่ 4.2 ลักษณะภายนอกเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล



รูปที่ 4.3 สายส่งข้อมูล



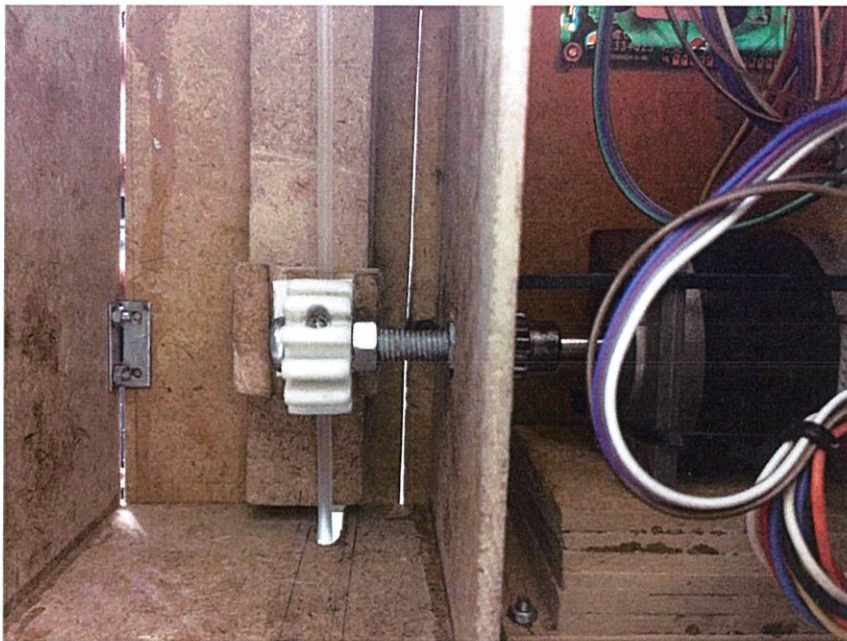
รูปที่ 4.4 ลักษณะของเสาแขวนสารละลาย

โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- หมายเลข 1. บอร์ด Arduino Mega 2560
- หมายเลข 2. ชุดขับเคลื่อนปั๊มมอเตอร์
- หมายเลข 3. สเต็ปปั๊มมอเตอร์
- หมายเลข 4. รางวางสายน้ำเกลือ
- หมายเลข 5. จอแสดงผลแอลซีดี
- หมายเลข 6. LAN สายชุดส่งข้อมูล
- หมายเลข 7. ไฟเลี้ยง 12 V
- หมายเลข 8. ฐานวางกล่องชุดส่งข้อมูลหรือชุดควบคุมหลัก

#### 4.2 ผลการทดสอบการทำงานของชิ้นส่วนสำหรับรีดสายสารละลาย

การทดสอบการทำงานของชิ้นส่วนสำหรับรีดสายสารละลายสามารถทำได้โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 12 Volt ไปยังมอเตอร์โดยใช้วงจรขับมอเตอร์ ดังรูปที่ 4.5

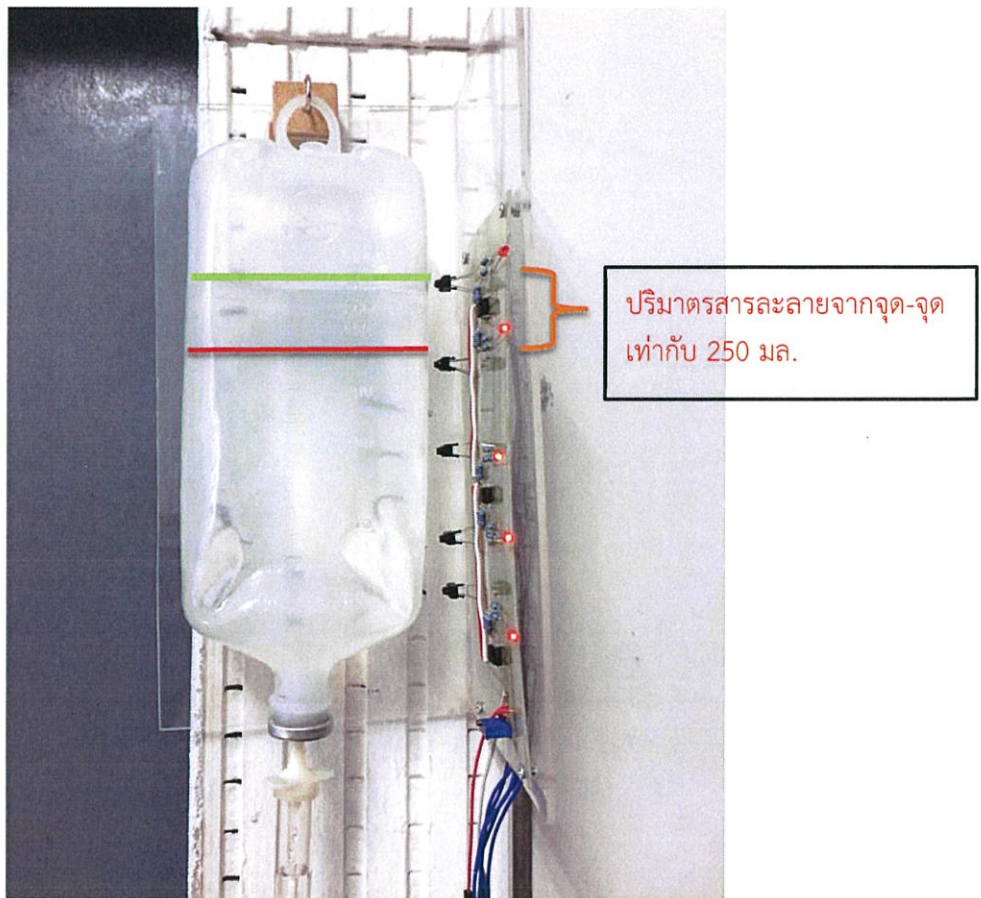


รูปที่ 4.5 ชิ้นส่วนสำหรับรีดสายละลาย

จากนั้นมอเตอร์จะไปขับตัวรีดส่งผลให้ปลายของวงล้อยกตกลงไปที่สายน้ำเกลือเพื่อรีดสารละลาย ซึ่งปริมาณของสารละลายที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของมอเตอร์

#### 4.3 ผลการทดสอบวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย

การทดสอบวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย โดยทดลองการนับจำนวนหยดสารละลายที่ผ่านกระเปาะ (หยด/นาที) ว่ามีหยดน้ำผ่านไปแล้วเป็นจำนวนเท่าไรดังรูปที่ 4.6 จากนั้นจึงนำจำนวนหยดสารละลายทั้งหมดที่ได้มาวัดปริมาตรอีกครั้ง



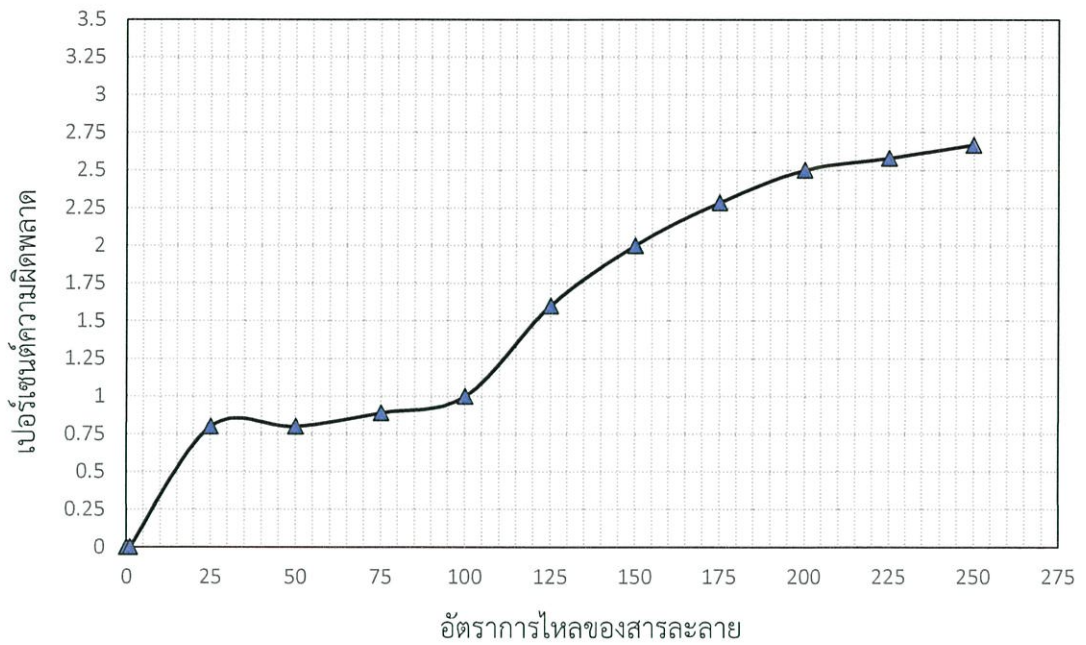
รูปที่ 4.6 การทดลองวัดปริมาตรของน้ำเกลือโดยการนับหยดสารละลาย

การทดลองวัดปริมาตรของสารละลายโดยการนับจำนวนหยดของสารละลาย ณ ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ 2 ตำแหน่ง เทียบผลการทดลองกับการคำนวณตามทฤษฎี คือ 15 หยด เท่ากับ 1 มล. โดยที่ปริมาตรสารละลายจากจุด-จุด เท่ากับ 250 มล. ผลการทดลองแสดง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดปริมาตรของสารละลายโดยนับจำนวนหยดของสารละลาย

ปริมาตรสารละลาย (มล.)	จำนวนหยดที่คำนวณ (หยด/นาที)	จำนวนหยดที่ได้จาก การทดลอง (หยด/นาที)	เปอร์เซ็นต์ความ ผิดพลาด
0	0	0	0
1	15	15	0
25	375	372	0.80
50	750	744	0.80
75	1125	1115	0.89
100	1500	1485	1
125	1875	1845	1.60
150	2250	2205	2
175	2625	2565	2.28
200	3000	2925	2.50
225	3375	3288	2.58
250	3750	3650	2.67

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อทำการทดลองวัดปริมาตรของสารละลายโดยนับจำนวนหยดของสารละลายโดยการแขวนสารละลายไว้ที่ความสูงจากพื้น 180 ซม. จากนั้นทำการปรับอัตราการหยดให้คงที่แล้วจึงทำการนับจำนวนหยดของสารละลายเพื่อวัดปริมาตรของสารละลายซึ่งเมื่อทำการนับหยดแล้วพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น เนื่องจาก ความสูงของที่แขวนมีผลต่อการหยดของสารละลาย และเมื่อเวลาผ่านไปปริมาตรในภาชนะสารละลายจะลดลงทำให้แรงดันภายในลดลงสารละลายภายในจึงหยดช้าลงจำนวนหยดที่นับได้จึงน้อยลง



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ของสารละลายและเปอร์เซ็นต์ความเค็มที่ได้ออกจากการวัดปริมาตรของสารละลายโดยการนับจำนวนหยดสารละลาย

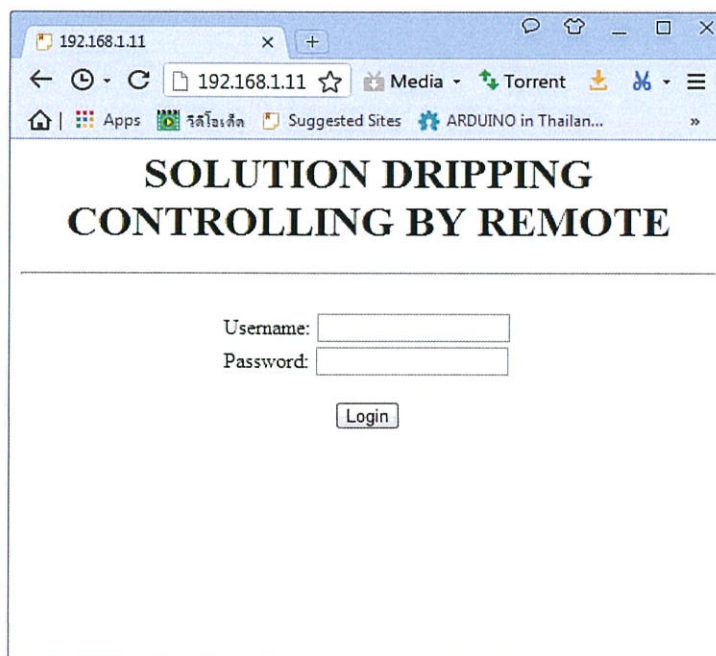
จากรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ของสารละลายและเปอร์เซ็นต์ความเค็มที่ได้ออกจากการวัดปริมาตรของสารละลายโดยการนับจำนวนหยดสารละลาย เมื่อเวลาผ่านไปปริมาตรสารละลายที่ไหล จำนวนหยดของสารละลายจะลดลง ทำให้เกิดความเค็มที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในกราฟ เหตุจากความสูงของที่แขวนและแรงดันภายในภาชนะสารละลายมีผลต่อการหยดของสารละลาย

#### 4.4 ผลการดำเนินงานด้านโปรแกรม

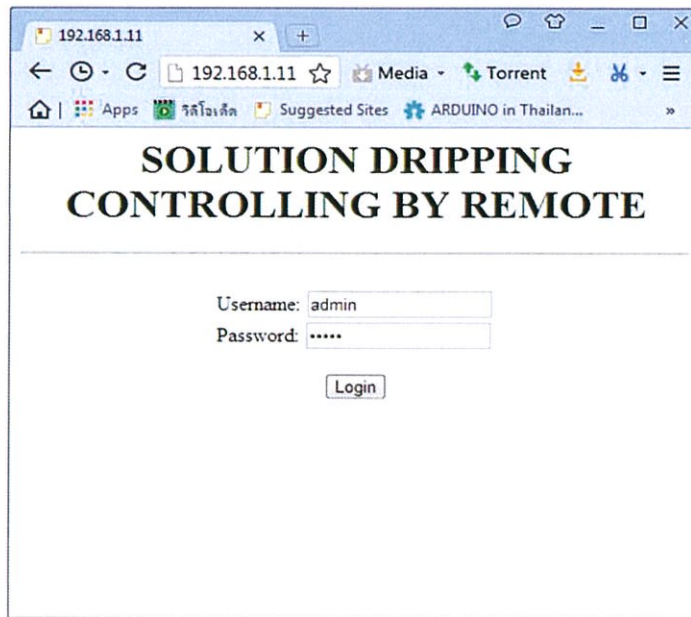
สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนควบคุมการทำงานเขียนโดยใช้ภาษา C++ โครงการนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ Arduino mega 2560 โดยมีการเขียน Web Application ไว้บนตัว Arduino ด้วย ผลการดำเนินงานด้านโปรแกรมจะเป็นในส่วนของควบคุมเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล ในรูปแบบการปรับอัตราการไหลของสารละลายผ่านระบบอินเทอร์เน็ต มีผลการทดสอบดังนี้

##### 4.4.1 WEB APPLICATION

เมื่อทำการเข้าเว็บเบราว์เซอร์เพื่อเปิดดู Web Application โดยเข้าไปที่ 192.168.1.11 จะพบหน้าเข้าระบบดังรูปที่ 4.8 โดยจะต้องใส่ ชื่อและรหัสผ่าน เพื่อรักษาความปลอดภัยให้สามารถใช้งานได้เฉพาะผู้ดูแลเท่านั้น ถ้าหากชื่อและรหัสผ่านถูกต้องก็จะสามารถเข้าไปยังหน้าหลักได้ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 แสดงหน้าล็อกอินเข้าสู่ระบบ



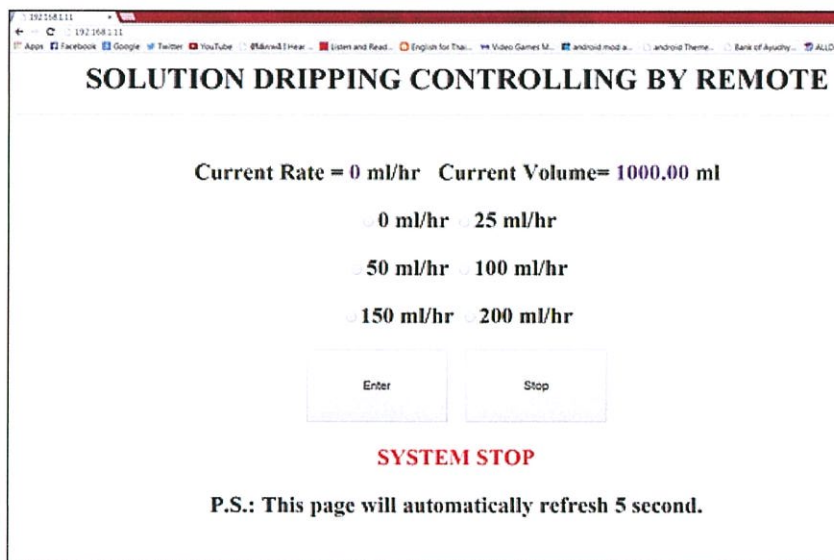
รูปที่ 4.9 แสดงหน้าล็อกอินชื่อและรหัสผ่านเข้าสู่ระบบ

และเมื่อทำการกดปุ่มเปิดเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล หน้าจอแสดงผล (LCD) จะแสดงข้อความดังรูปที่ 4.10

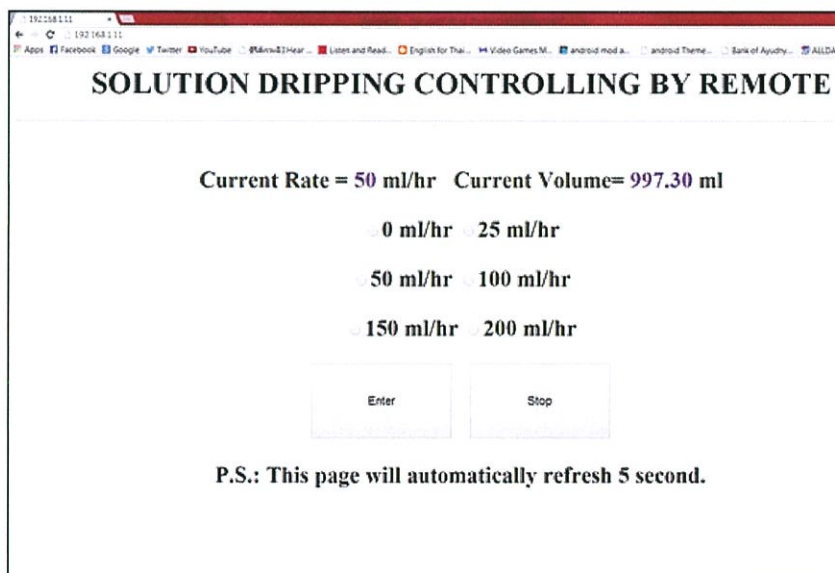


รูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงผล(LCD) เมื่อเปิดเครื่อง

เมื่อทำการล็อกอินเข้าสู่ระบบแล้ว โดยหน้าเว็บของการป้อนข้อมูลจะแสดงข้อมูล อัตราการไหล ปริมาตรเริ่มต้น แสดงดังรูปที่ 4.11

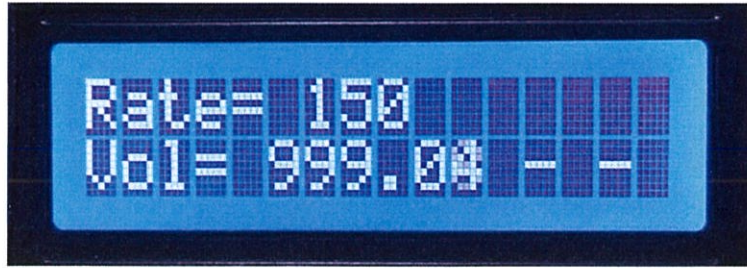


รูปที่ 4.11 แสดงสถานะการทำงานของเครื่องควบคุมการไหล



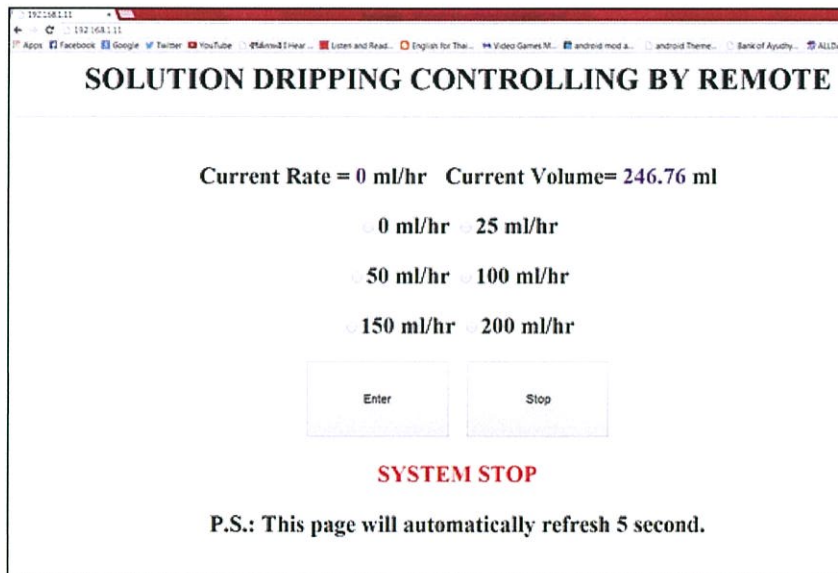
รูปที่ 4.12 แสดงการเลือกสถานะทำงานของเครื่องควบคุมการไหล

เมื่อเลือกอัตราการไหลที่ต้องการแล้ว หน้าจอแสดงผล(LCD) จะแสดงสถานะทำงานของเครื่องควบคุมการไหลดังรูปที่ 4.13



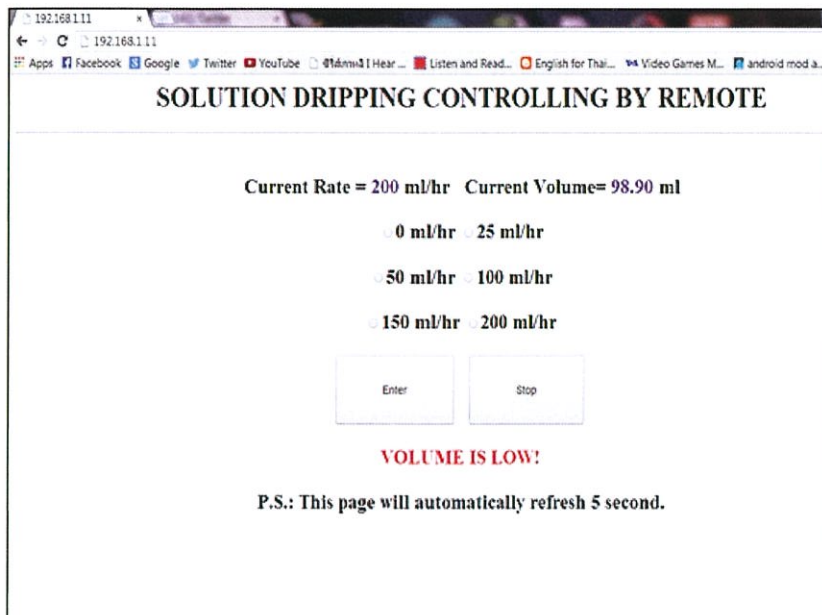
รูปที่ 4.13 หน้าจอแสดงผล(LCD) แสดงสถานะอัตราการไหล

กรณีที่เกิดความผิดพลาด คือ เมื่อปริมาตรสารละลายลดลงอย่างรวดเร็ว ระบบจะทำการแจ้งเตือน และหยุดการทำงานทันที แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงสถานะเมื่อเกิดความผิดพลาด

กรณีที่ปริมาตรของสารละลายลดลงอย่างสม่ำเสมอจนถึงระดับที่กำหนดให้แจ้งเตือน (ระบบจะแจ้งเตือนเมื่อปริมาตรมีระดับต่ำกว่า 100 มล.) ระบบจะทำการแจ้งเตือน แสดง ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงการแจ้งเตือนเมื่อปริมาตรมีระดับต่ำกว่า 100 มล.

และหน้าจอแสดงผล(LCD) จะแสดงสถานการณ์ทำงานของเครื่อง ดังรูปที่ 4.16

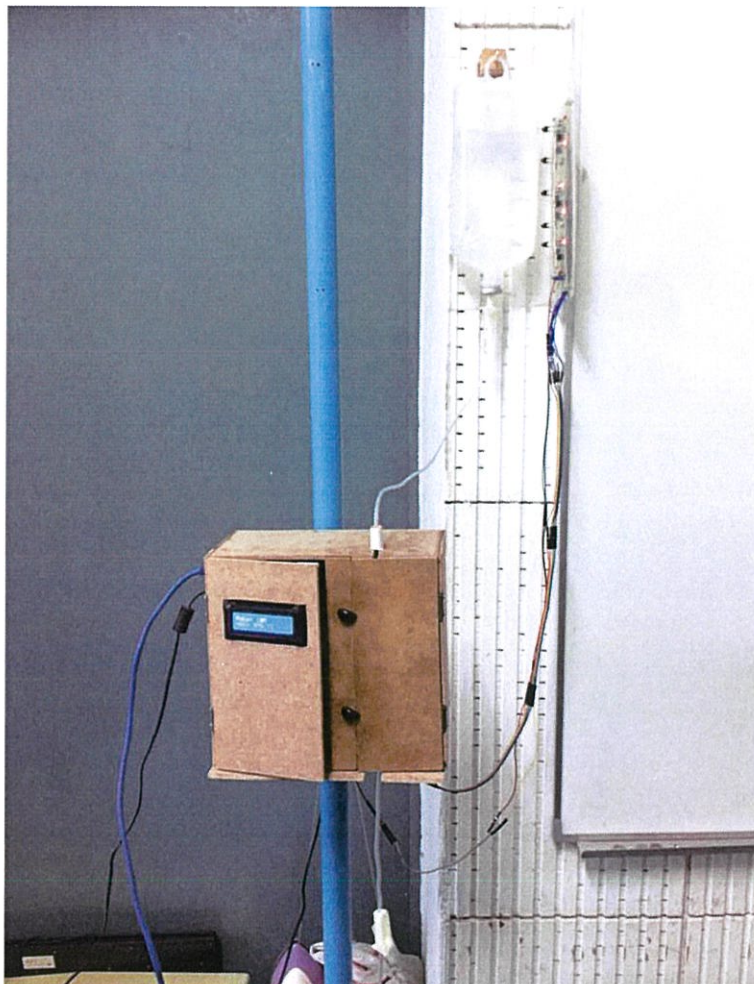


รูปที่ 4.16 หน้าจอแสดงผล(LCD) แสดงการแจ้งเตือนเมื่อปริมาตรของสารละลายต่ำกว่า 100 มล.

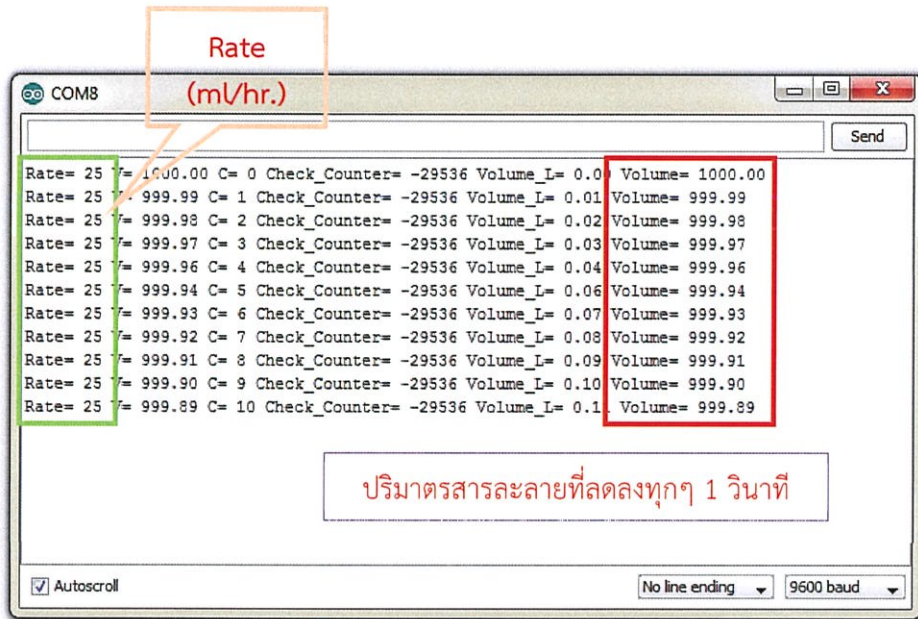
#### 4.5 การทดสอบระบบโดยรวม

จากการทดสอบระบบทั้ง 3 ส่วนที่กล่าวมาแล้ว คือ ส่วนของชุดกลไกการฉีดสาย ส่วนของวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย และส่วนของชุดโปรแกรมการควบคุมจากนั้นทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังระบบและทดสอบการทำงาน โดยเริ่มจากการเชื่อมต่อระบบทั้งฝั่งเครื่องควบคุมการไหลของสารละลาย และคอมพิวเตอร์ เข้าด้วยกันด้วยเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อใช้ในการติดต่อกันภายในเครือข่ายเดียวกัน จากนั้นทำการเข้าสู่ระบบ เพื่อกำหนดอัตราการไหล จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการสั่งการหมุนของมอเตอร์ไปขับตัวรีด ส่งผลให้ปลายของวงล้อตกลงไปที่สายน้ำเกลือเพื่อรีดสารละลาย ซึ่งปริมาณของสารละลายที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของมอเตอร์

และขั้นตอนสุดท้าย คือ ใช้วงจรวัดระดับปริมาณสารละลาย ทำการตรวจจับปริมาณของสารละลายและส่งกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงสถานะที่หน้า Web Application และหน้าจอแสดงผล(LCD) แสดงไว้ในรูป 4.17



รูปที่ 4.17 ระบบโดยรวมของเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกล



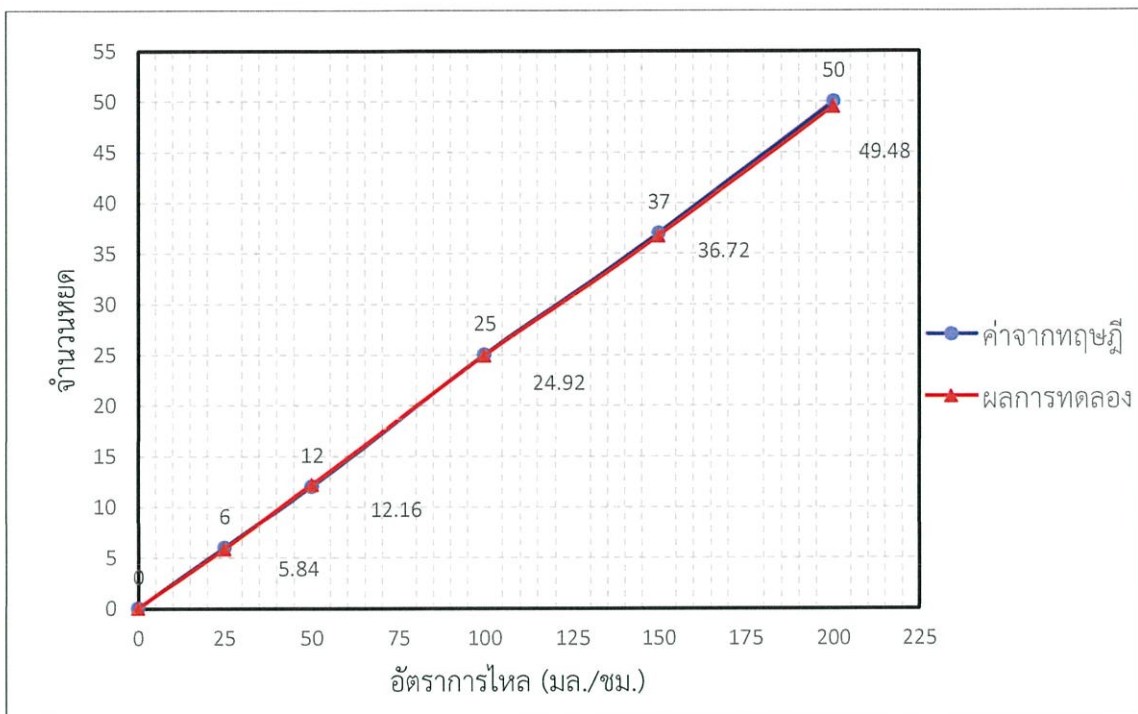
รูปที่ 4.18 แสดงข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 4.5.1 การทดลองการนับจำนวนหยดของสารละลายตามค่าอัตราการไหลเริ่มต้นที่ค่าต่างๆ

การทดลองนี้เป็นการทดลองการนับจำนวนหยดของน้ำเกลือตามค่าที่ตั้งไว้ เพื่อให้สแตมป์มอเตอร์ควบคุมการไหลได้ตามค่าที่ตั้งไว้ (หยด/นาที) ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 ค่าอัตราการไหลของสารละลายที่ทำการทดสอบ คือ 25 มล./ชม., 50 มล./ชม., 100 มล./ชม., 150 มล./ชม. และ 200 มล./ชม.

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการนับจำนวนหยดของสารละลายตามค่าอัตราการไหลเริ่มต้นที่ค่าต่างๆ

อัตรา การไหล (มล./ ชม.)	จำนวน หยดต่อ นาที	จำนวนหยดต่อนาที (5นาที)																									ค่าเฉลี่ย จำนวน หยดต่อ นาที
		นาทีที่					นาทีที่					นาทีที่					นาทีที่					ค่าเฉลี่ย จำนวน หยดต่อ นาที					
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5						
25	6	8	7	7	7	7	6	7	6	6	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	5.84
50	12	14	14	13	12	12	12	12	12	13	13	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	11	12	12	11	12	12.16
100	25	28	27	26	26	26	25	25	25	24	25	25	24	24	24	25	25	25	24	25	24	25	25	23	24	24	24.92
150	37	39	39	38	37	37	37	37	37	37	36	36	37	37	36	36	37	36	36	37	36	36	37	36	35	36	36.72
200	50	52	51	51	50	50	50	50	50	50	50	49	50	50	49	49	49	48	48	49	49	49	49	48	48	49	49.48



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ของจำนวนหยดจากการทดลองกับค่าที่คำนวณที่อัตราการไหลต่างๆ

รูปที่ 4.19 คือ กราฟความสัมพันธ์ของจำนวนหยดจากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณที่อัตราการไหลต่างๆ เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองนับการหยดของสารละลายกับค่าตามทฤษฎีที่ได้คำนวณไว้

ค่าความผิดพลาดของจำนวนหยดสารละลายที่หยดจริงเมื่อเทียบกับค่าที่กำหนดไว้คือ

$$\text{คิด \% Error} = (\text{ค่าจริง} - \text{ค่าที่นับได้} / \text{ค่าจริง}) \times 100$$

1. จำนวนหยดของสารละลายที่ตั้งไว้คือ 6 หยดต่อนาที ค่าเฉลี่ยคือ 5.84 ค่าผิดพลาดคือ  $\left| \frac{5.84 - 6}{6} \right| \times 100 = 2.67\%$

2. จำนวนหยดของสารละลายที่ตั้งไว้คือ 12 หยดต่อนาที ค่าเฉลี่ยคือ 12.16 ค่าผิดพลาดคือ  $\left| \frac{12.16 - 12}{12} \right| \times 100 = 1.33\%$

3. จำนวนหยดของสารละลายที่ตั้งไว้คือ 25 หยดต่อนาที ค่าเฉลี่ยคือ 24.92 ค่าผิดพลาด

$$\text{คือ } \left| \frac{24.92 - 25}{25} \right| \times 100 = 0.32\%$$

4. จำนวนหยดของสารละลายที่ตั้งไว้คือ 37 หยดต่อนาที ค่าเฉลี่ยคือ 36.72 ค่าผิดพลาด

$$\text{คือ } \left| \frac{36.72 - 37}{37} \right| \times 100 = 0.75\%$$

5. จำนวนหยดของสารละลายที่ตั้งไว้คือ 50 หยดต่อนาที ค่าเฉลี่ยคือ 49.48 ค่าผิดพลาด

$$\text{คือ } \left| \frac{49.48 - 50}{50} \right| \times 100 = 1.04\%$$

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อทำการทดลองนับจำนวนหยดของสารละลายตามค่าอัตราการไหลเริ่มต้นที่ค่าต่างๆ โดยได้ทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง ในแต่ละครั้งใช้เวลา 5 นาทีต่อการนับหยด แล้วพบว่า เมื่อเริ่มใช้งาน จำนวนหยดของสารละลายยังไม่คงที่ จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกๆ ที่ทำการทดลองนับจำนวนหยด ค่าที่ได้จะมีค่ามากกว่าที่คำนวณไว้ เนื่องจากสายยังไม่เคยถูกบีบมันยังแข็งอยู่ ทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ตรงกับค่าที่ต้องการ แต่เมื่อรีดไปสักพักจำนวนหยดจะเริ่มคงที่ได้ตามที่คำนวณ และเมื่อยิ่งเวลาผ่านไปเรื่อยๆ จำนวนหยดจะน้อยลง เนื่องจากสายน้ำเกลือถูกบีบให้ชิดกันทำให้ช่องว่างเวลารีดสายมีน้อยลงสารละลายเลยได้ปริมาตรที่น้อยลง

#### 4.5.2 ผลการทดสอบสัญญาณเตือนเมื่อสารละลายไหลผิดปกติ

การตรวจสอบอัตราการไหลของสารละลาย จะใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับหยดสารละลาย ซึ่งอัตราการไหลของสารละลายนั้นจะถูกกำหนดไว้ในตอนเริ่มแรก ถ้าอัตราการไหลของสารละลายผิดปกติจากค่าที่ตั้งไว้ เครื่องจะหยุดทำงานทันที และจะส่งสัญญาณเตือนแสดงหน้าบน Web Application และหน้าจอแสดงผล(LCD) ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการตรวจสอบเมื่อสารละลายไหลผิดปกติ

ครั้งที่	ผลการตรวจสอบสัญญาณเตือน และหน้าจอแสดงผล	การทำงานของชุดรีดสาย
1	มีการเตือน	หยุดทำงาน
2	มีการเตือน	หยุดทำงาน
3	มีการเตือน	หยุดทำงาน
4	มีการเตือน	หยุดทำงาน
5	มีการเตือน	หยุดทำงาน

จากการทดลองจำนวน 5 ครั้งผลปรากฏว่าไม่มีความผิดพลาดของการตรวจสอบชุดตรวจจับปริมาตรสารละลาย

ผลการทดสอบการใช้งานเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายจากระยะไกลที่พัฒนาขึ้นในโครงการนี้ในการติดต่อระหว่างเครือข่ายในเครือข่ายเดียวกัน สามารถติดต่อกันได้คืออย่างไรก็ตามยังไม่สามารถทำงานได้ตามต้องการเท่าที่ควร เนื่องจากมีปัญหาในเรื่องการรีดสายที่ยังไม่สามารถทำได้  
อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผู้พัฒนาโครงการในอนาคตอาจต้องออกแบบ ปรับปรุงชุดกลไกรีดสาย  
ละลายใหม่

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดสอบ

วิทยานิพนธ์เรื่องการควบคุมและรายงานผลการไหลของสารละลายจากระยะไกล ประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ คือ เมื่อทำการป้อนข้อมูลอัตราการไหลของสารละลาย และกำหนดปริมาตรเริ่มต้นแล้ว ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการประมวลผลแล้วทำการขับสเต็ปมอเตอร์ให้ทำงานเพื่อควบคุมกลไกการไหลของสารละลาย ให้ได้อัตราการไหลคงที่ตามที่ป้อนข้อมูลไป โดยจะรับค่าสถานะของปริมาตรที่วัดจากวงจรวัดระดับปริมาตรสารละลาย เพื่อส่งข้อมูลสถานะล่าสุดของปริมาตรไปยังหน้าเว็บแอปพลิเคชันและแสดงผลสถานะทางจอแสดงผล(LCD) เพื่อแจ้งเตือนข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระบบ

ได้สรุปผลการทำงานระบบของเครื่องการให้สารละลายจากระยะไกลเป็น 2 ส่วน คือ

1. ระบบที่ทำการทดลองอยู่ในส่วนของการตรวจจับความเข้มแสงที่ตรวจจับแสงอินฟราเรดจากตัวส่งที่เดินทางผ่านสารละลาย โดยมีการออกแบบวงจรที่ใช้ทำงาน ซึ่งได้วงจรแรกขึ้นต้นตามรูป (บทที่ 3) จากผลการทดลองในการตรวจจับสารละลายนั้นจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการตรวจจับสารละลายด้วยวงจรขึ้นต้น สัญญาณยังไม่มีประสิทธิภาพการจับสัญญาณได้แน่นอน ซึ่งสัญญาณที่ได้ไม่สามารถแสดงระดับแรงดันที่ชัดเจน จึงได้มีการพัฒนาเพิ่มด้วยการเพิ่มวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้สามารถจับสัญญาณได้มากขึ้น ด้วยการพัฒนาขึ้นทำให้สามารถตรวจจับอินฟราเรดที่มีการสะท้อนจากข้างภาชนะได้มากขึ้นและทำการออกแบบวงจรการทำงานแต่ละตำแหน่งของภาชนะ แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพที่มากพอที่จะให้การทำงานของอินฟราเรดนั้นคงที่ ซึ่งจะทำการพัฒนาให้เพิ่มขึ้น ในส่วนของการตรวจจับนี้จะมีการเตือนที่เชื่อมโยงมาในส่วนของผู้ใช้งาน ที่มีส่วนประกอบของการทำงานของเครื่องสารละลายด้านผู้ใช้ คือ มีในส่วนของการแสดงผล (LCD) และการป้อนคำสั่งจากเว็บแอปพลิเคชันที่ควบคุมอัตราการไหล ผลของสัญญาณที่ตรวจจับได้มีการติดตั้งในแต่ละตำแหน่งของภาชนะที่จะสะท้อนอินฟราเรดในแต่ละระดับของสารละลายเพื่อทำการเตือนแก่ผู้ใช้งาน คือ

- การแจ้งเตือนเมื่อระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว และจะทำหยุดระบบทันที
- การแจ้งเตือนเมื่อระดับน้ำอยู่ในระดับที่ต่ำพอสมควร

2. ส่วนของการควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายสารละลายที่สั่งการควบคุมจากระยะไกลได้โดยผ่านเครือข่ายเดียวกัน ในการทำงานนั้นสามารถทำงานได้ตามที่คาดหวังไว้ในระดับหนึ่ง ซึ่งสารละลายได้หยุดตามที่กำหนดอัตราเร็วในค่านวนการไหลไว้ในการสั่งการตามต้องการ แต่เนื่องจากกลไกในการรีดสายน้ำเกลือที่ได้ออกแบบไว้ยังไม่มีประสิทธิภาพของมาตรฐานพอที่จะ

นำไปใช้งานได้จริง จึงต้องมีการปรับปรุงวัสดุและตัดแปลงกลไกการทำงานให้มีประสิทธิภาพที่แม่นยำมากขึ้น

## 5.2 ปัญหาของโครงงานและการแก้ไข

1. การออกแบบกลไกการรีดสายสำหรับรีดสาย ต้องใช้มอเตอร์ที่มีแรงบิดสูงในการขับเคลื่อนวงล้อสำหรับรีดสายน้ำเกลือ เพื่อให้มีแรงบิดที่มากขึ้นที่จะสามารถควบคุมอัตราการไหลได้ดีขึ้น

2. กลไกในการรีดสายที่สร้างขึ้นทำการควบคุมอัตราการไหลของสารละลายในอัตราที่ต่ำได้ดีแต่ในอัตราสูงจะไม่สามารถควบคุมได้ดีเท่าที่ควร

3. ตำแหน่ง และระยะที่ทำการวัดปริมาตรของสารละลายมีผลต่อการตรวจนับ เมื่อจุดตรวจนับเปลี่ยนไปการตรวจนับจะคลาดเคลื่อน

4. อุปกรณ์ที่ใช้รีดสายสารละลายไม่สามารถรีดสายได้แม่นยำตามมาตรฐาน เนื่องจากสายมีขนาดเล็กกว่าอุปกรณ์ที่ใช้รีดสายสารละลาย และเมื่อทำการรีดไปแล้วสายจะไม่คลายตัวทำให้ไม่สามารถรีดได้ดี

5. มีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่ออัตราการหยุดของสารละลายประกอบด้วย ความกว้างและความยาวของสายยาง ความสูงของภาชนะที่บรรจุ ซึ่งจะต้องกำหนดความสูงให้แน่นอน

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ออกแบบชุดกลไกการรีดสายสารละลายให้มีความละเอียดในการรีดมากขึ้น เพื่อจะได้ควบคุมในการรีดสายให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. การทำงานของการตรวจวัดระดับปริมาตรสารละลายต้องมีการออกแบบวงจรในการตรวจนับให้มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น อีกทั้งตำแหน่ง ระยะห่าง และแสง ควรมีระดับที่เหมาะสม เพื่อให้การตรวจวัดมีความถูกต้องยิ่งขึ้น

## บรรณานุกรม

- [1] เอกชัย มะการ, *เรียนรู้ เข้าใจ ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino*, กรุงเทพฯ : บริษัท อีทีที จำกัด, 2552
- [2] ศุภชัย สุรินทร์วงศ์, *มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง*, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ : บริษัท ประชาชน จำกัด, 2541.
- [3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, *เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือ* [Online]  
Available: [http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc\\_upload/20110318140820.pdf](http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc_upload/20110318140820.pdf)
- [4] ณรงค์ ชัยสิทธิ์, เอกราช น้อยเปี่ยม. “*เครื่องควบคุมการไหลของน้ำเกลืออัตโนมัติ*” ปรินญา นิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัย เทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
- [5] วรุฒิ แจ่มหล้า, วัลลพ พงษ์พิชิต. “*เครื่องควบคุมและแจ้งเตือนปริมาณการให้น้ำเกลือสำหรับผู้ป่วย*”. ปรินญา นิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555
- [6] *Arduino Mega 2560* [Online].  
Available: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>