การสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มด้วยเทคนิคการเรียงชั้นไอออน โดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา

FABRICATION FILMSOAKING MACHINE WITH SUCCESSIVE IONIC LAYER ADSORPTION AND REACTION METHOD

วงศกร สิงห์เอี่ยม

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มด้วยเทคนิคการเรียงชั้นไอออน โดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา

FABRICATION FILMSOAKING MACHINE WITH SUCCESSIVE IONIC LAYER ADSORPTION AND REACTION METHOD

วงศกร สิงห์เอี่ยม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

b.00265429

i.

TB00119

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FABRICATION FILM SOAKING MACHINE WITH SUCCESSIVE IONIC LAYER ADSORPTION AND REACTION METHOD

WONGSAKORN SINGAIEM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มด้วยเทคนิคการเรียงชั้นไอออน โดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา
ชื่อนักศึกษา	วงศกร สิงห์เอี่ยม รหัสนักศึกษา 55051601
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.สุรชาติ กมลดิลก ประธานกรรมการ	
ดร.ประธาน บุรณศิริ กรรมการ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มด้วยเทคนิคการเรียงชั้นไอออน
โดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา
ชื่อนักศึกษา วงศกร สิงห์เอี่ยม รหัสนักศึกษา 55051601
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาการสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัติสำหรับการทดลองสร้างโซล่าเซลล์แบบฟิล์มบางด้วยเทคนิค Successive ionic layer adsorption and reaction(Silar)จากเดิมต้องทำการทดลองด้วยมือและทำการจับเวลาโดยผู้ทำการทดลองเอง ในการทดลองด้วยเทคนิคนี้จะใช้เวลาในกระบวนการทดลองค่อนข้างนานหลายชั่วโมง ขึ้นอยู่กับเวลาที่กำหนดในการจุ่มสารและตากแห้งการสร้างเครื่องมือนี้ขึ้นเพื่อทุ่นแรงในการทำการทดลองการทำงานของเครื่องทำงานโดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับบอร์ดไมโครคอรโทรลเลอร์ (Arduino UNO R3) เพื่อสั่งการให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper motor)สองตัวทำงานตามคำสั่งอย่างเป็นระบบทำให้ผู้ใช้สามารกำหนดจำนวนรอบ เวลาในการจุ่มสารและตากแห้งได้อีกทั้งยังทำให้เวลาในการจุ่มสารและตากแห้งเท่ากันในทุกๆรอบอีกด้วย เครื่องมือมีช่องสำหรับใส่บีกเกอร์จำนวน 8ช่อง รองรับขนาดบีกเกอร์ตั้งแต่ 50- 250 ml หรือมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 7.2cm มีแขนจับสำหรับติดตั้งกระจกหรือวัตถุที่ต้องการหนึ่งแขนและจากการทดสอบเครื่องโดยการใช้บีกเกอร์ขนาด 150ml จำนวน 4บีกเกอร์กำหนดเวลาจุ่มสารและตากแห้งเป็นเวลา60วินาที จำนวนรอบ 80รอบ ใช้เวลาในการทดลองโดยประมาณ 9ชั่วโมง 30นาที พบว่าเครื่องสามารถทำงานตามคำสั่งได้ ไม่มีความคลาดเคลื่อนของตัวเครื่อง เวลาในการจุ่มสารกับตากแห้งและจำนวนรอบเป็นไปตามที่กำหนดไว้และกระจกที่ใช้ในการทดลองมีชั้นฟิล์มPbSจากปฏิกิริยาระหว่าง$Pb(NO_3)_2$กับ Na_2Sเกิดขึ้นบนพื้นผิวกระจก

คำสำคัญ : โซล่าเซลล์ ฟิล์มบาง ไมโครคอนโทรลเลอร์ สเต็ปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Fabrication Automatic Thin Film Soaking Machine with Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction Method
Students	Wongsakorn Singaiem Student ID 55051601
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Dr.Witoon Yindeesuk

Abstract

This special project studied fabrication of thin film solar cell by automatic soaking machine with successive ionic layer adsorption and reaction method (Silar). In the past investigator experiment by self, that wasted time many hours depending on soaking time and drying time. This machine created for facilein silar method. Machine working by connect computer with microcontroller (Arduino UNO R3) for command both stepper motor system, so thatuser can set cycles, soaking time and drying time, and machine has precise time every times of soaking and drying. The machine has 8 slot for beakers, support capacity 50 - 250 ml or diameter not more than 7.2 cm, and has one clamp arm for stick sample. The experimentation machine by use 4 slot with beaker 150 ml. soaking and drying time is 60s. at 80 cycles duration time about 9hr. 30min. After experimentation finished machine still working and no dislocation, soaking time and drying time follow user setting. Sample using in experimentation has PbS film layer on sample surface because reaction between $Pb(NO_3)_2$ and Na_2S.

Keywords : solar cell , thin film , microcontroller , stepper motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข ที่คอยให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือแนะนำที่ดี ในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำโครงงานพิเศษและขอขอบคุณกรรมการสอบโครงงานพิเศษ ได้แก่ อ.สุรชาติ กมลดิลก ดร.ประธาน บุรณศิริ และ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ที่ให้ข้อคิดและคำแนะนำในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูอบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และ บุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงงานขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

วงศกร สิงห์เอี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ความว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 Successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR)	3
2.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper motor)	4
2.2.1 ประเภทของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	5
2.2.2 รูปแบบการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์	9
2.3 Arduino Microcontroller	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	11
3.1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัติ	12
3.1.1 การออกแบบ	12
3.1.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่นำมาใช้	14
3.2 การออกแบบวงจรและโปรแกรมคำสั่ง	21
3.2.1 การออกแบบวงจร	21
3.2.2 การออกแบบโปรแกรมคำสั่ง	23
บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	26
4.1 วิธีการทดลอง	26
4.2 ผลการทดลอง	28
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	30
5.1 สรุปการการทำงานของเครื่อง	30
5.2 สรุปผลการทดลอง	31
5.3 ข้อเสนอแนะ	31
บรรณานุกรม	32
ภาคผนวก	33
ภาคผนวก ก รหัสคำสั่งที่ป้อนลงในบอร์ด Arduino UNO R3	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องรุ่น HO-TH-03A และ HO-TH-03C	1
1.2 เครื่องจุ่มฟิล์มที่สร้างขึ้นเอง	2
2.1 ตัวอย่างกระบวนการ SILAR ระหว่าง Cu กับ I	3
2.2 โครงสร้างสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ประเภท Hybrid synchronous stepper	4
2.3 ลักษณะการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Bipolar)	4
2.4 Permanent magnet stepper	5
2.5 Variable reluctance stepper	5
2.6 Hybrid synchronous stepper	6
2.7 รูปแบบวงจร Unipolar drivers และ Bipolar drivers	7
2.8 รูปแบบการทำงานของ Bipolar และ Unipolar	7
2.9 รูปแบบการเดินสายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	8
2.10 การต่อสายแบบ Unipolar หรือ Bipolar ตามลักษณะของสายมอเตอร์	8
2.11 การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Single-Coil	9
2.12 การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Full step drive	9
2.13 การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Half Step Drive	10
2.14 การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Microstepping	10
2.15 แผนผังบอร์ด Arduino UNO R3	11
2.16 การเชื่อมต่อบอร์ดกับคอมพิวเตอร์	11
3.1 โครงสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัติ	12
3.2 โครงสร้างฐานรองถาดใส่บีกเกอร์	13
3.3 โครงสร้างถาดใส่บีกเกอร์ จำนวน 8 ช่อง	13
3.4 โครงสร้างที่ทำจากอะคริลิคใส	14
3.5 ฐานหมุนใช้เป็นจุดหมุนของถาดใส่บีกเกอร์	14
3.6 การติดตั้งพู่เลย์ และ สายพาน	15
3.7 การเพิ่มเส้นรอบวงด้วยเทปกาวสองหน้า	16
3.8 การติดตั้งแขนจับ	17
3.9 การติดตั้งบอร์ด Arduino	17
3.10 การติดตั้งตัวขับ L298N	18
3.11 แผนผังวงจรของ L298N	18
3.12 Stepper motor ที่ใช้ในวงจร	19
3.13 Power supply switching 12V 10A	20
3.14 การต่อวงจร	21
3.15 การต่อวงจรและการเดินสาย	22
3.16 ไดอะแกรมการทำงานของระบบ	23
3.17 การตั้งค่าการทำงานของเครื่อง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 สถานการณ์ทำงานของเครื่อง	25
3.19 สถานะเมื่อเครื่องทำงานเสร็จ และ รอการตั้งค่าใหม่	25
4.1 การวางตำแหน่งบีกเกอร์แบบ Half Cycle	26
4.2 บันทึกภาพการทดลอง เวลา 21:11 น.	28
4.3 บันทึกภาพการทดลอง เวลา 00:20 น.	28
4.4 บันทึกภาพการทดลอง เวลา 03:30 น.	28
4.5 ฟิล์มที่ได้จากเครื่องอัตโนมัติ จำนวน 80 รอบ	29
4.6 ภาพการทดลองด้วยวิธีปกติ 15 รอบ และ 45 รอบ เปรียบเทียบกับ การทดลองด้วยเครื่องอัตโนมัติ 80 รอบ	29
5.1 ตะกอน PbS ที่เกิดขึ้น	31

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากการทดลองสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิค Successive Ionic Layer Absorption and Reaction เป็นกระบวนการสร้างชั้นฟิล์มขึ้นจากกระดูดซับและการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายไอออนไว้บนพื้นผิวกระจกนำไฟฟ้าโดยมีแรงที่ยึดอนุภาคกับพื้นผิวกระจกไว้คือแรงวันเดอร์วาลส์ เดิมทีผู้ที่ทำการทดลองต้องทำการจุ่มกระจกและล้างกระจกด้วยสารเคมีซ้ำๆหลายรอบและคอยจับเวลาในการจุ่มสารและตากแห้งด้วยตัวเอง ซึ่งค่อนข้างใช้เวลานานในการทำการทดลอง ผู้ทดลองต้องใกล้ชิดกับสารเคมี ซึ่งสารเคมีบางอย่างอาจเป็นอันตรายต่อร่างกายผู้ที่ทำการทดลองได้จึงสร้างเครื่องจุ่มสารอัตโนมัตินี้ขึ้นเพื่อความสะดวกสำหรับการทดลองด้วยเทคนิคนี้ อีกทั้งผู้ทำการทดลองไม่ต้องอยู่ใกล้ชิดสารเคมีตลอดเวลาและยังสารมารถควบคุมเวลาในการจุ่มและการตาก เพื่อให้ได้ความแม่นยำกว่าการทดลองด้วยมือ

ในปัจจุบันเครื่องจุ่มฟิล์มด้วยเทคนิคSilarมีหลากหลายรูปแบบ มีทั้งแบบรางเลื่อนและแบบวงกลม ดังรูปที่ 1.1 บางเครื่องสามารถให้ความร้อนกับสารละลายได้ หรือมีการกวนสารละลายด้วยวิธีMagnetic Stirrer ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ด้วยเครื่องที่สร้างมาดังรูปที่ 1.2 มีฟังก์ชันการทำงานที่น้อยกว่า แต่สามารถใช้งานได้และเกิดชั้นฟิล์มขึ้น สามารถตั้งค่าเวลา กำหนดจำนวนรอบได้เช่นเดียวกัน แต่มีราคาของตัวเครื่องที่ถูกกว่าหลายเท่าตัว เนื่องจากใช้วัสดุที่หาได้ทั่วไปนำมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกันทำให้มีราคาต่ำกว่าการซื้อเครื่องจากผู้ประกอบการอื่นๆ

รูปที่ 1.1 เครื่องรุ่น HO-TH-03A และ HO-TH-03C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.2 เครื่องจุ่มฟิล์มที่สร้างขึ้นเอง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เครื่องสามารถใช้งานได้จริง
2. เครื่องสามารถทำตามคำสั่งที่ต้องการได้
3. เครื่องมีรูปแบบการทำงานมากกว่า 1 แบบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัติ
2. หาวัสดุอุปกรณ์เพื่อนำมาใช้สร้างเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัตินี้
3. ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์(Arduino) เพื่อใช้ควบคุมการทำงาน
4. ศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ที่จะนำมาใช้กับเครื่องมือนี้

1.4 ประโยชน์ที่ความว่าจะได้รับ

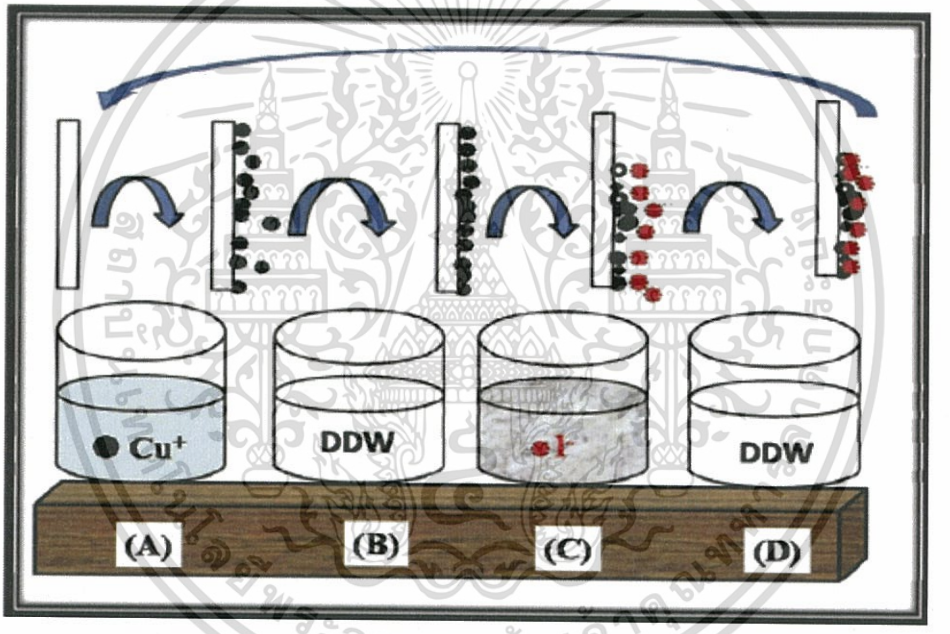
เครื่องมือนี้สามารถทำงานตามคำสั่งที่ต้องการได้ เพื่อทุ่นแรงในการทำการทดลองด้วยวิธี successive ionic layer absorption and reaction สามารถกำหนดรอบกำหนดเวลาในการจุ่มและเวลาในการตากได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (Silar)

เป็นเทคนิคที่ใช้สร้างชั้นฟิล์มขึ้นบนพื้นผิวตัวอย่างที่ต้องการ โดยการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลไอออน โดยการนำกระจกที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าไปจุ่มสารละลายไอออนเพื่อให้เกิดการดูดซับโมเลกุลไว้ที่พื้นผิวกระจก โดยแรงที่ยึดโมเลกุลไว้ด้วยกันคือแรงอ่อนๆชื่อว่าแรงวันเดอร์วาลส์จากนั้นนำไปจุ่มสารชะล้างเพื่อล้างโมเลกุลส่วนเกินออกไปต่อไปจุ่มในสารละลายไอออนอีกชนิดเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายไอออนชนิดที่สองกับอนุภาคไอออนที่อยู่บนพื้นผิวกระจก เมื่อเกิดปฏิกิริยาเสร็จแล้วทำการล้างอีกรอบเพื่อล้างโมเลกุลส่วนเกินออก จะเกิดเป็นชั้นของสารที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารละลายไอออนสองชนิด ดังรูปที่ 2.1



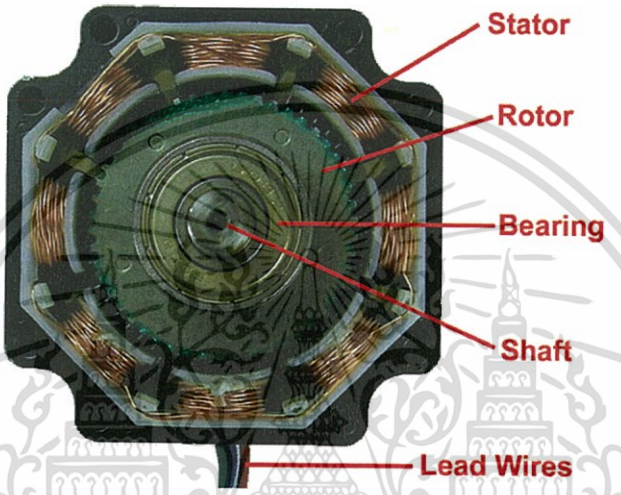
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างกระบวนการ Silar ระหว่าง Cu กับ I

ด้วยเทคนิคนี้จะทำให้เกิดชั้นของสารที่สามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์และทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนจากชั้นValence bandไปอยู่ในชั้นของ Conduction bandจากนั้นอิเล็กตรอนจะไหลผ่านกระจกที่สามารถนำไฟฟ้าได้ จึงมีกระแสไหลหรือความต่างศักย์เกิดขึ้น และด้วยกระบวนการ Silar นั้นเวลาในการจุ่มสารมีผลต่อขนาดอนุภาคที่มาเกาะบนพื้นผิวกระจก จำนวนรอบส่งผลถึงความหนาของชั้นฟิล์มด้วยตัวแปรสองอย่างนี้มีผลโดยตรงกับการดูดกลืนแสงของ จึงอนุมานได้ว่าน่าจะมีผลกับประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์ไม่มากก็น้อย

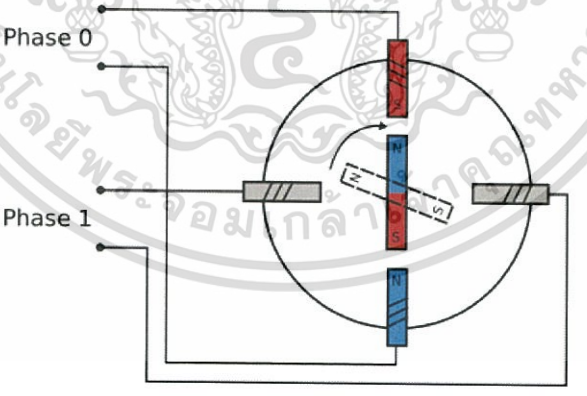
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper motor)

เพื่อให้มีความแม่นยำของเครื่องมือและความเที่ยงตรงของเวลา จึงเลือกใช้ Stepper motor เพราะมอเตอร์ชนิดนี้มีความละเอียดสูงกว่ามอเตอร์กระแสตรง(DC motor) สามารถควบคุมองศาหรือการเคลื่อนที่ได้ละเอียดและแม่นยำ สเตปเปอร์มอเตอร์คือมอเตอร์กระแสตรงแต่เคลื่อนที่ตามการส่งสัญญาณพัลส์(Pulse)เปิด-ปิด ไปยังตัวขับมอเตอร์(Driver)ให้มีการจ่ายกระแสไฟเข้าไปยังขดลวดแต่ละเฟส(Phases)ในเมอเตอร์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำสเตเตอร์ให้เกิดขั้วเหนือขั้วใต้เสมือนเป็นแม่เหล็ก จึงทำให้เกิดแรงผลักระหว่างโรเตอร์(Rotor)กับสเตเตอร์(Stator) ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 โครงสร้างสเต็ปเปอร์มอเตอร์ประเภท Hybrid synchronous stepper



รูปที่ 2.3 ลักษณะการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์(Bipolar)

ข้อดีของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

- มีความแม่นยำสูง สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นงานเช่น เครื่องพิมพ์3D , CNC เป็นต้น
- ในความเร็วต่ำสเต็ปเปอร์มอเตอร์มีทอร์กที่สูงกว่ามอเตอร์กระแสตรง

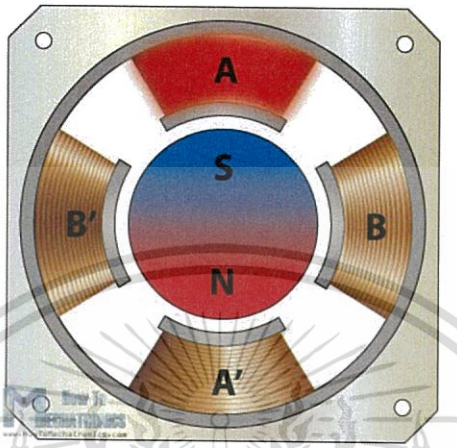
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ประเภทของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์มีหลากหลายชนิดมากมีการแบ่งได้หลายรูปแบบ

แบ่งตามโครงสร้าง Rotor กับ Stator

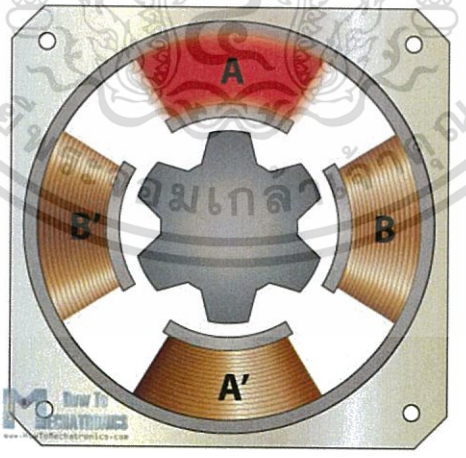
1. Permanent magnet stepper



รูปที่ 2.4 Permanent magnet stepper

Rotorทำจากแม่เหล็กถาวรซึ่งหันขั้วแม่เหล็กไปหาขั้วของStatorโดยตรงจึงมีทอร์กสูง มอเตอร์ชนิดนี้จะมีความละเอียดเพิ่มขึ้นตามจำนวนขั้วของแม่เหล็กและจำนวนPhasesของStator

2. Variable reluctance stepper

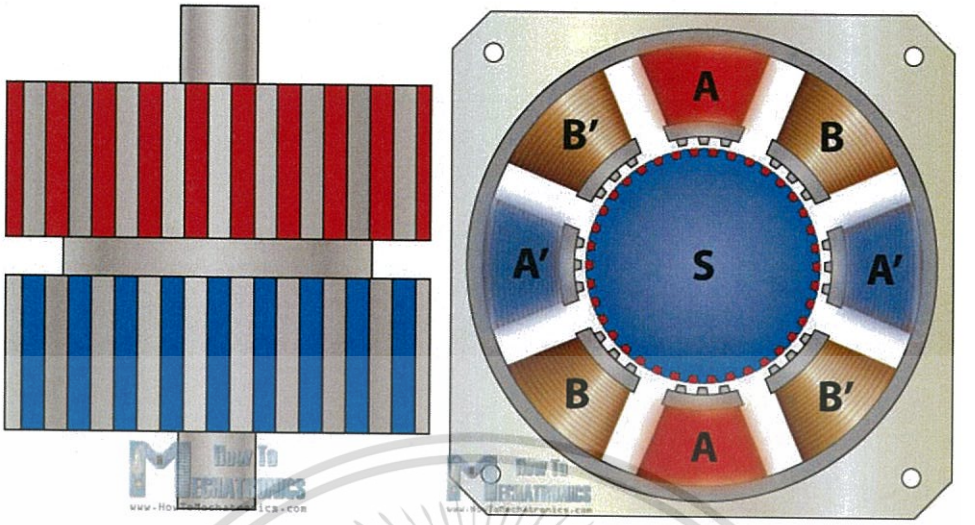


รูปที่ 2.5 Variable reluctance stepper

Rotorไม่ใช่แม่เหล็กถาวรสร้างจากโลหะอ่อน ความละเอียดของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนฟันของRotorที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Hybrid synchronous stepper



รูปที่ 2.6 Hybrid synchronous stepper

เป็นการรวมกันระหว่างPermanent magnet กับ Variable reluctance Rotor ทำจากแม่เหล็กถาวรและติดซี่ฟันโลหะไปที่ขั้วเหนือกับขั้วใต้ ซี่ฟันระหว่างขั้วเหนือกับขั้วใต้วางสลับกันจึงเสมือนมีจำนวนขั้วแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ทำให้มีทอร์กและความละเอียดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

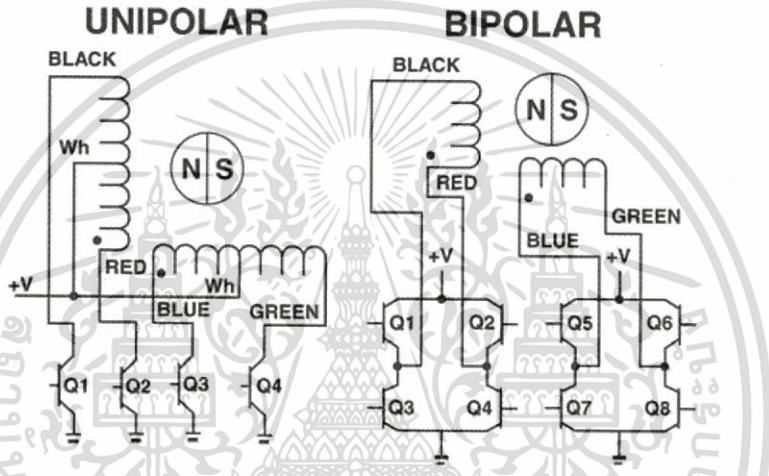
แบ่งตามตัวขับมอเตอร์(Drivers) Unipolar และ Bipolar

1. Unipolar drivers

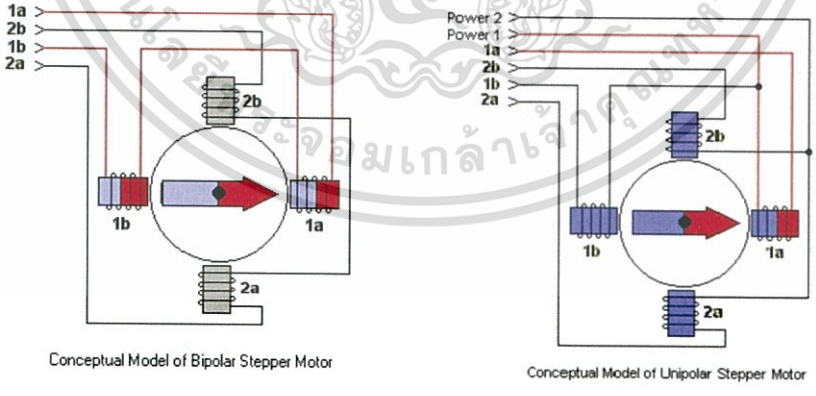
เป็นการจ่ายกระแสให้แต่ละเฟสทางเดียวตลอด โดยมีสายไฟหนึ่งหรือสองเส้นต่อกับแหล่งจ่ายไฟ สายที่เหลือต่อขาOutputของDrivers เมื่อมีOutputออกจากDrivers กระแสไฟจะไหลผ่านเฟส ทำให้มอเตอร์เกิดการเคลื่อนที่ตัวขับชนิดนี้สร้างจากวงจรทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีข้อเสียคือได้ทอร์กที่น้อยเพราะกระแสไฟที่ไหลผ่านขดลวดแต่ละครั้งจะไหลเพียงครึ่งเฟสเท่านั้น

2. Bipolar drivers

ตัวขับมอเตอร์ชนิดนี้ใช้วงจร H-bridgeมอเตอร์จะทำงานโดยDriversให้Outputเป็นกระแแบบสลับทิศของกระแสได้ กระแสจะไหลผ่านขดลวดของแต่ละเฟสในมอเตอร์ ข้อดีคือมีทอร์กที่สูง เนื่องจากกระแสไหลผ่านตลอดทั้งเฟส



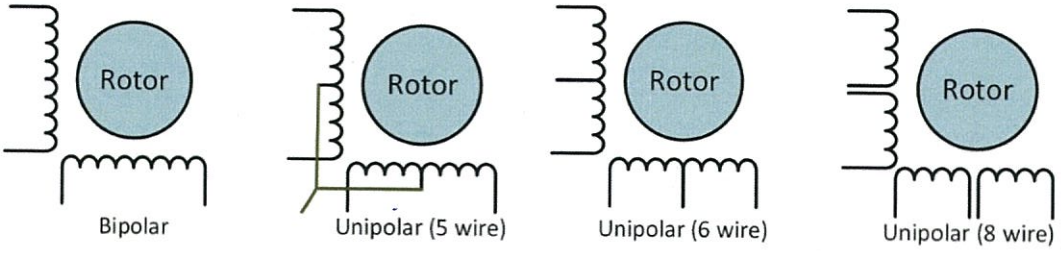
รูปที่ 2.7 รูปแบบวงจรUnipolar drivers และ Bipolar drivers



รูปที่ 2.8 รูปแบบการทำงานของ Bipolar และ Unipolar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งตามจำนวนสายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์



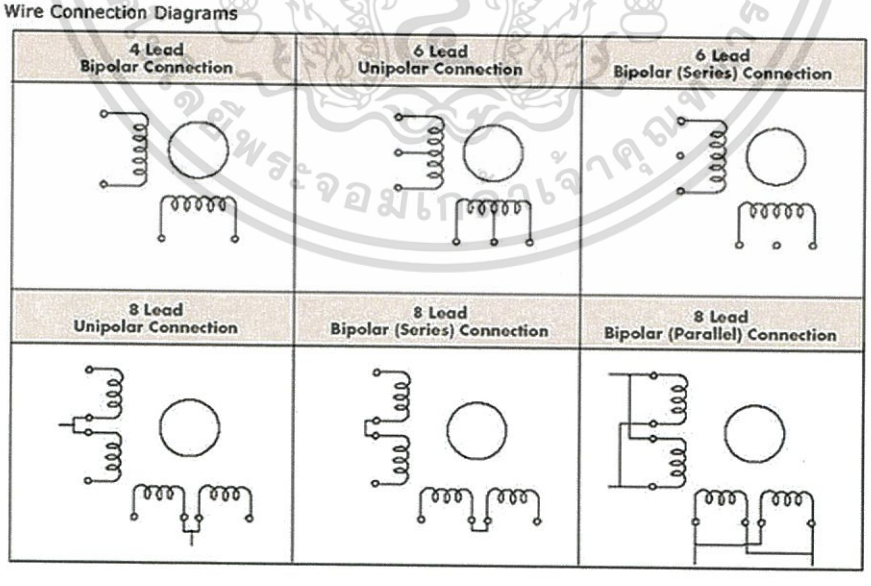
รูปที่ 2.9 รูปแบบการเดินสายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

4-wire มีสายสี่เส้น ใช้ได้กับ Bipolar drivers เท่านั้น

5-wire โดยทั่วไปจะเป็นมอเตอร์ขนาดเล็กใช้กับ Unipolar drivers เท่านั้น
เนื่องจากขดลวดในมอเตอร์นั้นจะต่อถึงกันหมด

6-wire มอเตอร์ชนิดนี้มาสารใช้ได้ทั้ง Unipolar drivers และ Bipolar drivers
ใช้Unipolar drivers โดยการต่อสายCommonเข้าด้วยกันจะทำงานเหมือน 5-wire
ใช้ Bipolar drivers โดยการปล่อยสายCommonไว้ และใช้งานแบบเดียวกับ 4-wire

8-wire มอเตอร์ชนิดนี้เป็นมอเตอร์ที่มีการเลือกใช้ได้หลากหลาย ใช้ได้ทั้งUnipolarและ Bipolar
ต่อแบบ 4-phase unipolar นำสายCommonมาต่อกันเหมือน 5-wire
ต่อแบบ 2-phase series bipolar ต่อสายเหมือนกับ 6-wire
ต่อแบบ 2-phase parallel bipolarทำการต่อสายให้ขดลวดแต่ละเฟสขนานกัน
ดังรูปที่ 2.10 การต่อแบบนี้จะทำให้ค่าความต้านทานและการเหนี่ยวนำของขดลวดลดลง
ครึ่งหนึ่ง ทำให้ได้ค่าทอร์กและความเร็วสูงขึ้น

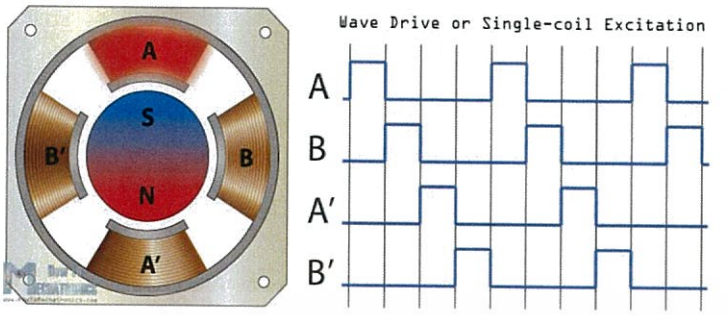


รูปที่ 2.10 การต่อสายแบบ Unipolar หรือ Bipolar ตามลักษณะของสายมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 รูปแบบการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

Wave Drive or Single-Coil Excitation

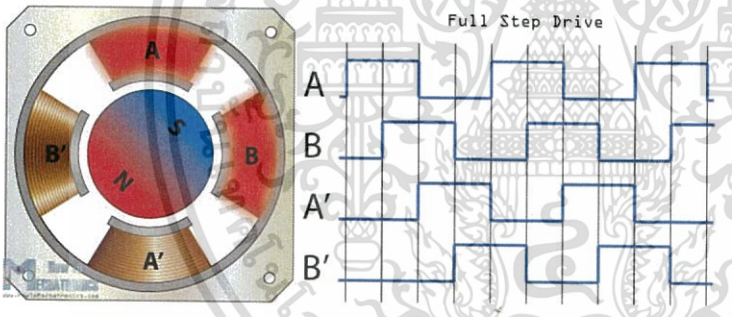


Step	A	B	A′	B′
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

รูปที่ 2.11 การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Single-Coil

การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ด้วยวิธีนี้ จะเป็นการจ่ายกระแสให้ขดลวดในมอเตอร์ครั้งละหนึ่งเฟส ตามตาราง

Full step drive



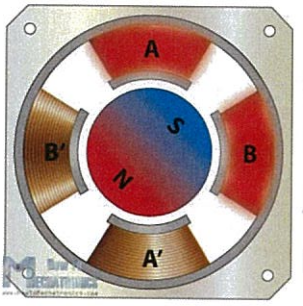
Step	A	B	A′	B′
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

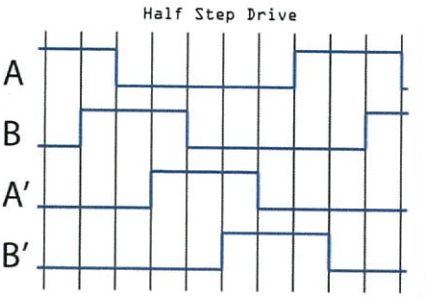
รูปที่ 2.12 การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Full step drive

การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์วิธีนี้ จะจ่ายกระแสไฟให้มอเตอร์ครั้งละสองเฟสตามตาราง ทำให้ได้ค่าทอร์กมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Half Step Drive



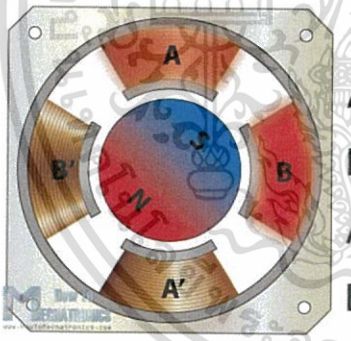


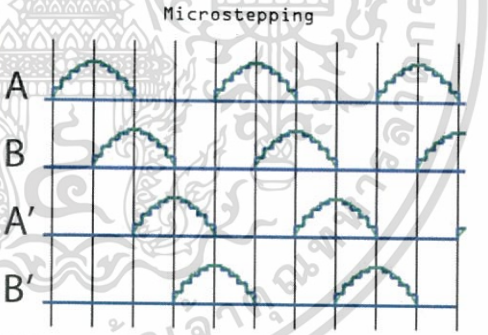
Step	A	B	A′	B′
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

รูปที่ 2.13 การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Half Step Drive

การขับแบบ Half step drive เป็นการรวมสองวิธีเข้าด้วยกันระหว่าง Single-coil กับ Full step drive ทำให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจากเดิม

Microstepping





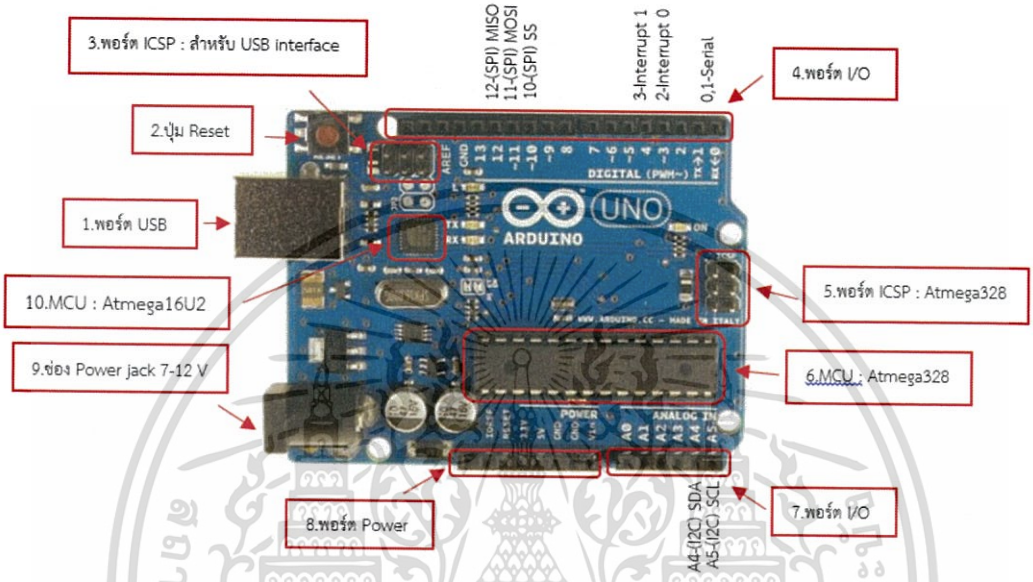
รูปที่ 2.14 การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Microstepping

การขับด้วยวิธีนี้จะขับในรูปแบบของ sine-wave ไปควบคุมกระแสที่ไหลของแต่ละขดลวดให้มีความต่อเนื่องกัน ทำให้ความเครียดระหว่างstepลดลง การหมุนจึงมีความละเอียดมากและสามารถควบคุมองศาได้ละเอียดมากกว่าวิธี Half step drive

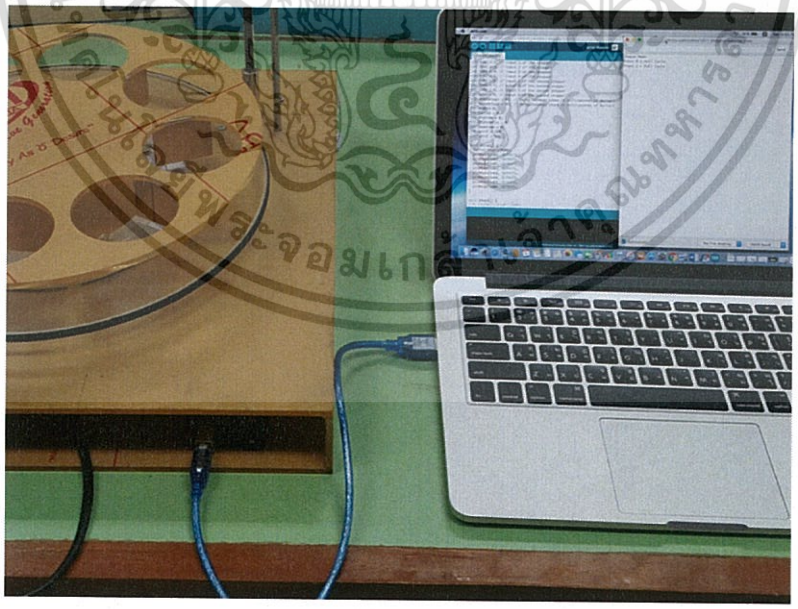
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ArduinoMicrocontroller

อาดุยโนเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open sourceมีการเปิดเผยข้อมูลทั้ง Hardware และ Software บอร์ดถูกออกแบบมาให้ใช้งานง่าย เหมาะกับผู้เริ่มต้นศึกษา สามารถนำวงจอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกมาต่อกับ I/O(input/output) ของบอร์ดรูปที่ 2.13 ประยุกต์การใช้งานได้หลากหลาย การทำงานของบอร์ดทำได้โดยการต่อบอร์ดเข้ากับคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 2.14 เพื่อเขียนโปรแกรมสั่งงานตามความต้องการของผู้ใช้



รูปที่ 2.15 แผนผังบอร์ด Arduino UNO R3



รูปที่ 2.16 การเชื่อมต่อบอร์ดกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัติ

การออกแบบตัวเครื่องมีความต้องการดังนี้

1) เครื่องสามารถรองรับบีกเกอร์ขนาดใหญ่สุดที่ 250ml(เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.2cm)

2) มีโหมดการทำงานแบบ Half Cycleและ Full Cycle

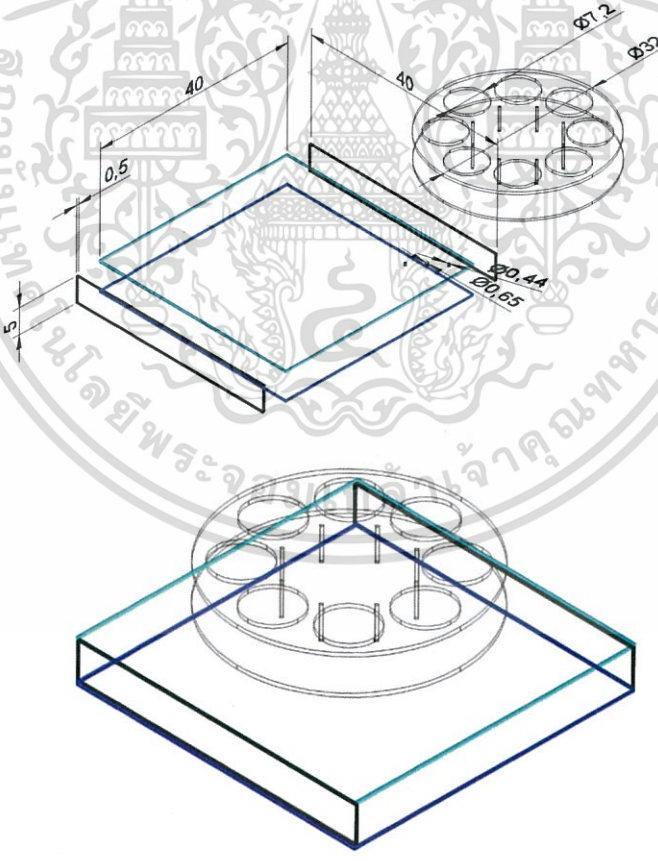
Half Cycleเครื่องทำการจุ่มสารจำนวน 4 ช่อง

Full Cycleเครื่องทำการจุ่มสารจำนวน 8 ช่อง

3) เครื่องสามารถตั้งค่าเวลาการจุ่ม เวลาการตาก และ กำหนดรอบได้

3.1.1 การออกแบบ

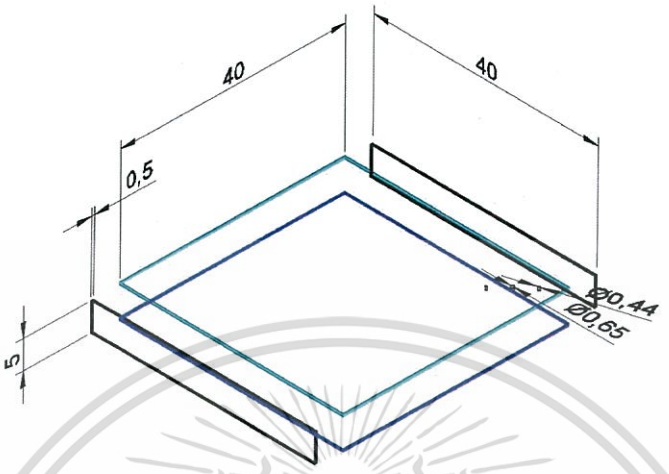
เมื่อทราบถึงความต้องการเบื้องต้นแล้ว ทำวาดโครงสร้างคร่าวๆด้วยโปรแกรม AUTOCAD แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือฐานสำหรับใส่วงจรอิเล็กทรอนิกส์และมอเตอร์ ส่วนที่สองคือถาดสำหรับใส่บีกเกอร์



รูปที่ 3.1 โครงสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัติ

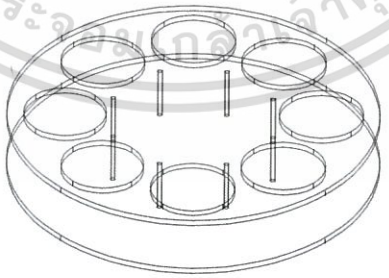
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของฐานสำหรับใส่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ออกแบบเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด40x40 cm^2 สองชิ้นสำหรับวางถาดใส่บีกเกอร์ และขนาด 40x5 cm^2 สำหรับใช้เป็นแผ่นด้านข้างของฐาน ช่องว่างมีไว้สำหรับใส่วงจรไฟฟ้าและมอเตอร์ขับเคลื่อนถาดใส่บีกเกอร์ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างฐานรองถาดใส่บีกเกอร์

ส่วนของถาดใส่บีกเกอร์ ทำการออกแบบเป็นจานวงกลมสองชิ้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32cm ชิ้นแรกเป็นส่วนบนของถาด เจาะช่องวงกลมสำหรับใส่บีกเกอร์จำนวน 8 ช่อง ชิ้นที่สองเป็นส่วนของฐานรองบีกเกอร์ ระยะห่างของจานบนกับจานล่าง 4.5 cm จากนั้นทำการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบีกเกอร์250ml ซึ่งหาข้อมูลจากอินเตอร์เน็ตพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางมีหลายขนาดตั้งแต่ 6.5 – 7 cm จึงออกแบบโครงสร้างของช่องสำหรับใส่บีกเกอร์ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7.2cm เพื่อให้รองรับบีกเกอร์250ml ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกว้างได้ ดังรูปที่ 3.3

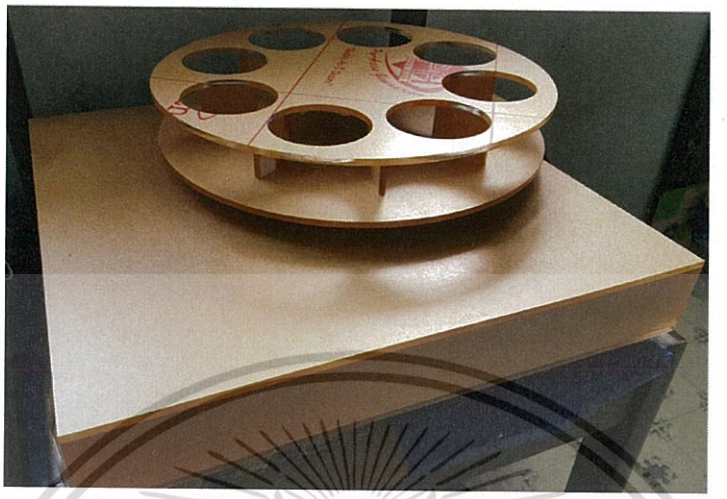


รูปที่ 3.3 โครงสร้างถาดใส่บีกเกอร์ จำนวน 8 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่นำมาใช้

1. อะคริลิคใส



รูปที่ 3.4 โครงสร้างที่ทำจากอะคริลิคใส

ใช้เป็นโครงสร้างของเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัติ เนื่องจากมีน้ำหนักเบาสีความยืดหยุ่นสูง สามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่สูง สามารถประกอบขึ้นรูปได้ง่าย

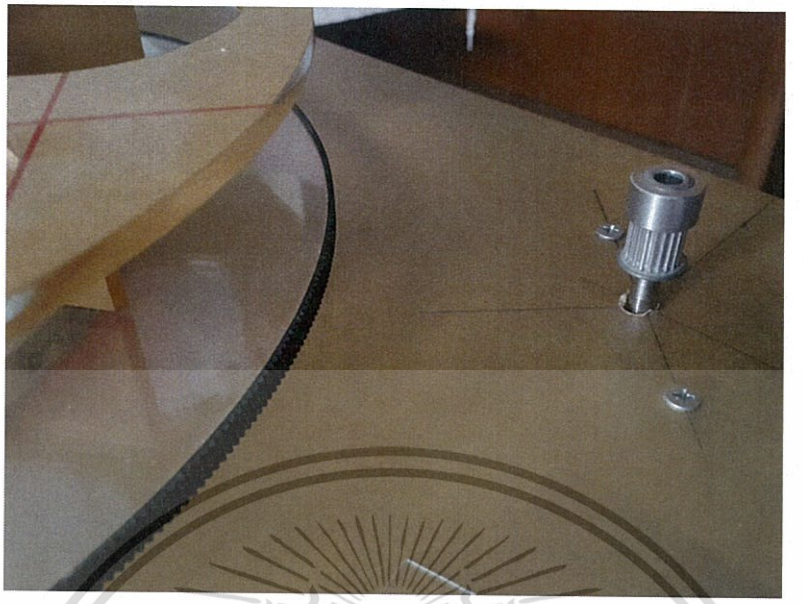
2. ฐานหมุน

รูปที่ 3.5 ฐานหมุนใช้เป็นจุดหมุนของถาดใส่บีกเกอร์

สำหรับรับน้ำหนักและเป็นจุดหมุนของถาดใส่บีกเกอร์ เลือกใช้รูปแบบนี้เพราะมีราคาถูก และสะดวกต่อการติดตั้ง สามารถถอดประกอบได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พู่เลย์ และ สายพาน



รูปที่ 3.6 การติดตั้งพู่เลย์ และ สายพาน

ใช้เป็นตัวส่งกำลังจากมอเตอร์สู่ถาดใส่บีกเกอร์ ลักษณะการทำงานเหมือนฟันเฟือง พู่เลย์มีจำนวนฟัน = 20 ซี่ เพื่อหมุนถาดใส่บีกเกอร์ครั้งละ 45° ต้องคำนวณจำนวนฟันของสายพานที่ติดเข้ากับถาดใส่บีกเกอร์ให้สอดคล้องกับจำนวณฟันของพู่เลย์จากนั้นคำนวณหา เส้นรอบวงของจานอะคริลิค

เริ่มแรกสั่งตัดแผ่นจานวงกลมอะคริลิคใสโดยไม่ได้คำนวณว่าต้องใช้จำนวนฟันกี่ซี่ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นระหว่างการทำงานแต่ละรอบ จะมีความคลาดเคลื่อนต่อรอบอย่างน้อยรอบละ 1ซี่ เมื่อทำงานจำนวนรอบมากๆทำให้ตำแหน่งของบีกเกอร์จะเคลื่อนไปเรื่อยๆตามจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้น ปัญหาที่พบคือ ซี่ฟันของจานหมุนต้องมีจำนวนสอดคล้องกับ step การทำงานของมอเตอร์ เนื่องจากโปรแกรมคำสั่งไม่สามารถใส่ตัวเลขที่มีความละเอียดซับซ้อนเพื่อทดรอบให้จานหมุนเป็นหลักทศนิยมไม่ได้ โปรแกรมจะสั่งงานแค่จำนวนเต็มเท่านั้น เช่น สั่งงาน 50.25 step โปรแกรมจะสั่งงานออกมาเพียง 50 step เท่านั้น จึงไม่สามารถทดรอบด้วยโปรแกรมได้

การคำนวณจำนวนซี่ฟันได้จาก

มอเตอร์เคลื่อนที่ครบ 1 รอบ =200 step

พู่เลย์ = 20 ซี่ การเคลื่อนที่ของมอเตอร์ 1 step จะได้ 20/200 = 0.1 ซี่/step

โปรแกรมที่สั่งงานจะเป็นการป้อน pulse ครั้งละ 4 pulse หรือ 4 step

จึงได้การสั่งงานหนึ่งครั้งพู่เลย์จะเคลื่อนที่ไป 0.4 ซี่ ต้องการหมุนจานหมุน 8 ครั้งต่อรอบ

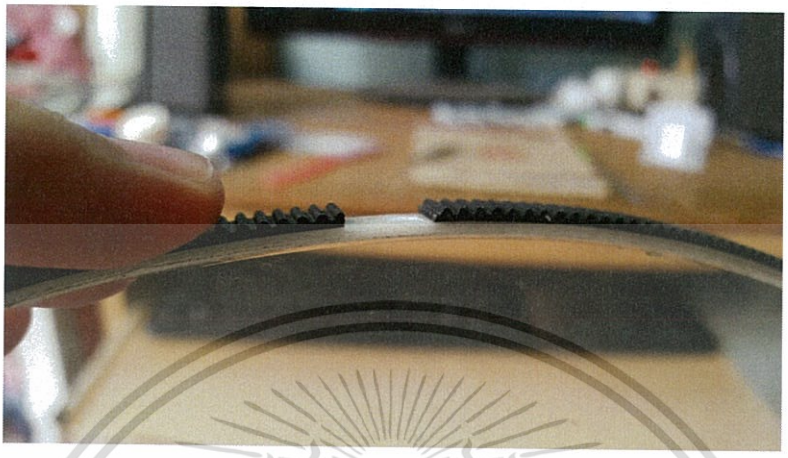
จะได้จำนวนซี่ฟันที่ต้องเคลื่อนไปต่อครั้งเท่ากับ 0.4 x 8 = 3.2

เนื่องจากโปรแกรมรองรับค่าที่เป็นจำนวณเต็มเท่านั้นเพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนของจานหมุน จึงต้องหาอัตราส่วนที่เป็นจำนวนเต็มของ 3.2 จึงได้ค่าน้อยสุดที่ 3.2 x 5 = 16ซี่ฟัน

ดังนั้นจะได้ค่าที่นำไปทดรอบของจานหมุนคือจำนวนเท่าของ 16 จึงจะสามารถแบ่งการหมุนเป็น 8 ครั้งได้พอดี แต่เนื่องจากการสั่งตัดที่ไม่ได้คำนวณที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ทำให้ซี่ฟันที่ติดได้คือ 506ซี่ ซึ่งไม่เป็นจำนวนเท่าของ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแก้ไข ต้องเพิ่มหรือลดจำนวนซี่ฟันของจานหมุนให้เป็นจำนวนเท่าของ 16 ค่าที่ใกล้ที่สุดได้ 512 ซี่ ดังนั้นต้องทำการเพิ่มซี่ฟันอีก 6 โดยการเพิ่มเส้นรอบวงของจานหมุนโดยการพันเทปกาวสองหน้าให้ได้เส้นรอบวงเหลือสำหรับติดตั้งเพิ่มอีก 6 ซี่ดังรูปที่ 3.7 เมื่อติดตั้งได้ครบ 512 ซี่แล้วทำการทดสอบจึงไม่พบความคลาดเคลื่อนอีก



รูปที่ 3.7 การเพิ่มเส้นรอบวงด้วยเทปกาวสองหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลีดสกรู และ เพลา

รูปที่ 3.8 การติดตั้งแขนจับ

ใช้เป็นส่วนของแขนจับกระจก เมื่อลีดสกรูหมุนทำให้แขนจับเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงได้ใช้ยกและจุ่มกระจกลงในบีกเกอร์ส่วนของเพลาเป็นแนวการเคลื่อนที่ของแขนจับ ทำให้แขนจับอยู่กับที่ ไม่หมุนตามลีดสกรู

5. Arduino UNO R3

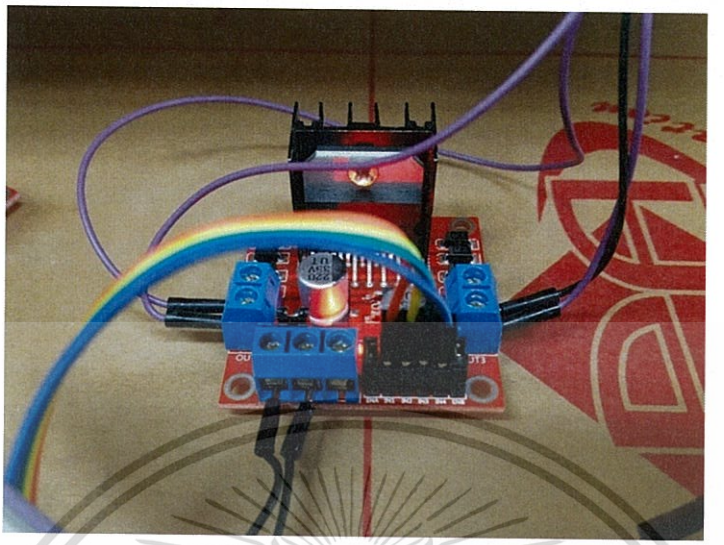
รูปที่ 3.9 การติดตั้งบอร์ด Arduino

ใช้รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์และป้อนพัลส์ให้Driversเพื่อทำการจ่ายกระแสไปยังเฟสของมอเตอร์แต่ละตัว สั่งการทำงานของมอเตอร์ทั้งสองตัวด้วยรูปแบบ Full step drive โดยต่อ Pin2 ถึง Pin5 กับ L298N ตัวที่หนึ่งเพื่อขับมอเตอร์ควบคุมแขนจับ และต่อ Pin6 – Pin9 กับ L298N ตัวที่สองเพื่อควบคุมการทำงานถาดใส่บีกเกอร์

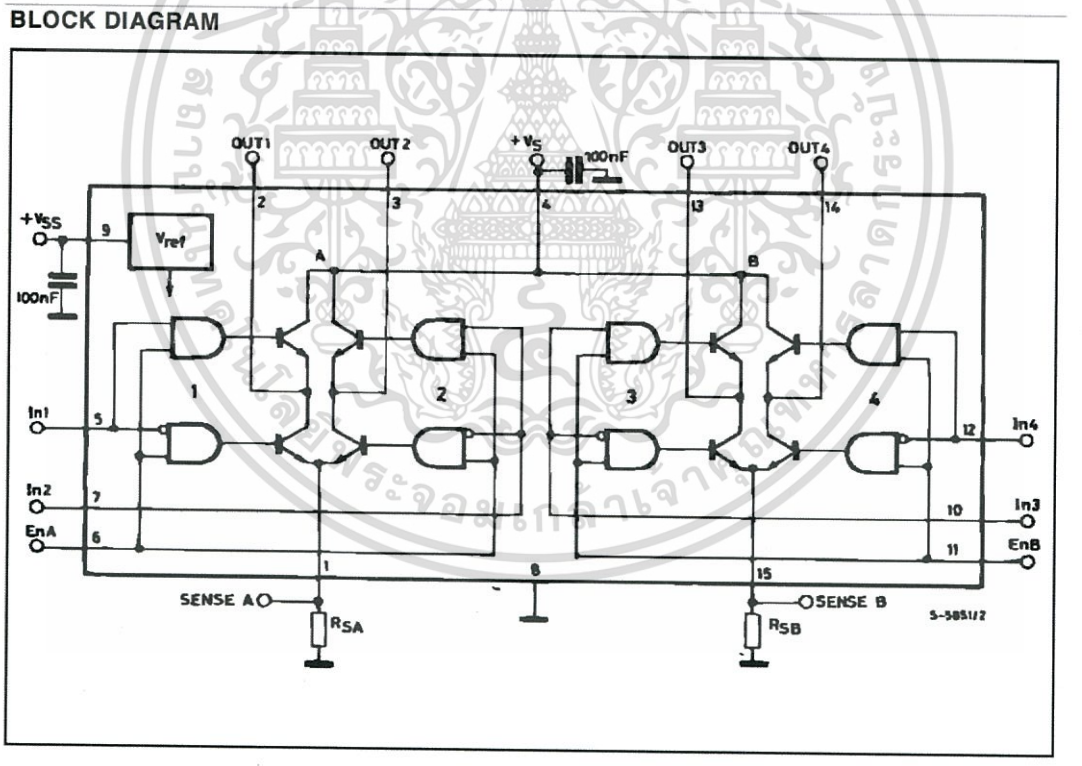
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ตัวขับมอเตอร์ (Drivers)

เลือกใช้ L298N เป็นวงจร H-bridge สามารถขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ Bipolar



รูปที่ 3.10 การติดตั้งตัวขับ L298N



รูปที่ 3.11 แผนผังวงจรของ L298N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

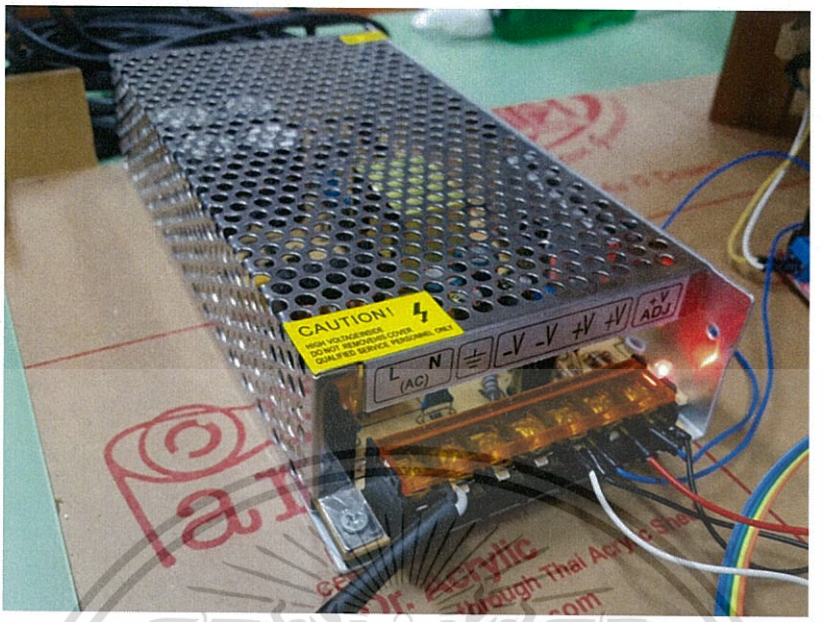
7. สเต็ปเปอร์มอเตอร์

รูปที่ 3.12 Stepper motor ที่ใช้ในวงจร

มอเตอร์ที่นำมาใช้เป็นแบบ 6-wire มาต่อแบบ Bipolar(Series)
มีความละเอียดที่ 1.8°/step
เนื่องจากจำนวนฟันของ Rotor = 50 ซี่
จำนวนฟันของ Stator=48 ซี่
จึงเกิดการเหลื่อมกันระหว่าง Rotor กับ Stator เมื่อมีสัญญาณพัลส์แบบ Full step 1 step เข้ามา
จะทำให้ Rotor ขยับไป = 1/4pole/step
มุมที่เปลี่ยนไปเมื่อ Rotor ขยับ 1 pole =360/50 = 7.2°/pole
จะได้ 1/4(7.2°) = 1.8°/step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. แหล่งจ่ายไฟ

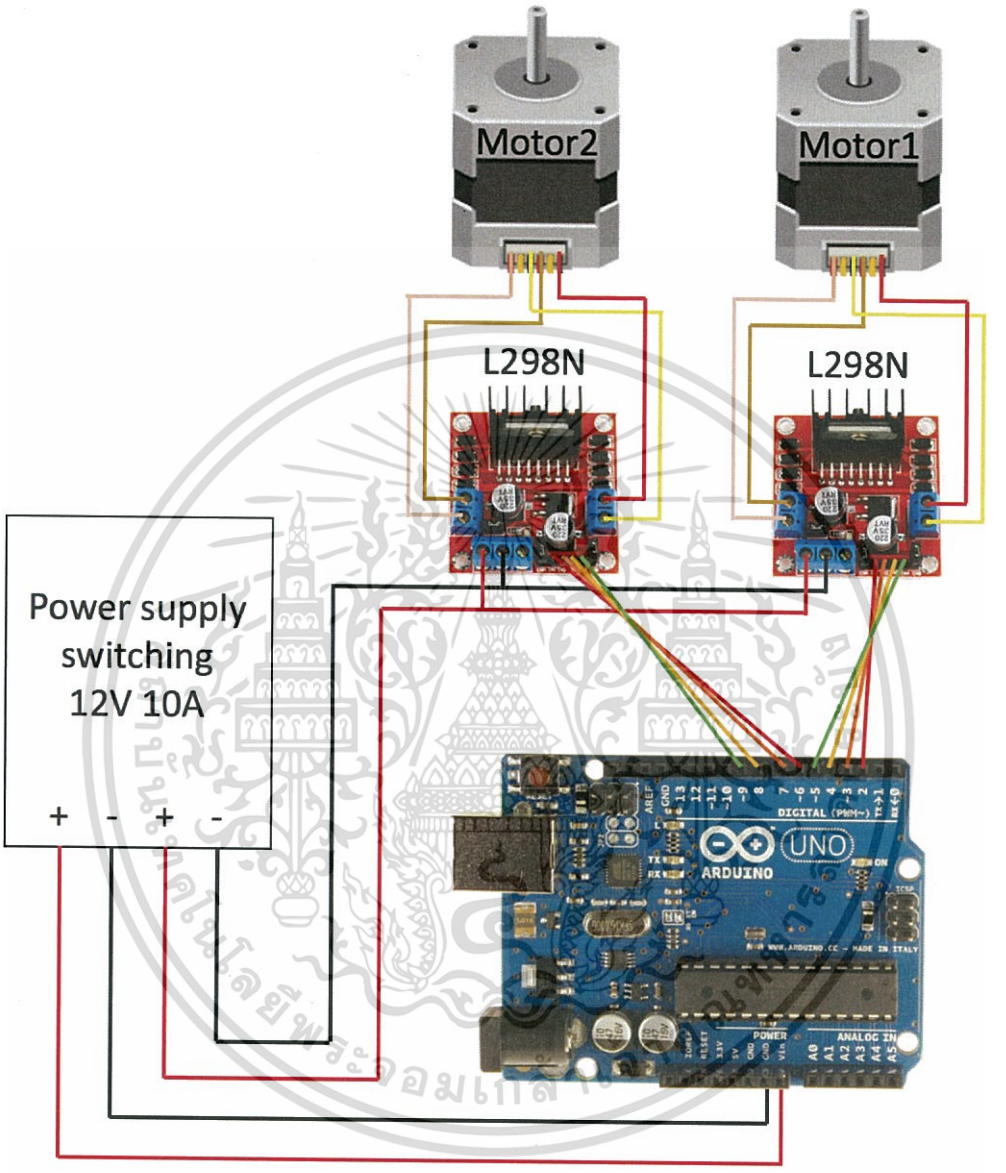


รูปที่ 3.13 Power supply switching 12V 10A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรและโปรแกรมคำสั่ง

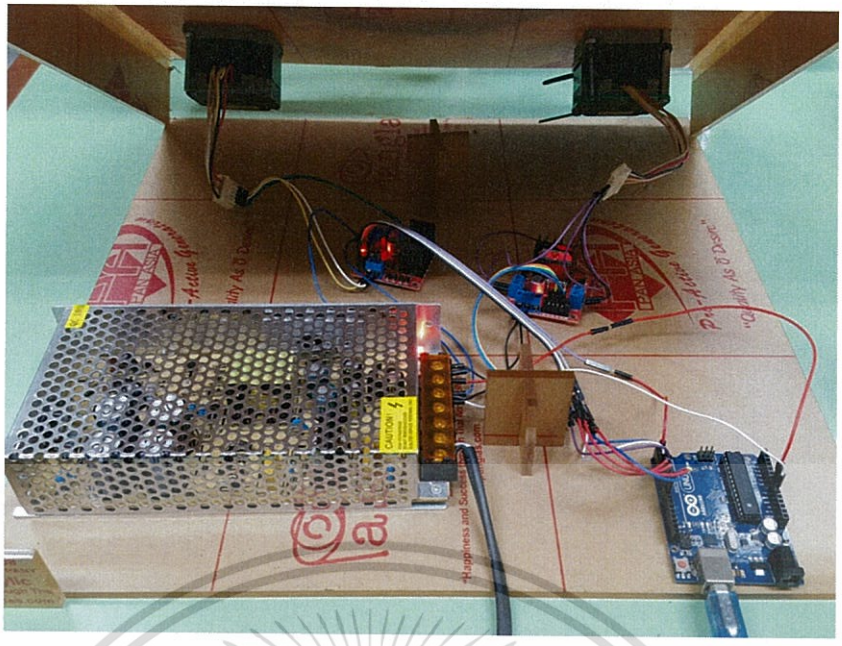
3.2.1 การออกแบบวงจร



รูปที่ 3.14 การต่อวงจร

Pin 2 – 5 ต่อกับ input L298N ตัวที่หนึ่ง
Pin 6 – 9 ต่อกับ input L298N ตัวที่สอง
จ่ายไฟ 12V ให้ DriverL298N และ บอร์ด Arduino
ข้อระวัง ควรใช้ Ground ร่วมกันที่Power supply
ไม่ควรต่อ Ground ของ Driver L298N เข้ากับบอร์ด Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



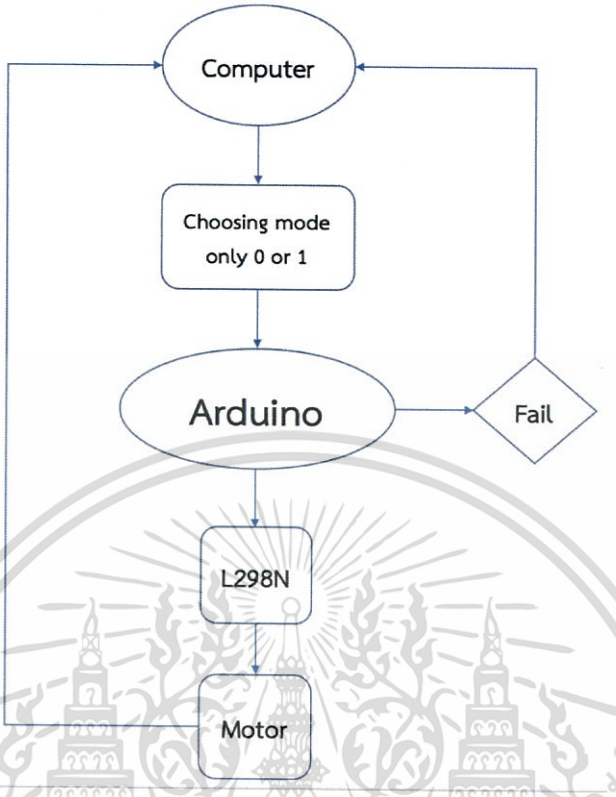
รูปที่ 3.15 การต่อวงจรและการเดินสาย

ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อเครื่องเริ่มการทำงานไปซักระยะหนึ่งจะเกิดความร้อนสะสมที่มอเตอร์ เนื่องจากมอเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟไม่สอดคล้องกัน ซึ่งแหล่งจ่ายไฟมีความต่างศักย์สูงกว่าที่มอเตอร์ต้องการ จึงเกิดความร้อนขึ้นเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟค้างไว้เพื่อให้มอเตอร์หยุดหมุน

วิธีแก้ไขปัญหาคือเขียนคำสั่งเพิ่มเติมให้มีการจ่ายกระแสค้างไว้เพียง0.1วินาทีเพื่อหยุดการหมุนของมอเตอร์หลังจากนั้นทำการหยุดจ่ายกระแสไฟเมื่อไม่มีการทำงานของมอเตอร์ ทำให้ปัญหาความร้อนของมอเตอร์หายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การออกแบบโปรแกรมคำสั่ง



รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมการทำงานของระบบ

เริ่มต้นโดยการต่อคอมพิวเตอร์กับบอร์ดArduino เมื่อเชื่อมต่อแล้วให้เปิด Serial monitor เพื่อเป็นการสั่งการบอร์ด เริ่มต้นด้วยการเลือก Mode กด 0 Half Cycle กด 1 Full Cycle กำหนดรอบของกระบวนการและกำหนดเวลา ถ้าเลือกโหมดนอกเหนือจาก 0 หรือ 1 ระบบจะไม่ทำงานแล้วกลับไปเลือกโหมดใหม่อีกครั้ง

กระบวนการทำงานของเครื่องแบบ HalfCycle

เป็นการจุ่มเพียง 4 ช่อง มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) จุ่มบีกเกอร์ที่ 1 ตามเวลาที่กำหนด
2) จุ่มบีกเกอร์ที่ 2 ตามเวลาที่กำหนด
3) ตากแห้ง ตามเวลาที่กำหนด
4) จุ่มบีกเกอร์ที่ 3 ตามเวลาที่กำหนด
5) จุ่มบีกเกอร์ที่ 4 ตามเวลาที่กำหนด
6) ตากแห้ง ตามเวลาที่กำหนด
7) วนกลับไปบีกเกอร์ที่ 1 นับเป็น 1 รอบ ทำซ้ำจนครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้

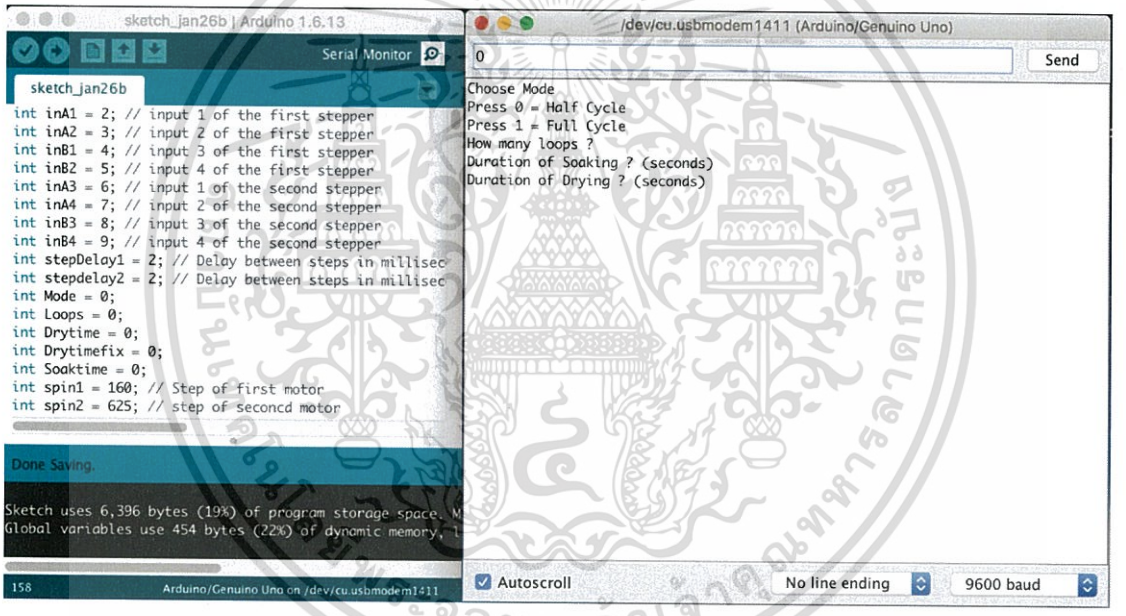
กระบวนการทำงานของเครื่องแบบFull Cycle

ลักษณะการทำงานเหมือนกับ Half Cycle แต่จะทำการจุ่มสารครบทุกช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

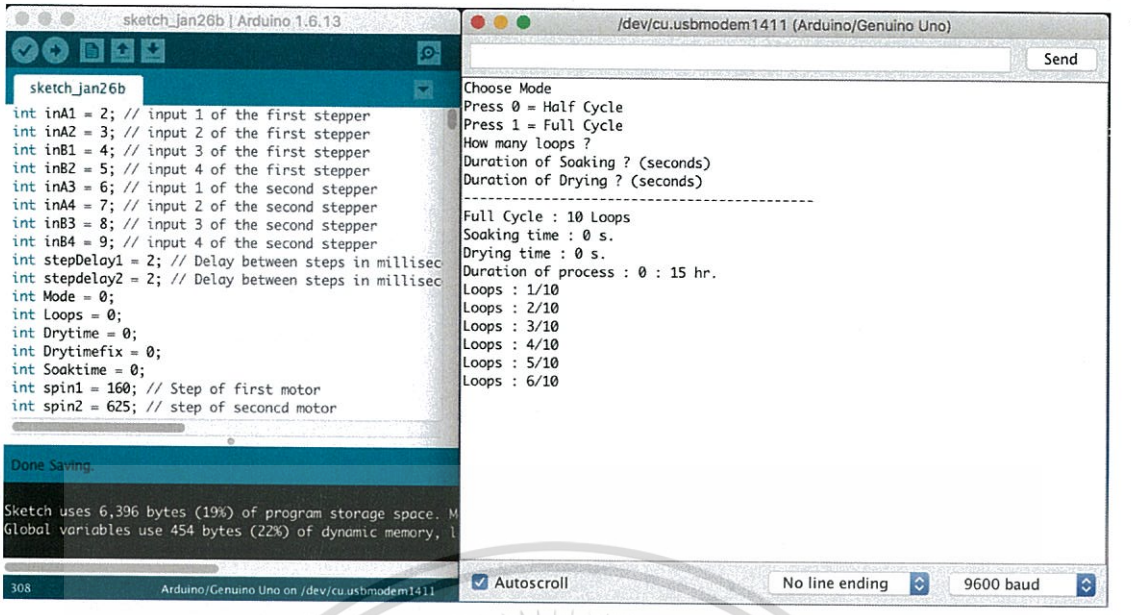
วิธีการตั้งค่า

1) ทำการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับบอร์ด Arduino UNO R3 ของเครื่องจุ่มฟิล์ม เชื่อมต่อด้วย USB port
2) เปิดโปรแกรม Arduinoเข้าคำสั่ง Tools >>> Port แล้วทำการเลือก Port ที่ทำการเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduinoไว้ หากเลือกPortไม่ถูกต้องจะไม่สามารถใช้งานได้
3) คลิก Serial monitor เพื่อเปิดการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ด Arduino ดังรูปที่ 3.17
4) เลือกโหมด จำนวนรอบ กำหนดเวลาในการจุ่มสารและตากแห้งตามลำดับ โดยการใส่ตัวเลขจำนวนเต็มแล้วกดEnter เวลาในจุ่มสารและตากแห้งเป็นหน่วยวินาที เมื่อกำหนดค่าต่างๆเสร็จแล้วเครื่องจะทำงานทันทีหน้าต่าง SerialMonitor จะแสดงสถานะของเครื่อง ว่ากำลังทำงานในรูปแบบใด เวลาการจุ่มและการตากกี่วินาที ระยะเวลาในการทำงานของระบบ และจำนวนรอบดังรูปที่ 3.18
5) เมื่อทำงานครบตามจำนวนรอบที่กำหนด เครื่องจะหยุดการทำงาน และกลับไปรอการตั้งค่าใหม่ดังรูปที่ 3.19

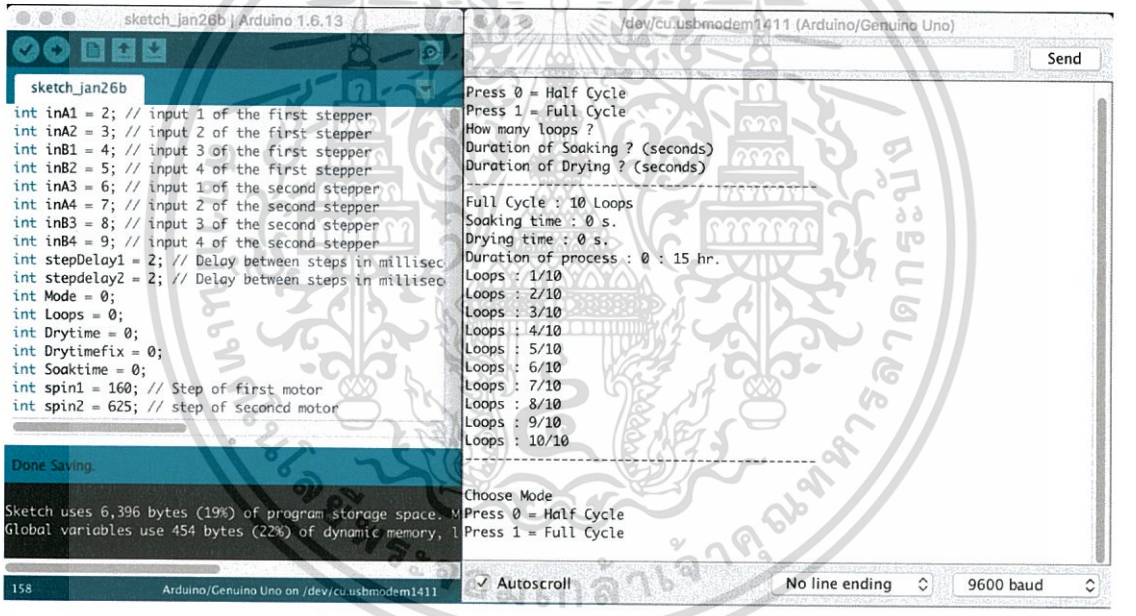


รูปที่ 3.17 การตั้งค่าการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 สถานการณ์ทำงานของเครื่อง



รูปที่ 3.19 สถานะเมื่อเครื่องทำงานเสร็จ และ รอการตั้งค่าใหม่

ข้อควรระวัง

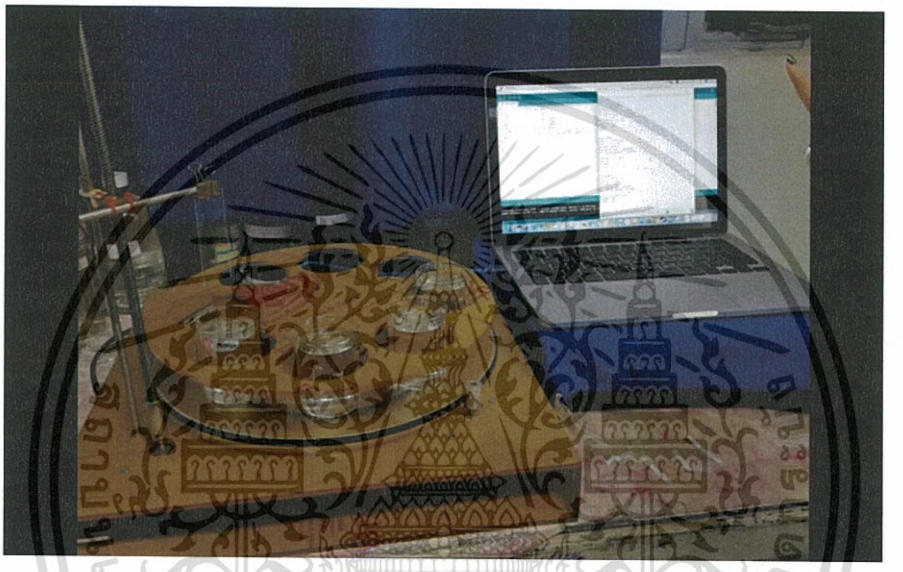
1) เมื่อเครื่องกำลังทำงาน ไม่ควร ปิด-เปิด หน้าต่าง Serial monitor ใหม่ หากทำการเปิดหน้าต่างSerial monitor ขึ้นมาใหม่เครื่องจะหยุดการทำงาน เนื่องจากเครื่องกลับไปอยู่ในสถานะรอการตั้งค่าใหม่ทันที
2) ระหว่างเครื่องกำลังทำงาน หากทำการถอดสายUSBและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ใหม่อีกครั้ง หน้าต่าง Serial monitor จะไม่อัพเดทจำนวนรอบ เพราะขาดการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดArduinoกับคอมพิวเตอร์ แต่เครื่องยังสามารถทำงานจนครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการทดลองและผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง

เตรียมสารเคมีใส่บีกเกอร์จำนวน 4 หรือ 8 บีกเกอร์ จากนั้นนำบีกเกอร์ใส่ตามช่องในถาดใส่บีกเกอร์ การหมุนของถาดบีกเกอร์จะหมุนตามเข็มนะฬิกา ต้องจัดวางบีกเกอร์ตามทิศทางการหมุนของเครื่องมือ ก่อนจะเริ่มต้องเลื่อนถาดหมุนด้วยมือ ให้บีกเกอร์ช่องแรกตรงกับแขนที่จับกระจกไว้ ดังรูปที่ 4.1และทำการต่อ USBกับคอมพิวเตอร์ เพื่อสั่งการเครื่อง



รูปที่ 4.1 การวางตำแหน่งบีกเกอร์แบบ Half Cycle

อุปกรณ์การทดลอง

1) เครื่องจุ่มฟิล์มด้วยเทคนิค Silar
2) คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม Arduinoเพื่อสั่งงานและแสดงผล
3) บีกเกอร์ขนาด 150ml จำนวน 4บีกเกอร์
4) สารละลายไอออน$Pb(NO_3)_2$ ความเข้มข้น 0.02 M
5) สารละลายไอออนNa_2Sความเข้มข้น 0.02 M
6) เมทานอล ใช้เป็นตัวทำละลาย
7) กระจกนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1) นำเทปกาวสองหน้าแบบบางติดไว้ที่พื้นของช่องบนจานหมุนที่ต้องการใช้ (ช่อง 1 – 4)
2) นำบีกเกอร์สารละลายไอออน $Pb(NO_3)_2$ ใส่ไว้ในช่องที่ 1
3) นำบีกเกอร์เมทานอล ใส่ไว้ในช่องที่ 2
4) นำบีกเกอร์สารละลายไอออน Na_2S ใส่ไว้ในช่องที่ 3
5) นำบีกเกอร์เมทานอล ใส่ไว้ในช่องที่ 4
6) หนีบกระจกและปรับระดับความสูงของแขนจับตามความเหมาะสมของขนาดบีกเกอร์ที่ใช้ปรับตำแหน่งของบีกเกอร์ที่ 1 ให้ตรงกับแขนจับ โดยการหมุนที่พู่เลย์หมุนถาดใส่บีกเกอร์
7) เสียบสายไฟเครื่องจุ่มฟิล์ม และ เชื่อต่อบอร์ดArduinoกับคอมพิวเตอร์
8) เปิดโปรแกรม Arduinoแล้วกดปุ่ม Serial monitor
9) ทำการทดลอง แบบ Half Cycle mode80 รอบ
   ตั้งค่าเวลา จุ่มสาร 60 วินาที
   ตากแห้ง 60 วินาที
   ใช้เวลาในการทดลองประมาณ 9ชั่วโมง 30นาที
   แบ่งการบันทึกภาพ 3ครั้ง ห่างกันครั้งละ 3ชั่วโมง 10นาที
10) เมื่อใส่ค่าเวลาตากแห้งเสร็จแล้วเครื่องจะเริ่มทำงานทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

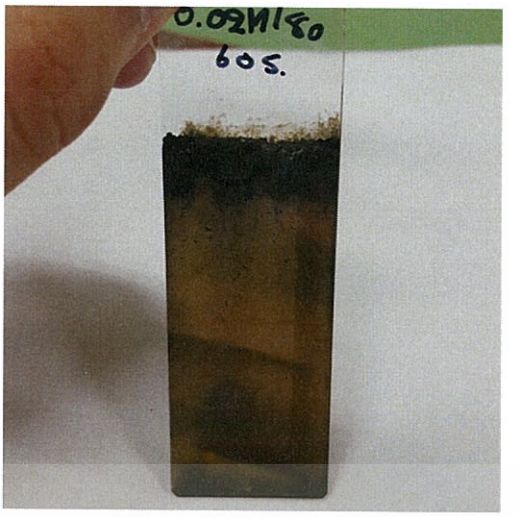
เวลาที่เริ่มทำการทดลอง 18:00 น.

รูปที่ 4.2 บันทึกภาพการทดลอง เวลา 21:11 น.

รูปที่ 4.3 บันทึกภาพการทดลอง เวลา 00:20 น.

รูปที่ 4.4 บันทึกภาพการทดลอง เวลา 03:30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ฟิล์มที่ได้จากเครื่องอัตโนมัติ จำนวน 80 รอบ

เมื่อนำกระจกที่สร้างฟิล์มด้วยเทคนิค Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction ที่ได้จากเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัติ เปรียบเทียบกับการจุ่มด้วยวิธีปกติ ปรากฏดังรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.6 ภาพการทดลองด้วยวิธีปกติ 15 รอบ และ 45 รอบ เปรียบเทียบกับ การทดลองด้วยเครื่องอัตโนมัติ 80 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการการทำงานของเครื่อง

เครื่องมือสามารถทำงานได้ดี ไม่มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นขณะทำการทดลอง เวลาที่ใช้ในการทดลองสามารถคาดการณ์ได้ โดยการคำนวณจากค่าเวลาต่างๆในระบบ เมื่อใส่ค่าเวลา และ จำนวนรอบแล้ว จะแสดงเวลาคร่าวๆออกมามีความคลาดเคลื่อนของเวลาที่แสดงไม่เกิน 1% จากการทดลองจุ่ม1นาที ตาก1นาที จำนวน80รอบ โปรแกรมคำนวณออกมาที่ 9ชั่วโมง 36นาที แต่เวลาที่ใช้จริงประมาณ 9ชั่วโมง 30นาที

ข้อมูลทางเทคนิคของตัวเครื่อง

Working Voltage	220V 60 Hz
Duration time	0 – 32677 hr.
Soaking time	0 – 32677 s.
Drying time	0 – 32677 s.
Cycles	0 – 32677
Beakers Slot	8
Motor speed	0 – 150 rpm
PC Connectivity	USB 2.0 Type B

*** หากใส่ค่าเวลาหรือรอบมากกว่า 32677 เครื่องจะทำงานผิดพลาด

*** หากใส่ค่าเวลาและจำนวนรอบที่ทำให้ระยะเวลาการทำงานของเครื่องเกิน 32677 ชั่วโมงโปรแกรมจะคำนวณผิดพลาดจึงแสดงค่าเวลาที่ผิดเพี้ยนไป แต่เครื่องยังสามารถทำงานได้ปกติ

*** เนื่องจากข้อจำกัดของ Board Arduino UNO R3 ที่สามารถใช้ตัวเลขได้สูงสุดจำนวน 32678 ตัวเลข (0 – 32677)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

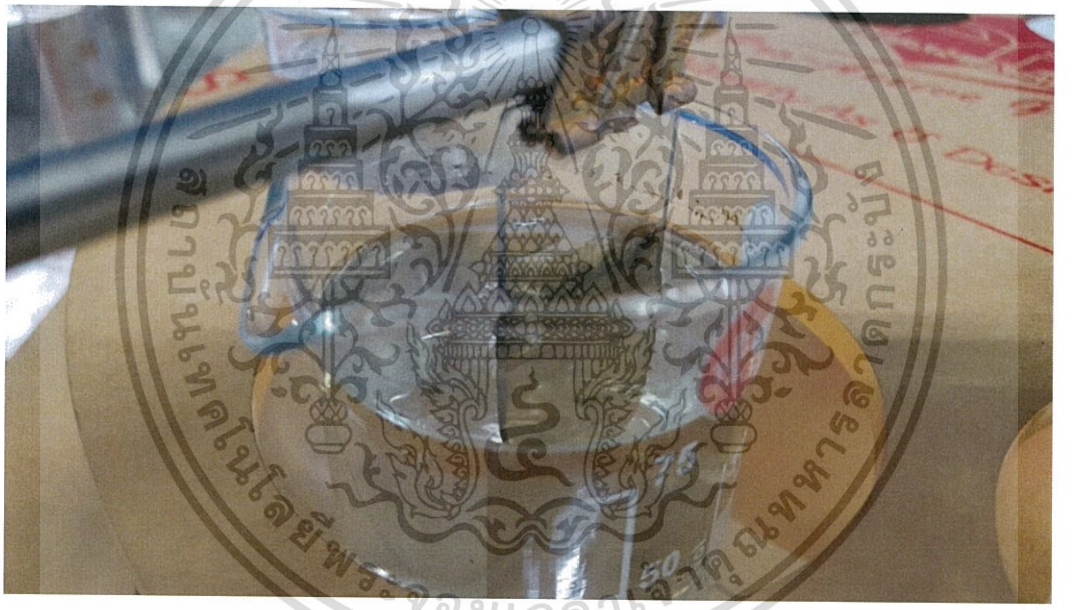
5.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ สังเกตว่าฟิล์มที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องจำนวน 80 รอบ มีความเข้มของชั้นฟิล์มมากกว่าการทดลองดด้วยวิธีปกติจำนวนรอบ 15 รอบ และ 45 รอบ ลักษณะความเข้มของชั้นฟิล์มPbSที่เพิ่มขึ้นมีลักษณะต่อเนื่องกัน จึงสรุปได้ว่าเครื่องมือสามารถทำงานกับเทคนิค Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction ได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

ระหว่างทำการทดลอง มีการระเหยของสารในบีกเกอร์ตลอดเวลา เมื่อเริ่มกระบวนการทดลอง บีกเกอร์ที่ใส่สารชะล้างมีการระเหยจนทำให้ระดับของสารชะล้างต่ำกว่าสารละลายตั้งต้น ดังรูปที่ 5.1 ทำให้มีส่วนของกระจกที่ไม่โดนสารชะล้าง ส่งผลให้การชะล้างไม่สมบูรณ์ เมื่อส่วนที่ไม่โดนชะล้างของสาร $Pb(NO_3)_2$ ไปผสมกับ Na_2S ทำให้เกิดตะกอนดำที่ขอบบนของฟิล์ม

ดังนั้นก่อนการทำการทดลองควรเผื่อระดับของสารชะล้างให้สูงกว่าสารตั้งต้นตามเวลาที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.1 ตะกอน PbS ที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

R.N. Bulakhe, N.M. Shinde, R.D. Thorat, S.S. Nikam, C.D. Lokhande. 2013. "Deposition of Copper Iodide Thin Films by Chemical Bath Deposition (CBD) and Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) Methods." *Current Applied Physics*. 13 (2013) : 1661-1667.

Dejan Nedelkovski. 2015. Stepper Motor – How It Works. Online. Available : http://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/stepper-motor/

ZAK KHAN. 2015. How to Pick Between Stepper Motor, Brush DC, and Brushless Motors?. Online. Available : http://www.motioncontroltips.com/faq-how-to-pick-between-stepper-motor-brush-dc-and-brushless-motors/

Anonymous. 2016. Stepper Motor. Online. Available : http://www.reductor-motor.com/eng-theory-stepper%20motor.html

George. 2012. Unipolar Stepper Motor vs Bipolar Stepper Motors. Onilne. Available : https://www.circuitspecialists.com/blog/unipolar-stepper-motor-vs-bipolar-stepper-motors/

Moritz Begle. 2013. Stepper Motors. Online. Available : http://fabacademy.org/archives/2014/students/begle.moritz/week13.html

Bill Earl. 2015. All About Stepper Motors. Online. Available : https://learn.adafruit.com/all-about-stepper-motors/types-of-steppers

JColvin91. 2016. How to Use a Stepper Motor. Online. Available : http://www.instructables.com/id/How-to-use-a-Stepper-Motor/

Optokorea. 2017. SILAR Coating System. Online. Available : http://www.optokorea.net/bbs/board.php?bo_table=product_02_03&sca=SILAR+Coating+System+with+Stirrer

Holmarc (Opto-Mechatronics PVT.LTD.). 2017. Silar Coating System with Magnetic Stirrer and Ultrasonic Bath Stand. Online. Available : http://www.holmarc.com/silar_controller_with_magnetic_stirrer_ultrasonic_bathstand.php

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รหัสคำสั่งที่ป้อนลงในบอร์ด Arduino UNO R3

```
int inA1 = 2; // input 1 of the first stepper

int inA2 = 3; // input 2 of the first stepper

int inB1 = 4; // input 3 of the first stepper

int inB2 = 5; // input 4 of the first stepper

int inA3 = 6; // input 1 of the second stepper

int inA4 = 7; // input 2 of the second stepper

int inB3 = 8; // input 3 of the second stepper

int inB4 = 9; // input 4 of the second stepper

int stepDelay1 = 2; // Delay between steps in milliseconds of Mortor1

int stepdelay2 = 2; // Delay between steps in milliseconds of Mortor2

int Mode = 0;

int Loops = 0;

intDrytime = 0;

intDrytimefix = 0;

intSoaktime = 0;

int spin1 = 160; // Step of first motor

int spin2 = 625; // step of seconcd motor


void setup() {

Serial.begin(9600);

pinMode(inA1, OUTPUT);

pinMode(inA2, OUTPUT);

pinMode(inB1, OUTPUT);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pinMode(inB2, OUTPUT);
pinMode(inA3, OUTPUT);
pinMode(inA4, OUTPUT);
pinMode(inB3, OUTPUT);
pinMode(inB4, OUTPUT);
}
void step1() {
digitalWrite(inA1, LOW);
digitalWrite(inA2, HIGH);
digitalWrite(inB1, HIGH);
digitalWrite(inB2, LOW);
delay(stepDelay1);
}
void step2() {
digitalWrite(inA1, LOW);
digitalWrite(inA2, HIGH);
digitalWrite(inB1, LOW);
digitalWrite(inB2, HIGH);
delay(stepDelay1);
}
void step3() {
digitalWrite(inA1, HIGH);
digitalWrite(inA2, LOW);
digitalWrite(inB1, LOW);
digitalWrite(inB2, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay(stepDelay1);
}
void step4() {
digitalWrite(inA1, HIGH);
digitalWrite(inA2, LOW);
digitalWrite(inB1, HIGH);
digitalWrite(inB2, LOW);
delay(stepDelay1);
}
voidstopMotor() {
digitalWrite(inA1, LOW);
digitalWrite(inA2, HIGH);
digitalWrite(inB1, HIGH);
digitalWrite(inB2, LOW);
}
void step5() {
digitalWrite(inA3, LOW);
digitalWrite(inA4, HIGH);
digitalWrite(inB3, HIGH);
digitalWrite(inB4, LOW);
delay(stepdelay2);
}
void step6() {
digitalWrite(inA3, LOW);
digitalWrite(inA4, HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite(inB3, LOW);
digitalWrite(inB4, HIGH);
delay(stepdelay2);
}
void step7() {
digitalWrite(inA3, HIGH);
digitalWrite(inA4, LOW);
digitalWrite(inB3, LOW);
digitalWrite(inB4, HIGH);
delay(stepdelay2);
}
void step8() {
digitalWrite(inA3, HIGH);
digitalWrite(inA4, LOW);
digitalWrite(inB3, HIGH);
digitalWrite(inB4, LOW);
delay(stepdelay2);
}
void pause() {
digitalWrite(inA1,LOW);
digitalWrite(inA2,LOW);
digitalWrite(inB1,LOW);
digitalWrite(inB2,LOW);
digitalWrite(inA3,LOW);
digitalWrite(inA4,LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite(inB3,LOW);
digitalWrite(inB4,LOW);
}
void loop() {
Serial.println("Choose Mode");
Serial.println("Press 0 = Half Cycle");
Serial.println("Press 1 = Full Cycle");
while (Serial.available()==0) {}
Mode=Serial.parseInt();
Serial.println("How many loops ?");
while (Serial.available()==0) {}
Loops=Serial.parseInt();
Serial.println("Duration of Soaking ? (seconds)");
while (Serial.available()==0) {}
Soaktime=Serial.parseInt();
Serial.println("Duration of Drying ? (seconds)");
while (Serial.available()==0) {}
Drytime=Serial.parseInt();
Serial.println("-----------------------------------------");
if(Mode==0){Serial.print("Half Cycle");}
if(Mode==1){Serial.print("Full Cycle");}
Serial.print(" : ");
Serial.print(Loops);
Serial.println(" Loops");
Serial.print("Soaking time : ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Serial.print(Soaktime);
Serial.println(" s.");
Serial.print("Drying time : ");
Serial.print(Drytime);
Serial.println(" s.");
////////////////////////// Half loop //////////////////////////
if(Mode==0){
intTimeHalfLoopsHr =
((((2*4*4*625*0.002)+((4*Soaktime)+(2*Drytime)+1.05))+(8*4*160*0.002))*Loops)/3600;
intTimeHalfLoopsMin =
((((((2*4*4*625*0.002)+((4*Soaktime)+(2*Drytime)+1.05))+(8*4*160*0.002))*Loops)/3600)
-TimeHalfLoopsHr)*60;
Serial.print("Duration of process : ");
Serial.print(TimeHalfLoopsHr);
Serial.print("h");
Serial.print(" ");
Serial.print(TimeHalfLoopsMin);
Serial.println("m");
for (int j=1 ; j<=Loops ; j++){
for (inti=1 ; i<=spin2 ; i++){//1//
step5();
step6();
step7();
step8();
}
stopMotor();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pause();
for(int count=0 ; count<Soaktime ; count++){
delay(1000);
}
for (inti=1; i<=spin2; i++){
step8();
step7();
step6();
step5();
}
stopMotor();
pause();
for(int count=0 ; count<Drytimefix ; count++){
delay(1000);
}
for (inti=1 ; i<=160 ; i++){
step1();
step2();
step3();
step4();
}
stopMotor();
delay(100);
pause();
for (inti=1 ; i<=spin2 ; i++){//2//
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
step5();
step6();
step7();
step8();
}
stopMotor();
pause();
for(int count=0 ; count<Soaktime ; count++){
delay(1000);
}
for (inti=1 ; i<=spin2 ; i++){
step8();
step7();
step6();
step5();
}
stopMotor();
pause();
for(int count=0 ; count<Drytime ; count++){
delay(1000);
}
for (inti=1 ; i<=160 ; i++){
step1();
step2();
step3();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
step4();
}
stopMotor();
delay(100);
pause();
for (inti=1 ; i<=spin2 ; i++){//3//
step5();
step6();
step7();
step8();
}
stopMotor();
pause();
for(int count=0 ; count<Soaktime ; count++){
delay(1000);
}
for (inti=1 ; i<=spin2 ; i++){
step8();
step7();
step6();
step5();
}
stopMotor();
pause();
for(int count=0 ; count<Drytimefix ; count++){
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay(1000);
}
for (inti=1 ; i<=160 ; i++){
step1();
step2();
step3();
step4();
}
stopMotor();
delay(100);
pause();
for (inti=1 ; i<=spin2 ; i++){//4//
step5();
step6();
step7();
step8();
}
stopMotor();
pause();
for(int count=0 ; count<Soaktime ; count++){
delay(1000);
}
for (inti=1 ; i<=spin2 ; i++){
step8();
step7();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
step6();
step5();
}
stopMotor();
pause();
for(int count=0 ; count<Drytime ; count++){
delay(1000);
}
for (inti=1 ; i<=800 ; i++){
step1();
step2();
step3();
step4();
}
stopMotor();
delay(100);
pause();
Serial.print("Loops : ");
Serial.print(j);
Serial.print("/");
Serial.println(Loops);
}
}
//////////////////////////// Full Loops ////////////////////////////
if(Mode==1){
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
intTimeFullLoopsHr =
((2*((2*4*4*625*0.002)+((4*Soaktime)+(2*Drytime)+1.05))+(8*4*160*0.002))*Loops)/360
0;

intTimeFullLoopsMin =
((((2*((2*4*4*625*0.002)+((4*Soaktime)+(2*Drytime)+1.05))+(8*4*160*0.002))*Loops)/36
00)-TimeFullLoopsHr)*60;

Serial.print("Duration of process : ");

Serial.print(TimeFullLoopsHr);

Serial.print("h");

Serial.print(" ");

Serial.print(TimeFullLoopsMin);

Serial.println("m");

for (int j=1 ; j<=Loops ; j++){

for (inti=1 ; i<=4 ; i++){

for (inti=1 ; i<=spin2 ; i++){

step5();

step6();

step7();

step8();

}

stopMotor();

pause();

for(int count=0 ; count<Soaktime ; count++){

delay(1000);

}

pause();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for (inti=1 ; i<=spin2 ; i++){
step8();
step7();
step6();
step5();
}
stopMotor();
pause();
for(int count=0 ; count<Drytimefix ; count++){
delay(1000);
}
for (inti=1 ; i<=160 ; i++){
step1();
step2();
step3();
step4();
}
stopMotor();
delay(100);
pause();
for (inti=1 ; i<=spin2 ; i++){
step5();
step6();
step7();
step8();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
stopMotor();
pause();
for(int count=0 ; count<Soaktime ; count++){
delay(1000);
}
for (inti=1 ; i<=spin2 ; i++){
step8();
step7();
step6();
step5();
}
stopMotor();
pause();
for(int count=0 ; count<Drytime ; count++){
delay(1000);
}
for (inti=1 ; i<=160 ; i++){
step1();
step2();
step3();
step4();
}
stopMotor();
delay(100);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pause();
}
Serial.print("Loops : ");
Serial.print(j);
Serial.print("/");
Serial.println(Loops);
}
}
pause();
Serial.println("----------------------------------------");
Serial.println("");
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้