

การพัฒนาเครื่องจุ่มสารสำหรับฟิล์มบาง CdS  
DEVELOPMENT OF DIPPING MACHINE FOR CdS THIN  
FILMS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

การพัฒนาเครื่องจุ่มสารสำหรับฟิล์มบาง CdS  
DEVELOPMENT OF DIPPING MACHINE FOR CdS THIN  
FILMS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DEVELOPMENT OF DIPPING MACHINE FOR CdS THIN FILMS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)  
DEPARTMENT OF PHYSICS FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2017





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ      การพัฒนาเครื่องจุ่มสารสำหรับฟิล์มบาง CdS  
 Development of Dipping Machine for CdS Thin Films

ชื่อนักศึกษา                    นางสาวยุพาพร ทำทา                    รหัสนักศึกษา 57051018  
    นายวสุพล ยังวิริยะกุล                รหัสนักศึกษา 57051026  
    นายวัชรพงษ์ การะเกษ                รหัสนักศึกษา 57051027

ปริญญา                            วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)  
 ภาควิชา                            ฟิสิกส์  
 ปีการศึกษา                        2560  
 อาจารย์ที่ปรึกษา                ดร. วิฑูรย์ ยินดีสุข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)  
 ประจำปีการศึกษา 2560

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

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาเครื่องจุ่มสารสำหรับฟิล์มบาง CdS
ชื่อนักศึกษา	นางสาวยุพาพร ทำทา รหัสนักศึกษา 57051018 นายวสุพล ยังวิริยะกุล รหัสนักศึกษา 57051026 นายวัชรพงษ์ การเกษ รหัสนักศึกษา 57051027
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. วิชญ์ ยินดีสุข

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษเล่มนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติสำหรับฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ด้วยเทคนิควิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซึมและทำปฏิกิริยาเคมี Successive layer adsorption and reaction (SILAR) method ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากกว่าเดิมพร้อมทั้งสังเคราะห์ฟิล์มบาง CdS ด้วยเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติที่พัฒนาแล้วนำฟิล์มที่ได้ไปคุณสมบัติทางแสงซึ่งสังเคราะห์โดยกำหนดเงื่อนไขความเข้มข้นของ Mn ที่ค่าต่างๆซึ่งจากการทดลองทำให้ได้ฟิล์มบาง CdS ออกมาโดยทำให้ทราบว่าสัดส่วนความเข้มข้นของ Mn มีผลต่อความสามารถในการดูดกลืนแสงได้มากที่สุดเมื่อมีเปอร์เซ็นต์โมล Mn มากที่สุดแต่อย่างไรก็ดีผลที่ได้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากฟิล์มที่ได้จากเครื่องยังมีพื้นผิวไม่เรียบเท่าที่ควรจึงทำให้ผลจากการตรวจสอบผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	DEVELOPMENT OF DIPPING MACHINE FOR CdS THIN FILMS	
Students	Miss YUPAPORN TUMTA	Student ID 57051018
	Mr. WASUPHOL YANGWIRIYAKUL	Student ID 57051026
	Mr. WATCHARAPONG KARAKET	Student ID 57051027
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2017	
Advisor	Dr.Witoon Yindeesuk	

### Abstract

This special project aimed to development of dipping machine for CdS thin films and synthesize cadmium sulfide (CdS) thin films on glass slides using the successive ion layer adsorption and reaction (SILAR) method. We studied the optical properties of PbS thin films by changing percent mol of Mn. The results of this experiment show that different conditions have a big influence on the absorbance of the films. When the percent mol of Mn of the solution are 20%, film absorbance tend to become higher.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างสูงจาก ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข ที่ให้ทั้งความรู้ คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไขผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการคุมสอบโครงการพิเศษทั้งสามท่านได้แก่ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ดร.ประธาน บุณศิริ และอาจารย์สุรชาติ กมลดิกล ที่สละเวลาอันมีค่าเข้ารับฟังการนำเสนองานวิจัย อีกทั้งยังให้คำปรึกษา คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษเล่มนี้

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นสถานที่ที่มอบความรู้ มิตรภาพ และทำให้ได้รู้จัก พบเจอรุ่นพี่รุ่นน้องมากมาย ที่มีความรู้ความสามารถ

ขอขอบคุณที่ปริญญานิเทศศาสตร์ หอพักโครงการพิเศษ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษาตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณรุ่นพี่ทั้งสามคนเป็นอย่างมากที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาในทุกๆ เรื่อง

ขอขอบคุณบุคคลต่างๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวถึงได้หมดในที่นี้ หากมีโอกาสนี้ผู้วิจัยจะสามารถตอบแทนบุญคุณและสร้างประโยชน์ให้กับสถาบันได้ ผู้วิจัยก็พร้อมและเต็มใจที่จะทำอย่างสุดความสามารถ

ขอขอบคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูอบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจึงขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ในโอกาสนี้

ยุพาพร ทำทา

วสุพล ยังวิริยะกุล

วัชรพงษ์ การะเกษ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อและสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา	3
2.1.1 หลักการของการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา	3
2.1.2 ข้อดีของการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา	4
2.1.3 ข้อเสียของการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา	4
2.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper motor)	4
2.2.1 ประเภทของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	4
2.2.2 แบ่งตามตัวขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ Unipolar และ Bipolar	5
2.2.2.1 แบ่งตามโครงสร้าง Rotor และ Stator	5
2.2.3 แบ่งตามจำนวนสายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	6
2.3 โปรแกรม ARDUINO	8
2.3.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino	10
2.3.1.1 Arduino Uno R3	10
2.4 โปรแกรม SolidWorks	13
2.4.1 ประสิทธิภาพการทำงาน	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ลักษณะการทำงาน	13
2.4.2.1 Part Mode	13
2.4.2.2 Assembly Mode	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	15
3.1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย	15
3.2 การออกแบบการทดลอง (design of experiment)	15
3.3 การออกแบบโครงสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัติ	16
3.4 อุปกรณ์ในการทดลอง	18
3.5 การออกแบบวงจรและโปรแกรมคำสั่ง	22
3.6 ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องมือวิเคราะห์	27
3.7 กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ CdS	28
3.8 การวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มบาง CdS	29
3.9 การวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของฟิล์มบาง CdS	31
บทที่ 4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	32
4.1 วิธีการใช้เครื่องจุ่มสารสำหรับฟิล์มบาง CdS	32
4.2 ความแตกต่างระหว่างเครื่องมือก่อนและหลังการนำไปพัฒนา	36
4.3 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบาง CdS	38
4.4 วิเคราะห์องค์ประกอบของฟิล์มบาง CdS	39
4.5 วิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง CdS	40
4.6 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบาง CdS ระหว่างเครื่อง จุ่มสารอัตโนมัติกับแบบใช้มือ	40
4.7 วิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง CdS ระหว่างเครื่อง จุ่มอัตโนมัติกับแบบใช้มือ	41
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุปผลการวิจัย	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
5.3 คู่มือการใช้งาน	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงปริมาณของ $Cd(NO_3)_2$ และ $C_4H_6MnO_4$ ที่ใช้ในการผสมสารละลาย ที่ความเข้มข้นต่างๆพร้อมความเข้มข้นของสารอื่นๆ	35
3.2 แสดงปริมาณของ $Cd(NO_3)_2$ และ $C_4H_6MnO_4$ ที่ใช้ในการผสมตามสัดส่วนโมล Mn ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ	38
4.1 ตารางแสดงค่า Apparent Concentration ของเครื่อง SEM ที่สารตั้งต้นค่าต่างๆ	39
4.2 ตารางแสดงค่า Wt% ของเครื่อง SEM ที่สารตั้งต้นค่าต่างๆ	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	3
2.2	4
2.3	5
2.4	5
2.5	6
2.6	6
2.7	7
2.8	7
2.9	8
2.10	9
2.11	9
2.12	10
2.13	11
3.1	16
3.2	17
3.3	17
3.4	17
3.5	18
3.6	18
3.7	19
3.8	19
3.9	20
3.10	20
3.11	21
3.12	21
3.13	22
3.14	22
3.15	23
3.16	23
3.17	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
3.18 Methanol สำหรับใช้ในการทดลองตามที่กำหนดไว้	24
3.19 Microscope slides สำหรับจุ่มสาร	25
3.20 เครื่องชั่งน้ำหนักสารสำหรับชั่งสาร $Cd(NO_3)_2 \cdot C_4H_6MnO_4$ และ $Na_2S$	25
3.21 ปากคีบ ซ้อนตักสารสำหรับตักสาร $Cd(NO_3)_2 \cdot C_4H_6MnO_4$ และ $Na_2S$	26
3.22 รูป Magnetic bar และ Magnetic stirrer สำหรับคนสาร	26
3.23 รูปแสดงแผนผังของโปรแกรมออกคำสั่ง	27
3.24 รูปแสดงแผนผังการต่อวงจรของเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติ	28
3.25 รูปแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์ฟิล์มบาง CdS ด้วยกระบวนการ SILAR	30
3.26 รูป sample ที่นำไปวัดในเครื่อง UV-Visible spectrophotometer	31
3.27 รูป sample เมื่อนำไปตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กลงเพื่อนำไปวัดในเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)	31
4.1 ลักษณะการต่อสายที่มีสีเดียวกันเข้ากับเครื่อง	32
4.2 แสดงการเลือก mode	33
4.3 แสดงวิธีการใส่จำนวนรอบในการทำงานที่ต้องการ	33
4.4 แสดงวิธีการกดปุ่มเพิ่ม/ลด เวลาในการจุ่ม	34
4.5 แสดงวิธีการกดปุ่มเพิ่ม/ลด เวลาในการตาก	34
4.6 ตรวจสอบค่าที่ได้เลือกไว้	35
4.7 การกดปุ่ม reset เพื่อเริ่มใช้งานเครื่องอีกครั้ง	36
4.8 รูปเสาสำหรับเลื่อนแขนจับฟิล์มขึ้น (ก) เครื่องเก่า (ข) เครื่องใหม่	37
4.9 รูปแขนจับฟิล์ม (ก) เครื่องเก่า (ข) เครื่องใหม่	37
4.10 รูประบบควบคุมเครื่อง (ก) เครื่องเก่า (ข) เครื่องใหม่	38
4.11 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สังเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขจำนวนรอบในการจุ่มเดียวกันคือ 30 รอบ โดยมีความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1% 5% 10% 15% และ 20% ตามลำดับ	38
4.12 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น UV-Visible ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิควิธี SILAR ที่มีเปอร์เซ็นต์การเจือ Mn ไม่เท่ากัน ได้แก่ Ref,0,1,5,10,15,20	40
4.13 รูปแสดงลักษณะของฟิล์มที่ปลูกด้วยวิธี SILAR โดยใช้เครื่องจุ่มอัตโนมัติ (ก) กับแบบใช้มือ (ข)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

- 4.14 รูปแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น UV-Visible ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิควิธี SILAR โดยใช้เครื่องจุ่มสารอัตโนมัติ (ก) กับแบบใช้มือ (ข) ที่มีเปอร์เซ็นต์การเจือ Mn ไม่เท่ากัน ได้แก่ Ref 0 1 5 10 15 20

41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
SILAR	Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction
CdS	แคดเมียมซัลไฟด์
Na <sub>2</sub> S	โซเดียมซัลไฟด์
Mn	แมงกานีส
SEM	Scanning Electron Microscope
Stepper motor	สเต็ปเปอร์มอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคปัจจุบันเทคโนโลยีการปลูกฟิล์มถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางเพื่อนำฟิล์มที่ได้ออกมาไปใช้งานในลักษณะต่างๆ หนึ่งในนั้นมีกระบวนการปลูกฟิล์มที่เรียกว่าวิธี Successive Ionic Layer Absorption and Reaction (SILAR) ซึ่งถูกกล่าวถึงครั้งแรกในปี ค.ศ. 1985 โดยวิธี SILAR ถูกใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันทั้งใช้ในการทำ Solar cell เพราะกระบวนการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ Substrate ที่มีคุณภาพสูงเหมือนวิธีอื่นนอกจากนี้ยังสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆจากมีผลต่อประสิทธิภาพของ Solar cell หรือ Quantum dot sensitizers ได้ง่ายนอกจากนี้วิธีการ SILAR นี้ยังมีความปลอดภัยสูงทำให้โอกาสในการเกิดอันตรายและความเสียหายนั้นมีต่ำด้วยเหตุนี้เองกระบวนการ SILAR จึงเป็นหนึ่งในวิธีการปลูกฟิล์มที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ในกระบวนการ SILAR นั้นเป็นวิธีที่ใช้หลักการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา โดยจะนำตัวอย่าง ไปจุ่มในสารละลายที่มีไอออนบวกแล้วล้างประจุส่วนเกินออก จากนั้นจุ่มตัวอย่างในสารละลายที่มีไอออนลบและล้างประจุส่วนเกินออกอีกครั้งเป็นขั้นตอนเดิมซ้ำๆโดยประสิทธิภาพที่ได้ออกมานั้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆมากมายเช่น จำนวนรอบที่ทำการจุ่ม เวลาในการจุ่ม ฯลฯ ดังนั้นหากกระบวนการเหล่านี้ถูกทำโดยมนุษย์แล้วการควบคุมปัจจัยต่างๆจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้นเราจึงคิดจะนำกระบวนการ SILAR มาพัฒนาเป็นเครื่องมือจุ่มสารอัตโนมัติเพื่อให้ความแม่นยำในการควบคุมปัจจัยต่างๆมากขึ้นทำให้อัตราการคลาดเคลื่อนในการทดลองลดลง นอกจากนี้ยังไม่ต้องให้ผู้ทำการทดลองเสียเวลาในการควบคุมตลอดเวลาอีกด้วย

ในการพัฒนาเครื่องที่ใช้ในการทำกระบวนการ SILAR แบบอัตโนมัตินั้นผู้ศึกษาเห็นว่า มีประโยชน์อย่างยิ่งนอกจากจะทำให้สะดวกสบายในการควบคุมแล้วยังลดอัตราการคลาดเคลื่อนของปัจจัยต่างๆลดลงอีกด้วยดังนั้นผู้ศึกษาจึงต้องการพัฒนาเครื่องมือนี้โดยลดการสิ้นบริเวณแขนจับตัวอย่างให้สั้นน้อยลงพร้อมทั้งเพิ่มจำนวนในการจับแผ่นฟิล์มและ การเพิ่มหน้าจอและ คีย์แพดในการป้อนคำสั่ง ทั้งจำนวนรอบ เวลาในการจุ่ม ฯลฯ รวมทั้งคำนวณเวลาที่เครื่องนี้จะใช้ในการดำเนินการทดลองออกมาเพื่อให้ผู้ทำการทดลองไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการคีย์เครื่องทำงานเสร็จโดย เครื่องมือที่ผู้ศึกษาทำนั้นจะมีราคาต่ำกว่าแบบที่ใช้ในห้องทดลองด้วยเพราะเกิดจากการนำวัสดุที่หาได้ทั่วไปมาประยุกต์และสร้างเป็นเครื่องออกมา

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ฟิล์มด้วยกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา (SILAR)
- 2) เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ของเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติให้สะดวกมากขึ้น
- 3) เพื่อศึกษาการปลูกฟิล์ม CdS ด้วยวิธี SILAR และตรวจสอบฟิล์มที่ได้จากเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ออกและสร้างเครื่องมือออกมา
- 2) สร้างโค้ด Arduino เพื่อใช้ในการเขียนโค้ดเพื่อควบคุมเครื่องมือ
- 3) ใช้เครื่องมือในการสังเคราะห์ฟิล์ม CdS ที่เกิดจากปัจจัยในการสร้างต่างกัน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

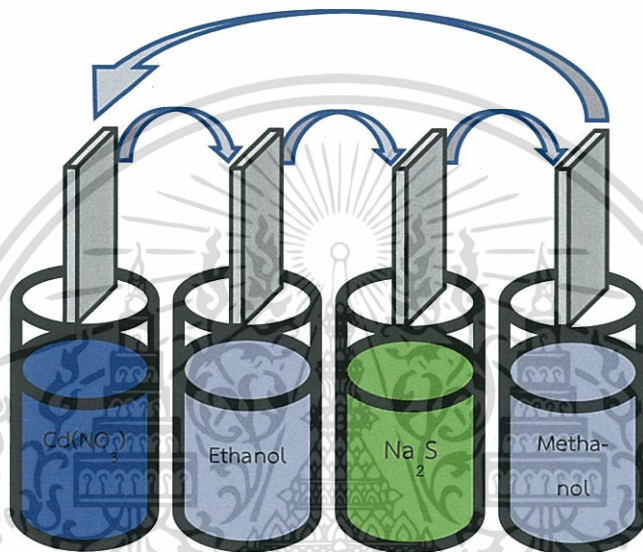
- 1) พัฒนาเครื่องจุ่มสารด้วยวิธี SILAR ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น
- 2) สามารถพัฒนาส่วนของซอฟต์แวร์ให้สามารถใช้งานง่ายขึ้น
- 3) สามารถสังเคราะห์ฟิล์มบาง CdS ด้วยวิธีการ SILAR

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา (SILAR) [1]

วิธีการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา (SILAR) คือการจุ่มสารละลายที่มีไอออนบวกและสารละลายที่มีไอออนลบที่สอดคล้องกันทำให้เกิดชั้นของไอออนเคลือบอยู่บนพื้นผิวของฟิล์ม ซึ่งจะทำให้ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ



รูปที่ 2.1 รูปแสดงขั้นตอนการดำเนินการของวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา

#### 2.1.1 หลักการของการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา

1. นำแผ่นฟิล์มที่เตรียมมาไปจุ่มลงในสารละลาย  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  เพื่อให้สารละลายที่เตรียมมาถูกดูดซับไว้ที่พื้นผิวของแผ่นฟิล์ม
2. นำแผ่นฟิล์มที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ไปล้างในน้ำ Ethanol
3. นำแผ่นฟิล์มจากขั้นที่ 2 ไปจุ่มลงในสารละลาย  $\text{Na}_2\text{S}$  เพื่อให้แผ่นฟิล์มดูดซับไว้ทำปฏิกิริยากับเหล่านี้นบนพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม
4. นำแผ่นฟิล์มที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ไปจุ่มใน Methanol
5. ทำทั้ง 4 กระบวนการนี้ซ้ำไปเรื่อยๆ โดยจำนวนครั้งของการทำซ้ำจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 ข้อดีของการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา

1. สามารถควบคุมความหนาของฟิล์มที่เราต้องการ
2. มีต้นทุนในการทำไม่สูงมาก

### 2.1.3 ข้อเสียของการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา

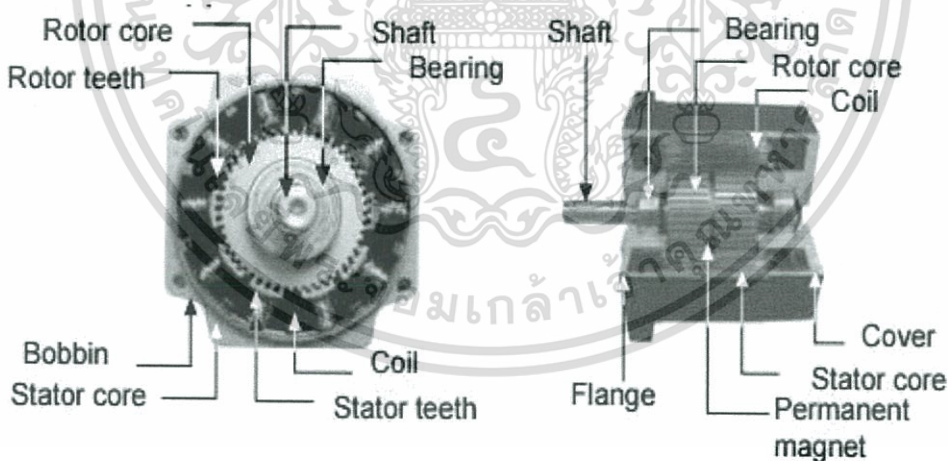
1. อาจใช้เวลานานในการเคลือบฟิล์มให้ได้คุณสมบัติตามที่เรากำหนดต้องการ
2. เนื่องจากกระบวนการในการทำอาจจะนานจึงอาจทำให้เกิดความผิดพลาดระหว่างการทดลองได้ถ้ามนุษย์เป็นผู้ทำการทดลอง

## 2.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper motor) [1,2]

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ คือ มอเตอร์ที่มีการหมุนขับเคลื่อนเป็น Step แต่ละ Step จะหมุน 1.8 2.4 องศา ขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวมอเตอร์ โดยการหมุนและหยุดเป็นมุมตามที่กำหนดด้วยวงจรควบคุม ทำให้มีความถูกต้องแม่นยำสูงในการหมุน ลักษณะการขับเคลื่อน จะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา

### 2.2.1 หลักการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

Stepper Motor เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ โดยโครงสร้างภายในนั้นจะประกอบไปด้วยขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ (Stator) ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวน จะมีขั้วยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้นๆ โดยแต่ละขั้วที่ยื่นออกมานั้นจะมีขดลวด (คอยล์) พันอยู่ เมื่อมีกระแสผ่านคอยล์ จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น



รูปที่ 2.2 ภาพโครงสร้าง Stepping Motor

ในการทำงานของ Stepper Motor นั้นจะไม่สามารถขับเคลื่อนหรือทำงานเองได้ จำเป็นต้องมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณหรือจ่ายพัลส์ไปให้วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor Drive) การสร้างสัญญาณนั้นจะต้องสร้างและเรียงลำดับของสัญญาณด้วยและอีกสิ่งที่สำคัญคือการดูตำแหน่งของสายที่ทำการต่อเข้ากับตัวสเต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แผงผังการทำงานของ Stepper Motor

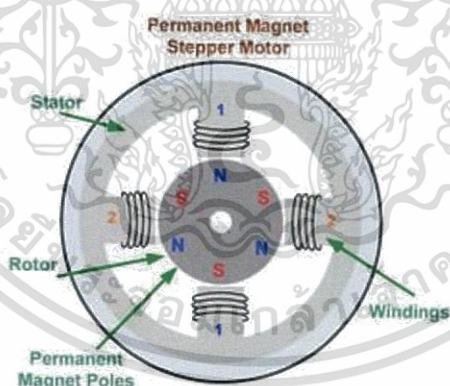
## 2.2.2 ประเภทของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์มีหลากหลายชนิดมาก จึงมีการแบ่งได้หลายรูปแบบ

### 2.2.2.1 แบ่งตามโครงสร้าง Rotor และ Stator

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ Rotor (ส่วนที่หมุนได้) และ Stator (ส่วนที่อยู่กับที่) Stator จะประกอบด้วยขดลวดหลายขด ส่วน Rotor จะเป็นแม่เหล็กถาวร หรือ อื่นๆซึ่งมีอยู่หลายแบบ เช่น

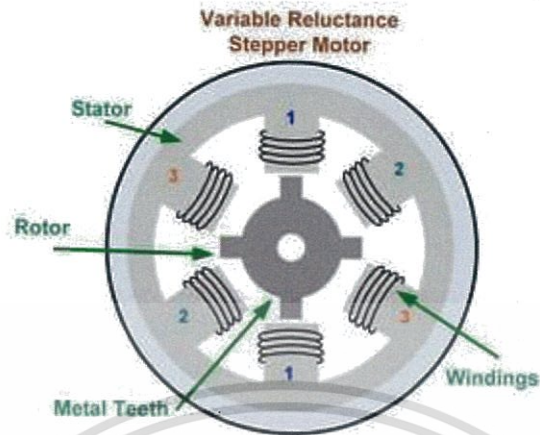
1. สเต็ปเปอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet หรือ PM) สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ PM จะมีสเตเตอร์ (Stator) ที่พันขดลวดไว้หลายๆ โพล โดยมีโรเตอร์ (Rotor) เป็นรูปทรง กระจบอกฟัน เลี้ยว และโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร เพื่อป้อนไฟกระแสตรง ให้กับขดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดแรง แม่เหล็กไฟฟ้าผลักต่อโรเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนมอเตอร์แบบ PM จะเกิดแรงดูดยึดให้โรเตอร์หยุดอยู่กับที่ แม่เหล็กไม่ได้ป้อนไฟเข้าขดลวด



รูปที่ 2.4 Permanent magnet stepper

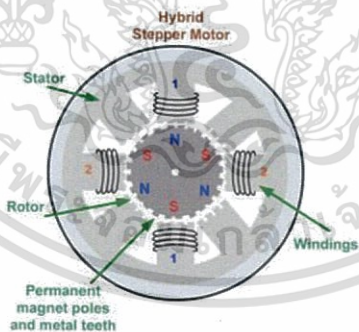
2. สเต็ปเปอร์แบบรีลักแตนซ์ปรับค่าได้ (Variable Reluctance หรือ VR) สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ VR จะมีการหมุนโรเตอร์ได้อย่างอิสระ แม่เหล็กไม่ได้จ่ายไฟให้โรเตอร์ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติก กำลังอ่อน มีลักษณะเป็นฟันเลี้ยว รูปทรงกระจบอกโดยจะมีความสัมพันธ์ โดยตรงกับจำนวนโพลในสเตเตอร์ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะไปหมุนโรเตอร์ ไปในเส้นทางของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่จะเกิดแน่นอนและมีเสถียรภาพแต่จะเกิดขึ้นได้หลายๆ จุดดังนั้นเมื่อป้อนไฟเข้าขดลวดต่างๆ ใน

มอเตอร์แตกต่างกันไป ก็ทำให้มอเตอร์ หมุนไปตำแหน่งต่างๆ กันโรเตอร์ของ VR จะมีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อยจึงมีความเร็วรอบสูงกว่ามอเตอร์แบบ PM



รูปที่ 2.5 Variable reluctance stepper

3. สเต็ปเปอร์แบบผสม (Hybrid หรือ H) สเต็ปเปอร์แบบ H จะเป็นลูกผสมของ VR กับ PM โดยจะมีสเตเตอร์คล้ายกับที่ใช้ใน VR โรเตอร์มีหมวกหุ้ม ปลายซึ่งมีลักษณะของสารแม่เหล็กที่มีกำลังสูง โดยการควบคุมขนาดรูปร่างของหมวกแม่เหล็กอย่างดีทำให้ได้มุม การหมุนและครั้งน้อย และแม่นยำ ข้อดีก็คือ ให้แรงบิดสูงและมีขนาดกระทัดรัด และให้แรงจลน์โรเตอร์นิ่งกับที่ตอนไม่จ่ายไฟ



รูปที่ 2.6 Hybrid synchronous stepper

### 2.2.3 แบ่งตามตัวขับมอเตอร์ (Drivers) Unipolar และ Bipolar

#### 1. Unipolar drivers

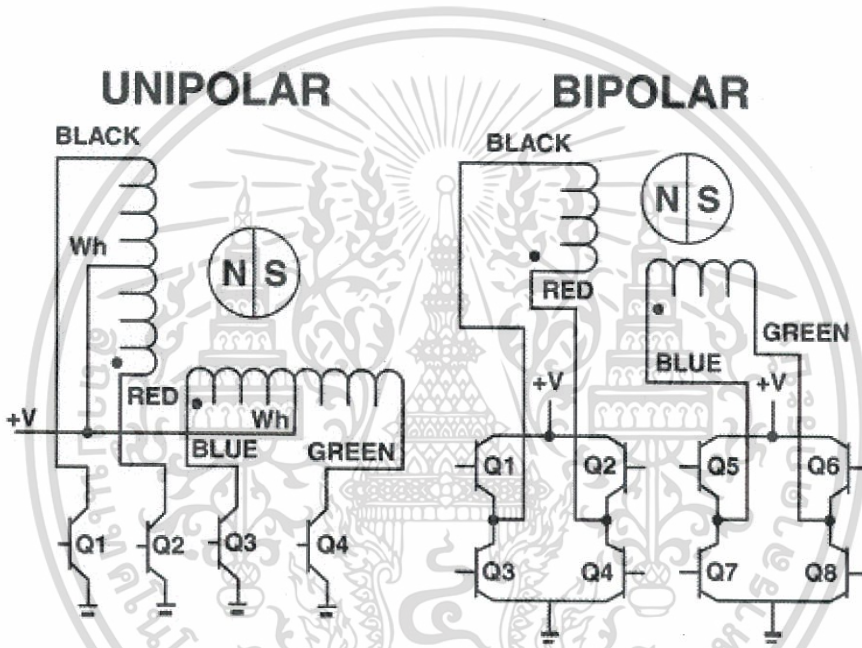
มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 2.7 มีด้วยกัน 2 แบบคือ แบบ 5 และ 6 สาย บางครั้งเรียกสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ว่า เป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ 4 เฟส การขับจะต้องป้อนสัญญาณเข้าที่ขั้วหรือเฟสของมอเตอร์ให้เรียงลำดับอย่างถูกต้อง มอเตอร์จึงจะสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนได้อย่างราบรื่นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวจะมี 4 เฟสคือ เฟส 1, 2, 3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สายและ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 5 สายจะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว

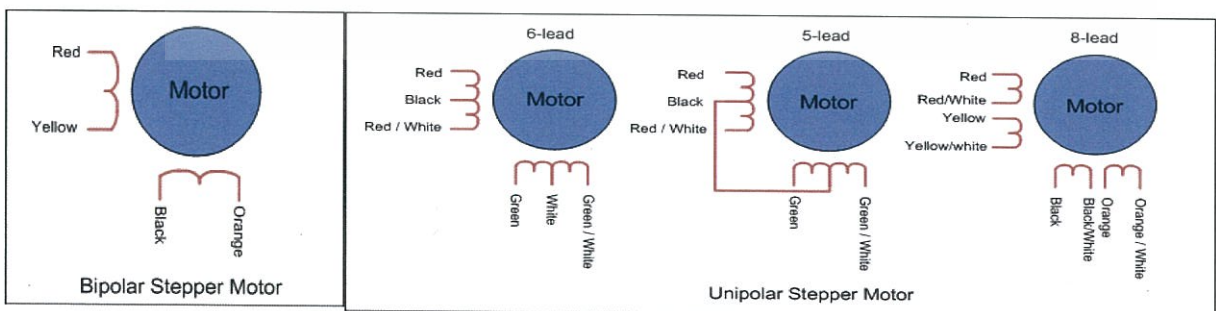
2. Bipolar drivers

มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 ขดที่ไม่มีแท่งกลาง ทำให้บางครั้งจึงเรียกลักษณะสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ว่า เป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ 2 เฟส การขับให้มอเตอร์แบบนี้หมุนจะต้องป้อนแรงดันต่างขั้วกันให้แก่ขดลวดแต่ละขดทำให้วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ค่อนข้างซับซ้อน



รูปที่ 2.7 รูปแบบวงจร Unipolar drivers และ Bipolar drivers

2.2.4 แบ่งตามจำนวนสายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์



รูปที่ 2.8 รูปแบบการเดินสายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-wire มีสายสี่เส้น ใช้ได้กับ Bipolar drivers เท่านั้น

5-wire โดยทั่วไปจะเป็นมอเตอร์ขนาดเล็กใช้กับ Unipolar drivers เท่านั้น เนื่องจาก  
ขดลวดในมอเตอร์นั้นจะต่อถึงกันหมด

6-wire มอเตอร์ชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้ง Unipolar drivers และ Bipolar drivers  
ต่อแบบ Unipolar drivers โดยการต่อสาย Common เข้าด้วยกันจะทำงาน  
เหมือน 5-wire

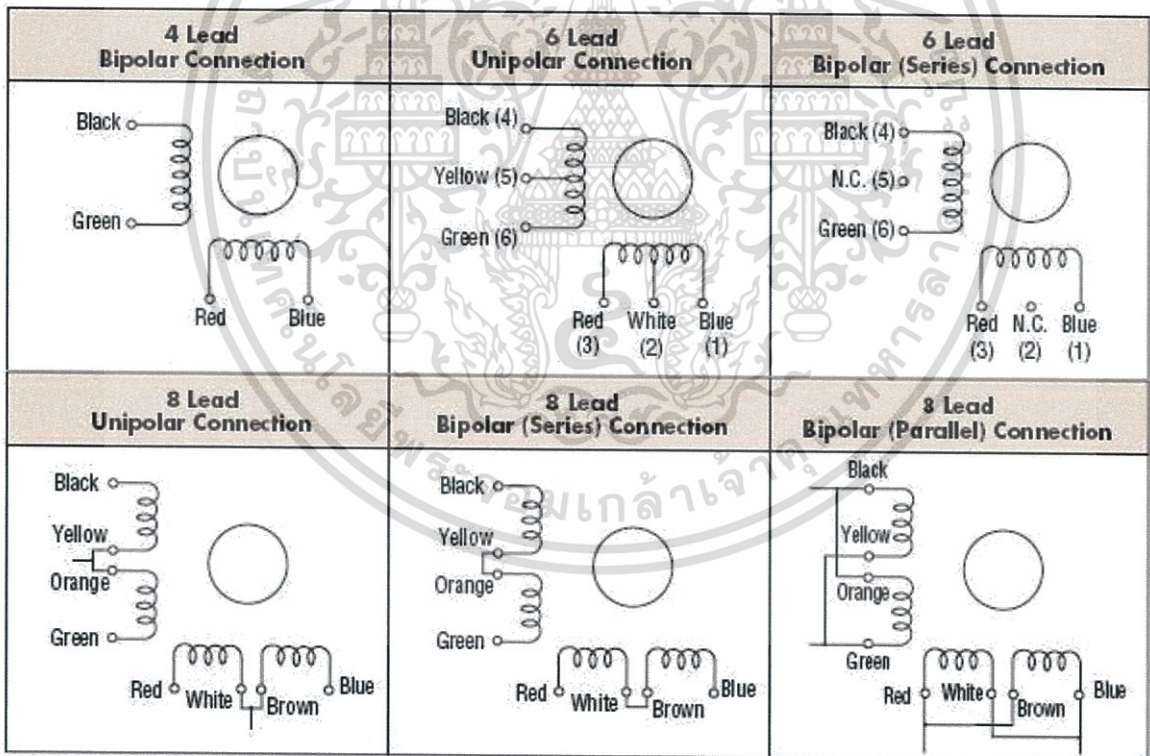
ต่อแบบ Bipolar drivers โดยการปล่อยสาย Common ไว้และใช้งานแบบ  
เดียวกับ 4-wire

8-wire มอเตอร์ชนิดนี้เป็นมอเตอร์ที่มีการเลือกใช้ได้หลากหลาย ใช้ได้ทั้ง Unipolar  
และ Bipolar

ต่อแบบ 4-phase unipolar นำสาย Common มาต่อกันเหมือน 5-wire

ต่อแบบ 2-phase series bipolar ต่อสายเหมือนกับ 6-wire

ต่อแบบ 2-phase parallel bipolar ทำการต่อสายให้ขดลวดแต่ละเฟสขนาน  
กัน



รูปที่ 2.9 การต่อสายแบบ Unipolar หรือ Bipolar ตามลักษณะของสายมอเตอร์

## 2.3 โปรแกรม ARDUINO [3]

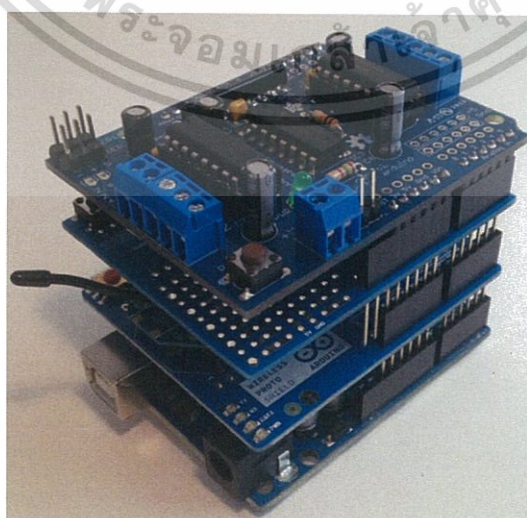
Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดแบบสำเร็จรูปในยุคปัจจุบัน ซึ่งถูกสร้างมาจาก Controller ตระกูล ARM ของ ATMEL ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดคือเรื่องของ Open เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เชิงพาณิชย์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่างๆได้ และความสามารถในการเพิ่ม Boot Loader เข้าไปที่ตัว ARM จึงทำให้การ Upload Code เข้าตัวบอร์ดสามารถทำได้ง่ายขึ้น และยังมีการพัฒนา Software ที่ใช้ในการควบคุมตัวบอร์ดของ Arduino มีลักษณะเป็นภาษา C++ ที่โปรแกรมเมอร์มีความคุ้นเคยในการใช้งาน ตัวบอร์ดสามารถนำโมดูลมาต่อเพิ่ม ซึ่งทาง Arduino เรียกว่าเป็น shield เพื่อเพิ่มความสามารถเพิ่มขึ้น

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับบอร์ด Arduino จะต้องเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาของ Arduino (Arduino Programming Language) ซึ่งตัวภาษาของ Arduino ก็นำเอาโอเพ่นซอร์สโปรเจกต์ชื่อ Wiring มาพัฒนาต่อ ภาษาของ Arduino แบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลักคือโครงสร้างภาษา (Structure) ตัวแปร ค่าคงที่และฟังก์ชัน (Function) ภาษาของ Arduino จะอ้างอิงตามภาษา C/C++ จึงอาจกล่าวได้ว่าการเขียนโปรแกรมสำหรับ Arduino (ซึ่งก็รวมถึงบอร์ด Arduino) ก็คือการเขียนโปรแกรมภาษา C โดยเรียกใช้ฟังก์ชันและไลบรารีที่ทาง Arduino ได้เตรียมไว้ให้แล้ว



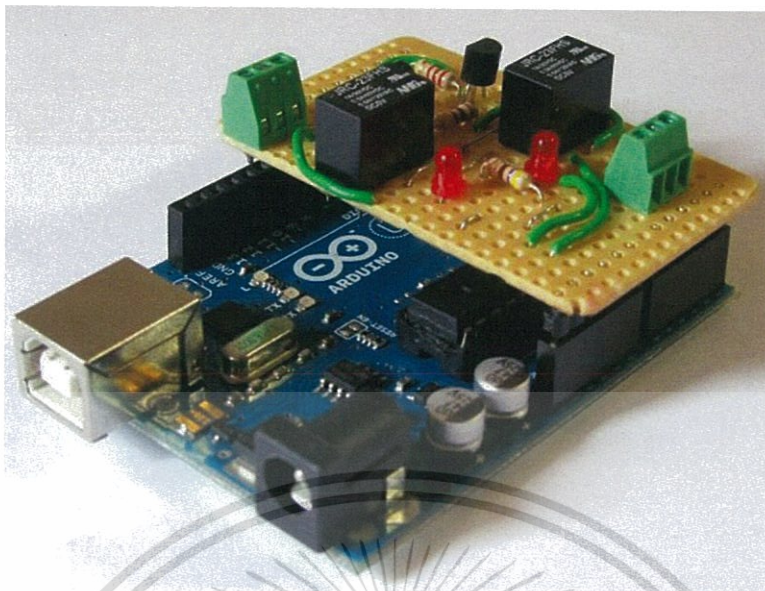
รูปที่ 2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการต่อใช้งาน Arduino บนบอร์ด Shield สำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือถ้าสามารถสร้างวงจรเพิ่มเติมและนำมาประกอบเป็น Shield ให้กับ Arduino ก็ได้



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการต่อใช้งาน Arduino บนบอร์ด Shield ที่สร้างขึ้นเอง

### 2.3.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino [4]

Arduino เป็นการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ในรูปแบบ Open Source คือวิธีการในการออกแบบ พัฒนา และแจกจ่ายสำหรับต้นฉบับของสินค้าหรือความรู้ โดยเฉพาะซอฟต์แวร์ โดยโอเพนซอร์ซถูกพิจารณาว่าเป็นทั้งรูปแบบหนึ่งในการออกแบบ และแผนการในการดำเนินการ โอเพนซอร์ซเปิดโอกาสให้บุคคลอื่นนำเอาระบบนั้นไปพัฒนาได้ต่อไป การพัฒนามาจากโครงการ Open Source เดิมของ AVR ที่ชื่อ Wiring โดยโครงการ Wiring ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATmega128 ซึ่งมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่นเป็นชิปที่มีตัวถังแบบ SMD ทำให้นำมาใช้งานยากเพราะตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดเล็กเกินไป ทำให้ไม่สะดวกในการต่อใช้งานจริง มีขาอินพุตและเอาต์พุตจำนวนมากเกินไป ตัวบอร์ดมีขนาดใหญ่เกินไป ไม่เหมาะสมสำหรับผู้เริ่มต้นเรียนรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ไม่ได้รับความนิยม ระยะเวลาที่ทีมงาน Arduino จึงได้นำโครงการ Wiring มาพัฒนาใหม่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ขนาดเล็ก คือ ATmega8 และ ATmega168 ทำให้ได้รับความนิยมจนถึงปัจจุบันนี้ ตัวอย่างรายละเอียดรุ่นต่างๆมีดังนี้

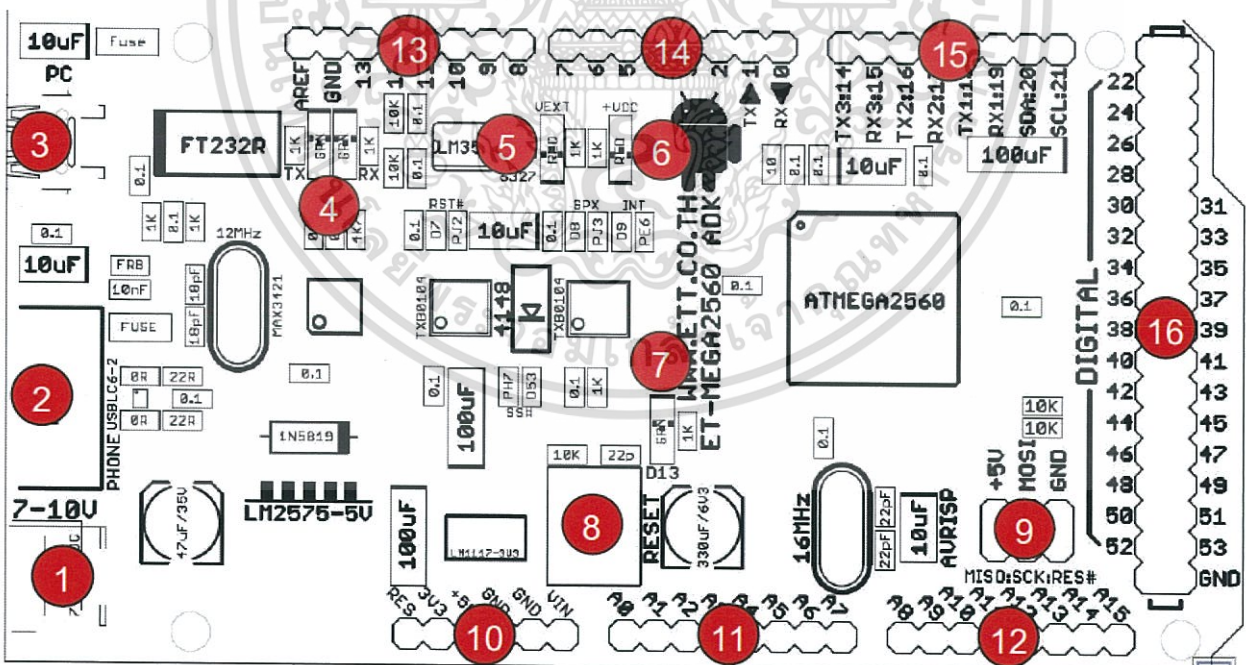
#### 2.3.1.1 Arduino Mega 2560 [5]

Arduino Mega 2560 บอร์ดรุ่นใหม่ใหญ่ในของตระกูล Arduino มีคุณสมบัติต่างๆเพิ่มขึ้นจาก Arduino Uno R3 ใช้ชิพ ATmega2560 ที่มีหน่วยความจำแฟลช 256 KB แรม 8 KB ใช้ไฟเลี้ยง 7 ถึง 12 V แรงดันของระบบอยู่ที่ 5 V มี Digital Input / Output มากถึง 54 ขา (เป็น PWM ได้ 14 ขา) มี Analog Input 16 ขา Serial UART 4 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด เขียนโปรแกรมบน Arduino IDE และโปรแกรมผ่าน USB เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจเริ่มต้นเรียนรู้การพัฒนาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องการบอร์ด Arduino ที่มีหน่วยความจำและขาสัญญาณต่างๆ ให้ต่อใช้งานมากขึ้น

### Technical Specifications

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output , 4 UART TTL)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz



รูปที่ 2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลขต่างๆ ตามรูปที่ 2.13 มีความหมายดังนี้

หมายเลข 1 คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจากภายนอก สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายทั้งแบบ AC และ DC พร้อมวงจร Bridge Rectifier และ Regulate แบบ Switching ช่วยลดความร้อนของ ICRegulate เมื่อมีการดึงกระแสมากๆได้เป็นอย่างดี สามารถใช้กับแรงดัน Input 7-12V

หมายเลข 2 เป็นขั้วต่อ USB Host สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ USB Device ต่างๆ

หมายเลข 3 เป็นขั้วต่อ USB Device สำหรับติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC โดยใช้ FT232RL เป็น USB Bridge ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ PC และ MCU ในบอร์ด และยังสามารถใช้ไฟจาก พอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายให้กับบอร์ดได้ด้วย โดยจะมี Poly Fuse ขนาด 500mA สำหรับป้องกันการดึงกระแสเกินจากพอร์ต USB ด้วย และที่พิเศษคือมี วงจรสำหรับตรวจสอบแหล่งจ่ายเพื่อสลับการใช้งานแหล่งจ่ายจาก USB ไปเป็น External Supply ได้เอง โดยอัตโนมัติ โดยเมื่อไม่ได้ต่อ External Supply บอร์ดจะใช้ไฟจากพอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายในการทำงาน แต่เมื่อมีการต่อ External Supply วงจรจะสลับไปใช้แหล่งจ่ายจาก External Supply เองโดยอัตโนมัติ

LED +VCC ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟให้กับบอร์ด

LED VEXT ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟจาก External Supply

หมายเลข 4 เป็น LED VEXT ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟเลี้ยงจาก External Supply

หมายเลข 5 เป็น LED +VCC ใช้แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง (+VCC) ของบอร์ด โดยเมื่อ บอร์ดใช้แหล่งจ่ายจาก External Supply จะแสดงสถานะโดยการให้ LED VEXT และ LED +VCC ติดสว่างพร้อมกันทั้งคู่ แต่ถ้าบอร์ดใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB จะแสดงสถานะโดยการให้ LED +VCC ติดสว่างเพียงดวงเดียว

หมายเลข 6 เป็น LED แสดงสถานะของ RX และ TX ใช้สำหรับแสดงการรับส่งข้อมูลระหว่าง บอร์ด ET-MEGA2560-ADK กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB

หมายเลข 7 เป็น LED D13 ใช้สำหรับทดสอบการทำงานของ Bootloader และ ใช้ทดสอบการทำงาน ของบอร์ดจากการควบคุมของ Pin Digital-13 ทำงานด้วย Logic “1” และ หยุดทำงานด้วย Logic “0”

หมายเลข 8 เป็นสวิทช์ Reset ใช้สำหรับสั่ง Reset การทำงานของบอร์ด

หมายเลข 9 เป็นขั้วต่อ AVRISP ใช้สำหรับโปรแกรม Bootloader ให้กับ MCU

หมายเลข 10 เป็นขั้วต่อ Power

หมายเลข 11,12 เป็นขั้วต่อสัญญาณ Analog A[0..7] และ Analog A[8..15] ตามลำดับ

หมายเลข 13,14,15 เป็นขั้วต่อสัญญาณ Digital D[0..7] D[8..13] และ D[14..21]

หมายเลข 16 เป็นขั้วต่อสัญญาณ Digital D[22..53]

## 2.4 โปรแกรม SolidWorks

SolidWorks พัฒนาขึ้นในปี 1995 โดยบริษัท Dassault System ในฝรั่งเศสเป็นซอฟต์แวร์เพื่อให้ทันกับรูปแบบใช้ เป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อสร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำลองใน Computer ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยตัวซอฟต์แวร์จะจัดอยู่ในตระกูล CAD (Computer Aided Design) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานจำลองในรูปแบบ 3D Solid Models เป็นแบบงานแยกชิ้น (Part) และแบบงานประกอบ (Assembly) เพื่อนำไปสร้างเป็น 2D Standard Engineering (CADD = Computer Aided Design and Drafting)

โปรแกรม Solidwork เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงมาก คือ สามารถที่จะทำงานมากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานที่ต้องขึ้นเป็น solid หรือ surface ก็มีเครื่องที่รองรับเป็นอย่างดี เมื่อสร้างชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้วสามารถที่จะประกอบชิ้นงานได้ใน Mode ของชุดคำสั่ง Assembly รวมทั้งผู้ต้องการ Drawing ของชิ้นงาน ก็เพียงลากชิ้นงานมาวางในใบงานแล้วขนาด จะมองเห็นได้ว่าผู้ใช้งาน สามารถ ที่จะประหยัดเวลาในการทำงานและสนุกกับการทำงานอีกด้วย

### 2.4.1 ประสิทธิภาพการทำงาน

ประสิทธิภาพของ SolidWorks เป็นการเจาะลึกให้นักออกแบบสามารถสร้างชิ้นงานจำลองทางด้าน Mechanical Engineering Design ได้อย่างสมบูรณ์แบบ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรม และการตรวจสอบความผิดพลาดของ 3D Solid Models เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และลดระยะเวลาการทำงานในการออกแบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในบริษัทและองค์กร

### 2.4.2 ลักษณะการทำงาน

SolidWorks แบ่งหมวดการทำงานหลักออกเป็น 3 หมวดคือ Part, Assembly และ Drawing โดยรูปแบบการทำงานทั้ง 3 หมวดมีลักษณะการใช้งานดังนี้

#### 2.4.2.1 Part Mode

Part Mode เป็นหมวดการทำงานเริ่มต้นก่อนที่จะก้าวสู่การทำงานในหมวด Assembly และ Drawing ในขั้นตอนนี้จะมีการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การใช้ 2D Sketch เพื่อนำไปสู่การสร้างเป็น 3D Feature และมีเงื่อนไขเป็น Feature-Based Modeling และ Parametric โดยมีการอ้างอิงจาก Solid Mode

1. Feature-Based Modeling Feature-Based Modeling คือ การออกแบบซอฟต์แวร์ให้สามารถทราบถึงคุณสมบัติต่างๆของ Solid Model ที่สร้างขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงและแก้ไข Model ในลำดับการทำงานแต่ละขั้นได้ง่ายและรวดเร็ว

2. Parametric Model Parametric Model คือการออกแบบซอฟต์แวร์ซึ่งใช้เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ในการแก้ไขขนาดรูปร่าง ทางเรขาคณิตของ Model ที่สร้างขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Solid Model คือแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ที่สามารถแสดงค่าต่างๆ เช่น Density, Material, Mass, Weight เป็นต้น และยังสามารถมองเห็น 3D Model ได้ทุกมุมมอง

#### 2.4.2.2 Assembly Mode

Assembly Mode เป็นหมวดการทำงานเพื่อนำ Part Model เข้าไปประกอบเป็นเครื่องจักรกลหรือกลไกต่างๆ และมีเงื่อนไขเป็น Feature Base และ Parametric เช่นเดียวกับ Part Model โดย Part Model และ Assembly จะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เมื่อทำการแก้ไขในหมวดใดอีก หรือมีการประกอบที่ซ้อนหรือทับกันหมวดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการแก้ไขไปด้วย การทำงานใน Assembly สามารถช่วยให้นักออกแบบหรือวิศวกรสามารถตรวจสอบความผิดพลาดในการสร้าง Part ได้โดยการใช้คำสั่งต่างๆ เช่น คำสั่ง Interference Detection เพื่อตรวจสอบการขัดกันเมื่อมีการเคลื่อนที่ โดยใช้คำสั่ง Move Component เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของกลไก คำสั่ง Simulation เพื่อจำลองต้นกำลังในการทำงานจริงของเครื่องจักร หรือหากชิ้นงานจำลองที่ออกแบบมีข้อผิดพลาด ก็สามารถแก้ไข Part ใน Assembly ได้เลย ทำให้การออกแบบเป็นเรื่องง่าย และผู้ออกแบบจะสนุกกับการทำงาน Design

การทำงานใน Assembly Mode มีลักษณะการทำงาน 2 กรณีได้แก่

1. Bottom-Up Assembly คือ การนำ 3D Models ต่างๆ ที่สร้างเสร็จแล้วใน Part Mode ไปวางในหน้าต่าง Assembly เพื่อทำการประกอบ โดยการใช้คำสั่ง Mate หรือ Smart Mate ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสำหรับผู้ใช้ในระดับเริ่มต้นหรือขั้น Basic

2. Top-Down Assembly คือการสร้าง 2D Sketch เป็นโครงร่างระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ระหว่าง Part หรือการสร้าง Part ใน Assembly โดยให้มีขนาดและรูปร่างที่มีการอ้างอิงกับ Part อื่น ๆ ทั้งในส่วน Sketch และ Feature วิธีนี้เหมาะกับผู้ใช้ในระดับ Advance

3. Drawing Mode เป็นหมวดการทำงานเพื่อสร้าง 2D Standard Engineering โดยในหมวดนี้เป็นการสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดตามระบบมาตรฐานต่าง ๆ โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ

1) Generative Drafting ซึ่งเป็นการสร้าง 2D Sketch และ Interaction Drafting ซึ่งเป็นการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวางใน Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting จะมีลักษณะเป็น Parametric และ Relation เช่นกัน แต่จะไม่สามารถใช้คำสั่งใน Drawing Commands ได้ เพราะคำสั่งต่าง ๆ จะต้องอ้างอิงกับ 3D Model

2) Interaction Drafting คือการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวาง Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting การทำงานในหมวดนี้สามารถใช้คำสั่งจาก Annotation Command และ Drawing Command เพื่อสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดได้โดยอัตโนมัติ

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการพัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้สำหรับกระบวนการ SILAR ด้วย CdS ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นพร้อมทั้งสร้างเงื่อนไขความเข้มข้นในการเจือ Mn ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆในการทำปฏิกิริยาเพื่อการสร้างฟิล์มบาง CdS ที่มีลักษณะต่างกันไปตรวจวัดคุณสมบัติแล้วจึงนำผลการตรวจวัดคุณสมบัติของฟิล์มไปเทียบว่าผลการทดลองที่ได้จากเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติกับการทำกระบวนการ SILAR โดยใช้มือนั้นมีความแตกต่างกันอย่างไร

### 3.1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาวิธีการสังเคราะห์ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ CdS ลงบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเทคนิควิธี SILAR และศึกษาโค้ด Arduino เพื่อใช้สำหรับป้อนคำสั่งแก่เครื่องมือวิเคราะห์ที่สร้างขึ้น
- 2) ศึกษาเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติของเก่าเพื่อหาข้อเสียที่ควรพัฒนา
- 3) ออกแบบและประกอบอุปกรณ์เสริมเพื่อพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์ให้ดีขึ้น
- 4) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติเครื่องเก่ากับเครื่องใหม่
- 5) ศึกษาการป้อนคำสั่งและควบคุมหน้าจอและ คีย์แพดด้วยบอร์ด Arduino
- 6) ทำการสังเคราะห์ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ CdS ลงบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยวิธี SILAR โดยเงื่อนไขต่างๆ
- 7) ตรวจสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ CdS ด้วยเครื่อง SEM-EDS UV-VIS
- 8) นำผลที่ได้จากการตรวจสอบมาเปรียบเทียบระหว่างเครื่องจุ่มสารแบบอัตโนมัติกับแบบใช้มือว่าผลออกมาแตกต่างกันอย่างไร

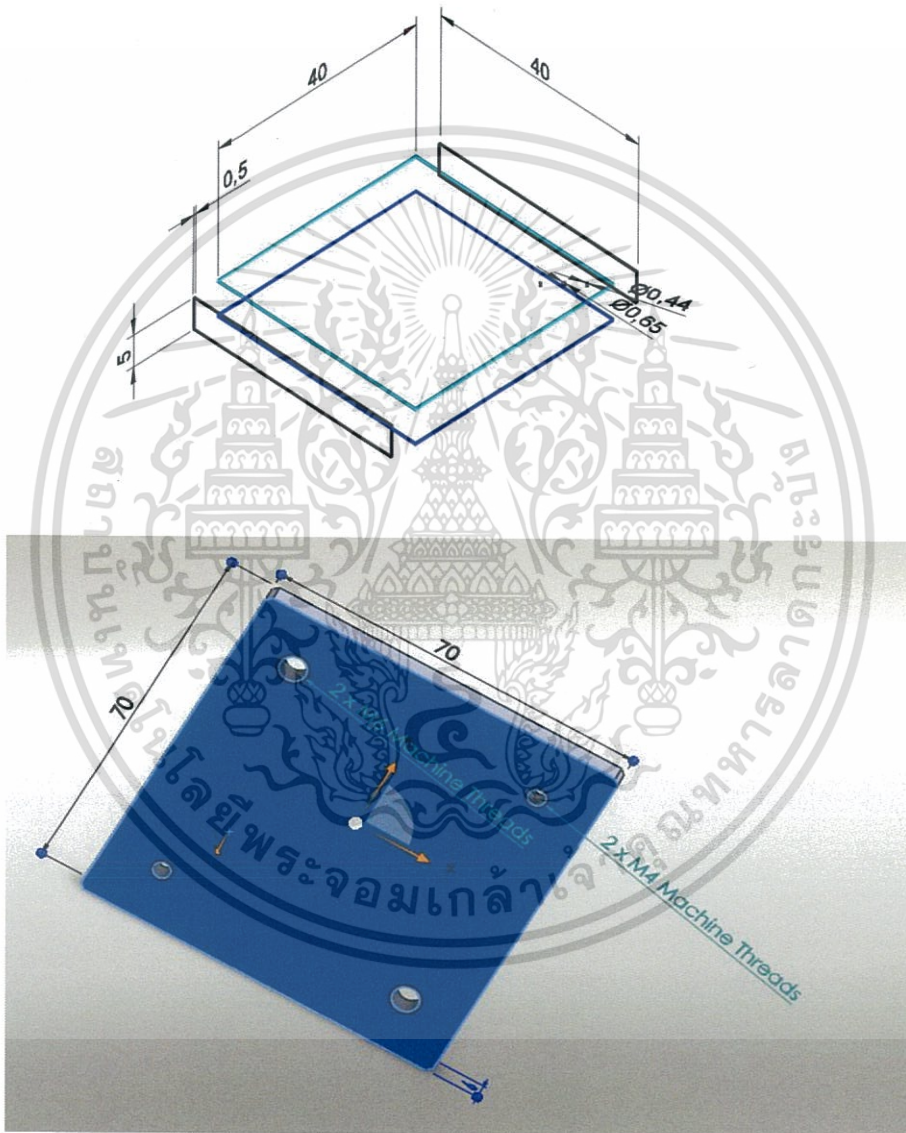
### 3.2 ศึกษาเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติของเก่าเพื่อหาข้อเสียที่ควรพัฒนา

จากการศึกษาพบว่าเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติเครื่องเก่ามีข้อเสียคือบริเวณแขนจับแผ่นฟิล์มนั้นมีการสั่นอย่างมากเวลาสารเครื่องที่ขึ้นลงเพื่อตากกับจุ่มแผ่นฟิล์มอาจเกิดปัจจัยที่มีผลเสียต่อการสังเคราะห์ฟิล์มบางได้รวมทั้งความสามารถในการสร้างฟิล์มต่ำเพราะสามารถจับแผ่นฟิล์มได้ครั้งละแผ่นเท่านั้นและ การใช้งานยังค่อนข้างยากเพราะต้องใช้งานโปรแกรม Arduino ในคอมพิวเตอร์เพื่อใช้งานเครื่องทำให้ต้องมีคอมพิวเตอร์ไว้ตลอดเมื่อต้องการใช้งานเครื่องจุ่มสารอัตโนมัตินั้นนอกจากนั้นยังทำให้ผู้ใช้คนอื่นที่ไม่มีโปรแกรมไม่สามารถใช้งานเครื่องนี้ได้

### 3.3 การออกแบบโครงสร้างเพื่อพัฒนาเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัติ

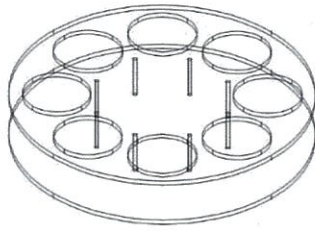
เมื่อทราบถึงขั้นตอนต้องการเบื้องต้นแล้ว ทำวาดโครงสร้างด้วยโปรแกรม AutoCAD และโปรแกรม SolidWorks แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือฐานสำหรับใส่วงจรถอนิกส์ ถาดสำหรับใส่ปิ๊กเกอร์และมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนดั้งเดิมของเครื่อง ส่วนที่สองคือส่วนที่พัฒนาขึ้นมาใหม่เพื่อให้เครื่องมือวิเคราะห์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

ส่วนแรกประกอบด้วยฐานสำหรับใส่วงจรถอนิกส์ ถาดสำหรับใส่ปิ๊กเกอร์และมอเตอร์

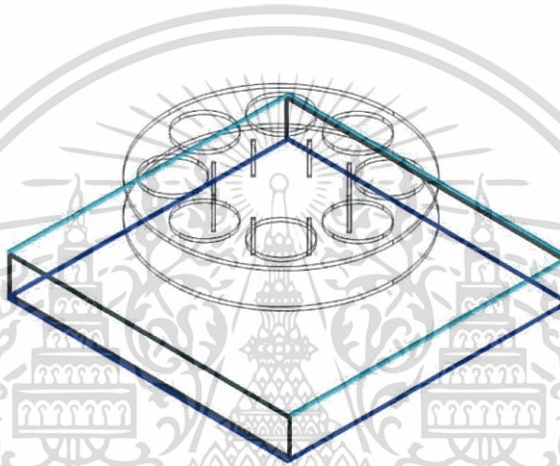


รูปที่ 3.1 โครงสร้างฐานรองถาดใส่ปิ๊กเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างถาดใส่ฟิล์มจำนวน 8 ช่อง



รูปที่ 3.3 โครงสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มอัตโนมัติ

ส่วนที่สองส่วนที่พัฒนาขึ้นมาใหม่เพื่อให้เครื่องมือวิเคราะห์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.4 แผ่นเพลทยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เสาประกอบเกลิยมอเตอร์

### 3.4 อุปกรณ์ที่นำมาใช้ประกอบเครื่องมือวิเคราะห์และการทดลอง

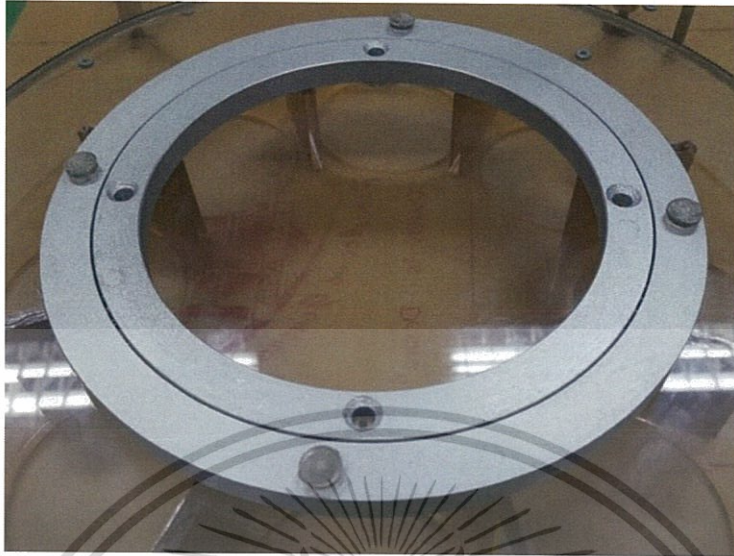
1. อะคริลิกใส



รูปที่ 3.6 อะคริลิกใสใช้สำหรับทำส่วนของฐานรองรับฐานหมุน

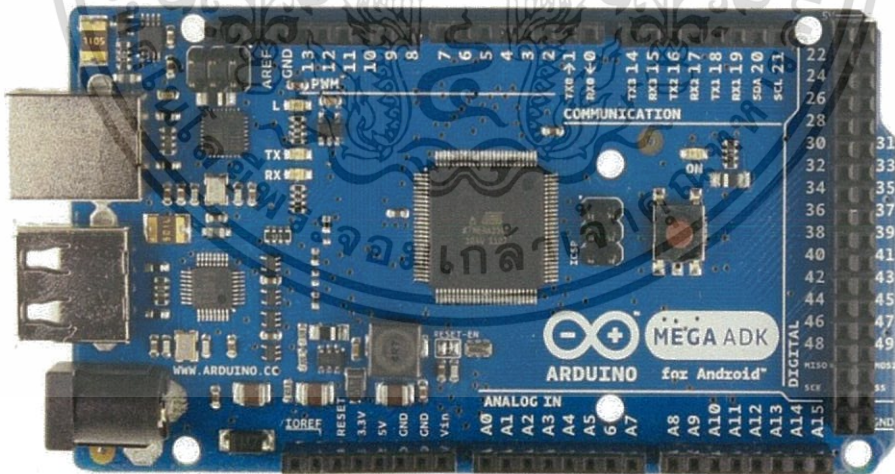
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ฐานหมุน



รูปที่ 3.7 ฐานหมุนสำหรับใส่อสาร

## 3. Arduino mega board



รูปที่ 3.8 Arduino mega 2560 board ใช้เพื่อการแสดงผลของโปรแกรม Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. สเต็ปเปอร์มอเตอร์



รูปที่ 3.9 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ใช้สำหรับขับเคลื่อนฐานใส่สารและแขนจับแผ่นฟิล์ม

## 5. หน้าจอ LCD ขนาด 20\*4



รูปที่ 3.10 หน้าจอ LCD ขนาด 20\*4 ใช้สำหรับแสดงค่าของโปรแกรม

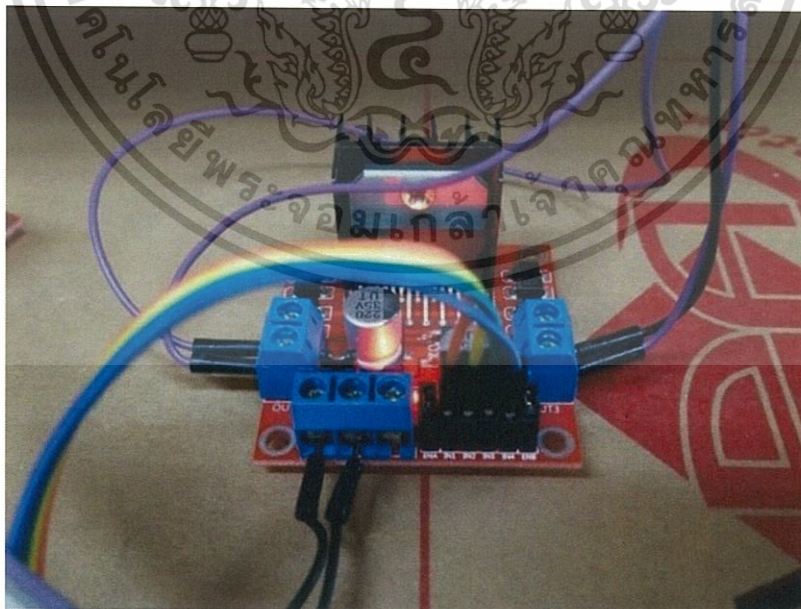
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. Keypad ขนาด 3\*4



รูปที่ 3.11 Keypad ขนาด 3\*4 ใช้สำหรับป้อนลงในโปรแกรม

## 7. ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ L298N (Drivers)



รูปที่ 3.12 ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ L298N ใช้สำหรับขับเคลื่อนสเต็ปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8. แหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 3.13 แหล่งจ่ายไฟสำหรับจ่ายไฟแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆในวงจร

## 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจุ่มสารด้วยกระบวนการ SILAR

1.  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ รูปที่ 3.14  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  สำหรับใช้ในการทดลองตามที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. Ethanol



รูปที่ 3.15 Ethanol สำหรับใช้ในการทดลองตามที่กำหนดไว้

## 3. DI Water



รูปที่ 3.16 DI Water สำหรับใช้ในการทดลองตามที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Na<sub>2</sub>Sรูปที่ 3.17 Na<sub>2</sub>S สำหรับใช้ในการทดลองตามที่กำหนดไว้

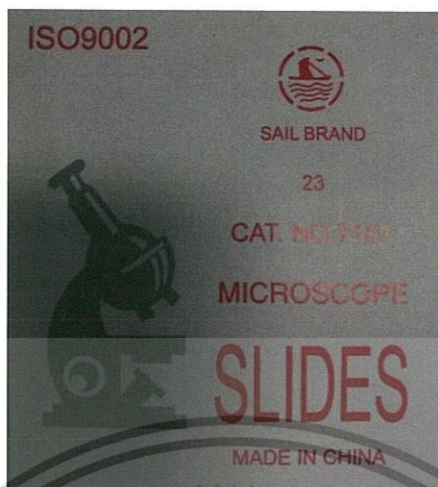
## 5. Methanol



รูปที่ 3.18 Methanol สำหรับใช้ในการทดลองตามที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. Microscope slides



รูปที่ 3.19 Microscope slides สำหรับจุ่มสาร

## 7. เครื่องชั่งน้ำหนักสาร

รูปที่ 3.20 เครื่องชั่งน้ำหนักสารสำหรับชั่งสาร  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{C}_4\text{H}_6\text{MnO}_4$  และ  $\text{Na}_2\text{S}$ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8. ปากคีบและช้อนตักสาร

รูปที่ 3.21 ปากคีบและช้อนตักสารสำหรับตักสาร  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{C}_4\text{H}_6\text{MnO}_4$  และ  $\text{Na}_2\text{S}$ 

## 9. Magnetic bar และ Magnetic stirrer

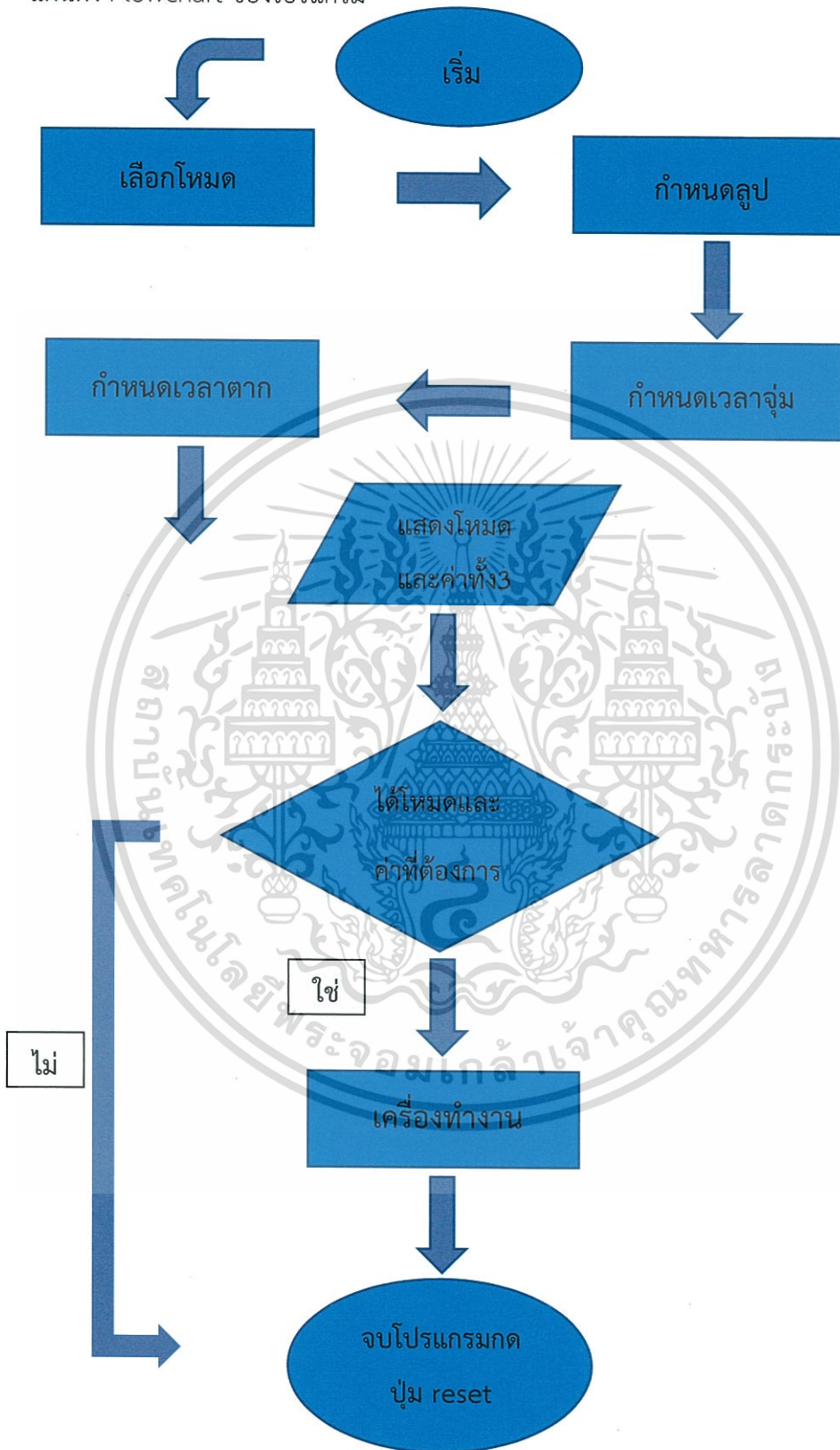


รูปที่ 3.22 รูป Magnetic bar และ Magnetic stirrer สำหรับคนสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การออกแบบวงจรและโปรแกรมคำสั่ง

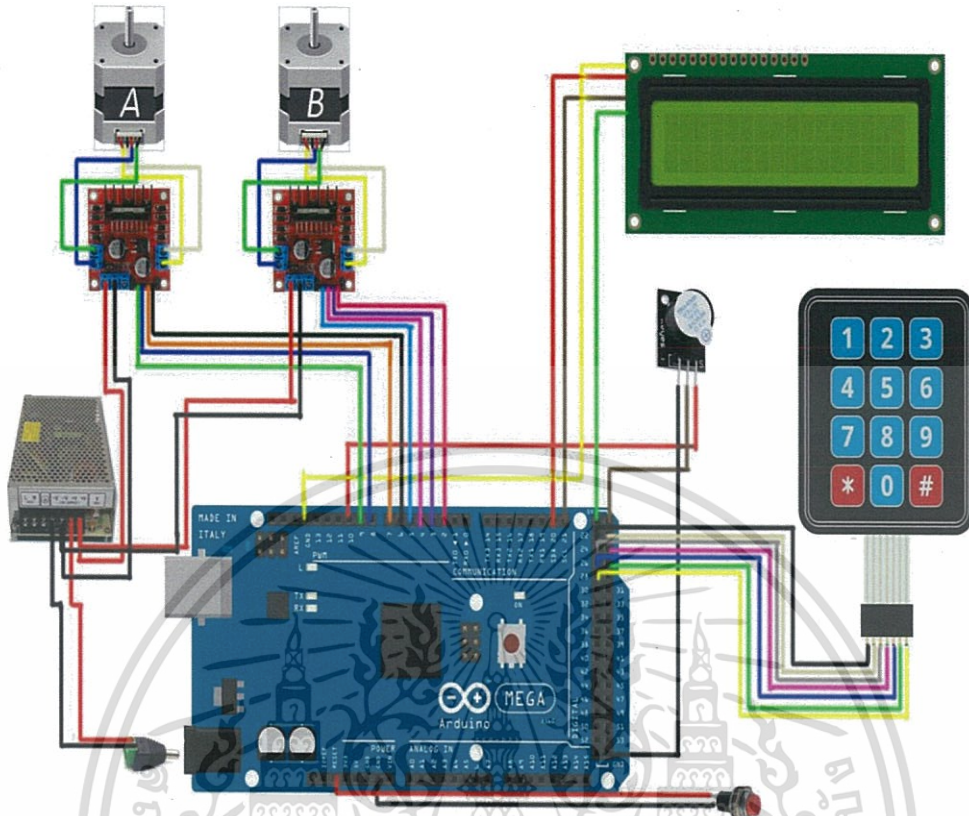
แผนผัง Flowchart ของโปรแกรม



รูปที่ 3.23 รูปแสดงแผนผังของโปรแกรมออกคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แผนผังการต่อวงจร



รูปที่ 3.24 รูปแสดงแผนผังการต่อวงจรของเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติ

### 3.7 การออกแบบการทดลอง (design of experiment)

เมื่อทำการพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์เรียบร้อยแล้วจึงนำเครื่องมือไปใช้สังเคราะห์แผ่นฟิล์มโดยกำหนดเงื่อนไขในการสังเคราะห์ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ CdS ลงบนแผ่นกระจกสไลด์โดยเงื่อนไขให้ความเข้มข้นสารของ Mn ที่เปอร์เซ็นต์ 0, 1, 5, 10, 15, 20 จากนั้นทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณของ  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  และ  $\text{C}_4\text{H}_6\text{MnO}_4$  ที่ใช้ในการผสมสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆพร้อมความเข้มข้นของสารอื่นๆ

ความเข้มข้นของ Mn	บีกเกอร์1			บีกเกอร์ 2	บีกเกอร์3		บีกเกอร์4
		$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	$\text{C}_4\text{H}_6\text{MnO}_4$	Ethano l	Ethano l	$\text{Na}_2\text{S}$	Methano l
0%	1.5424g	0g	50 ml	>50 ml	1.2009 g	50 ml	>50 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณของ  $Cd(NO_3)_2$  และ  $C_4H_6MnO_4$  ที่ใช้ในการผสมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆพร้อมความเข้มข้นของสารอื่นๆ

1%	1.526976 g	0.0122545 g	50 ml	>50 ml	1.2009 g	50 ml	>50 ml
5%	1.46528g	0.0612725 g	50 ml	>50 ml	1.2009 g	50 ml	>50 ml
10%	1.38816g	0.122545g	50 ml	>50 ml	1.2009 g	50 ml	>50 ml
15%	1.31104g	0.1838175 g	50 ml	>50 ml	1.2009 g	50 ml	>50 ml
20%	1.23392g	0.24509g	50 ml	>50 ml	1.2009 g	50 ml	>50 ml

### 3.8 กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ CdS

#### 3.8.1 การเตรียมกระจกสไลด์

- ล้าง กระจกฐานรอง ด้วยอะซิโตนเป็นเวลา 15 นาที ในเครื่อง Ultrasonic
- ล้าง กระจกฐานรอง ด้วยเอทานอลเป็นเวลา 15 นาที ในเครื่อง Ultrasonic เช่นเดียวกัน
- พักทิ้งไว้ให้กระจกสไลด์แห้งสนิทเพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการ SILAR

#### 3.8.2 การเตรียมตั้งต้น

- คำนวณปริมาณสารที่ใช้ตามสัดส่วนโมลของ  $Cd(NO_3)_2$  และ  $C_4H_6MnO_4$  ที่สัดส่วนต่างๆ ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณของ  $Cd(NO_3)_2$  และ  $C_4H_6MnO_4$  ที่ใช้ในการผสมตามสัดส่วนโมล Mn ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

สัดส่วนโมลของ Mn (%)	ปริมาณสารที่ใช้ตามสัดส่วนโมล(M)	
	$Cd(NO_3)_2$	$C_4H_6MnO_4$
0%	0.1	0
1%	0.099	0.001
5%	0.095	0.005
10%	0.090	0.010
15%	0.085	0.015

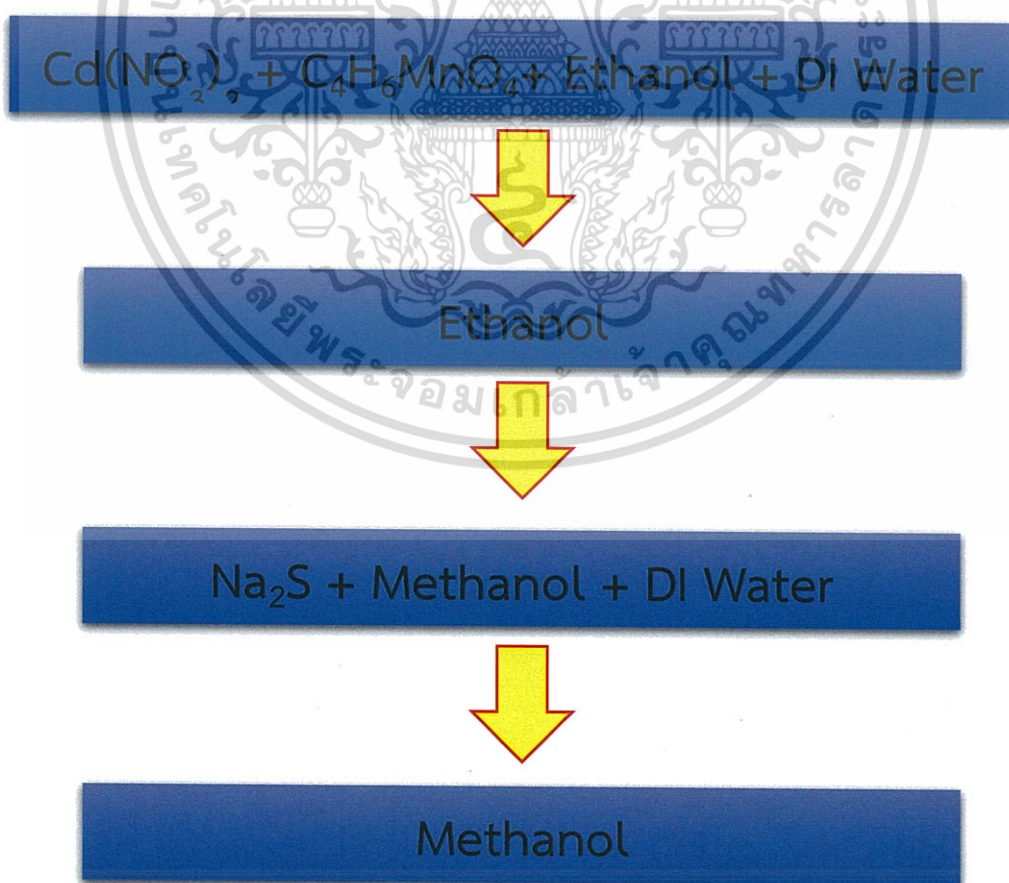
ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณของ  $Cd(NO_3)_2$  และ  $C_4H_6MnO_4$  ที่ใช้ในการผสมตามสัดส่วน โมล Mn ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

20%	0.080	0.020
-----	-------	-------

- ใส่เอทานอลและน้ำ DI ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เป็นตัวทำละลาย
- เตรียมสารละลายโดยการตวงสาร  $Cd(NO_3)_2$  และ  $C_4H_6MnO_4$  ลงในบีกเกอร์ตามที่คำนวณ
- ใส่แมกเนติกบาร์ลงในแต่ละบีกเกอร์ จากนั้นนำไปตั้งบนเครื่องกวนสารเพื่อทำการกวนสารละลายในบีกเกอร์ให้เข้ากัน

### 3.8.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ฟิล์มบาง CdS โดยกระบวนการ SILAR

สำหรับกระบวนการสังเคราะห์ฟิล์ม CdS ที่ใช้เครื่องจุ่มสารอัตโนมัติด้วยวิธีการ SILAR ปฏิบัติตามกระบวนการนี้โดยเตรียมบีกเกอร์มา 4 บีกเกอร์ให้บีกเกอร์ที่ 1 เป็น  $Cd(NO_3)_2 + C_4H_6MnO_4 + Ethanol + DI$  บีกเกอร์ที่ 2 เป็น Ethanol บีกเกอร์ที่ 3 เป็น  $Na_2S + Methanol + DI$  Water บีกเกอร์ที่ 4 เป็น Methanol จากนั้นนำกระจกฐานรองมาจุ่มในแต่ละบีกเกอร์บีกเกอร์ละ 30 วินาทีทำซ้ำทั้ง 4 ขั้นตอนเป็นจำนวน 30 รอบ



รูปที่ 3.25 รูปแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์ฟิล์มบาง CdS ด้วยกระบวนการ SILAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9 การวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของฟิล์มบาง CdS

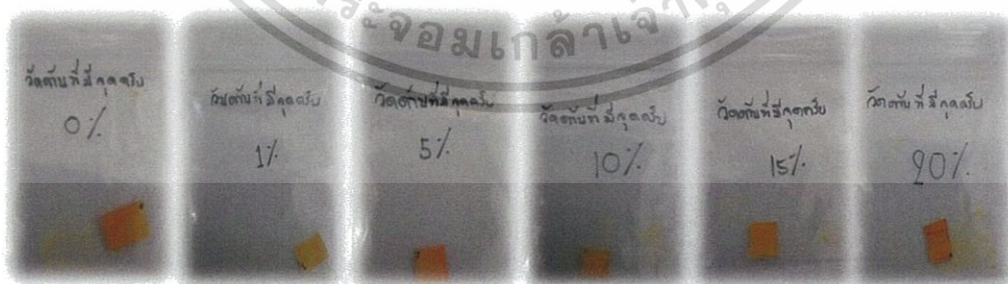
ในการวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบาง CdS เพื่อใช้ยืนยันว่าเครื่องสามารถใช้งานได้และเพื่อใช้เปรียบเทียบผลกับแบบใช้มือ ผู้ทำการทดลองได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทั้งหมด 2 เครื่องมือประกอบด้วย

- 1) Scanning electron microscope (SEM) เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบภายในตัวอย่าง
- 2) UV-Visible spectrophotometer เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติทางแสงของตัวอย่าง

โดยจะนำตัวอย่าง ทั้ง 8 จากแต่ละเงื่อนไขไปทำการวิเคราะห์โดยในการจะนำตัวอย่างไปวิเคราะห์จะต้องทำการเตรียมตัวอย่าง ให้สามารถนำไปตรวจวิเคราะห์โดยแต่ละเครื่องจะใช้ตัวอย่างลักษณะต่างกันจึงต้องวางแผนในการนำตัวอย่าง ไปวัดโดยอันดับแรกนำไปวัดด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer เพราะสามารถนำตัวอย่าง วิเคราะห์ผลได้ทันทีจากนั้นนำไปตรวจกับอีก 1 เครื่องคือ Scanning electron microscope (SEM) เพราะการใช้เครื่องในการวิเคราะห์ต้องทำให้ตัวอย่างมีขนาดเฉพาะดังรูป



รูปที่ 3.26 รูปตัวอย่างที่นำไปวัดในเครื่อง UV-Visible spectrophotometer



รูปที่ 3.27 รูปตัวอย่างเมื่อนำไปตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กลงเพื่อนำไปวัดในเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

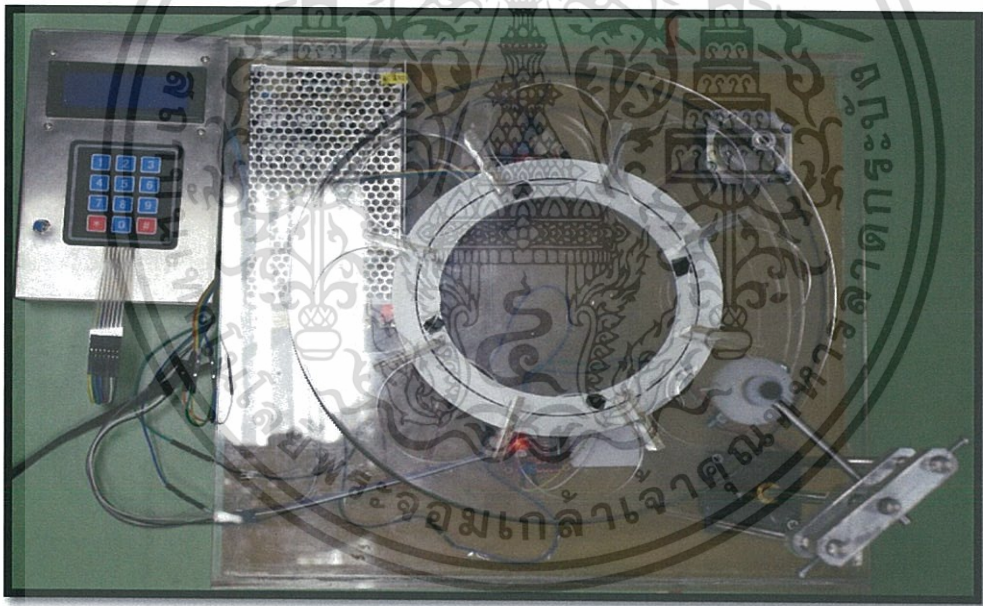
# ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการทดลองการพัฒนาเครื่องจุ่มสารสำหรับฟิล์มบาง CdS ลงบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเทคนิควิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซึมและทำปฏิกิริยาเคมี Successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method เป็นการพัฒนาเครื่องจุ่มสารให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวก โดยจะทำการเปรียบเทียบฟิล์มบางที่ได้จากการใช้เครื่องกับฟิล์มบางที่ได้จาก manual เพื่อศึกษาว่าฟิล์มบางที่ได้จากเครื่องกับ manual มีคุณภาพและที่ลักษณะแตกต่างกันอย่างไร

### 4.1 วิธีการใช้เครื่องจุ่มสารสำหรับฟิล์มบาง CdS

สำหรับวิธีการใช้เครื่องจุ่มสารสำหรับฟิล์มบาง CdS มีวิธีใช้ดังนี้

#### 4.1.1 นำส่วนควบคุมกับตัวเครื่องมาต่อกันโดยต่อสายที่มีสีเดียวกันเข้าด้วยกัน



รูปที่ 4.1 ลักษณะการต่อสายที่มีสีเดียวกันเข้ากับเครื่อง

- 4.1.2 หลังจากเปิดเครื่องส่วนควบคุมจะแสดงหน้าจอให้เราเลือกรูปแบบซึ่งจะมีด้วยกันทั้งหมด 2 โหมด คือ Half loop และ Full loop โดยจะทำการเลือกโหมดโดยการกดหมายเลข 1 บน keypad โดยถ้ากดเลข 1 ครั้งแรกจะมีสัญลักษณ์ว่าเลือกโหมดไหนขึ้นที่โหมด Half loop และเมื่อกดหมายเลข 1 อีกครั้งสัญลักษณ์จะไปที่โหมด Full loop สามารถกดเลข 1 เพื่อให้ได้โหมดที่ต้องการได้จากนั้นเมื่อได้โหมดที่ต้องการแล้วให้ทำการกดหมายเลข 9 เพื่อยืนยันและไปขั้นตอนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.2 แสดงการเลือก mode

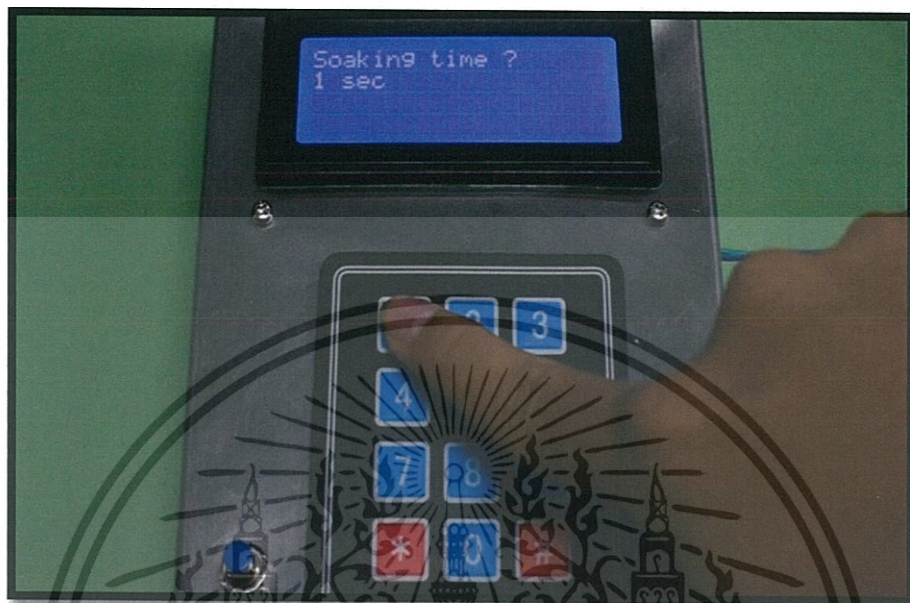
- 4.1.3 เมื่อทำการกดเลข 9 จากข้อที่แล้วหน้าจอจะเปลี่ยนไปขึ้นต่อไปคือเขาสุโหมดกำหนดจำนวนรอบในการทำงานโดยสามารถกดหมายเลข 1 ในการเพิ่มจำนวนรอบการทำงานตั้งแต่ 1-50 รอบและเมื่อกดจำนวนรอบเกินที่เราต้องการสามารถลดจำนวนรอบได้โดยการกดหมายเลข 4 จากนั้นเมื่อเราได้จำนวนรอบที่ต้องการแล้วให้กดหมายเลข 9 เพื่อยืนยันและไปยังขั้นตอนถัดไป



รูปที่4.3 แสดงวิธีการใส่จำนวนรอบในการทำงานที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.1.4 เมื่อทำการกดเลข 9 จากข้อที่แล้วหน้าจอจะเปลี่ยนไปขึ้นต่อไปคือเขาสู่โหมดกำหนดเวลาในการจุ่มสารโดยสามารถกดหมายเลข 1 ในการเพิ่มเวลาในการจุ่มสารได้ตั้งแต่ 1-50 วินาทีและเมื่อกดเวลาเกินที่เราต้องการสามารถลดได้โดยการกดหมายเลข 4 จากนั้นเมื่อเราได้เวลาจุ่มสารที่ต้องการแล้วให้กดหมายเลข 9 เพื่อตกลง



รูปที่ 4.4 แสดงวิธีการกดปุ่มเพิ่ม/ลด เวลาในการจุ่ม

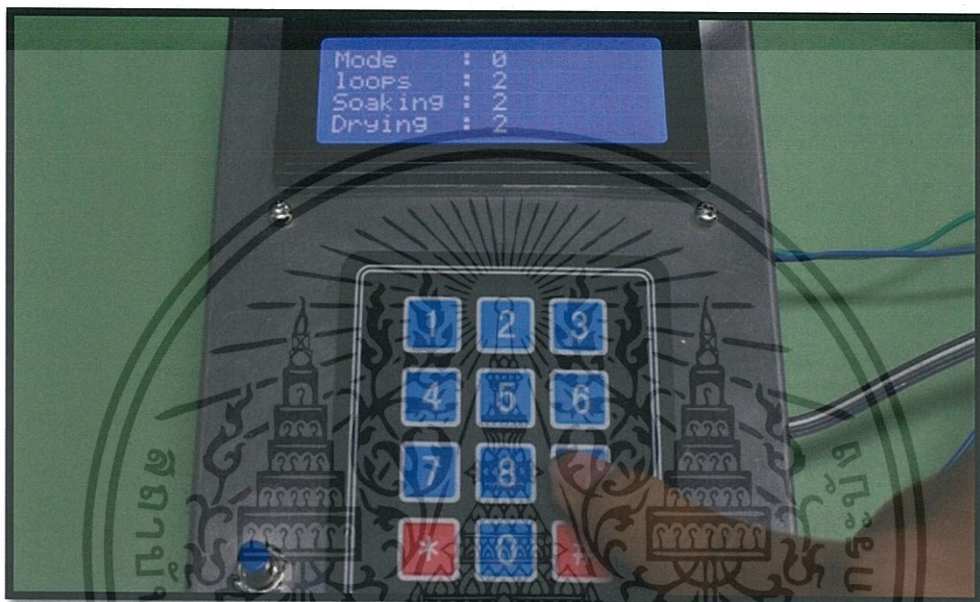
- 4.1.5 เมื่อทำการกดเลข 9 จากข้อที่แล้วหน้าจอจะเปลี่ยนไปขึ้นต่อไปคือเขาสู่โหมดกำหนดเวลาในการตากสารโดยสามารถกดหมายเลข 1 ในการเพิ่มเวลาในการตากสารได้ตั้งแต่ 1-50 วินาทีและเมื่อกดเวลาเกินที่เราต้องการสามารถลดได้โดยการกดหมายเลข 4 จากนั้นเมื่อเราได้เวลาจุ่มสารที่ต้องการแล้วให้กดหมายเลข 9 เพื่อตกลง



รูปที่ 4.5 แสดงวิธีการกดปุ่มเพิ่ม/ลด เวลาในการตาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 เมื่อทำการกดเลข 9 จากข้อที่แล้วหน้าจอจะเปลี่ยนไปขึ้นต่อไปคือเข้าสู่หน้ายืนยันคำสั่งทั้งหมดโดยจะแสดงโหมดโดยหมายเลข 0 แสดงว่าเป็นโหมด Half loop และหมายเลข 1 แสดงว่าเป็นโหมด Full loop รวมทั้งจำนวนรอบในการทำงาน เวลาในการจุ่มสาร และเวลาในการตากสาร ที่เราเลือกไว้โดยเมื่อเราต้องการยืนยันให้เครื่องทำงานตามเงื่อนไขเหล่านี้ให้กดหมายเลข 9 เพื่อให้เครื่องมือทำงานแต่ถ้าค่าเหล่านี้ผิดพลาดให้เรา กดปุ่ม Reset สีฟ้าเพื่อใส่ค่าต่างๆใหม่อีกครั้ง



รูปที่4.6 ตรวจสอบค่าที่ได้เลือกไว้

4.1.7 เมื่อทำการกดเลข 9 จากข้อที่แล้วหน้าจอจะเปลี่ยนไปขึ้นต่อไปคือจะแสดงค่าเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทำงานของเครื่องจากนั้นเมื่อเครื่องทำงานเสร็จหรือต้องการหยุดเครื่องระหว่างที่เครื่องทำงานอยู่ให้กดปุ่ม Reset สีฟ้าเพื่อใช้งานเครื่องอีกครั้ง



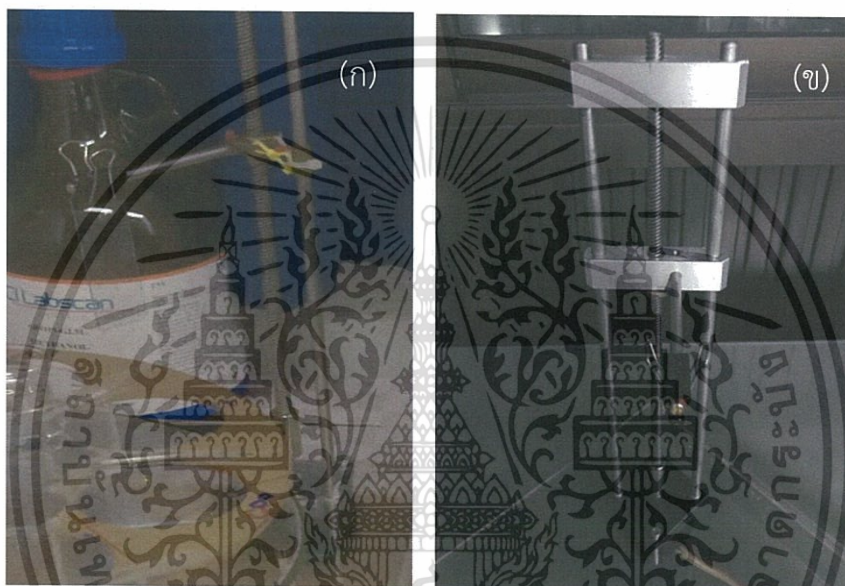
รูปที่4.7 การกดปุ่ม reset เพื่อเริ่มใช้งานเครื่องอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

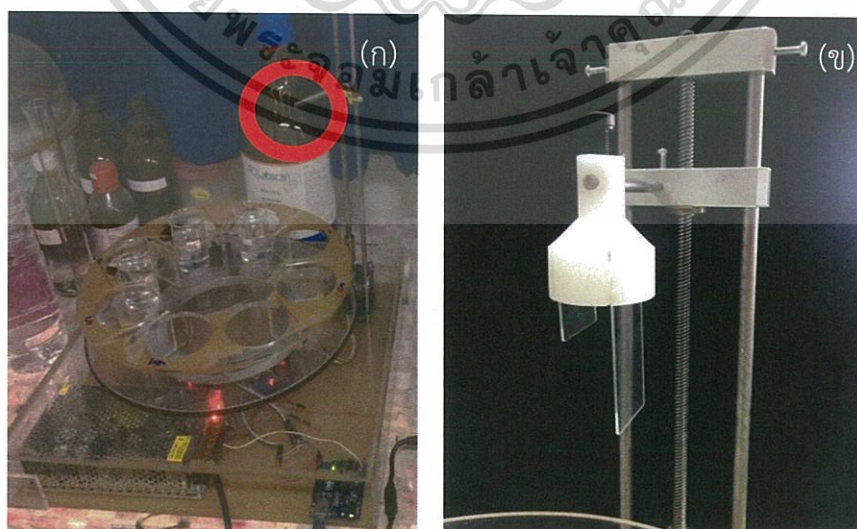
## 4.2 ความแตกต่างระหว่างเครื่องมือก่อนและหลังการนำไปพัฒนา

ความแตกต่างระหว่างเครื่องจุ่มสารสำหรับฟิล์มบางแบบเก่ากับแบบใหม่สามารถแบ่งได้ 2 ส่วนคือส่วนของตัวเครื่อง และส่วนของตัวควบคุมเครื่อง

สำหรับส่วนของตัวเครื่องนั้นเราได้ทำการพัฒนาในส่วนของแขนสำหรับจับตัวอย่างจากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าทางด้านซ้ายมือเสาสำหรับเลื่อนแขนจับฟิล์มมีเพียงสองเสาเท่านั้นซึ่งยังไม่มั่นคงพอทำให้เกิดการสั่นขณะที่เครื่องทำงานผู้ศึกษาจึงพัฒนาโดยการเพิ่มเสาและตัวยึดเสาเพื่อให้เมื่อเครื่องทำงานบริเวณแขนจับตัวอย่างจะไม่เกิดการสั่นเวลาดังรูปทางขวาและเพิ่มจำนวนในการจับแผ่นฟิล์มเพื่อให้สามารถสร้างฟิล์มบางมากขึ้น



รูปที่ 4.8 รูปเสาสำหรับเลื่อนแขนจับฟิล์มขึ้น (ก) เครื่องเก่า (ข) เครื่องใหม่



รูปที่ 4.9 รูปแขนจับฟิล์ม (ก) เครื่องเก่า (ข) เครื่องใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

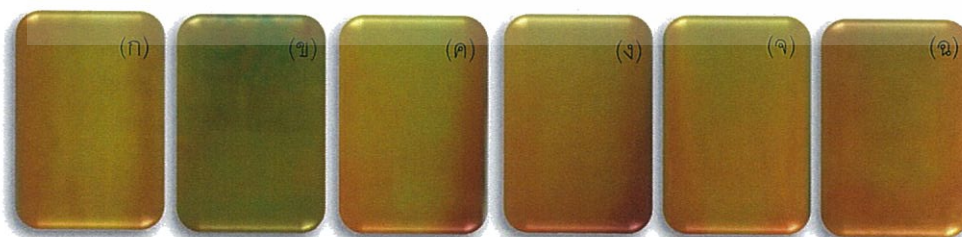
นอกจากนี้ยังมีในส่วนของตัวควบคุมเครื่องได้มีการเปลี่ยนบอร์ดจากบอร์ด Arduino แบบ uno r3 เป็นบอร์ด Arduino แบบ mega เนื่องจากมีการเพิ่ม Keypad และหน้าจอ LCD เข้าไปด้วยเพื่อความสะดวกในการใช้งานให้มากขึ้นโดยจะใช้จอ LCD แสดงผลแทนหน้าจอคอมพิวเตอร์ และใช้ Keypad ในการใส่ค่าแทนการใช้ Keyboard ของคอมพิวเตอร์ทำให้ผู้ที่มาใช้เครื่องสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ และสามารถใช้งานได้อย่างง่ายดาย



รูปที่ 4.10 รูประบบควบคุมเครื่อง (ก) เครื่องเก่า (ข) เครื่องใหม่

#### 4.3 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบาง CdS

จากการทดลองเราสามารถสังเกตและเปรียบเทียบผลที่ปรากฏออกมาของฟิล์มบาง CdS ที่มีความเข้มข้นตามเงื่อนไขต่างๆหลังผ่านกระบวนการ SILAR จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบาง CdS ที่สังเคราะห์ขึ้นได้ภายใต้เงื่อนไขความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆแต่จำนวนรอบในการจุ่มเท่ากันกันจะเห็นว่า ฟิล์มจะมีลักษณะเป็นสีส้มที่มีความเข้มต่างกันไปโดยฟิล์มที่มีสีจางที่สุดคือฟิล์มที่มีความเข้มข้นของ Mn ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ และมีสีเข้มสุดที่ 20 เปอร์เซ็นต์แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นส่งผลต่อลักษณะที่ปรากฏของฟิล์มบาง CdS



รูปที่ 4.11 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สังเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขจำนวนรอบในการจุ่มเดียวกันคือ 30 รอบ โดยมีความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นที่แตกต่างกัน ได้แก่ ref, 1% 5% 10% 15% 20% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 วิเคราะห์องค์ประกอบของฟิล์มบาง CdS

เมื่อนำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS ที่สังเคราะห์ตามเงื่อนไขต่างๆ ไปศึกษาองค์ประกอบด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS) ทำให้สามารถระบุได้ว่าพบสาร Cd, S และ Mn ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ต่างๆตามความเข้มข้นของสารตั้งต้นโดยค่าของ Mn จะไม่พบที่สารตั้งต้น 0 และ 1 เปอร์เซ็นต์แต่จะพบตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆนอกจากนี้ยังสามารถระบุได้ว่าที่ 10 เปอร์เซ็นต์จะพบค่าของ Cd และ S มากที่สุดแสดงว่าเป็นค่าที่ทำให้เกิดฟิล์ม CdS มากที่สุดสามารถดูได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่า Apparent Concentration ของเครื่อง SEM ที่สารตั้งต้นค่าต่างๆ

ชื่อสารที่พบ	ความเข้มข้นที่พบ					
	สารตั้งต้น 0%	สารตั้งต้น 1%	สารตั้งต้น 5%	สารตั้งต้น 10%	สารตั้งต้น 15%	สารตั้งต้น 20%
Cd	58.63	17.34	120.40	148.94	122.41	115.78
S	19.55	6.64	35.98	53.64	45.03	40.77
Mn	0	0	0.84	0.95	1.44	1.66

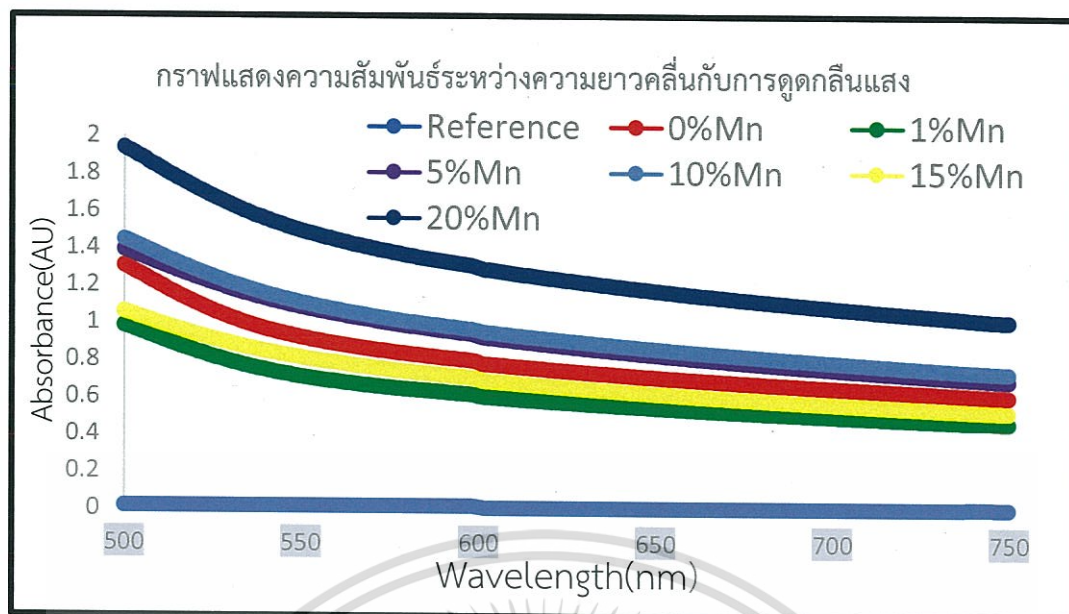
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่า Wt% ของเครื่อง SEM ที่สารตั้งต้นค่าต่างๆ

ชื่อสารที่พบ	เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก					
	สารตั้งต้น 0%	สารตั้งต้น 1%	สารตั้งต้น 5%	สารตั้งต้น 10%	สารตั้งต้น 15%	สารตั้งต้น 20%
Cd	77.11	74.94	78.28	75.53	74.87	75.39
S	22.89	25.06	21.15	23.98	24.23	23.50
Mn	0	0	0.57	0.49	0.90	1.11

#### 4.5 วิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง CdS

เมื่อนำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS ที่สังเคราะห์ตามเงื่อนไขต่างๆ ไปศึกษาคุณสมบัติทางแสงของฟิล์มด้วยเครื่อง UV-Visible spectroscopy (ช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 200-1000 นาโนเมตร) พบว่าความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นในการสร้างฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS ส่งผลต่อความหนาของชั้นฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS ซึ่งประเมินได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS จะพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นเปลี่ยนไปลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงก็เปลี่ยนไปตามไปด้วยการดูดกลืนแสงของฟิล์มจะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นที่เพิ่มขึ้น

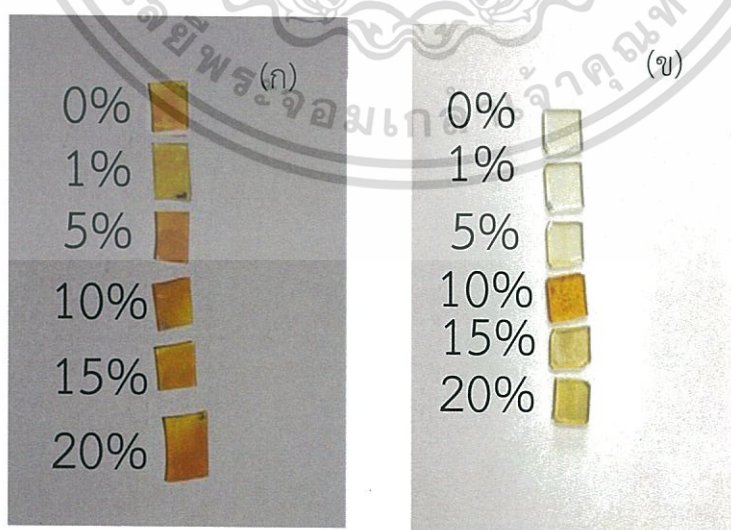
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น UV-Visible ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิควิธี SILAR ที่มีเปอร์เซ็นต์การเจือ Mn ไม่เท่ากันได้แก่ Ref, 0, 1, 5, 10, 15, 20

#### 4.6 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบาง CdS ระหว่างเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติ กับแบบใช้มือ

เมื่อนำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS ที่สังเคราะห์ตามเงื่อนไขต่างๆ ไปศึกษาลักษณะของฟิล์มแล้วทำการนำผลที่ได้ไปเทียบกับลักษณะภายนอกของฟิล์มที่ทำการปลูกด้วยวิธีการ SILAR แบบใช้มือได้ผลดังนี้

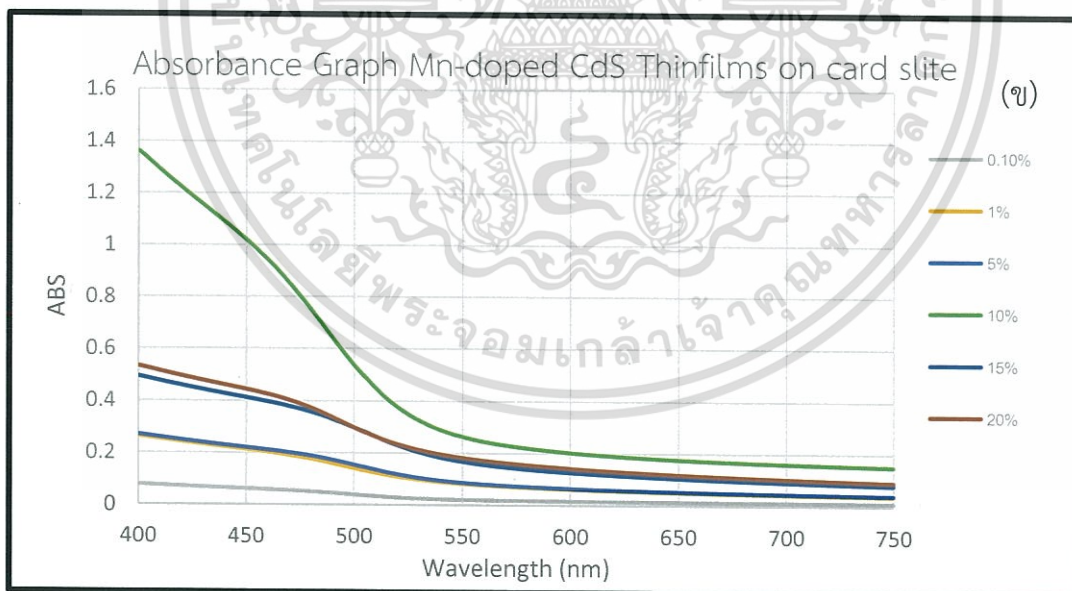
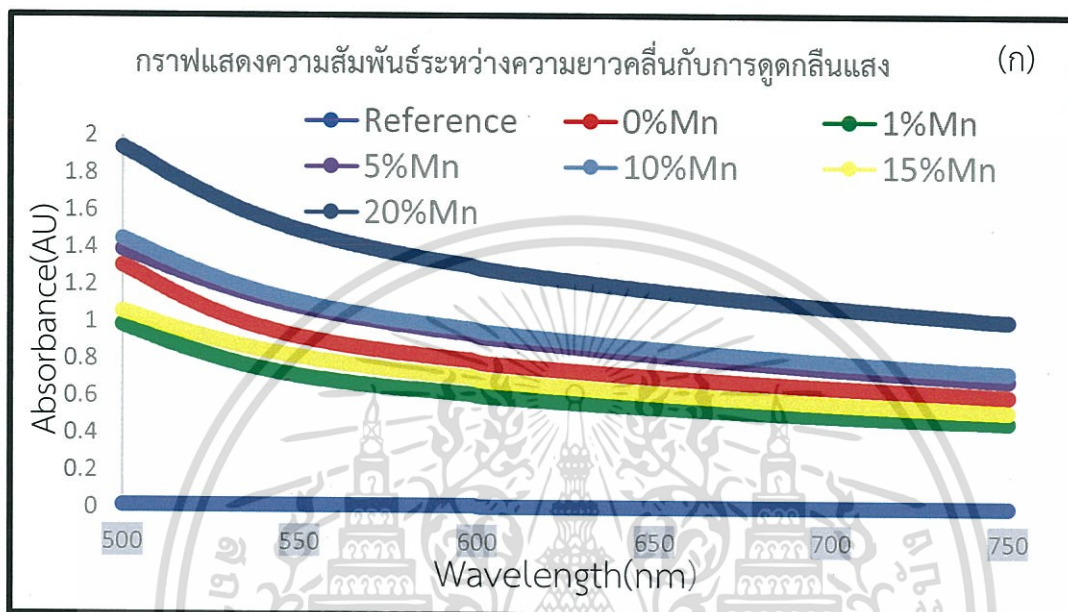


รูปที่ 4.13 รูปแสดงลักษณะของฟิล์มที่ปลูกด้วยวิธี SILAR โดยใช้เครื่องจุ่มอัตโนมัติ (ก) กับแบบใช้มือ

(ข) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 วิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง CdS ระหว่างเครื่องอัตโนมัติกับแบบใช้มือ

เมื่อนำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS ที่สังเคราะห์ตามเงื่อนไขต่างๆ ไปศึกษาคุณสมบัติทางแสงของฟิล์มแล้วทำการนำผลที่ได้ไปเทียบกับลักษณะภายนอกของฟิล์มที่ทำการปลูกด้วยวิธีการ SILAR แบบใช้มือได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.14 รูปแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น UV-Visible ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิควิธี SILAR โดยใช้เครื่องจุ่มสารอัตโนมัติ (ก) กับแบบใช้มือ (ข) ที่มีเปอร์เซ็นต์การเจือ Mn ไม่เท่ากัน ได้แก่ Ref 0 1 5 10 15 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาเครื่องจุ่มสารสำหรับฟิล์มบาง แคดเมียมซัลไฟด์ และศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติทางแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ แคดเมียมซัลไฟด์ ที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยเทคนิควิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยาเคมี หรือ Successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น แคดเมียมซัลไฟด์และนำมาเปรียบเทียบผล

จากการทดลองเพื่อพัฒนาเครื่องจุ่มสารสำหรับฟิล์มบาง CdS เจือด้วย Mn ได้ทำการพัฒนาสองส่วนคือส่วนของฮาร์ดแวร์ และส่วนซอฟต์แวร์ โดยสำหรับด้านฮาร์ดแวร์นั้นได้ทำการพัฒนาขึ้นในส่วน of แขนงงานให้มีความแข็งแรงและมั่นคงมากขึ้นในการจับแผ่นฟิล์มขึ้น/ลงพัฒนาโดยการเพิ่มเสาและเพิ่มตัวยึดเสาเข้าด้วยกันรวมทั้งเปลี่ยนตัวยึดมอเตอร์กับเสาให้ติดกันพร้อมทั้งพัฒนาแขนที่จับฟิล์มให้สามารถจับแผ่นฟิล์มได้มากขึ้นเพื่อให้ได้ฟิล์มจากการทดลองมากขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้ยังเพิ่มหน้าจอ LCD Keypad และเปลี่ยนบอร์ด Arduino จากบอร์ด uno เป็นบอร์ด mega เพื่อให้สะดวกในการใช้งานมากขึ้นโดยผู้ใช้งานจะสามารถใช้งานเครื่องจุ่มสารอัตโนมัติได้โดยไม่ต้องมีเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้งานเครื่อง โดยหน้าจอ LCD Keypad จะเพิ่มความสะดวกในการใช้งานเครื่องมากขึ้น

จากการทดลองจะทำการสังเคราะห์ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ CdS ด้วยเทคนิควิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา จากนั้นทำการตรวจสอบลักษณะภายนอกจะเห็นได้ฟิล์มที่มีสีจางที่สุดคือฟิล์มที่มีความเข้มข้นของ Mn ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ และสีเข้มสุดที่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยระหว่างนั้นจะมีความเข้มไม่แน่นอน

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ CdS ด้วย เครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS) ทำให้สามารถรู้ถึงสารที่เป็นส่วนประกอบของฟิล์มโดยสารที่พบมี CdS และ Mn โดยพบจำนวนของ Cd สูงที่สุดที่การเจือปน Mn 10 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ CdS ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer พบว่าความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นที่มีการเจือสาร Mn ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ มีผลต่อการดูดกลืน โดยส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นและลดลงโดยเปอร์เซ็นต์ที่มีค่าดูดกลืนมากที่สุดคือการเจือสาร Mn ที่ 20 เปอร์เซ็นต์และ น้อยที่สุดคือการเจือสาร Mn ที่ 1 เปอร์เซ็นต์นั่นเอง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ในการนำเครื่องไปพัฒนาหรือแก้ไขผู้ศึกษาควรจดหรือถ่ายรูปการต่อวงจรเอาไว้ก่อนเพื่อจะได้ไม่เป็นปัญหาเมื่อนำมาต่อหรือใช้งานครั้งต่อไป
- 2) ในการปรับปรุงโค้ดผู้ศึกษาควรทำการเปลี่ยนการใส่ค่าเวลาในการจุ่มฟิล์มกับตากฟิล์มให้สามารถใส่ค่าได้เป็นตัวเลขเลยแทนการกดเลข1เพื่อเพิ่มเวลา
- 3) ผู้ศึกษาควรปรับปรุงให้หน้าจอแสดงผลให้ชัดเจนหลังจากเครื่องทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว
- 4) ผู้ศึกษาควรทำการทดลองสร้างฟิล์มหลายๆ ครั้งเพื่อนำฟิล์มไปทดสอบคุณสมบัติ และทำการหาผลลัพธ์ของเครื่องว่าเครื่องจุ่มสารอัตโนมัตินี้มีความสามารถในการสร้างฟิล์มให้มีคุณสมบัติอย่างไรพร้อมทั้งทำคู่มือการใช้งานเครื่องจุ่มสารอัตโนมัตินี้ให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นได้
- 5) ผู้ศึกษาควรปรับปรุงเรื่องการหมุนบริเวณฐานใส่สารให้มีการหมุนที่ไม่มีความคลาดเคลื่อน โดยการใส่เซนเซอร์ proximity เข้าไปในการทำให้ตำแหน่งในการหมุนของฐานเคลื่อนที่แบบเดิมเสมอไม่คลาดเคลื่อน
- 6) ผู้พัฒนาควรพัฒนาขั้นตอนการล้างฟิล์มเนื่องจากกระบวนการล้างฟิล์มของเครื่องนี้ไม่ดีพอทำให้ฟิล์มไม่เรียบ

## 5.3 คู่มือการใช้งาน

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงความสามารถของเครื่องมือ

Power Input	220V, 50 Hz
Number of dips	0 - 50 loop
Dip duration	0 - 50 seconds
Stroke duration	0 - 50 seconds
Control Unit	- Show display by LCD - Put value by Keypad
Sample holder	2 sample
Beakers Slot	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วงศกร สิงห์เอี่ยม. 2558 “การสร้างเครื่องจุ่มฟิล์มด้วยเทคนิคการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา.”ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (19 มกราคม 2561) **สเต็ปเปอร์มอเตอร์**. [Online]. Available : [http://narong.ece.engr.tu.ac.th/ei444/document/15-stepper\\_motor.pdf](http://narong.ece.engr.tu.ac.th/ei444/document/15-stepper_motor.pdf)
- [3] sbt.ac.th. (22 มกราคม 2561) **โปรแกรม Arduino**. [Online]. Available : [http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP\\_Unit\\_1.pdf](http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf)
- [4] sites.google.com. (30 มกราคม 2561) **บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino**. [Online]. Available : <https://sites.google.com/site/rucakkabarduino/>
- [5] ett.co.th. (5 กุมภาพันธ์ 2561) **Arduino Mega 2560**. [Online]. Available : <http://www.ett.co.th/prod2011/arduino/manET-MEGA2560.pdf>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

รหัสคำสั่งที่ป้อนลงในบอร์ด Arduino mega 2560

```
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 Drytimefix = 0;
int spin1 = 160; // Step of first motor
int spin2 = 625; // step of seconcd motor

#define sound 10

#include <Keypad.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Set the LCD address to 0x27 or 0x3F for a 16 chars and 2 line display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 20, 4); //3F

int loops;
int soaking;
int Drying;
int Mode;
int Loops;
int Soaktime;
int Drytime;
int start;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
const byte ROWS = 4; // four rows
const byte COLS = 3; // three columns
```

```
char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1', '2', '3'},
  {'4', '5', '6'},
  {'7', '8', '9'},
  {'*', '0', '#'}
};
```

```
byte rowPins[ROWS] = {25, 24, 23, 22}; // connect to the row pinouts of the keypad
byte colPins[COLS] = {28, 27, 26}; // connect to the column pinouts of the keypad
```

```
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );
```

```
char data[10];
int m;
int mode;
int select = 1;

int page = 1;
```

```
void step1() {
  digitalWrite(inA1, LOW);
  digitalWrite(inA2, HIGH);
  digitalWrite(inB1, HIGH);
  digitalWrite(inB2, LOW);
  delay(stepDelay1);
}
```

```
void step2() {
  digitalWrite(inA1, LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

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);
  delay(stepDelay1);
}

```

```

void step4() {
  digitalWrite(inA1, HIGH);
  digitalWrite(inA2, LOW);
  digitalWrite(inB1, HIGH);
  digitalWrite(inB2, LOW);
  delay(stepDelay1);
}

```

```

void stopMotor() {
  digitalWrite(inA1, LOW);
  digitalWrite(inA2, HIGH);
  digitalWrite(inB1, HIGH);
  digitalWrite(inB2, LOW);
}

```

```

void step5() {
  digitalWrite(inA3, LOW);
  digitalWrite(inA4, HIGH);
  digitalWrite(inB3, HIGH);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite(inB4, LOW);
delay(stepdelay2);
}
```

```
void step6() {
digitalWrite(inA3, LOW);
digitalWrite(inA4, HIGH);
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);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite(inA4, LOW);
digitalWrite(inB3, LOW);
digitalWrite(inB4, LOW);
}
```

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(sound,OUTPUT);
  digitalWrite(sound,LOW);
```

```
  lcd.begin();
  pinMode(53,OUTPUT);
  digitalWrite(53,LOW);
  Serial.println("OK");
  pinMode(inA1, OUTPUT);
  pinMode(inA2, OUTPUT);
  pinMode(inB1, OUTPUT);
  pinMode(inB2, OUTPUT);
  pinMode(inA3, OUTPUT);
  pinMode(inA4, OUTPUT);
  pinMode(inB3, OUTPUT);
  pinMode(inB4, OUTPUT);
  // Turn on the backlight and print a message.
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Choose Mode");

  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Half Cycle ");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("Full Cycle ");
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void loop() {
  char key = keypad.getKey(); //1=4 , 4=5 , 7=6
  Serial.println("                " + String(page));

  if (key) {
    Serial.println(key);

    if ( page == 1 )
    {
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("Choose Mode");

      if ( key == '4' && page == 1 )
      {
        mode += 1;
        buzzer();
        delay(500);
        key = '\0';
      }

      if ( mode > 1 && page == 1 )
      {
        mode = 0;
      }

      if ( mode == 0 )
      {

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Half Cycle *");

        lcd.setCursor(0, 2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print("Full Cycle ");
// datamode = mode;

}

if ( mode == 1 )
{
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Half Cycle ");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("Full Cycle *");
  //datamode = mode;
}

if ( key == '#' && page == 1)
{
  buzzer();
  Mode = mode;
  lcd.clear();
  key = '\0';
  page = 2;
}

} //page==1

//-----

if ( page == 2 )
{

  // lcd.clear();
  Serial.println(" !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!");
  lcd.setCursor(0, 0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
lcd.print("How many loops ?");
```

```
lcd.setCursor(0, 1);
```

```
lcd.print(loops);
```

```
lcd.print(" ");
```

```
if ( key == '4' && page == 2 )
```

```
{
```

```
  buzzer();
```

```
  loops += 1;
```

```
  delay(250);
```

```
  key = '\0';
```

```
}
```

```
if ( key == '5' && page == 2 )
```

```
{
```

```
  buzzer();
```

```
  loops -= 1;
```

```
  delay(250);
```

```
  key = '\0';
```

```
}
```

```
if ( loops <= 0 )
```

```
{
```

```
  loops = 0;
```

```
}
```

```
if ( loops >= 50 )
```

```
{
```

```
  loops = 50;
```

```
}
```

```
if ( key == '#' && page == 2)
```

```
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

buzzer();
Serial.println("          Loops" + String(loops));
Loops = loops - 1;
key = '\0';
lcd.clear();
Serial.println("          CON - 2");
page = 3;
}
}
//-----

```

```

if ( page == 3 )
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Soaking time ?");

  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(soaking);
  lcd.print(" sec");

  if ( key == '4' && page == 3 )
  {
    buzzer();
    soaking += 1;
    delay(250);
    key = '\0';
  }

  if ( key == '5' && page == 3 )
  {
    buzzer();
    soaking -= 1;
    delay(250);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    key = '\0';
}

if ( soaking <= 0 )
{
    soaking = 0;
}

if ( soaking >= 50 )
{
    soaking = 50;
}

if ( key == '#' && page == 3)
{
    buzzer();
    Soaktime = soaking - 1;
    key = '\0';
    lcd.clear();
    page = 4;
}

// page 3

//-----
if ( page == 4 )
{
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Drying time ?");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(Drying);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print(" sec");

if ( key == '4' && page == 4 )
{
  buzzer();
  Drying += 1;
  delay(250);
  key = '\0';
}
if ( key == '5' && page == 4 )
{
  buzzer();
  Drying -= 1;
  delay(250);
  key = '\0';
}
if ( Drying <= 0 )
{
  Drying = 0;
}
if ( Drying >= 50 )
{
  Drying = 50;
}

if ( key == '#' && page == 4)
{
  buzzer();
  Drytime = Drying - 1;
  key = '\0';
  lcd.clear();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    page = 5;
}

} // page 5
//-----

if ( page == 5 )
{
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Mode   : " + String(Mode));
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("loops  : " + String(Loops));
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("Soaking : " + String(Soaktime));
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("Drying  : " + String(Drytime));

    if ( key == '#' && page == 5)
    {
        buzzer();
        start = 1;
        key = '\0';
        lcd.clear();
        page = 6;
    }

} // page 5

} //key

if ( start == 1 )
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//=====
=====

if (Mode == 0) {

    int TimeHalfLoopsHr = (((2 * 4 * 4 * 625 * 0.002) + ((4 * Soaktime) + (2 * Drytime)
+ 1.05)) + (8 * 4 * 160 * 0.002)) * Loops) / 3600;
    int TimeHalfLoopsMin = (((((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(" : ");
    Serial.print(TimeHalfLoopsMin);
    Serial.println(" hr.");

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Half Cycle mode ...");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Process: " + String(TimeHalfLoopsHr) + " hr: " +
String(TimeHalfLoopsMin) + " min" );

    for (int j = 1 ; j <= Loops ; j++) {
        for (int i = 1 ; i <= spin2 ; i++) { //1//
            step5();
            step6();
            step7();
            step8();
        }
        stopMotor();
        pause();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for (int count = 0 ; count < Soaktime ; count++) {
    delay(1000);
}

```

```

for (int i = 1; i <= spin2; i++) {
    step8();
    step7();
    step6();
    step5();
}

```

```
stopMotor();
```

```
pause();
```

```

for (int count = 0 ; count < Drytimefix ; count++) {
    delay(1000);
}

```

```

for (int i = 1 ; i <= 160 ; i++) {
    step1();
    step2();
    step3();
    step4();
}

```

```
stopMotor();
```

```
delay(100);
```

```
pause();
```

```

for (int i = 1 ; i <= spin2 ; i++) { //2//
    step5();
    step6();
    step7();
    step8();
}

```

```
stopMotor();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pause();
for (int count = 0 ; count < Soaktime ; count++) {
    delay(1000);
}

```

```

for (int i = 1 ; i <= spin2 ; i++) {
    step8();
    step7();
    step6();
    step5();
}

```

```

stopMotor();
pause();
for (int count = 0 ; count < Drytime ; count++) {
    delay(1000);
}

```

```

for (int i = 1 ; i <= 160 ; i++) {
    step1();
    step2();
    step3();
    step4();
}

```

```

stopMotor();
delay(100);
pause();

```

```

for (int i = 1 ; i <= spin2 ; i++) { //3//
    step5();
    step6();
    step7();
    step8();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

stopMotor();
pause();
for (int count = 0 ; count < Soaktime ; count++) {
    delay(1000);
}

```

```

for (int i = 1 ; i <= spin2 ; i++) {
    step8();
    step7();
    step6();
    step5();
}

```

```

stopMotor();
pause();
for (int count = 0 ; count < Drytimefix ; count++) {
    delay(1000);
}

```

```

for (int i = 1 ; i <= 160 ; i++) {
    step1();
    step2();
    step3();
    step4();
}

```

```

stopMotor();
delay(100);
pause();

```

```

for (int i = 1 ; i <= spin2 ; i++) { //4//
    step5();
    step6();
    step7();
    step8();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
stopMotor();
pause();
for (int count = 0 ; count < Soaktime ; count++) {
  delay(1000);
}

```

```

for (int i = 1 ; i <= spin2 ; i++) {
  step8();
  step7();
  step6();
  step5();
}

```

```

stopMotor();
pause();
for (int count = 0 ; count < Drytime ; count++) {
  delay(1000);
}

```

```

for (int i = 1 ; i <= 800 ; i++) {
  step1();
  step2();
  step3();
  step4();
}

```

```

stopMotor();
delay(100);
pause();

```

```

Serial.print("Loops : ");

```

```

Serial.print(j);

```

```

Serial.print("/");

```

```

Serial.println(Loops);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}

//=====
=====

if (Mode == 1) {

    int TimeFullLoopsHr = ((2 * ((2 * 4 * 4 * 625 * 0.002) + ((4 * Soaktime) + (2 *
Drytime) + 1.05)) + (8 * 4 * 160 * 0.002)) * Loops) / 3600;
    int TimeFullLoopsMin = (((2 * ((2 * 4 * 4 * 625 * 0.002) + ((4 * Soaktime) + (2 *
Drytime) + 1.05)) + (8 * 4 * 160 * 0.002)) * Loops) / 3600) - TimeFullLoopsHr) * 60;
    Serial.print("Duration of process : ");
    Serial.print(TimeFullLoopsHr);
    Serial.print(" :");
    Serial.print(TimeFullLoopsMin);
    Serial.println(" hr.");

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Full Cycle mode ...");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Process: " + String(TimeFullLoopsHr) + " hr: " + String(TimeFullLoopsMin)
+ " min" );

    for (int j = 1 ; j <= Loops ; j++) {
        for (int i = 1 ; i <= 4 ; i++) {
            for (int i = 1 ; i <= spin2 ; i++) {
                step5();
                step6();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

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

for (int i = 1 ; i <= 160 ; i++) {
    step1();
    step2();
    step3();
    step4();
}
stopMotor();
delay(100);
pause();

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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    step6();
    step7();
    step8();
}
stopMotor();
pause();
for (int count = 0 ; count < Soaktime ; count++) {
    delay(1000);
}

for (int i = 1 ; i <= spin2 ; i++) {
    step8();
    step7();
    step6();
    step5();
}
stopMotor();
pause();
for (int count = 0 ; count < Drytime ; count++) {
    delay(1000);
}

for (int i = 1 ; i <= 160 ; i++) {
    step1();
    step2();
    step3();
    step4();
}
stopMotor();
delay(100);
pause();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

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

```

```

pause();
Serial.println("                R E S E T !!!!");
digitalWrite(53,LOW);
Serial.println("-----");
Serial.println("");

```

```

Loops = 0;
Mode = 0;
Soaktime = 0;
Drytime = 0;
// Serial.println("                R E S E T !!!!");
// digitalWrite(53,LOW);
//delay(3000);
// digitalWrite(53,HIGH);
start = 0;

```

```

} //START

```

```

} //loop

```

```

void buzzer ()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{  
digitalWrite(sound,HIGH);  
delay(50);  
digitalWrite(sound,LOW);  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 19 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า	นางสาวยุพาพร	ท่าทา	รหัสประจำตัว	57051018
	นายวุฒพล	ยังวิริยะกุล	รหัสประจำตัว	57051026
	นายวัชรพงษ์	การะเกษ	รหัสประจำตัว	57051027

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ ขอรับรองว่า  
โครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย ..... การพัฒนาเครื่องกลึงสำหรับฟิล์มบาง Cds

ชื่อภาษาอังกฤษ Development of dipping machine for Cds thin films

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น และได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน  
เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม  
โครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักษราวิสุทธิ 0.69 % หรือโปรแกรม Turnitin %

ลงชื่อ ยุพาพร ท่าทา ลงชื่อ วุฒพล ยังวิริยะกุล ลงชื่อ วัชรพงษ์ การะเกษ  
(นางสาวยุพาพร ท่าทา) (นายวุฒพล ยังวิริยะกุล) (นายวัชรพงษ์ การะเกษ)

ข้าพเจ้า ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ ของ  
นักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้  
เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ 

( ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข )

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ชนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้