การเตรียมพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวดด้วยวิธีเคลือบเขม่า

PREPARATION OF SUPERHYDROPHOBIC SURFACE BY CABON SOOT COATING

อมิตตา นิลชน

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวดด้วยวิธีเคลือบเขม่า
PREPARATION OF SUPERHYDROPHOBIC SURFACE BY CABON SOOT COATING

T149325

อมิตตา นิลชน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....149325
วัน, เดือน, ปี.....12 ก.พ. 2561

b.....12881818
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF SUPERHYDROPHOBIC SURFACE BY CABON SOOT COATING

AMITTA NELCHON

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
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การเตรียมพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวดด้วยวิธีเคลือบเขม่า Preparation of Superhydrophobic Surface by Carbon Soot Coating
ชื่อนักศึกษา	นางสาวอมิตตา นิลชน รหัสนักศึกษา 56051243
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พิศาล สุขวิสูตร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก ประธานกรรมการ	
ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข กรรมการ	
ผศ.ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การเตรียมพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวดด้วยวิธีเคลือบเขม่าคาร์บอน

ชื่อนักศึกษา นางสาวอมิตตา นิลชน รหัสนักศึกษา 56051243

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พิศาล สุขวิสูตร

บทคัดย่อ

การศึกษานี้รายงานการสร้างสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดด้วยวิธีการเคลือบด้วยเขม่าคาร์บอนแบบเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะ การเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะเขม่าของคาร์บอนจะใช้เยื่อกาว และ แว็กซ์จากเทียนไขเป็นตัวยึดเกาะในการทดลอง ได้สร้างชุดเครื่องเคลือบที่ประกอบขึ้นจาก ลิเนียไกด์ สเต็ปปิ่งมอเตอร์ บอร์ดอาร์ดูโน (Aduino board) หม้อแปลงไฟฟ้า และ คอมพิวเตอร์ ชุดเครื่องเคลือบนี้จะมีการควบคุมผ่านโปรแกรมแล็ปวิว (LabVIEW) ให้สามารถควบคุมจำนวนชั้น และความเร็วในการเคลือบอย่างอัตโนมัติ จำนวนชั้นในการเคลือบเขม่าจะอยู่ในช่วง 1-20 ชั้น และความเร็วการเคลือบเขม่ามีค่า 1-5 เซนติเมตร ต่อ วินาที นอกจากนี้การนี้การใช้เยื่อกาวยึดติดเขม่าคาร์บอน มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้แว็กซ์จากเทียนไข เพราะมุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวที่เยื่อกาวมีค่ามากกว่ามุมสัมผัส ผลการทดลองการเคลือบด้วยเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว และ แว็กซ์จากเทียนไขแสดงให้เห็นว่า จำนวนชั้นในการเคลือบ และ ความเร็วในการเคลือบมีอิทธิพลต่อการเกิดความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด เมื่อทำการเคลือบเขม่าคาร์บอนจำนวนหลายๆชั้นจะ ทำให้เกิดความไม่ชอบน้ำมากกว่า การเคลือบเขม่าคาร์บอนจำนวนชั้นน้อย ๆ ส่วนความเร็วในการเคลือบนั้นยิ่งความเร็วช้าจะทำให้เกิดความไม่ชอบน้ำมากกว่าการใช้ความเร็วในการเคลือบเร็ว เนื่องจากการเคลือบด้วยเขม่าคาร์บอนเพียงอย่างเดียว ทำให้เขม่าคาร์บอนหลุดติดหยดน้ำ เพราะมีคุณสมบัติทำความสะอาดตัวเอง จึงต้องมีการพัฒนาการยึดเกาะของเขม่าคาร์บอน

คำสำคัญ : ซุปเปอร์ไฮโดรโฟบิก ,เขม่าคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Preparation of Superhydrophobic Surface by Carbon Soot Coating
Students	Miss Amitta Nelchon Student ID 56051243
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang(KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Dr.Pisan Sukwisute

Abstract

This study has reported a creation of Superhydrophobic property by Carbon soot coation with sticky ablity enhancement. The increase of adhesion efficiency of Carbon soot is achievable by using double side tape and wax from candle as adhesive substance. In an experiment, a coating machine was constructed from linear guide, stepping motor, Arduino board, transfomer, and computer. The machine was controlled by LabVIEW program in order to manage automatically amount of layer and speed of coating. The amount of coating layer and coating speed was set 1-20 layers and 1-5 cm/s, respectively. The result sheds that the coating layer and speed influence on the Soperhydrophobic property of coating surfaces. Water contact angle increase with the coating layer snd it is opposite otherwise in the coating speed. In addition, Carbon soot coating with double side tape has higher Superhydrophobicity than that with candle wax because the coating surface with the tape displays layer water contact angle.

Keywords : Superhydrophobic, Carbon soot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาจัดทำโครงงานพิเศษในหัวข้อเรื่อง การเตรียมพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวดด้วยวิธีเคลือบเขม่าคาร์บอน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต เพื่อศึกษาปัจจัยและอิทธิพลการเกิดคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด รวมไปถึงการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการยึดเกาะเขม่าด้วยคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาวและแว็กซ์จากเทียนไข ทั้งนี้ในการจัดทำโครงงานพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด

ขอขอบคุณ ดร.พิศาล สุขวิสูตร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำรวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องรวมทั้งคอยเตือนสติและให้กำลังใจ ซึ่งเป็นแรงผลักดันให้ผู้จัดทำมีความมานะและพยายามที่จะทำโคตรงานพิเศษนี้ให้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ อาจารย์วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูงที่ให้คำปรึกษาและสถานที่ในการทำงานตลอดจนถึงพี่นักศึกษาระดับปริญญาโทที่ช่วยเหลือให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์การทดลอง และคอยดูแลเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อนที่รักทุกๆคน ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือส่งเสริมและสนับสนุน คณะผู้จัดทำโคตรงานทำให้มีกำลังใจในการศึกษาและลงมือปฏิบัติทำตัวชิ้นงาน จนสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

อมิตตา นิลชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
คำย่อและสัญลักษณ์	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ซุปเปอร์ไฮโดรโฟบิก (Superhydrophobic)	3
2.2 การจำแนกพื้นผิวของหยดน้ำ	4
2.3 หลักการทำความสะอาดตัวเอง	5
2.4 ขั้นตอนเชื่อมต่อบอร์ด Arduino UNO กับคอมพิวเตอร์	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ	11
3.2 การดำเนินงานวิจัย	12
3.2.1 การออกแบบและประกอบวงจรควบคุมการเคลือบสาร	12
3.2.2 การเขียนโปรแกรมควบคุมชุดเคลือบสารด้วยโปรแกรม LabVIEW	14
3.2.3 การสร้างพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำด้วยเขม่าคาร์บอนบนกระจกสไลด์ร่วมกับเยื่อกาว	17
3.2.4 การสร้างพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำด้วยเขม่าคาร์บอนบนกระจกสไลด์ร่วมกับแว็กซ์จากเทียนไข	18
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	
4.1 ผลการประกอบเครื่องและการเขียนโปรแกรม	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.1 การประกอบชุดเคลือบเขม่าคาร์บอน	20
4.1.2 ผลการทดสอบการทำงานของชุดเคลือบเขม่าคาร์บอน	21
4.2 ผลจากการเคลือบเขม่าคาร์บอนด้วย	21
4.2.1 ตารางแสดงผลของมุมสัมผัสด้วยที่ความเร็วต่างๆในแต่ละจำนวนชั้น โดยเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว	21
4.2.2 ตารางแสดงผลของมุมสัมผัสด้วยที่ความเร็วต่างๆในแต่ละจำนวนชั้น โดยเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว๊กซ์จากเทียนไขร่วมด้วย	25
4.3 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัส	28
4.3.1 ตารางแสดงค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัสของเขม่ากับอากาศของเขม่าคาร์บอน	28
4.4 ภาพการเคลือบเขม่าคาร์บอน	28
4.4.1 ผลการเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว	29
4.4.2 ผลการเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว๊กซ์จากเทียนไข	34
4.4.3 ภาพพื้นผิวเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว	39
4.4.4 ภาพพื้นผิวเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว๊กซ์จากเทียนไข	44
4.5 ผลการทำการเคลือบเขม่าคาร์บอน	49
บทที่ 5 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 ผลที่ได้จากการทำโครงงาน	50
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	50
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ	50
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงโครงสร้างพื้นผิวใบบัว	3
2.2 หยดน้ำสามารถพาสิ่งสกปรกออกจากผิวใบบัวได้	4
2.3 แสดงการเปียกและมุมสัมผัสค่าต่างๆ	5
2.4 มุมสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็ง หยดน้ำ และ อากาศรอบๆ และแรงตึงผิวที่เกี่ยวข้อง	6
2.5 โปรแกรม VI Package Manager (VIPM	7
2.6 ติดตั้งโปรแกรมที่ใช้กับบอร์ด Arduino	8
2.7 รูปตัวโปรแกรม LINX package	8
2.8 การตั้งค่าโปรแกรม LabVIEW และ LINX	9
2.9 Firmware LINX	9
2.10 รูปหลังจากลง Firmware เสร็จ	10
2.11 เริ่มโปรแกรม LabVIEW	10
3.1 เป็นภาพแสดงวงจรจากด้านบนของชุดวงจรเคลือบสาร	12
3.2 แสดงถึงชุดควบคุมการเคลือบสารทั้งหมด	12
3.3 การต่อวงจรจากบอร์ด Arduino เข้ากับ AND Gate 7408	13
3.4 ภาพรวมของชุดควบคุมการเคลือบสาร	14
3.5 แสดงการเขียนโปรแกรม	15
3.6 หน้าต่าง Front panel ที่ใช้ควบคุมชุดการเคลือบสาร	15
3.7 เป็นแผนผังการทำงานในส่วนก่อนเริ่มกด START	16
3.8 เป็นแผนผังการทำงานในส่วนหลังจากกดSTART จนถึงสิ้นสุด	16
3.9 เป็นภาพแสดงเกี่ยวกับการล้างทำความสะอาดกระจกสไลด์โดยล้างกับน้ำยาทำความสะอาด	18
3.10 แสดงการทำความสะอาดบนเครื่องทำความสะอาดถวามถี่อัลตร้าโซนิค	18
4.1 ตัวเครื่องที่ประกอบชุดควบคุมการเคลือบเขม่าคาร์บอน	20
4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมสัมผัสกับจำนวนในการเคลือบเขม่าคาร์บอนที่มีเยื่อกาวร่วมด้วย	24
4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมสัมผัสกับจำนวนในการเคลือบเขม่าคาร์บอนที่มีแว๊กซ์จากเทียนไขร่วมด้วย	27
4.4 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 1 เซนติเมตร ต่อ วินาที	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 2 เซนติเมตร ต่อ วินาที	30
4.6 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 3 เซนติเมตร ต่อ วินาที	31
4.7 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 4 เซนติเมตร ต่อ วินาที	32
4.8 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 5 เซนติเมตร ต่อ วินาที	33
4.9 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 1 เซนติเมตร ต่อ วินาที	34
4.9 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 2 เซนติเมตร ต่อ วินาที	35
4.10 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 3 เซนติเมตร ต่อ วินาที	36
4.11 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 4 เซนติเมตร ต่อ วินาที	37
4.12 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 5 เซนติเมตร ต่อ วินาที	38
4.13 ภาพพื้นผิวเขม่า ที่ความเร็ว 1 เซนติเมตร ต่อ วินาที	39
4.14 ภาพพื้นผิวเขม่า ที่ความเร็ว 2 เซนติเมตร ต่อ วินาที	40
4.15 ภาพพื้นผิวเขม่า ที่ความเร็ว 3 เซนติเมตร ต่อ วินาที	41
4.16 ภาพพื้นผิวเขม่า ที่ความเร็ว 4 เซนติเมตร ต่อ วินาที	42
4.17 ภาพพื้นผิวเขม่า ที่ความเร็ว 5 เซนติเมตร ต่อ วินาที	43
4.18 ภาพพื้นผิวเขม่า ที่ความเร็ว 1 เซนติเมตร ต่อ วินาที	44
4.19 ภาพพื้นผิวเขม่า ที่ความเร็ว 2 เซนติเมตร ต่อ วินาที	45
4.20 ภาพพื้นผิวเขม่า ที่ความเร็ว 3 เซนติเมตร ต่อ วินาที	46
4.21 ภาพพื้นผิวเขม่า ที่ความเร็ว 4 เซนติเมตร ต่อ วินาที	47
4.22 ภาพพื้นผิวเขม่า ที่ความเร็ว 5 เซนติเมตร ต่อ วินาที	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางความจริง IC 7408	14
4.1 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 1 เซนติเมตรตอวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น	21
4.2 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น	22
4.3 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น	22
4.4 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 4 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น	23
4.5 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น	23
4.6 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น	25
4.7 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น	25
4.8 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น	26
4.9 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 4 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น	26
4.10 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น	27
4.11 ตารางแสดงค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัสของเขม่ากับอากาศของเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว	28
4.12 ตารางแสดงค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัสของเขม่ากับอากาศของเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว๊กซ์จากเทียนไข	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
cm/s	เซนติเมตร ต่อ วินาที
V	โวลต์
mm	มิลลิเมตร
CW	ตามเข็มนาฬิกา
CCW	ทวนเข็มนาฬิกา
0°	ศูนย์องศา
μm	ไมโครเมตร
cm	เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้มีวัสดุพอลิเมอร์ที่มีขนาดเล็กถูกนำมาทำการเคลือบให้มีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำยิ่งยวดอย่างมาก และได้มีการนำวัสดุเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ในหลายสาขาด้วยกัน โดยเราให้ความสนใจอย่างมากในด้านทำความสะอาดตัวเอง การเคลือบผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (superhydrophobic coating) โดยเราสนใจไปที่การเคลือบเขม่าคาร์บอน เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย และราคาถูก ซึ่งสังเกตได้ว่าเขม่าคาร์บอนที่เกาะอยู่บนกระจกสไลด์นั้น ยังยึดเกาะกันไม่แข็งแรง เมื่อเราทำการหยดน้ำไปหลายๆครั้งเขม่าก็จะหลุดติดออกมาและทำให้ประสิทธิภาพในการไม่ชอบน้ำยิ่งยวดลดลง เราจึงได้มีการศึกษาเพิ่มเติมทางด้านการเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของเขม่าและเพิ่มประสิทธิภาพในการไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (superhydrophobic) และเราได้ทำการสร้างชุดควบคุมการทดลองโดย เราจะทำการควบคุมผ่าน LabVIEW เพื่อการเคลือบเขม่าที่สม่ำเสมอ และทำจำนวน3 เงื่อนไข โดยเริ่มจากการเคลือบเขม่าบนกระจกสไลด์ การเคลือบเขม่าคาร์บอนโดนมีเยื่อกาวมาติดและการเคลือบเขม่าโดยมีแว๊กซ์จากเทียนไข และทำการหยดน้ำและสังเกตมุมต่างๆ เพื่อนำไปสร้างเป็นชิ้นงานที่ให้ประโยชน์และมีราคาไม่แพงในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างพื้นผิวไม่ชอบน้ำยิ่งยวดโดยใช้วิธีการเคลือบผิวด้วยเขม่าคาร์บอน
2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพพื้นผิวการไม่ชอบน้ำยิ่งยวดที่ใช้วิธีการเคลือบ 2 แบบ เขม่าคาร์บอนร่วมกับกาวสองหน้า และเขม่าคาร์บอนผสมแว๊กซ์จากเทียนไข

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการเคลือบผิวด้วยเขม่าคาร์บอนที่ 1 2 3 4 และ 5 cm/s
2) ศึกษาจำนวนชั้นที่มีผลต่อการไม่ชอบน้ำยิ่งยวด 1 2 3 4 6 8 10 12 16 และ 20 ชั้น
3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพพื้นผิวการไม่ชอบน้ำยิ่งยวดที่ใช้วิธีการเคลือบ 3 แบบ เขม่าคาร์บอน เขม่าคาร์บอนร่วมกับกาวสองหน้า และเขม่าคาร์บอนผสมแว๊กซ์จากเทียนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาทฤษฎีและหลักการเบื้องต้นของการเคลือบสาร และโปรแกรม LabVIEW
2) ทำการติดตั้งโปรแกรม LabVIEW และทำการเคลือบเขม่าคาร์บอนด้วยวิธีสองวิธี คือ เคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว และ เคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว็กซ์จากเทียนไข
3) ทำการวัดมุม contact angle ด้วยเครื่อง contact angle และทำการถ่ายภาพหยดน้ำจากกล้องกำลังขยายสูง
4) นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยึดเกาะของเขม่าคาร์บอนของทั้งสองวิธี
5) สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้รับความรู้ในการสร้างพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวด ซึ่งมีสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง

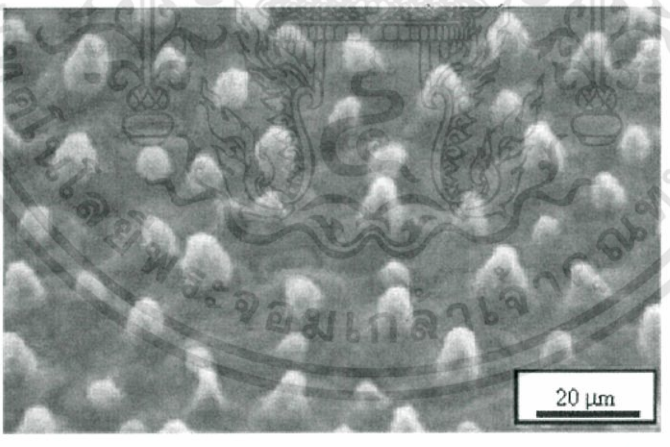
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้เป็นการกล่าวถึงความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำโครงงานพิเศษซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ซุปเปอร์ไฮโดรโฟบิก (Superhydrophobic)

ลักษณะน้ำกลิ้งบนใบบัวเป็นสิ่งที่มนุษย์เห็นและรู้จักมานานหลายร้อยปีแล้ว แต่การศึกษาใบบัวเพื่อหาคำอธิบายเริ่มต้นในช่วงทศวรรษที่ 1970 โดยดร.วิลเฮล์ม บาร์ทโลทท์ (Wilhelm Barthlott) นักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมันจากมหาวิทยาลัยแห่งบอนน์ (University of Bonn) พบว่า ในระหว่างการเตรียมตัวอย่างใบพืชเพื่อศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูงนั้น พืชบางชนิด เช่น บัว แทบจะไม่ต้องนำมาผ่านกระบวนการทำความสะอาดเลย ซึ่งสำหรับตัวอย่างวัตถุทั่วไปที่จะนำมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูงระดับกำลังขยาย 10,000 ถึง 100,000 เท่านั้น จำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำความสะอาด หรือเตรียมพื้นผิวเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกให้หมดจดก่อน เพราะที่ระดับกำลังขยายภาพสูง อณูสิ่งสกปรกขนาดเล็กจะกลายเป็นของชิ้นใหญ่ที่สามารถบดบังภาพในบริเวณที่ศึกษาได้



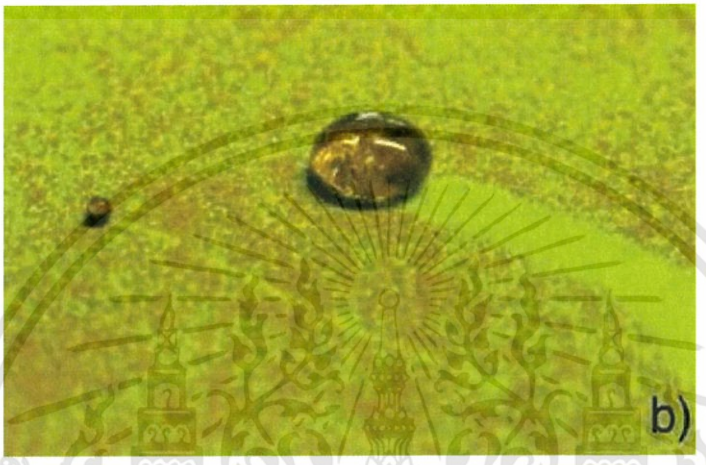
รูป 2.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงโครงสร้างพื้นผิวใบบัว

ผลการศึกษาผิวใบบัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ดร.วิลเฮล์ม บาร์ทโลทท์ พบว่า โครงสร้างระดับจุลภาคของใบบัวมีตุ่มขนาดประมาณ 5 - 20 ไมโครเมตรจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วใบ แต่ละตุ่มอยู่ห่างกันราว 20 - 40 ไมโครเมตร และตุ่มเหล่านั้นมีสารลักษณะเป็นไขหรือขี้ผึ้ง (wax) ปกคลุมอยู่ด้านบน ซึ่งธรรมชาติของสารประเภทขี้ผึ้งหรือไขจะมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) สังเกตได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปทรงหยดน้ำที่ถูกหยอดลงไป หยดน้ำจะมีลักษณะนูน (ในทางตรงข้ามรูปทรงของหยดน้ำที่อยู่บนสารมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) จะมีลักษณะแผ่แบน)

เมื่อสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำผนวกกับพื้นผิววัสดุที่มีโครงสร้างตุ่มขนาดเล็ก จำนวนมาก จึงทำให้พื้นผิวใบบัวกลายเป็นผิวที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (superhydrophobic) โดยหยดน้ำจะปรากฏรูปทรงลักษณะเม็ดกลมนูนสามารถกลิ้งจากตำแหน่งหนึ่งไปตำแหน่งอื่นได้อย่างโดยง่าย



รูปที่ 2.2 หยดน้ำสามารถพาสิ่งสกปรกออกจากผิวใบบัวได้
(ที่มา : https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/919-)

เช่นเดียวกับหยดน้ำ เศษผงหรือสิ่งสกปรกต่างๆ บนใบบัวก็ไม่สามารถเกาะบนผิวใบบัวได้เช่นกัน เพราะโครงสร้างตุ่มขนาดเล็กระดับจุลภาคจะลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างใบบัวกับสิ่งสกปรก ทำให้แรงยึดเกาะของสิ่งสกปรกมีน้อยมากกระทั่งหยดน้ำสามารถดึงสิ่งสกปรกติดออกไปได้อย่างง่ายดาย ซึ่งนี่คือ หลักการทำงานของพื้นผิวที่มีสมบัติทำความสะอาดด้วยตนเองได้

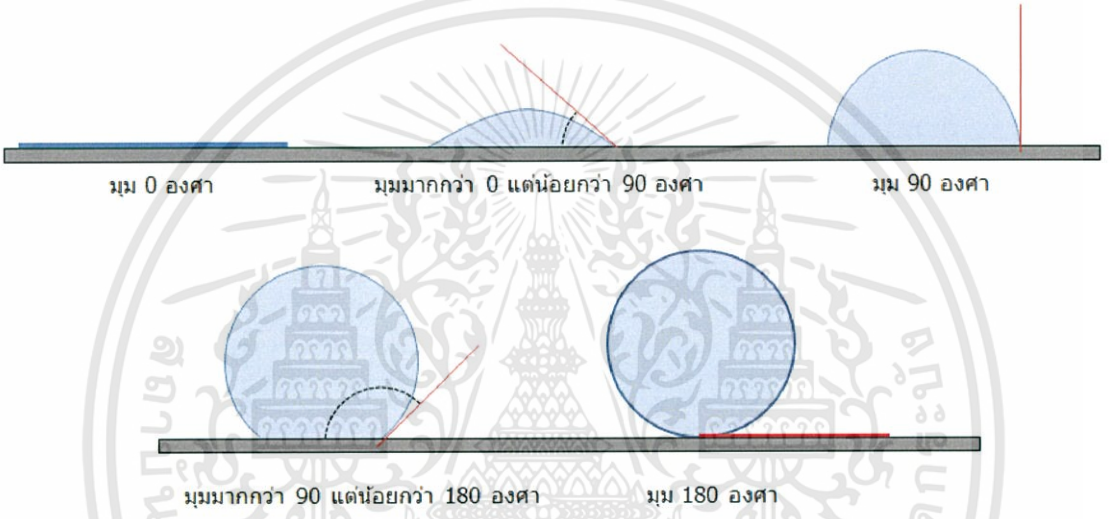
2.2 การจำแนกพื้นผิวของหยดน้ำ

ในการพิจารณาการเปียกของของเหลวบนผิวของของแข็ง สภาพสมดุลของแรงสองแรงจะนำไปสู่ปริมาณที่สำคัญอีกปริมาณหนึ่ง ที่นิยมใช้วัดความเปียกเรียกว่า มุมสัมผัส (contact angle) คือมุมระหว่างหยดของของเหลววัดเทียบกับผิววัสดุ ณ จุดที่ผิวทั้งสองเกาะติดกัน และนักวิทยาศาสตร์ใช้เจ้ามุมนี้เป็นเกณฑ์แบ่งการเปียกของเหลวบนของแข็งว่าเปียกได้ดีหรือไม่ดี เกณฑ์มีดังนี้

1) มุมสัมผัสเท่ากัน 0 องศา คือการเปียกอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นกรณีที่แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมากๆ เมื่อของเหลวถูกหยดลงบนผิว ของเหลวจะกระจายไปตามผิวของของแข็งจนกลายเป็นชั้นของของเหลวบางๆ คลุมพื้นผิวของของแข็งเป็นบริเวณกว้างที่สุด
2) มุมสัมผัสมีค่าระหว่าง 0 ถึง 90 องศา คือ เกิดการเปียกได้ดี ของเหลวจะกระจายไปบนผิวได้เป็นบริเวณกว่าง แต่ก็ยังคงเกาะกันเป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อยจากผิวของของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) มุมสัมผัสมีค่าตั้งแต่ 90 แต่ไม่ถึง 180 องศา เรียกว่าผิวเปียกยาก คือของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม จะมีบริเวณเล็กๆ ที่ฐานของหยดที่ของเหลวยังคงแตะกับผิวของแข็ง
4) มุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 180 องศา เรียกว่า ผิวไม่เปียก เกิดขึ้นเมื่อแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมากๆ ดังนั้นเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลม บริเวณที่ของเหลวแตะกันผิวของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลม ซึ่งเล็กมากจนแทบจะเป็นจุด เมื่อเป็นแบบนี้ ของเหลวสามารถกลิ้งไปมาบนผิวได้อิสระเหมือนลูกบอลกลิ้งบนพื้นเรียบ



รูปที่ 2.3 แสดงการเปียกและมุมสัมผัสค่าต่างๆ
(ที่มา : http://www.vcharkarn.com/varticle/43544)

2.3 หลักการทำความสะอาดตัวเอง

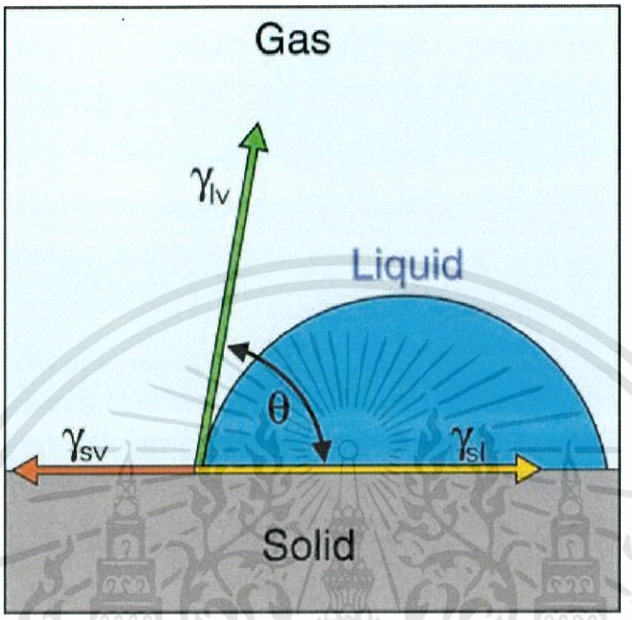
หลักการการทำความสะอาดตัวเองนั้น ที่พื้นผิวฉลาดที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้นี้ใช้หลักเกณฑ์ที่แตกต่างกันสองข้อ อย่างแรกคือความชอบน้ำยิ่งยวด และอย่างที่สองคือความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทนำ การที่น้ำอยู่บนพื้นผิวใดๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการยัง (Young's equation) ที่เสนอในปี ค.ศ. 1807 ความสัมพันธ์คือ

$$\gamma_{SL} - \gamma_{SV} + \gamma_{LV}\cos\theta = 0$$

โดยสมการอธิบายมุมสัมผัส (contact angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็ง หยดน้ำ และอากาศรอบๆ และแรงตึงผิวที่เกี่ยวข้อง (Lai, 2003; Ma and Hill, 2006; Shaw, 1992) ค่า *SL*, *SV*, *LV* คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานพื้นผิว ร่วม (interfacial energy) ระหว่างของแข็ง - ของเหลว, ของแข็ง - อากาศ และของเหลว - อากาศ ตามลำดับ



รูป 2.4 มุมสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็ง หยดน้ำ และ อากาศรอบๆ และแรงตึงผิวที่เกี่ยวข้อง

(ที่มา : http://digital_collect.lib.buu.ac.th/journal/Science/v16n1/124-130.pdf)

การที่จะทราบว่าพื้นผิวมีความไม่ชอบน้ำมากน้อยเพียงใด สามารถดูได้จากสัดส่วนพื้นที่สัมผัสของรูพรุนกับอากาศ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ ดังนี้

$$\cos\theta_r = f_1 \cos\theta - f_2$$

จากสมการนั้นจะสามารถหาค่า สัดส่วนพื้นที่สัมผัสของรูพรุนกับอากาศ ซึ่งบ่งบอกถึงคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำได้ โดยการคำนวณหาค่าและนำค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัสของรูพรุนกับอากาศ (f_2) ของแต่ละเงื่อนไข มาเปรียบเทียบกันหากค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัสของรูพรุนกับอากาศ (f_2) เงื่อนไขใดมีค่ามากกว่า แสดงว่าเงื่อนไขนั้นจะมีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำมากกว่า

โดย θ_r คือ มุมสัมผัสที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด

θ คือ มุมสัมผัสของน้ำบนพื้นผิวแกรไฟต์ เท่ากับ 86°

f_1 และ f_2 คือ สัดส่วนพื้นที่ที่สัมผัสของรูพรุนกับอากาศ

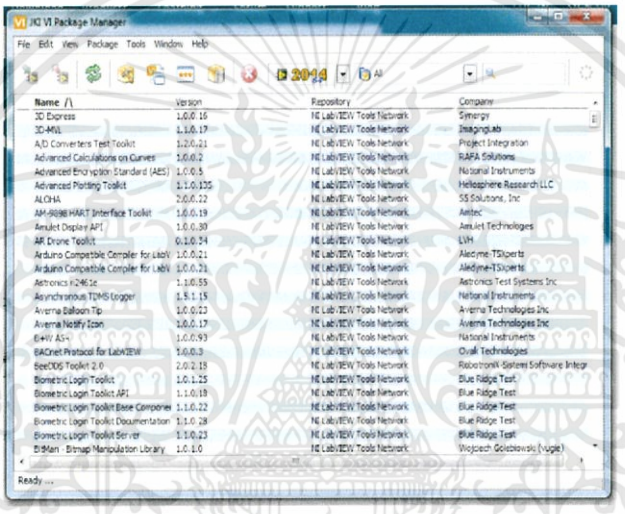
ซึ่ง $f_1 + f_2 = 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ขั้นตอนเชื่อมต่อบอร์ด Arduino UNO กับคอมพิวเตอร์

บอร์ด Arduino UNO เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย มีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

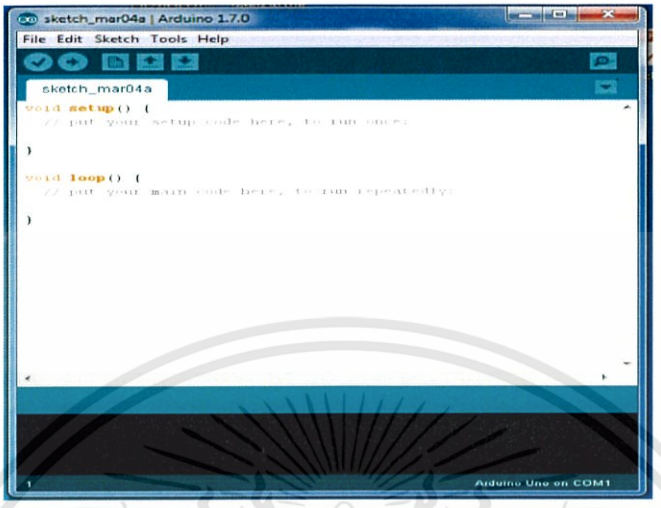
1) ทำการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรม LabVIEW
2) ทำการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรม NI-VISA
3) เปิดโปรแกรม VI Package Manager (VIPM) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โปรแกรม VI Package Manager (VIPM)

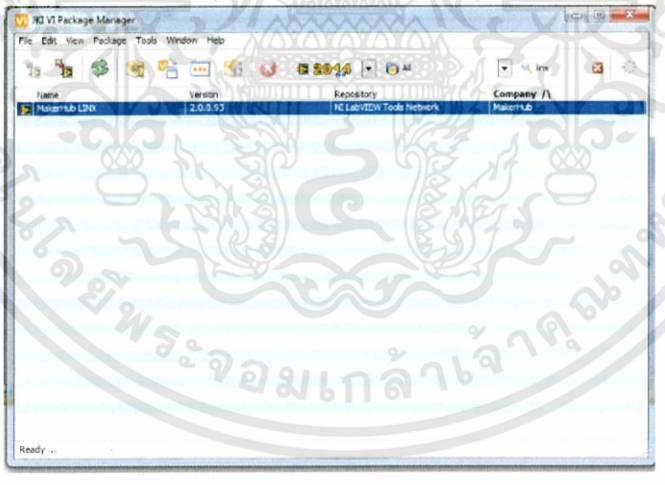
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ทำการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมที่ใช้กับบอร์ด Arduino ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ติดตั้งโปรแกรมที่ใช้กับบอร์ด Arduino

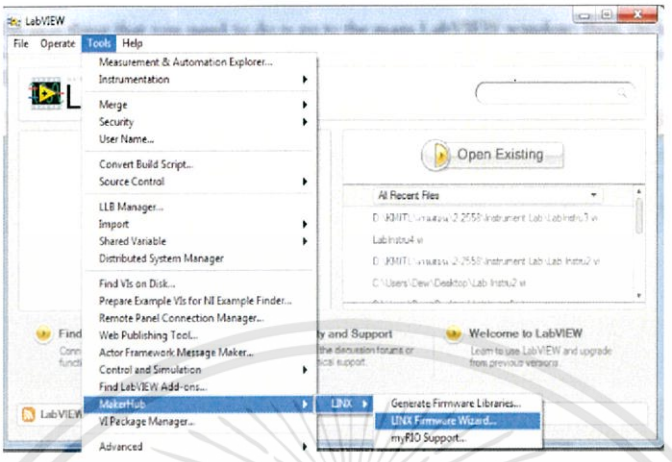
5) ลงโปรแกรม LINX package และ LINX package เพื่อเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รูปตัวโปรแกรม LINX package

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ตั้งค่าโปรแกรม LabVIEW และ LINX ดังรูปที่ 2.8



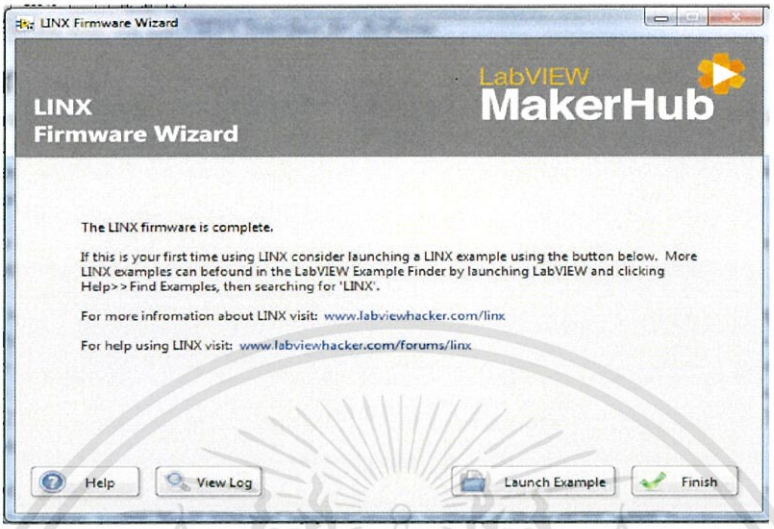
รูปที่ 2.8 การตั้งค่าโปรแกรม LabVIEW และ LINX

7) ลง Firmware ของ LINX ที่ใช้กับบอร์ด Arduino

รูปที่ 2.9 Firmware LINX

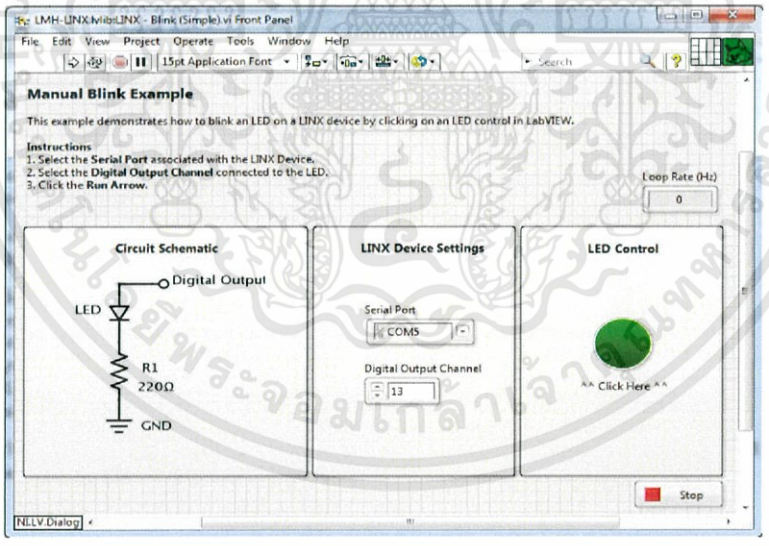
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) รอจนกระทั่งลง Firmware เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 2.10 รูปหลังจากลง Firmware เสร็จ

9) ทำการเปิดโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 2.11 เริ่มโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

บทนี้เป็นการกล่าวถึงกระบวนการทำงานในแต่ละขั้นตอนตั้งแต่การจัดซื้ออุปกรณ์ การออกแบบการต่อวงจร ขั้นตอนการเคลือบเขม่าในเงื่อนไขต่างๆที่เคลือบด้วยเยื่อกาวและแว๊กซ์จากเทียนไข

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

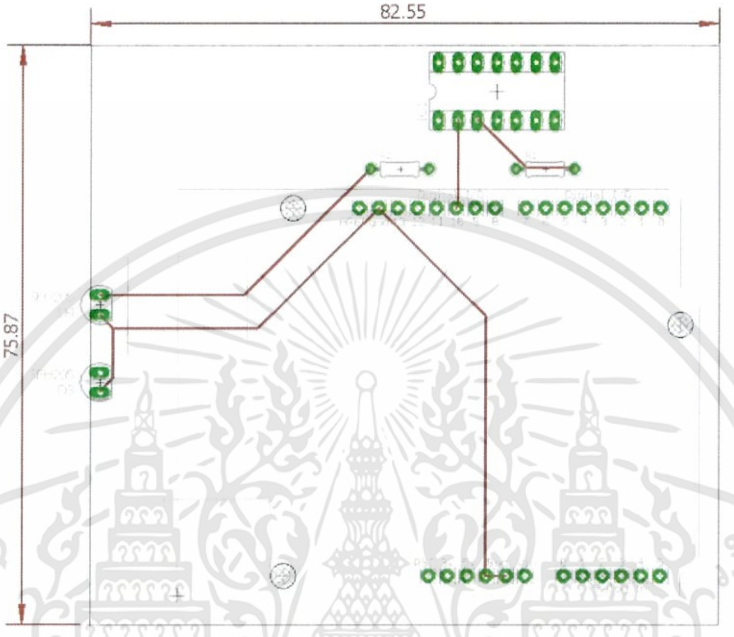
1) ตัวเครื่องที่ติดตั้งตัวเลื่อนเข็ม
2) หม้อแปลง 220V เป็น 110V
3) วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4) เข็มฉีดยาเสนผ่าศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร
5) แผ่นสไลด์ ขนาก 1*3 นิ้ว
6) หลอดฉีดยา 10 มิลลิลิตร
7) ฟอร์เซป
8) บีกเกอร์
9) อะซิโตน
10) เอททานอล
11) เยื่อกาว
12) แว๊กซ์จากเทียนไข
13) กล่องใส่กระจกสไลด์
14) เครื่อง contact angle
15) เครื่องทำความสะอาดความถี่สูงด้วยความถี่อัลตร้าโซนิค
16) เทปใส
17) ซันไลท์
18) ฟองน้ำ
19) ทิชชู่
20) ที่เป่าเลนส์
21) เครื่องฟังก์ชั่นเจนเนเรเตอร์
22) คอมพิวเตอร์
23) บอร์ด Arduino
24) ไดร์ทเป่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การออกแบบและประกอบวงจรควบคุมการเคลือบสาร

1) ออกแบบวงจรด้วยโปรแกรม eagle วงจรรูปที่ 3.1

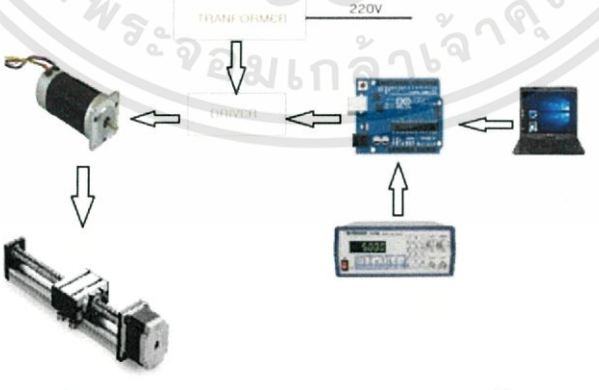


รูปที่ 3.1 เป็นภาพแสดงวงจรจากด้านบนของชุดวงจรเคลือบสาร

2) ประกอบวงจรดังข้อที่1) เข้ากับบอร์ด Arduino และบรรจุลงกล่อง

3) บรรจุลงกล่องวงจรควบคุมการเคลือบสาร

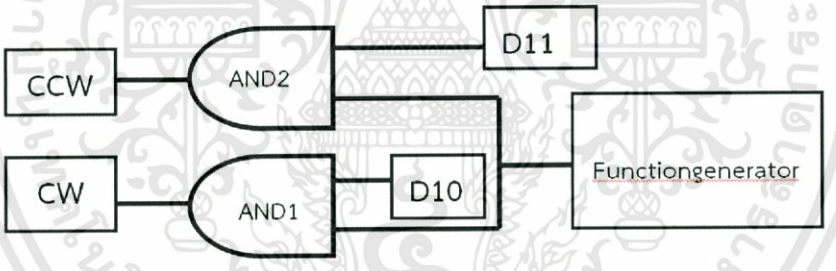
4) ประกอบชุดดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงถึงชุดควบคุมการเคลือบสารทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผังการติดตั้งอุปกรณ์ในรูปที่ 3.2 อธิบายได้ว่า หม้อแปลง (Transformer) จะแปลงไฟฟ้าจาก 220V เป็นไฟฟ้า 110V เพื่อป้อนไฟเลี้ยงให้กับตัว Driver ให้สามารถทำงานได้ เมื่อคอมพิวเตอร์ซึ่งได้มีการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมการเคลือบสารไว้ด้วย LabVIEW ส่งคำสั่งไปควบคุมบอร์ด ในส่วนของตัวคอมพิวเตอร์เราจะเขียนโปรแกรม LabVIEW ส่งคำสั่งไปควบคุมบอร์ด Arduino ให้สร้างสัญญาณเอาต์พุตดิจิตอลที่ช่อง 10 (DO10) และ 11 (DO11) สัญลักษณ์ทั้ง 2 นี้มาจากบอร์ด Arduino จะถูกส่งต่อไปยัง ไอซีเบอร์ 7408 ที่ประกอบด้วยแอนด์เกต (AND gate) 2 ตัว ขณะเดียวกันแอนด์เกตทั้ง 2 ก็จะได้รับสัญญาณดิจิตอลซึ่งเป็นสัญญาณ TTL จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function generator) (AND1 และ AND2) ดังรูป 3.3 โดยความถี่ของสัญญาณดิจิตอลนี้จะถูกใช้เพื่อปรับค่าความเร็วการเคลื่อนที่ในระนาบ กำหนดให้สัญญาณ DO10 เป็นสัญญานที่ใช้กำหนดทิศทางการหมุนของ สเต็ปปิ่งมอเตอร์ตามเข็มนาฬิกา (Clockwise, CW) และสัญญาณ D11 คือสัญญาณที่ใช้กำหนดทิศทางการหมุนของสเต็ปปิ่งมอเตอร์ทวนเข็มนาฬิกา (counterclockwise, CCW) สัญญาณ CW และ CCW ที่ถูกสร้างขึ้นที่ขา 3 และ 6 ของไอซี 7408 ตามลำดับ แล้วถูกส่งต่อไปยัง Driver ต่อไป ลักษณะสัญญาณลอจิกที่ป้อนให้และเกิดกับไอซี 7408 จะเป็นไปตามตารางที่ 3.1



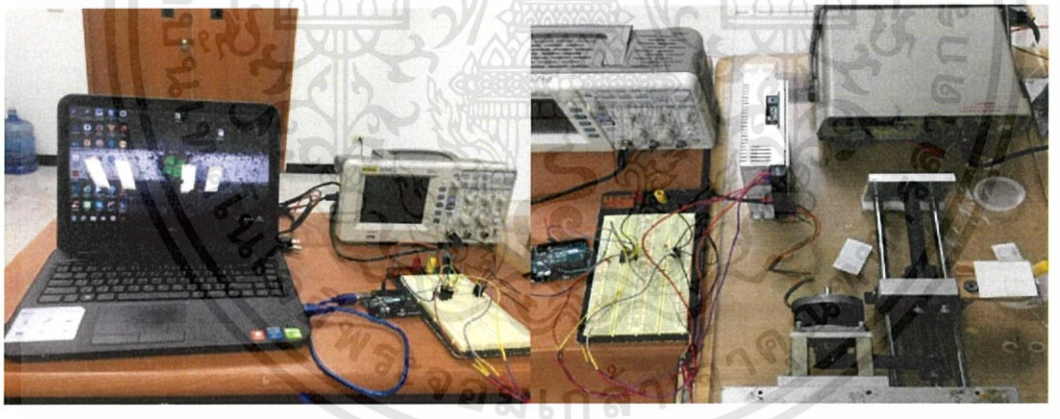
รูปที่ 3.3 การต่อวงจรจากบอร์ด Arduino เข้ากับ AND Gate 7408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางความจริงของไอซีเบอร์ 7408

ลอจิกสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ	AND GATE 1	CW	AND GATE 2	CCW
0	0	0	1	0
0	1	0	0	0
1	0	0	1	1
1	1	1	0	0

จากตารางที่ 3.1 พบว่าในกรณีที่ลอจิกจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็น 0 หรือไม่มีสัญญาณ CW และ CCW จะมีลอจิกเป็นศูนย์ซึ่งหมายถึงการไม่มีสัญญาณไปควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ่งมอเตอร์ แต่ในกรณีที่ลอจิกจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็น 1 นั้นลอจิกของ CW และ CCW จะมีค่าตรงข้ามกันเสมอ ดังนั้นเมื่อ Driver ได้รับสัญญาณ CW และ CCW จากไอซี 7408 ตัว Driver จะส่งสัญญาณไปขับเคลื่อนสเต็ปปิ่งมอเตอร์ให้หมุนเพียงด้านเดียวเท่านั้น ในขณะที่สเต็ปปิ่งมอเตอร์หมุนนั้น ลิเนียไกด์บอลสกรูซึ่งได้ติดตั้งที่ยึดจับกระจกสไลด์ไว้ก็จะเคลื่อนไปด้วยเพราะมีสายพานเชื่อมถึงกัน

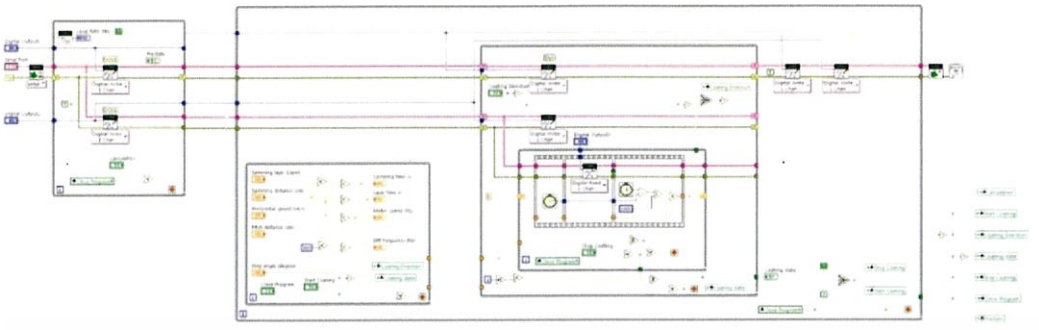


รูปที่ 3.4 ภาพรวมของชุดควบคุมการเคลือบสาร

3.2.2 การเขียนโปรแกรมควบคุมชุดเคลือบสารด้วยโปรแกรม LabVIEW

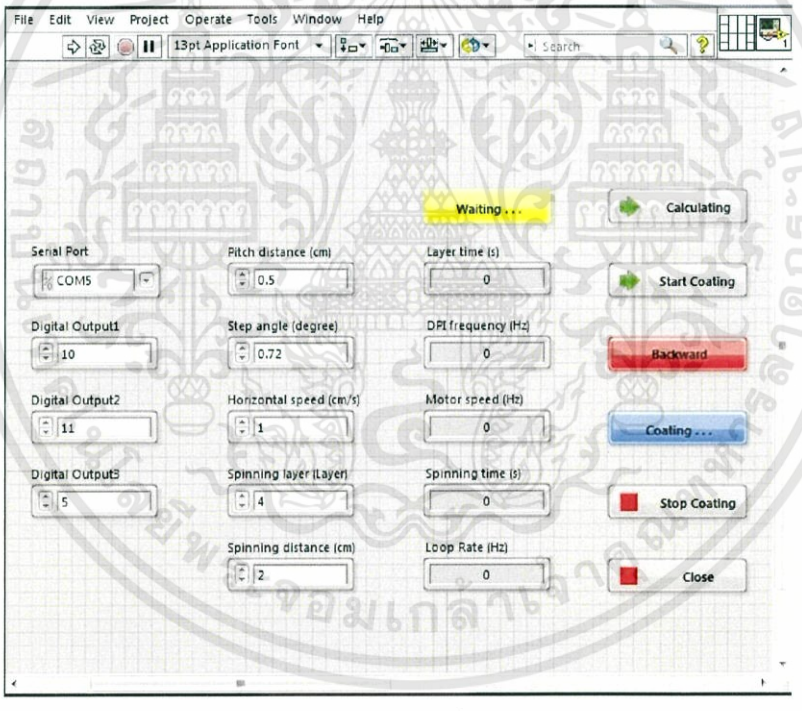
1) ติดตั้งโปรแกรม LINX package และ Firmware เพื่อควบคุมบอร์ด Arduino ผ่านโปรแกรม Labview โดยจะสร้างโปรแกรมให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าการทำงานแต่ละเงื่อนไขได้ เช่น ค่าความเร็วในแนวระนาบ (Horizontal moving speed) จำนวนรอบในการเคลื่อนที่ (Spinning layer) ระยะทางในการเลื่อนเข็ม (Spinning distance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการเขียนโปรแกรม

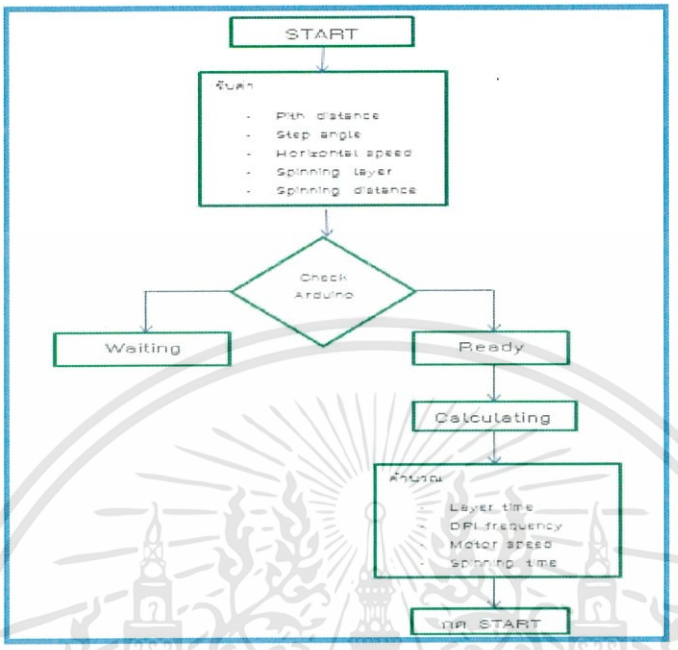
3) ออกแบบ Front panel สำหรับให้ผู้ใช้งานกำหนดค่าต่างๆควบคุมการทำงานของชุดทดลองเคลือบสาร



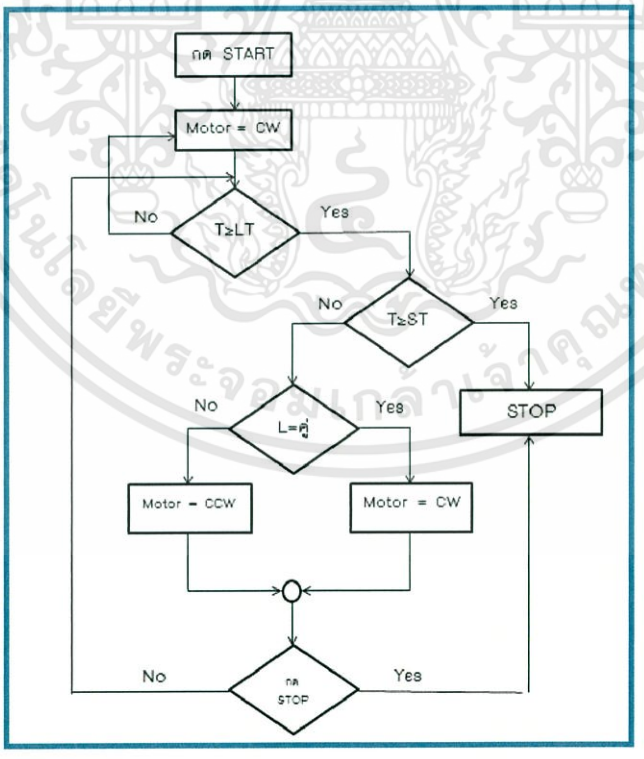
รูปที่ 3.6 หน้าต่าง Front panel ที่ใช้ควบคุมชุดการเคลือบสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ออกแบบผังการทำงาน ได้ดังนี้



รูปที่ 3.7 เป็นแผนผังการทำงานในส่วนก่อนเริ่มกด START



รูปที่ 3.8 เป็นแผนผังการทำงานในส่วนหลังจากกด START จนถึงสิ้นสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$\frac{\text{Spining layer (SL)} \times \text{Spinning distance (SD)}}{\text{Horizontal moving speed (HMS)}} = \text{Spinning time (ST)} \qquad (3.1)$$

$$\frac{\text{Spinning distance (SD)}}{\text{Horizontal moving speed (HMS)}} = \text{Layer time (LT)} \qquad (3.2)$$

$$\frac{\text{Horizintal moving speed (HMS)}}{\text{Pith distance (PD)}} = \text{Motor rotation speed} \qquad (3.3)$$

$$\frac{\dfrac{\text{Horizintal moving speed (HMS)}}{\text{Pith distance (PD)}}}{\text{Step angle (SA)}} \times 360 = \text{Drive pulse input frequency} \qquad (3.4)$$

โดย

Spinning layer (SL)	คือ	จำนวนรอบในการเคลื่อนที่
Spinning distance (SD)	คือ	ระยะทางในการเลื่อนเข็ม
Spinning time (ST)	คือ	เวลาในการเคลื่อนที่ทั้งหมด
Horizontal moving speed (HMS)	คือ	ความเร็วในแนวระนาบ
Layer time (LT)	คือ	เวลาในการเคลื่อนที่ 1 Layer
Pitch distance (PD)	คือ	ค่าระยะห่างระหว่างเกลียวมีค่าเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร
Step angle (SA)	คือ	มุมในการหมุนของสเต็ปมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 0.7 องศา
Drive pulse input frequency	คือ	ค่าความถี่ขาเข้าที่ต้องใส่ให้กับระบบ

3.2.3 การสร้างพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำด้วยเขม่าคาร์บอนบนกระจกสไลด์ร่วมกับเยื่อกาว

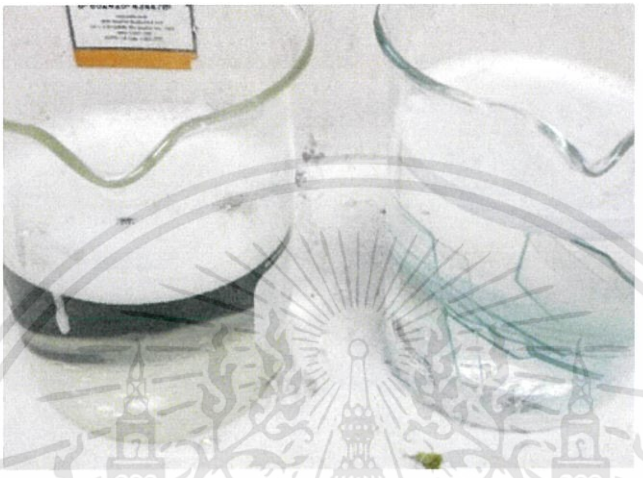
1) นำกระจกสไลด์ขนาด 1x3 นิ้ว มาติดด้วยเยื่อกาวในบริเวณที่ต้องการจะทำกาเคลือบเขม่า
2) ทำการลอกแผ่นที่ติดกับเยื่อกาวออกก่อนจะทำการเคลือบเขม่าคาร์บอน
3) นำไปติดตั้งบนแท่นวาง บริเวณ Linear slide
4) ใส่เงื่อนไขที่ต้องการในโปรแกรม LabVIEW
5) เมื่อทำการเคลือบเสร็จ จึงนำไปวัดมุมสัมผัสด้วยเครื่องวัด Contact angle
6) ทำการเก็บค่า และ บันทึกผล

149325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การสร้างพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำด้วยเขม่าคาร์บอนบนกระจกสไลด์ร่วมกับแว็กซ์จากเทียนไข

1) นำกระจกสไลด์มาทำความสะอาด โดยการล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาดคราบสกปรกก่อน



รูปที่ 3.9 เป็นภาพแสดงเกี่ยวกับการล้างทำความสะอาดกระจกสไลด์โดยล้างกับน้ำยาทำความสะอาด

2) จากนั้นทำการทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดความถี่สูงด้วยความถี่อัลตร้าโซนิคโดยใส่น้ำกลั่นไว้ภายนอกบีกเกอร์ และ บีกเกอร์อันที่ 1 ใส่อะซิโตน ส่วนบีกเกอร์อันที่ 2 ใส่เอททานอล

รูปที่ 3.10 แสดงการทำความสะอาดบนเครื่องทำความสะอาดถวามถี่อัลตร้าโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการเพิ่มอุณหภูมิโดยทำการต้มที่น้ำกลั่นเป็นเวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นนำไปเพิ่มอุณหภูมิในบีกเกอร์ที่ใส่อะซิโตนเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงนำมาเพิ่มอุณหภูมิที่บีกเกอร์ที่ใส่เอททานอลเป็นเวลา 5 นาทีจากนั้นนำขึ้นมาเป่าจนแห้ง
4) นำแว็กซ์จากเทียนไขมาถูบริเวณที่จะทำการเคลือบเขม่า
5) นำกระจกสไลด์ที่จะทำการเคลือบเขม่าไปติดตั้งบนแท่น
6) ใส่เงื่อนไขที่ต้องการในโปรแกรม LabVIEW
7) เมื่อทำการเคลือบเสร็จ จึงนำไปวัดมุมสัมผัสด้วยเครื่องวัด Contact angle
8) ทำการเก็บค่า และ บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการประกอบเครื่องและการเขียนโปรแกรม

4.1.1 การประกอบชุดเคลือบเขม่าคาร์บอน

โดยการติดตั้งชุดเลื่อนเข็มจะทำการควบคุมการเคลือบโดยโปรแกรม LabVIEW จากคอมพิวเตอร์และมีส่วนของวงจรที่ควบคุม ซึ่งใช้ในการควบคุมทิศทางใน 2 รูปแบบคือ ทิศทวนเข็มนาฬิกา และ ทิศตามเข็มนาฬิกา และ ส่วนของการควบคุมความเร็วของการเลื่อนเข็ม โดยจะนำแท่นติดกระจกสไลด์ติดบริเวณลิเนียร์ไกด์แบบบอลสกรูทำให้มีการเคลื่อนที่โดยโปรแกรม LabVIEW เป็นตัวสั่งการการเคลื่อนที่

รูปที่ 4.1 ตัวเครื่องที่ประกอบชุดควบคุมการเคลือบเขม่าคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดสอบการทำงานของชุดเคลือบเขม่าคาร์บอน

1) ความเร็วในการเลื่อนของชุดควบคุมการเคลือบเขม่าคาร์บอน
ทำการศึกษาค่าความเร็วที่ชุดควบคุมการเคลือบของเขม่าคาร์บอนสามารถเลื่อนได้ ได้ผลว่าสามารถเลื่อนได้ตั้งแต่ 0.01 เซนติเมตรต่อวินาทีจนถึง 7 เซนติเมตรต่อวินาที เนื่องจากเมื่อเรากำหนดความเร็วมีค่ามากกว่า 7 เซนติเมตรต่อวินาที จะทำให้การเคลื่อนที่ของชุดเลื่อนเข็มเกิดการสั่น เคลื่อนที่ไม่ต่อเนื่อง

2) ทดสอบระยะการเลื่อนของชุดควบคุมการเคลือบเขม่าคาร์บอน
ทำการทดสอบระยะในการเคลื่อนที่ของชุดเลื่อนเข็มด้วยความเร็ว 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตรต่อวินาที โดยทำการเลื่อนเป็นระยะทาง 4 เซนติเมตร โดยทำการเคลือบเป็นจำนวน 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 16 และ 20 ชั้น ตามลำดับ และเราทำการเคลือบเขม่า2รูปแบบโดย ทำการเคลือบเขม่าคาร์บอนโดยใช้เยื่อกาว และทำการเคลือบเขม่าคาร์บอนโดยใช้แว็กซ์การเทียนไขร่วมด้วย

4.2 ผลจากการเคลือบเขม่าคาร์บอนด้วย

4.2.1 ตารางแสดงผลของมุมสัมผัสด้วยที่ความเร็วต่างๆในแต่ละจำนวนชั้น โดยเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น

ครั้งที่ / ชั้น	1	2	3	4	5	เฉลี่ย(องศา)
1	102.30	104.96	104.83	104.31	100.45	103.37
2	104.22	103.27	104.25	102.66	112.94	105.47
3	105.66	106.86	106.86	108.39	106.68	106.89
4	107.54	107.75	106.20	107.72	108.70	107.58
6	110.84	110.84	109.31	107.40	108.75	109.43
8	114.11	115.31	116.59	115.24	115.37	115.33
10	116.47	124.02	121.98	119.51	124.38	121.27
12	158.66	161.33	158.04	158.48	154.68	158.24
16	158.37	158.26	158.71	159.17	158.45	158.59
20	159.31	159.31	159.85	159.51	159.58	159.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น

ครั้งที่ / ชั้น	1	2	3	4	5	เฉลี่ย(องศา)
1	93.99	107.64	105.88	103.68	103.67	102.97
2	107.08	105.62	103.91	105.10	105.10	105.36
3	104.76	104.49	108.70	105.86	107.28	106.22
4	107.32	107.90	107.40	106.34	106.60	107.11
6	106.35	103.10	108.40	108.01	112.52	107.67
8	110.28	108.85	111.16	109.08	114.32	110.74
10	120.79	111.14	117.79	126.44	119.56	119.14
12	152.22	152.33	152.48	151.92	152.22	152.23
16	153.11	153.24	153.45	153.45	153.70	153.39
20	154.05	154.39	154.22	154.71	154.50	154.37

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น

ครั้งที่ / ชั้น	1	2	3	4	5	เฉลี่ย(องศา)
1	104.06	105.09	101.75	100.92	102.27	102.82
2	102.67	106.12	105.26	103.24	108.94	105.25
3	102.84	109.36	105.67	107.32	104.60	105.96
4	107.54	103.88	102.84	109.33	108.41	106.40
6	107.41	108.23	105.24	105.62	107.43	106.78
8	106.33	108.51	107.70	108.05	106.10	107.34
10	110.81	108.65	107.44	106.01	110.37	108.65
12	146.43	149.86	148.64	146.82	148.72	148.10
16	149.91	149.54	149.05	149.22	149.21	149.39
20	151.86	151.08	151.05	151.77	151.43	151.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

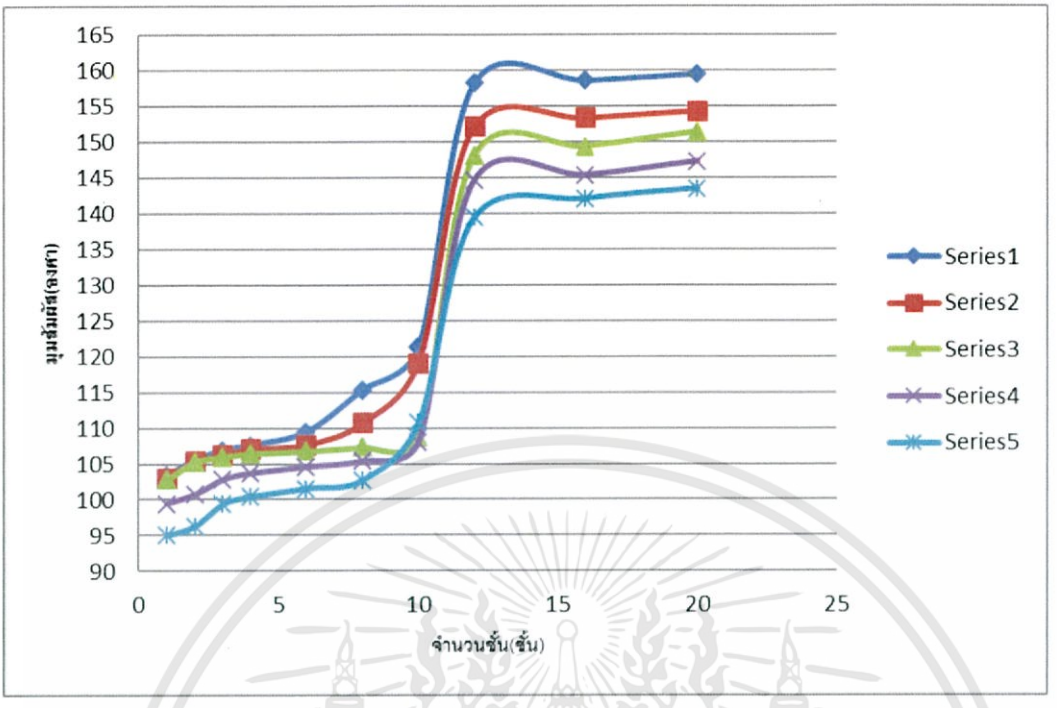
ตารางที่ 4.4 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 4 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น

ครั้งที่ / ชั้น	1	2	3	4	5	เฉลี่ย(องศา)
1	105.79	94.35	95.74	100.84	100.57	99.46
2	98.47	102.52	101.63	98.91	102.07	100.72
3	104.30	101.96	100.90	103.82	103.06	102.81
4	104.52	104.23	103.56	102.75	103.26	103.66
6	104.07	105.52	104.72	104.03	104.47	104.56
8	104.50	103.80	109.53	106.27	102.70	105.36
10	106.66	112.78	114.02	102.71	104.08	108.05
12	144.81	144.84	144.47	144.58	144.84	144.71
16	145.63	145.98	145.23	145.05	145.06	145.39
20	147.76	147.02	147.22	147.25	147.29	147.31

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น

ครั้งที่ / ชั้น	1	2	3	4	5	เฉลี่ย(องศา)
1	96.12	86.02	97.69	97.53	97.66	95.01
2	82.92	100.92	98.66	99.87	99.08	96.29
3	102.30	101.56	99.65	94.74	98.56	99.36
4	105.25	100.87	100.53	96.78	98.50	100.39
6	102.26	103.62	103.07	102.26	96.54	101.55
8	102.96	102.17	101.33	102.37	104.70	102.71
10	111.21	110.60	111.13	114.60	105.99	110.71
12	140.06	139.31	138.90	139.60	139.56	139.49
16	142.75	142.43	142.21	142.20	140.97	142.11
20	143.30	143.83	143.31	143.48	143.65	143.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมสัมผัสกับจำนวนในการเคลือบเขม่าคาร์บอนที่มีเยื่อกาวร่วมด้วย

จากตารางและกราฟของการเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาวนั้น โดยได้ทำตามเงื่อนไขการเคลือบเขม่าที่ 1 ,2 ,3 ,4 ,6 ,8 ,10 ,12 ,16 และ 20 ชั้น ที่ความเร็ว 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตรต่อวินาที จากตารางบันทึกผลจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเคลือบเขม่ายิ่งจำนวนชั้นมากขึ้นเท่าไหร่ มุมสัมผัสจะยิ่งมากขึ้นจนถึงจุดคงที่ แต่ก็ขึ้นอยู่กับความเร็วด้วย แล้วเมื่อนำค่ามาพล็อตกราฟแล้ว พบว่า ที่ความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาที มีมุมสัมผัสสูงสุดมากกว่า ที่ความเร็ว 2 3 4 และ 5 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งก็คือ 159.51 องศา ,154.37 องศา ,151.44 องศา,147.31 องศา และ 143.52 องศา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ตารางแสดงผลของมุมสัมผัสด้วยที่ความเร็วต่างๆในแต่ละจำนวนชั้น โดยเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว็กซ์จากเทียนไข

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น

ครั้งที่ / ชั้น	1	2	3	4	5	เฉลี่ย(องศา)
1	107.79	106.96	106.45	106.18	106.46	106.77
2	107.13	107.69	107.48	107.75	107.36	107.48
3	109.40	109.38	109.35	109.31	109.37	109.36
4	110.68	110.69	110.68	110.89	110.72	110.73
6	111.50	111.59	111.52	111.60	111.50	111.54
8	112.35	112.24	112.57	112.81	112.37	112.47
10	113.47	113.46	113.71	113.48	113.39	113.50
12	146.71	144.90	145.64	145.95	142.99	145.24
16	146.18	146.34	146.71	146.88	146.40	146.50
20	145.63	147.90	147.29	147.16	147.49	147.09

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น

ครั้งที่ / ชั้น	1	2	3	4	5	เฉลี่ย(องศา)
1	106.19	106.18	106.26	106.13	106.25	106.20
2	107.57	107.57	107.64	107.64	107.77	107.64
3	108.79	108.73	108.30	108.73	108.35	108.58
4	109.75	109.52	109.72	109.42	109.50	109.58
6	110.65	110.45	110.33	110.60	110.66	110.54
8	111.26	111.28	111.17	111.20	111.16	111.21
10	112.14	112.48	112.68	112.22	112.74	112.45
12	143.87	143.03	143.92	143.07	143.37	143.45
16	143.85	143.48	143.44	143.13	144.18	143.62
20	145.63	145.63	145.96	145.24	145.24	145.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น

ครั้งที่ / ชั้น	1	2	3	4	5	เฉลี่ย(องศา)
1	103.01	105.11	104.67	105.08	105.68	104.71
2	105.73	105.96	106.01	105.61	105.04	105.67
3	106.62	106.77	106.09	106.90	106.69	106.61
4	107.46	107.89	107.59	107.40	107.19	107.51
6	108.49	108.59	108.61	108.48	108.16	108.47
8	109.13	109.44	109.59	109.01	109.22	109.28
10	110.03	112.10	108.83	112.34	111.63	110.98
12	118.23	116.42	117.74	117.18	116.99	117.31
16	122.14	122.15	122.17	122.92	122.09	122.29
20	123.00	123.66	123.31	123.34	123.02	123.27

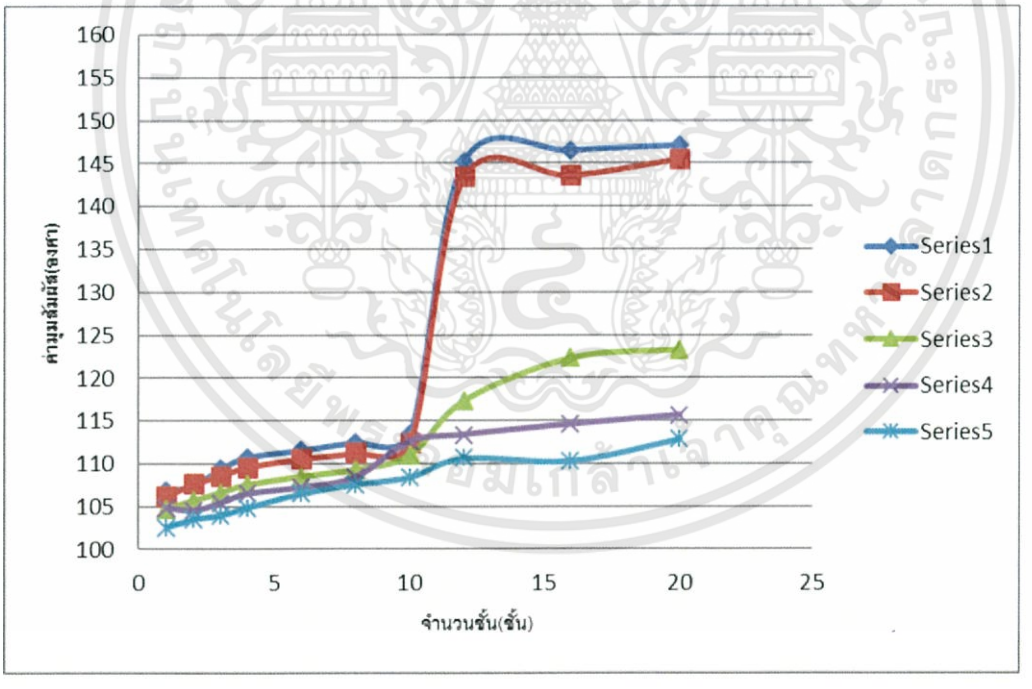
ตารางที่ 4.9 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 4 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น

ครั้งที่ / ชั้น	1	2	3	4	5	เฉลี่ย(องศา)
1	108.60	105.39	100.85	106.94	102.46	104.85
2	104.00	104.91	104.91	104.64	104.37	104.57
3	105.60	105.53	105.49	105.06	105.64	105.46
4	106.47	106.30	106.06	106.87	106.87	106.51
6	107.29	107.08	107.05	107.63	107.09	107.23
8	108.74	108.27	108.78	108.26	108.06	108.42
10	112.48	112.85	112.07	112.75	112.73	112.58
12	112.22	114.12	115.75	111.25	113.44	113.36
16	114.30	114.09	114.90	114.90	114.57	114.55
20	115.66	115.95	115.23	115.59	115.58	115.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของมุมสัมผัสด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละจำนวนชั้น

ครั้งที่ / ชั้น	1	2	3	4	5	เฉลี่ย(องศา)
1	102.12	102.99	102.28	102.53	102.93	102.57
2	103.41	103.46	103.57	103.80	103.15	103.48
3	103.44	103.93	104.06	103.54	104.86	103.96
4	105.41	105.09	104.79	104.53	104.48	104.86
6	106.96	106.50	106.22	106.24	106.51	106.49
8	107.86	107.51	107.15	107.99	107.32	107.57
10	109.03	109.35	108.13	107.82	107.82	108.43
12	111.12	111.09	110.49	109.99	110.49	110.64
16	110.46	110.47	110.15	110.09	110.47	110.33
20	112.51	112.80	112.35	113.75	112.90	112.86



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมสัมผัสกับจำนวนในการเคลือบเขม่าคาร์บอนที่มีแว็กซ์จาเทียนไขร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางและกราฟของการเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว๊กซ์จากเทียนไข โดยได้ทำตามเงื่อนไขการเคลือบเขม่าที่ 1 ,2 ,3 ,4 ,6 ,8 ,10 ,12 ,16 และ 20 ชั้น ที่ความเร็ว 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตรต่อวินาที จากตารางบันทึกผลนั้นจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเคลือบเขม่ายิ่งจำนวนชั้นมากขึ้นเท่าไหร่ มุมสัมผัสจะยิ่งมากขึ้นจนถึงจุดคงที่ แต่ก็ขึ้นอยู่กับความเร็วด้วย แล้วเมื่อนำค่ามาพล็อตกราฟแล้ว พบว่า ที่ความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาที มีมุมสัมผัสสูงสุดมากกว่า ที่ความเร็ว 2 3 4 และ 5 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งก็คือ 147.09 องศา ,145.54 องศา ,123.27 องศา,115.60 องศา และ 112.86 องศา ตามลำดับ

4.3 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัส

4.3.1ตารางแสดงค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัสของเขม่ากับอากาศของเขม่าคาร์บอน

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัสของเขม่ากับอากาศของเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว

ความเร็ว (เซนติเมตรต่อวินาที)	ค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัสของเขม่ากับอากาศ (f_2)
1	1.073376
2	0.683548
3	0.657874
4	0.634435
5	0.594374

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัสของเขม่ากับอากาศของเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว๊กซ์จากเทียนไข

ความเร็ว (เซนติเมตรต่อวินาที)	ค่าสัดส่วนพื้นที่สัมผัสของเขม่ากับอากาศ (f_2)
1	0.638237
2	0.625197
3	0.378487
4	0.333878
5	0.302362

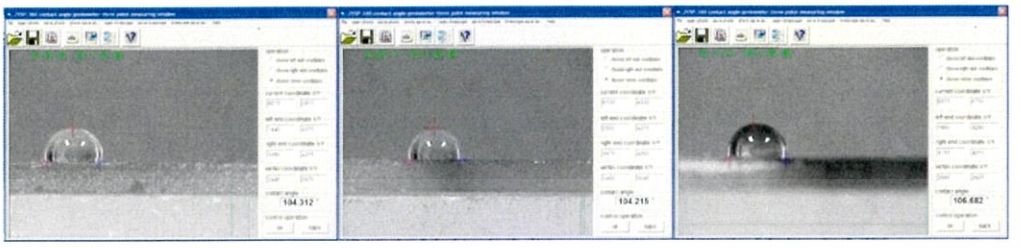
4.4 ภาพการเคลือบเขม่าคาร์บอน

การเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของเขม่าคาร์บอนนั้นจะทำให้เขม่าเกาะได้นานขึ้นกว่าการเคลือบธรรมดาจึงมีการหาวัสดุซึ่งก็คือ เยื่อกาวหรือกาวสองหน้า และแว๊กซ์จากเทียนไข เพื่อทำให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะของเขม่าคาร์บอน นั้นเพิ่มมากขึ้นกว่าการเคลือบเขม่าคาร์บอนโดยตรง

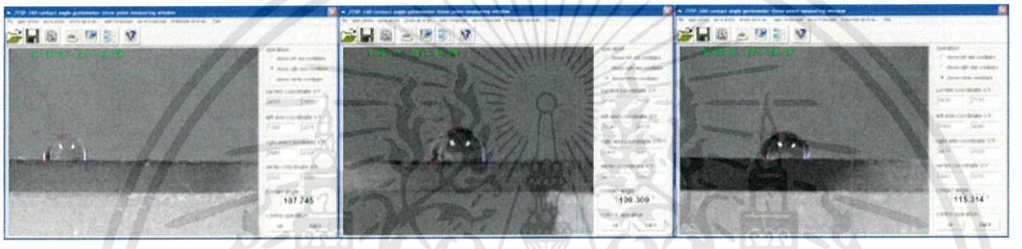
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 ผลการเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว

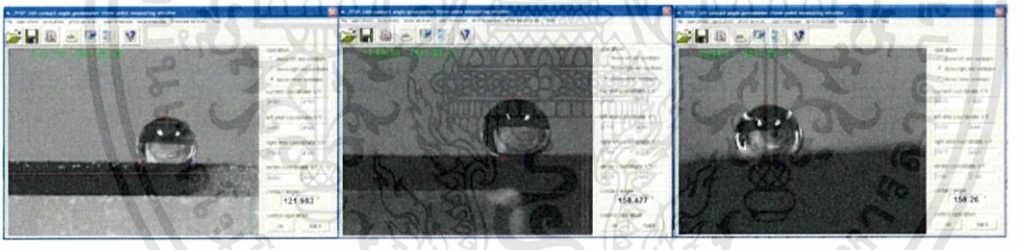
1) ที่ความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาที



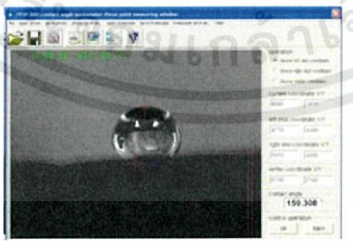
(a) (b) (c)



(d) (e) (f)



(g) (h) (i)

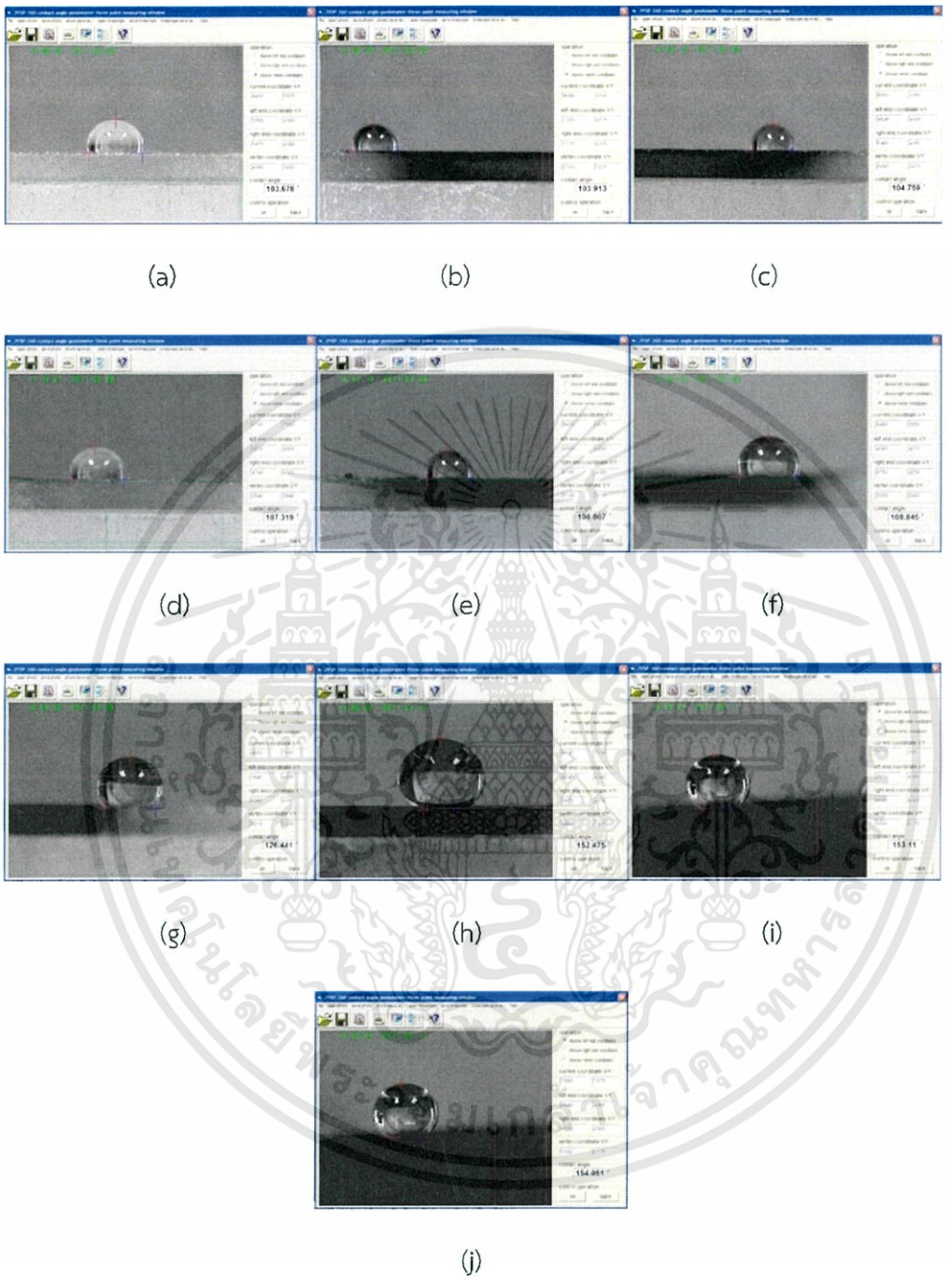


(j)

รูปที่ 4.4 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 1 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ที่ความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อวินาที



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

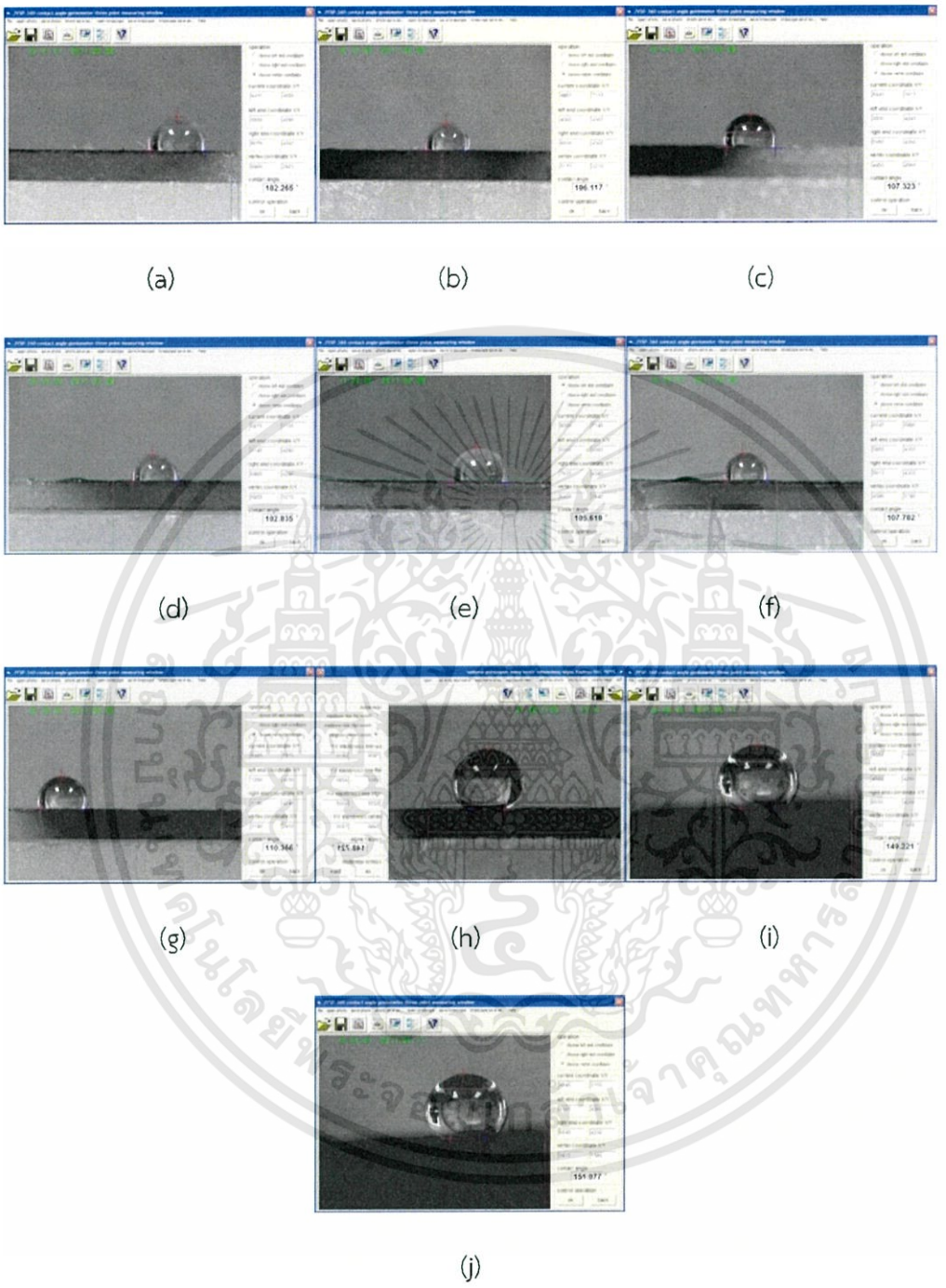
(g) (h) (i)

(j)

รูปที่ 4.5 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 2 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ที่ความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาที



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

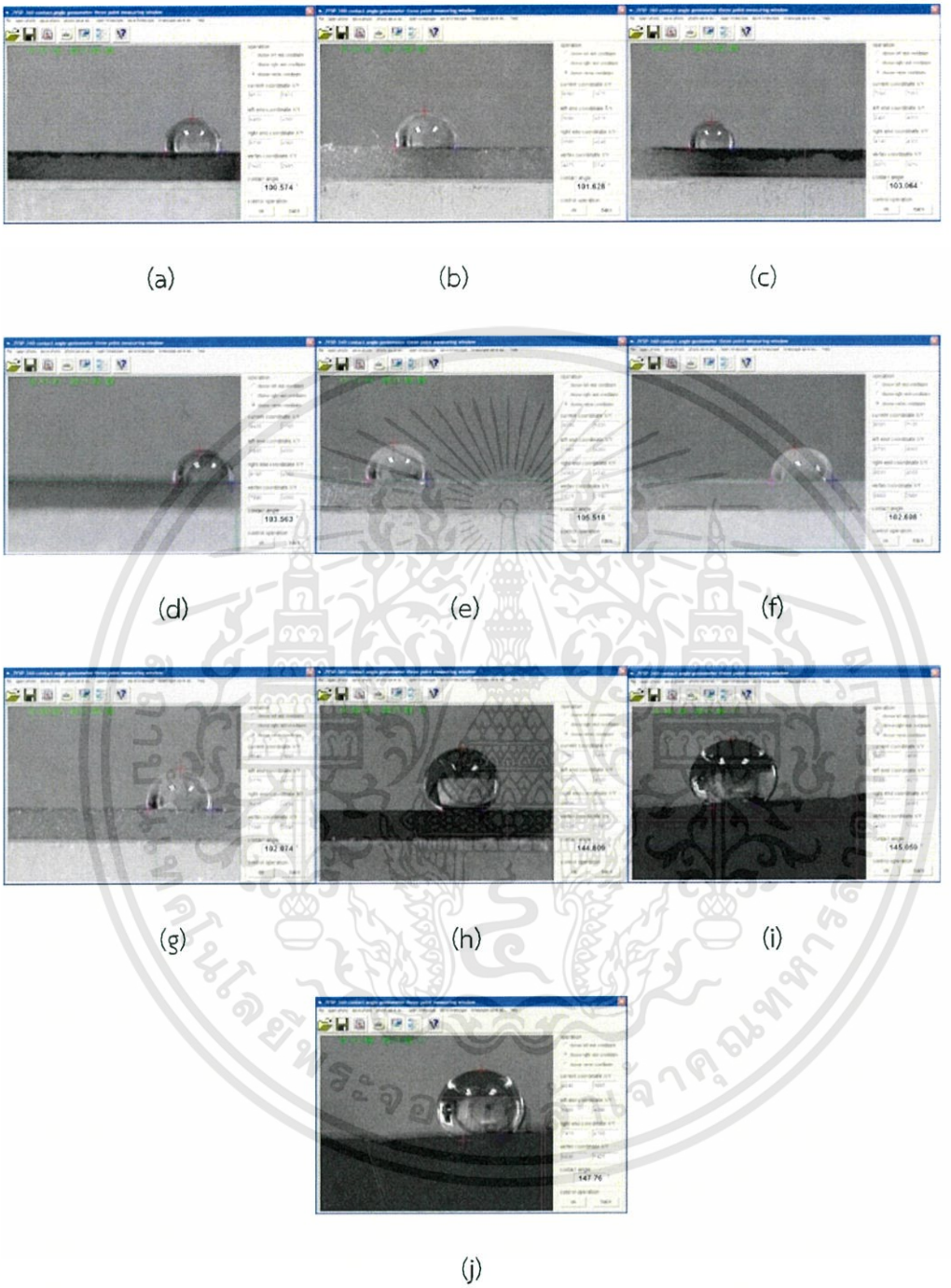
(g) (h) (i)

(j)

รูปที่ 4.6 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 3 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ที่ความเร็ว 4 เซนติเมตรต่อวินาที

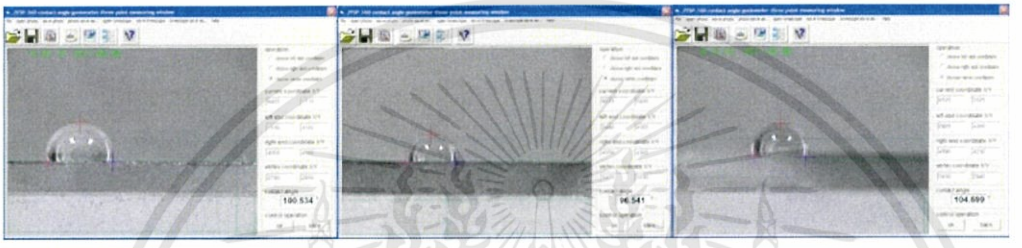


รูปที่ 4.7 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 4 เซนติเมตร ต่อ วินาที

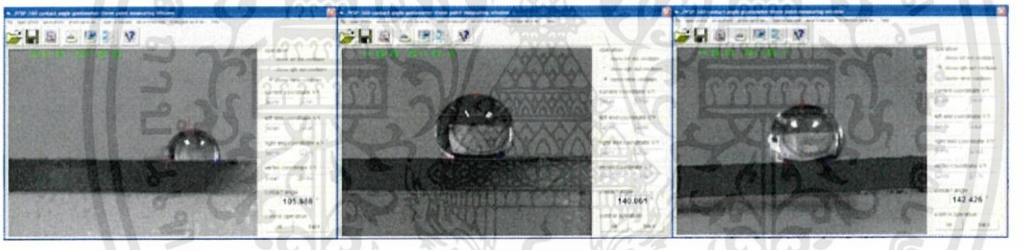
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ที่ความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาที

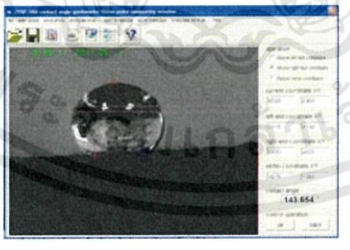
(a) (b) (c)



(d) (e) (f)



(g) (h) (i)



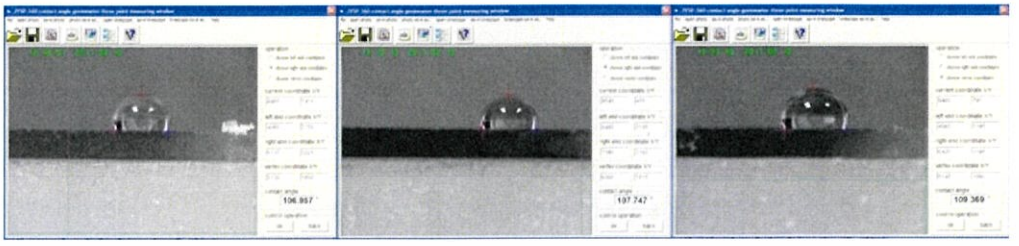
(j)

รูปที่ 4.8 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 5 เซนติเมตร ต่อ วินาที

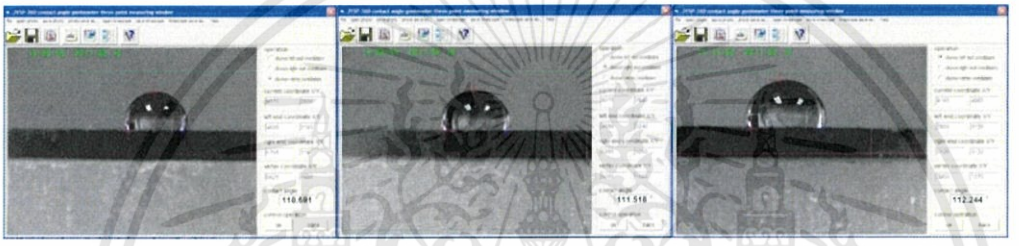
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว็กซ์จากเทียนไข

1) ที่ความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาที

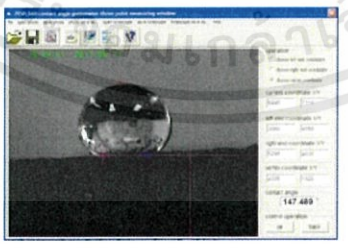


(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

(g) (h) (i)

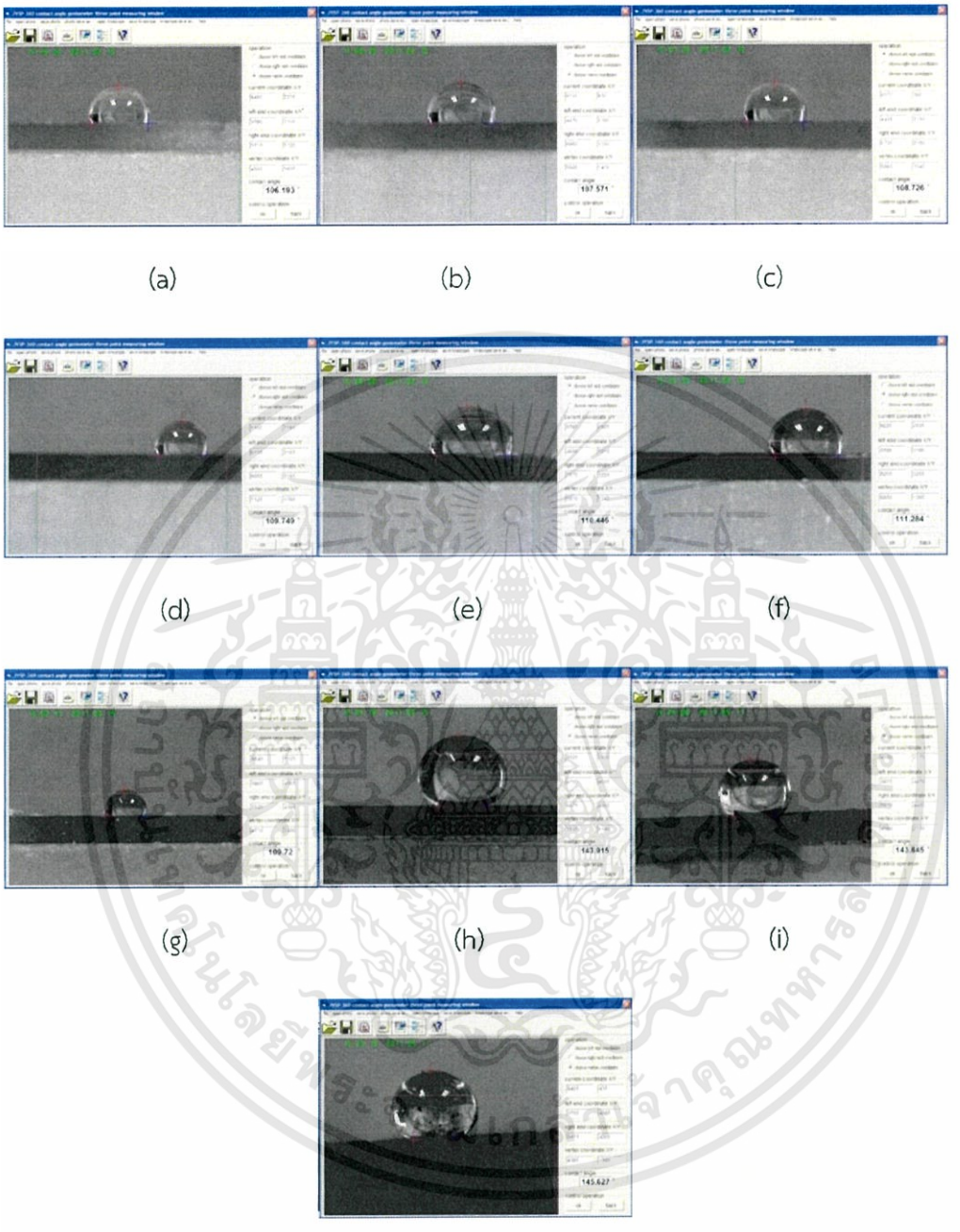


(j)

รูปที่ 4.9 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 1 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

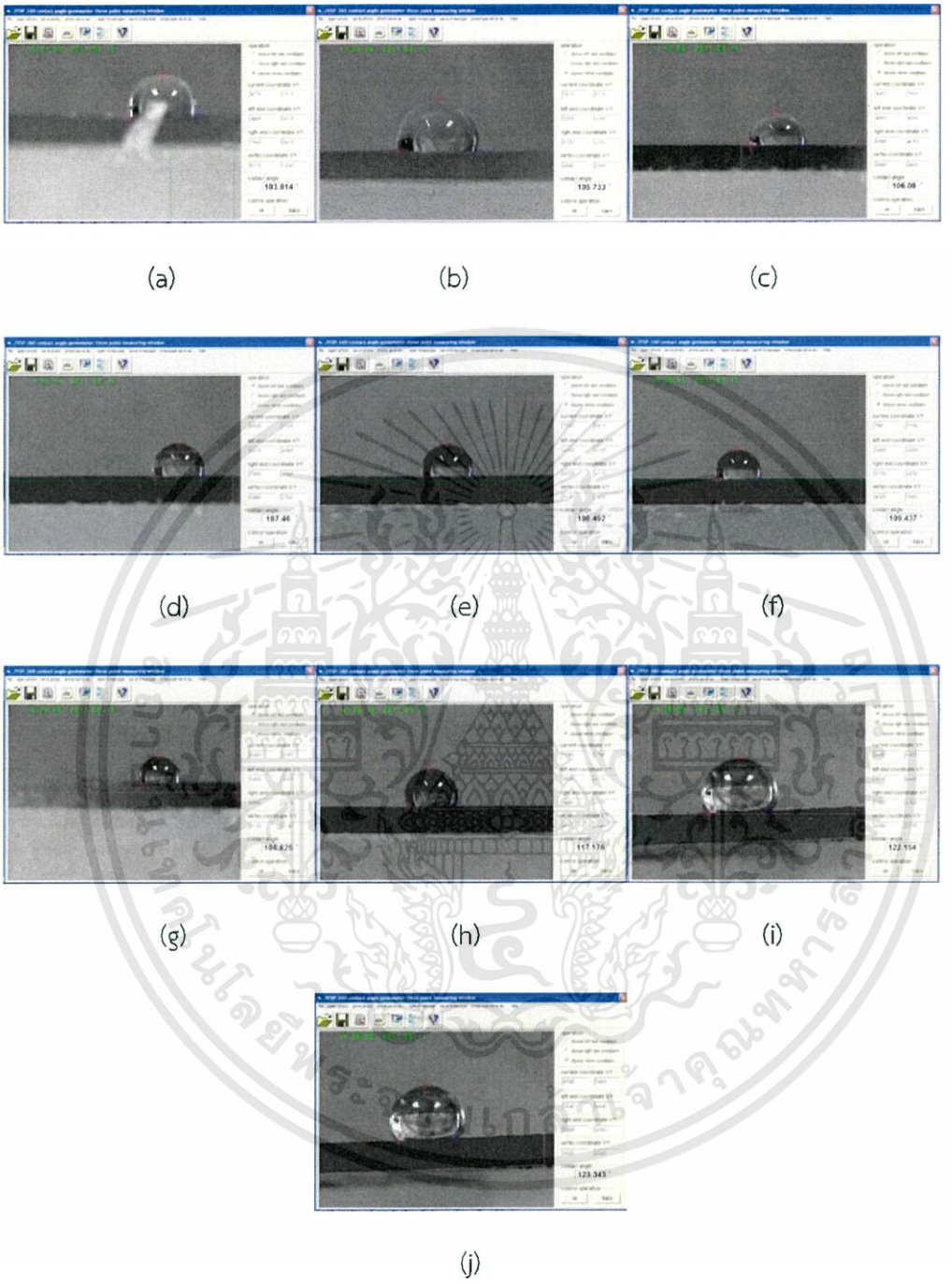
2) ที่ความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.10 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 2 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ที่ความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาที



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

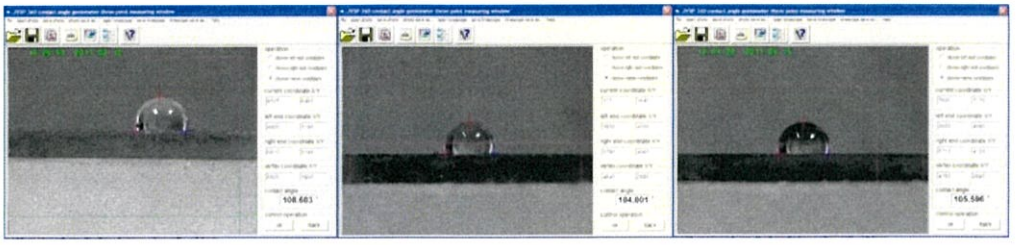
(g) (h) (i)

(j)

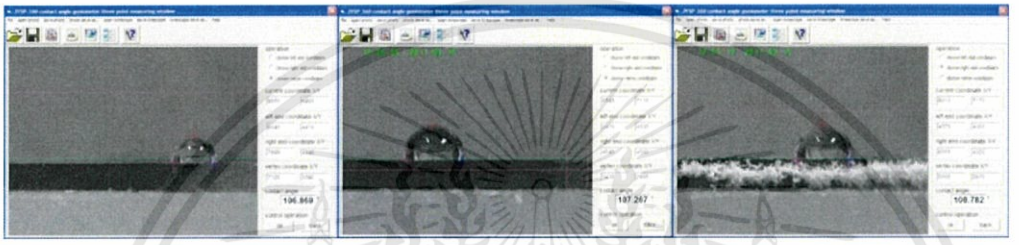
รูปที่ 4.11 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 3 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

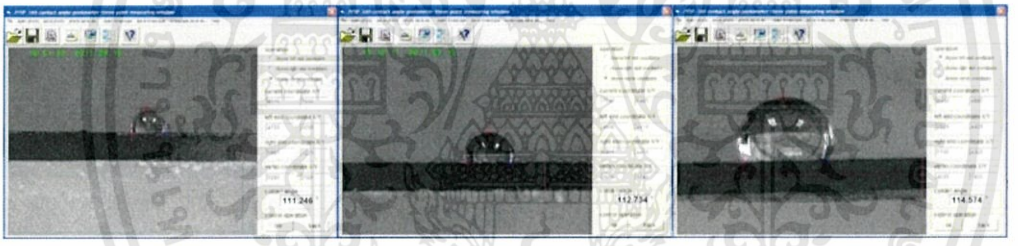
4) ที่ความเร็ว 4 เซนติเมตรต่อวินาที



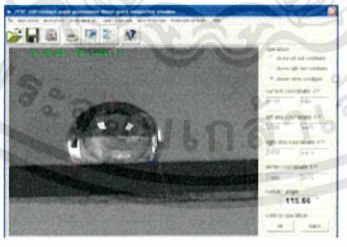
(a) (b) (c)



(d) (e) (f)



(g) (h) (i)

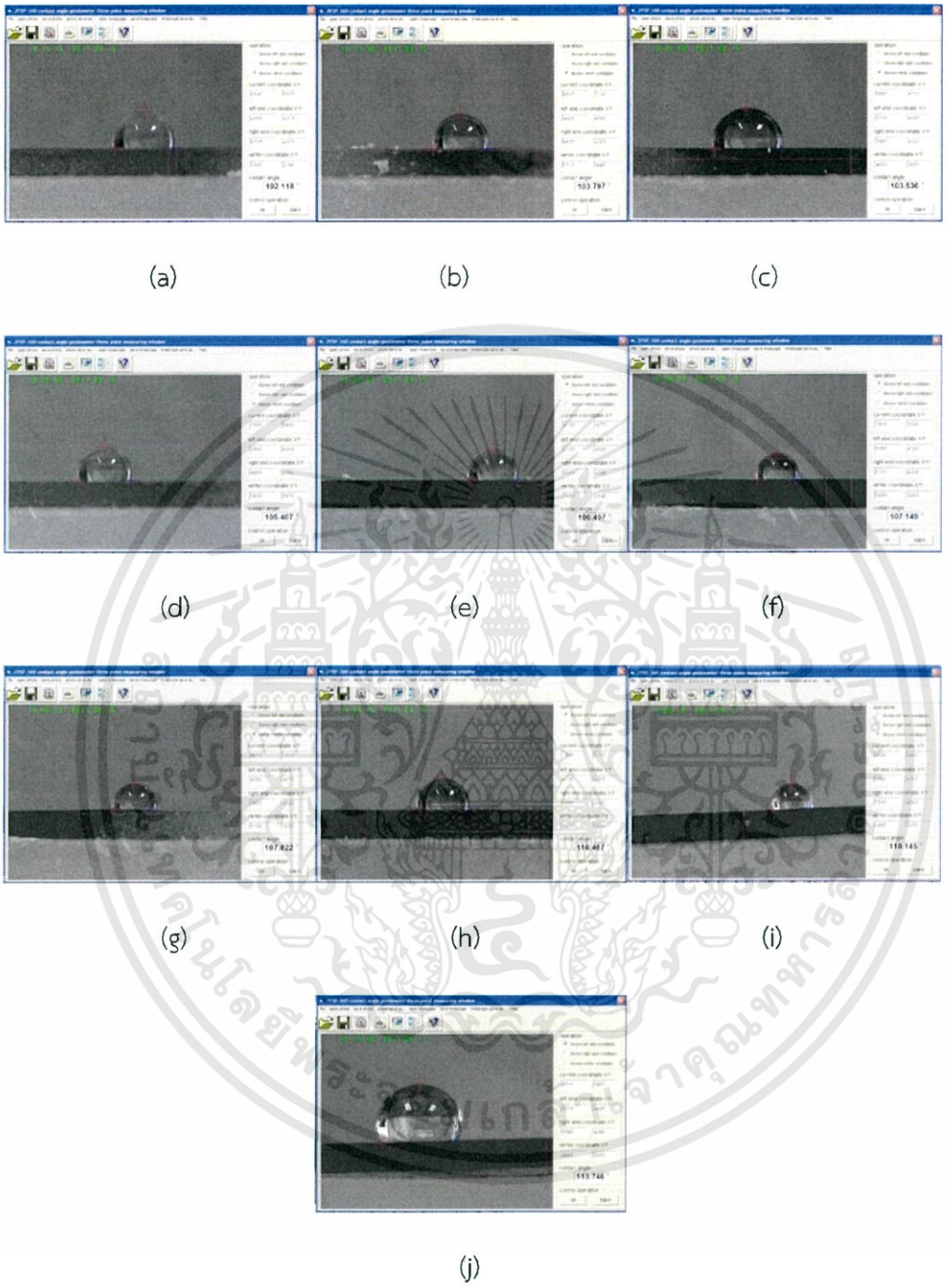


(j)

รูปที่ 4.12 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 4 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ที่ความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาที

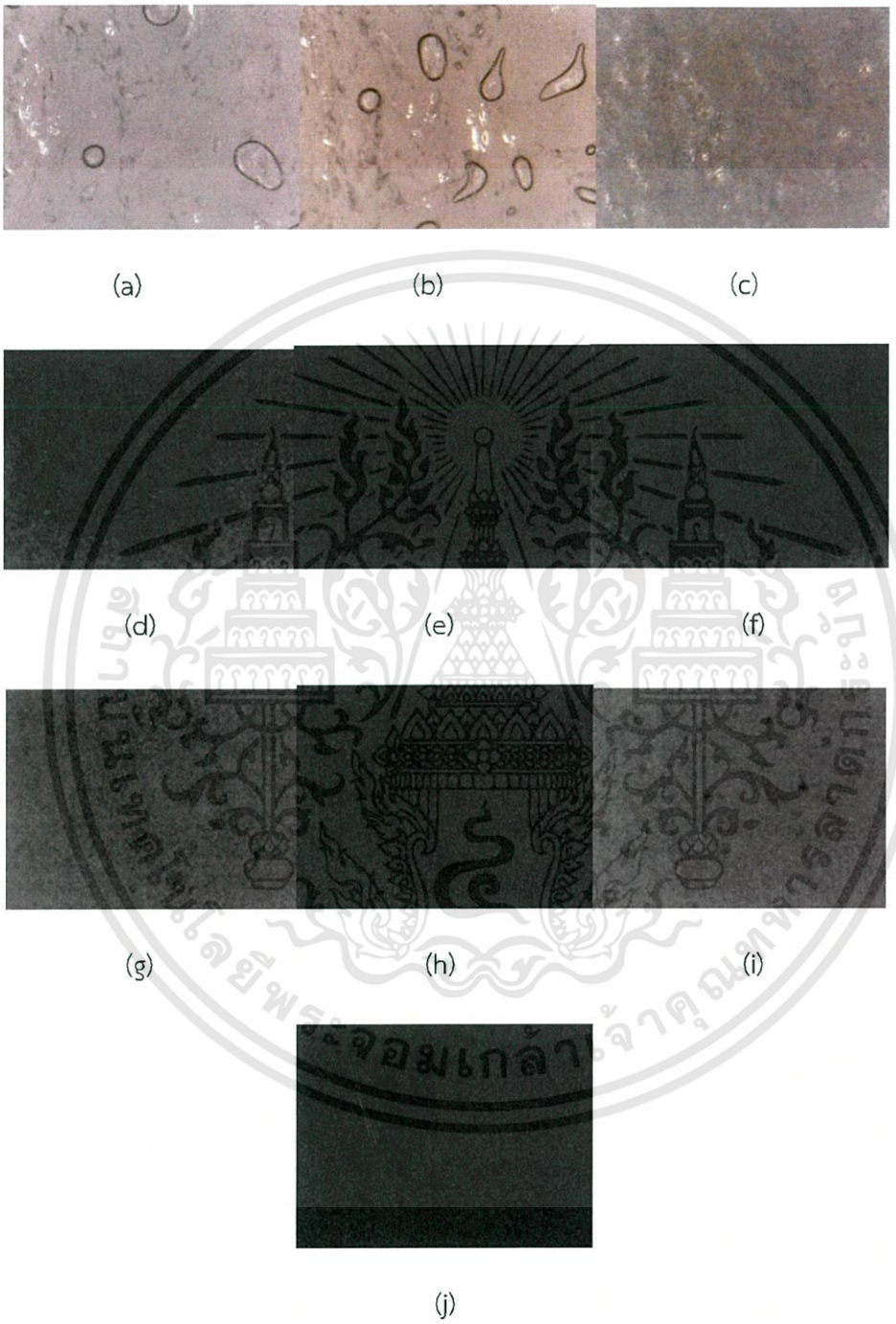


รูปที่ 4.13 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 5 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ภาพพื้นผิวเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว

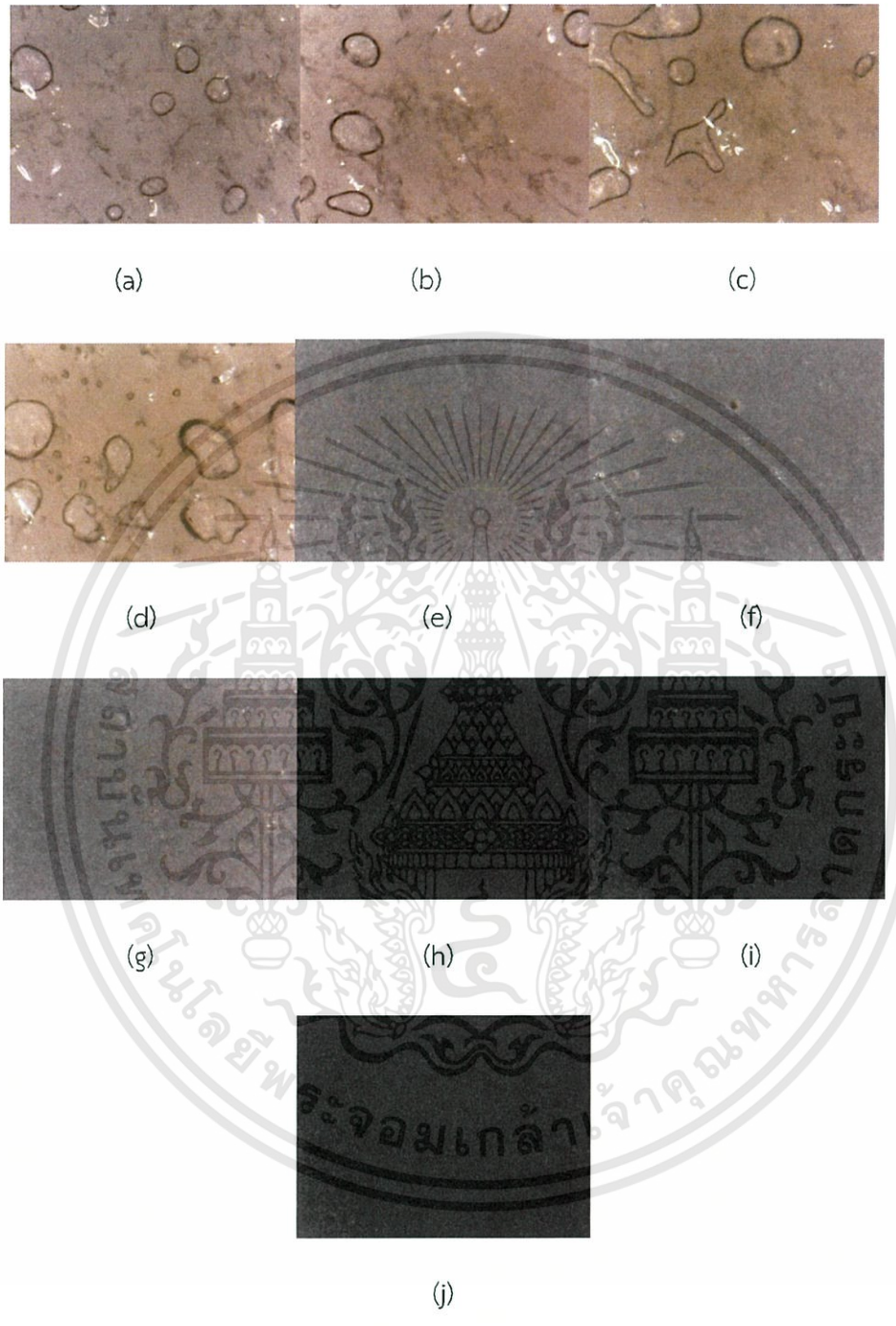
1) ที่ความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.14 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 1 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ที่ความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.15 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 2 เซนติเมตร ต่อ วินาที

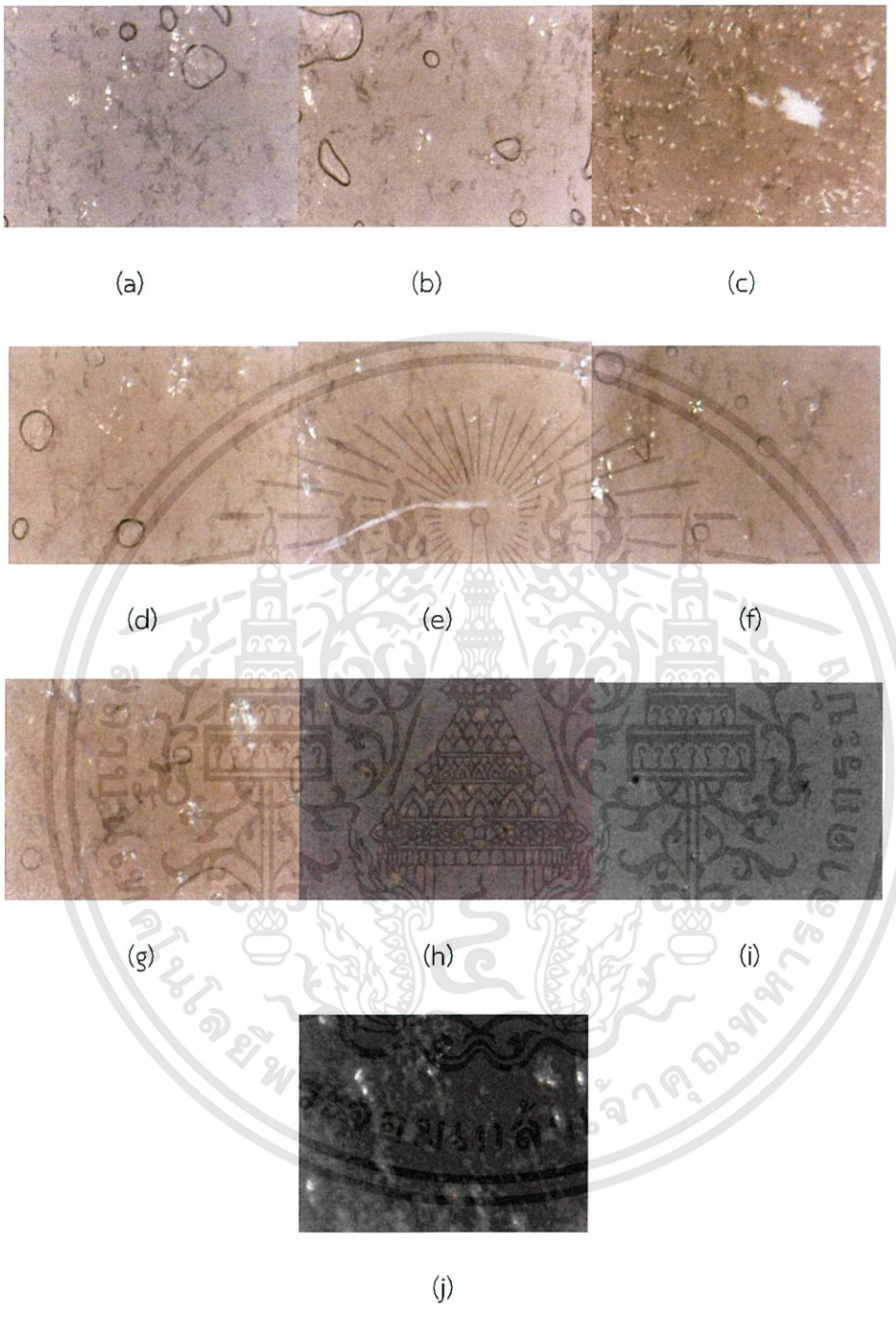
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ที่ความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาที

รูปที่ 4.16 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 3 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

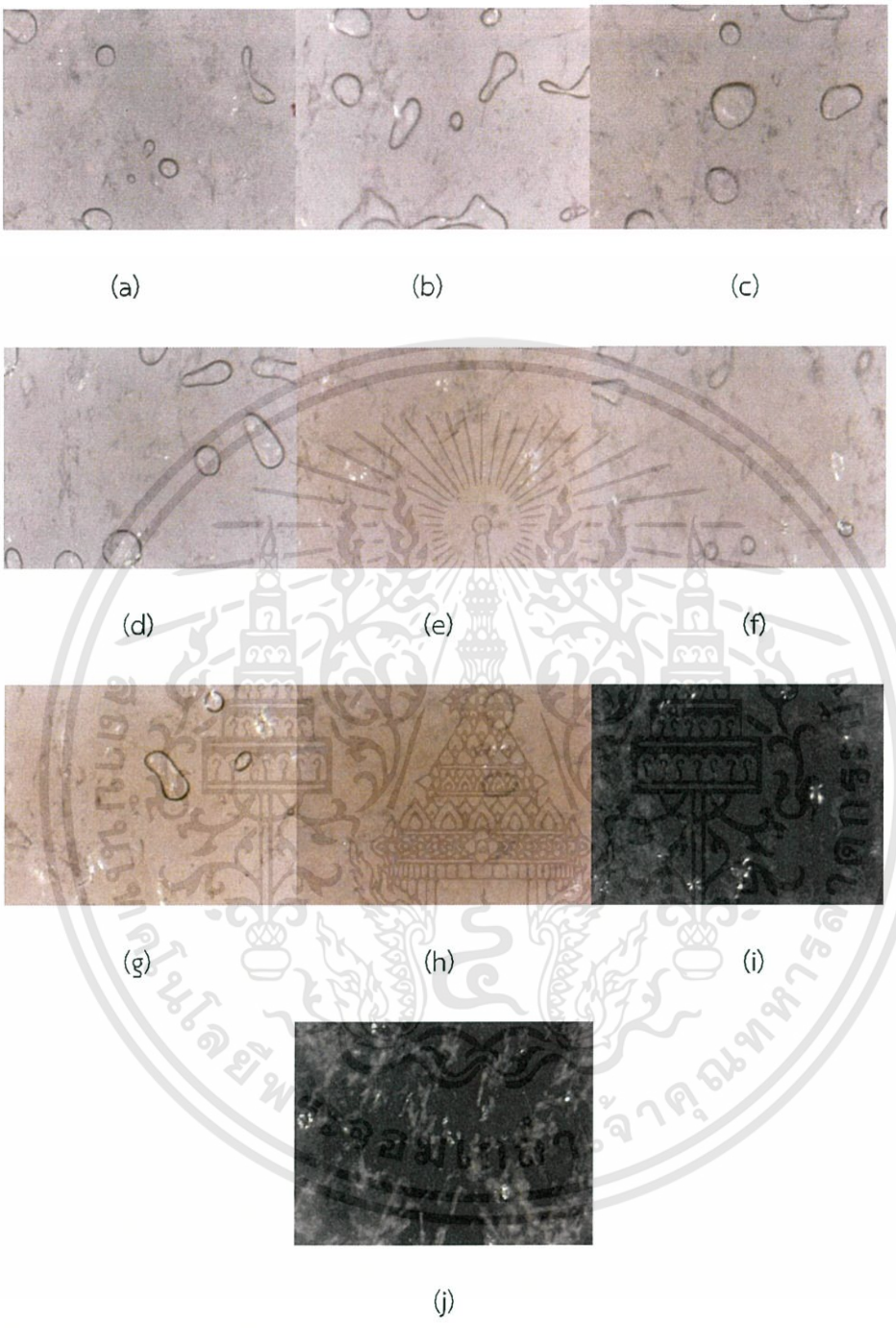
4) ที่ความเร็ว 4 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.17 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 4 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ที่ความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.18 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 5 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

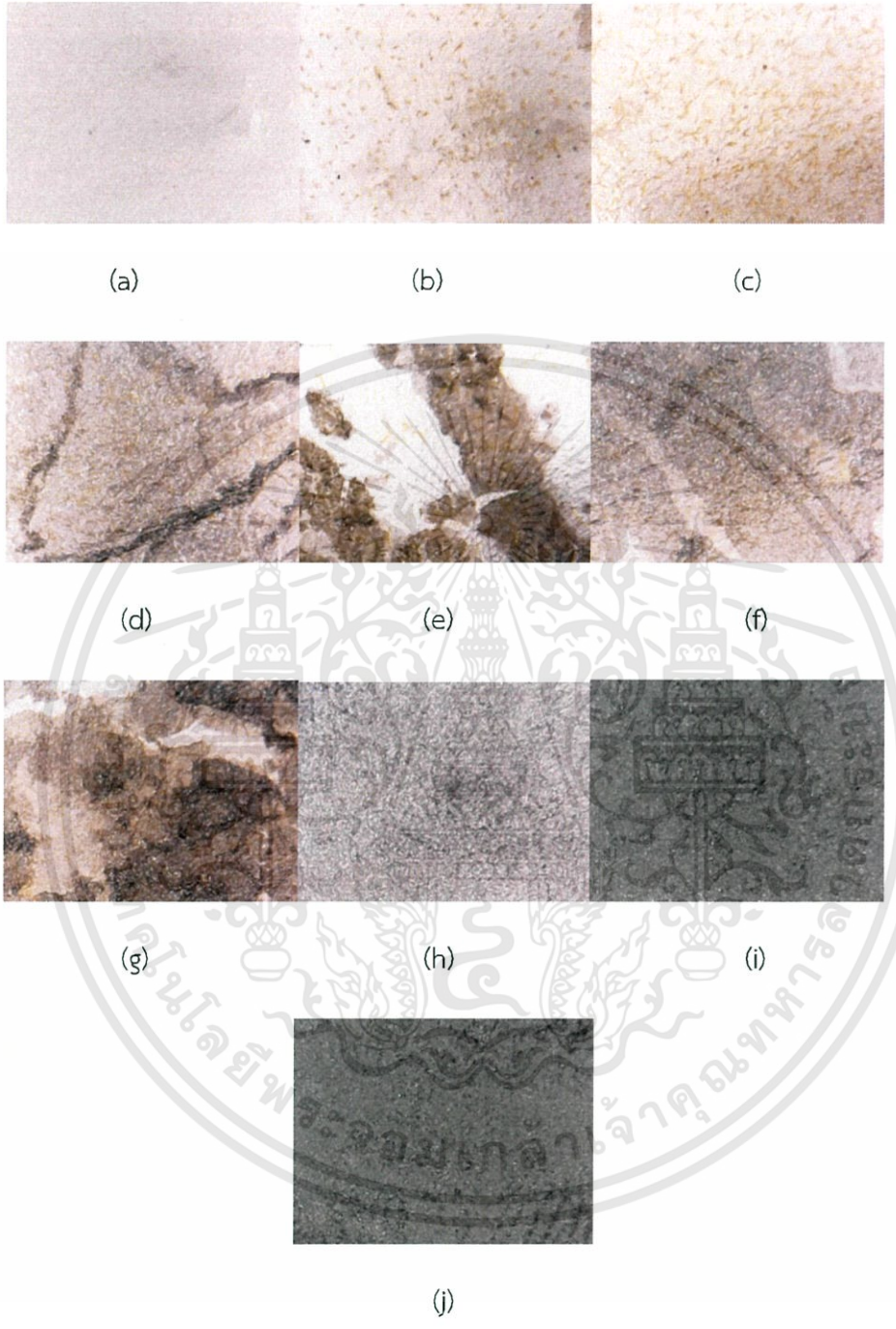
4.4.4 ภาพพื้นผิวเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว็กซ์จากเทียนไข

1) ที่ความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาที

รูปที่ 4.19 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 1 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

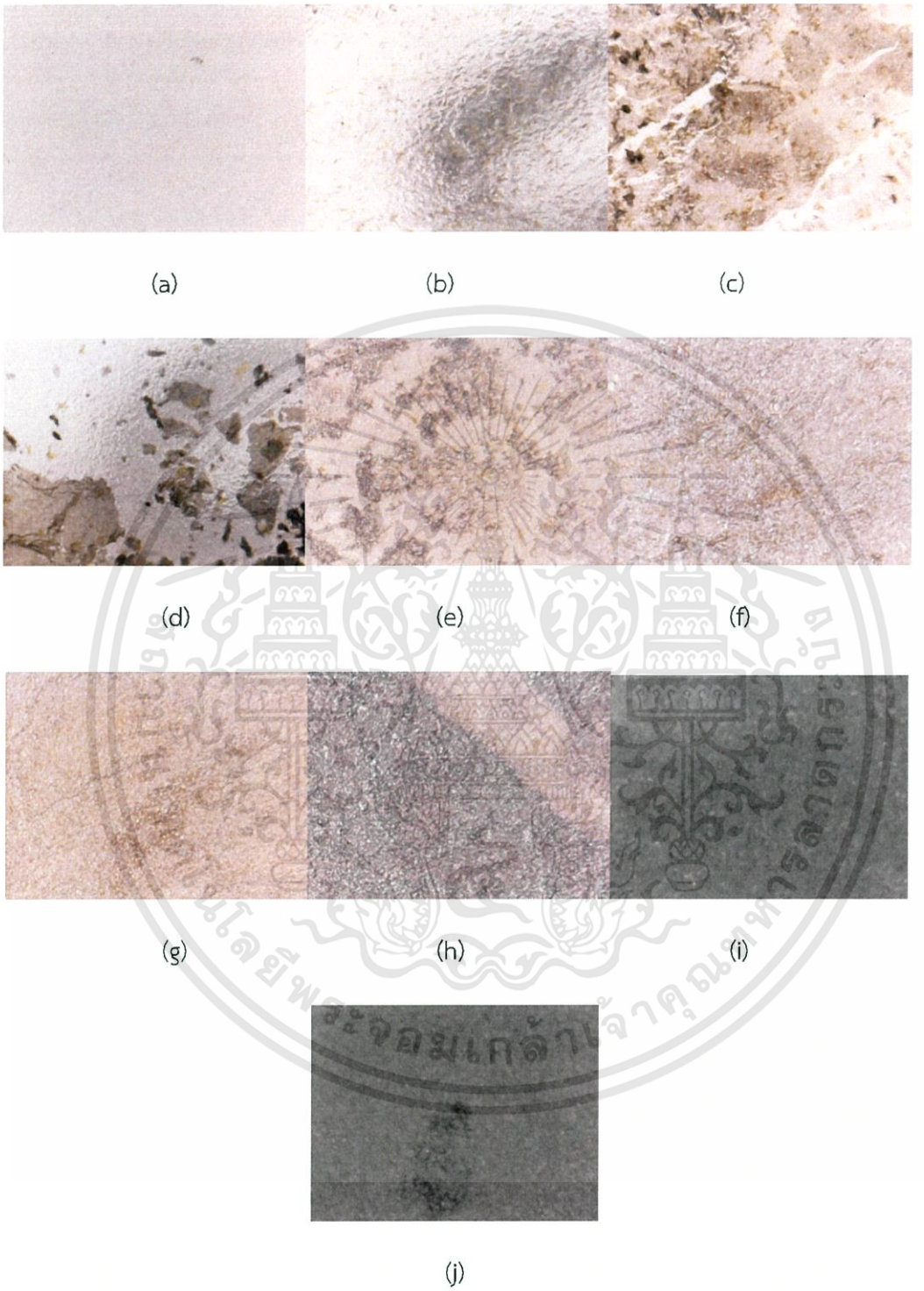
2) ที่ความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.20 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 2 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

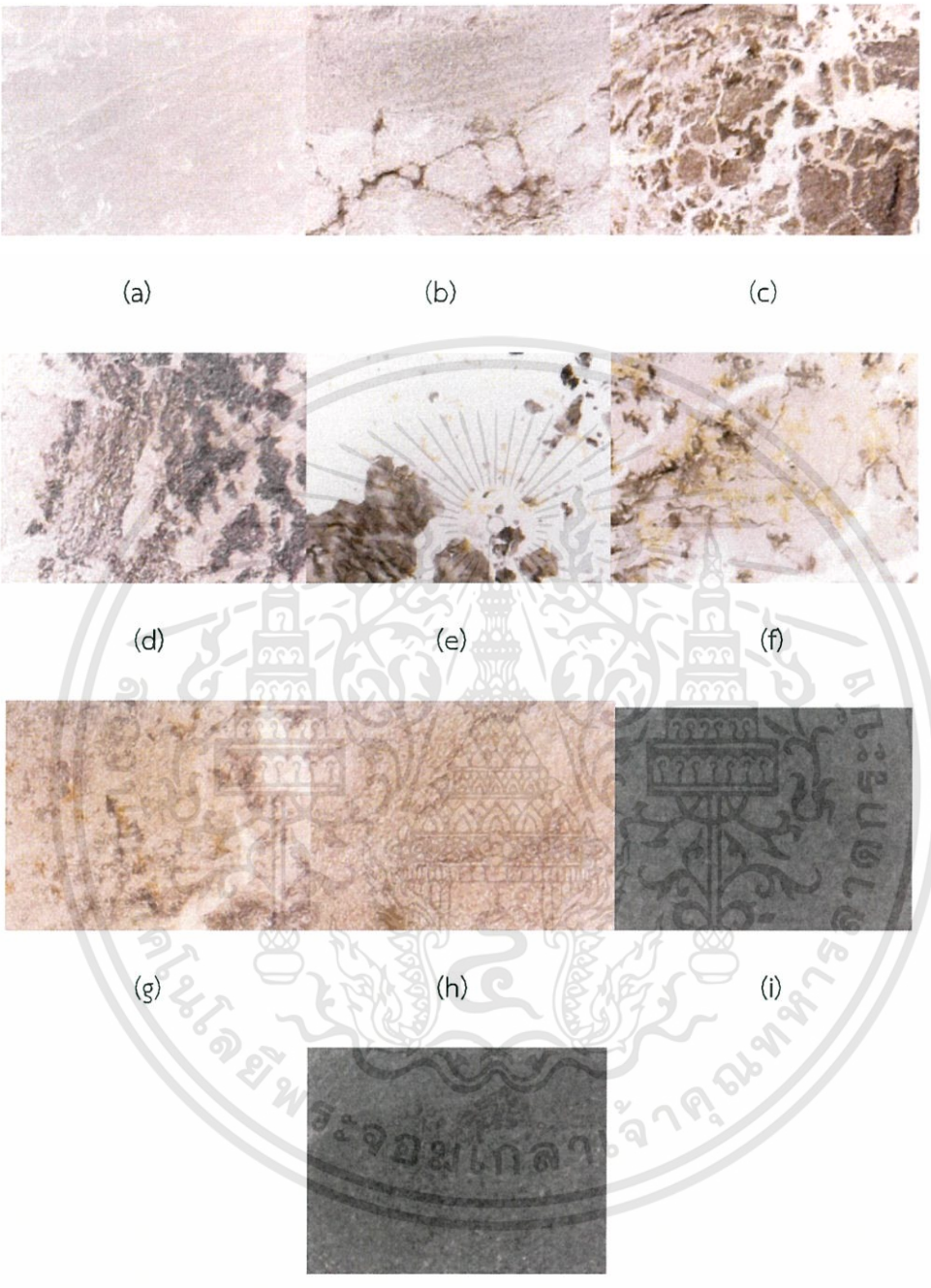
3) ที่ความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.21 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 3 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

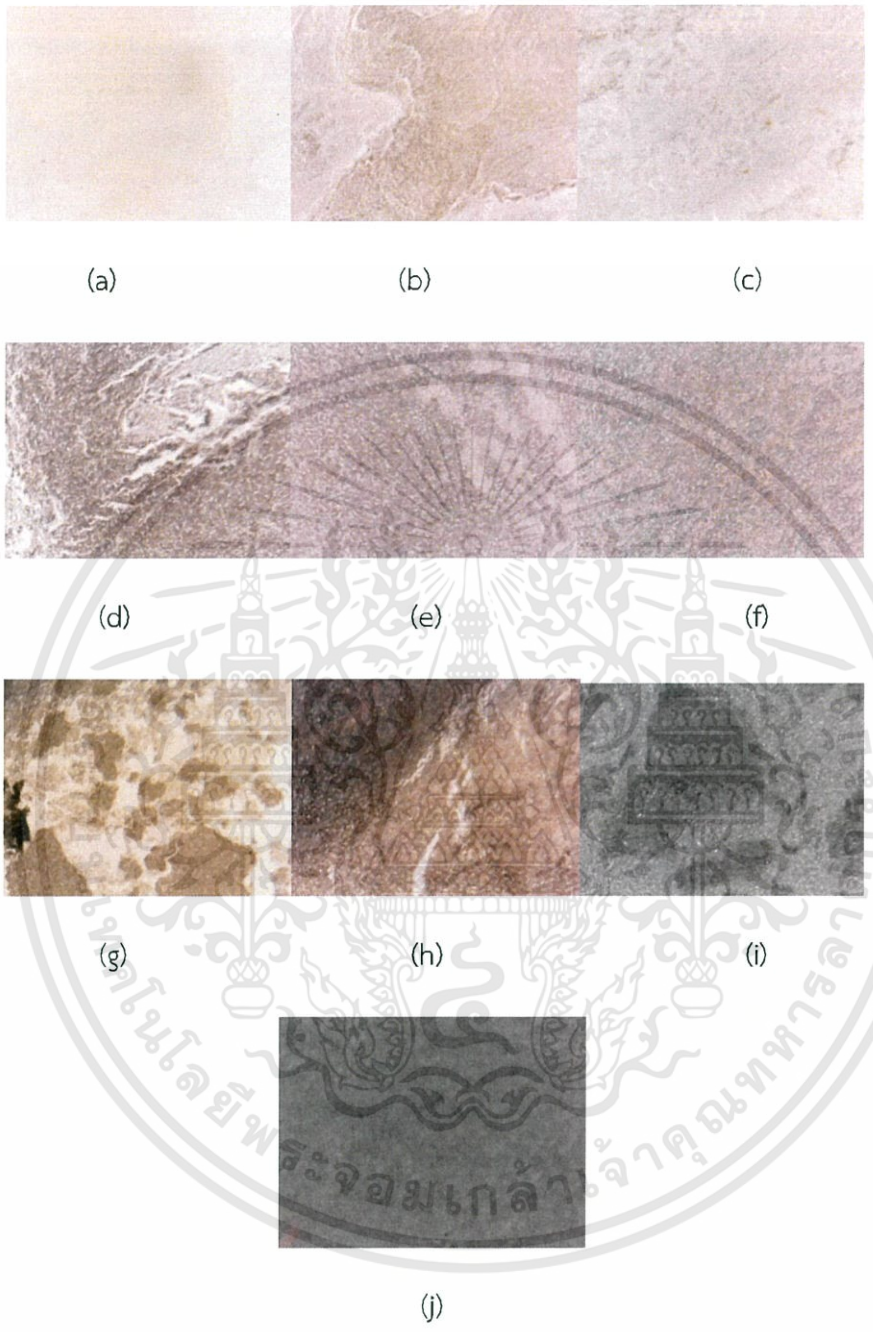
4) ที่ความเร็ว 4 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.22 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 4 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ที่ความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.23 ภาพหยดน้ำที่ความเร็ว 5 เซนติเมตร ต่อ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทำการเคลือบเขม่าคาร์บอน

จากการเคลือบเขม่าโดยเราได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลือบเขม่าโดยวิธีการ 2 แบบ คือ การเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว และการเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว็กซ์จากเทียนไข โดยได้มีการกำหนดเงื่อนไขที่จำนวนชั้น และความเร็ว โดยผลการเคลือบเขม่านั้นทำให้ทราบว่า คุณสมบัติความไม่ชอบน้ำแปรผันตรงกับจำนวนชั้น ซึ่งก็คือ ถ้าเคลือบชั้นเขม่าคาร์บอนน้อยๆ มุมสัมผัสก็จะน้อยทำให้เกิดเป็นคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำน้อยเช่นกัน แต่ถ้าทำการเคลือบชั้นเขม่าคาร์บอนมากขึ้นจะเกิดคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำสูง อีกทั้งยังรวมไปถึงปัจจัยอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเกิดความไม่ชอบน้ำ นั่นคือความเร็วจากการเคลือบเขม่าคาร์บอนซึ่งทำให้ทราบว่า คุณสมบัติความไม่ชอบน้ำนั้นแปรผกผันกับความเร็วในการเคลือบ ซึ่งถ้าความเร็วในการเคลือบมากการเกิดคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำก็จะน้อย แต่ถ้าความเร็วในการเคลือบน้อยจะทำให้เกิดคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำสูง โดยจุดอิ่มตัวของทั้ง 2 เงื่อนไขจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ชั้นที่ 12 เป็นต้นไป และได้มีการเปรียบเทียบพื้นที่สัมผัสของเขม่ากับอากาศ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ 2 เงื่อนไขนี้ ทำให้ทราบว่า การเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว ทำให้เกิดคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำมากกว่าการเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว็กซ์จากเทียนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลที่ได้จากการทำโครงงาน

จากการดำเนินการวิจัยการพัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเหนี่ยวของเขม่าคาร์บอน ทำให้เกิดความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด และมีการยึดเกาะที่ดีกว่าการเคลือบเขม่าคาร์บอนเพียงอย่างเดียว โดยได้มีการออกแบบ จัดหา จัดซื้อ ประกอบเครื่องมือ และทดสอบนั้นสามารถสรุปดังนี้

5.1.1 คณะผู้วิจัยได้สร้างคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำแบบยิ่งยวดโดยการเคลือบในเงื่อนไข 2 เงื่อนไข ซึ่งก็คือ การเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับเยื่อกาว และการเคลือบเขม่าคาร์บอนร่วมกับแว็กซ์จากเทียนไข ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะกับเขม่าคาร์บอนที่ได้เคลือบลงไป โดยควบคุมการทำงานผ่านโปรแกรม LabVIEW

5.1.2 โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้งานร่วมกับการเคลือบเขม่าคาร์บอนนั้น สามารถควบคุมการทำงานในจำนวนชั้นของการเคลือบเขม่าคาร์บอน และยังสามารถควบคุมความเร็วของการเลื่อน ซึ่งทำให้เกิดความแม่นยำ และสม่ำเสมอของเขม่าคาร์บอนที่เกิดขึ้นอีกด้วย

5.1.3 คณะผู้วิจัยได้ทดสอบชุดการเคลือบเขม่าคาร์บอนแล้วพบว่า เมื่อความเร็วในการเลื่อนเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะเวลาในการทำงานของชุดเลื่อนเข็มมีค่าลดลง แต่ทำให้เขม่าคาร์บอนติดบนกระจกสไลด์น้อย ทำให้มุมสัมผัสของหยดน้ำน้อยไปด้วย เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการเคลือบที่ใช้ความเร็วน้อยๆ จะเห็นได้ว่ามุมสัมผัสของสไลด์ที่เคลือบด้วยจำนวนชั้นเดียวกัน แต่ความเร็วต่างกันและมีผลต่อมุมสัมผัส และการเกิดคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 ผู้ทำการทดลองยังขาดความรู้ความเข้าใจเรื่องเกี่ยวกับการเคลือบชิ้นงาน ทำให้ในบางครั้งเกิดทำให้ชิ้นงานเสียหาย

5.2.2 ผู้ทำการทดลองไม่มีความพร้อมทางด้านอุปกรณ์ และเครื่องมือการทำงาน

5.2.3 ผู้ทดลองยังไม่สามารถกำหนดขอบเขตของเขม่าได้อย่างแม่นยำ และยังไม่สามารถกำหนดระยะของเขม่าที่เกิดจากเทียนได้อย่างแม่นยำ ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนได้

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

5.3.1 ผู้ทำการทดลองอาจจะทำการควบคุมการเกิดเขม่าคาร์บอน เพื่อทำให้การเคลือบมีความแม่นยำมากขึ้น

5.3.2 อาจจะมีการเพิ่มประสิทธิภาพของการเคลือบให้ดีขึ้น

5.3.3 สามารถนำไปสร้างอุปกรณ์ที่ประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ลลิตภัทร จันทร์อำพันแสง, รวิภาส นามคาน และอาวุธ พรหมรักษา. 2559. "การสร้างพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำยิ่งยวดโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสด้วยอนุภาคขนาดนาโนเมตร." หน้า 110-118. ใน **โครงการประกวดโครงงานวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์ระดับปริญญาตรีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
2. Gao , L and McCarthy , T. 2008. **Comments on definitions of hydrophobic, shear versus tensile hydrophobicity**. Langmuir
3. Vollmer, D. 2011. **การเปียก หลักพื้นฐานของกระจกทำความสะอาดตัวเองได้.** [Online]. Available : http://www.vcharkarn.com/varticle/43544.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

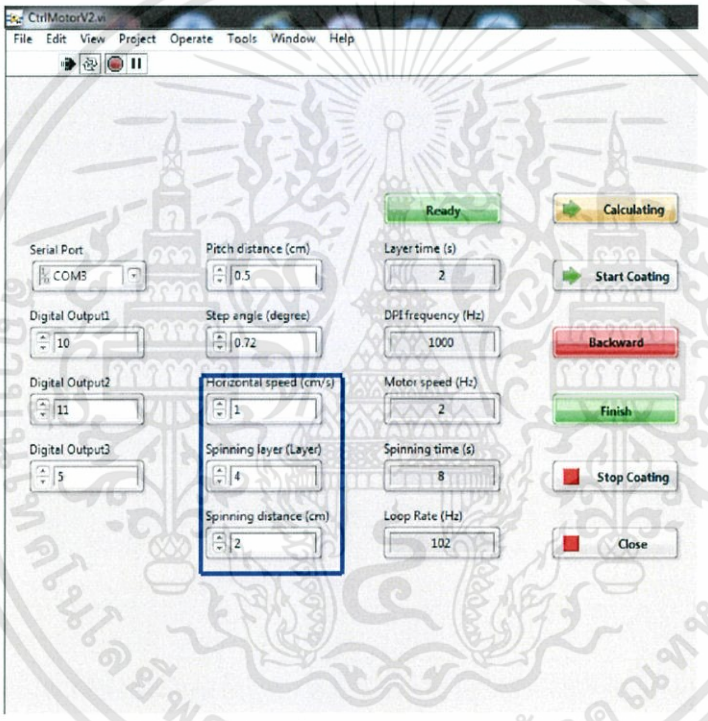
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การใช้ชุดเคลือบเขม่าคาร์บอน

ขั้นตอนดังนี้

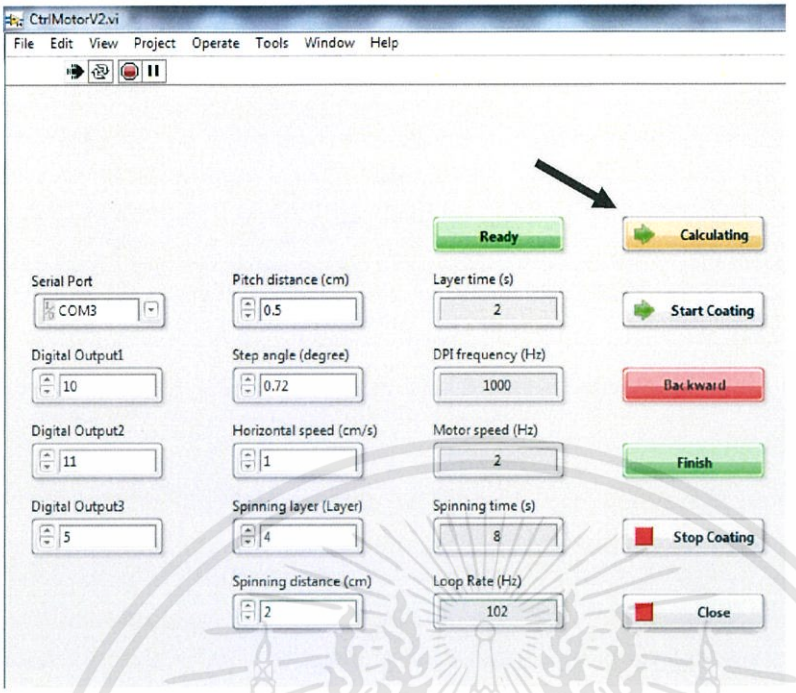
1. ทำการเชื่อต่อบอร์ด Arduino Uno เข้ากับคอมพิวเตอร์
2. เปิดโปรแกรม NI LabVIEW ที่ได้เขียนโปรแกรมคำสั่งไว้เล้ว
3. ใส่ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับทำการทดสอบ แสดงดังรูป ก.1



รูปที่ ก.1 แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์

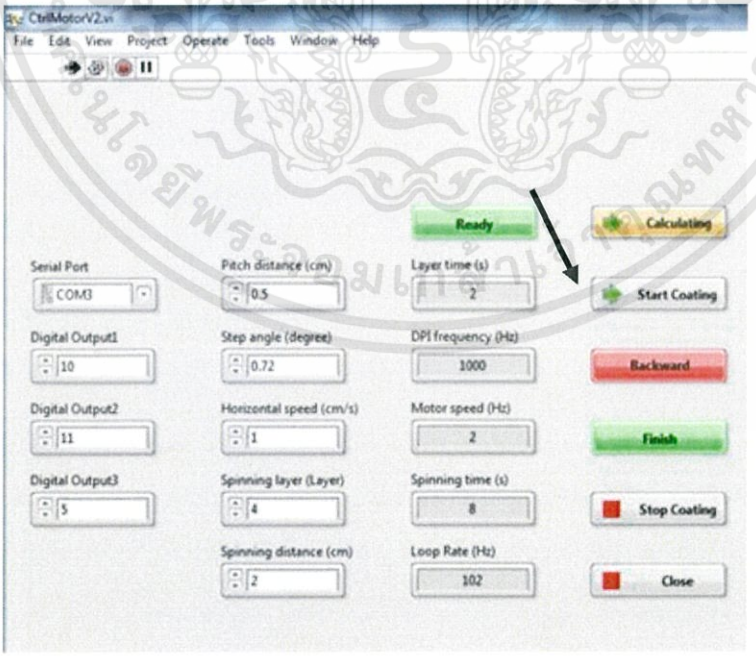
4. กด RUN โปรแกรม
5. กด Calculating เพื่อให้โปรแกรมคำนวณค่า แสดงดังรูปที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 แสดงการชุดควบคุมด้วยการกดปุ่ม Calculating

6. ปรับค่าความถี่ตามที่โปรแกรมทำการคำนวณมาให้
7. กด Start coating เพื่อเริ่มการเคลือบเขม่าคาร์บอน ดังแสดงรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 แสดงการชุดควบคุมการกด Start coating เพื่อเริ่มทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้