

ผลของมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ

นันทน์ริญ พิสิฐรัชต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

มีนาคม 2560

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา  
วิทยานิพนธ์ของ นันทน์ริญ พิสิฐรัชต์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

อรรถพล เขยสุกเกต ..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(ดร.อรรถพล เขยสุกเกต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

จิตรา เกตุแก้ว ..... ประธาน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา เกตุแก้ว)

อรรถพล เขยสุกเกต ..... กรรมการ  
(ดร.อรรถพล เขยสุกเกต)

ธนัสถา รัตนะ ..... กรรมการ  
(ดร.ธนัสถา รัตนะ)

ทศพร ..... กรรมการ  
(ดร.ทศพร เทศศรี)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษาของมหาวิทยาลัยบูรพา

เอกรัฐ ศรีสุข ..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 24 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2560

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความช่วยเหลือและกรุณาจากผู้เกี่ยวข้องหลายท่าน ผู้วิจัยขอพระขอบคุณ ดร.อรรถพล เขยสุกเกตุ ที่ให้ความกรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก วิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.จิตรา เกตุแก้ว ประธานกรรมการสอบ ดร.ชนัสตา รัตนะ และ ดร.การะเกด เทศศรี ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ตามแผนดำเนินงาน โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาระดับปริญญาโท และทุนวิจัยตลอดหลักสูตร

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณสำราญ ก่อแก้ว คุณอาพร สุขประเสริฐ คุณกัลยาณี บุญทรัพย์ และคุณนิสาชล ประทีปทอง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง

ขอขอบคุณพ่อสรวินธุ์ พิสิฐรัชต์ และคุณแม่ทัศนีย์ พิสิฐรัชต์ ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจทั้งทางด้านร่างกาย และจิตใจให้กับข้าพเจ้า ตลอดจนทั้งท่านอื่น ๆ ที่มีได้เอ่ยนามในที่นี้ ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือ ซึ่งมีส่วนทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทีแด่บุพการี บुरพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

นันทน์ริญ พิสิฐรัชต์

57920077: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)

คำสำคัญ: พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ/มุมสัมผัสหยดน้ำ/สภาพชอบน้ำ

นันทน์ริญ พิธิรัฐชต์: ผลของมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพด้วย

พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ (THE EFFECT OF WATER CONTACT ANGLE ON GLASS SLIDE TREATED BY ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA JET) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อรรถพล เชยสุภเกตุ, ประ. ค. 50 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

การศึกษาผลของมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเงื่อนไขการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศที่มีผลต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของกระจกสไลด์หลังการปรับสภาพพื้นผิว ศึกษาโดยใช้เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ เป็นตัวสร้างพลาสมาที่เงื่อนไขดังนี้ กระแสไฟฟ้า 300 mA ความต่างศักย์ไฟฟ้า 80 V ผลการศึกษาพบว่ามุมสัมผัสหยดน้ำเฉลี่ยก่อนปรับสภาพมีค่าเท่ากับ  $24.7^\circ$  หลังจากปรับสภาพมุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าลดลงอย่างมาก เฉลี่ยเท่ากับ  $1.4^\circ$ - $6.3^\circ$  โดยอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนที่เหมาะสมคือ 5 L/min ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ที่เหมาะสมคือ 15 mm เมื่อนำเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวของกระจกสไลด์แล้วเพิ่มแก๊สออกซิเจนเข้าไป พบว่า อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 3 L/min ทำให้มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าลดลง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ที่แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของหมู่ฟังก์ชันออกซิเจน ซึ่งทำให้พื้นผิวของกระจกสไลด์เกิดสภาพชอบน้ำยิ่งยวด

57920077: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)

KEYWORDS: ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA JET/WATER CONTACT  
ANGLE/HYDROPHILICITY

NANNARIN PHISITTHARAT : THE EFFECT OF WATER CONTACT ANGLE  
ON GLASS SLIDE TREATED BY ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA JET. ADVISORY  
COMMITTEE: ATTAPOL CHOEYSUPPAKET, Ph.D. 50 P. 2017.

The study of the effect of water contact angle on glass slide treated by atmospheric pressure plasma jet. This research aimed at study the condition of atmospheric-pressure plasma jet for surface modification on the effect to water contact angle on glass slides, surface morphology of glass slides and chemical composition by using radio frequency generator to produce plasma gas, as current is 300 mA, voltage is 80 V. This study found that before treating water contact angle by plasma jet averaged  $24.7^\circ$  and after treating water contact angle extremely decrease, averaged  $1.4^\circ$ - $6.3^\circ$ . Appropriate rate of Argon flowing is 5 L/min and the nozzle to surface gap is 15 mm. When the most appropriate condition was used for surface modification of glass slides and added oxygen, I found that rate of oxygen flowing is 3 L/min that made water contact angle on glass slides decrease. This study conform to analysis of FTIR that indicated about increasing oxygen bond made glass slides became superhydrophilic.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญภาพ .....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
พลาสติก.....	4
การเกิดพลาสติก.....	5
ระบบผลิตพลาสติก.....	8
การโค้งงอของผิวของเหลว.....	10
สภาพชอบน้ำและสภาพไม่ชอบน้ำ .....	11
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	12
เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) .....	13
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย .....	17
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....	18
ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างกระจกสไลด์ก่อนปรับสภาพพื้นผิว.....	18
ขั้นตอนการผลิตพลาสติกเจ้าระบบความดันบรรยากาศ.....	19
วิธีการทดลอง .....	21
การวัดมุมสัมผัสหยดน้ำบนพื้นผิวกระจกสไลด์ .....	22

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา .....	25
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี.....	25
4. ผลการวิจัย .....	26
ผลการศึกษาอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน โดยวิธีพลาสมาเจ็ทระบบความ ดันบรรยากาศที่มีต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ .....	26
ผลการศึกษาเปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับ สภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน ผสมแก๊สออกซิเจน .....	37
5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย .....	43
อภิปรายผล .....	43
สรุปผลการทดลอง .....	46
ข้อเสนอแนะ.....	47
บรรณานุกรม .....	48
ประวัติย่อของผู้วิจัย .....	50

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
3-1	เงื่อนไขของการศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนโดยวิธีพลาสมา เจ็ทระบบความดันบรรยากาศที่มีต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์.....	21
3-2	เงื่อนไขของการศึกษาการเปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊ส อาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน.....	22
4-1	มุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ก่อนการปรับสภาพพื้นผิว.....	27
4-2	มุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิวที่อัตราการไหล 3 L/min .....	27
4-3	มุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิวที่อัตราการไหล 5 L/min .....	28
4-4	มุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิวที่อัตราการไหล 7 L/min .....	28
4-5	ภาพเปรียบเทียบหยดน้ำบนกระจกสไลด์ก่อนปรับสภาพพื้นผิว และหลังปรับ สภาพพื้นผิว เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ต่าง ๆ ที่อัตรา การไหล 3 L/min .....	29
4-6	ภาพเปรียบเทียบหยดน้ำบนกระจกสไลด์ก่อนปรับสภาพพื้นผิว และหลังปรับ สภาพพื้นผิว เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ต่าง ๆ ที่อัตรา การไหล 5 L/min.....	30
4-7	ภาพเปรียบเทียบหยดน้ำบนกระจกสไลด์ก่อนปรับสภาพพื้นผิว และหลังปรับ สภาพพื้นผิว เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ต่าง ๆ ที่อัตรา การไหล 7 L/min.....	31



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-8 มุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนผสม แก๊สออกซิเจนที่อัตราการไหลต่าง ๆ ของแก๊สออกซิเจน เมื่อปรับสภาพพื้นผิว เป็นเวลา 10 s อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min และระยะห่างระหว่าง หัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 15 mm .....	38
4-9 ภาพเปรียบเทียบหยดน้ำบนกระจกสไลด์ก่อนปรับสภาพพื้นผิว และหลังปรับ สภาพพื้นผิว ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ของแก๊สออกซิเจน เมื่อปรับสภาพพื้นผิว เป็นเวลา 10 s อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min และระยะห่างระหว่าง หัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 15 mm .....	39

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1	หลักการผลิตพลาสมาแบบ DBD ..... 8
2-2	หลักการผลิตพลาสมาแบบ APPJ ..... 9
2-3	รูปร่างของน้ำบนผิวที่ต่างกัน ..... 10
2-4	มุมสัมผัสบนพื้นผิวระนาบตรง ..... 11
2-5	มุมสัมผัสค่าต่าง ๆ บนพื้นผิววัสดุ ..... 12
2-6	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ..... 13
2-7	เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ..... 14
3-1	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ..... 17
3-2	ขั้นตอนการทำความสะอาดกระจกสไลด์ ..... 19
3-3	การกำหนดตำแหน่งบนกระจกสไลด์ ..... 19
3-4	เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับผลิตพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ ..... 20
3-5	การจัดชุดอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับผลิตพลาสมาเจ็ท ..... 21
3-6	เครื่องวัดมุมสัมผัสที่ใช้ในการทดลอง ..... 23
3-7	การเปรียบเทียบสเกลไม้บรรทัดในภาพของหยดน้ำกับในภาพไมโครแทรกเตอร์ .. 24
3-8	การกำหนดเส้นขอบและลากเส้นสัมผัสผิวของหยดน้ำ ..... 24
3-9	การนำเส้นสัมผัสของหยดน้ำที่ได้มาวัดมุมในภาพไมโครแทรกเตอร์ ..... 25
4-1	มุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่างกัน ..... 32
4-2	การเปลี่ยนแปลงสัญญาณวิทยาโดยใช้กำลังขยาย 10,000 เท่า ของพื้นผิว กระจกสไลด์ ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่าง ๆ ระยะห่าง 15 mm เวลา 15 s ..... 33
4-3	การเปลี่ยนแปลงสัญญาณวิทยาโดยใช้กำลังขยาย 10,000 เท่า ของพื้นผิว กระจกสไลด์ ที่ระยะห่างต่าง ๆ อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min เวลา 15 s ..... 34
4-4	องค์ประกอบทางเคมีของกระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิว ภายใต้เงื่อนไข ต่าง ๆ ..... 36

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามัมสัมผัสของหยดน้ำบนผิวกระจกสไลด์กับอัตรา การไหลของแก๊สออกซิเจนที่อัตราการไหลต่าง ๆ ..... 40
4-6	การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาโดยใช้กำลังขยาย 10,000 เท่า ของพื้นผิว กระจกสไลด์ ที่อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ ..... 41
4-7	องค์ประกอบทางเคมีของกระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิว ที่อัตราการไหล ต่าง ๆ ของแก๊สออกซิเจน ..... 42

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลาสมา เป็นสถานะที่ 4 ของสสาร เนื่องจากมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากสถานะอื่นอย่างชัดเจน พลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุทั้งประจุบวกและลบ ในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ การอยู่ร่วมกันของอนุภาคเหล่านี้เป็นแบบประหนึ่งเป็นกลาง (Quasi neutral) ซึ่งหมายความว่าอิเล็กตรอนและไอออนในบริเวณนั้น โดยรวมแล้วมีจำนวนเท่า ๆ กัน และแสดงพฤติกรรมร่วม (Collective behavior)

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านพลาสมามีบทบาทในวงการอุตสาหกรรมหลายแขนง เพราะเป็นเทคโนโลยีสะอาด (Clean technology) เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ใช้น้ำและสารเคมีน้อยมาก อีกทั้งยังเป็นการปรับปรุงเฉพาะระดับผิว ไม่กระทบคุณภาพดั้งเดิมของวัสดุนั้น ๆ จึงสามารถประยุกต์ใช้ในหลายอุตสาหกรรม อาทิ อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม เช่น ผ้า ซึ่งสามารถกำหนดให้ผ้ามีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) หรือไม่ชอบน้ำ กันน้ำ (Hydrophobic) หรือทำให้การติดสี การเกาะโปรตีนบนสิ่งทอดีขึ้น และยังประยุกต์ใช้ในวงการแพทย์ได้อีกด้วย

พลาสมาสามารถเกิดได้โดย การให้สนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่แก๊สที่เป็นกลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอม และทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากซึ่งจะทำให้แก๊สแตกตัวและกลายเป็นพลาสมาในที่สุด กระบวนการผลิตพลาสมามี 2 ระบบ คือ ระบบความดันต่ำ (Low Pressure Plasma : LPP) และระบบความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure Plasma : APP) ซึ่งในกลุ่มของพลาสมาระบบความดันบรรยากาศพบว่า พลาสมาเจ็ต (Plasma jet) มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบอื่นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากเป็นระบบที่มีอุณหภูมิต่ำ อนุภาคที่มีประจุและความหนาแน่นของปฏิกิริยาที่ว่องไวมีค่าสูงในพลาสมา (M.C. Kim, 2003)

การปรับปรุงพื้นผิววัสดุโดยทั่วไปส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการทางความร้อน ซึ่งมีข้อเสียและข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น คุณภาพของพื้นผิวที่ได้รับการปรับปรุงแล้วยังไม่คืนค่า วัสดุหรือชิ้นงานที่ต้องการปรับปรุงต้องเหมาะสมสำหรับกระบวนการทางเคมีเท่านั้น นอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีจำนวนมากทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อจำกัดเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงพื้นผิววัสดุด้วยพลาสมา (Plasma surface modification) เนื่องจากพลาสมาที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงพื้นผิววัสดุจะทำอันตรกิริยา (Interaction) เฉพาะอะตอมที่มีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ ที่อยู่บริเวณผิวหน้าของวัสดุเท่านั้น เพื่อให้มีสมบัติตามต้องการเท่านั้น พลาสมาที่ใช้จะไม่มีผลต่อวัสดุทั้งชิ้นงาน (Bulk) ที่สำคัญกระบวนการปรับปรุงพื้นผิววัสดุด้วยพลาสมานั้นเป็นกระบวนการที่ไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนซึ่งอาจมีผลต่อสมบัติโดยรวมของชิ้นงาน อีกทั้งยังไม่มีการใช้สารเคมีที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

การใช้พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศในการปรับสภาพพื้นผิววัสดุมีการเลือกใช้เงื่อนไขของการปรับสภาพที่แตกต่างกัน เช่น ชนิดของแก๊สพลาสมา อัตราส่วนของแก๊สพลาสมา อัตราเร็วของหัวฉีดเจ็ท เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิว และระยะห่างระหว่างวัสดุรองรับกับหัวฉีดเจ็ท (นันทคม เป็นมงคล, 2557) จากงานวิจัยของคิม (Kim, 2003) ศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวสแตนเลสสตีล เพื่อให้มีสมบัติความชอบน้ำโดยใช้พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ โดยใช้แก๊สไนโตรเจนผสมกับแก๊สออกซิเจนในอัตราส่วน 4:1 พบว่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวสแตนเลสสตีลมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับก่อนปรับสภาพ และซารานี (Sarani, 2011) ศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวโพลีโพรไพลีน (PP) ด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ โดยใช้แก๊สอาร์กอนและแก๊สอาร์กอนผสมไอน้ำ พบว่าไอน้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับสภาพพื้นผิวโพลีโพรไพลีน ต่อมาในปี 2012 รีกูล่า (Regula, 2012) ได้ศึกษาการป้องกันการกัดกร่อนผิวโลหะด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ พบว่าผิวโลหะที่ได้รับการปรับสภาพแล้วสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ดี

จากข้อมูลงานวิจัยข้างต้นพบว่า ถ้ามีการใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการปรับสภาพพื้นผิวแล้ว จะทำให้วัสดุมีคุณสมบัติพื้นผิวตามที่ต้องการได้ เช่น เพิ่มสมบัติการยึดเกาะ การติดสี และสมบัติความชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวของกระจกสไลด์ เพื่อให้มีสมบัติชอบน้ำ ด้วยวิธีพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ โดยใช้แก๊สอาร์กอนในอัตราการใช้ที่ที่เหมาะสม และผสมแก๊สออกซิเจนเข้าไปเพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของแก๊สออกซิเจนที่มีผลต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำวิจัยต่อไป

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน โดยวิธีพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศที่มีต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์
2. เปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบผลของอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน โดยวิธีพลาสมาเจ้ที่ระบบความดันบรรยากาศที่มีต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์
2. ทราบผลของการเปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน

### ขอบเขตของการวิจัย

1. เจื่อนไขที่ใช้ในการศึกษาพลาสมาเจ้ที่ระบบความดันบรรยากาศเพื่อปรับสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์ คือ อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนที่เหมาะสมกับการปรับสภาพพื้นผิว และผลของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจนที่มีผลต่อมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ ทำการศึกษาผลของเงื่อนไขต่างๆ โดยการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle meter)
2. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา และองค์ประกอบทางเคมีของกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพพื้นผิวแล้ว

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎี เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถแบ่งเป็นหัวข้อต่าง ๆ ได้ ดังนี้

#### พลาสมา (Plasma)

พลาสมา คือ แก๊สที่มีสภาพเป็นไอออน และมักจะถือเป็นสถานะหนึ่งของสสาร การมีสภาพเป็นไอออนดังกล่าวนี้ หมายความว่า จะมีอิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัว ถูกดึงออกจากโมเลกุล ประจุไฟฟ้าอิสระทำให้พลาสมามีสภาพการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น พลาสมาเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร มีการเอ่ยถึงครั้งแรกโดยเซอร์ วิลเลียม ครูกส์ (Sir William Crookes) เมื่อ ค.ศ. 1879 และในปี ค.ศ. 1928 นั้น เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) คิดคำว่าพลาสมาขึ้นมาแทนสถานะของสสารนี้เนื่องจากเขานึกถึงพลาสมาของเลือด

พลาสมาจัดได้ว่าเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร เนื่องจากมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากสถานะอื่นอย่างชัดเจน พลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุทั้งประจุบวกและลบ ในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ การอยู่ร่วมกันของอนุภาคเหล่านี้เป็นแบบประหนึ่งเป็นกลาง (Quasi neutral) ซึ่งหมายความว่าอิเล็กตรอนและไอออนในบริเวณนั้น โดยรวมแล้วมีจำนวนเท่า ๆ กัน และแสดงพฤติกรรมร่วม (Collective behavior)

พฤติกรรมร่วมนี้หมายถึง การเคลื่อนที่ของอนุภาคในพลาสมา ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในบริเวณนั้น ๆ เท่านั้น แต่เป็นผลโดยรวมจากพลาสมาส่วนใหญ่ มากกว่าที่จะเป็นผลมาจากการชนกันของอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอนุภาคในพลาสมาที่สถานะสมดุล จะมีการสั่นด้วยความถี่ที่สูงกว่าความถี่ในการชนกันของอนุภาค 2 ตัวที่อยู่ใกล้กัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าพฤติกรรมร่วมนี้เป็นพฤติกรรมที่กลุ่มพลาสมาแสดงออกมารวมกัน

พลาสมาสามารถเกิดได้โดย การให้สนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่ก๊าซที่เป็นกลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอม และทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเพิ่มขึ้นอย่างมากซึ่งจะทำให้ก๊าซแตกตัวและกลายเป็นพลาสมาในที่สุด พลาสมามีความแตกต่างจากสถานะของแข็ง สถานะของเหลว และสถานะก๊าซ โดยมีเงื่อนไข 3 ประการ ในเรื่องดังต่อไปนี้คือ ความยาวคลื่นเดอบาย

จำนวนอนุภาค และความถี่พลาสมา ซึ่งทำให้พลาสมามีความจำเพาะเจาะจงที่แตกต่างจากสถานะอื่นออกไป (อุกฤษ กิจศิริเจริญชัย, 2549)

แก๊สที่แตกตัวนั้น ไม่ได้นับว่าเป็นพลาสมาได้ทั้งหมด เงื่อนไขสำหรับแก๊สที่แตกตัวที่สามารถเรียกได้ว่าเป็นพลาสมานั้น มีอยู่ 3 ข้อคือ (เกษม หมั่นธรรม, 2549)

1. ความยาวคลื่นเดอบาย (Debye's wavelength,  $\lambda_D$ ) มีค่าน้อยกว่าขนาดของพลาสมา (L) มากๆ

$$\lambda_D \ll L$$

โดยที่  $\lambda_D$  คือความยาวคลื่นเดอบาย และ L คือ ขนาดพลาสมา

2. จำนวนอนุภาคที่อยู่ภายในทรงกลมของเดอบาย (Debye's sphere) มีค่ามากกว่า 1 มากๆ

$$N_D \gg 1$$

โดยที่  $N_D$  คือ จำนวนอนุภาคที่อยู่ภายในทรงกลมของเดอบาย

3. ความถี่ของการชนอย่างอิสระระหว่างอนุภาคกับอนุภาคใดอนุภาคหนึ่งในหน่วยเวลา มีค่ามากกว่า 1

$$\omega_p \tau > 1$$

โดยที่  $\omega_p$  คือ ความถี่ของการสั่นของพลาสมา

และ  $\tau$  คือ เวลาเฉลี่ยระหว่างการชนกันของอะตอมหรืออนุภาคอิสระ

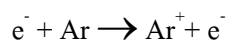
### การเกิดพลาสมา (Occur of plasma)

กระบวนการเกิดพลาสมามีดังนี้ (เกษม หมั่นธรรม, 2549)

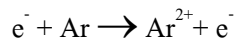
#### 1. การแตกตัว (Ionization)

คือการทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม เนื่องจากอะตอมหรือโมเลกุลของแก๊สได้รับพลังงาน หรือความร้อนจากภายนอกมากเพียงพอที่จะเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา หรือการให้ศักย์ของคลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency) ที่มีการลดความดันของแก๊สลงมาอยู่ที่ 1 มิลลิบาร์ ซึ่งกระบวนการที่แตกตัวเป็นไอออน อิเล็กตรอนที่เกาะอยู่กับอะตอมจะหลุดออกมา ทำให้อะตอมกลายเป็นไอออนและเกิดการรุ่งแสง (Glow discharge) เปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา จะได้ชนิดของแก๊สที่มีการเปล่งแสง แสงเหนือม่วง (Ultraviolet) ที่เกิดขึ้น และความถี่แสงในช่วงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร ลักษณะการรุ่งแสงตัวอย่างเช่น แก๊สอาร์กอนให้แสงชมพูอมม่วง ไนโตรเจนให้แสงสีน้ำเงิน การแตกตัวและค่าพลังงานมีค่าดังนี้

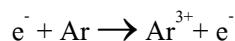


**Ionization energy of Argon**

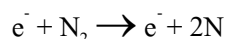
First ionization energy 15.7 eV



Second ionization energy 27.6 eV



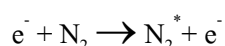
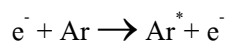
Third ionization energy 40.7 eV

**Ionization energy of Nitrogen**

First ionization energy 10 eV

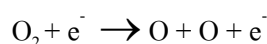
**2. การถูกกระตุ้น (Excitation)**

การส่งผ่านอย่างกะทันหันของพลังงาน ย่อมทำให้อิเล็กตรอนกระโดดไปยังชั้นที่มีพลังงานสูงกว่าในอะตอม กระบวนการนี้คือกระบวนการกระตุ้นสถานะของอะตอม ตัวอย่างเช่น (\* ดอกจันแสดงถึงสถานะกระตุ้น)

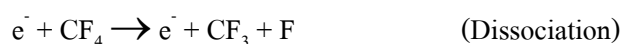
**3. การแยกตัวออก (Dissociation)**

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้น โดยแก๊สถูกกระทำโดยศักย์ของคลื่นความถี่วิทยุ กระบวนการนี้ได้แก่กระบวนการแยกตัวของแก๊สออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) สามารถแตกตัวได้เป็นออกซิเจน 2 อะตอม อย่างไรก็ตาม แก๊สอะตอมเดี่ยวทุกชนิดไม่สามารถที่จะแยกตัวได้ เช่น แก๊สอาร์กอน

กระบวนการแยกตัวออก ตัวอย่างเช่น



ผลลัพธ์ของการแยกตัวออก คือการเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ผลที่ได้จะมีปฏิกิริยาไวกว่าปฏิกิริยาของโมเลกุลเดิม การแยกตัวอาจจะเกิดควบคู่กับการแตกตัวหรือไม่ก็ได้ ตัวอย่างเช่น



ผลของการเรืองแสงของแก๊สที่ลดความดัน และศักย์ของคลื่นวิทยุที่กระตุ้น จะสังเกตเห็นพลาสมาเปล่งแสงที่เรียกว่ารู้งแสง ซึ่งหมายถึงแสงของพลาสมาที่เปล่งออกมาเนื่องจากพลังงานภายนอกที่ทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากสถานะพื้นเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น

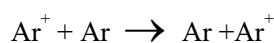
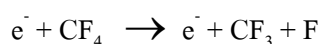
โดยปกติอิเล็กตรอนสามารถอยู่ในสถานะกระตุ้นได้เพียงช่วงเวลาสั้นมากๆคือประมาณ  $10^{-18}$  วินาที จากนั้นเวเลนซ์อิเล็กตรอนจะกลับคืนสู่สถานะพื้น และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและความถี่ของแสงในช่วงที่ตามองเห็น

แสงพลาสมาที่เปล่งออกมา จะแสดงถึงลักษณะแก๊สที่แตกตัว เช่น แก๊สอาร์กอนจะเปล่งแสงเป็นสีชมพูอมม่วง และแก๊สไนโตรเจนจะเปล่งแสงเป็นสีน้ำเงิน

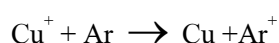
ผลของการเรืองแสงของแก๊สที่ลดความดัน และศักย์ของคลื่นวิทยุที่กระตุ้นพลาสมา ซึ่งจะประกอบไปด้วยแอกทีฟสปีชีส์ (Active species) ตัวอย่างเช่น กรณีของแก๊สออกซิเจน อะตอมของแก๊สออกซิเจนจะเกิดการออกซิไดซ์กับโมเลกุลสารอินทรีย์ เช่น วัสดุเซลลูโลส พอลิเมอร์ ฝ้า และอื่นๆ และสามารถทำความสะอาดชิ้นงานเหล่านี้ได้

#### 4. การแลกเปลี่ยนประจุ (Charge exchange)

คือการถ่ายเทประจุกับอะตอม จะเกิดขึ้นได้ง่ายมาก หากเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนกับอะตอมของธาตุเดียวกัน ตัวอย่างเช่น

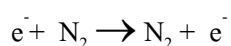
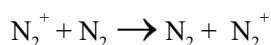


ในทำนองเดียวกันจะเกิดขึ้นยาก แต่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ กรณีเป็นธาตุต่างชนิดกัน ตัวอย่างเช่น



#### 5. การถ่ายเทโมเมนตัม (Momentum transfer)

เป็นกลไกเบื้องต้นสำหรับการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของแรงจากการชนของอะตอม กรณีแก๊สที่เป็นกลาง การถ่ายเทโมเมนตัมของอิเล็กตรอนไม่ได้มีความสำคัญของการรบกวนมากนัก แต่เป็นกระบวนการที่สามารถเกิดพลาสมาได้ เช่น กรณีแก๊สไนโตรเจน ตามสมการ

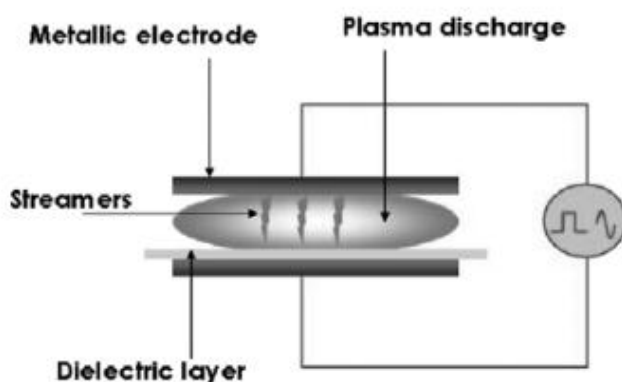


## ระบบผลิตพลาสมา

การผลิตพลาสมาในปัจจุบันยังถูกจำกัดอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นหลัก ทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านระบบสุญญากาศและการบำรุงรักษาที่สูงมาก การผลิตพลาสมาที่ความดันบรรยากาศจึงข้ามข้อจำกัดเรื่องสภาวะสุญญากาศออกไป และคาดว่าจะมีส่วนสำคัญที่ช่วยทวีบทบาทของพลาสมาในระดับอุตสาหกรรมได้มากขึ้น (สมศักดิ์ แดงดีบ, 2552) ซึ่งการผลิตพลาสมาที่ความดันบรรยากาศมี 2 ระบบ คือ

### ระบบผลิตพลาสมาที่ความดันบรรยากาศแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ (Dielectric barrier discharge.: DBD)

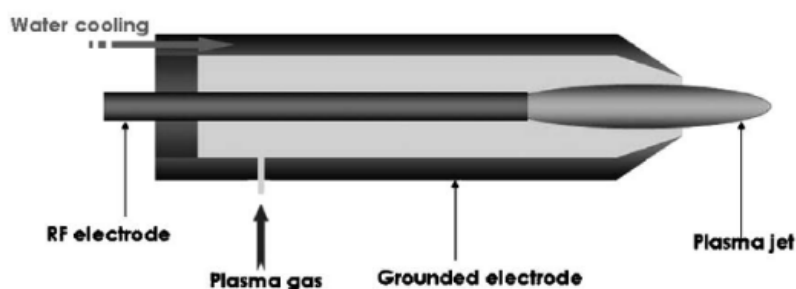
การสร้างพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์นั้นประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนใหญ่ ๆ นั้นคือ 1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสวิตช์สูงความถี่ปานกลาง 2) ห้องกำเนิดพลาสมา มีข้อได้เปรียบกว่าระบบผลิตพลาสมาทั่วไป นั่นคือ สามารถจุดพลาสมาในความดันบรรยากาศได้และไม่ต้องการปั๊มสุญญากาศซึ่งมีราคาแพง จากข้อได้เปรียบที่กล่าวมานั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี โดยหลักการเบื้องต้นของพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ที่ความดันบรรยากาศ คือ ใช้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าจุดพลาสมาโดยขั้วไฟฟ้าจะถูกกั้นหรือปิดคลุมโดยวัสดุไดอิเล็กทริก เพื่อป้องกันการอาร์คของพลาสมาซึ่งจะทำให้วัสดุไดอิเล็กทริกถูกทำลาย ส่วนประกอบสำคัญของระบบผลิตพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์นั้นถูกแสดงในภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 หลักการผลิตพลาสมาแบบ DBD (Tendero, 2006)

### ระบบผลิตพลาสมาที่ความดันบรรยากาศแบบพลาสมาเจ็ท (Atmospheric pressure plasma jet : APPJ)

การสร้างพลาสมาแบบพลาสมาเจ็ทจะใช้แหล่งกำเนิดเป็นคลื่นความถี่วิทยุ การสร้างพลาสมาแบบนี้อุปกรณ์มีขนาดเล็ก ( $L < 20$  เซนติเมตร) คลื่นวิทยุใช้พลังงานต่ำ จากภาพที่ 2-2 จะเห็นได้ว่า ส่วนประกอบสำคัญคือ อิเล็กโทรด (Electrode) ซึ่งมีอยู่ 2 ส่วน คืออิเล็กโทรดส่วนแรกต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุ (RF electrode) และอีกส่วนหนึ่งต่อเข้ากับสายดิน (Grounded electrode) คลื่นวิทยุที่ใช้มีความต่างศักย์ระหว่าง 100 – 150 โวลต์ แก๊สที่ถูกไอออไนซ์จะวิ่งผ่านหัวฉีดตั้งแต่แก๊สมีความเร็วประมาณ 12 เมตรต่อวินาที ซึ่งพลังงานหัวฉีดที่ต่ำ แบบนี้จะช่วยให้ประจุพลาสมาที่ได้มีความเสถียรและป้องกันการเกิดอาร์คพลาสมา (Tendero, 2006)



ภาพที่ 2-2 หลักการผลิตพลาสมาแบบ APPJ (Tendero, 2006)

แก๊สที่สามารถนำมาจุดพลาสมาในความดันบรรยากาศนั้นมีได้หลายชนิด โดยมักใช้แก๊สอาร์กอนหรือฮีเลียมเป็นแก๊สหลัก เพื่อทำหน้าที่เป็นแก๊สนำพาเพื่อช่วยในการจุดพลาสมาและทำให้พลาสมานั้นมีความสม่ำเสมอ โดยแก๊สแต่ละชนิดจะถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมการจ่ายและผสมแก๊สก่อนที่จะถูกส่งเข้าสู่ห้องกำเนิดพลาสมา

## การโค้งของผิวของเหลว

เมื่อเทของเหลวลงในภาชนะและของเหลวอยู่นิ่ง สังเกตผิวของเหลวจะพบว่า ผิวของเหลวตรงบริเวณที่สัมผัสผิวภาชนะมีลักษณะ โค้ง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การ โค้งของผิวของเหลว (Meniscus effect) ซึ่งเกิดจากแรงระหว่างโมเลกุล (Intermolecular force) สองชนิด คือ แรงเชื่อมแน่น (Cohesive force) ซึ่งเป็นแรงระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน และแรงยึดติด (Adhesive force) ซึ่งเป็นแรงระหว่างโมเลกุลต่างชนิดกัน

จากปรากฏการณ์การ โค้งของผิวของเหลว จะเห็นว่า ผิวของเหลวกับผิวของแข็งจะทำมุมกัน สำหรับของเหลวและของแข็งคู่หนึ่งๆ มุมระหว่างผิวทั้งสองมีค่าต่างกัน มุมระหว่างผิวของเหลว กับผิวของแข็ง ณ จุดสัมผัส เรียกว่า มุมสัมผัส  $\theta$  (Contact angle) ซึ่งมีค่าตั้งแต่  $0^\circ - 180^\circ$



(ก)

(ข)

ภาพที่ 2-3 รูปร่างของน้ำบนผิวที่ต่างกัน (ก) ของเหลวในสภาพเป็นหยด (ข) ของเหลวในสภาพแผ่กระจาย (ฟิสิกส์ราชมงคลดอทคอม, 2559)

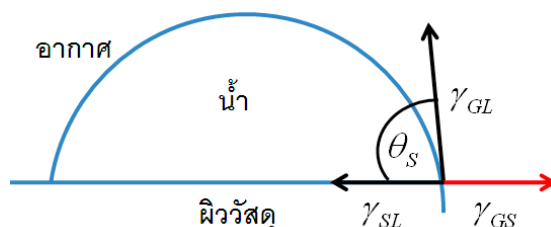
มุมสัมผัสจะบอกให้ทราบว่า เมื่อของเหลวอยู่บนพื้น ผิวของเหลวจะอยู่ในสภาพเป็นหยด (ไม่ทำให้พื้นผิวเปียก) หรือแผ่กระจาย (ทำให้พื้นผิวเปียก) โดยพิจารณาดังนี้ มุมสัมผัสที่มีค่าระหว่าง  $0-90$  องศา ของเหลวจะแผ่กระจายและเปียกพื้น มุมสัมผัสที่มีค่าระหว่าง  $90-180$  องศา ของเหลวจะเป็นก้อนและไม่เปียกพื้น

ในการออกแบบสินค้า เช่น ร่ม เต็นท์ เสื้อผ้าที่กันน้ำได้ ผู้ผลิตได้ใช้ผ้าที่เคลือบด้วยสารบางอย่าง ทำให้มุมสัมผัสมีค่ามากกว่า  $90$  องศา เมื่อผ้าถูกน้ำหรือน้ำฝน น้ำจะอยู่ในสภาพเป็นหยด น้ำบนผ้า แทนที่จะแตกกระจายและซึมผ่านเนื้อผ้าเข้าไป (ฟิสิกส์ราชมงคลดอทคอม, 2559)

## สภาพชอบน้ำ (Hydrophilic) และสภาพไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic)

วัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นด้านสภาพไม่ชอบน้ำ จะสามารถต้านทานต่อการยึดเกาะของน้ำได้ เนื่องจากมีแรงดึงที่ผิวต่ำ (Low surface tension) กว่าน้ำจึงทำให้น้ำสามารถรักษาสภาพทรงกลมในลักษณะของหยดน้ำไว้ได้ และในขณะเดียวกันก็จะไม่กระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของวัสดุนั้น แต่สำหรับวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นด้านสภาพชอบน้ำ จะมีค่าแรงดึงที่ผิวสูง (High surface tension) กว่าน้ำ จึงทำให้น้ำสามารถกระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของวัสดุนั้นจนทำให้อัตราการเปียกแรงดึงที่ผิวของหยดน้ำบนพื้นผิววัสดุที่มีระนาบตรงจะมีแรงกระทำของอากาศที่อยู่รอบด้าน ซึ่งหากพิจารณาแรงที่กระทำในรูปแบบอย่างง่ายดังภาพที่ 2-4 การที่น้ำอยู่บนพื้นผิวใด ๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการของยัง (Young's equation) ที่เสนอในปี ค.ศ. 1807 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงของอากาศที่กระทำต่อหยดน้ำ ( $\gamma_{GL}$ ) แรงระหว่างอากาศกับผิววัสดุ ( $\gamma_{GS}$ ) และแรงระหว่างผิววัสดุกับน้ำ ( $\gamma_{SL}$ ) ดังสมการที่ (1) โดย  $\theta_s$  คือมุมสัมผัสที่กระทำต่อผิววัสดุบนพื้นผิวระนาบตรง ซึ่งถือว่าการวัดมุมสัมผัส ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง (Static contact angle) หากมุมสัมผัสนี้มีค่า  $90^\circ$  จะทำให้เกิดความสมดุลของแรงระหว่างอากาศกับผิววัสดุและแรงระหว่างผิววัสดุกับน้ำ โดยวัสดุจะอยู่ในสภาวะเปียกอย่างสมบูรณ์เมื่อมุมสัมผัสมีค่าเป็น  $0^\circ$  (กิตติกร มณีสว่าง, 2554)

$$\gamma_{GL} \cos \theta = \gamma_{GS} + \gamma_{SL} \quad (1)$$



ภาพที่ 2-4 มุมสัมผัสบนพื้นผิวระนาบตรง (กิตติกร มณีสว่าง, 2554)

ซึ่งการศึกษาสภาพชอบน้ำ จะศึกษาค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับวัสดุรองรับ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ (ณัฐทิ ถึงสุข, 2557)

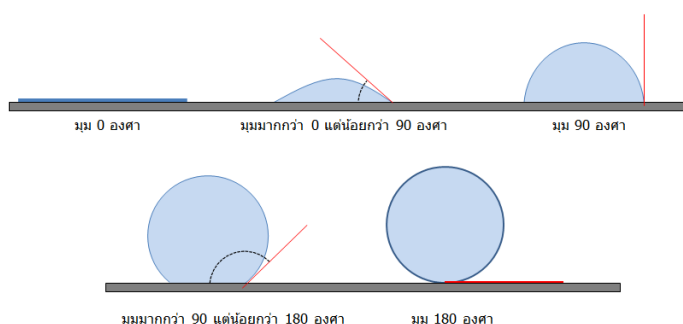
1. มุมสัมผัสเท่ากับ  $0^\circ$  เป็นกรณีที่แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ เมื่อของเหลวถูกหยดลงบนผิว ของเหลวจะกระจายไปตามผิวของของแข็งจนกลายเป็นชั้นของของเหลวบาง ๆ ครอบคลุมพื้นผิวของของแข็งเป็นบริเวณกว้างที่สุด

2. มุมสัมผัสมีค่าระหว่าง  $0^\circ$  ถึง  $90^\circ$  ของเหลวจะกระจายไปบนผิวได้เป็นบริเวณกว้าง แต่ก็ยังคงเกาะกันเป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อยจากผิวของของแข็ง

3. มุมสัมผัสมีค่าตั้งแต่  $90^\circ$  แต่ไม่ถึง  $180^\circ$  ของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม จะมีบริเวณเล็ก ๆ ที่ฐานของหยดของเหลวยังคงสัมผัสกับผิวของของแข็ง

4. มุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ  $180^\circ$  เกิดขึ้นเมื่อแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ ดังนั้นของเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลม บริเวณที่ของเหลวสัมผัสกับผิวของของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลม ซึ่งเล็กมากจนแทบจะเป็นจุด เมื่อเป็นแบบนี้ของเหลวสามารถกลิ้งไปมาบนผิวได้ อิศระเหมือนลูกบอลกลิ้งบนพื้นเรียบ

ถ้ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าน้อยกว่า  $5^\circ$  จะเรียกว่า สภาพชอบน้ำยิ่งยวด (Super hydrophilic) และถ้ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่ามากกว่า  $150^\circ$  จะเรียกว่า สภาพไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (Super hydrophobic)



ภาพที่ 2-5 มุมสัมผัสค่าต่าง ๆ บนพื้นผิววัสดุ (ณัฐทิ ถึงสุข, 2557)

### กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ชนิดที่มีกำลังขยายสูง โดยใช้ลำอิเล็กตรอนที่โฟกัสแล้วแทนแหล่งกำเนิดแสงส่องกราดไปบนผิวหน้าของตัวอย่างในการสร้างภาพในแนวระนาบและแนวลึก เครื่อง SEM สามารถให้ภาพของวัตถุที่มีกำลังขยายและความละเอียดสูง โดยมีกำลังขยายอยู่ในช่วง 10 เท่า ไปจนถึง 500,000 เท่า โดยมีความละเอียดต่ำกว่า 1 นาโนเมตร เครื่อง SEM ได้ถูกใช้บ่อยครั้งในการสร้างภาพที่แสดงรูปร่างของวัตถุที่มีความละเอียดสูง นอกจากนี้ เครื่อง SEM สามารถใช้ในการบ่งชี้เฟสที่มีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์ทางเคมีเชิงคุณภาพ โครงสร้างผลึก การวัดขนาดโครงสร้างภายในของวัสดุ และวัตถุที่มีขนาดเล็กมากซึ่งมีขนาดต่ำกว่า 50 นาโนเมตร ได้อย่างแม่นยำ หรือแสดงการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีแบบ

3 มิติ เช่น ใช้ในการแยกแยะเฟสในตัวอย่างที่มีหลายเฟสได้อย่างรวดเร็ว ใช้ในการตรวจสอบการจัดเรียงตัวของเส้นใยขนาดไมโครและการเรียงตัวของโครงสร้างผลึกในวัสดุหลายชนิด (ฉัฐที่ถึงสุข, 2557)



ภาพที่ 2-6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1450 VP  
ที่มา : <http://science.buu.ac.th/part/mc/index.php/service-tools/sem.html>

### เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ เทคนิคนี้เป็นวิธีการทาง Spectroscopy ชนิดหนึ่งที่ศึกษาการดูดกลืนแสงของสารในย่านความถี่ของแสงโดยการวิเคราะห์โครงสร้างสาร จะอาศัยการดูดกลืนที่แตกต่างกันของแต่ละโมเลกุล ซึ่งโมเลกุลแต่ละชนิด จะมีการดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรดที่แตกต่างกันโดยช่วงเลขคลื่น (Wave numbers) 4000 - 1500 จะเป็นช่วงที่บ่งบอกถึงหมู่ฟังก์ชันของ โมเลกุล เช่น -OH, C=O, N-H, CH<sub>3</sub> เป็นต้น และในช่วงเลขคลื่น 1500 – 4000 เป็นช่วง The fingerprint region ซึ่งจะมีลักษณะของสเปกตรัมที่เฉพาะเจาะจงของสารแต่ละตัวแต่เนื่องจากจะมีพีคเกิดค่อนข้างเยอะ ดังนั้นการวิเคราะห์สเปกตรัมช่วงนี้ค่อนข้างยาก การนำเทคนิคนี้จะนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับด้านวัสดุศาสตร์ เช่น พอลิเมอร์ ช่วยในการจำแนกชนิดของพอลิเมอร์ และในด้านอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เนื่องจากเทคนิคนี้มีค่าใช้จ่ายไม่แพงและรวมไปถึงชนิดของตัวอย่างสามารถวิเคราะห์ได้เกือบทุกชนิด ดังนั้นจึงนิยมที่ใช้เทคนิคนี้ในการตรวจวิเคราะห์หาโครงสร้างและองค์ประกอบของโมเลกุลร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ (นงภัศ โขมวิทิตกุล, 2555)





ภาพที่ 2-7 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น carry 630 diamond ATR

ที่มา : <http://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-3361ENE.pdf>

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกษม หมั่นธรรม (2549) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพกระดาษด้วยระบบพลาสมาความดันบรรยากาศ โดยศึกษาอัตราการซึมน้ำ คอุมสัมผัสน้ำกับกระดาษ ลักษณะความราบเรียบและความขรุขระของผิวกระดาษ ก่อนและหลังการประยุกต์ใช้พลาสมาตามลำดับ และวัดหาค่าสปีชีส์ของแก๊สที่แตกตัวเป็นพลาสมา ผลการวิจัยพบว่า การซึมน้ำได้ดีของน้ำจะแปรผันตรงกับเวลาในการใช้พลาสมา ซึมน้ำได้ดีที่สุดประมาณ 240 เท่า เมื่อใช้พลาสมา 5 นาที คอุมสัมผัสก่อนปรับสภาพวัดได้ 124 องศา หลังปรับสภาพวัดไม่ได้ เนื่องจากน้ำจะซึมทันที การวิเคราะห์ด้วย SEM พบว่าก่อนและหลังปรับสภาพด้วยพลาสมา รูปร่างสัณฐานวิทยาของกระดาษไม่เปลี่ยนแปลง ขณะที่ผลจาก AFM เห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน คือความลึกของระดับผิวและความขรุขระเพิ่มขึ้น เนื่องจากไอออนเข้าไปเกาะเส้นใยของกระดาษ

ณัฐที่ ถึงสุข (2557) ได้ศึกษาการพัฒนาพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคพลาสมาด้วยการใช้แก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจนผสมกันในระหว่างการปรับปรุงพื้นผิว ตรวจสอบโดยการวัดมุมสัมผัสเพื่อคุณลักษณะการชอบน้ำที่เกิดขึ้น และใช้ XPS สำหรับหาค่าประกอบของพื้นผิวดังกล่าว จากผลการวิจัยพบว่า การใช้เทคนิคพลาสมาสามารถปรับปรุงพื้นผิวเดิมให้มีคุณสมบัติชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น และทำให้มีรัศมีคอลลอยด์ต่าง ๆ บนพื้นผิวที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการออกซิเดชันที่สูงสำหรับที่นำเข้าสู่กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบยืดหยุ่น

Toshifuji (2003) ได้ศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาความดันบรรยากาศ โดยจัดชุดอุปกรณ์ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม เพื่อให้ได้พลาสมาที่สมบูรณ์ พบว่า ความยาวและ อุณหภูมิของลำพลาสมาแปรผันตรงกับความถี่ของแหล่งกำเนิด ไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สที่ใช้ ความยาวของลำพลาสมามากที่สุดวัดได้ 15 มิลลิเมตร ที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ และอุณหภูมิสูงสุด คือ 250 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับพื้นผิววัสดุ 5 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังพบว่า โลหะหลายชนิดและพอลิเมอร์สามารถใช้เงื่อนไขในการปรับสภาพพื้นผิวได้ โดยมุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

Kim (2003) ได้ศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวสแตนเลสสตีลเพื่อให้มีสมบัติชอบน้ำ โดยใช้พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ เงื่อนไขในการปรับสภาพคือ ใช้แก๊สไนโตรเจนกับแก๊สออกซิเจนในอัตราส่วน 4:1 ความต่างศักย์ของแหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุ 10 กิโลโวลต์ ความถี่ 16-20 กิโลเฮิร์ตซ์ ความยาวลำพลาสมาประมาณ 30 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางลำพลาสมา 10 มิลลิเมตร และแผ่นสแตนเลสสตีลหนา 0.2 มิลลิเมตร ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ตอน คือ 1) มุมสัมผัสหลังการปรับสภาพลดลงอย่างมาก ค่าพลังงานพื้นผิวมีค่าประมาณ 71.49 มิลลิวัตต์ต่อเมตร ภายใต้เงื่อนไข ความเร็วหัวฉีด 5 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับผิวสแตนเลส 10 มิลลิเมตร 2) และ 3) เป็นผลการวิเคราะห์จากเครื่อง XPS และ AFM ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงหมู่ฟังก์ชันหลักที่ทำให้สแตนเลสเกิดสภาพชอบน้ำ จากปฏิกิริยากัดกร่อนและออกซิเดชันของอนุภาคที่มีประจุ 4) หลังจากปรับสภาพพื้นผิวแล้ว วางแผ่นสแตนเลสทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 64% เป็นเวลา 4 วัน พบว่าหลังจาก 15 ชั่วโมง มุมสัมผัสหยดน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเกือบเท่ากับมุมสัมผัสก่อนปรับสภาพ หมายความว่าพื้นผิวสแตนเลสสามารถรักษาสภาพชอบน้ำไว้ได้นาน 15 ชั่วโมง

Kostov (2014) ได้ศึกษาการปรับสภาพผิวพอลิเมอร์ด้วยพลาสมาเจ็ทความดันบรรยากาศ โดยได้ศึกษาพอลิเมอร์หลายชนิด เช่น โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) โพลีโพรไพลีน (PP) และ โพลีเอทิลีน (PE) ใช้แก๊สอาร์กอนที่แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟมีความถี่ 10 กิโลวัตต์ ความถี่ 37 กิโลเฮิร์ตซ์ จุดประสงค์เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการปรับสภาพพื้นผิวและเปรียบเทียบ พื้นผิวพอลิเมอร์หลังปรับสภาพด้วยพลาสมาเจ็ทและไดอิเล็กทริกแบริเออร์ (DBD) พบว่า 1) มุมสัมผัสของพอลิเมอร์ทุกชนิดมีค่าลดลงมากกว่า 40 องศา 2) วิเคราะห์องค์ประกอบพื้นผิวและพันธะเคมีด้วยเครื่อง XPS และ FTIR พบหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนบนพื้นผิวพอลิเมอร์ทุกชนิด 3) วิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวพอลิเมอร์ด้วยเครื่อง AFM พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระ เพิ่มขึ้นหลังปรับสภาพ

Multanen (2014) ได้ศึกษาสภาพของพื้นผิวของเหลวด้วยพลาสมา โดยใช้ อลูมิเนียมฟอสเฟตเคลือบด้วยโพลีคาร์บอเนต (PC) ในลักษณะเป็นรังผึ้ง และเทโพลีโดเมทิลไซโล เซน (PDMS) ลงไปหนาประมาณ  $20 \pm 2$  ไมโครเมตร หยดน้ำลงไปบนผิวของเหลว 8 ไมโครลิตร ใช้แหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุความถี่ 13 เมกะเฮิร์ตซ์ เพื่อจุดพลาสมาที่ความดัน 133 บาร์ กำลัง 18 วัตต์ พบว่า มุมสัมผัสหยดน้ำหลังการปรับสภาพลดลงอย่างมาก

Van Deynse (2015) ได้ศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวโพลีเอทิลีน (LDPE) ด้วยพลาสมาเจ็ท ระบบความดันบรรยากาศโดยใช้แก๊สอาร์กอน โดยศึกษาเงื่อนไข 2 ข้อคือ ระยะห่างระหว่างหัวฉีด กับพื้นผิวและเวลา พบว่า 1) ที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับ โพลีเอทิลีน 5-15 มิลลิเมตร มุมสัมผัส หยดน้ำลดลง 73% เนื่องจากอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น และที่ระยะห่างมากกว่า 15 มิลลิเมตร มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น 2) เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพน้อยกว่า 100 มิลลิวินาที จะทำให้มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าลดลงมากกว่า 70% เนื่องจากหมู่ฟังก์ชัน O=C=O และพลังงานพื้นผิว มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบอีกว่ามุมสัมผัสของโพลีเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1 ชั่วโมง หลังการปรับสภาพ และหลังจากทิ้งไว้ 4 วัน สภาพของพื้นผิวของโพลีเอทิลีนลดลงเหลือเพียง 25%

Wang (2016) ได้เปรียบเทียบการปรับปรุงสมบัติของโพลีเมทิลเมทาคริเลต (PMMA) ระหว่างการใช้แก๊สฮีเลียมและอาร์กอนภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน พบว่า มุมสัมผัสของโพลีเมทิลเมทาคริเลต ลดลงจาก 69 องศา เป็น 27 องศา เมื่อใช้แก๊สฮีเลียม และเป็น 32 องศา เมื่อใช้แก๊ส อาร์กอน ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง OEM (Optical emission spectrometer) แก๊สฮีเลียมมีริแอกทีฟ สปีชีส์ เช่น OH, O, N<sub>2</sub><sup>+</sup> และ N<sub>2</sub><sup>+</sup> สูงกว่าแก๊สอาร์กอน ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง AFM พบว่าพื้นผิว มีความขรุขระเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง XPS พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนบนพื้นผิว เพิ่มขึ้นหลังจากปรับสภาพ และระยะเวลาการรักษาสภาพของพื้นผิวของแก๊สฮีเลียมมีการเปลี่ยนแปลง ช้ากว่าแก๊สอาร์กอน

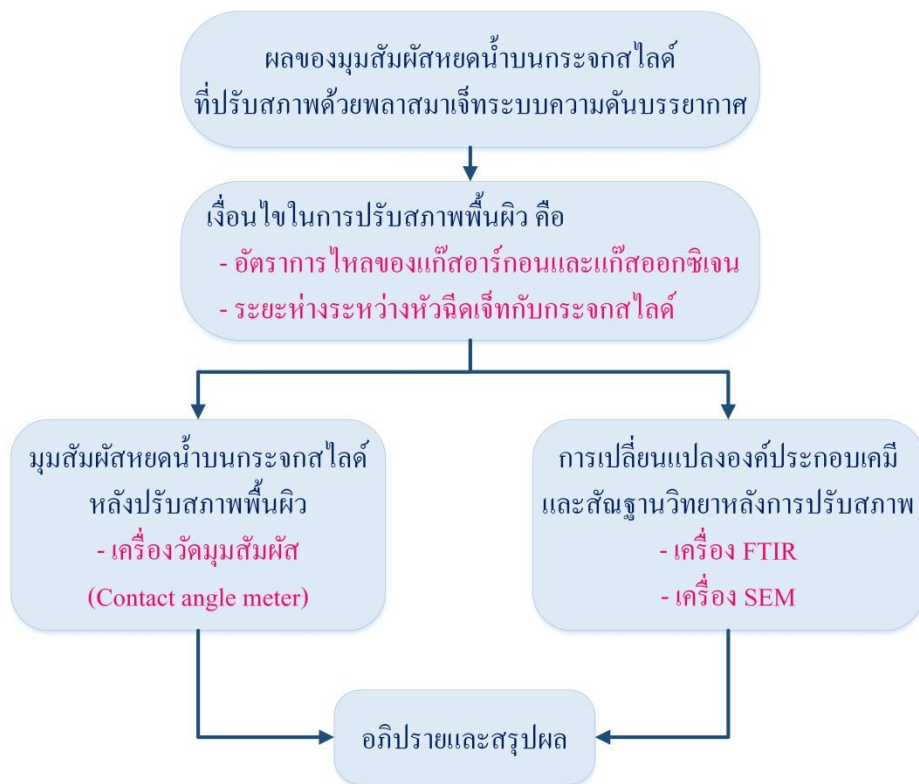
# บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้กล่าวถึงอุปกรณ์ เครื่องมือ วัสดุที่ใช้ในการวิจัย รวมถึงขั้นตอนและวิธีการทดลอง ตั้งแต่การศึกษาผลของอัตราการใช้ของแก๊สอาร์กอน โดยวิธีพลาสมาเจ้ระบบความดันบรรยากาศที่มีต่อคุณสมบัติของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ และการเปรียบเทียบคุณสมบัติหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน

### ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพด้วยพลาสมาเจ้ระบบความดันบรรยากาศ ซึ่งมีขั้นตอนดำเนินงานวิจัย ดังนี้



ภาพที่ 3-1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

## อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) ส่วนที่เกี่ยวกับการปรับสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์ด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ 2) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวัดมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. การปรับสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์ด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ
  - 1.1 ชุดทดลองพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ
  - 1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง
    - 1.2.1 วัสดุที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิว คือ กระจกสไลด์
    - 1.2.2 สารที่ใช้ในการทำความสะอาดกระจกสไลด์ ได้แก่ อะซิโตน (Acetone) ไอโซโพรพานอล (Isopropanol) สารละลายกรดไนตริก (Nitric acid solution)
    - 1.2.3 แก๊สอาร์กอน
    - 1.2.4 แก๊สออกซิเจน
2. การวัดมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์
  - 2.1 เครื่องวัดมุมสัมผัส
  - 2.2 วัสดุที่ใช้ทดลอง
    - 2.2.1 กระจกสไลด์ที่ได้รับการปรับสภาพผิวด้วยพลาสมาเจ็ท
    - 2.2.2 น้ำปราศจากไอออน (De-ionized water)

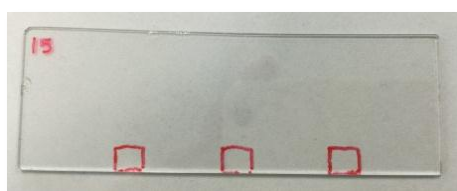
## ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างกระจกสไลด์ก่อนการปรับสภาพพื้นผิว

ผู้วิจัยทำการเตรียมกระจกสไลด์สำหรับใช้ในการทดลอง โดยการทำทำความสะอาดสิ่งสกปรก ได้แก่ คราบฝุ่น ไขมัน สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่เกาะติดบนกระจกสไลด์ เพื่อให้ได้ผิวของกระจกสไลด์ที่สะอาด ทำให้พลาสมาเกิดอันตรกิริยากับพื้นผิวกระจกสไลด์ได้ดี ซึ่งขั้นตอนในการทำทำความสะอาดกระจกสไลด์ แสดงดังแผนภาพ 3-2



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการทำความสะอาดกระจกสไลด์

เมื่อทำความสะอาดกระจกสไลด์เรียบร้อยแล้ว ทำการกำหนดตำแหน่งบนกระจกสไลด์ ขนาด 5 x 5 มิลลิเมตร จำนวน 3 ช่อง เพื่อให้ทราบตำแหน่งที่ต้องการปรับสภาพพื้นผิว หลังจากนั้น เก็บกระจกสไลด์ใส่กล่องและปิดฝาให้มิดชิด



ภาพที่ 3-3 การกำหนดตำแหน่งบนกระจกสไลด์

### ขั้นตอนการผลิตพลาสติกระบบความดันบรรยากาศ

ชุดทดลองพลาสติกระบบความดันบรรยากาศที่ใช้ในการวิจัยนี้ ประกอบด้วย เครื่องมือและอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 3-4



(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 3-4 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับผลิตพลาสมาเจ้ระบบความดันบรรยากาศ

- (a) เครื่องพลาสมาเจ้ระบบความดันบรรยากาศ
- (b) เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency generator)
- (c) ตัวควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส (Flow rate meter)
- (d) แก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจน (Argon gas and Oxygen gas)

ขั้นตอนการผลิตพลาสมาเจ้ระบบความดันบรรยากาศ มีดังนี้

1. จัดเตรียมชุดอุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับผลิตพลาสมาเจ้ให้พร้อมดังภาพ 3-5 แล้วเปิดวาล์วแก๊สอาร์กอนให้ไหลเข้าสู่เครื่องกำเนิดพลาสมาก่อน
2. ทำการปรับค่าอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน
3. ทำการเปิดเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งมีกำลังอยู่ในช่วง 10-100 วัตต์ ความถี่อยู่ในช่วง 50-500 กิโลเฮิร์ตซ์ และปรับค่าความต่างศักย์ เพื่อให้เกิดพลาสมาเจ้ระบบบรรยากาศ



ภาพที่ 3-5 การจัดชุดอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับผลิตพลาสมาเจ็ท

### วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ ออกแบบการทดลองเป็น 2 ตอน โดยแต่ละตอนมีรายละเอียดดังนี้

**ตอนที่ 1** ศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนโดยวิธีพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศที่มีต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์

การทดลองนี้เป็นการหาอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์ โดยวัดจากมุมสัมผัสหยดน้ำหลังการปรับสภาพพื้นผิว ทำการทดลองโดยกำหนดเงื่อนไขตามตารางที่ 3-1 จากนั้นนำกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ทที่เงื่อนไขต่างๆแล้วไปเปรียบเทียบกับมุมสัมผัสหยดน้ำกับกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจนในการทดลองตอนที่ 2

ตารางที่ 3-1 เงื่อนไขของการศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน โดยวิธีพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศที่มีต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์

เงื่อนไข	ค่าที่กำหนด
อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน (L/min)	3, 5, 7
ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ (mm)	5, 10 15, 20, 25
เวลาในการปรับสภาพผิว (s)	15
กระแสไฟฟ้า (mA)	300
ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	80



## ตอนที่ 2 เปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน ทำการทดลองโดยกำหนดเงื่อนไขตามตารางที่ 3-2 จากนั้นนำแก๊สออกซิเจนมาจ่อที่ปลายหัวฉีดเจ็ท วัดและบันทึกผลมุมสัมผัสหยดน้ำเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากตอนที่ 1

ตารางที่ 3-2 เงื่อนไขของการศึกษาการเปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน

เงื่อนไข	ค่าที่กำหนด
อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน (L/min)	ค่าที่เหมาะสมจากตอนที่ 1
ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ (mm)	ค่าที่เหมาะสมจากตอนที่ 1
เวลาในการปรับสภาพผิว (s)	ค่าที่เหมาะสม
อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน (L/min)	แปรค่า
กระแสไฟฟ้า (mA)	300
ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	80

## การวัดมุมสัมผัสหยดน้ำบนพื้นผิวกระจกสไลด์

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ คือ เครื่องวัดมุมสัมผัส แสดงดังภาพที่ 3-6 ซึ่งมีหลักการพื้นฐานคือ ใช้ไมโครปิเปต (Micropipette) หยดของเหลวลงบนวัสดุรองรับซึ่งติดตั้งอยู่กับแท่นวางที่สามารถปรับตำแหน่งและระยะโฟกัสได้ จากนั้นทำการปรับโฟกัสของภาพให้ชัดเจน และบันทึกภาพด้วยกล้อง CCD โดยมีหลอด LED ทำหน้าที่ในการให้แสงสว่างกับบริเวณที่ทำการศึกษา ส่วนภาพที่บันทึกได้จะนำไปประมวลผลเพื่อหาค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดของเหลวกับวัสดุรองรับผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ (นันทคม เป็นมงคล, 2557)

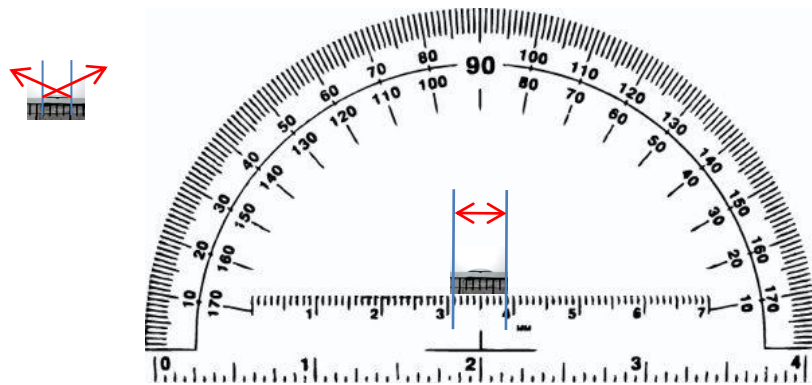


ภาพที่ 3-6 เครื่องวัดมูมสัมพัทธ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการวัดมูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนพื้นผิวกระจกสไลด์ ตามขั้นตอนดังนี้

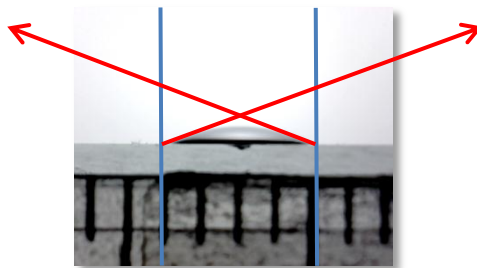
1. เตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดสอบซึ่งได้แก่
  - กระจกสไลด์ที่ปรับสภาพผิวที่เงื่อนไขต่าง ๆ
  - ขวดน้ำปราศจากไอออน
  - ไมโครปิเปตที่สามารถปรับปริมาตรของหยดน้ำได้
  - เครื่องวัดมูมสัมพัทธ์
2. ใช้ไมโครปิเปตหยดน้ำ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ลงบนพื้นผิวของกระจกสไลด์ ซึ่งติดตั้งอยู่กับแท่นวางที่สามารถปรับตำแหน่ง และระยะโฟกัสได้ จากนั้นทำการปรับโฟกัสของภาพให้ชัดเจน และบันทึกภาพด้วยกล้อง CCD โดยมีหลอด LED ทำหน้าที่ในการให้แสงสว่างกับบริเวณที่ทำการ ศึกษา ส่วนภาพที่บันทึกได้จะนำไปการวัดมูมสัมพัทธ์ โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เวิร์ด (Microsoft Word)
3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 2 โดยเปลี่ยนตำแหน่งของหยดน้ำตำแหน่งถัดไปตามลำดับจนครบทั้ง 3 ตำแหน่ง และทำการทดลองตำแหน่งที่ไม่ปรับสภาพอีก 3 ตำแหน่ง บันทึกภาพหยดน้ำที่ได้ทั้งสองกรณี
4. เปลี่ยนกระจกสไลด์แผ่นใหม่ แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 2 และ 3 จนเสร็จ นำภาพหยดน้ำที่ได้ทั้งหมดมาวัดมูมสัมพัทธ์โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เวิร์ด ผลที่ได้ไปใช้อ้างอิง เป็นค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนพื้นผิวของกระจกสไลด์ ที่เงื่อนไขที่ศึกษาต่อไป ขั้นตอนการวัดมูมสัมพัทธ์โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เวิร์ดมีดังนี้

4.1 เปรียบเทียบสเกลไม้บรรทัดในภาพของหยดน้ำกับในภาพไม้โปรแทรกเตอร์ (Protractor) ให้มีขนาดสเกลภาพเท่ากัน แสดงดังภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-7 การเปรียบเทียบสเกลไม้บรรทัดในภาพของหยดน้ำกับในภาพไม้โปรแทรกเตอร์

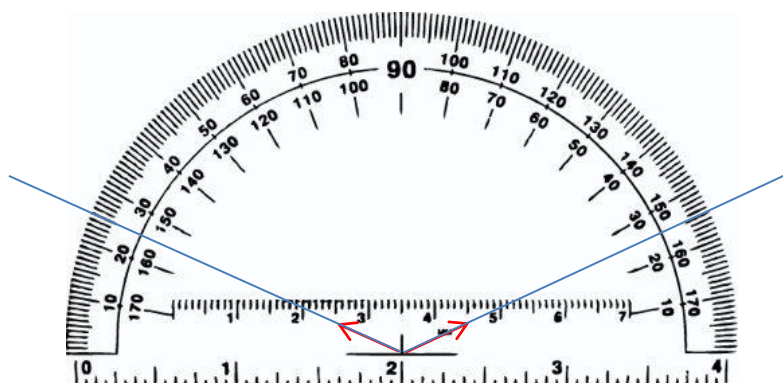
4.2 กำหนดเส้นขอบและลากเส้นสัมผัสผิวของหยดน้ำ แสดงดังภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 การกำหนดเส้นขอบและลากเส้นสัมผัสผิวของหยดน้ำ

4.3 นำเส้นสัมผัสของหยดน้ำที่ได้มาวัดมุมในภาพไม้โปรแทรกเตอร์ แสดงดังภาพที่

3-9



ภาพที่ 3-9 การนำเส้นสัมผัสของหยดน้ำที่ได้มาวัดมุมในภาพไมโครเจกเตอร์

### การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระจกสไลด์ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ห้องปฏิบัติการกล้องจุลทรรศน์ มหาวิทยาลัยบูรพา ใช้ศึกษาผิวของเซลล์หรือผิวของตัวอย่างวัตถุที่นำมาศึกษา โดยลำแสงอิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนผิวของวัตถุ ทำให้ได้ภาพซึ่งมีลักษณะเป็นภาพ 3 มิติ ทางศูนย์เปิดให้บริการเครื่อง SEM ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1450 VP พร้อมด้วย secondary electron detector, robinson backscatter electron detector , variable pressure detector และ x-rays detector หรือเทคนิค energy dispersive spectroscopy, EDS หรือที่เรียกว่า EDX ซึ่งสามารถรองรับงานการศึกษาสภาพพื้นผิวของตัวอย่างทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์กายภาพ และวัสดุศาสตร์ทั้งที่ผ่านการเคลือบและไม่เคลือบด้วยโลหะ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

### การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกระจกสไลด์ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่อง FTIR ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น carry 630 diamond ATR เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสาร โดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วง Infrared (IR) ซึ่งพัฒนามาจากเครื่อง IR Spectrophotometer มีการใช้ระบบทางเดินแสงแบบ Interferometer แทนระบบทางเดินแสงแบบเก่า ซึ่งจะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น มีความไวในการวิเคราะห์มากขึ้นและใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยลง

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

บทนี้กล่าวถึงข้อมูลที่ได้จากการทดลองตามแนวทางการศึกษาในบทที่ 3 คือ การศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนและระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ โดยวิธีพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศที่มีต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ เปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน พร้อมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะฐานวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของกระจกสไลด์ภายหลังการปรับสภาพพื้นผิว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### ผลการศึกษาอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนโดยวิธีพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศที่มีต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์

การทดลองนี้เป็นการศึกษาอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์ ทำการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 300 mA ความต่างศักย์ไฟฟ้า 80 V เวลาในการปรับสภาพพื้นผิว 15 s แปรค่าอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนเป็น 3, 5 และ 7 L/min และระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์เป็น 5, 10, 15, 20 และ 25 mm ทำการวัดมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ตำแหน่งที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิว และปรับสภาพพื้นผิว จากนั้นนำตัวอย่างกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้วไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง FTIR ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังนี้

มุมสัมผัสเฉื่อยของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวมีค่าอยู่ในช่วง  $21.4^{\circ}$ - $26.5^{\circ}$  มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $24.7^{\circ}$  ดังตารางที่ 4-1 และพบว่า ที่อัตราการไหล 5 L/min มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1.4^{\circ}$  ซึ่งมิต่ำน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราการไหล 3 และ 7 L/min ที่มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสหยดน้ำเท่ากับ  $3.8^{\circ}$  และ  $6.3^{\circ}$  ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่า ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์มีผลต่อมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ โดยมุมสัมผัสหยดน้ำแปรผันตามระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ ดังตารางที่ 4-2 ถึง 4-7 จากค่าของมุมสัมผัสดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหลังการปรับสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์ด้วยพลาสมาเจ็ททำให้พื้นผิวกระจกสไลด์มีคุณสมบัติชอบน้ำมากขึ้น ดังภาพที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 มุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ก่อนการปรับสภาพพื้นผิว

กระจกสไลด์	มุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ (องศา)						ค่าเฉลี่ย
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3		
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
1	26.0	25.5	28.5	28.0	24.0	24.0	26.0
2	23.0	21.0	23.5	22.0	20.0	21.0	21.8
3	22.0	24.0	25.0	25.0	25.5	26.0	24.6
4	17.0	18.0	22.0	22.0	24.5	25.0	21.4
5	25.5	25.0	27.0	25.0	24.0	22.0	24.8
6	27.0	28.5	24.0	22.0	24.0	24.0	25.0
7	25.0	24.5	25.0	24.0	25.0	24.5	24.7
8	22.0	23.0	29.0	27.0	27.0	28.0	26.0
9	22.0	23.5	26.0	26.0	30.0	30.5	26.3
10	28.0	26.5	28.0	26.0	25.0	25.5	26.5
เฉลี่ย							24.7

ตารางที่ 4-2 มุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิวที่อัตราการไหล 3 L/min

ระยะห่างระหว่าง หัวฉีดเจ็ทกับ กระจกสไลด์ (mm)	มุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ (องศา)						ค่าเฉลี่ย
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3		
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
15	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
20	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
25	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
เฉลี่ย							3.8











ตารางที่ 4-3 มุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิวที่อัตราการไหล 5 L/min

ระยะห่างระหว่าง หัวฉีดเจ็ทกับ กระจกสไลด์ (mm)	มุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ (องศา)						ค่าเฉลี่ย
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3		
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	2.0	2.5	2.0	2.0	3.0	3.0	2.4
25	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.7
เฉลี่ย							1.4

ตารางที่ 4-4 มุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิวที่อัตราการไหล 7 L/min











ระยะห่างระหว่าง หัวฉีดเจ็ทกับ กระจกสไลด์ (mm)	มุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ (องศา)						ค่าเฉลี่ย
	ตำแหน่ง 1		ตำแหน่ง 2		ตำแหน่ง 3		
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
5	3.0	2.0	2.5	2.0	3.0	3.0	2.6
10	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.7
15	5.0	4.5	4.0	5.0	4.0	4.0	4.4
20	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0	6.0	6.3
25	16.0	14.0	15.0	14.5	14.0	14.0	14.6
เฉลี่ย							6.3

ตารางที่ 4-5 ภาพเปรียบเทียบหยดน้ำบนกระจกสไลด์ก่อนปรับสภาพพื้นผิว และหลังปรับสภาพพื้นผิว เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ต่าง ๆ ที่อัตราการไหล 3 L/min



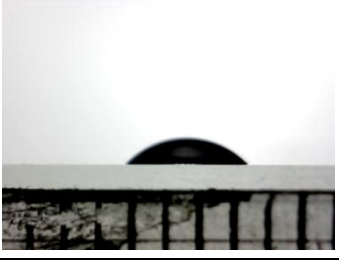
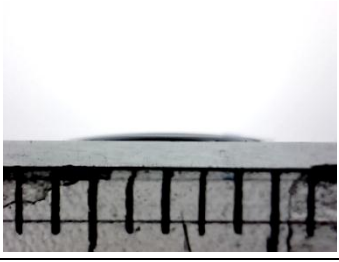

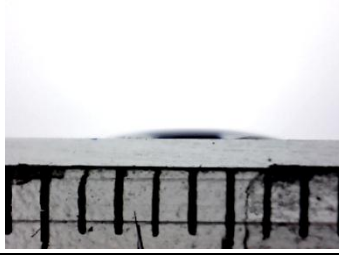
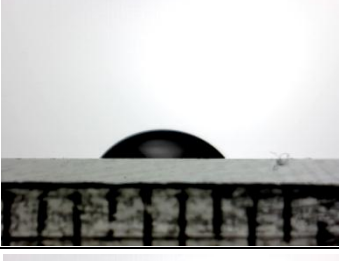
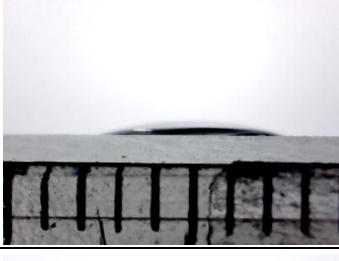
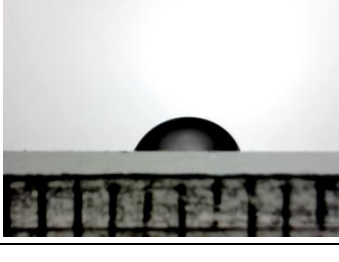

ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ (mm)	ก่อนปรับสภาพพื้นผิว	หลังปรับสภาพพื้นผิว
5		
10		
15		
20		
25		

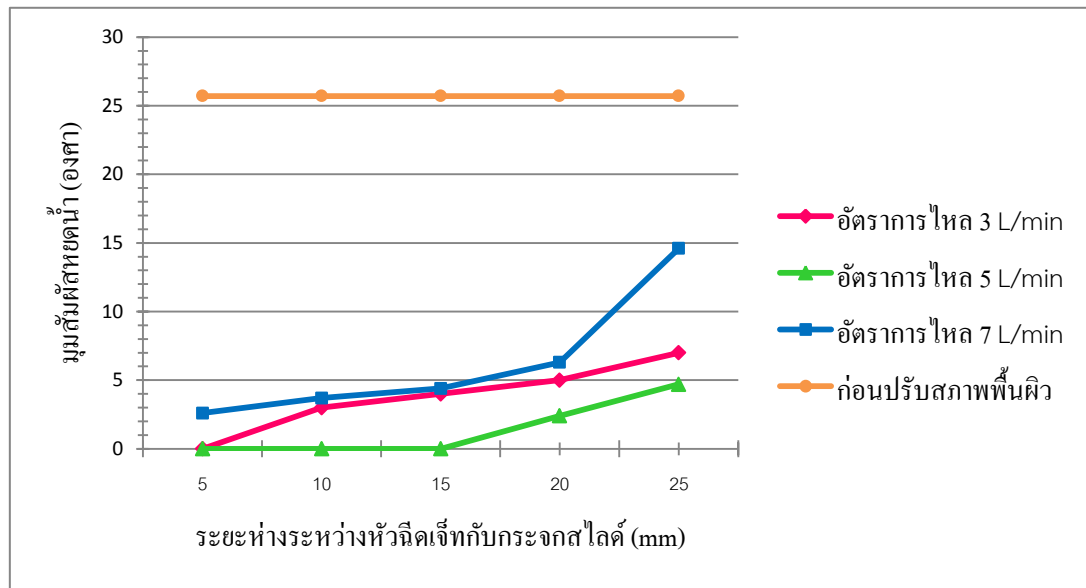


ตารางที่ 4-6 ภาพเปรียบเทียบหยดน้ำบนกระจกสไลด์ก่อนปรับสภาพพื้นผิว และหลังปรับสภาพพื้นผิว เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ต่าง ๆ ที่อัตราการไหล 5 L/min

ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ (mm)	ก่อนปรับสภาพพื้นผิว	หลังปรับสภาพพื้นผิว
5		
10		
15		
20		
25		

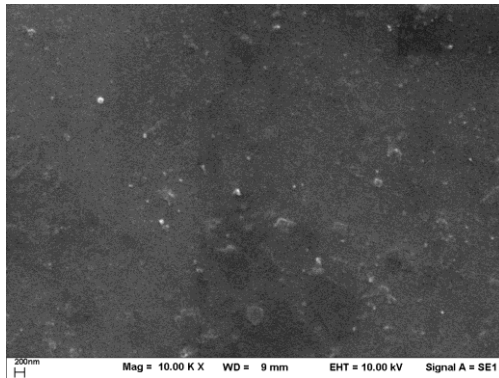
ตารางที่ 4-7 ภาพเปรียบเทียบหยดน้ำบนกระจกสไลด์ก่อนปรับสภาพพื้นผิว และหลังปรับสภาพพื้นผิว เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ต่าง ๆ ที่อัตราการไหล 7 L/min

ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ (mm)	ก่อนปรับสภาพพื้นผิว	หลังปรับสภาพพื้นผิว
5		
10		
15		
20		
25		

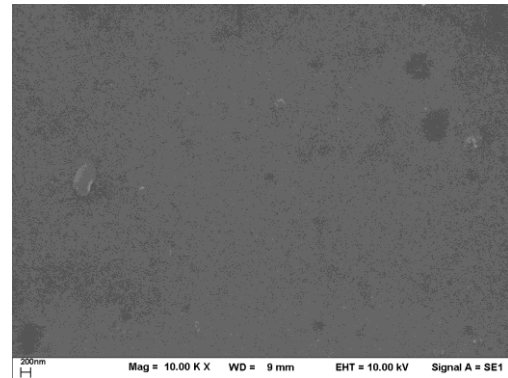


ภาพที่ 4-1 มุมสัมพัทธ์หยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่างกัน

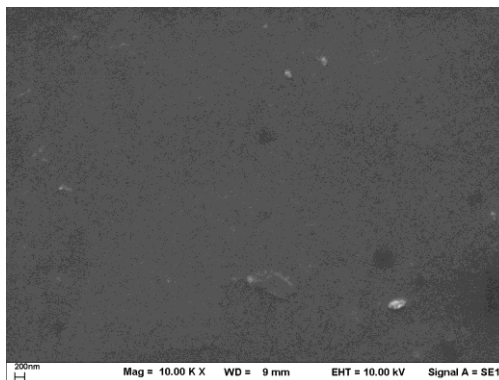
เมื่อนำกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้ว ไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM โดยใช้กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า พื้นผิวของกระจกสไลด์หลังการปรับสภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยามากนัก นั่นคือ พลาสมาแก๊สไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อนหรือเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์ ลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวกระจกสไลด์แสดงดังภาพที่ 4-2 และภาพที่ 4-3



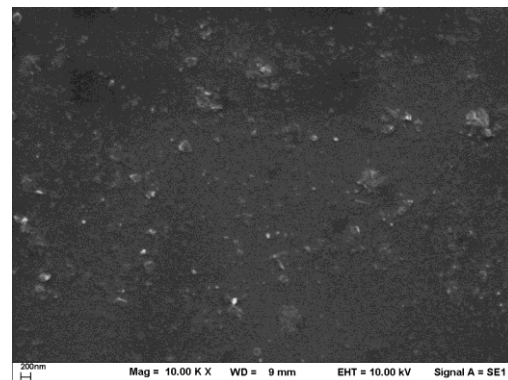
(a)



(b)



(c)



(d)

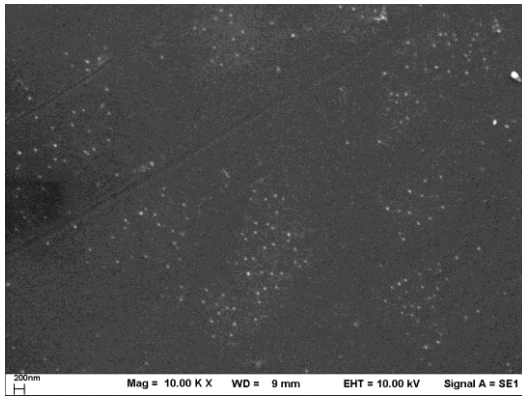
ภาพที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาโดยใช้กำลังขยาย 10,000 เท่า ของพื้นผิวกระจกสไลด์  
ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนต่างๆ ระยะห่าง 15 mm เวลา 15 s

(a) กระจกสไลด์ก่อนปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ท

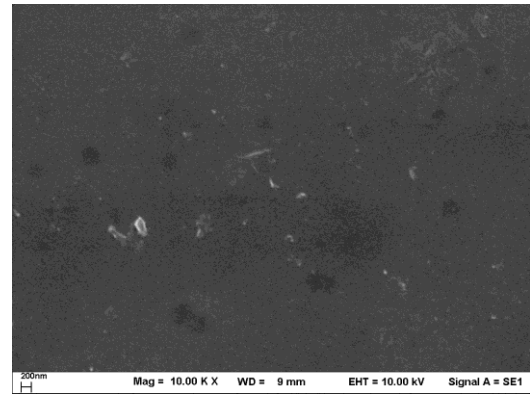
(b) กระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ทที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน  
3 L/min

(c) กระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ทที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน  
5 L/min

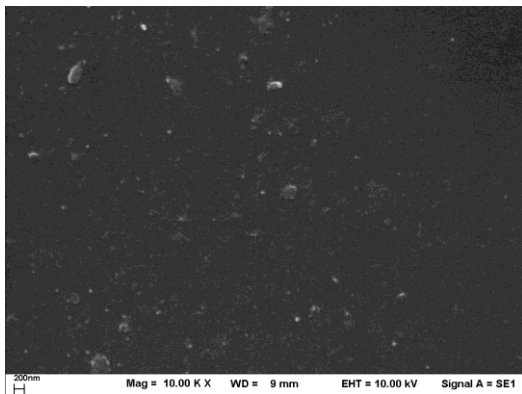
(d) กระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ทที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน  
7 L/min



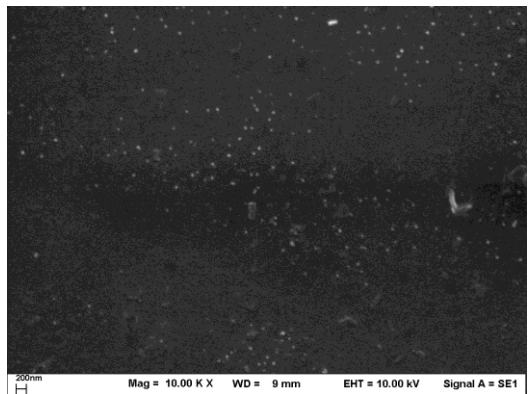
(a)



(b)



(c)



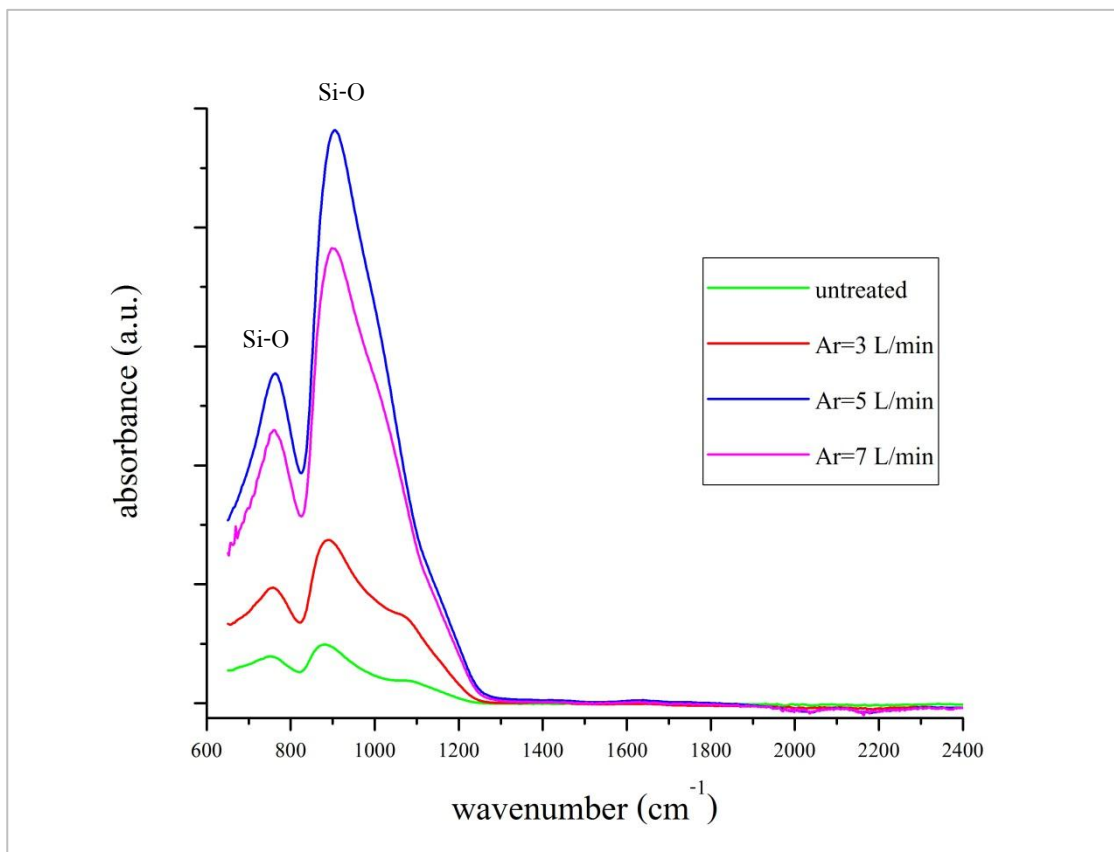
(d)

ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาโดยใช้กำลังขยาย 10,000 เท่า ของพื้นผิวกระจกสไลด์

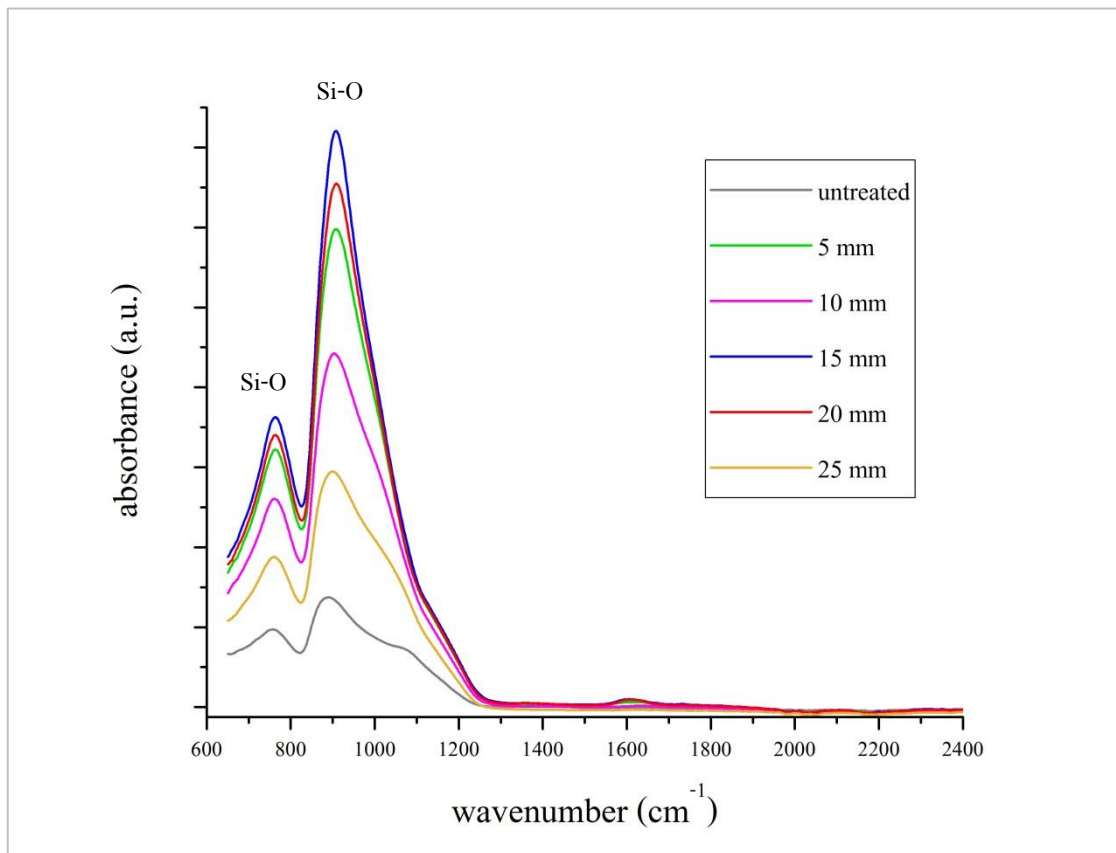
ที่ระยะห่างต่าง ๆ อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min เวลา 15 s

- (a) ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 5 mm
- (b) ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 10 mm
- (c) ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 20 mm
- (d) ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 25 mm

เมื่อนำกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้ว ไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง FTIR ดังภาพที่ 4-4 พบว่า ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min และที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีด เจ็ทกับกระจกสไลด์ 15 mm มีค่าความเข้มการดูดกลืน (absorbance) สูงที่สุด และพบหมู่ฟังก์ชัน Si-O ที่ wavenumber 750-770  $\text{cm}^{-1}$  (Ting, 2014) และ 830-955  $\text{cm}^{-1}$  (Yim, 2013) ปรากฏบนพื้นผิวกระจกสไลด์



(a)



(b)

ภาพที่ 4-4 องค์ประกอบทางเคมีของกระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิว ภายใต้งี้อื่นๆ

(a) อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน

(b) ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์

## ผลการศึกษาเปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน ทำการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 300 mA ความต่างศักย์ไฟฟ้า 80 V เวลาในการปรับสภาพพื้นผิว 10 s จากการศึกษาในตอนต้นที่ 1 เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวของกระจกสไลด์ คือ อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min และระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 15 mm จากนั้นนำแก๊สออกซิเจนมาจ่อที่ปลายหัวฉีดเจ็ท แปรค่าอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 1, 2, 3 และ 4 L/min ตามลำดับ ทำการวัดมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ จากนั้นนำตัวอย่างกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้วไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง FTIR ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังนี้

เมื่อนำกระจกสไลด์ไปปรับสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 10 s โดยใช้เงื่อนไขที่เหมาะสม คือ อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min และระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 15 mm พบว่า มุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $3.7^{\circ}$  และเมื่อแปรค่าอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าเปลี่ยนไป โดยอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์ คือ 3 L/min มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $2.4^{\circ}$  ซึ่งมีค่าลดลงจากการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงชนิดเดียว ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ของแก๊สออกซิเจน แสดงดังตารางที่ 4-8 ถึง 4-9





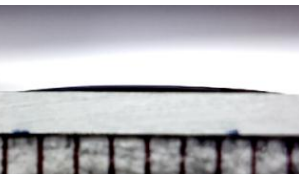






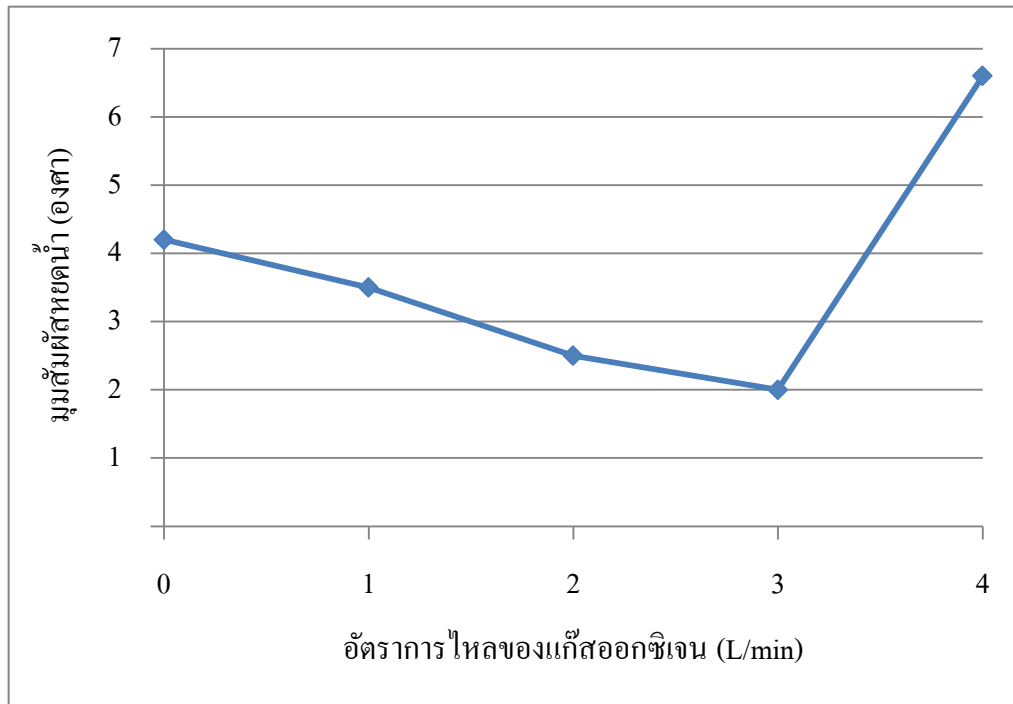
ตารางที่ 4-8 มุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจนที่อัตราการไหลต่าง ๆ ของแก๊สออกซิเจน เมื่อปรับสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 10 s อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min และระยะห่างระหว่างหัวฉีดเท่ากับกระจกสไลด์ 15 mm

อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน (L/min)	มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ (องศา)										
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3		ตำแหน่งที่ 4		ตำแหน่งที่ 5		ค่าเฉลี่ย
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
0.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.2
1.0	4.0	4.0	4.0	3.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5
2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	2.5
3.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0
4.0	7.0	6.5	7.0	6.0	7.0	6.0	7.5	6.5	6.5	6.0	6.6

จากตารางที่ 4-8 แสดงให้เห็นถึงมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน ที่อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ พบว่า ที่อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 3 L/min มีค่าเฉลี่ยของมุมสัมผัสหยดน้ำน้อยที่สุด เท่ากับ 2.0°

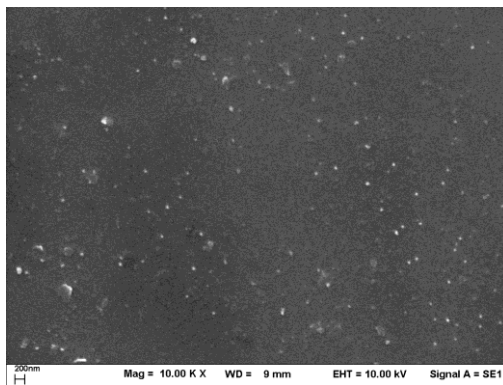
ตารางที่ 4-9 ภาพเปรียบเทียบหยดน้ำบนกระจกสไลด์ก่อนปรับสภาพพื้นผิว และหลังปรับสภาพพื้นผิว ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ของแก๊สออกซิเจน เมื่อปรับสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 10 s อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min และระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 15 mm

อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน (L/min)	ก่อนปรับสภาพพื้นผิว	หลังปรับสภาพพื้นผิว
0		
1		
2		
3		
4		

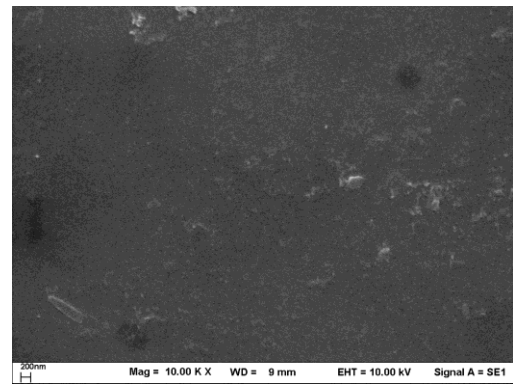


ภาพที่ 4-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามมัมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนผิวกระจกสไลด์กับอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่อัตราการไหลต่าง ๆ

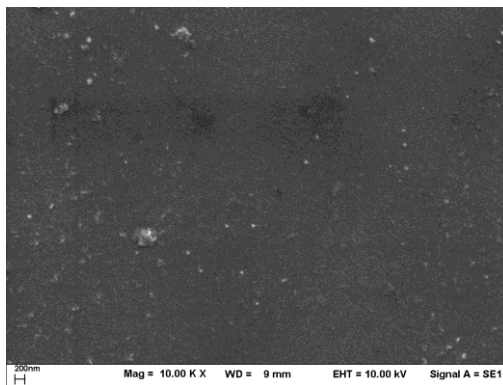
เมื่อนำกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้ว ไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM โดยใช้กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า พื้นผิวของกระจกสไลด์หลังการปรับสภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยามากนัก นั่นคือ พลาสมาแก๊สที่ใช้ไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อนหรือสร้างความเสียหายให้กับกระจกสไลด์ ลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวกระจกสไลด์แสดงดังภาพที่



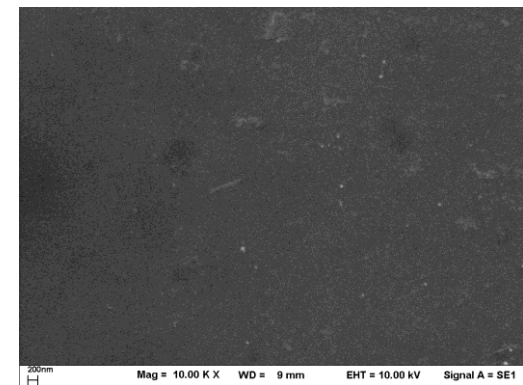
(a)



(b)



(c)

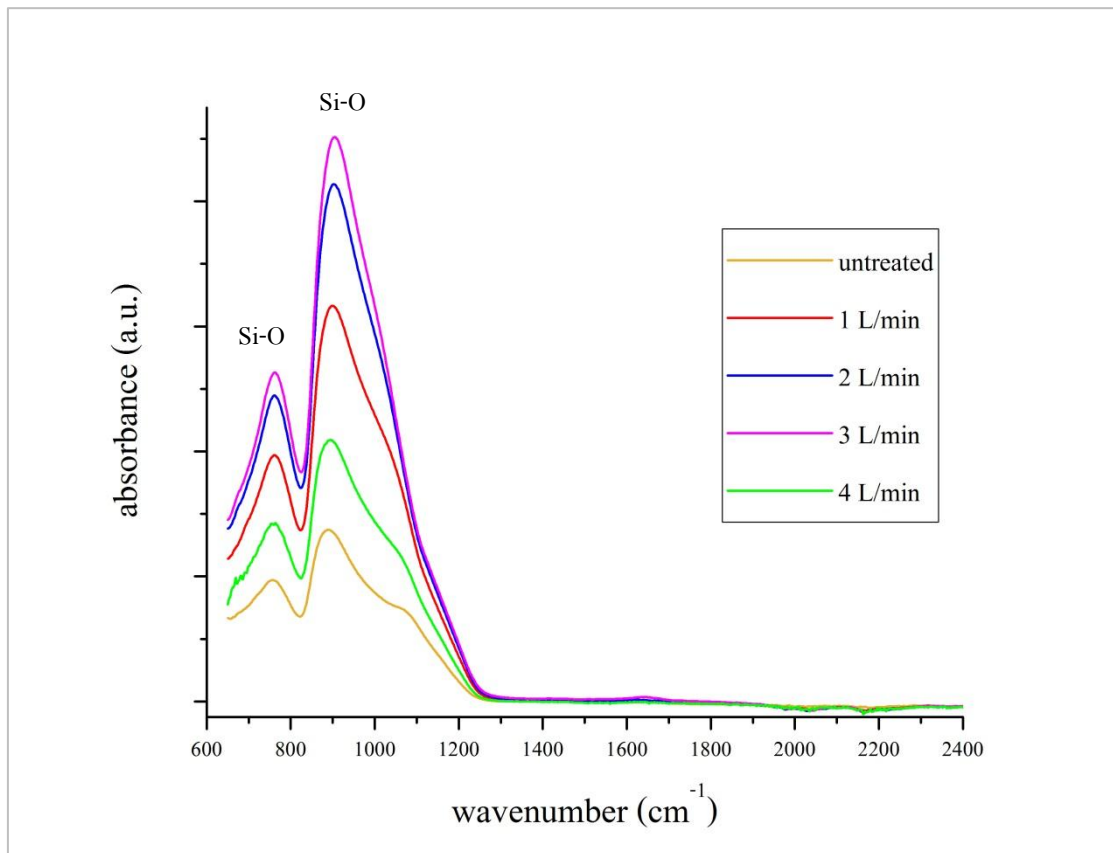


(d)

ภาพที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาโดยใช้กำลังขยาย 10,000 เท่า ของพื้นผิวกระจกสไลด์  
ที่อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

- (a) อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 1 L/min
- (b) อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 2 L/min
- (c) อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 3 L/min
- (d) อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 4 L/min

เมื่อนำกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้ว ไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง  
FTIR ดังภาพที่ 4-7 พบว่า ที่อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 3 L/min มีค่าความเข้มการดูดกลืนสูง  
ที่สุด และพบหมู่ฟังก์ชัน Si-O ปรากฏบนพื้นผิวกระจกสไลด์



ภาพที่ 4-7 องค์ประกอบทางเคมีของกระจกสไลด์หลังปรับสภาพพื้นผิว ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ของ แก๊สออกซิเจน

## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การทดลองใช้พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศเพื่อปรับสภาพพื้นผิวของกระจกสไลด์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเงื่อนไขในการปรับสภาพพื้นผิว คือ อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ และการผสมแก๊สออกซิเจนในการปรับสภาพพื้นผิว ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ พร้อมทั้งการเปลี่ยนแปลงสัญญาณวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของกระจกสไลด์ภายหลังการปรับสภาพพื้นผิว ซึ่งสามารถอภิปรายและสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

#### อภิปรายผล

**ผลการศึกษาอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนโดยวิธีพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศที่มีต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์**

การทดลองนี้เป็นการศึกษาอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์ ทำการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 300 mA ความต่างศักย์ไฟฟ้า 80 V เวลาในการปรับสภาพผิว 15 s แปรค่าอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนและระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์เป็น 3, 5, 7 L/min และ 5, 10, 15, 20, 25 mm ตามลำดับ ทำการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ตำแหน่งที่ไม่ปรับสภาพ และปรับสภาพพื้นผิว จากนั้นนำตัวอย่างกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณวิทยาด้วยเครื่อง SEM และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง FTIR ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังนี้

มุมสัมผัสเฉื่อยของหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวมีค่าอยู่ในช่วง  $21.4^{\circ}$ - $26.5^{\circ}$  มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $24.7^{\circ}$  และพบว่า ที่อัตราการไหล 5 L/min มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1.4^{\circ}$  ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราการไหล 3 และ 7 L/min ที่มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสหยดน้ำเท่ากับ  $3.8^{\circ}$  และ  $6.3^{\circ}$  ตามลำดับ เนื่องจากที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 3 L/min มีอัตราการไหลน้อยเกินไป ทำให้พลาสมาไม่มีความเข้มข้นพอที่จะทำปฏิกิริยากับพื้นผิวกระจกสไลด์ ส่วนที่อัตราการไหลของแก๊ส 7 L/min มีอัตราการไหลของแก๊สมากเกินไป ทำให้แก๊สอาร์กอนไปขวางพลาสมา จึงส่งผลให้มุมสัมผัสหยดน้ำมีขนาดใหญ่กว่าที่อัตราการไหล 5 L/min อีกทั้งยังพบว่า ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์มีผลต่อมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ โดยมุมสัมผัสหยดน้ำแปรผันตามระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ เมื่อระยะห่างระหว่างหัวฉีด

เจ็ทกับกระจกสไลด์มากขึ้น มุมสัมผัสหยดน้ำก็มีค่ามากขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าหลังการปรับสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์ด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศทำให้พื้นผิวกระจกสไลด์มีคุณสมบัติชอบน้ำมากขึ้น

เมื่อนำกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้ว โดยใช้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนและระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ต่าง ๆ ไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM โดยใช้กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาบนพื้นผิวไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงให้เห็นว่า ถ้าพลาสมาไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างทางกายภาพของพื้นผิวกระจกสไลด์ และจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง FTIR พบว่า ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min และที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 15 mm มีค่าความเข้มการดูดกลืนสูงสุด และพบหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนบนพื้นผิวกระจกสไลด์มีความเข้มการดูดกลืนสูงขึ้นกว่าก่อนปรับสภาพพื้นผิว แสดงให้เห็นว่าแก๊สออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบนพื้นผิววัสดุ โดยการสร้างชั้นฟิล์มออกไซด์บาง ๆ บนผิว ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติชอบน้ำ เป็นผลให้มุมสัมผัสหยดน้ำลดลง

ผลการวิจัยสอดคล้องกับงานของ เกษม หมั่นธรรม (2549) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพกระดาษด้วยระบบพลาสมาความดันบรรยากาศ โดยศึกษาอัตราการซึมน้ำ คู่มุมสัมผัสของน้ำกับกระดาษ ลักษณะความราบเรียบและความขรุขระของผิวกระดาษ ก่อนและหลังการประยุกต์ใช้พลาสมาตามลำดับ และวัดค่าสปีชีส์ของแก๊สที่แตกตัวเป็นพลาสมา ผลการวิจัยพบว่า การซึมได้ดีของน้ำจะแปรผันตรงกับเวลาในการใช้พลาสมา ซึมได้ดีที่สุดประมาณ 240 เท่า เมื่อใช้พลาสมา 5 นาที ค่ามุมสัมผัสก่อนปรับสภาพวัดได้  $124^\circ$  หลังปรับสภาพวัดไม่ได้ เนื่องจากน้ำจะซึมทันที การวิเคราะห์ด้วย SEM พบว่าก่อนและหลังปรับสภาพด้วยพลาสมา รูปร่างสัณฐานวิทยาของกระดาษไม่เปลี่ยนแปลง รวมถึงงานวิจัยของ Van Deynse (2015) ได้ศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวโพลีเอทิลีน ด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศโดยใช้แก๊สอาร์กอน โดยศึกษาเงื่อนไข 2 ข้อคือ ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับพื้นผิวและเวลา พบว่า 1) ที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับโพลีเอทิลีน 5-15 mm มุมสัมผัสหยดน้ำลดลง 73% เนื่องจากอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น และที่ระยะห่างมากกว่า 15 mm มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น 2) เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพน้อยกว่า 100 ms จะทำให้มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าลดลงมากกว่า 70% เนื่องจากหมู่ฟังก์ชัน O-C=O และพลังงานพื้นผิวมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Wang (2016) ได้เปรียบเทียบการปรับปรุงสมบัติชอบน้ำของโพลีเมทิลเมทาคริเลท ระหว่างการใช้แก๊สฮีเลียมและอาร์กอนภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน พบว่า มุมสัมผัสของโพลีเมทิลเมทาคริเลทลดลงจาก 69 องศา เป็น 27 องศา เมื่อใช้แก๊สฮีเลียม และเป็น 32 องศา เมื่อใช้แก๊สอาร์กอน ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง XPS พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนบน

พื้นผิวเพิ่มขึ้นหลังจากปรับสภาพ และระยะเวลารักษาสภาพขอบน้ำของแก๊สฮีเลียมมีการเปลี่ยนแปลงช้ากว่าแก๊สอาร์กอน

### ผลการศึกษาเปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบมุมสัมผัสหยดน้ำระหว่างกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอน และกระจกสไลด์ที่ถูกปรับสภาพด้วยแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สออกซิเจน ทำการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 300 mA ความต่างศักย์ไฟฟ้า 80 V เวลาในการปรับสภาพพื้นผิว 10 s จากการศึกษาในตอนต้นที่ 1 เจื่อนใจที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวของกระจกสไลด์ คือ อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min และระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 15 mm จากนั้นนำแก๊สออกซิเจนมาจ่อที่ปลายหัวฉีดเจ็ท แปรค่าอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 1, 2, 3 และ 4 L/min ตามลำดับ ทำการวัดมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ จากนั้นนำตัวอย่างกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้วไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง FTIR ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังนี้

เมื่อนำกระจกสไลด์ไปปรับสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 10 s โดยใช้เจื่อนใจที่เหมาะสม คือ อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min และระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 15 mm พบว่า มุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $3.7^{\circ}$  และเมื่อแปรค่าอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าเปลี่ยนไป โดยอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์ คือ 3 L/min มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $2.0^{\circ}$  ซึ่งมีการลดลงจากการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงชนิดเดียว

หลังจากปรับสภาพพื้นผิวกระจกสไลด์แล้ว นำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง FTIR พบว่า ที่อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 3 L/min มีค่าความเข้มการดูดกลืนสูงสุด และพบหมู่ฟังก์ชัน Si-O ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับสภาพพื้นผิว ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ให้ผลสอดคล้องกับค่ามุมสัมผัสหยดน้ำที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าแก๊สออกซิเจนทำให้ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim et al. (2010) ที่ได้ศึกษาการเคลือบผิวโพลีเมอร์ด้วยพลาสมาแบบความดันบรรยากาศ โดยใช้แก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจนในอัตราการไหลที่เหมาะสม แล้วทำการวัดมุมสัมผัสหยดน้ำ พร้อมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง FTIR พบว่า มุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ



งานวิจัยของ ณัฐทิ ถึงสุข (2557) ได้ศึกษาการพัฒนาพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคพลาสมาด้วยการใช้แก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจนผสมกันในระหว่างการปรับปรุงพื้นผิว ตรวจสอบโดยการวัดมุมสัมผัสเพื่อคุณลักษณะการชอบน้ำที่เกิดขึ้น และใช้ XPS สำหรับหาค่าประกอบของพื้นผิวดังกล่าว จากผลการวิจัยพบว่า การใช้เทคนิคพลาสมาสามารถปรับปรุงพื้นผิวเดิมให้มีคุณสมบัติชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น และทำให้มีรัศมีคอลลอยด์ต่าง ๆ บนพื้นผิวที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการออกซิเดชันที่สูงสำหรับที่นำเข้าสู่กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบยืดหยุ่น รวมถึงงานวิจัยของ Kostov (2014) ได้ศึกษาการปรับสภาพผิวพอลิเมอร์ด้วยพลาสมาเจ็ทความดันบรรยากาศ โดยได้ศึกษาพอลิเมอร์หลายชนิด ใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สพลาสมาเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการปรับสภาพพื้นผิว และเปรียบเทียบพื้นผิวพอลิเมอร์หลังปรับสภาพด้วยพลาสมาเจ็ทและไดอิเล็กทริกเบริเออร์ พบว่า 1) มุมสัมผัสของพอลิเมอร์ทุกชนิดมีค่าลดลงมากกว่า 40° 2) วิเคราะห์องค์ประกอบพื้นผิวและพันธะเคมีด้วยเครื่อง XPS และ FTIR พบหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนบนพื้นผิวพอลิเมอร์ทุกชนิด

### สรุปผลการทดลอง

1. การปรับสภาพพื้นผิวของกระจกสไลด์โดยใช้พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศทำให้พื้นผิวของกระจกสไลด์มีคุณสมบัติชอบน้ำมากขึ้น จากการทดลองพบว่า มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์มีค่าลดลงเมื่อใช้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนและระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ที่เหมาะสม โดยอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 5 L/min และระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับกระจกสไลด์ 15 mm เป็นเงื่อนไขในการปรับสภาพพื้นผิวที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์มากที่สุด ทำให้พื้นผิวกระจกสไลด์เกิดสภาพชอบน้ำยิ่งยวด

2. เมื่อผสมแก๊สออกซิเจนเข้าไปในอัตราการไหลที่เหมาะสม มีผลทำให้มุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าลดลงมากกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว โดยอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 3 L/min เป็นเงื่อนไขในการปรับสภาพพื้นผิวที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกสไลด์มากที่สุด

3. ลักษณะพื้นฐานวิทยาของพื้นผิวกระจกสไลด์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM และองค์ประกอบทางเคมีจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR พบว่า พลาสมาแก๊สไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นฐานวิทยาของพื้นผิวกระจกสไลด์ และหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนทำให้พื้นผิวกระจกสไลด์มีสภาพชอบน้ำยิ่งยวด

## ข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของมูมส์ผสมหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. สามารถใช้พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศปรับสภาพพื้นผิววัสดุอื่นได้ทั้งพื้นผิวที่เป็นของแข็งและของเหลว ซึ่งให้ผลของมูมส์ผสมหยดน้ำหลังการปรับสภาพพื้นผิว เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ (Victor, 2014)

2. การใช้พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศปรับสภาพพื้นผิวนี้อาจทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อให้ผิววัสดุมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำได้

3. สามารถศึกษาการปรับสภาพพื้นผิววัสดุด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศโดยใช้เงื่อนไขอื่น ๆ ในการทดลอง เช่น เปลี่ยนแก๊สที่ใช้เป็นตัวกำเนิดพลาสมา แปรค่าความต่างศักย์ แปรค่าเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม

## บรรณานุกรม

- กิตติกร มณีสว่าง. (2554). วิธีวัดคุณสมบัติที่ผิวของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าในสถานะเปียก. *ไฟฟ้าสาร*, 18 (1), 53-57.
- เกษม หมั่นธรรม. (2549). การปรับปรุงคุณภาพกระดาษด้วยระบบพลาสมาความดันบรรยากาศ. การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการสอนฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ณัฐทิ ถึงสุข. (2557). การพัฒนาพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคพลาสมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นงภัท โขมวิทิตกุล. (2555). คู่มือข้อมูลเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง. นครราชสีมา: ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นันทคม เป็นมงคล. (2557). การศึกษาพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศเพื่อใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวของกระจกสไลด์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ฟิสิกส์ราชมงคลดอทคอม. (2559). การโค้งงอของผิวของเหลว. เข้าถึงได้จาก [http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2532](http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=2532).
- สมศักดิ์ แดงดีป. (2552). ผลของพลาสมาที่ความดันบรรยากาศกับสมบัติที่ผิวของฟิล์มบาง ITO. เอกสารการสอน. กรุงเทพฯ: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อุกฤษ กิจศิริเจริญชัย. (2549). การปรับสภาพพื้นผิวรีโซซินอล-ฟอร์มมาดีไฮด์คาร์บอนเจลโดยใช้กรดไนตริกและพลาสมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Abdollah Sarani. (2011). Surface modification of polypropylene with an atmospheric pressure plasma jet sustained in argon and an argon/water vapour mixture. *Applied Surface Science*, 257, 8737– 8741.
- Claire Tendero. (2006). Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochimica Acta Part B*, 61, 2 – 30.

- Jacqueline H. Yim & Victor Rodriguez-Santiago. (2013). Atmospheric pressure plasma enhanced chemical vapor deposition of hydrophobic coatings using fluorine-based liquid precursors. *Surface and Coatings Technology*, 234, 21-32.
- Julie Anne S. Ting, Leo Mendel D. Rosario, Henry V. Lee Jr., Henry J. Ramos & Roy B. Tumlos. (2014). Hydrophobic coating on glass surface via application of silicone oil and activated using a microwave atmospheric plasma jet. *Surface and Coatings Technology*, 259, 7-11.
- Jungo Toshifuji. (2003). Cold arc-plasma jet under atmospheric pressure for surface modification. *Surface and Coatings Technology*, 171, 302–306.
- Kim, M.C. (2003). Surface modification for hydrophilic property of stainless steel treated by atmospheric-pressure plasma jet. *Surface and Coatings Technology*, 171, 312–316.
- Kostov, K.G. (2014). Surface modification of polymeric materials by cold atmospheric plasma jet. *Applied Surface Science*, 314, 367–375.
- Regula, C. (2012). Corrosion protection of metal surfaces by atmospheric pressure plasma jet treatment. *Progress in Organic Coatings*, 74, 734–738.
- Ruixue Wang. (2016). Comparison between helium and argon plasma jets on improving the hydrophilic property of PMMA surface. *Applied Surface Science*, 367, 401–406.
- Sung-Ryong Kim, Moinul Haque Choudhury, Won-Ho Kim & Gon-Ho Kim. (2010). Effects of argon and oxygen flow rate on water vapor barrier properties of silicon oxide coatings deposited on polyethylene terephthalate by plasma enhanced chemical vapor deposition. *Thin Solid Films*, 518, 1929-1934.
- Van Deynse, A. (2015). Surface modification of polyethylene in an argon atmospheric pressure plasma jet. *Applied Surface Science*, 276, 384-390.
- Victor Multanen. (2014). Hydrophilization of liquid surfaces by plasma treatment. *Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects*, 461, 225-230.