

## บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

จากการงานวิจัยได้ทำการสร้างฟิล์มที่พื้นผิวด้วย อินเดียม ทิน ออกไซด์ (Indium Tin Oxide : ITO ) ลงบนพลาสติกโดยใช้เทคนิคพลาสมาแบบ Naturatron Sputtering และการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้การทรีทเมนต์พื้นผิวด้วยเทคนิค Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ซึ่งในการทดลองได้ปรับเปลี่ยน พารามิเตอร์ ตามตารางที่ 3.1 และ 3.2 โดยผลการทดสอบจะแบ่งออกได้ดังนี้

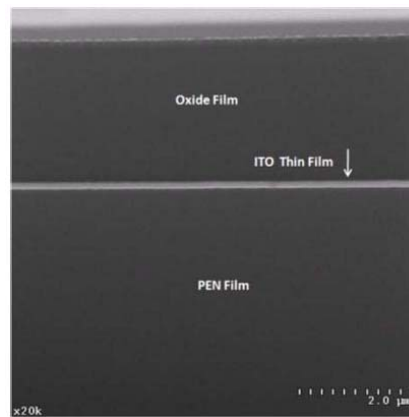
การสร้างฟิล์มที่พื้นผิวด้วย อินเดียม ทิน ออกไซด์ (Indium Tin Oxide : ITO ) ลงบนพลาสติกโดยใช้เทคนิคพลาสมาแบบ Naturatron Sputtering ใช้การทดสอบด้วย SEM และ EDX เพื่อดูผลของฟิล์มบางที่ได้ถูกสร้างขึ้นจากการใช้เทคนิคดังกล่าว และการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้การทรีทเมนต์พื้นผิวด้วยเทคนิค Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ใช้การทดสอบด้วย contact angle meter เพื่อหาสมบัติการชอบน้ำ และการทดสอบด้วยการใช้ SEM เพื่อหาปริมาณทางเคมีของพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำกับพลาสติก

### 4.1 การสร้างฟิล์ม อินเดียม ทิน ออกไซด์ (Indium Tin Oxide : ITO ) ลงบนพลาสติก

โดยการสร้างฟิล์มอินเดียม ทิน ออกไซด์ ลงบนพลาสติก โดยใช้เทคนิคพลาสมาแบบ Naturatron Sputtering จะใช้การทดสอบด้วย SEM และ EDX เพื่อดูผลของฟิล์มบางที่ได้ถูกสร้างขึ้น ซึ่งแบ่งการทดสอบได้ดังนี้

#### 4.1.1 การทดสอบชิ้นงานด้วย SEM จากกระบวนการสร้างฟิล์มบาง ITO

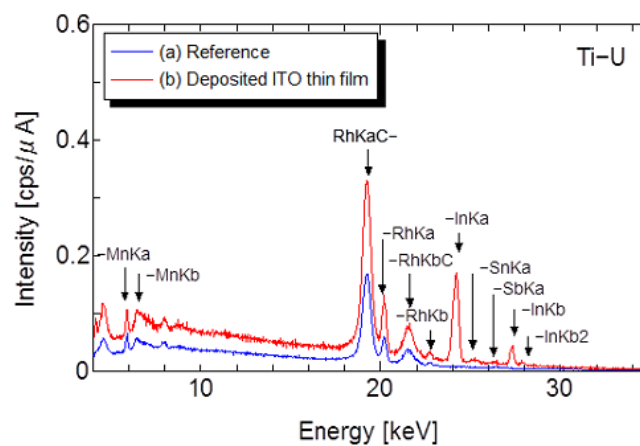
จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงฟิล์ม ITO ที่ผ่านการสร้างโดยใช้เทคนิคพลาสมาแบบ Naturatron Sputtering ซึ่งจะมีความหนาของชั้นฟิล์มที่เกิดขึ้นประมาณ 145 nm อยู่บนวัสดุรองรับที่เป็นพลาสติกแบบ PEN โดยที่ฟิล์มที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้จะเป็นผลึกและมีความขรุขระ (Roughness) น้อยกว่า 0.39 nm ซึ่งได้มาจากการทดสอบจากเครื่อง AlphaStep D-100



รูปที่ 4.1 ภาพตัดของฟิล์มบาง ITO ที่สร้างขึ้นบนพื้นผิวของพลาสติกชนิด PEN

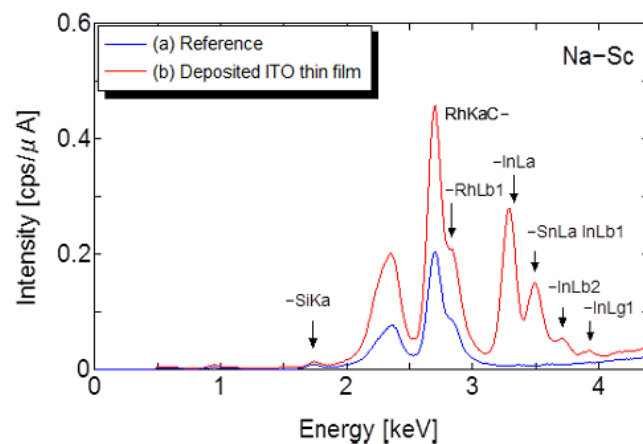
#### 4.1.2 การทดสอบชิ้นงานด้วย EDX จากกระบวนการสร้างฟิล์มบาง ITO

- 1) การวิเคราะห์หาปริมาณของสเปกตรัม Ti-U (ไทเทเนียม-ยูเรเนียม) บนพื้นผิวของฟิล์ม ITO จากรูปที่ 4.2 เป็นการวิเคราะห์ปริมาณระหว่างพื้นผิวที่ไม่ได้รับและรับการสร้างฟิล์ม ITO โดยใช้เทคนิคเทคนิคพลาสมาแบบ Naturatron Sputtering จะสังเกตได้ว่าค่าสเปกตรัมของธาตุอินเดียม (In) และดีบุก (Sn) เช่น -InKa, -SnKa, -InKb และ -InKb2 ที่บริเวณประมาณ 24-28 keV มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดระหว่างพื้นผิวที่รับการสร้างฟิล์ม ITO และไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO ซึ่งเป็นสิ่งยืนยันได้เป็นอย่างดีถึงการเกิดฟิล์มบาง ITO ในการใช้เทคนิคพลาสมาดังกล่าว



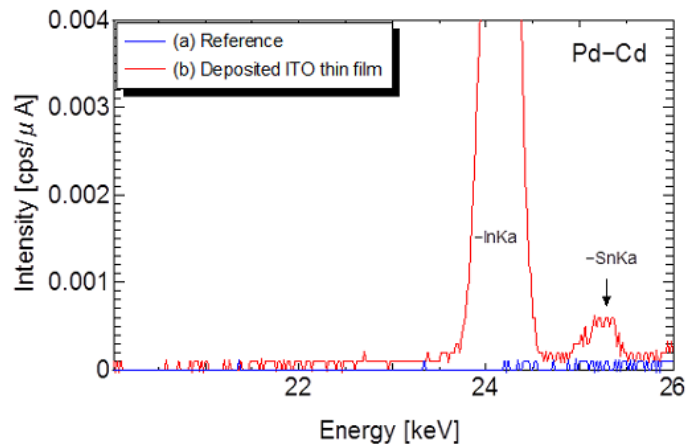
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของ Ti-U ระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO

- 2) การวิเคราะห์หาปริมาณของสเปกตรัม Na-Sc (โซเดียม-สแกนเดียม) บนพื้นผิวของฟิล์ม ITO จากรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปริมาณระหว่างพื้นผิวที่ไม่ได้รับและรับการสร้างฟิล์ม ITO โดยใช้เทคนิคพลาสมาแบบ Naturatron Sputtering จะสังเกตได้ว่าค่าสเปกตรัมของธาตุอินเดียมและดีบุกที่บริเวณ -InLa, -SnLa InLb1, -InLb2 และ -InLg1 มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO ซึ่งสเปกตรัมเหล่านี้เป็นองค์ประกอบของอินเดียมทินออกไซด์ทั้งหมด โดยที่บริเวณที่กล่าวถึงจะเป็นข้อบ่งชี้ชัดเจนถึงฟิล์ม ITO ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว PEN ได้เป็นอย่างดี อันเนื่องจากปริมาณของธาตุอินเดียมที่เกิดขึ้น



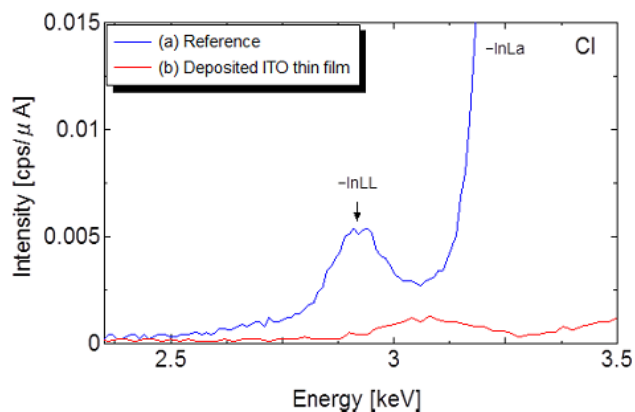
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของ Na-Sc ระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO

- 3) การวิเคราะห์หาปริมาณของสเปกตรัม Pd-Cd (แพลเลเดียม-แคดเมียม) บนพื้นผิวของฟิล์ม ITO จากรูปที่ 4.4 เป็นการวิเคราะห์ปริมาณระหว่างพื้นผิวที่ไม่ได้รับและรับการสร้างฟิล์ม ITO เช่นเดียวกับรูปที่ 4.3 โดยจะสังเกตได้ว่าค่าสเปกตรัมของ -InKa และ -SnKa มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO เป็นอย่างมาก โดยจะมีค่าปริมาณของ -InKa ที่สูงกว่าพื้นผิวที่ไม่ได้รับสร้างฟิล์ม ITO ในบริเวณประมาณ 24 keV ซึ่งจะเป็นข้อพิสูจน์ได้เป็นอย่างดีถึงการเกิดฟิล์มบาง ITO บนพื้นผิวของ PEN ซึ่งค่าดังกล่าวได้ทำการลบกับองค์ประกอบของพลาสติก PEN เป็นที่เรียบร้อยแล้ว



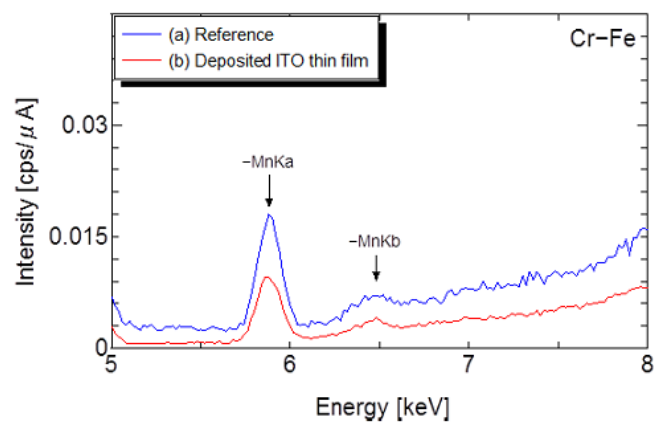
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของ Pd-Cd ระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO

- 4) การวิเคราะห์หาปริมาณของสเปกตรัม Cl (คลอรีน) บนพื้นผิวของฟิล์ม ITO จากรูปที่ 4.5 เป็นการวิเคราะห์ปริมาณระหว่างพื้นผิวที่ไม่ได้รับและรับการสร้างฟิล์ม ITO เช่นเดียวกับรูปที่ 4.3 สังเกตได้ว่าค่าสเปกตรัมของ -InLL และ -InLa มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO โดยที่ปริมาณของชั้นฟิล์ม ITO มีค่าที่ต่ำกว่าพื้นผิวของ PEN อันเนื่องมาจากการวิเคราะห์ที่เป็นสเปกตรัมของคลอรีนซึ่งเป็นอโลหะ โดยเป็นข้อพิสูจน์ได้เป็นอย่างดีถึงการที่ใช้เทคนิคเทคนิคพลาสมาแบบ Naturatron Sputtering ที่ทำการสร้างฟิล์ม ITO จะไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยในการวิเคราะห์สเปกตรัมของอโลหะแต่จะมีปริมาณสเปกตรัมของ -InLL และ -InLa ที่มากในพื้นที่ผิวของ PEN แทน เนื่องจากการปนเปื้อน



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของ Cl ระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO

- 5) การวิเคราะห์หาปริมาณของสเปกตรัม Cr-Fe (โครเมียม-เหล็ก) บนพื้นผิวของฟิล์ม ITO จากรูปที่ 4.6 เป็นการวิเคราะห์ปริมาณระหว่างพื้นผิวที่ไม่ได้รับและรับการสร้างฟิล์ม ITO เช่นเดียวกับรูปที่ 4.3 จะสังเกตได้ว่าระหว่างพื้นผิวที่ไม่ได้รับและรับการสร้างฟิล์ม ITO จากการใช้เทคนิคเทคนิคพลาสมาแบบ Naturatron Sputtering ทั้งสองสเปกตรัมไม่มีความแตกต่างของปริมาณที่เกิดขึ้น อันเนื่องจากในสเปกตรัมที่วิเคราะห์นั้น ไม่ได้มีองค์ประกอบของอินเดียมอยู่นั่นเอง แต่มีองค์ประกอบของแมงกานีส (Mn) แทน



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของ Cr-Fe ระหว่างพื้นผิวที่รับและไม่ได้รับการสร้างฟิล์ม ITO

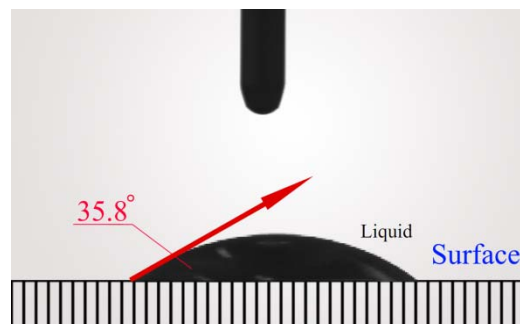
## 4.2 การปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้พลาสมา ลงพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำ

โดยการปรับปรุงพื้นผิวในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้ก๊าซออกซิเจนกับอาร์กอนเป็นก๊าซหลักในการทำทรีตเมนต์ของพื้นผิวที่เป็นสารกึ่งตัวนำ โดยใช้เทคนิคพลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ซึ่งในงานวิจัยในส่วนนี้จะใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) เป็นพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำสำหรับการวิเคราะห์ และใช้การทดสอบด้วยเครื่อง Contact angle meter และ XPS เพื่อวิเคราะห์ถึงพื้นผิวที่เปลี่ยนไปซึ่งแบ่งการทดสอบได้ดังนี้

#### 4.2.1 การทดสอบชิ้นงานด้วย Contact angle meter จากการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ของพื้นผิว SiO<sub>2</sub>

การทดสอบชิ้นงานด้วย Contact angle meter เป็นการหาเงื่อนไขสำหรับการทำทรีตเมนต์ที่ดีที่สุด ก่อนที่จะนำชิ้นงานไปทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างของปริมาณเคมีที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวของแผ่นซิลิกอนกับเครื่อง XPS ในลำดับถัดไป ซึ่งจากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า การเกิดพลาสมาจะทำให้ อะตอมและโมเลกุลของแก๊สเกิดการแตกตัว ซึ่งจะถูกแยกเป็นเรดิคอลล่างๆ โดยเมื่อทำการทำ ออกซิเจนพลาสมาทรีตเมนต์กับพื้นผิวดังกล่าวแล้ว จะทำให้เกิดออกซิเจนเรดิคอลจากการแตกตัวใน กระบวนการพลาสมาเข้าไปยึดเกาะกับพื้นผิวและสามารถดูผลของปริมาณเรดิคอลเบื้องต้นได้จากมุม สัมผัสของน้ำได้ อันเนื่องมาจากออกซิเดชันกันของน้ำกับออกซิเจนเรดิคอล โดยในที่นี้จะแบ่งการ ทดสอบออกเป็น 6 การทดสอบย่อยเพื่อดูผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการชอบน้ำกับเงื่อนไขการ ปรับพารามิเตอร์ต่างๆของระบบพลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition เพื่อนำค่าที่เหมาะสมไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณเคมีพื้นผิวด้วยเครื่อง XPS ในลำดับ ถัดไป

- 1) ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวที่แผ่นซิลิกอน โดยที่ไม่ได้ทำการใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition สำหรับการทำทรีต เมนต์กับพื้นผิวแต่อย่างใด ซึ่งจะพบว่ามุมสัมผัสของหยดน้ำประมาณ 35.8 องศาที่กระทำต่อ พื้นผิวของแผ่นซิลิกอนดังแสดงในรูปที่ 4.7



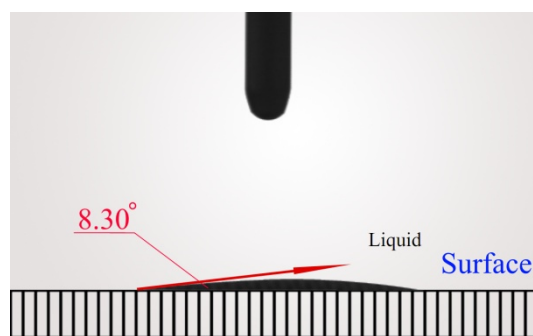
รูปที่ 4.7 มุมสัมผัสที่ 35.8 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO<sub>2</sub>)

- 2) ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวที่แผ่นซิลิกอน โดยการใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำทรีตเมนต์กับพื้นผิว โดยการปรับกำลังของการกำเนิดความถี่(RF-Power) เป็น 150 W, 200 W, 250 W และ 300 W ในขณะที่ใช้อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเป็น 10 L/min และเวลาสำหรับการทำทรีตเมนต์ที่ 10 นาที พบว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มกำลังขึ้นไปดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งมุมของหยดน้ำที่ลดลงไปเกิดจากการออกซิเดชันกันระหว่างน้ำกับราดิคอลล

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง RF-Power กับ Contact angle ในการทำทรีตเมนต์กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ ) โดยใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว

<b>RF-Power (W)</b>	150	200	250	300
<b>Contact angle (Degree)</b>	25.6	18.4	15.2	8.3

โดยในรูปที่ 4.8 เป็นการแสดงพฤติกรรมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวของแผ่นซิลิกอนเมื่อใช้กำลังที่ 300 W. โดยที่มีมุมเป็น 8.3 องศา



รูปที่ 4.8 มุมสัมผัสที่ 8.3 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ )

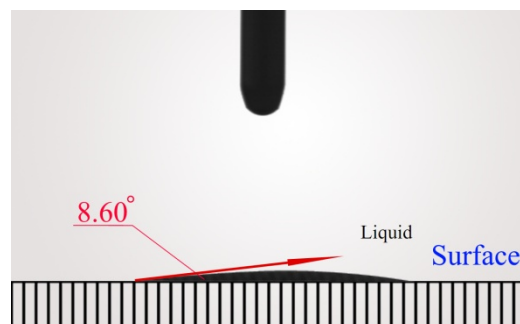
- 3) ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวที่แผ่นซิลิกอน โดยการใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำทรีตเมนต์กับพื้นผิว โดยที่ทำการปรับเวลาของการทำทรีตเมนต์เป็น 2 min, 4 min, 6 min, 8 min และ 10 min ในขณะที่ใช้อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนอย่างเดียวเป็น 10 L/min และกำลังของการกำเนิดความถี่

เป็น 300 W. พบว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มเวลาขึ้นไป ดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งมุมของหยดน้ำที่ลดลงไปเกิดจากการออกซิเดชันชั้นกันระหว่างน้ำกับราดิคอลล แต่จะสังเกตได้ว่าการใช้เวลาที่เพิ่มขึ้นของการทำทรีตเมนต์อาจจะทำให้เสียเวลาโดยใช้เหตุเนื่องจากที่มุมของหยดน้ำลดลงไปไม่มากพอเมื่อเทียบกับเวลาที่ต้องเสียไป

**ตารางที่ 4.2** ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทรีตเมนต์กับ Contact angle ในการทำทรีตเมนต์ กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ ) โดยใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว

<b>Time Treatment (min)</b>	2	4	6	8	10
<b>Contact angle (Degree)</b>	18.7	16.5	13.4	11.5	8.6

โดยในรูปที่ 4.9 เป็นการแสดงพฤติกรรมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวของแผ่นซิลิกอนเมื่อทำออกซิเจนทรีตเมนต์เป็นเวลา 10 นาที โดยที่มีมุมเป็น 8.6 องศา



**รูปที่ 4.9** มุมสัมผัสที่ 8.6 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ )

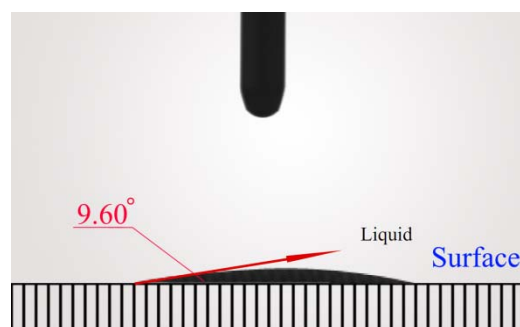
- 4) ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวที่แผ่นซิลิกอน โดยการใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำออกซิเจนทรีตเมนต์กับพื้นผิว โดยทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยที่ให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.3 L/min ตามลำดับ นอกจากนี้ยังคงที่สำหรับเวลาในการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ที่ 10 min แต่สิ่งที่จะปรับเปลี่ยนค่าเป็นกำลังของการกำเนิดความถี่ที่เป็น 150 W, 200 W, 250 W และ 300 W ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุมของหยดน้ำ

ที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มกำลังขึ้น ไปดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งมุมของหยดน้ำที่ลดลงไปเกิดจากการออกซิเดชันกันระหว่างน้ำกับราดิคอลที่เป็นออกซิเจน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่าที่กำลังของการกำเนิดความถี่ที่เป็น 150 W จะมีความแตกต่างของมุมอย่างเห็นได้ชัดเจนกล่าวคือจะลดลงจาก 25.6 องศา เหลือเพียง 19.8 องศา แต่ในกำลังของการกำเนิดความถี่มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเป็นเพราะปริมาณของออกซิเจนราดิคอลเกิดเพียงเท่านั้น

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง RF-Power กับ Contact angle ในการทำทริตเมนต์ กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ ) โดยใช้แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สออกซิเจน

RF-Power (W)	150	200	250	300
Contact angle (Degree)	19.8	16.5	14.2	9.6

โดยในรูปที่ 4.10 เป็นการแสดงพฤติกรรมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวของแผ่นซิลิกอนเมื่อทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยที่ให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.3 L/min และออกซิเจนทริตเมนต์เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้กำลังเป็น 300 W. ซึ่งจะมุมเป็น 9.6 องศา



รูปที่ 4.10 มุมสัมผัสที่ 9.6 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ )

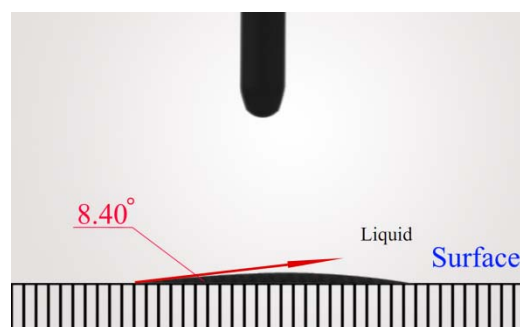
- ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวที่แผ่นซิลิกอน โดยการใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำออกซิเจนทริตเมนต์กับพื้นผิว โดยทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยที่ให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน

กับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.3 L/min ตามลำดับ โดยคงที่ในกำลังของการกำเนิดความถี่ที่เป็น 300 W. โดยสิ่งที่จะปรับเปลี่ยนค่าเป็นเวลาในการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ที่ 2 min, 4 min, 6 min, 8 min และ 10 min ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มเวลาขึ้นไปดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งมุมของหยดน้ำที่ลดลงไปเกิดจากการออกซิเดชันกันระหว่างน้ำกับราดิคอลที่เป็นออกซิเจน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.2 จะสังเกตได้ว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งพอที่จะทำให้ทราบว่าเวลาสำหรับการทำทรีตเมนต์กับระบบดังกล่าวอาจไม่ส่งผลต่อราดิคอลที่เกิดขึ้นในระบบแต่อย่างใด

**ตารางที่ 4.4** ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทรีตเมนต์กับ Contact angle ในการทำทรีตเมนต์กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ ) โดยใช้แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สออกซิเจน

<b>Time Treatment (min)</b>	2	4	6	8	10
<b>Contact angle (Degree)</b>	17.1	15.6	12.8	10.3	8.4

โดยในรูปที่ 4.11 เป็นการแสดงพฤติกรรมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวของแผ่นซิลิกอนเมื่อทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยที่ให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.3 L/min และออกซิเจนทรีตเมนต์เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้กำลังเป็น 300 W. ซึ่งจะมีมุมเป็น 8.4 องศา



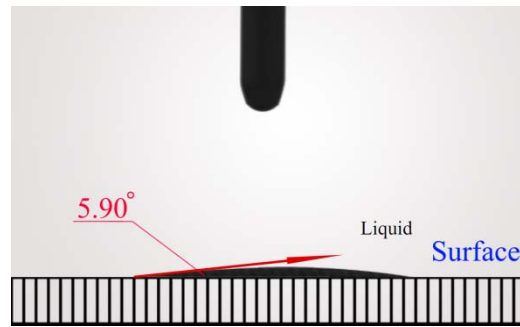
**รูปที่ 4.11** มุมสัมผัสที่ 8.4 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ )

- 6) ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวที่แผ่นซิลิกอน โดยการใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำออกซิเจนทรีตเมนต์กับพื้นผิว โดยทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยที่ให้อำนาจของการกำเนิดความถี่ที่เป็น 300 W. และเวลาในการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ที่ 10 min ทั้งคู่คงที่ ส่วนอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเป็น 0.1 L/min, 0.3 L/min และ 0.5 L/min ในขณะที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนเป็น 10 L/min ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงเมื่อทำการอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนขึ้นไปดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งมุมของหยดน้ำที่ลดลงไปเกิดจากการออกซิเดชันกันระหว่างน้ำกับราดิคอลที่เป็นออกซิเจน ซึ่งผลจากการปรับปริมาณแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นจะส่งผลอย่างมากที่ทำให้มุมของหยดน้ำลดลงไปซึ่งมุมที่ลดลงไปนี้จะไปมีความสัมพันธ์กับปริมาณของออกซิเจนราดิคอลที่ยึดเกาะบนพื้นผิวที่เป็นผลมาจากการให้แก๊สออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นทำให้การแตกตัวที่เพิ่มมากขึ้นจากการทำทรีตเมนต์ในระบบพลาสมาดังกล่าว

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนกับ Contact angle ในการทำทรีตเมนต์ กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ )

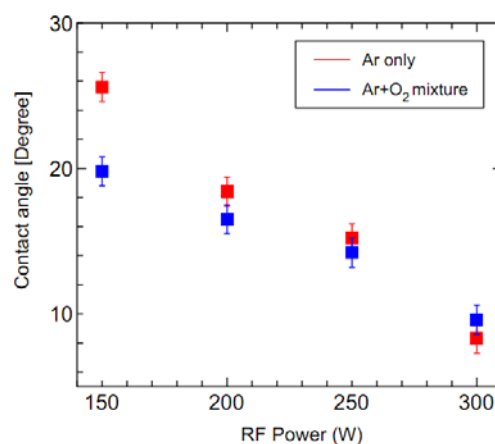
<b>Oxygen gas flow rate (L/min)</b>	0.1	0.3	0.5
<b>Contact angle (Degree)</b>	15.2	9.1	5.9

โดยในรูปที่ 4.12 เป็นการแสดงพฤติกรรมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวของแผ่นซิลิกอนเมื่อทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.5 L/min และออกซิเจนทรีตเมนต์เป็นเวลา 10 นาที ใช้กำลังเป็น 300 W. ซึ่งจะมุมเป็น 5.9 องศา



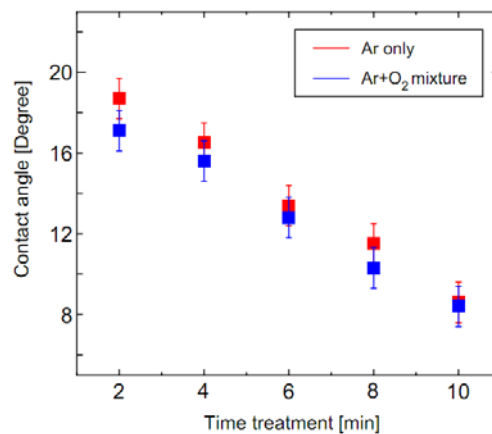
รูปที่ 4.12 มุมสัมผัสที่ 5.9 องศา กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ )

นอกจากนี้ได้นำผลดังกล่าวมาทำการสร้างกราฟเพื่อทำการเปรียบเทียบในเรื่องไขที่การปรับพารามิเตอร์ที่เหมือนกันจากรูปที่ 4.13 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวที่อัตราการไหลเป็น 10 L/min กับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับแก๊สออกซิเจนที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.3 L/min โดยการเพิ่มกำลังของการกำเนิดความถี่ ในขณะที่เวลาในการทำออกซิเจนที่รีดเมนต์ที่ 10 นาที จะพบว่าที่กำลังของการกำเนิดความถี่ที่ 150 W. มีค่าที่แตกต่างกันมากอันเนื่องจากราดิคอลที่ไปเกาะอยู่กับพื้นผิว แต่เมื่อทำการเพิ่มกำลังของการกำเนิดความถี่เป็น 200 W., 250 W. และ 300 W. จะสังเกตได้ว่าจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันระหว่างการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับแก๊สออกซิเจน โดยที่มุมของหยดน้ำมีค่าลดลง ซึ่งพอที่จะทำให้ทราบว่า การเพิ่มกำลังของการกำเนิดความถี่จะทำให้เกิดราดิคอลเพิ่มมากขึ้น



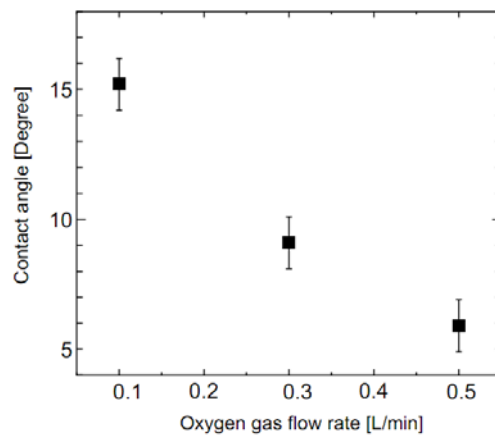
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบมุมสัมผัสของการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อเปลี่ยน RF-Power กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ )

โดยในรูปที่ 4.14 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว กับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับแก๊สออกซิเจนที่อัตราการไหลเท่ากับรูปที่ 4.13 โดยการเพิ่มเวลาในการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ ในขณะที่กำลังของการกำเนิดความถี่เป็น 300 W. จะพบว่าเมื่อทำการให้เวลาในการทำทรีตเมนต์มากขึ้นมุมของหยดน้ำก็จะลดลงมากด้วยทั้งเงื่อนไขที่เป็นการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว กับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับแก๊สออกซิเจน ซึ่งเกิดจากราดิคอลเช่นกัน แต่การเพิ่มเวลาดังกล่าวจะทำให้ราดิคอลเกิดขึ้นมากก็ตามแต่พบว่าจะทำให้เสียเวลาในการทำทรีตเมนต์โดยใช้เหตุ อันเนื่องจากที่น่าจะมีพารามิเตอร์ตัวอื่นมาทดแทนเวลาได้



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบมุมสัมผัสของการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อเปลี่ยนเวลาในการทรีตเมนต์กับพื้นผิวซิลิกอน (SiO<sub>2</sub>)

โดยในรูปที่ 4.15 แสดงมุมของหยดน้ำเมื่อทำการปรับอัตราส่วนการไหลของแก๊สออกซิเจนเป็น 0.1, 0.3 และ 0.5 L/min ในขณะที่แก๊สอาร์กอนมีค่าเป็น 10 L/min โดยที่ กำลังของการกำเนิดความถี่เป็น 300 W. และเวลาสำหรับการทำทรีตเมนต์เท่ากับ 10 นาที จะพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนจะมีผลอย่างมากที่ทำให้มุมของหยดน้ำลดลง ซึ่งจะสัมพันธ์กันกับปริมาณของราดิคอลบนพื้นผิวโดยที่เป็นผลมาจากการให้อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นทำให้การแตกตัวที่เพิ่มมากขึ้นของออกซิเจน และกลายเป็นออกซิเจนราดิคอลเข้าไปทำปฏิกิริยากับพื้นผิวที่เป็นแผ่นซิลิกอนอย่างมาก ทำให้มีผลกับมุมของหยดน้ำที่ลดลงอย่างสูง



รูปที่ 4.15 มุมสัมผัสเมื่อทำการปรับอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน กับพื้นผิวซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ )

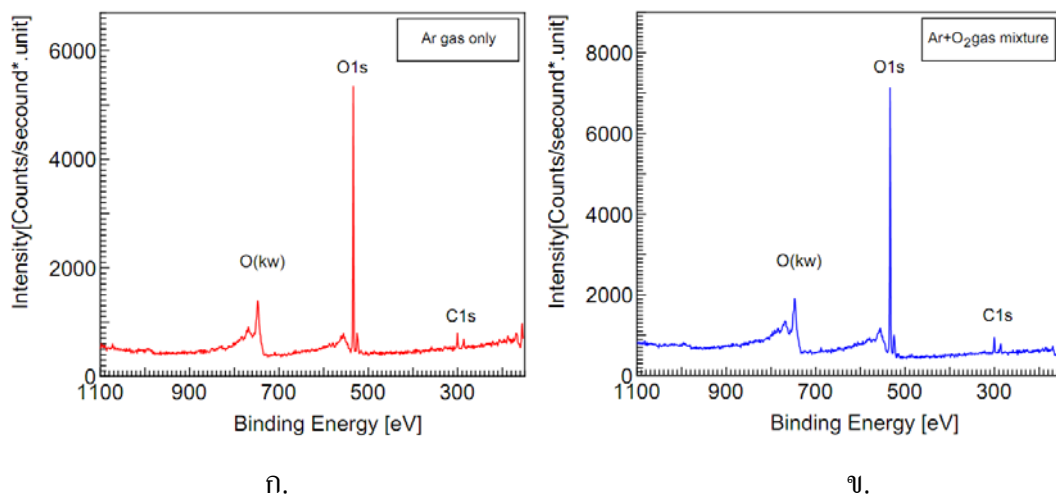
จากผลดังกล่าวในการทดสอบมุมของหยดน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน, เวลาในการทำทรีตเมนต์ และกำลังที่จ่ายเข้าระบบ ซึ่งจะพบว่ามี ความสัมพันธ์กับสมบัติความชอบน้ำที่เกิดขึ้น ซึ่งการทดสอบในขั้นตอนนี้สามารถที่จะ ยืนยันการเกิดราดิคอลลของออกซิเจนได้ อันเนื่องมาจากที่เมื่อพื้นผิวที่ได้รับการทรีตเมนต์ โดยพลาสมาจะทำให้อะตอม โมเลกุลต่างๆเกิดการแตกตัวเป็น ไอออนและราดิคอล นั้น หมายถึงเมื่อทำการให้แก๊สออกซิเจนเข้าไปในระบบจะทำให้แก๊สออกซิเจนเกิดการแตก ตัวกลายเป็นราดิคอลและไปอยู่ที่พื้นผิวของแผ่นซิลิกอน โดยเมื่อนำไปทดสอบกับมุม สัมผัสของหยดน้ำจะทำให้หยดน้ำทำปฏิกิริยากับออกซิเจนราดิคอล ซึ่งส่งผลให้มุมที่ เกิดขึ้นมีค่าที่แตกต่างกัน โดยที่ปริมาณของออกซิเจนราดิคอลที่เข้าไปยึดเกาะกับพื้นผิว มากจะทำให้มุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าที่น้อยลง

ซึ่งพบว่าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ค่าต่างๆค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำจะมีค่าต่ำสุด ที่เงื่อนไขการให้กำลังของการกำเนิดความถี่เป็น 300 W. เวลาสำหรับการทำทรีตเมนต์ เท่ากับ 10 นาที และอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนเพียงเป็น 10 L/min และอัตราการ ไหลของออกซิเจนเป็น 0.5 L/min ซึ่งสามารถเงื่อนไขนี้ไปทำการทดลองวิเคราะห์ผลของ ปริมาณเคมีพื้นผิวที่เกิดขึ้นได้โดยใช้เครื่อง XPS ในลำดับต่อไป เพื่อทำการยืนยันถึงผล การเกิดราดิคอลในระบบ

#### 4.2.2 การทดสอบชิ้นงานด้วย XPS จากการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ของพื้นผิว $\text{SiO}_2$

โดยในที่นี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบย่อยคือการวิเคราะห์สเปกตรัมของ Wide scan, O1s และ C1s จากเครื่อง XPS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณของเคมีพื้นผิวที่เกิดขึ้นจากการใช้ระบบพลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำการทรีตเมนต์พื้นผิว ซึ่งมีเงื่อนไขเป็นการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวที่อัตราการไหล 10 L/min กับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อแก๊สออกซิเจนมีอัตราการไหลที่ 0.5 L/min ในขณะที่แก๊สอาร์กอนมีอัตราการไหล 10 L/min โดยมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) ทดสอบเคมีพื้นผิวแบบ wide scan กับพื้นผิวที่แผ่นซิลิกอน ในกรณีทั้งใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition สำหรับการทำทรีตเมนต์กับพื้นผิวซึ่งแสดงในรูปที่ 4.16 ก และ ข ซึ่งสังเกตได้ว่าทั้งสองเงื่อนไขของผลการทดลองจะมีพีคของ C1s, O1s และ O(kw) ที่ประมาณ 300 eV, 550 eV และ 760 eV ตามลำดับ ในปริมาณที่แตกต่างกัน

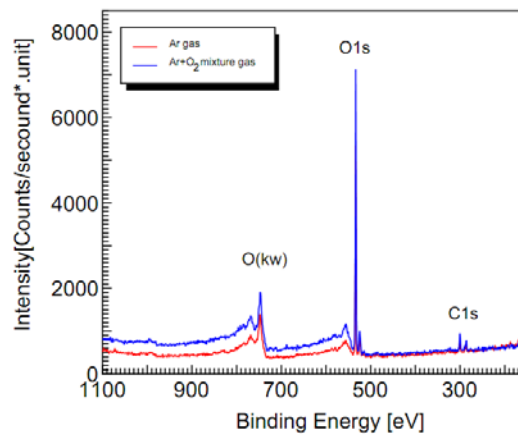


รูปที่ 4.16 สเปกตรัมของ wide scan ในพื้นผิวของซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ )

ก. แก๊สอาร์กอนอย่างเดียว

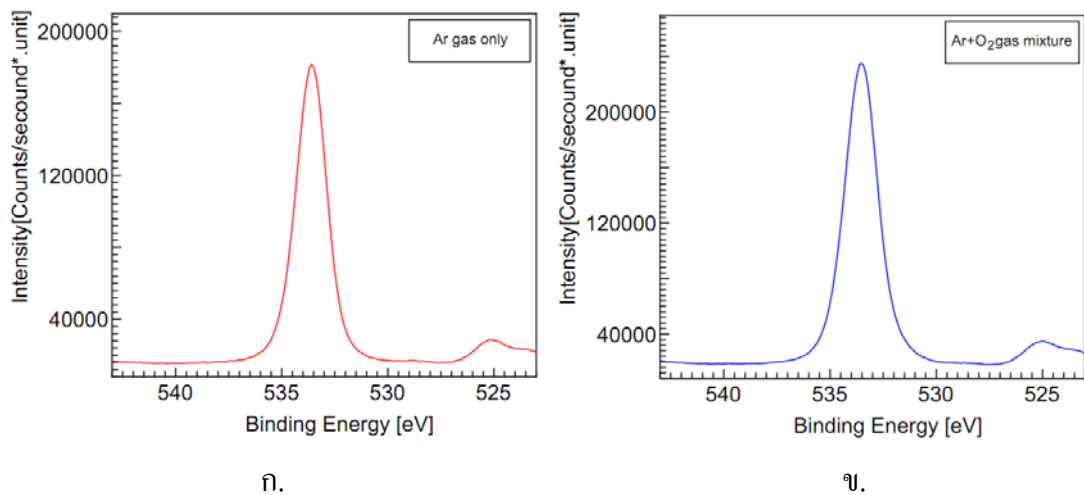
ข. แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สออกซิเจน

จากรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบ wide scan สเปกตรัมในกรณีทั้งใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน พบว่าการใช้แก๊สผสมกันระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแก๊สออกซิเจนจะทำให้มีปริมาณฟิคของ C1s, O1s และ O(kw) ที่มากกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว นั้นหมายถึงจะทำให้เกิดราดิคอลที่มากกว่าด้วย ซึ่งต้องไปทำการฟิตเส้นของ C1s กับ O1s เพื่อวิเคราะห์ในรายละเอียดต่อไป



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ wide scan บนพื้นผิวของซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ ) เมื่อได้รับการทรีตเมนต์ด้วยแก๊สอาร์กอนและการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน

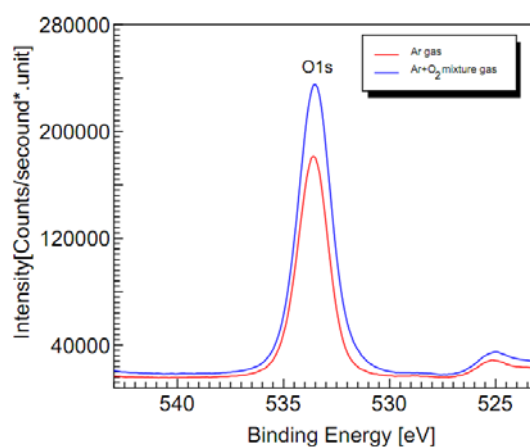
- 2) ทดสอบเคมีพื้นผิวแบบ O1s scan กับพื้นผิวที่แผ่นซิลิกอน ในกรณีทั้งใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition สำหรับการทำทรีตเมนต์กับพื้นผิวซึ่งแสดงในรูปที่ 4.18 ก และ ข ซึ่งสังเกตได้ว่าทั้งสองเงื่อนไขของผลการทดลองจะมีฟิคของ O1s ที่ประมาณ 533.5 eV ในปริมาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.18 สเปกตรัมของ O1s scan ในพื้นผิวของซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ )

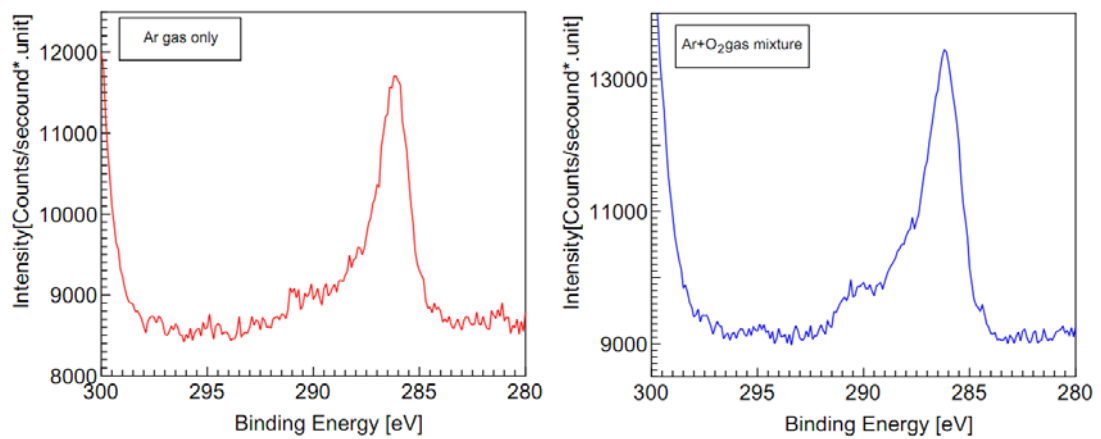
ก. แก๊สอาร์กอนอย่างเดียว ข.แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สออกซิเจน

จากรูปที่ 4.19 เป็นการเปรียบเทียบ O1s scan สเปกตรัมในกรณีที่ใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน พบว่าการใช้แก๊สผสมกันระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแก๊สออกซิเจนจะทำให้มีปริมาณพีคของ O1s มีปริมาณที่มากกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว โดยที่จะมีความแตกต่างของพีคประมาณ 30% นั้นหมายถึงจะทำให้เกิดออกซิเจนราดิคอลที่มากกว่า โดยที่ราดิคอลที่เกิดขึ้นจะเป็นผลมาจากกระบวนการพลาสมาที่ทำให้อะตอม โมเลกุล ของออกซิเจนแตกตัวและเข้าทำปฏิกิริยากับพื้นผิวซิลิกอน



รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ O1s scan บนพื้นผิวของซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ ) เมื่อได้รับการทรีตเมนต์ด้วยแก๊สอาร์กอนและการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน

- 3) ทดสอบเคมีพื้นผิวแบบ C1s scan กับพื้นผิวที่แผ่นซิลิกอน ในกรณีทั้งใช้แก๊สอาร์กอน เพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition สำหรับการทำทรีตเมนต์กับพื้นผิวซึ่งแสดงในรูปที่ 4.20 ก และ ข ซึ่งสังเกตได้ว่าทั้งสองเงื่อนไขของผลการทดลอง จะมีพีคของ C1s ที่ประมาณ 286 eV ในปริมาณที่แตกต่างกัน



ก.

ข.

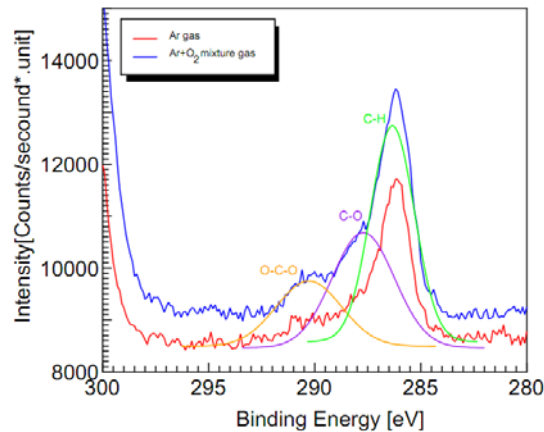
รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของ C1s scan ในพื้นผิวของซิลิกอน (SiO<sub>2</sub>)

ก. แก๊สอาร์กอนอย่างเดียว

ข. แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สออกซิเจน

จากรูปที่ 4.21 เป็นการเปรียบเทียบ C1s scan สเปกตรัมในกรณีทั้งใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน พบว่าการใช้แก๊สผสมกันระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแก๊สออกซิเจนจะทำให้มีปริมาณพีคของ C1s มีปริมาณที่มากกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นในรูปดังกล่าวได้ทำ curve fitting โดยใช้ Gaussian-type distribution พบว่าในสเปกตรัมของ C1s ที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วย 3 พีคส่วนประกอบคือ C-H, C-O และ O-C=O ที่ประมาณ 286 eV, 287 eV และ 290 eV [37, 38, 39] ตามลำดับ โดยที่ทั้ง C-H, C-O และ O-C=O มีความแตกต่างของพีคประมาณ 44%, 36% และ 20% ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกรณีทั้งใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน และเป็นที่ยืนยัน

ว่าการทำพลาสมาในกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดราดิคอลจากกระบวนการแตกตัวระหว่างอิเล็กตรอน โมเลกุล และอะตอม โดยที่ออกซิเจนราดิคอลได้เข้าไปมีพันธะกับคาร์บอน ทำให้เกิดเป็นพันธะใหม่คือ C-O และ O-C=O ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น



รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ C1s scan บนพื้นผิวของซิลิกอน ( $\text{SiO}_2$ ) เมื่อได้รับการทรีตเมนต์ด้วยแก๊สอาร์กอนและการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน

### 4.3 การปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้พลาสมา ลงพื้นผิวของ PEN

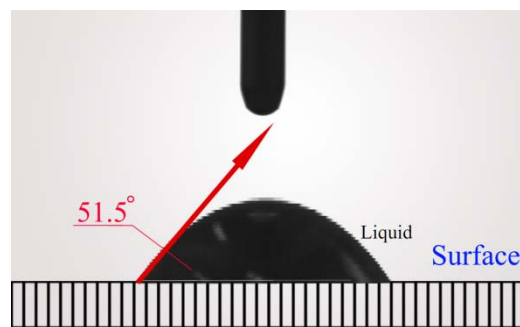
การปรับปรุงพื้นผิวในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้ก๊าซออกซิเจนกับอาร์กอนเป็นก๊าซหลักในการทำทรีตเมนต์ของพื้นผิวพลาสติกที่ยืดหยุ่นได้ โดยใช้เทคนิคพลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ซึ่งในงานวิจัยในส่วนนี้จะใช้พลาสติกชนิด PEN เป็นพื้นผิวสำหรับการวิเคราะห์ และใช้การทดสอบด้วยเครื่อง Contact angle meter และ XPS เพื่อวิเคราะห์ถึงพื้นผิวที่เปลี่ยนไปซึ่งแบ่งการทดสอบได้ดังนี้

#### 4.3.1 การทดสอบชิ้นงานด้วย Contact angle meter จากการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ของพื้นผิว PEN

การทดสอบชิ้นงานด้วย Contact angle meter เป็นการหาเงื่อนไขสำหรับการทำทรีตเมนต์ที่ดีที่สุดก่อนที่จะนำชิ้นงานไปทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างของปริมาณเคมีที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวของแผ่นซิลิกอนกับเครื่อง XPS ในลำดับถัดไป ซึ่งปริมาณเคมีที่แตกต่างกันเป็นผลเนื่องจากราดิคอลที่พื้นผิวไม่เท่ากันจากการทำทรีตเมนต์ โดยที่ออกซิเจนราดิคอลที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับ

หยดน้ำที่เกิดขึ้นนั่นเอง โดยในที่นี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 6 การทดสอบย่อยเพื่อดูผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการชอบน้ำกับเงื่อนไขการปรับพารามิเตอร์ต่างๆของระบบพลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ได้ดังนี้

- 1) ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวพลาสติก PEN โดยที่ไม่ได้ใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition สำหรับการทำให้รีดเมนต์กับพื้นผิว ซึ่งจะพบว่ามุมของหยดน้ำประมาณ 51.5 องศาแสดงในรูปที่ 4.22



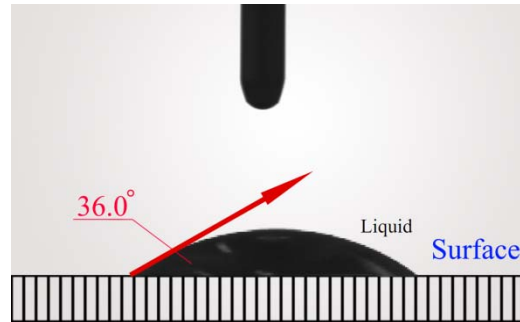
รูปที่ 4.22 มุมสัมผัสที่ 51.5 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN

- 2) ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวพลาสติกแบบ PEN โดยการใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำให้รีดเมนต์กับพื้นผิว โดยที่ทำการปรับกำลังของการกำเนิดความถี่(RF-Power) เป็น 150 W, 200 W, 250 W และ 300 W ในขณะที่ใช้อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเป็น 10 L/min และเวลาสำหรับการทำให้รีดเมนต์ที่ 5 นาที พบว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มกำลังขึ้นไปดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งมุมของหยดน้ำที่ลดลงไปเกิดจากปรากฏการณ์ของการออกซิเดชันกันระหว่างน้ำกับราดิคอล

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง RF-Power กับ Contact angle ในการทำให้รีดเมนต์กับพื้นผิวพลาสติก PEN โดยใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว

RF-Power (W)	150	200	250	300
Contact angle (Degree)	61.8	41.1	39.3	36

โดยในรูปที่ 4.23 เป็นการแสดงพฤติกรรมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวของพื้นผิวพลาสติกแบบ PEN เมื่อใช้กำลังที่ 300 W. โดยที่มีมุมเป็น 36 องศา



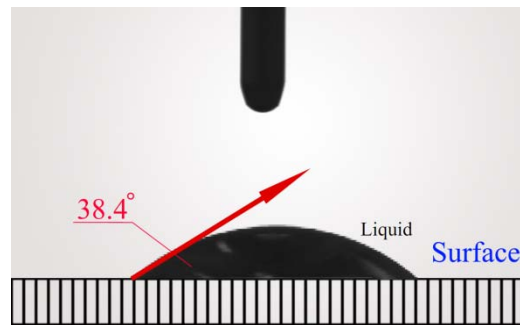
รูปที่ 4.23 มุมสัมผัสที่ 36 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN

- 3) ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวพลาสติกแบบ PEN โดยการใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำทรีตเมนต์กับพื้นผิว โดยที่ทำการปรับเวลาของการทำออกซิเจนทรีตเมนต์เป็น 2 min, 4 min, 6 min และ 8 min ในขณะที่ใช้อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนเป็น 10 L/min และกำลังของการกำเนิดความถี่เป็น 300 W. พบว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงน้อยถึงน้อยมาก เมื่อทำการเวลาขึ้นไปดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 โดยที่มุมของหยดน้ำนี้เกิดจากการออกซิเดชันกันระหว่างน้ำกับราดิคอล แต่จะสังเกตได้ว่าการใช้เวลาที่เพิ่มขึ้นของการทำทรีตเมนต์อาจจะทำให้เสียเวลาโดยใช้เหตุเนื่องจากที่มุมของหยดน้ำไม่ลดลงไปไม่มากพอเมื่อเทียบกับเวลาที่ต้องเสียไป อันเนื่องมาจากพันธะ โครงสร้างที่แข็งแกร่งของพลาสติกแบบ PEN และมีปริมาณของออกซิเจนที่ไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับพื้นผิวของพลาสติก

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการทรีตเมนต์กับ Contact angle ในการทำทรีตเมนต์กับพื้นผิวพลาสติก PEN โดยใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว

Time Treatment (min)	2	4	6	8
Contact angle (Degree)	43.1	42.4	42.9	38.4

โดยในรูปที่ 4.24 เป็นการแสดงพฤติกรรมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวพลาสติกแบบ PEN เมื่อทำออกซิเจนทรีตเมนต์เป็นเวลา 8 นาที โดยที่มีมุมเป็น 38.4 องศา



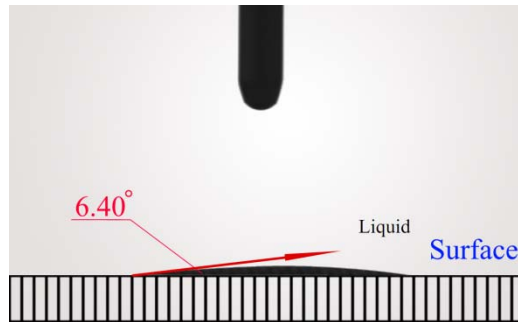
รูปที่ 4.24 มุมสัมผัสที่ 38.4 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN

- 4) ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวพลาสติกแบบ PEN โดยการใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำออกซิเจนทรีตเมนต์กับพื้นผิว โดยทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยที่ให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.3 L/min ตามลำดับ นอกจากนี้ยังคงที่สำหรับเวลาในการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ที่ 5 min แต่สิ่งที่จะปรับเปลี่ยนค่าเป็นกำลังของการกำเนิดความถี่ที่เป็น 150 W, 200 W, 250 W และ 300 W ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มกำลังขึ้นไปดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งมุมของหยดน้ำที่ลดลงไปเกิดจากการออกซิเดชันกันระหว่างน้ำกับราดิคอลที่เป็นออกซิเจน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.6 จะสังเกตได้ว่ามีความแตกต่างของมุมอย่างเห็นได้ชัดเจนกล่าวคือจะลดลงจากประมาณ 36-61 องศา เหลือเพียง 6-9 องศา ในขณะที่กำลังของการกำเนิดความถี่มีค่าเท่ากัน ซึ่งอาจเป็นเพราะปริมาณของออกซิเจนราดิคอลได้เกิดขึ้นในระบบและทำปฏิกิริยากับพื้นผิวดังกล่าว

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง RF-Power กับ Contact angle ในการทำทรีตเมนต์กับพื้นผิวพลาสติก PEN โดยใช้การผสมกันของแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจน

RF-Power (W)	150	200	250	300
Contact angle (Degree)	9.3	9.3	8.8	6.4

โดยในรูปที่ 4.25 เป็นการแสดงพฤติกรรมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวพลาสติกแบบ PEN เมื่อทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยที่ให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.3 L/min และออกซิเจนที่รีดเมนต์เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้กำลังเป็น 300 W. ซึ่งจะมุมเป็น 6.4 องศา



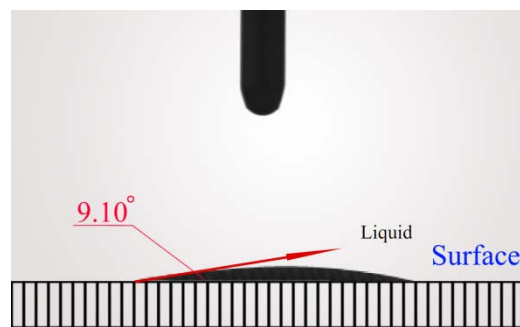
รูปที่ 4.25 มุมสัมผัสที่ 6.4 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN

- 5) ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวพลาสติกแบบ PEN โดยการใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำออกซิเจนที่รีดเมนต์กับพื้นผิว โดยทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยที่ให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.3 L/min ตามลำดับ โดยคงที่ในกำลังของการกำเนิดความถี่ที่เป็น 300 W. โดยสิ่งที่จะปรับเปลี่ยนค่าเป็นเวลาในการทำออกซิเจนที่รีดเมนต์ที่ 2 min, 4 min, 6 min และ 8 min ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงน้อยถึงน้อยมากเมื่อทำการเพิ่มเวลาขึ้นไปดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งมีพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกับตารางที่ 4.7 ในเงื่อนไขการให้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว โดยมุมของหยดน้ำนี้เกิดจากการออกซิเดชันกันระหว่างน้ำกับราดิคอลที่เป็นออกซิเจน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.7 จะสังเกตได้ว่ามีค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน กล่าวคือจะมีมุมที่ลดลงไปอย่างมากจากประมาณ 38-43 องศา เหลือเพียง 9-10 องศา ซึ่งเป็นสิ่งยืนยันว่าออกซิเจนราดิคอลได้เข้าไปยึดเกาะบนพื้นผิว PEN จากผลของการทดสอบหยดน้ำที่ลดลง

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทรีตเมนต์กับ Contact angle ในการทำทรีตเมนต์กับพื้นผิวพลาสติก PEN โดยใช้การผสมกันของแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจน

<b>Time Treatment (min)</b>	2	4	6	8
<b>Contact angle (Degree)</b>	10.5	10.2	9.1	9.1

โดยในรูปที่ 4.26 เป็นการแสดงพฤติกรรมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวพลาสติกแบบ PEN เมื่อทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยที่ให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.3 L/min และออกซิเจนทรีตเมนต์เป็นเวลา 8 นาที โดยใช้กำลังเป็น 300 W. ซึ่งจะมุมเป็น 9.1 องศา



รูปที่ 4.26 มุมสัมผัสที่ 9.1 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN

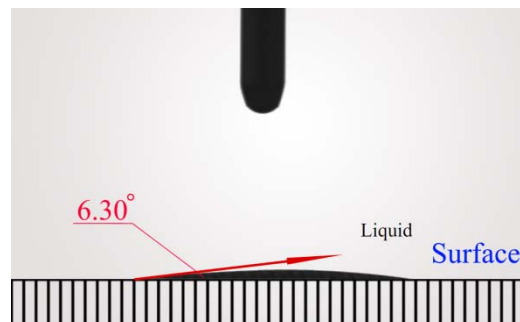
- 6) ทดสอบสมบัติการชอบน้ำที่พื้นผิวพลาสติกแบบ PEN โดยการใช้พลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำออกซิเจนทรีตเมนต์กับพื้นผิว โดยทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยที่ให้กำลังของการกำเนิดความถี่ที่เป็น 300 W. และเวลาในการทำออกซิเจนทรีตเมนต์ที่ 5 min ทั้งคู่คงที่ ส่วนอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเป็น 0.1 L/min, 0.3 L/min และ 0.5 L/min ในขณะที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนเป็น 10 L/min ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงเมื่อทำการอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนขึ้นไปดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.10 ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนขึ้นไปดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 โดยมุมของหยดน้ำที่ลดลงไปเกิดจากการออกซิเดชันกันระหว่างน้ำกับราดิคอลที่เป็นออกซิเจน ซึ่งผล

จากการปรับปริมาณแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นจะส่งผลอย่างมากที่ทำให้มุมของหยดน้ำลดลง และมุมที่ลดลงไปนี้จะไปมีความสัมพันธ์กับปริมาณของออกซิเจนราดคอลที่ยึดเกาะบนพื้นผิวที่เป็นผลมาจากการให้แก๊สออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นทำให้การแตกตัวที่เพิ่มมากขึ้นจากการทำทรีตเมนต์ในระบบพลาสมาดังกล่าว

**ตารางที่ 4.10** ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนกับ Contact angle ในการทำทรีตเมนต์ กับพื้นผิวพลาสติก PEN

<b>Oxygen gas flow rate (L/min)</b>	0.1	0.3	0.5
<b>Contact angle (Degree)</b>	15.3	10.3	6.3

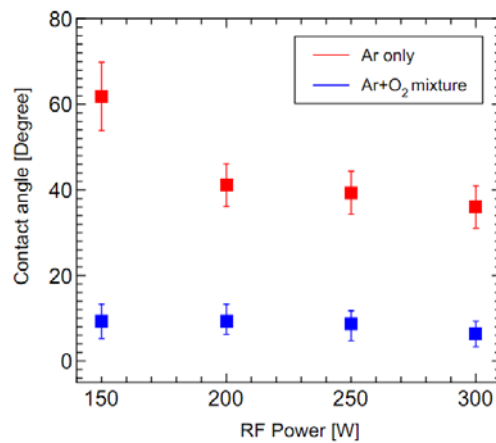
โดยในรูปที่ 4.27 เป็นการแสดงพฤติกรรมของหยดน้ำที่กระทำกับพื้นผิวพลาสติกแบบ PEN เมื่อทำการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน โดยให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.5 L/min และออกซิเจนทรีตเมนต์เป็นเวลา 5 นาที ใช้กำลังเป็น 300 W. ซึ่งจะมุมเป็น 6.3 องศา



**รูปที่ 4.27** มุมสัมผัสที่ 6.3 องศา กับพื้นผิวพลาสติก PEN

นอกจากนี้ได้นำผลดังกล่าวมาทำการสร้างกราฟเพื่อทำการเปรียบเทียบในแง่ของการปรับพารามิเตอร์ที่เหมือนกัน จากรูปที่ 4.28 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการให้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวที่อัตราการไหลเป็น 10 L/min กับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับแก๊สออกซิเจนที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.3 L/min โดยการเพิ่มกำลังของการกำเนิดความถี่ ในขณะที่เวลาในการทำออกซิเจนทรีต

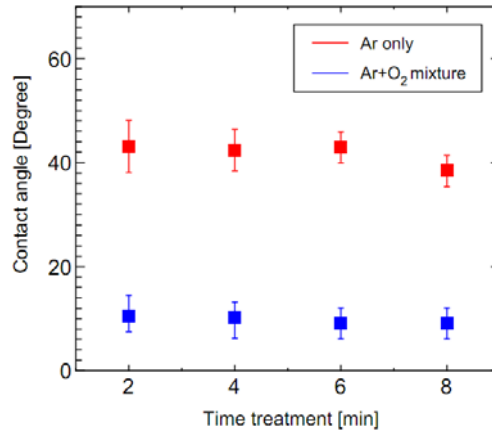
เมนต์ที่ 5 นาที จะพบว่าที่กำลังของการกำเนิดความถี่ที่ 150 W. มีค่าที่แตกต่างกันมากอันเนื่องจากราดิคอลที่ไปเกาะอยู่กับพื้นผิว แต่เมื่อทำการเพิ่มกำลังของการกำเนิดความถี่เป็น 200 W., 250 W. และ 300 W. จะสังเกตได้ว่าจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันระหว่างการใส่แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับแก๊สออกซิเจน โดยที่มุมของหยดน้ำมีค่าลดลงที่น้อยมากหรือแทบไม่ลดลงเลย (ความแตกต่างกันประมาณ 25 องศา) ซึ่งพอที่จะทำให้ทราบว่า การเพิ่มกำลังของการกำเนิดความถี่จะไม่ส่งผลต่อราดิคอลบนพื้นผิวของ PEN เท่าใดนัก



**รูปที่ 4.28** เปรียบเทียบมุมสัมผัสของการใส่แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อเปลี่ยน RF-Power กับพื้นผิวพลาสติก PEN

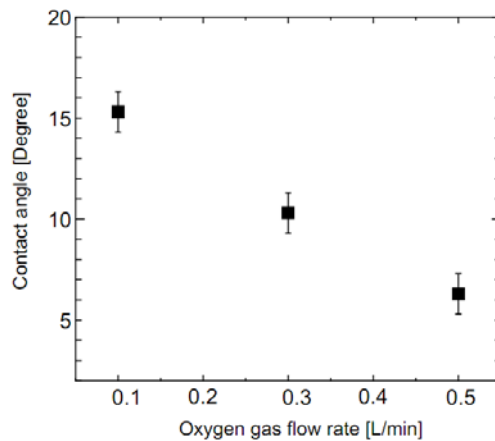
โดยในรูปที่ 4.29 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการใส่แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับแก๊สออกซิเจนที่อัตราการไหลเท่ากับรูปที่ 4.28 โดยการเพิ่มเวลาในการทำออกซิเจนที่รีดเมนต์ ในขณะที่กำลังของการกำเนิดความถี่เป็น 300 W. เมื่อสังเกตจากรูปที่ปรากฏพบว่าความแตกต่างของมุมระหว่างแก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับแก๊สออกซิเจน มีค่าแตกต่างของมุมที่สูงกันมาก โดยเฉลี่ยประมาณ 25 องศา เช่นเดียวกับกับรูปที่ 4.28 นอกจากนี้สังเกตได้อีกอย่างหนึ่งว่าเมื่อทำการเพิ่มเวลาสำหรับการทำรีดเมนต์จะไม่ส่งผลต่อมุมของหยดน้ำที่ลดลงได้นั้นคือเวลาในการทำพลาสมาที่รีดเมนต์จะไม่ส่งผลต่อสมบัติการชอบน้ำของพื้นผิวที่เป็นพลาสติกแบบ PEN โดยสมบัติการชอบน้ำนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณราดิคอลที่

เกิดขึ้นบนพื้นผิว โดยที่เมื่อทำการเพิ่มเวลาการทำทรีตเมนต์จะทำให้เสียเวลาโดยใช้เหตุอันเนื่องมาจากที่พารามิเตอร์ด้านเวลาไม่ส่งผลต่อการเกิดราดิกอลมากเท่าที่ควร โดยควรนำพารามิเตอร์ตัวอื่นมาทดแทนเวลาได้



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบมุมสัมผัสของการใช้แก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียวกับการผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อเปลี่ยนเวลาในการทรีตเมนต์กับพื้นผิวพลาสติก PEN

โดยในรูปที่ 4.30 แสดงมุมของหยดน้ำเมื่อทำการปรับอัตราส่วนการไหลของแก๊สออกซิเจนในขณะที่แก๊สอาร์กอนมีค่าเป็น 10 L/min โดยที่กำลังของการกำเนิดความถี่เป็น 300 W. และเวลาสำหรับการทำทรีตเมนต์เท่ากับ 10 นาที สังเกตได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนจะส่งผลถึงมุมของหยดน้ำลดลง จะพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนจะมีผลอย่างมากที่ทำให้มุมของหยดน้ำลดลง ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณของราดิกอลบนพื้นผิวโดยที่เป็นผลมาจากการให้อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นทำให้การแตกตัวที่เพิ่มมากขึ้นของออกซิเจน และกลายเป็นออกซิเจนราดิกอลเข้าไปทำปฏิกิริยากับพื้นผิวที่เป็นพลาสติกชนิด PEN อย่างมาก ทำให้มีผลกับมุมของหยดน้ำที่ลดลงอย่างสูง



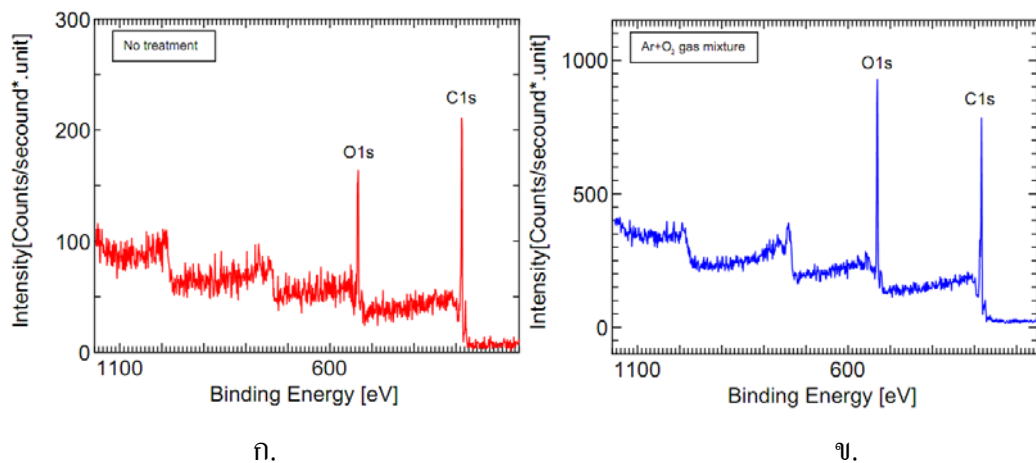
รูปที่ 4.30 มุมสัมผัสเมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนบนพื้นผิวพลาสติก PEN

จากผลดังกล่าวในการทดสอบมุมของหยดน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน, เวลาในการทำทรีตเมนต์ และกำลังที่จ่ายเข้าระบบ ซึ่งจากการทดสอบในขั้นตอนนี้สามารถที่จะยืนยันการเกิดราดิคอลของออกซิเจนได้ อันเนื่องมาจากที่เมื่อพื้นผิวที่ได้รับการทรีตเมนต์โดยพลาสมาจะทำให้อะตอม โมเลกุลต่างๆเกิดการแตกตัวเป็นไอออนและราดิคอล นั้นหมายถึงเมื่อทำการให้แก๊สออกซิเจนเข้าไปในระบบจะทำให้แก๊สออกซิเจนเกิดการแตกตัวกลายเป็นราดิคอลและไปอยู่ที่พื้นผิวของแผ่นพลาสติกแบบ PEN โดยเมื่อนำไปทดสอบกับมุมสัมผัสของหยดน้ำจะทำให้หยดน้ำ ( $H_2O$ ) ทำปฏิกิริยากับราดิคอลของแก๊ส ออกซิเจน ( $O$  radical) ซึ่งส่งผลให้มุมที่เกิดขึ้นมีค่าที่แตกต่างกัน โดยที่ปริมาณของออกซิเจนราดิคอลที่เข้าไปยึดเกาะกับพื้นผิวมากจะทำให้มุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าน้อยลง แต่จะสังเกตได้จากรูปที่ 4.28 และ 4.29 ที่เมื่อทำการเพิ่มกำลังการทำพลาสมาและเวลาที่ใช้ในการทรีตเมนต์จะไม่ส่งผลกับมุมของหยดน้ำที่จะลดลง นั่นคือการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ทั้งสองตัวนี้จะไม่ส่งผลกับการเพิ่มปริมาณของออกซิเจนราดิคอลเท่าที่ควร แต่ในทางกลับกันที่สังเกตได้จากรูปที่ 4.30 ที่ให้อัตราการไหลของออกซิเจนเพิ่มขึ้นจะส่งผลอย่างมากกับมุมของหยดน้ำที่ลดลง นั่นหมายถึงปริมาณที่เพิ่มขึ้นของออกซิเจนราดิคอลด้วย และโดยการวิเคราะห์กราฟดังกล่าวพอที่จะสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่สมควรที่จะทำการวิเคราะห์ปริมาณเคมีพื้นผิวของพลาสติก PEN จากการทำทรีตเมนต์นี้ควรจะใช้ค่ากำลังของการกำเนิดความถี่เป็น 300 W, เวลาในการทำ ทรีตเมนต์ 5 นาที และอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเป็น 10 L/min และ 0.5 L/min ตามลำดับ

### 4.3.2 การทดสอบชิ้นงานด้วย XPS จากการทำออกซิเจนพริตเมนต์ของพื้นผิวพลาสติก PEN

โดยในที่นี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบย่อยคือการวิเคราะห์สเปกตรัมของ Wide scan, O1s และ C1s จากเครื่อง XPS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณของเคมีพื้นผิวที่เกิดขึ้นจากการใช้ระบบพลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำการพริตเมนต์พื้นผิวกับการที่ไม่ทำการพริตเมนต์ของแผ่นพลาสติก PEN ซึ่งจะให้เห็นถึงปริมาณของเคมีพื้นผิวที่แตกต่างกันเพื่อจะได้ยืนยันการเกิดราดิคอลที่พื้นผิวจากการทำพลาสมา โดยมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

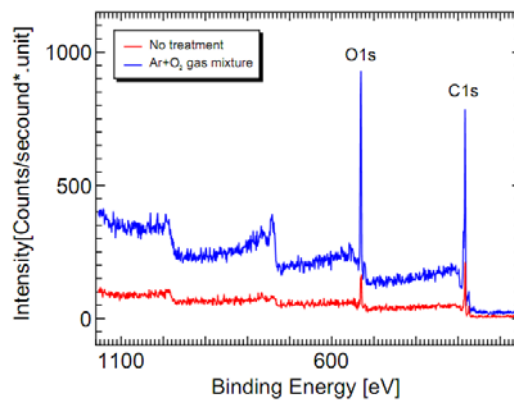
- 1) ทดสอบเคมีพื้นผิวแบบ wide scan กับพื้นผิวพลาสติก PEN การไม่พริตต์เมนต์กับการใช้ระบบพลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำการพริตต์เมนต์พื้นผิว ที่ใช้การผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อแก๊สออกซิเจนมีอัตราการไหลที่ 0.5 L/min ในขณะที่แก๊สอาร์กอนมีอัตราการไหล 10 L/min ซึ่งแสดงในรูปที่ 31 ก และ ข โดยสังเกตได้ว่าทั้งสองเงื่อนไขของผลการทดลองจะมีพีคของ C1s และ O1s ที่ประมาณ 300 eV และ 550 eV ตามลำดับ ในปริมาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.31 สเปกตรัมของ wide scan ในพื้นผิวของพลาสติก PEN

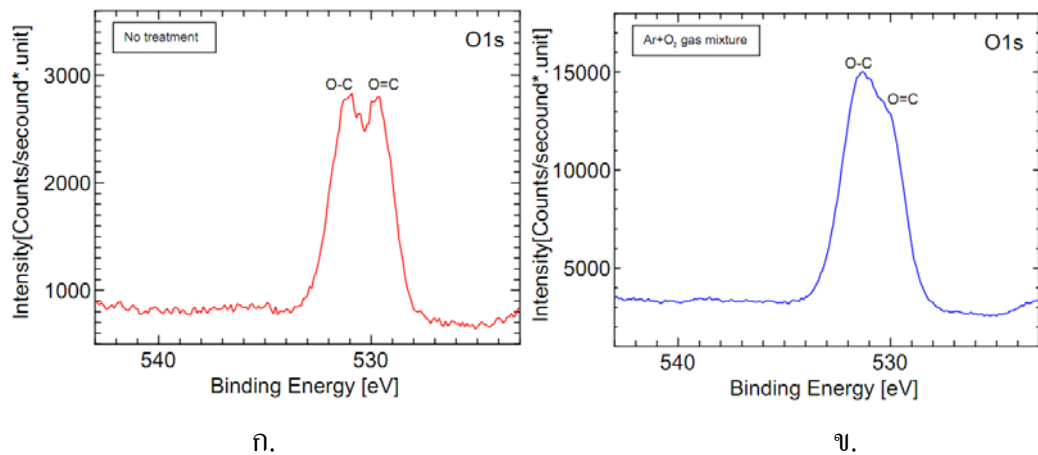
ก. ไม่ได้รับการพริตต์เมนต์ ข.แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สออกซิเจน

จากรูปที่ 4.32 เป็นการเปรียบเทียบ wide scan สเปกตรัมในกรณีที่ไม่ทำการทรีตเมนต์กับการใช้ออกซิเจนพลาสมาทรีตเมนต์ พบว่าการใช้ออกซิเจนพลาสมาทรีตเมนต์ทำให้มีปริมาณพีคของ C1s และ O1s ที่มากกว่าการไม่ทำการทรีตเมนต์ในปริมาณที่มากนั้นหมายถึงจะทำให้เกิดราดิคอลที่พื้นผิวมากกว่า โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ในลำดับถัดไปจะใช้การฟิตเส้นของ C1s กับ O1s เพื่อวิเคราะห์ในรายละเอียด



รูปที่ 4.32 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ wide scan บนพื้นผิวพลาสติก PEN เมื่อไม่ได้รับการทรีตเมนต์กับการทรีตเมนต์ด้วยผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน

- 2) ทดสอบเคมีพื้นผิวแบบ O1s scan กับพื้นผิวพลาสติก PEN การไม่ทรีตเมนต์กับการใช้ระบบพลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำการทรีตเมนต์พื้นผิว ที่ใช้การผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อแก๊สออกซิเจนมีอัตราการไหลที่ 0.5 L/min ในขณะที่แก๊สอาร์กอนมีอัตราการไหล 10 L/min ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.33 ก และ ข ซึ่งสังเกตได้ว่าทั้งสองเงื่อนไขของผลการทดลองจะมีพีคของ O1s สององค์ประกอบด้วยกันคือ O-C และ O=C ที่ประมาณ 531.5 eV และ 530.5 eV [40] ตามลำดับในปริมาณที่แตกต่างกัน

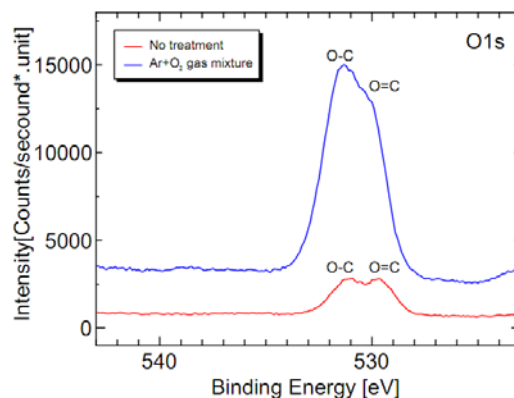


รูปที่ 4.33 สเปกตรัมของ O1s scan ในพื้นผิวของพลาสติก PEN

ก. ไม่ได้รับการทรีตเมนต์

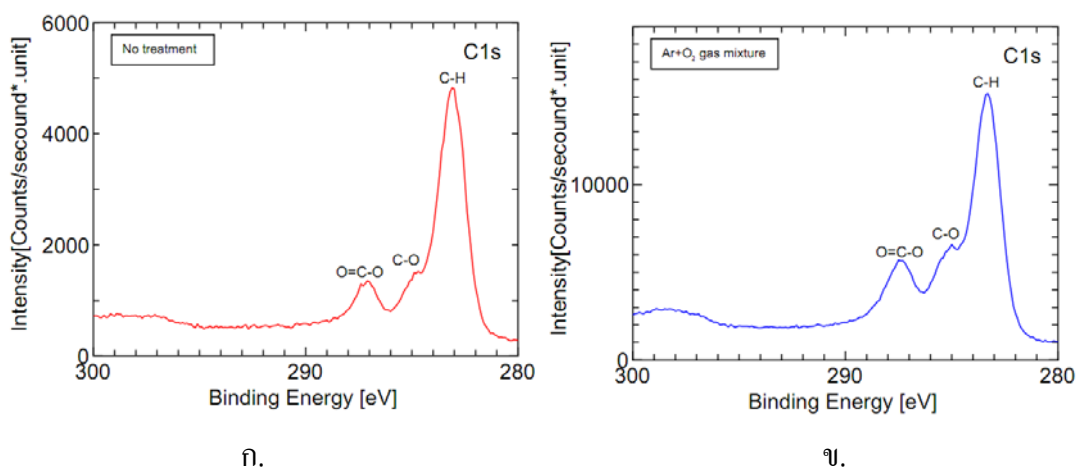
ข. แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สออกซิเจน

จากรูปที่ 4.34 เป็นการเปรียบเทียบ O1s scan สเปกตรัมในกรณีที่ไม่ทำการทรีตเมนต์กับการใช้ออกซิเจนพลาสมาทรีตเมนต์ พบว่าการใช้ออกซิเจนพลาสมาทรีตเมนต์ทำให้มีปริมาณพีคของ O1s ที่มากกว่าการไม่ทำการทรีตเมนต์ในปริมาณที่มากทั้งสององค์ประกอบ โดยที่จะมีความแตกต่างของพีคประมาณ 70% นั้นหมายถึงจะทำให้เกิดออกซิเจนราดิคอลที่พื้นผิวสูงมาก และทำให้องค์ประกอบ O-C ของ O1s มีปริมาณมากกว่าองค์ประกอบ O=C ทำให้เป็นที่ชัดเจนว่ามีออกซิเจนราดิคอลเกิดขึ้นในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งราดิคอลที่เกิดขึ้นและเข้ากระทำกับพื้นผิวของ PEN จะเป็นผลมาจากกระบวนการพลาสมาที่ทำให้อะตอม โมเลกุล ของออกซิเจนแตกตัว



รูปที่ 4.34 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ O1s scan บนพื้นผิวพลาสติก PEN เมื่อไม่ได้รับการทรีตเมนต์กับการทรีตเมนต์ด้วยผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน

- 3) ทดสอบเคมีพื้นผิวแบบ C1s scan กับพื้นผิวพลาสติก PEN ที่ไม่ทำการทรีตเมนต์กับการใช้ระบบพลาสมาแบบ Low-pressure high-frequency plasma chemical vapor deposition ทำการทรีตเมนต์พื้นผิว โดยใช้การผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจนเมื่อแก๊สออกซิเจนมีอัตราการไหลที่ 0.5 L/min ในขณะที่แก๊สอาร์กอนมีอัตราการไหล 10 L/min ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.35 ก และ ข โดยสังเกตได้ว่าทั้งสองเงื่อนไขของผลการทดลองจะมีพีคของ C1s แบ่งเป็นสามองค์ประกอบคือ C-H, C-O และ O=C-O ที่บริเวณสเปกตรัมประมาณ 283-284 eV, 285-286 eV และ 287-288 eV [41, 42] ในปริมาณที่แตกต่างกัน



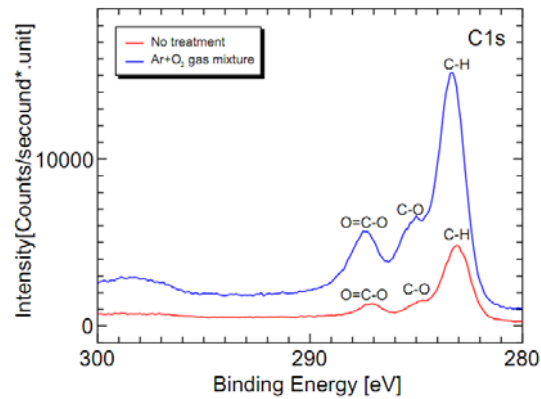
รูปที่ 4.35 สเปกตรัมของ wide scan ในพื้นผิวของพลาสติก PEN

ก. ไม่ได้รับการทรีตเมนต์

ข. แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สออกซิเจน

จากรูปที่ 4.36 เป็นการเปรียบเทียบ C1s scan สเปกตรัมในกรณีที่ไม่ทำการทรีตเมนต์กับการใช้ออกซิเจนพลาสมาทรีตเมนต์ พบว่าการใช้ออกซิเจนพลาสมาทรีตเมนต์ทำให้มีปริมาณพีคของ O1s ที่มากกว่าการไม่ทำการทรีตเมนต์ในปริมาณที่มากทั้งสามองค์ประกอบ โดยที่จะมีความแตกต่างของพีคระหว่างพื้นผิวไม่ทำการทรีตเมนต์กับการใช้ออกซิเจนพลาสมาทรีตเมนต์ประมาณ 30% ขององค์ประกอบ C-O และ O=C-O แต่ค่าความแตกต่างที่องค์ประกอบ C-H (C-C) จะประมาณ 68% อันเนื่องจากการเกิดพันธะในตัวเองจากผลของพลาสมา โดยผลดังกล่าวเป็นที่ชัดเจนว่าการทำพลาสมาในกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดราดิคอล และ O atom จากกระบวนการแตกตัวระหว่าง

อิเล็กตรอน โมเลกุล และอะตอม โดยที่ออกซิเจนราดิคอลเหล่านี้ได้เข้าไปมีพันธะกับคาร์บอนที่เกิดจากโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PEN ซึ่งทำให้เกิดเชื่อมโยงพันธะของ C-O, O-C=O และ C-H กับออกซิเจนราดิคอลที่เกิดจากกระบวนการพลาสมา



รูปที่ 4.36 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของ C1s scan บนพื้นผิวพลาสติก PEN เมื่อไม่ได้รับการทรีตเมนต์กับการทรีตเมนต์ด้วยผสมกันของแก๊สอาร์กอนกับออกซิเจน