RMUTP Research Journal Special Issue
The 5th Rajamangala University of Technology National Conference

# การพัฒนาชุดกำเนิดพลาสมาขนาดเล็กเพื่อใช้ปรับสภาพและทำความสะอาดพื้นผิว

# Development of Small Plasma System for Surface Modification and Cleaning

**ศราวุธ ใจเย็น[1*] จันทนี อุทธิสินธุ์[2] นริศร์ บาลทิพย์[3] อันชัญ หมวกงาม[4]**
**ศตวรรษ รักมาก[5] และ ชลภิวิชญ์ ศรีบุศยกุล[6]**

[1,2,3]อาจารย์ [5,6]นักศึกษา สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
จังหวัดปทุมธานี 12110
[4]นักศึกษา วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

## บทคัดย่อ

ต้นแบบชุดกำเนิดพลาสมาขนาดเล็กโดยใช้เตาไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือนได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการปรับสภาพและทำความสะอาดพื้นผิวในงานทางด้านฟิล์มบาง เตาไมโครเวฟที่ใช้มีกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ให้คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ภาชนะสูญญากาศที่ถูกสวมลงไปในเตาไมโครเวฟทางด้านบนสามารถทำความดันได้ 7 x $10^{-3}$ ทอร์ โดยใช้ปั๊มโรตารี ระบบดังกล่าวสามารถทำให้เกิดพลาสมาจากแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจนในช่วงความดัน 0.2 – 3.0 ทอร์ จากนั้นนำไปทดสอบโดยการปรับสภาพและทำความสะอาดพื้นผิวของแผ่นกระจกสไลด์ด้วยพลาสมาจากแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจน แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิว พบว่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและพื้นผิวมีค่าลดลงตามเวลาในการอาบพลาสมา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสะอาดของพื้นผิวเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ชุดกำเนิดพลาสมาที่พัฒนาขึ้น

## Abstract

A small plasma system using microwave oven was developed for the application of surface modification and cleaning in thin films research. The microwave oven with 800-Watt power generates 2.45-GHz frequency. The vacuum chamber was inserted into the microwave oven from the top of oven wall and it was evacuated by a rotary pump to less than 7 x $10^{-3}$ Torr. This system can generate argon and oxygen plasma at a pressure of 0.2 – 3.0 Torr. This small plasma system was applied to clean a surface of microscope glass slide using argon and oxygen plasma. To reveal the effects of argon and oxygen plasma on material surface, the glass slide was measured by contact angle tensiometer. The results show that the contact angle between a water droplet and glass surface decreases with increasing the exposure time. This result indicates that the cleanness of material surface was improved by using the small plasma system.

**คำสำคัญ** : พลาสมา เตาไมโครเวฟ ปรับสภาพพื้นผิว ทำความสะอาดพื้นผิว
**Keywords** : Plasma, Microwave Oven, Surface Modification, Surface Cleaning

[*]*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ sarawut@rmutt.ac.th โทร. 0 2549 4193*

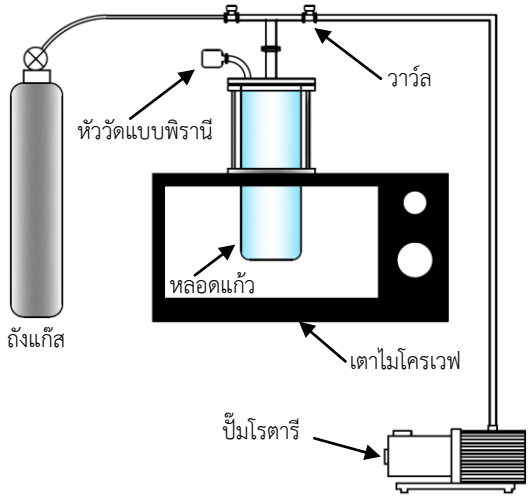
## 1. บทนำ

การปรับปรุงหรือทำความสะอาดพื้นผิววัสดุโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการทางความร้อนเป็นหลัก แม้ว่าวิธีการเหล่านี้จะให้พื้นผิววัสดุตามความต้องการแต่ก็มีข้อจำกัดบางอย่างเช่น คุณภาพของผิววัสดุที่ได้รับการปรับปรุงยังไม่ดีนัก วัสดุบางชนิดหรือชิ้นงานบางประเภทที่ต้องการปรับปรุงพื้นผิวไม่สามารถใช้กับกระบวนการทางเคมีหรือความร้อน เช่น พลาสติกบางชนิดที่ถูกกัดกร่อนได้ง่ายหรือเสียสภาพเมื่อได้รับความร้อน นอกจากนี้กระบวนการทางเคมียังเป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีจำนวนมากทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ข้อจำกัดเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงผิววัสดุด้วยกระบวนการพลาสมา (plasma surface treatment) ซึ่งแบ่งเป็น การเปลี่ยนแปลงผิววัสดุด้วยพลาสมา (plasma surface modification) การกัดผิวด้วยพลาสมา (plasmaetching) และการเคลือบผิวด้วยพลาสมา (plasma deposition) พลาสมาที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงผิววัสดุจะทำอันตรกิริยาเฉพาะอะตอมที่มีลักษณะเป็นชั้นบางๆ ที่อยู่บริเวณผิวหน้าของวัสดุเพื่อให้มีคุณสมบัติตามต้องการเท่านั้น โดยพลาสมาที่ใช้ในกระบวนการจะไม่มีผลต่อวัสดุทั้งชิ้น กระบวนการปรับปรุงผิววัสดุด้วยพลาสมานั้นเป็นกระบวนการที่ไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนที่อาจส่งผลต่อสมบัติโดยรวมของชิ้นงาน และที่สำคัญการปรับปรุงผิววัสดุด้วยพลาสมายังเป็นกระบวนการที่ไม่มีการใช้สารเคมีที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

พลาสมาที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงผิววัสดุสามารถสร้างขึ้นจากการให้พลังงานแก่แก๊สด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การใช้ลวดความร้อน การใช้ความต่างศักย์สูง การใช้คลื่นความถี่วิทยุ และการใช้คลื่นไมโครเวฟ เทคนิคการให้พลังงานด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่ได้รับความสนใจเนื่องจากมีข้อดีคือ ไม่มีการใช้ขั้วไฟฟ้าในระบบทำให้ไม่มีการกัดกร่อนหรือแตกตัวของขั้วไฟฟ้าเข้าไปปนเปื้อนในระบบ พลาสมาที่เกิดจากวิธีนี้จะมีอุณหภูมิสูง ความหนาแน่นสูงเมื่อเทียบกับพลาสมาที่กำเนิดจากวิธีให้พลังงานแบบอื่นๆ การใช้พลาสมาในการปรับปรุงและทำความสะอาดพื้นผิวมีการวิจัยอย่างแพร่หลายตัวอย่างเช่น Eung Suok และคณะ ได้ทำความสะอาดพื้นผิวของอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) ด้วยพลาสมาบรรยากาศของแก๊สออกซิเจน ภายใต้ศักย์ไฟฟ้า 9 kV และความถี่ 500 Hz ในช่วงเวลา 30, 60 และ 200 วินาที แล้วนำอิเดียมทินออกไซด์ไปหยด D.I. Water, Glycerol และ Methylene Iodine เพื่อตรวจสอบหาค่าสภาพการเปียกด้วยมุมสัมผัส พบว่ามุมสัมผัสลดลงซึ่งหมายความว่าอินเดียมทินออกไซด์นั้นมีความสะอาดมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วการทำความสะอาดพื้นผิวด้วยพลาสมาจากแก๊สออกซิเจนนั้นมีราคาถูกและระยะเวลาในการทำความสะอาดเร็วกว่าการใช้สารเคมี นอกจากการทำความสะอาดพื้นผิวด้วยแก๊สออกซิเจนแล้ว C.H. Yi และคณะ ได้ศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคพลาสมาโดยใช้แก๊สผสมระหว่างฮีเลียม ออกซิเจน และ อาร์กอน และแก๊สผสมระหว่าง ฮีเลียม ออกซิเจน และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ โดยใช้กระแสสลับเป็นตัวกำเนิดพลังงาน จากนั้นดูการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัส พลังงานพื้นผิว และอัตราการกัดน้ำยาไวแสง (ER) ผลการทดลองสรุปได้ว่าแก๊สระหว่างฮีเลียมและออกซิเจน และระหว่างฮีเลียม ออกซิเจนและอาร์กอน ได้อัตราการกัดน้ำยาไวแสงได้ดีที่สุด เนื่องจากแก๊สทั้งสองชนิดนี้เกิดอะตอมออกซิเจนที่สร้างขึ้นในพลาสมาได้ดีที่สุด และพบว่าเมื่อกระจกถูกทำความสะอาดจากการผสมแก๊สต่างๆ มุมสัมผัสของผิวกระจกจะลดลง

จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่า เทคโนโลยีพลาสมาเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงและทำความสะอาดพื้นผิวของวัสดุได้หลากหลายชนิด ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเครื่องกำเนิดพลาสมาที่ขายในท้องตลาดมีราคาสูง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาขนาดเล็ก โดยใช้แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟจากเตาไมโครเวฟที่ใช้ประกอบอาหารในครัวเรือน เพื่อประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการสูญญากาศและวัสดุ ให้ได้เครื่องมือที่มีราคาถูกกว่าต่างประเทศ

## 2. วิธีการทดลอง




(ก)

(ข)

**รูปที่ 1** (ก) แผนภาพ และ (ข) ภาพถ่ายเครื่องกำเนิดพลาสมาขนาดเล็ก

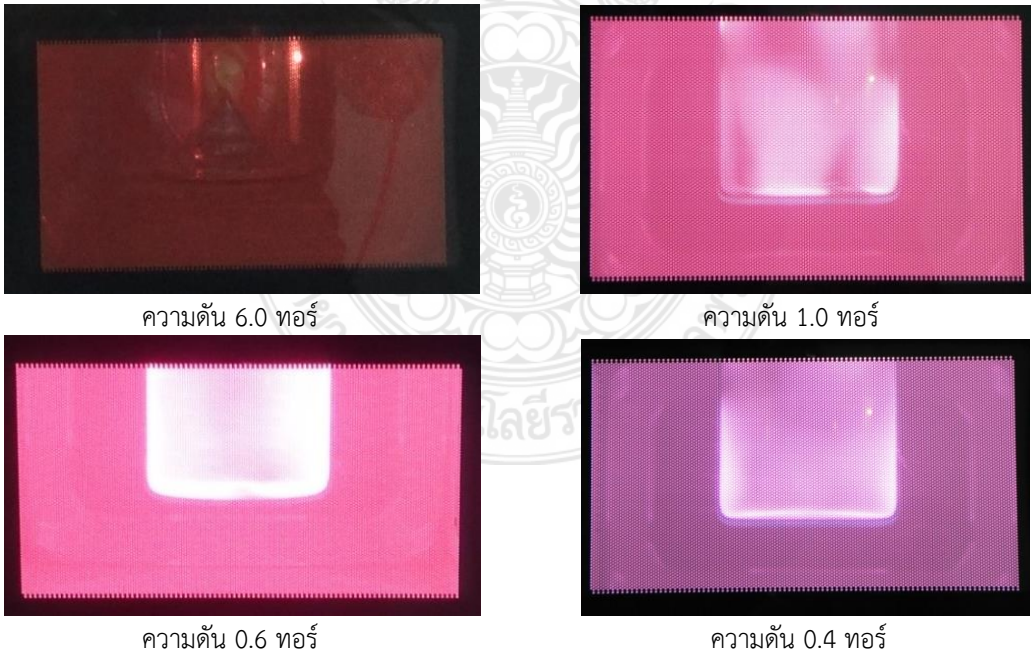
การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาขนาดเล็กนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้เหมาะสมกับระบบสูญญากาศในการทำให้เกิดพลาสมา โดยมุ่งเน้นที่การออกแบบให้มีขนาดเล็ก ราคาไม่แพงและยังสามารใช้งานได้จริง รูปที่ 1 (ก) แสดงแผนภาพส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดพลาสมาขนาดเล็ก และรูปที่ 1 (ข) แสดงภาพถ่ายของเครื่องกำเนิดพลาสมา หลอดแก้วที่ใช้สำหรับภาชนะสูญญากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 11.2 เซนติเมตร และมีปริมาตร 2904 ลูกบาศก์เซนติเมตร หัววัดแบบพิรานีสำหรับวัดความดันภายในภาชนะสูญญากาศต่อกับหน้าแปลน NW16 ภาชนะสูญญากาศเป็นส่วนสำคัญของระบบเนื่องจากพลาสมาจะเกิดขึ้นภายในภาชนะสูญญากาศที่มีความดันต่ำเท่านั้น ดังนั้นการออกแบบภาชนะให้เหมาะสมกับการใช้งาน โครงสร้างภายนอกเตาไมโครเวฟจึงใช้สแตนเลสเป็นวัสดุหลัก เนื่องจากมีความทนทานและไม่เกิดสนิม หน้าแปลนถูกออกแบบมาเป็นฝาปิดสำหรับการนำชิ้นงานเข้าและออกจาก

ระบบ ด้านบนมีช่องต่อแยกเป็นสองทางต่อกับเครื่องสูบกลโรตารีและท่อนำแก๊สเข้าสู่ระบบโดยเชื่อมกับวาล์วซึ่งจะทำหน้าที่ในการปรับอัตราสูบอากาศออกจากภาชนะและวาล์วอีกด้านหนึ่งทำหน้าที่ปรับอัตราการปล่อยแก๊สเข้า นอกจากนี้การติดตั้งต้องมีการป้องกันการรั่วซึมบริเวณช่องว่างต่างๆ เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในภาชนะสูญญากาศ

เมื่อประกอบภาชนะสูญญากาศเรียบร้อยแล้วได้ทดสอบความสามารถของระบบสูญญากาศซึ่งจะทดสอบหาความดันต่ำสุดของระบบโดยทำการดูดอากาศเพื่อดูความสามารถของเครื่องกำเนิดพลาสมาขนาดเล็กที่สร้างขึ้นโดยเปิดเครื่องสูบโรตารีทำงานเพื่อดูดอากาศภายในภาชนะสูญญากาศจนมีความดันต่ำลงถึง $10^{-2}$ ทอร์ หลังจากทดสอบระบบสูญญากาศแล้วได้ติดตั้งเข้ากับเตาไมโครเวฟซึ่งทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ จากนั้นสูบอากาศออกให้ได้ความดันต่ำที่สุดซึ่งมีค่า $7.0 \times 10^{-3}$ ทอร์ เชื่อมท่อแก๊สออกซิเจนเข้าไปในระบบและทำความดันให้ได้ตั้งแต่ 0.2–5.0 ทอร์ สังเกตความสว่างของพลาสมาที่เกิดขึ้นทำเช่นเดียวกับแก๊สอาร์กอน

นำระบบพลาสมาที่ได้ไปทดสอบโดยการทำความสะอาดพื้นผิววัสดุโดยใช้กระจกสไลด์ขนาด 2 x 2 ตารางเซนติเมตรเป็นวัสดุทดสอบ ทำความสะอาดเบื้องต้นโดยการทำความสะอาดแบบเปียก โดยใช้ของเหลว 5 ชนิดคือ น้ำยาล้างจาน อะซิโตน เมทานอล ไอโซโพรพานอล และน้ำปราศจากไอออน ตามลำดับ โดยแต่ละชนิดเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิคเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.999% เมื่อแผ่นสไลด์แห้งแล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำแผ่นสไลด์ที่ได้ไปวางไว้ก้นภาชนะสูญญากาศแล้วอาบพลาสมาที่ความดัน 0.6 ทอร์ เป็นเวลา 5-25 วินาที จากนั้นนำไปทดสอบความสะอาดโดยใช้เครื่องวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิว

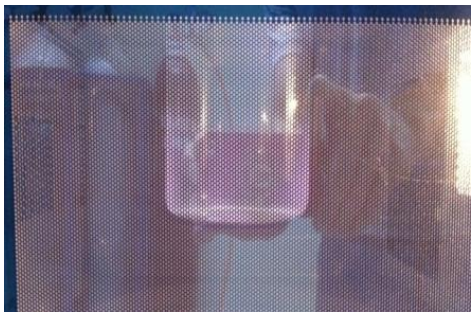
## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล



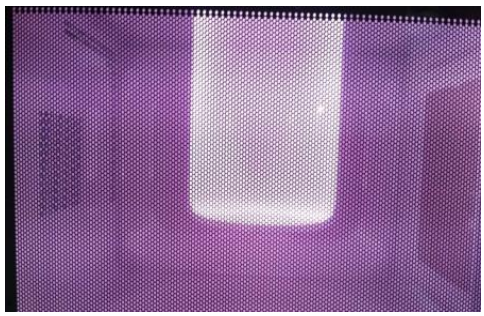
ความดัน 6.0 ทอร์ ความดัน 1.0 ทอร์

ความดัน 0.6 ทอร์ ความดัน 0.4 ทอร์

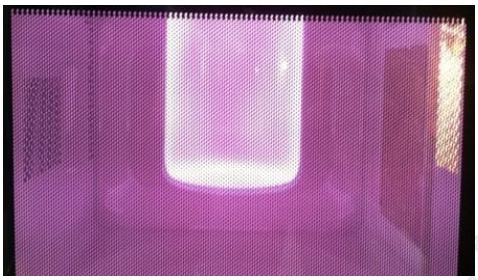
**รูปที่ 2** แสดงภาพถ่ายการเกิดพลาสมาของแก๊สออกซิเจนที่ความดัน 0.4 – 6.0 ทอร์



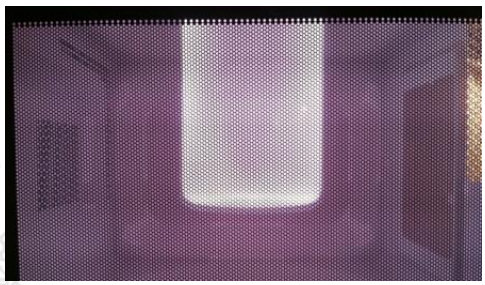
ความดัน 3.0 ทอร์



ความดัน 0.9 ทอร์



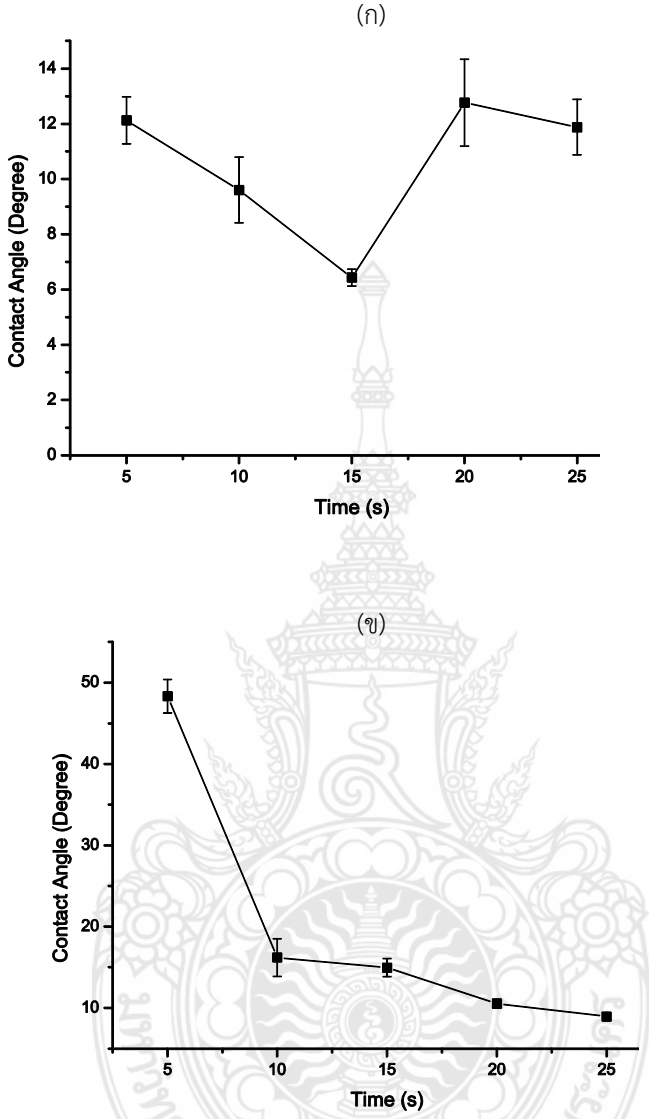
ความดัน 0.6 ทอร์



ความดัน 0.2 ทอร์

**รูปที่ 3** แสดงภาพถ่ายการเกิดพลาสมาของแก๊สอาร์กอนที่ความดัน 0.2 – 3.0 ทอร์

จากการทดลองการเกิดพลาสมาด้วยคลื่นไมโครเวฟจากเครื่องไมโครเวฟ โดยใช้แก๊สออกซิเจน ค่าความดันที่ทำให้เกิดพลาสมาอยู่ในช่วง 0.4 - 5.0 ทอร์ ส่วนแก๊สอาร์กอนความดันที่ทำให้เกิดพลาสมาอยู่ในช่วง 0.2 - 5.0 ทอร์ รูปที่ 2 แสดงการเกิดพลาสมาของแก๊สออกซิเจนที่ความดัน 0.4 – 6.0 ทอร์ และ รูปที่ 3 แสดงการเกิดพลาสมาของแก๊สอาร์กอนที่ความดัน 0.2 ถึง 3.0 ทอร์ จากรูปทั้งสองเมื่อสังเกตความสว่างของแสงที่เกิดขึ้น ทั้งพลาสมาจากแก๊สออกซิเจนและแก๊สอาร์กอน การเรืองแสงของพลาสมามากที่สุดมีค่าความดันอยู่ที่ 0.6 ทอร์ ซึ่งถ้าแก๊สมีความดันมากเกินไป พลังงานของคลื่นไมโครเวฟมีค่าไม่มากพอที่จะทำให้เกิดพลาสมาได้




**รูปที่ 4** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการอาบพลาสมาจาก (ก) แก๊สออกซิเจน และ (ข) แก๊สอาร์กอน และมุมสัมผัสบนพื้นผิว

นำระบบพลาสมาที่ได้ไปทดสอบการทำความสะอาดพื้นผิวด้วยแก๊สออกซิเจนที่ความดัน 0.6 ทอร์ เป็นเวลา 5 – 25 วินาที หลังจากนั้นนำไปทดสอบหามุมสัมผัสด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิว รูปที่ 4 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการอาบพลาสมาของแก๊สออกซิเจนกับมุมสัมผัสบนพื้นผิว กระจกสไลด์ที่อาบพลาสมานาน 5 วินาที มีมุมสัมผัส 12.12 องศา และจะลดลงเรื่อยๆ ตามเวลาในการอาบพลาสมาจนกระทั่งถึงมุมสัมผัสต่ำสุดที่ 6.43 องศา แต่มุมสัมผัสจะมากขึ้นเมื่ออาบพลาสมานานขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่พื้นผิวทำให้พื้นผิวถูกกัดและมีความขรุขระ ส่งผลให้มุมสัมผัสเพิ่มขึ้นแต่ยังคงน้อยเมื่อเทียบกับพื้นผิวที่ไม่ผ่านการอาบพลาสมา รูปที่ 4 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการอาบพลาสมาของแก๊สอาร์กอนกับมุมสัมผัสบนพื้นผิว จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาในการอาบพลาสมาเพิ่มขึ้นมุมสัมผัสจะลดลงแปรตามเวลาในการอาบพลาสมา แต่เนื่องจากภาชนะสูญญากาศที่ใช้ในการทดลองนี้ทนความร้อนได้ไม่สูงมากนักจึงไม่สามารถทดลองการอาบพลาสมาที่เวลานานกว่าได้

## 4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาขนาดเล็กโดยใช้เตาไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ สามารถทำให้เกิดพลาสมาของแก๊สออกซิเจนและแก๊สอาร์กอน และเกิดพลาสมาเรืองแสงสว่างมากที่สุดที่ความดัน 0.6 ทอร์ และจากการนำไปทดสอบทำความสะอาดพื้นผิวของกระจกสไลด์ด้วยพลาสมาจากแก๊สออกซิเจน มุมสัมผัสจะลดลงตามเวลาในการอาบพลาสมา แต่เมื่อใช้เวลาในการอาบพลาสมาเพิ่มมากขึ้น มุมสัมผัสบนพื้นผิวของของเหลวจะเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดการกัดกร่อนที่ผิวหน้าทำให้ผิวหน้าของวัสดุเกิดความขรุขระจึงเกิดความไม่ชอบน้ำขึ้น และจากการอาบด้วยพลาสมาของแก๊สอาร์กอน พบว่ามุมสัมผัสของของเหลวมีค่าลดลงตามเวลาในการอาบพลาสมา แสดงว่าความสะอาดเพิ่มมากขึ้นตามเวลาในการอาบพลาสมา

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการสนับสนุนเงินวิจัย อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้คำแนะนำและใช้เครื่องวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิว

## 6. เอกสารอ้างอิง

Eung Suok Lee, Jai Hyuk Choi, Hong Koo Baik. 2007. **Surface cleaning of indium tin oxide by atmospheric air plasma treatment with the steady-state airflow for organic light emitting diodes.** Surface & Coatings Technology. 201 (9-11) : 4973–4978.

C.H. Yi , Y.H. Lee, G.Y. Yeom. 2002. **The study of atmospheric pressure plasma for surface cleaning.** Surface & Coatings Technology. 172 (1-3) : 237-240.