

การปรับสภาพพื้นผิวอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีนด้วยระบบพลาสมาเจ็ท ที่ความดันบรรยากาศ

Surface Modification on Acrylonitrile Butadiene Styrene by Atmospheric Pressure Plasma Jet

อรรถพล เชยศุภเกต¹ พลากร ขวัญสูงเนิน¹ กัญจน์ชญา หงส์เลิศคงสกุล¹ บุญฤทธิ์ ครุณวการ¹ วิโรจน์ เครือภู¹
และ ธนัสถา รัตน์^{1*}

Attapol Choeysupaket¹ Phalakorn Khwansungnoen¹ Kanchaya Honglertkongsakul¹ Boonlit Krunavakarn¹
Wirote Kruapoo¹ and Tanattha Rattana¹

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

¹Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University

วันที่ส่งบทความ : 19 ตุลาคม 2563 วันที่แก้ไขบทความ : 18 มกราคม 2564 วันที่ตอบรับบทความ : 31 มกราคม 2564

Received: 19 October 2020, Revised: 18 January 2021, Accepted: 31 January 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวพลาสติกอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีนด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ ผิวของพลาสติกอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน ถูกปรับปรุงผิวด้วยลำพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ โดยให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนมีค่าคงที่และเปลี่ยนแปลงค่าการไหลของแก๊สออกซิเจนที่บริเวณปลายลำพลาสมาเจ็ท ลักษณะเฉพาะของผิวของพลาสติกที่ถูกปรับปรุงผิวถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม เครื่องเอกซเรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปีและเครื่องวัดมุมสัมผัสหยดน้ำ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผิวของพลาสติกที่ถูกปรับปรุงผิวด้วยพลาสมา จะปรากฏหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น C-O, C=O และ O-C=O เป็นต้น ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้สามารถเพิ่มสมบัติการชอบน้ำของผิวพลาสติกได้ นอกจากนี้ลักษณะทางสัณฐานและความขรุขระที่ผิวของพลาสติกเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน

คำสำคัญ : พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ การปรับสภาพพื้นผิว อะครีโลไนไตรล์ บิวทาไดอีน สไตรีน

Abstract

This research was to study of the effect of surface modification of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) plastics treated by atmospheric pressure plasma jet. The surface

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: tanattha@buu.ac.th

modification was performed at a fixed Ar gas flow rate, while varying the O₂ gas flow rate near plasma jet plume. The treated surface characteristics were investigated by atomic force microscopy (AFM), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), and contact angle measurement. The results showed that the functional groups containing oxygen such as C–O, C=O and O–C=O on the plastic surface were observed after plasma treatment. These functional groups can enhance the hydrophilic property of plastic surface. In addition, the morphology and roughness of plastic surface were dramatically changed as a function of O₂ gas flow rate.

Keywords: Atmospheric pressure plasma jet, Surface modification, Acrylonitrile butadiene styrene

1. บทนำ

พลาสติกอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile-butadiene-styrene) หรือเรียกย่อว่า พลาสติก ABS เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยประกอบด้วยโมโนเมอร์สามชนิดคือ อะครีโลไนไตรล์ (Acrylonitrile) โพลีบิวทาไดอีน (Polybutadiene) และสไตรีน (Styrene) ทำให้พลาสติก ABS มีคุณสมบัติทางกายภาพที่น่าสนใจ เช่น ความแข็งแรงทนทาน มีความเหนียว ทนต่อแรงกระแทกและการขีดข่วนได้ดี นอกจากนี้ พลาสติก ABS ยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่ดี ทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีกว่าพลาสติกทั่วไปและยังมีพื้นผิวที่มันเงาสวยงาม [1]-[3] ทำให้เหมาะสำหรับใช้เป็นชิ้นส่วนในยานยนต์ ชิ้นส่วนอาคารบ้านเรือนและเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ใช้ทำเป็นโครงสร้าง ฉนวนภายนอกของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และใช้เป็นเส้นพลาสติกสำหรับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เป็นต้น [4]-[5] รวมถึงมีแนวโน้มที่จะถูกนำไปเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ทางการแพทย์มากขึ้น เนื่องจากสามารถผลิตพลาสติกให้มีความบริสุทธิ์สูง มีสารตกค้างต่ำและมีคุณสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) [6] แต่เนื่องจากพื้นผิวพลาสติก ABS รวมถึงพลาสติกชนิดอื่น จะมีความตึงผิวที่ต่ำ ส่งผลให้มีคุณสมบัติในการยึดเกาะที่ไม่ดี ทำให้การนำพลาสติก ABS ไปเคลือบผิวด้วยวัสดุประเภท ต่าง ๆ ได้แก่ สีเคลือบ พิล์มบางโลหะหรือวัสดุทางชีวภาพ จำเป็นต้องมีการปรับสภาพพื้นผิว (Surface modification) ของพลาสติกเพื่อให้มีคุณสมบัติการยึดเกาะของพื้นผิวที่ดีขึ้น โดยในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อหาวิธีในการปรับปรุงพื้นผิว ABS เพื่อเพิ่มการยึดเกาะของชั้นผิวเคลือบเช่นการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้วิธีทางเคมี โดยจุ่มพลาสติก ABS ในสารละลายที่มีส่วนผสมของกรดซัลฟิวริก ที่มีกรดโครมิกหรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือกรดไนตริกเป็นสารออกซิแดนท์ เพื่อกัดพื้นผิวพลาสติกให้มีความหยาบผิว (Surface roughness) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ผิวพลาสติกมีการยึดเกาะกับฟิล์มโลหะได้ดีมากขึ้น [7]-[8] แต่การปรับสภาพผิวโดยใช้วิธีทางเคมี มีข้อเสียและข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น คุณภาพของพื้นผิวที่ปรับสภาพแล้วยังมีประสิทธิภาพต่ำและยังมีการปล่อยของเสียทางเคมี ทำให้เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากข้อจำกัดเหล่านี้ จึงมีการนำเทคโนโลยีการปรับสภาพพื้นผิววัสดุด้วยพลาสมาเข้ามาประยุกต์ใช้งานการปรับสภาพพื้นผิวพลาสติกมากขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณสมบัติบริเวณพื้นผิววัสดุโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของตัววัสดุทั้งหมด แต่เนื่องจากระบบพลาสมาส่วนใหญ่ต้องการระบบ

สูญญากาศที่มีราคาแพงและซับซ้อน [9] ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบพลาสมาเจ็ทที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure plasma jet) [10] เพื่อแก้ปัญหาเรื่องการปรับสภาพพื้นผิววัสดุด้วยพลาสมาที่ความดันต่ำซึ่งต้องใช้ระบบสูญญากาศ ทำให้เทคนิคนี้ได้รับความนิยมมากขึ้น เพราะเป็นระบบที่มีราคาไม่แพง สามารถผลิตพลาสมาเจ็ทที่สภาวะบรรยากาศได้และทำงานที่อุณหภูมิต่ำ รวมทั้งไม่มีการใช้สารเคมีสำหรับปรับสภาพพื้นผิว ซึ่งการสร้างลำพลาสมาเจ็ทที่ความดันบรรยากาศ จะใช้แก๊สเฉื่อยเช่น แก๊สฮีเลียมหรืออาร์กอนเป็นแก๊สหลักในการสร้างลำพลาสมาพร้อมกับใช้แก๊สไวปฏิกิริยา เช่นออกซิเจนหรือไนโตรเจน โดยเฉพาะแก๊สออกซิเจนที่นิยมใช้เป็นแก๊สไวปฏิกิริยาในการปรับสภาพพื้นผิวพลาสติกด้วยพลาสมา เนื่องจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับสภาพพื้นผิวพลาสติกและเพิ่มคุณสมบัติการยึดเกาะของผิวพลาสติก [11]-[12] แต่จากการทดลองการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ทที่สภาวะบรรยากาศที่ใช้แก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สไวปฏิกิริยา โดยให้ไหลผ่านระบบจุดพลาสมาพร้อมกับแก๊สเฉื่อยเพื่อให้เกิดเป็นลำพลาสมาของแก๊สดังกล่าว พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการไหลของแก๊สแก๊สออกซิเจนมากขึ้น ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิววัสดุมีแนวโน้มที่ลดลง [13]-[14] ทำให้มีข้อจำกัดเรื่องปริมาณการใช้แก๊สออกซิเจนสำหรับระบบพลาสมาเจ็ทที่ความดันบรรยากาศ

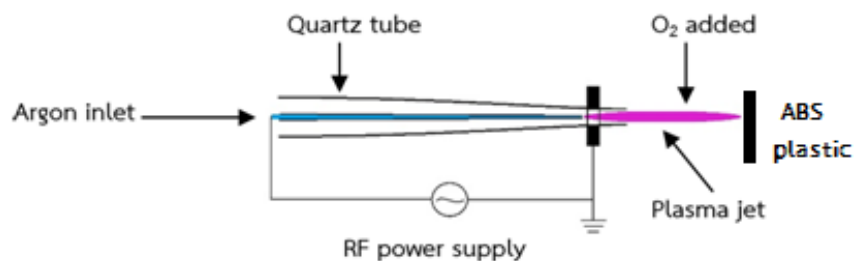
ดังนั้นจากรายละเอียดในข้างต้น ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองปรับสภาพพื้นผิวของพลาสติก ABS ด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศที่ใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแหล่งกำเนิดพลาสมาและให้แก๊สออกซิเจนในการทำปฏิกิริยากับพื้นผิวของพลาสติก ABS ในระหว่างการปรับสภาพผิว โดยให้ไหลผ่านบริเวณปลายหัวฉีดเจ็ทเหนือบริเวณพื้นผิวพลาสติกแทนการไหลผ่านผ่านระบบจุดพลาสมาเพื่อเป็นฐานข้อมูลการวิจัยและนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

2. วิธีการทดลอง

การทดลองปรับสภาพพื้นผิวพลาสติก ABS ในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. นำชิ้นงานพลาสติก ABS ที่ตัดให้มีขนาด 2×2 ตารางเซนติเมตร ไปทำความสะอาดผิวของชิ้นงานพลาสติก ABS โดยแช่ในน้ำและทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (Ultrasonic cleaner) เป็นเวลา 5 นาที เป่าชิ้นงานให้แห้งด้วยลมร้อนจนชิ้นงานแห้ง

2. จัดเตรียมชุดอุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับผลิตพลาสมาเจ็ทให้พร้อมตั้งรูปที่ 1 โดยเปิดแก๊สอาร์กอนให้ไหลเข้าสู่เครื่องกำเนิดพลาสมาและทำการปรับค่าอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนให้คงที่ 5.0 ลิตรต่อนาที (L/min) จากนั้นทำการเปิดเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งมีกำลังอยู่ในช่วง 10-100 วัตต์ ความถี่อยู่ในช่วง 50-500 กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) และปรับค่าความต่างศักย์เพื่อให้เกิดพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศโดยควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ 300 มิลลิแอมแปร์ และความต่างศักย์ 80 โวลต์



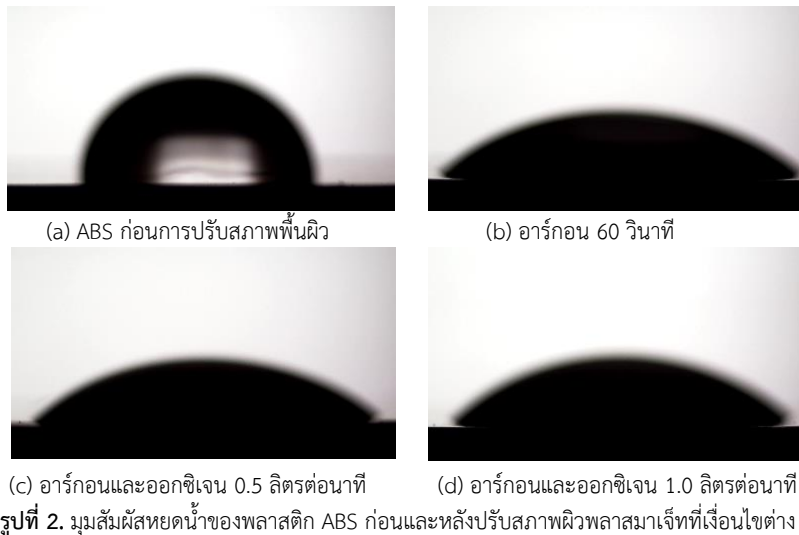
รูปที่ 1. แผนภาพพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศที่ใช้ในงานวิจัย

3. ทำการปรับสภาพพื้นผิวพลาสติก ABS โดยให้ระยะระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับแผ่นพลาสติกเท่ากับ 15 มิลลิเมตรและปล่อยแก๊สออกซิเจนผ่านระบบท่อให้มาออกมาบริเวณที่ปลายหัวฉีดเจ็ทเหนือบริเวณพื้นผิวพลาสติก โดยปรับค่าอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่ใช้ทดลองมีค่าเป็น 0, 0.5 และ 1.0 ลิตรต่อนาที โดยใช้เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวแต่ละเงื่อนไขเท่ากันเป็น 60 วินาที

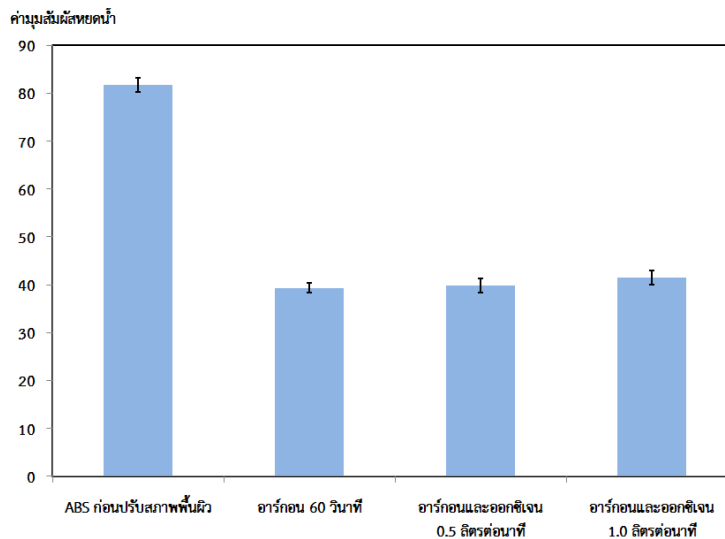
4. นำชิ้นงานพลาสติก ABS ที่ทำการปรับสภาพผิวในทุกเงื่อนไข มาวิเคราะห์ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่ประกอบด้วย เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle meter) เพื่อศึกษาสภาพชอบน้ำของผิวชิ้นงานพลาสติก ABS จากค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ โดยทำการวัดตัวอย่างชิ้นงานเงื่อนไขละ 3 ชิ้นงาน ชิ้นงานละ 1 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่ามุมสัมผัสหยดน้ำในแต่ละเงื่อนไข เครื่อง X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS, Kratos AXIS Ultra DLD) เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผิวพลาสติก ABS และเครื่อง Atomic Force Microscope (AFM, SEIKO SPA 400) เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวของพลาสติก ABS

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

นำชิ้นงานพลาสติก ABS ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดมาวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำเพื่อศึกษาสภาพชอบน้ำของผิวพลาสติก ABS เปรียบเทียบกับชิ้นงานพลาสติก ABS ที่ยังไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ท ลักษณะหยดน้ำบนพื้นผิวที่ได้แสดงในรูปที่ 2 ส่วนค่ามุมสัมผัสหยดน้ำที่วัดได้แสดงในรูปที่ 3



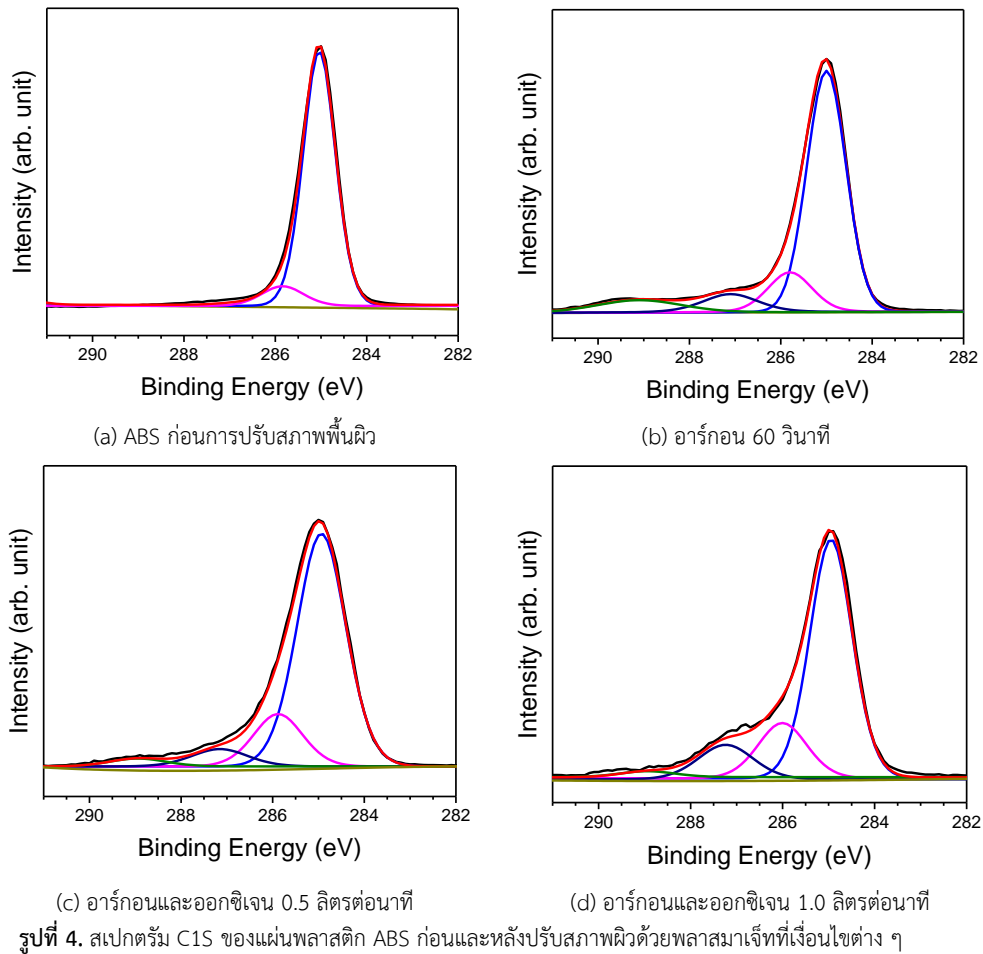
โดยผลการวัดมุมสัมผัสหยดน้ำของแผ่นพลาสติกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ทในทุกเงื่อนไขมีค่ามุมสัมผัสที่ลดลงค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ยังไม่ปรับสภาพพื้นผิว โดยในรูปที่ 3 แสดงค่ามุมสัมผัสหยดน้ำที่วัดได้ของพลาสติก ABS ที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิว มีค่ามุมสัมผัส 81.7 องศา ซึ่งค่าใกล้เคียงกับค่ามุมสัมผัสหยดน้ำของพลาสติก ABS ก่อนการปรับสภาพผิวของงานวิจัยอื่น [15] เมื่อปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาด้วยแก๊สอาร์กอนอย่างเดียว (การไหลของแก๊สออกซิเจนเป็นศูนย์) พบว่าพลาสติก ABS มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าลดลงเป็น 39.3 องศา ในขณะที่ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำที่ปรับสภาพผิวด้วยแก๊สอาร์กอนและให้การไหลของแก๊สออกซิเจนเป็น 0.5 ลิตรต่อนาที และ 1.0 ลิตรต่อนาที มีค่าเฉลี่ยเป็น 39.8 และ 41.5 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสใกล้เคียงกับการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้แก๊สอาร์กอน จะเห็นว่าการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้แก๊สอาร์กอนร่วมกับให้การไหลของแก๊สออกซิเจนบริเวณที่ปลายหัวฉีดเจ็ททำให้พื้นผิวพลาสติกมีสภาพชอบน้ำ (Hydrophilic) ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าใกล้เคียงกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนอย่างเดียว



รูปที่ 3. ค่ามมสัมผัสน้ำของแผ่นพลาสติก ABS ก่อนและหลังปรับสภาพผิวด้วยพลาสมาเจ็ดที่เงื่อนไขต่าง ๆ

ในการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบของพื้นผิวพลาสติกก่อนและหลังปรับสภาพผิวด้วยพลาสมาเจ็ด จะใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XPS ซึ่งให้ข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงพันธะเคมีบริเวณพื้นผิวพลาสติก โดยในรูปที่ 4 แสดง XPS สเปกตรัมของ C1s ของชิ้นพลาสติก ABS ก่อนและหลังปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ดที่เงื่อนไขต่าง ๆ โดยพบว่า สเปกตรัม C1s ของพลาสติก ABS ก่อนการปรับสภาพพื้นผิว (รูปที่ 4a) จะประกอบด้วย 2 พีกคือพีกหลักที่ค่าพลังงานยึดเหนี่ยว 285.0 eV (กราฟสีน้ำเงิน) ซึ่งเป็นพีก C1s ของ C-C และ C-H [16] ซึ่งเป็นพันธะหลักของพลาสติก ABS ส่วนอีกพีกจะพบที่ค่าพลังงานยึดเหนี่ยว 285.9 eV (กราฟสีชมพู) ซึ่งพีก C1s ของ C-O [17] โดยการมีอยู่ของ C-O บนพื้นผิวพลาสติก ABS แสดงถึงพื้นผิวพลาสติกมีองค์ประกอบออกซิเจนอยู่ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวพลาสติกเนื่องจากความชื้นหรืออากาศ ส่วนผิวพลาสติก เมื่อปรับสภาพผิวด้วยแก๊สอาร์กอนอย่างเดียว (รูปที่ 4b) พบว่าเข็มของพีก C-O จะเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเข้มของพีก C-C มีค่าลดลง นอกจากนี้ ยังพบพีกใหม่ที่ตำแหน่ง 287.6 eV (กราฟสีดำ) และ 289 eV (กราฟสีเขียว) ซึ่งเป็นพีก C1s ของ C=O และ O-C=O ตามลำดับ [16]-[17] แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนจะทำให้ผิวพลาสติก ABS เกิดพันธะระหว่างคาร์บอนและออกซิเจนที่พื้นผิวพลาสติกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว ส่งผลให้พื้นผิวพลาสติกมีความชอบน้ำที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการวัดมมสัมผัสน้ำก่อนหน้านี โดยการเกิดพันธะระหว่างคาร์บอนและออกซิเจนที่พื้นผิวพลาสติก เมื่อใช้การปรับสภาพผิวด้วยพลาสมาจะเกิดจากอนุภาคพลังงานสูงของไอออนพลาสมา เช่น ไอออนของอาร์กอนกระทบผิวพลาสติกทำให้เกิดการทำลายพันธะคาร์บอนของพลาสติก และจะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนหรืออนุมูลไฮดรอกซิล (OH species) ในอากาศเกิดเป็นพันธะระหว่างคาร์บอนและออกซิเจนขึ้นบริเวณพื้นผิวนั้นเอง [18] ส่วนการปรับสภาพผิวด้วยการไหลของแก๊สออกซิเจนที่ปลายหัวฉีดเจ็ดมีค่าเป็น 0.5 ลิตรต่อนาที และ 1.0 ลิตรต่อนาที (รูปที่ 4c และ 4d) จะพบพีก C1s ของ C-O C=O และ O-C=O เกิดขึ้นเช่นกัน

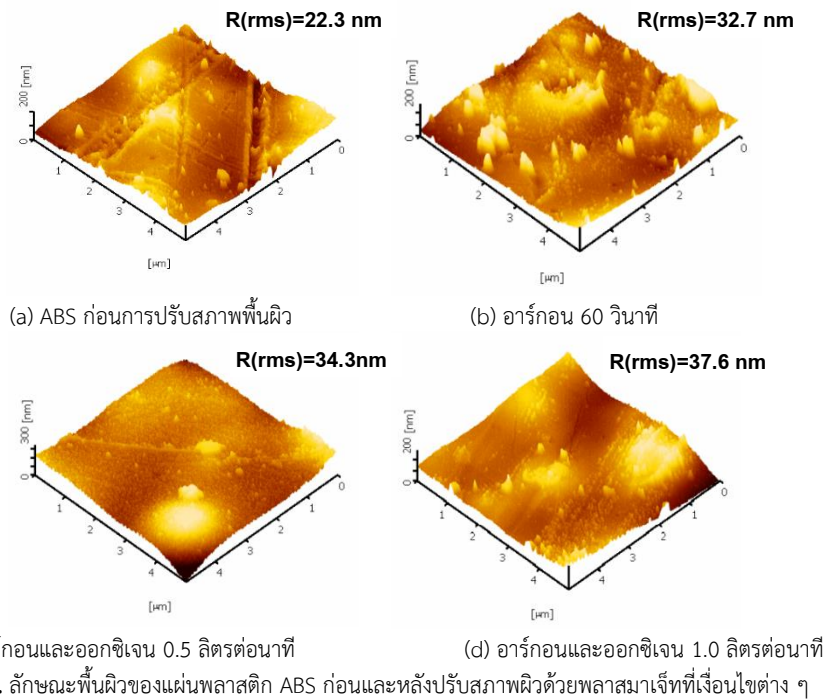
โดยเมื่อคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ C1S ของผลวัด XPS เพื่อหาสัดส่วนของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพพื้นผิวในทุกเงื่อนไข ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1 โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์ของหมู่ฟังก์ชัน C-O เมื่อปรับสภาพผิวด้วยการไหลของแก๊สออกซิเจนที่ปลายหัวฉีดเจ็ทจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อให้อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าเปอร์เซ็นต์สูงกว่าการปรับสภาพผิวด้วยแก๊สอาร์กอนอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่าการให้อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่ปลายหัวฉีดเจ็ทเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวของพลาสติกเกิดเป็นพันธะระหว่างคาร์บอนและออกซิเจนได้มากขึ้น โดยเฉพาะหมู่ฟังก์ชัน C-O



ตารางที่ 1. เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพพื้นผิวในทุเงื่อนไข

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์หมู่ฟังก์ชัน			
	C-C และ C-H	C-O	C=O	O-C=O
ABS ก่อนการปรับสภาพพื้นผิว	91.05	8.95	-	-
อาร์กอน 60 วินาที	70.39	13.83	8.03	7.76
อาร์กอนและออกซิเจน 0.5 ลิตรต่อนาที	74.24	16.69	6.26	2.81
อาร์กอนและออกซิเจน 1.0 ลิตรต่อนาที	67.39	17.91	12.60	2.10

เมื่อนำพลาสติก ABS ที่ยังไม่ปรับสภาพผิวและปรับสภาพพื้นผิวภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ แล้วไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง AFM โดยบริเวณพื้นที่วิเคราะห์ขนาด 5×5 ตารางไมโครเมตร (μm^2) ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5. ลักษณะพื้นผิวของแผ่นพลาสติก ABS ก่อนและหลังปรับสภาพผิวด้วยพลาสมาเจ็ทที่เงื่อนไขต่าง ๆ

โดยพบว่าพื้นผิวของพลาสติก ABS หลังการปรับสภาพผิวมีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาไปจากพื้นผิวก่อนการปรับสภาพผิว โดยมีค่าความหยาบผิว (Surface roughness) ของผิวมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยก่อนการปรับสภาพพื้นผิว ความหยาบผิวที่วัดในรูปแบบค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean square) หรือค่า $R(\text{rms})$ ของพลาสติก ABS มีค่าเป็น 22.3 นาโนเมตร เมื่อปรับสภาพพื้นผิวแก๊สอาร์กอนค่าความหยาบผิวมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 32.7 นาโนเมตร ส่วนค่าความหยาบผิวที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนและให้อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่ที่ปลายหัวฉีดเจ็ทเป็น 0.5 และ 1.0 ลิตรต่อนาที มีค่าเป็น 34.3 และ 36.7 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยที่เงื่อนไขการเปลี่ยนสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนอย่างเดียว จะพบลักษณะเป็นก้อน

หรือปุ่มขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวซึ่งเป็นผลเนื่องจากการชนของไอออนของแก๊สอาร์กอนพลังงานสูงจากลำพลาสมาที่พื้นผิวพลาสติกทำให้พื้นผิวพลาสติกบางส่วนเกิดการหลุดออก (Etching) หรือเปลี่ยนสภาพไป [19] ส่งผลให้ความหยาบผิวมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่วนการให้อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่ปลายหัวฉีดเจ็ทจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนสภาพพื้นผิวพลาสติกอย่างชัดเจนเหมือนในกรณีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสมาด้วยแก๊สอาร์กอน ซึ่งน่าจะเป็นผลเนื่องจากการให้อัตราไหลของแก๊สออกซิเจนจะทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนบริเวณปลายลำพลาสมามีปริมาณมากขึ้น ทำให้มีโอกาสที่อนุภาคไอออนของแก๊สอาร์กอนจากลำพลาสมาเกิดการชนกับแก๊สออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้อนุภาคไอออนของแก๊สอาร์กอนที่ตกกระทบผิวพลาสติกมีจำนวนและพลังงานที่ลดลง ในขณะที่ความหยาบผิวมีค่าเพิ่มสูงขึ้น น่าจะเป็นผลจากการที่พื้นผิวพลาสติกเกิดการออกซิเดชันกับแก๊สออกซิเจนเป็นชั้นออกไซด์หรือเกิดเป็นพันธะระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจนที่มากขึ้นตามการเพิ่มของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวและความหยาบของพื้นผิวเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัสและความชอบน้ำของพื้นผิวพลาสติก [20] ทำให้ลักษณะพื้นฐานวิทยาและความหยาบของพื้นผิวพลาสติก ABS ที่ได้จากการปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจนที่มีลักษณะที่แตกต่างกับพื้นผิวที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนอย่างเดียว ก็เป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลทำให้ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำของแผ่นพลาสติกเมื่อใช้การปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจนร่วมกันมีค่ามุมสัมผัสที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผลการปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนอย่างเดียว

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวพลาสติก ABS ด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศโดยใช้แก๊สอาร์กอนและเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่ปลายหัวฉีดเจ็ทระหว่างการปรับสภาพ พบว่า ผลการให้อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่ปลายหัวฉีดเจ็ท สามารถใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวพลาสติก ABS ให้มีสภาพชอบน้ำได้ โดยมีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำที่ลดลง โดยมีค่าใกล้เคียงกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว โดยการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนจะทำให้เกิดพันธะระหว่างคาร์บอนและออกซิเจนที่พื้นผิวพลาสติกเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะพันธะ C-O รวมถึงลักษณะพื้นฐานวิทยาและความหยาบของพื้นผิวพลาสติกที่ลักษณะที่แตกต่างจากพื้นผิวพลาสติกที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยแก๊สอาร์กอนเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับจะนำไปประยุกต์ใช้ในงานปรับสภาพพื้นผิวพลาสติกในเชิงงานวิจัยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 83/2560

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Harper, C.A. and Petrie, E.M. 2003. *Plastics Materials and Processes: A Concise Encyclopedia*, John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Rutkowski, J.V. and Levin, B.C. 1986. Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymers (ABS): pyrolysis and combustion products and their toxicity-A review of the literature. *Fire and Materials*, 10, 93–105.
- [3] Feng, J., Carpanese, C. and Fina, A. 2016. Thermal decomposition investigation of ABS containing Lewis-acid type metal salts. *Polymer Degradation and Stability*, 129, 319–327.
- [4] Martinho, G., Pires, A., Saraiva, L. and Ribeiro, R. 2012. Composition of plastics from wastelectrical and electronic equipment (WEEE) by direct sampling. *Waste Management*, 32, 1213–1217.
- [5] Lee, B.H., Abdullah, J. and Khan, Z.A. 2005. Optimization of rapid prototyping parameters for production of flexible ABS object. *Journal of Materials Processing Technology*, 169, 54–61.
- [6] Ziabka, M., Dziadek, M. and Menaszek E. 2018. Biocompatibility of poly (acrylonitrile butadiene-styrene) nanocomposites modified with silver nanoparticles. *Polymers*, 10(11), 1257.
- [7] Olivera, S., Muralidhara, H. B., Venkatesh, K., Gopalakrishna, K. and Vivek, C.S. 2016. Plating on acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) plastic: a review. *Journal of Materials Science*, 51(8), 3657–3674.
- [8] Teixeira, L.A.C. and Santini, M.C. 2005. Surface conditioning of ABS for metallization without the use of chromium baths. *Journal of Materials Processing Technology*, 170, 37–41.
- [9] Sanchis, M.R., Calvo, O., Sánchez, L., García, D. and Balart, R. 2007. Enhancement of wettability in low density polyethylene films using low pressure glow discharge N₂ plasma. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 45 (17), 2390-2399.
- [10] Schütze, A., Jeong, J.Y., Babayan, S.E., Park, J., Selwyn, G.S. and Hicks, R.F. 1998. The atmospheric-pressure plasma jet: a review and comparison to other plasma sources. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 26(6), 1685–1694.
- [11] Kaplan, S.L. and Rose P.W. 1991. Plasma surface treatment of plastics to enhance adhesion. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 11(2), 109-113.
- [12] Muhlan, C., Weidner, S.t., Friedrich, J. and Nowack, H. 1999. Improvement of bonding properties of polypropylene by low pressure plasma treatment. *Surface and Coatings Technology*, 116–119, 783–787.

- [13] Ying, J., Chunsheng, R., Liang, Y., Jialiang, Z. and Dezhen, W. 2013. Atmospheric pressure plasma jet in Ar and O₂/Ar mixtures: properties and high performance for surface cleaning. *Plasma Science and Technology*, 15(12), 1203-1208.
- [14] Tiana, L., Niea, H., Chattertonc, N.P., Branford-Whitec, C.J., Qiud, Y. and Zhu, L. 2011. Helium/oxygen atmospheric pressure plasma jet treatment for hydrophilicity improvement of grey cotton knitted fabric. *Applied Surface Science*, 257(16), 7113-7118.
- [15] Li, Z., Li, N., Yin, L., He, Y. and Wang, Z. 2009. An environment-friendly surface pretreatment of ABS resin prior to electroless plating. *Electrochemical and Solid-State Letters*, 12(12), 92-95.
- [16] Jaleh, B., Parvin, P., Wanichapichart, P., Saar, A.P. and Reyhani, A. 2010. Induced super hydrophilicity due to surface modification of polypropylene membrane treated by O₂ plasma. *Applied Surface Science*, 257, 1655-1659.
- [17] Mathieson, I. and Bradley, R.H. 1996. Improved adhesion to polymers by UV/ozone surface oxidation. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 16(1), 29-31.
- [18] Cheng, C., Zhang, L.Y. and Zhan, R.J. 2006. Surface modification of polymer fibre by the new cold plasma jet. *Surface and Coating Technology*, 200, 6659-6665.
- [19] Williams, T.S., Yu, H. and Hicks, R.F. 2013. Atmospheric pressure plasma activation of polymers and composites for adhesive bonding. *Reviews of Adhesion and Adhesives*, 1, 46-87.
- [20] Terpiłowski, K., Wiacek, A.E. and Jurak, M. 2018. Influence of nitrogen plasma treatment on the wettability of polyetheretherketone and deposited chitosan layers. *Advances in Polymer Technology*, 37, 1557-1569.