

อิทธิพลของพลาสมาจากก๊าซต่อการดัดแปรคุณสมบัติพื้นผิว
ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

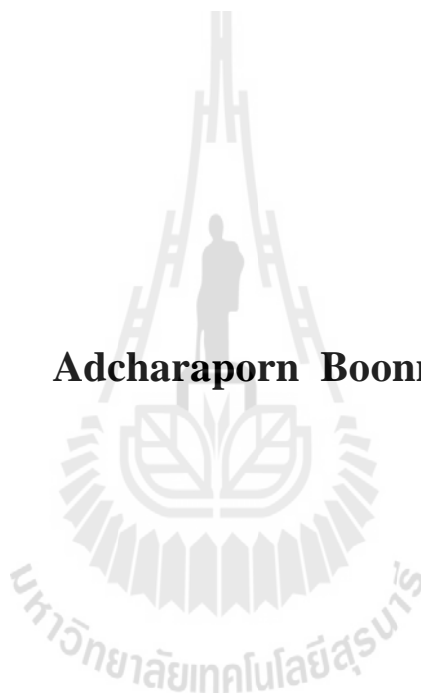


นางสาวอัจฉราภรณ์ บุญมา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

**INFLUENCE OF GASEOUS PLASMA ON THE
MODIFICATION OF SURFACE PHENOMENA
FOR POLYLACTIC ACID FILM**

Adcharaporn Boonma



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2013

อิทธิพลของพลาสมาจากก๊าซต่อการตัดแปรรูณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริญผล)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.วีระศักดิ์ เลิศศิริ โยธิน)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร.ธีรวรรณ บุญญวรรณ)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อัจฉราภรณ์ บุญมา : อิทธิพลของพลาสมาจากก๊าซต่อการดัดแปรคุณสมบัติพื้นผิวของ
ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด (INFLUENCE OF GASEOUS PLASMA ON THE
MODIFICATION OF SURFACE PHENOMENA FOR POLYLACTIC ACID FILM)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน, 46 หน้า.

การดัดแปรคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดโดยการประยุกต์พลาสมาความดันต่ำของก๊าซแอมโมเนีย แอมโมเนียผสมอาร์กอน ไนโตรเจนผสมอาร์กอน และอาร์กอน พบว่าที่ความดันก๊าซ 100 มิลลิทอร์ กำลังคลื่นวิทยุ 75 วัตต์ และเวลาที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมา 10 นาที มีผลทำให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีค่ามุมสัมผัสลดลงมากที่สุดหลังการประยุกต์พลาสมาหรือมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) จึงเลือกสภาวะดังกล่าวเพื่อศึกษา ผลของระยะเวลาการเก็บพบว่าในช่วง 5 วันแรกหลังการประยุกต์พลาสมา ค่ามุมสัมผัสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่หลังจาก 5 วันแรกจนถึง 30 วัน ค่ามุมสัมผัสจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แสดงว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดสามารถกลับมา มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ได้ อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนพบว่าการประยุกต์พลาสมามีผลทำให้อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนแตกต่างกันมีนัยสำคัญส่วนอัตราการซึมผ่านของไอน้ำก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมามีค่าไม่แตกต่างกัน การศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมี โดย x-ray photoelectron spectroscopy (XPS) ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ประยุกต์ด้วยก๊าซแอมโมเนีย แอมโมเนียผสมอาร์กอนและไนโตรเจนผสมอาร์กอนพบสเปกตรัมของไนโตรเจนปรากฏอยู่ แสดงว่าการสร้างพันธะของไนโตรเจนส่งผลให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีความมีขี้เพิ่มขึ้น ส่วนการประยุกต์ด้วยก๊าซอาร์กอนจะไม่พบสเปกตรัมของไนโตรเจนคล้ายกับสเปกตรัมของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนประยุกต์พลาสมา และวิเคราะห์พื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด โดย atomic force microscope (AFM) พบว่าหลังการประยุกต์พลาสมาฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดจะมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้นและ Scanning electron microscopy (SEM) หลังการประยุกต์พลาสมาฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ADCHARAPORN BOONMA : INFLUENCE OF GASEOUS PLASMA ON
THE MODIFICATION OF SURFACE PHENOMENA FOR POLYLACTIC
ACID FILM. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. WEERASAK
LERTSIRIYOTHIN, Ph.D., 46 PP.

PLASMA TREATMENT/SURFACE PHENOMENA/POLYLACTIC ACID

The surface modification of film polylactic acid using low pressure plasma with ammonia, mix ammonia and argon, mix nitrogen and argon, and argon gas at the most suitable conditions, 100 mTorr, 75 watts with treatment time of 10 mins was found to affect the reduction of contact angle or increase the hydrophilic of the film after plasma modification. It was found that 5 days after plasma treatment, the contact angle was increased immediately. After that in days 6 to days 30 the contact angle increasing slowly due to its hydrophobic properties was recovered. Moreover, the rates of oxygen permeability have a significantly changed while the vapor remained unchanged. By the use of X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), C/N ratio evidently showed chemical structure change for all of the treatment containing ammonia or nitrogen. The results indicated nitrogen bonding onto the surface of polylactic acid film. Furthermore the results from atomic force microscope (AFM) showed the roughness surface after plasma surface modifications and scanning electron microscopy (SEM) showed homogeneous surface morphology.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้คำแนะนำ ปรีกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรบรรณ นุญจวรรณ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อำนวยความสะดวกทั้งสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการปฏิบัติการด้านการประยุกต์พลาสมา อีกทั้งยังช่วยประสิทธิ์ประสาทความรู้ ให้คำแนะนำ ปรีกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยโดยตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ในด้านวิชาการในการศึกษาในระดับปริญญาโท

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 และ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ตลอดการดำเนินการวิจัย

ขอบคุณ พี่ เพื่อน และ น้องบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และพี่ เพื่อน และน้องบัณฑิตศึกษา ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทุกคนที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ ประสพการณ์และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ชาย พี่สะใภ้ และญาติพี่น้องทุกคนที่ให้ความรักดูแลเอาใจใส่ สนับสนุนทุนการศึกษา และให้กำลังใจมาโดยตลอด

อัจฉราภรณ์ นุญจมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฅ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความหมายของพลาสมา.....	4
2.2 ประเภทของพลาสมา.....	6
2.3 กระบวนการเกิดพลาสมา.....	7
2.4 อันตรกิริยาระหว่างพลาสมา กับพอลิเมอร์.....	9
2.5 การตัดแปรสมบัติผิววัสดุด้วยพลาสมา.....	10
2.6 ก๊าซแอมโมเนีย.....	11
2.7 ก๊าซอาร์กอน.....	12
2.8 พอลิแลคติกแอซิด.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 คุณสมบัติของพอลิแลคติกแอซิด.....	13
2.10 การวัดความตึงผิวและพลังงานผิว.....	14
2.11 คุณสมบัติพื้นผิว.....	15
3 วัสดุและวิธีการทดลอง	
3.1 การขึ้นรูปฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด.....	18
3.2 เครื่องผลิตพลาสติกแบบความดันต่ำ.....	18
3.3 ขั้นตอนการตัดแปรพื้นผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ด้วยเครื่องพลาสติกความดันต่ำ.....	20
3.4 เครื่องวัดค่ามุมสัมผัส.....	21
3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี.....	22
3.6 การวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ.....	22
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	23
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 การศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการประยุกต์พลาสติก.....	24
4.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด หลังการประยุกต์พลาสติก.....	27
4.3 การศึกษาคุณสมบัติการซึมผ่านฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสติก.....	29
4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพื้นผิว ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสติก.....	31
4.5 การศึกษาคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสติก.....	36
5 สรุปผลการวิจัย.....	42
รายการอ้างอิง.....	43
ประวัติผู้เขียน.....	46

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณสมบัติของพอลิแลคติกแอซิด (poly lactic acid , PLA).....13
4.1	แสดงค่ามุมสัมผัสที่ ความดันก๊าซ กำลังคลื่นวิทยุ และเวลาที่ใช้ ในการประยุกต์พลาสติกที่แตกต่างกัน.....24
4.2	แสดงค่ามุมสัมผัสและชนิดของก๊าซที่ใช้ในการประยุกต์พลาสติก.....26
4.3	แสดงค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่สภาวะ ความดันก๊าซ 100 มิลลิทอร์ กำลังวิทยุ 75 วัตต์ เวลา 10 นาที.....28
4.4	ผลอัตราการซึมผ่านออกซิเจนของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสติก.....30
4.5	ผลอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสติก.....31
4.6	แสดงจำนวนอะตอมบนผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสติก.....31

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงสถานะของพลาสมาเปรียบเทียบกับก๊าซ.....	4
2.2 แสดงสถานะทั้ง 4 สถานะของสสาร.....	5
2.3 โครงสร้างแอมโมเนีย.....	11
2.4 โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด(PLA).....	13
2.5 มุมสัมผัสของหยดน้ำ.....	14
3.1 เครื่องพลาสมาความดันต่ำ.....	19
3.2 ส่วนประกอบของเครื่องพลาสมาความดันต่ำ.....	19
3.3 ชุดอุปกรณ์วัดค่ามุมสัมผัส.....	21
3.4 เครื่อง x-ray photoelectron spectroscopy.....	22
4.1 แสดงพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน (binding energy) ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด.....	32
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนการประยุกต์พลาสมา	33
4.3 องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาแอมโมเนีย.....	34
4.4 องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาแอมโมเนียผสมอาร์กอน.....	34
4.5 องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาไนโตรเจนผสมอาร์กอน.....	35
4.6 องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาอาร์กอน.....	35
4.7 ลักษณะพื้นผิวจาก AFM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนประยุกต์พลาสมา.....	36
4.8 ลักษณะพื้นผิวจาก AFM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาแอมโมเนีย.....	37
4.9 ลักษณะพื้นผิวจาก AFM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาแอมโมเนียผสมอาร์กอน.....	37
4.10 ลักษณะพื้นผิวจาก AFM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาไนโตรเจนผสมอาร์กอน.....	38
4.11 ลักษณะพื้นผิวจาก AFM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาอาร์กอน.....	38
4.12 ลักษณะพื้นผิวจาก SEM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนประยุกต์พลาสมา.....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

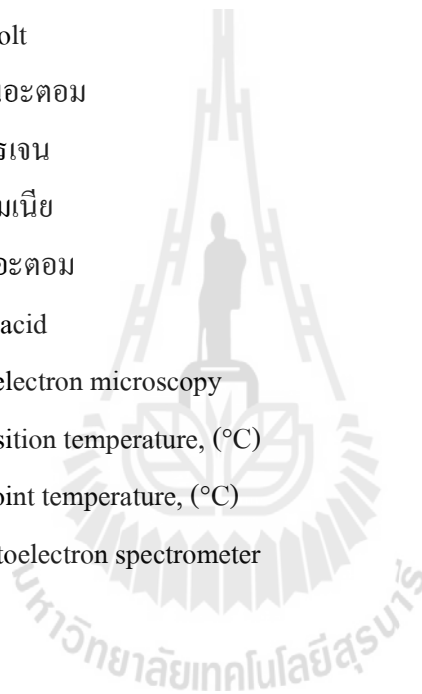
หน้า

4.13	ลักษณะพื้นผิวจาก SEM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาแอม โมเนีย.....	40
4.14	ลักษณะพื้นผิวจาก SEM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาแอม โมเนียผสมอาร์กอน.....	40
4.15	ลักษณะพื้นผิวจาก SEM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาไนโตรเจนผสมอาร์กอน.....	41
4.16	ลักษณะพื้นผิวจาก SEM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาอาร์กอน.....	41



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AFM	=	Atomic force microscope
Ar	=	ก๊าซอาร์กอน
C	=	คาร์บอนอะตอม
eV	=	Electron volt
N	=	ไนโตรเจนอะตอม
N ₂	=	ก๊าซไนโตรเจน
NH ₃	=	ก๊าซแอมโมเนีย
O	=	ออกซิเจนอะตอม
PLA	=	Polylactic acid
SEM	=	Scanning electron microscopy
T _g	=	Glass transition temperature, (°C)
T _m	=	Melting point temperature, (°C)
XPS	=	X-ray photoelectron spectrometer



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นในอัตราที่รวดเร็ว เป็นขยะที่เกิดจากการใช้ถุงพลาสติก และกล่องโฟม ซึ่งพลาสติกเหล่านี้ย่อยสลายได้ยากหรือไม่ย่อยสลาย ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีจากสารตั้งต้นที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ปริมาณการใช้พลาสติกที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ นี้เองเป็นปัญหาสำคัญในการกำจัดหลังการใช้งาน ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมหลายอย่างตามมา ปัจจุบันจึงหันมาใช้ได้มีการใช้พลาสติกชีวภาพ (bioplastic) หรือที่เรียกว่าพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ (biodegradable plastic) ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญที่ใช้ในการแก้ปัญหาขยะล้นเมือง เนื่องจากพลาสติกชีวภาพนั้นเมื่อนำมาใช้งานแล้วสามารถย่อยสลายได้ในระยะเวลาอันสั้น

พลาสติกชีวภาพ (bioplastic) หรือที่เรียกว่าพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable plastic) สามารถแบ่งตามการผลิตออกได้เป็น 2 ประเภท คือพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (petroleum-based biodegradable plastic) และพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวมวล (bio-based biodegradable plastic) ซึ่งเป็นพลาสติกชีวภาพที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตร เช่น แป้ง โปรตีนจากถั่ว และข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบธรรมชาติที่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ (renewable resources) แต่ปัญหาและข้อจำกัดของการนำพลาสติกชีวภาพมาใช้งานคือ ความยากในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้ในอุตสาหกรรม คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ดี และมีราคาสูง ปัจจุบันจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาพลาสติกชีวภาพที่เรียกว่า พอลิแลคติกแอซิด (polylactic acid) ให้สามารถขึ้นรูปด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้ทั่วไป เช่น การฉีด (injection molding) การเป่า (blow molding) ให้เป็นบรรจุภัณฑ์แบบใช้แล้วทิ้งประเภทต่าง ๆ อาทิ แก้ว ถัง กล่องใส่อาหาร และขวด เป็นต้น โดยบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้มีคุณสมบัติเทียบเคียงได้กับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด มีราคาไม่แพงนักและผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตร เช่น ข้าวโพด อ้อย และมันสำปะหลัง เป็นต้น ปัจจุบันพอลิแลคติกแอซิดเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์มากขึ้น

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการผลิตพืชผลทางการเกษตรมากมาย โดยเฉพาะผักและผลไม้ที่มีการผลิตได้มากเป็นลำดับที่ 2 รองจากข้าว แต่การส่งออกผักผลไม้ไปขายต่างประเทศนั้นยังส่งออกได้น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่ผลิตได้ เพราะต้องใช้เวลาในการ

ขนส่งนานทำให้ผักและผลไม้เกิดการเน่าเสียในระหว่างขนส่ง เนื่องจากภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผัก ผลไม้ ยังมีชีวิตอยู่ ยังมีการหายใจโดยจะหายใจเอาออกซิเจนเข้าไปและคายคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา เมื่อออกซิเจนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลจะทำให้ผักผลไม้เหี่ยวเฉาลงเรื่อยๆ ในที่สุดก็เกิดการเน่าเสีย ด้วยเหตุนี้เองจึงได้มีการใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับผักผลไม้ เช่น การเติมสารเติมแต่งที่มีรูพรุนชื่อ ซีโอไลต์ (zeolite) ใส่เข้าไปใน โพลีเอทิลีนที่ยอมให้ออกซิเจนผ่านได้อย่างเหมาะสม สามารถควบคุมเพื่อรักษาปริมาณของก๊าซได้ตามที่ต้องการ ช่วยให้ผักผลไม้สามารถหายใจและมีชีวิตอยู่ได้ เกิดเน่าเสียช้าลง ซึ่งสามารถยืดอายุผักผลไม้ให้มีอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น ทำให้แนวโน้มการส่งออกผักผลไม้จากไทยเป็นไปในทิศทางที่ดีอย่างต่อเนื่องจากการผลักดันของภาครัฐและกระแสวนิยมที่เพิ่มขึ้น แต่ผู้ส่งออกผักผลไม้ต้องปรับปรุงคุณภาพการส่งออกโดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์สำหรับผักผลไม้ในอนาคตนั้น ต้องสามารถป้องกันสินค้าเสียหายได้อย่างดี ยืดอายุผักผลไม้ได้ยาวนาน มีความปลอดภัยต่อสุขภาพผู้บริโภคและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตอบรับกับกฎระเบียบและข้อจำกัดทางการค้ากับประเทศคู่ค้า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับผักผลไม้ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้ในเวลาอันรวดเร็วหลังการใช้งาน ลดปริมาณขยะที่จะเกิดขึ้นรวมทั้งยืดอายุผักผลไม้ได้ยาวนาน ไม่เกิดการเน่าเสียในระหว่างขนส่งและในช่วงที่วางจำหน่าย การวิจัยครั้งนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาคุณสมบัติของพอลิแลคติกแอซิด ซึ่งเป็นพลาสติกชีวภาพหรือพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และนำไปพัฒนาเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์สำหรับผักผลไม้ โดยใช้เทคโนโลยีพลาสมาประเภทพลาสมาความดันต่ำ (low pressure plasma) กับพอลิแลคติกแอซิด เพื่อดัดแปรคุณสมบัติผิว (surface modification) ของพอลิแลคติกแอซิด ให้มีคุณสมบัติผิวใหม่ คือยอมให้ออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ผ่านได้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บของผักและผลไม้สดได้ โดยไม่ทำให้คุณลักษณะดั้งเดิม (bulk properties) ของพอลิแลคติกเปลี่ยนแปลงไป และช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วยเนื่องจากเทคโนโลยีพลาสมาถือว่าเป็นเทคโนโลยีสะอาด (clean technology)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาตัวแปรกำลังคลื่นวิทยุ ความดันก๊าซ เวลา และชนิดของก๊าซในการประยุกต์พลาสมาพื้นผิวที่มีต่อคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด
- 1.2.2 ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังการประยุกต์พลาสมา
- 1.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และไอน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา

1.2.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางเคมีของพื้นผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อน และ หลังการประยุกต์พลาสมา

1.2.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงกายภาพของพื้นผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลัง การประยุกต์พลาสมา

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

การดัดแปรสถานะพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หรือชอบน้ำ (hydrophilic) โดยการประยุกต์พลาสมาความดันต่ำหรืออาร์เอฟพลาสมา กับฟิล์ม พอลิแลคติกแอซิด มีผลทำให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีคุณสมบัติพื้นผิวเปลี่ยนไป ซึ่งส่งผลให้ค่า การซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน หรือไอน้ำปรากฏในช่วงค่าที่เป็นประโยชน์ต่อ การพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

1.4 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตของการศึกษาในการใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟพลาสมา เพื่อปรับปรุง คุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ให้มีค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้นหรือ ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ประยุกต์พลาสมา โดยทำการศึกษาถึงผลของ ตัวแปร กำลังคลื่นวิทยุ ความดันก๊าซ เวลา และชนิดของก๊าซที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาที่มีต่อการ เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ช่วยลดปริมาณขยะ

1.5.2 เป็นทางเลือกใหม่สำหรับใช้พัฒนาบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

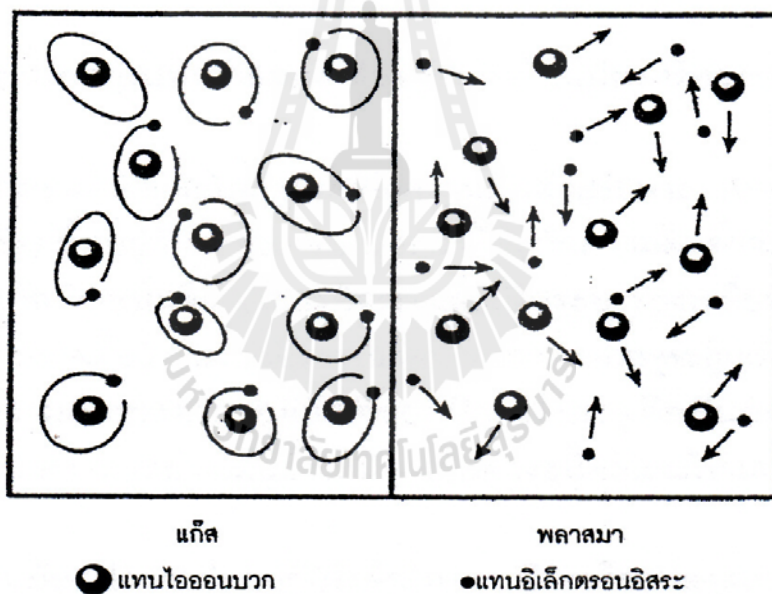
1.5.3 เป็นเทคโนโลยีสะอาดไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของพลาสมา


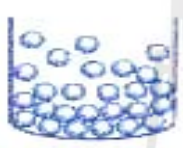
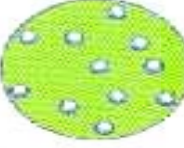
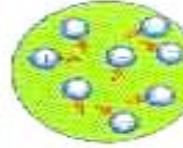
พลาสมา คือ สภาวะที่ก๊าซเกิดการแตกตัว (ionized) ประกอบด้วยอิเล็กตรอน ไอออน และอนุภาคของก๊าซดังรูปที่ 2.1 ในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ ทำให้โดยรวมแล้วพลาสมายังคงสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ซึ่งคำนี้ถูกบัญญัติโดย แลงมัวร์ (Irving Langmuir) ในปี 1928 ใช้เพื่อบรรยายสภาพก๊าซที่ถูกทำเป็นไอออนในการ discharge ด้วยไฟฟ้า (Chen, 1984)



รูปที่ 2.1 แสดงสถานะของพลาสมาเปรียบเทียบกับก๊าซ

ที่มา : รังสรรค์ ศรีสาคร (2543)

ดังนั้นจึงถือได้ว่าพลาสมาเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร เนื่องจากมีลักษณะที่แตกต่างไปจากสถานะอื่นอย่างชัดเจน หากพิจารณาช่วงเปลี่ยนสถานะ ของแข็ง- ของเหลว - ก๊าซ (solid – liquid - gas) ถ้าเราเพิ่มอุณหภูมิ (หรือคือการให้พลังงานจนแก่อนุภาคของก๊าซ) ให้แก่ก๊าซต่อไปเรื่อยๆ เช่น ถึง 20,000 องศาเคลวิน (K) เราจะได้พลาสมาของก๊าซนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (อุณหภูมิอาจต่ำกว่าก็ได้ แล้วแต่กลไกการทำให้เป็นไอออนของก๊าซ)

Solid	Liquid	Gas	Plasma
Example Ice H_2O	Example Water H_2O	Example Steam H_2O	Example Ionized Gas $H_2 \rightarrow H^+ + H^+ + 2e^-$
Cold $T < 0^\circ C$	Warm $0 < T < 100^\circ C$	Hot $T > 100^\circ C$	Hotter $T > 100,000^\circ C$ $I > 10 \text{ electron Volts}$
			
Molecules Fixed in Lattice	Molecules Free to Move	Molecules Free to Move, Large Spacing	Ions and Electrons Move Independently, Large Spacing

รูปที่ 2.2 แสดงสถานะทั้ง 4 สถานะของสสาร

ที่มา: อธิพัฒน์ วิสัยทอง (2549)

พลาสมามีลักษณะพิเศษที่น่าสนใจเพราะว่าแรงไฟฟ้าถือเป็นแรงชนิดไกล (long range force) และอนุภาคของพลาสมาทุกตัวกระทำต่ออนุภาคข้างเคียงกันและกัน เรียกว่าเป็นพฤติกรรมรวม (collective behavior) พฤติกรรมรวมนี้หมายถึง การเคลื่อนที่ของอนุภาคในพลาสมา ซึ่งไม่เพียงจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในบริเวณนั้น ๆ เท่านั้น แต่เป็นผลโดยรวมจากพลาสมาส่วนใหญ่มากกว่าจะเป็นผลมาจากการชนกันของอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอนุภาคในพลาสมาที่สถานะสมดุลจะมีการสั่นด้วยความถี่สูงกว่าความถี่ในการชนกันของอนุภาค 2 ตัว ที่อยู่ใกล้กัน ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าพฤติกรรมนี้เป็นพฤติกรรมที่กลุ่มพลาสมาแสดงออกมารวมกัน พลาสมาสามารถเกิดได้โดยการใช้สนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่ก๊าซที่เป็นกลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอม และทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอม กระบวนการนี้ เรียกว่า กระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากซึ่งจะทำให้ก๊าซแตกตัว และกลายเป็นพลาสมาในที่สุด (ธีรบรรณ บุญญวรรณ, 2546)

2.2 ประเภทของพลาสมา

พลาสมาสามารถแบ่งออกเป็น พลาสมาที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (nature plasma) เช่น ดาวหรือ interstellar matter และพลาสมาที่สามารถสร้างขึ้นได้ในห้องปฏิบัติการ (laboratory plasma) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ พลาสมาอุณหภูมิสูงหรือพลาสมาฟิวชัน (fusion plasma) และพลาสมาอุณหภูมิต่ำหรือก๊าซดิสชาร์จ (gas discharge)

โดยทั่วไปนิยมแบ่งก๊าซดิสชาร์จออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ได้แก่ พลาสมาอุณหภูมิสูงหรือพลาสมาร้อน (hot plasma) และพลาสมาอุณหภูมิต่ำหรือพลาสมาเย็น (cold plasma) ดังนี้

2.2.1 พลาสมาร้อน (hot plasma)

พลาสมาร้อน คือ ก๊าซดิสชาร์จแบบพลาสมา LTE มีลักษณะการปล่อยประจุแบบอาร์คดิสชาร์จ (arc discharge) ซึ่งจากการเกิดกระบวนการดิสชาร์จนั้นเมื่อให้กระแสไฟฟ้าแก่ขั้วอิเล็กโทรด ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบที่สูงจนกระตุ้นให้ก๊าซบางส่วนเกิดการแตกตัวอย่างรุนแรงกลายเป็นประจุบวกและอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นสูง อิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าที่อยู่ข้างหน้าขั้วลบ และเคลื่อนที่ไปชนกับอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซด้วยความถี่สูงและรุนแรง เกิดการปล่อยประจุในลักษณะของสปาร์ค (spark) ของประจุเป็นเส้นเล็กๆจำนวนมาก (filament) ทำให้เกิดสถานะของพลาสมาที่มีความดันและพลังงานสูง โดยพลาสมาร้อนนี้จะถูกสร้างที่ความดันใกล้เคียงความดันบรรยากาศหรือมากกว่านั้น ใช้ในการผลิตพลาสมาสเปร์ย์ หรือใช้ในการหลอม เชื่อม และตัดโลหะ

2.2.2 พลาสมาเย็น (cold plasma)

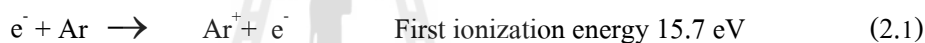
พลาสมาเย็น คือ ก๊าซดิสชาร์จแบบพลาสมา NO_{n-LTE} มีลักษณะการปล่อยประจุแบบโกลว์ดิสชาร์จ (glow discharges) เป็นการสร้างพลาสมาที่พัฒนามาจากพลาสมาร้อนเป็นการลดความดันในการเกิดพลาสมาให้ต่ำลง โดยเกิดที่ประมาณ $10^{-3} - 10$ ทอร์ โดยอุณหภูมิของอนุภาคหนึ่งจะมีค่าต่ำและมักจะไม่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง แต่สำหรับอิเล็กตรอนจะมีอุณหภูมิสูงมาก เพราะมีอุณหภูมิน้อยจึงถูกเร่งในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ง่าย การที่อิเล็กตรอนมีอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น ซึ่งจากกระบวนการดิสชาร์จเมื่อให้กระแสไฟฟ้าแก่ขั้วอิเล็กโทรดทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบที่สูงพอจนกระตุ้นให้ก๊าซบางส่วนแตกตัวและกลายเป็นประจุบวก และอิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าที่อยู่ข้างหน้าขั้วลบ และเคลื่อนที่ไปชนกับอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซ ทำให้เกิดการกระตุ้นและแตกตัวเป็นประจุ อนุภาคที่อยู่ในสภาวะกระตุ้นจะปลดปล่อยรังสีออกมาและลงมาอยู่ในสถานะที่ต่ำลงมาทำให้เกิดแสงสว่าง นิยมใช้ในงานที่ไม่ต้องการความร้อน เช่น การกัด (etching) หรือการทำฟิล์มบาง (thin film) เป็นต้น

2.3 กระบวนการเกิดพลาสมา (Chian, 1994)

2.3.1 การแตกตัวเป็นไอออน (ionization)

ในการเกิดปฏิกิริยาของพลาสมาในห้องสุญญากาศซึ่งมีก๊าซไหลผ่านในระดับคงที่และความดันต่ำมาก ๆ โมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซในสุญญากาศอาศัยการชนกันของอิเล็กตรอนอิสระกับโมเลกุลหรืออะตอมเป็นสำคัญ โดยคลื่นวิทยุหรือคลื่นไมโครเวฟทำหน้าที่เร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานจนไปชนกับโมเลกุลหรืออะตอม ทำให้อะตอมกลายเป็นไอออนและเกิดการร่งแสง (glow discharge) เปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมาจะได้ชนิดของก๊าซที่มีการเปล่งแสง แสงเหนือม่วง (ultraviolet) ที่เกิดขึ้น ความถี่ในช่วงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ตัวอย่างเช่นการร่งแสงของก๊าซอาร์กอนให้แสงสีขาวอมน้ำเงิน ดังสมการการแตกตัวและพลังงานมีค่าดังแสดงในสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3

Ionization energy of Argon



2.3.2 การถูกกระตุ้น (excitation)

พลังงานที่ส่งผ่านเมื่ออิเล็กตรอนกระโดดไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าทำให้อะตอมนั้น กระบวนการนี้คือกระบวนการกระตุ้นสถานะของอะตอม ซึ่งแสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยกว่าพลังงานในการแตกตัวเป็นไอออนดังแสดงในสมการที่ 2.4



2.3.3 การแยกตัวออก (dissociation)

เป็นกระบวนการที่เกิดจากการที่ก๊าซถูกกระทำโดยศักดิ์ของคลื่นความถี่วิทยุ เช่นกระบวนการแยกตัวออกของก๊าซออกซิเจน ซึ่งสามารถแยกตัวออกได้เป็นออกซิเจน 2 อะตอม ดังสมการที่ 2.5



ผลของการแยกตัวจะเพิ่มประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี คือ ผลผลิตที่ได้จะมีปฏิกิริยาความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วกว่าตอนที่อะตอมยังไม่แยกตัว การแยกตัว (dissociation) อาจเกิดคู่กับการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) หรือไม่ก็ได้ ถ้าเกิดคู่กันจะเรียกว่า dissociative ionization ตัวอย่างดังแสดงในสมการที่ 2.6 และ 2.7



ผลของการรุ่มแสงของก๊าซที่ลดความดันและศักย์ของคลื่นวิทยุที่ถูกกระตุ้น จะสังเกตเห็นพลาสมาที่เปล่งแสงที่เรียกว่า glow discharge ซึ่งหมายถึงแสงของพลาสมาที่เปล่งออกมาเนื่องจากพลังงานภายนอกที่ทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากสถานะพื้นเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในสถานะ ถูกกระตุ้น โดยปกติอิเล็กตรอนสามารถอยู่ในสถานะกระตุ้นในช่วงเวลาที่สั้นมาก ๆ ประมาณ 10^{-18} วินาที จากนั้นเวเลนซ์อิเล็กตรอนจะกลับสู่สถานะพื้น และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและความถี่ของแสงในช่วงที่มองเห็น (visible light)

2.3.4 การแลกเปลี่ยนประจุ (charge exchange)

เป็นการถ่ายเทพะจุกับอะตอมจะเกิดขึ้นได้ง่ายมากหากเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนกับอะตอมของธาตุเดียวกัน ดังแสดงในสมการที่ 2.8 และ 2.9



ในทำนองเดียวกันจะยากขึ้น แต่ก็มีโอกาสเกิดขึ้นได้ กรณีเป็นธาตุต่างชนิดกัน ดังแสดงในสมการที่ 2.10



2.3.5 การถ่ายเทโมเมนตัม (momentum transfer)

เป็นกลไกเบื้องต้นสำหรับการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของแรงจากการชนของอะตอม กรณีก๊าซที่เป็นกลาง การถ่ายเทโมเมนตัมของอิเล็กตรอนไม่ได้มีความสำคัญมากนักในการเรืองแสง (glow discharge) แต่เป็นกระบวนการที่สามารถเกิดพลาสมาได้ เช่น ก๊าซไนโตรเจน ดังแสดงในสมการที่ 2.11 และ 2.12



2.4 อันตรกิริยาระหว่างพลาสมากับพอลิเมอร์ (Chian, 1994)

เมื่อนำพอลิเมอร์ไปผ่านกระบวนการประยุกต์พลาสมา อนุภาคต่างๆในพลาสมาจะสามารถแทรกอยู่ในระหว่างโครงสร้างของพอลิเมอร์ และทำปฏิกิริยาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเชิงผิวของพอลิเมอร์ กระบวนการทางพลาสมาที่กระทำต่อพื้นผิวสามารถแยกผลของปฏิกิริยาของพลาสมาที่ไปกระทำกับพอลิเมอร์ออกเป็น 3 ประการดังนี้

2.4.1 การทำความสะอาดผิว

อนุภาคภายในพลาสมาสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือการกัดผิว (etching) ทำให้อนุภาคหรือสิ่งสกปรกที่เกาะอยู่ตามบริเวณพื้นผิวหลุดออกไป ซึ่งทำให้คุณภาพของพอลิเมอร์ดีขึ้น โดยพลาสมาของก๊าซที่ไปกระทำกับพอลิเมอร์จะนำสิ่งปนเปื้อน (contamination) ออกไป ได้แก่ พลาสมาของก๊าซออกซิเจน โดยกระบวนการออกซิเดชันและรีดักชัน (oxidation-reduction reaction) และพลาสมาของก๊าซอื่นๆ ที่เป็นกลาง

2.4.2 เพิ่มความขรุขระเชิงจุลภาคของพื้นผิว

อนุภาคภายในพลาสมาสามารถทำปฏิกิริยาบนผิวของพอลิเมอร์ และเกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์กับอนุภาค ทำให้เกิดการไปยึดเกาะของอนุภาคในบริเวณพื้นผิว หรือทำให้เกิดการกัดผิว (etching) ของพื้นผิว ทำให้ผิวของพอลิเมอร์ขรุขระ

2.4.3 เกิดอนุภาคอิสระ (Free particles)

ผลจากปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคของพลาสมากับพอลิเมอร์ ทำให้อนุภาคอิสระเกิดขึ้น โดยอนุภาคอิสระนี้สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาอื่นๆ บนผิวพอลิเมอร์ เช่น การทำ Graft polymerization

2.5 การตัดแปรสมบัติเชิงผิววัสดุด้วยพลาสมา

การจุ่มหรือการอาบพลาสมาหรือประยุกต์พลาสมา คือ การที่นำก๊าซที่ต้องการทำให้กลายเป็นพลาสมา อยู่ในสถานะกระตุ้นอยู่ตลอดเวลาเกิดเป็น ไอออน อิเล็กตรอน และอนุภาคลิสระต่างๆ ที่มีความเสถียรไม่สูง จากนั้นนำวัสดุต่าง ๆ ที่ต้องการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงผิว เช่น พอลิเมอร์ เข้าไปอยู่ในพลาสมา ซึ่งอนุภาคต่างๆ ที่ไม่เสถียรจะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของผิววัสดุ เกิดเป็น ชั้นฟิล์มบางระดับนาโนเมตร และเกิดการยึดติดระหว่างชั้นฟิล์มกับผิววัสดุด้วยกระบวนการพลาสมาพอลิเมอร์ไรเซชัน (plasma polymerization) โดยกระบวนการพลาสมาพอลิเมอร์ไรเซชันของที่เกิดขึ้นระหว่างผิววัสดุกับชั้นฟิล์มบางนั้นสามารถเกิดขึ้นได้หลายแบบ เช่น cross-linking, deposition, grafting และ functionalization การประยุกต์พลาสมาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงฟิสิกส์-เคมี อย่างรวดเร็วกับกับผิวและ โครงสร้างทางเคมีของวัสดุ

การประยุกต์พลาสมาสามารถแบ่งตามความดันที่ใช้ออกได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

2.5.1 การประยุกต์พลาสมาในระบบสุญญากาศ (vacuum plasma treatment)

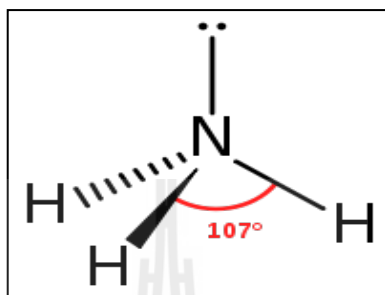
การประยุกต์พลาสมาในระบบสุญญากาศเป็นวิธีทั่วไปในการปรับสภาพผิววัสดุต่าง ๆ โดยพลาสมาจะถูกสร้างขึ้นจากการผ่านก๊าซความดันต่ำเข้าไปในแชมเบอร์สุญญากาศ ก๊าซจะถูกกระตุ้นด้วยพลังงาน ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของคลื่นเสียง รั้งสีไมโครเวฟ หรือพลังงานไฟฟ้า ทำให้โมเลกุลของก๊าซเกิดการแตกตัวเป็นพลาสมาอยู่ในรูปของไอออน อิเล็กตรอน อนุภาคลิสระต่างๆ โดยพื้นผิวที่สัมผัสพลาสมาจะถูกปกคลุมด้วยอนุภาคเล็ก ๆ และมีการถ่ายเทพลังงานจากอนุภาคพลาสมาสู่ผิววัสดุ ก่อให้เกิดกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ของพื้นผิวในลักษณะต่างๆ ซึ่งพื้นผิวจะมีการเปลี่ยนแปลงในระดับนาโน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติหรือไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างของวัสดุในส่วนอื่น ๆ การที่ใช้ระบบความดันของก๊าซต่ำจะทำให้พลาสมาที่เกิดขึ้นคงที่และสม่ำเสมอ (สุชาดา ถาวรวิริยะนันท์, 2551)

2.5.2 การประยุกต์พลาสมาในความดันปกติ (atmospheric plasma treatment)

พลาสมาในภาวะความดันปกติหรือสภาวะบรรยากาศ โดยทั่วไปการสร้างพลาสมาในที่ความดันปกตินั้นจะมีการปล่อยประจุแบบอาร์คดิซชาร์จ ซึ่งมีพลังงานความหนาแน่นอิเล็กตรอนและอุณหภูมิสูง ไม่เหมาะในการนำไปปรับผิววัสดุ พลาสมาจะไม่ปกคลุมทั่วพื้นผิว และอุณหภูมิที่สูงทำให้วัสดุเกิดความเสียหาย ดังนั้นการประยุกต์พลาสมาในความดันปกติจึงต้องมีการปรับสภาวะ เพื่อช่วยให้สามารถนำพลาสมาไปปรับสภาพผิววัสดุได้ (สุชาดา ถาวรวิริยะนันท์, 2551)

2.6 ก๊าซแอมโมเนีย (ammonia, NH_3)

แอมโมเนีย (ammonia, NH_3) เป็นสารประกอบเคมีที่ประกอบด้วยธาตุไนโตรเจนและไฮโดรเจน สูตรเคมีคือ NH_3 ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ที่ STP แอมโมเนียเป็นก๊าซพิษและกัดกร่อนวัสดุบางชนิด มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว



รูปที่ 2.3 โครงสร้างแอมโมเนีย

ที่มา: นิรนาม (2555)

โมเลกุลของแอมโมเนียไม่แบนราบ แต่จะมีลักษณะถูกอัดเป็นทรงสี่หน้า (tetrahedron) หรือเรียกว่าพีระมิดฐานสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นข้อสมมติฐานของทฤษฎี VSEPR รูปร่างโมเลกุลลักษณะนี้โดยรวมจะมีลักษณะเป็นไดโพล (dipole) และทำให้มันเป็นขั้ว ดังนั้นแอมโมเนียจึงละลายในน้ำได้ดีมาก อะตอมไนโตรเจนในโมเลกุลจะมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone electron pair) และทำให้แอมโมเนียมีฤทธิ์เป็นเบสในสารละลายน้ำ (aqueous solution) ที่เป็นกรดหรือเป็นกลางมันสามารถจะมีปฏิกิริยากับไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำ (H_2O) แล้วเกิดเป็นประจุบวกของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ซึ่งรูปร่างปกติทรงสี่หน้าที่แอมโมเนียจะเกิดแอมโมเนียมไอออนจะขึ้นอยู่กับ pH ของ สารละลาย

คุณสมบัติของแอมโมเนีย

สูตรโมเลกุล NH_3

น้ำหนักโมเลกุล 17.03 กรัม/โมล

ลักษณะทั่วไป (Appearance) เป็นก๊าซไม่มีสี กลิ่นฉุนมาก

ความหนาแน่น 6813 กรัม/ลิตร

การละลายในน้ำ 54 กรัม/100 มิลลิลิตร

จุดหลอมเหลว -78.27 องศาเซลเซียส (195.42 องศาเคลวิน)

จุดเดือด -33.49 องศาเซลเซียส (240.74 องศาเคลวิน)

2.7 ก๊าซอาร์กอน (Argon, Ar)

2.7.1 สมบัติทางกายภาพของอาร์กอน

ก๊าซอาร์กอน (Ar) เป็นก๊าซเฉื่อย เป็นธาตุที่มีอะตอมเดี่ยว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ และไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม อาร์กอนที่พบนี้มีทั้งสถานะของเหลวและก๊าซ ซึ่งมีความหนาแน่นของก๊าซ (gas density) เท่ากับ 1.784 กรัมต่อลิตร ที่ STP มีจุดเดือด (boiling point) อยู่ที่ -184.35 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิวิกฤต (critical temperature) จุดหลอมเหลวเท่ากับ -308.8 องศาฟาเรนไฮต์

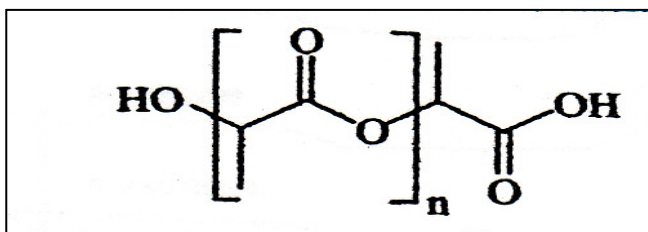
2.7.2 สมบัติทางเคมีของอาร์กอน

อาร์กอนมีความเสถียรโดยที่ไม่ต้องมีพันธะทางเคมี อาร์กอนสามารถละลายน้ำได้มากกว่า ไนโตรเจน (N₂) ถึง 25 เท่าโดยประมาณ และสามารถละลายได้ในออกซิเจน

2.8 พอลิแลคติกแอซิด (poly lactic acid, PLA)

พอลิแลคติกแอซิด (poly lactic acid , PLA) เป็นพลาสติกที่ผลิตจากกระบวนการหมักพืชจำพวกแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนที่ได้จากวัชพืชที่สร้างขึ้นทดแทนได้ (renewable resource) กลายเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจที่นำมาทดแทนพลาสติกที่มาจากปิโตรเลียม

พอลิแลคติกแอซิด (poly lactic acid , PLA) เป็นพอลิเมอร์แบบเส้นตรง ผลิตได้จากการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล และมาผ่านกระบวนการหมัก (fermentation) โดยใช้แบคทีเรีย *Lactobacillus brevis* เพื่อย่อยโมเลกุลขนาดใหญ่ของแป้งและน้ำตาลได้ผลผลิตเป็นกรดแลคติก (lactic acid, C₃H₆O₃) ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ (monomer) จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อสังเคราะห์ พอลิเมอร์ จำแนกได้ 2 กระบวนการคือ กระบวนการควบแน่น (polycondensation) และกระบวนการเปิดวง (ring-opening polymerization) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแรกเรียกว่า พอลิแลคติกแอซิด (polylactic acid) เนื่องจากเริ่มต้นจากการใช้กรดแลคติกโดยตรงจนได้พอลิเมอร์ในขั้นตอนสุดท้าย ส่วนกระบวนการที่สอง จะเกิดการรวมตัวของกรดแลคติก 2 โมเลกุล แล้วเกิดเป็นสารประกอบแบบวงที่มีชื่อว่าแลคไทด์ (lactide) แล้วนำวงแหวนแลคไทด์ มาสังเคราะห์เป็นสายโซ่ยาวได้เป็นพอลิเมอร์ที่เรียกว่า พอลิแล็กไทด์ (polylactide) ถึงแม้ผลิตภัณฑ์ทั้งสองจะมีกระบวนการผลิตที่ต่างกันแต่จะมีโครงสร้างและคุณสมบัติต่างๆ เหมือนกันทุกประการ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด (PLA)

ที่มา: Pillin, Monterlay, and Grohens (2006)

2.9 คุณสมบัติของพอลิแลคติกแอซิด (polylactic acid, PLA)

พอลิแลคติกแอซิด (poly lactic acid , PLA) มีลักษณะใส และมีความแวววาวสูง โดยขึ้นอยู่กับสารเติมแต่งที่ใช้ และมีคุณสมบัติทางกลที่สามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์พื้นฐานทั่วไปที่เป็นเทอร์โมพลาสติก สามารถกักเก็บกลิ่น และรสชาติได้ดี มีความต้านทานต่อน้ำมันและไขมันสูง ก๊าซออกซิเจน (oxygen, O₂) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide, CO₂) และน้ำแพร่ผ่านได้ดี มีความทนต่อการกระแทก (impact strength) ต่ำ จากคุณสมบัติต่าง ๆ ของพอลิแลคติกแอซิดที่กล่าวมานี้จึงได้มีการกำหนดคุณสมบัติของพอลิแลคติกแอซิดที่ผลิตเพื่อการค้า ดังแสดงในตารางที่ 2.1

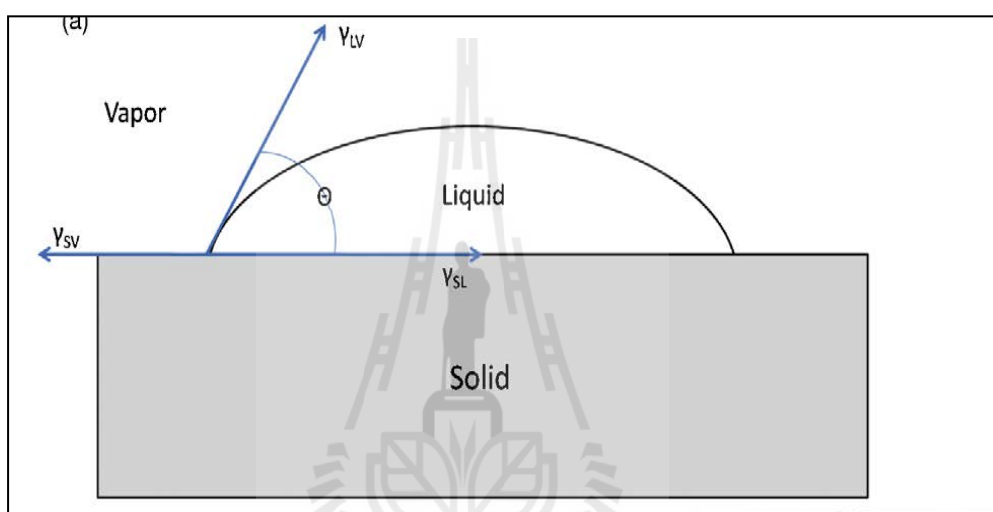
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของพอลิแลคติกแอซิด (poly lactic acid, PLA)

สมบัติ	NatureWork PLA	Biomer L9000
ความหนาแน่น	1.24	1.25
T _g (C°)	56.7-57.9	n/a
T _m (C°)	140-152	n/a
HDT (C°)	40-45 (amorphous)	n/a
	135(crystalline)	
Tensile strength (MPa)	53	70
Elonggation (%)	6	2.4
Flexular Modulus (Mpa)	350-450	3600

ที่มา : บริษัท Nature Works PLA

2.10 การวัดความตึงผิวและพลังงานผิว

การวัดพลังงานผิว (surface energy) มีความจำเป็นมากสำหรับอุตสาหกรรมการประยุกต์ใช้พลาสติกในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุ ซึ่งพลังงานผิวจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติหลายอย่างของวัสดุ เช่น printability bondability adhesion และความสามารถเปียก (wettability) ของพื้นผิววัสดุ โมเลกุลที่อยู่ภายในผิวของเหลวจะถูกดึงด้วยแรงระหว่างอะตอมจากโมเลกุลที่อยู่ใกล้ มีเพียงแต่ผิวด้านล่างของของเหลวเท่านั้นที่สัมผัสกับพื้นผิว ความตึงผิว (surface tension) หรือพลังงานผิว ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 มุมสัมผัสของหยดน้ำ (Vandencasteele and Reniers, 2010)

ความตึงผิวของของเหลว (γ) เป็นอัตราส่วนของแรงที่กระทำไปตามผิวของของเหลวต่อหน่วยความยาวของผิวของเหลวที่ถูกแรงกระทำ และความยาวต้องตั้งฉากกับแรงด้วย ดังนั้นพลังงานผิวอิสระ (free surface energy) ก็คืองานที่กระทำโดยแรงที่ต้านแรงตึงผิวต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของพื้นผิวของของเหลวที่อุณหภูมิคงที่

มุมสัมผัส (contact angle, θ) คือ มุมที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นสัมผัสพื้นผิวกับหยดน้ำ ณ จุดสัมผัส ซึ่งค่ามุมสัมผัสนี้จะสัมพันธ์กับแรง adhesion แรงระหว่างของเหลว-ของแข็ง และแรง cohesion แรงระหว่างของเหลว-ของเหลว ที่กระทำบนหยดน้ำ และมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศา ถ้าค่ามุมสัมผัสน้อยกว่า 90 องศา นั่นคือพื้นผิวของวัสดุจะเปียกน้ำได้ยาก (unwetttable) แต่ถ้าค่ามุมสัมผัสมากกว่า 90 องศาพื้นผิวนั้นจะมีคุณสมบัติเปียกน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับความตึงผิว จะอยู่ที่ความสมดุลระหว่างแรงตึงผิวทั้งหมด ได้แก่ ความตึงผิวระหว่างของเหลวกับอากาศ (γ_{LV}) ความตึงผิวระหว่างของแข็งกับ

ของเหลว (γ_{SL}) และความตึงผิวระหว่างของแข็งกับอากาศ (γ_{SV}) ความสัมพันธ์ Young-Laplace equation ดังสมการที่ 13 (Vandecasteele and Reniers, 2010)

$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos \theta \quad (2.13)$$

θ คือมุมสัมผัส

γ_{SV} คือความตึงผิวระหว่างของแข็งกับอากาศ

γ_{SL} คือความตึงผิวระหว่างของแข็งกับของเหลว

γ_{LV} คือความตึงผิวระหว่างของเหลวกับอากาศ

2.11 คุณสมบัติของพื้นผิว

2.11.1 สมบัติความชอบน้ำ (hydrophilicity) หมายถึง วัสดุพร้อมที่จะดูดซับน้ำ สารประกอบทางเคมีของพื้นผิวยอมให้วัสดุเหล่านี้เปียก และสร้างฟิล์มของน้ำ เคลือบอยู่บนผิวของวัสดุได้ วัสดุที่มีสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilicity) ยังมีค่าพลังงานผิวสูงและมีความสามารถที่จะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ

2.11.2 สมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) หมายถึง วัสดุมีการตอบสนองต่อน้ำแบบตรงข้ามกับวัสดุแบบชอบน้ำ วัสดุที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำจะสามารถดูดซับน้ำได้เพียงเล็กน้อยหรือไม่ดูดซับเลย และหยดน้ำที่เกาะบนผิววัสดุมีแนวโน้มที่จะมีลักษณะกลม วัสดุที่ไม่ชอบน้ำจะมีค่าพลังงานผิวดำ และไม่มีความสามารถที่จะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ

รายงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการคัดแปรสภาพพื้นผิวของวัสดุพอลิเมอร์โดยการประยุกต์ใช้พลาสมาเทคโนโลยี เช่น Ferreira et al. (2009) ได้ศึกษาการประยุกต์พลาสมาบนพื้นผิวของ Poly (L-lactic acid) (PLLA) และ Poly (hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) (PHBV) โดยใช้พลาสมาของออกซิเจนและไนโตรเจนประยุกต์บน PLLA และ PHBV ที่สภาวะต่างๆ ดังนี้ ระดับพลังงานที่ 50 และ 100 วัตต์ ความดันของก๊าซที่ 20, 60 และ 80 ปาสคาล และเวลาในการประยุกต์พลาสมาที่ 100 และ 600 วินาที โดยศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์จากมุมสัมผัส (contact angle, θ), scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM) และ X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) และพบว่า การประยุกต์พลาสมาออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นสาเหตุให้ทั้ง PLLA และ PHBV มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาทั้งมุมสัมผัสและความหยาบของพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทั้ง PLLA และ PHBV จะมีคุณสมบัติความมีชีวิตเพิ่มขึ้น

Wan et al. (2003) ได้ศึกษาชนิดของก๊าซที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาเพื่อตัดแปรพื้นผิวของพอลิ แอล แลคติก (Poly-L-lactic) ที่สภาวะความดันก๊าซ กำลังไฟฟ้า และเวลาในการประยุกต์พลาสมา พบว่าการตัดแปรพื้นผิวของ PLLA ด้วยการประยุกต์พลาสมาของก๊าซแอมโมเนียส่งผลให้ PLLA มีคุณสมบัติชอบน้ำหรือมีขี้มูกกว่าการใช้ก๊าซชนิดอื่น

Chaiwong et al. (2010) ศึกษาผลการประยุกต์พลาสมาของเฮกซะฟลูออไรด์ที่มีต่อคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำและคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของพอลิแลคติกแอซิด พบว่าค่ามุมสัมผัสจะมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่า พอลิแลคติกแอซิดที่ผ่านการประยุกต์พลาสมาของซัลเฟอเฮกซะฟลูออไรด์มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ส่วนค่าการซึมผ่านของไอน้ำนั้นค่าไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ประยุกต์พลาสมา เนื่องจากการประยุกต์พลาสมาไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติดั้งเดิมของพอลิแลคติกแอซิด นอกจากนี้ยังได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพหลังการประยุกต์พลาสมาโดย atomic force microscopy ศึกษาโครงสร้างทางเคมีด้วย attenuated total reflectance Fourier transform infrared และ x-ray photoelectron spectroscopy พบการสร้างพันธะของฟลูออรีนบน โครงสร้างของพอลิแลคติกแอซิด ซึ่งส่งผลให้พอลิแลคติกแอซิดมีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น

De Geyter et al. (2010) ได้ศึกษาการประยุกต์พลาสมาโดยใช้เทคนิค dielectric barrier discharge (DBD) ด้วยก๊าซไนโตรเจน ฮีเลียม อาร์กอน และอากาศ เพื่อตัดแปรคุณสมบัติพื้นผิวของพอลิแลคติกแอซิด พบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของพื้นผิวพอลิแลคติกแอซิดหลังการประยุกต์พลาสมาด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ การวัดค่ามุมสัมผัส x-ray photoelectron spectroscopy และ Atomic force microscopy ผลการทดลองพบว่าพลาสมาของอากาศและอาร์กอนจะเพิ่มหมู่ออกซิเจนให้กับพื้นผิวของพอลิแลคติกแอซิด พลาสมาของไนโตรเจนจะเพิ่มหมู่ไนโตรเจนให้กับพื้นผิวของพอลิแลคติกแอซิด และพบว่าพลาสมาของฮีเลียมนั้นสามารถเพิ่มหมู่ฟังก์ชันของไนโตรเจนได้เช่นเดียวกับพลาสมาของไนโตรเจนแต่มีปริมาณน้อยกว่า ซึ่งจากผลดังกล่าวการประยุกต์พลาสมาฮีเลียมกับพอลิแลคติกแอซิด อาจจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการแพทย์ต่อไปได้

Matsuyama, Teramoto and Hirai (1995) ศึกษาผลของการประยุกต์พลาสมาต่อค่าการซึมผ่านของคาร์บอน ไดออกไซด์และการเลือกผ่านของ polydimethylsiloxane membrane จากการปรับปรุงผิวของ polydimethylsiloxane membrane ด้วยการประยุกต์ อาร์กอน ไนโตรเจน และออกซิเจนพลาสมา โดยติดตามผลของเวลา ระดับพลังงานและอัตราการไหลของก๊าซที่ค่าต่าง ๆ พบว่าอัตราการซึมผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์ของ poly (dimethylsiloxane) membrane เป็น 1.1×10^{-10} kmol/(cm².s.Pa) หรือสามารถคำนวณค่าการซึมผ่าน (permeability, P) ได้เมื่อทราบค่าการแพร่ (diffusivity, D) และค่าสัมประสิทธิ์การละลาย (solubility coefficient, S) จากความสัมพันธ์

ของค่าการซึมผ่านค่าการแพร่ และค่าสัมประสิทธิ์การละลาย ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังสมการ
(2.14)

$$P = DS \quad (2.14)$$



บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

3.1 การขึ้นรูปฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

การเตรียมฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดโดยอบเรซินพอลิแลคติกแอซิดในตู้อบความชื้น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง นำเรซินพอลิแลคติกแอซิดเข้าเครื่อง cast film extrusion (Multilayer chill-roll cast film extrusion line type LCR-350, Thailand) โดยควบคุมอุณหภูมิแต่ละช่วงของสกรู เป็น 165, 175, 175, 175 และ 170 องศาเซลเซียส ความเร็ว roller 1.8 เมตร/นาที อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 40 องศาเซลเซียส

3.2 เครื่องผลิตพลาสมาระบบความดันต่ำ (low-pressure plasma)

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องพลาสมาความดันต่ำเทคนิค (Inductively coupled plasma discharge, ICP) ดังรูปที่ 3.1 ที่ศูนย์วิจัยฟิสิกส์ของลำอนุภาคและพลาสมา (plasma and beam physics research facility, PBP) ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ใช้หลักการทำงานจากการเหนี่ยวนำของคลื่นวิทยุความถี่ 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ไปรบกวนอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซที่อยู่ในสถานะปิดทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในมีพลังงานมากเพียงพอที่จะไปชนกับอะตอม หรือโมเลกุลของก๊าซ เกิดการแตกตัวเป็นไอออนหรืออยู่ในสถานะที่เรียกว่า พลาสมา (plasma)

ส่วนประกอบของเครื่องพลาสมาความดันต่ำดังแสดงในรูปที่ 3.2

ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) เป็นตัวควบคุมความดันเพื่อให้เกิดการสร้างพลาสมาภายใต้ความดันต่ำอยู่ในช่วงระหว่าง 1/100,000 ถึง 1/10,000 เท่าของความดันบรรยากาศ (1-1,000 มิลลิทอร์)

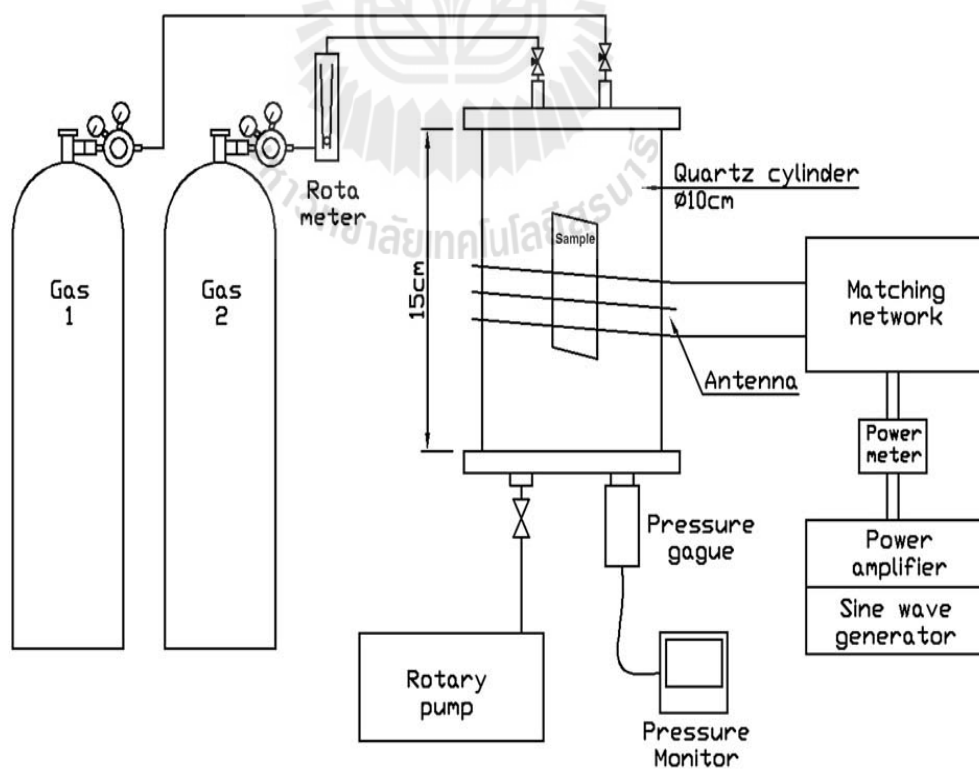
แหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุ (RF power supply) เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตพลาสมา ซึ่งมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอยู่ในช่วง 10-250 วัตต์ โดยการใช้งานจะขึ้นอยู่กับลักษณะและขนาดของพื้นที่ใช้งาน

ระบบ matching network มีหน้าที่ปรับความต้านทานรวมของระบบให้มีค่าเท่ากันทั้งระบบ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับแหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุ

ห้องประยุกต์พลาสมา (chamber) ทำจากแก้วควอตซ์ (quartz) ทรงกระบอกปริมาตร 1 ลิตร เป็นบริเวณที่เกิดพลาสมา เป็นส่วนสำหรับใส่วัสดุที่ต้องการประยุกต์พลาสมา



รูปที่ 3.1 เครื่องพลาสมาความดันต่ำเทคนิค inductively coupled plasma discharge (ICP)



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของเครื่องพลาสมาความดันต่ำ (Chaiwong, 2010)

3.3 ขั้นตอนการตัดแปรพื้นผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดด้วยเครื่องพลาสมา

ความดันต่ำ

3.3.1 การเตรียมฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

ตัดฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดขนาด 3x12 เซนติเมตร และขนาด 10x14 เซนติเมตร สำหรับใช้วิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และไอน้ำเก็บในตู้ดูดความชื้นจนกว่าจะนำไปประยุกต์ด้วยพลาสมา

3.3.2 การทำความสะอาดห้องประยุกต์พลาสมา

เปิดปั๊มสุญญากาศ เพื่อให้ความดันในห้องประยุกต์พลาสมาลดลงจากความดันบรรยากาศมาอยู่ที่ความดันประมาณ 1.7×10^{-2} ทอร์ จะใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที

เปิดก๊าซอาร์กอนที่ความดัน 5.0×10^{-2} ทอร์ ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที เพื่อให้ความดันก๊าซคงที่

เปิดเครื่องกำเนิดวิทยุที่ความถี่ 13.56 เมกะเฮิร์ต จดพลาสมาที่กำลัง 50 วัตต์ นาน 5 นาที

3.3.3 การประยุกต์ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดด้วยพลาสมา

นำแผ่นฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดแขวนในห้องประยุกต์พลาสมา และเปิดปั๊มสุญญากาศเพื่อให้ความดันในห้องลดลงจากความดันบรรยากาศมาอยู่ที่ 1.7×10^{-2} ทอร์ จะใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที

3.4 เครื่องวัดค่ามุมสัมผัส (contact angle)

ชุดอุปกรณ์วัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (water contact angle measurement) ที่ศูนย์วิจัยฟิสิกส์ของลำอนุภาคและพลาสมา (plasma and beam physics research facility, PBP) ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ทำการทดสอบวัดค่ามุมสัมผัสโดยการหยดน้ำกลั่น ปริมาตร 3 ไมโครลิตร ลงบนแผ่นฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ผ่านการประยุกต์ด้วยพลาสมาประมวลผลด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์และบันทึก



รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์วัดค่ามุมสัมผัส (contact angle measurement)

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง x-ray photoelectron spectrometer (XPS; AXIS ULTRA^{DLD}, Krotos analytical, Manchester UK) ของศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ที่ให้ข้อมูลสมบัติทางเคมีที่ระดับผิว ซึ่งจะให้ผลในรูปของ ชนิดและจำนวนธาตุองค์ประกอบ โครงสร้างทางเคมี พันธะทางเคมี เป็นต้น โดยการยิงรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยวที่มีพลังงาน 1486.6 eV บนฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ที่ความดันพื้นฐาน 5×10^{-9} ทอร์ ขนาดพื้นที่ 700x300 นาโนเมตร



รูปที่ 3.4 เครื่อง x-ray photoelectron spectroscopy

3.6 การวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

3.6.1 การวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ด้วยเครื่องวัดการผ่านของก๊าซออกซิเจน OX-TRAN รุ่น 2/21 Module MT อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส (ปูน คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ 2541)

3.6.2 การวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ด้วยเครื่องวัดอัตราการผ่านของไอน้ำ Water Vapor Permeation Analyzer Illinois Instrument, Inc รุ่น 7002 อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส ความชื้น 90 %RH

3.7 การวิเคราะห์พื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

3.7.1 วิเคราะห์ความขรุขระของพื้นผิวโดยเทคนิค atomic force microscope (AFM) ด้วยเครื่อง atomic force microscope (Shimadzu SPM-9500, Japan) ในพื้นที่ 30 x 30 ไมโครเมตร

3.7.2 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว โดยเทคนิค scanning electron microscopy (SEM) ด้วยเครื่อง scanning electron microscope – energy dispersive x-ray spectrometer (JEOL JSM – 5600LV, Japan) ด้วยกำลังขยาย 5,000 เท่า

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการทดสอบความแปรปรวน (Univariate Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์โดยวิธี Post Hoc tests ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 14



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมา

จากการศึกษาอิทธิพลของ ความดันก๊าซ กำลังคลื่นวิทยุ และเวลาที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมา ที่มีผลต่อคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา โดยการประยุกต์พลาสมาที่ความดันก๊าซ 50, 100 และ 150 มิลลิทอร์ กำลังคลื่นวิทยุ 50, 75 และ 100 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาที่ 3, 5 และ 10 นาที ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ผ่านการประยุกต์พลาสมามีมุมสัมผัสต่ำกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ประยุกต์พลาสมาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีมุมสัมผัสลดลงจาก 62.05 องศา เป็น 23.80 - 36.63 องศา Ferreira et al. (2009) ได้รายงานค่ามุมสัมผัสของ PLLA ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา พบว่า PLLA หลังประยุกต์พลาสมามีค่ามุมสัมผัสลดลง แสดงให้เห็นว่า PLLA มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilicity) เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ามุมสัมผัสที่ ความดันก๊าซ กำลังคลื่นวิทยุ และเวลาที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมา ที่แตกต่างกัน

ชนิดก๊าซ	ความดันก๊าซ (มิลลิทอร์)	กำลังคลื่นวิทยุ (วัตต์)	เวลาที่ใช้ประยุกต์ (นาที)	ค่ามุมสัมผัส (องศา)
untreated	-	-	-	62.06±3.48 ^c
NH ₃	50	75	10	36.63±2.11 ^d
	100	75	10	23.45±3.35 ^b
	150	75	10	23.80±3.36 ^b
	100	50	10	31.73±2.78 ^c
	100	100	10	19.23±3.36 ^a
	100	75	3	32.80±3.77 ^c
	100	75	5	26.18±1.72 ^b

หมายเหตุ: ^{a,b,c,d,e} เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่

แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

พิจารณาความดันก๊าซที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาบนผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด พบว่าความดันก๊าซที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีค่าลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ที่ความดันก๊าซ 150 มิลลิทอร์ มีปริมาณก๊าซที่ใช้ในกระบวนการสร้างพลาสมาอยู่มาก เมื่อก๊าซเกิดการแตกตัวจึงเกิดความร้อนสูงเกินไปในห้องประยุกต์พลาสมา จึงส่งผลให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเกิดความเสียหาย ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกใช้ค่าความดันก๊าซสูงสุดที่ 100 มิลลิทอร์

พิจารณากำลังคลื่นวิทยุที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาบนผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด พบว่ากำลังคลื่นวิทยุที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีค่าลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และจากการทำการทดลองจะพบว่าที่กำลังคลื่นวิทยุ 100 วัตต์ จะให้ค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุด แต่จะส่งผลให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเกิดการเสียหายไปเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากกระบวนการผลิตพลาสมา

พิจารณาเวลาที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาบนผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด พบว่าเมื่อใช้เวลาในการประยุกต์พลาสมาเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด มีค่าลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

การศึกษาชนิดของก๊าซ ที่มีผลต่อคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา โดยใช้ก๊าซ 4 ชนิด คือ ก๊าซแอม โมเนีย ก๊าซแอม โมเนียผสมอาร์กอน ก๊าซไนโตรเจนผสมอาร์กอน และอาร์กอน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2

พิจารณาชนิดของก๊าซที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาบนผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ผ่านและไม่ผ่านการประยุกต์พลาสมา มีค่ามุมสัมผัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาชนิดของก๊าซที่ใช้ในการประยุกต์กับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด พบว่า การใช้ก๊าซแอม โมเนียและก๊าซแอม โมเนียผสมอาร์กอนในการประยุกต์พลาสมาบนฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด จะมีผลให้ค่ามุมสัมผัสแตกต่างกันกับก๊าซไนโตรเจนผสมอาร์กอน และอาร์กอนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

จากการศึกษาผลของความดันก๊าซ กำลังคลื่นวิทยุ เวลาที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมา และชนิดของก๊าซที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาบนฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมาจะมีค่าลดลงไปจากเดิม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์พลาสมาบนฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด สามารถปรับปรุงให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีคุณสมบัติชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น (Wan et al., 2003) และจากการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ที่ให้ค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุดหรือมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilicity) เพิ่มขึ้นและไม่ทำให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเสียหายไปหลังการประยุกต์พลาสมา คือที่สภาวะความดันก๊าซ 100 มิลลิทอร์ กำลังคลื่นวิทยุ 75 วัตต์ เวลา 10 นาที และก๊าซ

แอมโมเนียในการประยุกต์พลาสมา ดังนั้นจึงกำหนดให้สภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่นำไปศึกษา และวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดต่อไป

ตารางที่ 4.2 ผลของชนิดก๊าซที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาบนผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดต่อค่ามุมสัมผัส

ชนิดก๊าซ	ความดันก๊าซ (มิลลิทอร์)	กำลังคลื่นวิทยุ (วัตต์)	เวลาที่ใช้ประยุกต์ (วินาที)	ค่ามุมสัมผัส (องศา)
Untreated	-	-	-	62.06±3.48 ^d
NH ₃	100	75	10	23.44±3.35 ^a
NH ₃ +Ar	100	75	10	24.95±3.36 ^a
N ₂ +Ar	100	75	10	36.54±2.07 ^b
Ar	100	75	10	42.90±1.67 ^c

หมายเหตุ: ^{a,b,c,d} เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างตามแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาผลของความดันก๊าซ กำลังคลื่นวิทยุ เวลาที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมา และชนิดของก๊าซที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาบนฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมามีค่าลดลงไปจากเดิม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์พลาสมากับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด สามารถปรับปรุงให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีคุณสมบัติชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น (Wan et al., 2003) และจากการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ที่ให้ค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุดหรือมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilicity) เพิ่มขึ้นและไม่ทำให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเสียหายไปหลังการประยุกต์พลาสมา คือที่สภาวะความดันก๊าซ 100 มิลลิทอร์ กำลังคลื่นวิทยุ 75 วัตต์ เวลา 10 นาที และก๊าซแอมโมเนียในการประยุกต์พลาสมา ดังนั้นจึงกำหนดให้สภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่นำไปศึกษา และวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดต่อไป

4.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

หลังการประยุกต์พลาสมา

การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการประยุกต์ด้วยพลาสมาของก๊าซแอมโมเนีย แอมโมเนียผสมอาร์กอน ไนโตรเจนผสมอาร์กอน และอาร์กอน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ระยะเวลา 30 วัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของชนิดก๊าซ และระยะเวลาการเก็บต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

สภาวะ ความดันก๊าซ 100 มิลลิทอร์ กำลังวิทยุ 75 วัตต์ เวลา 10 นาที

ชนิดก๊าซ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ค่ามุมสัมผัส (องศา)
NH ₃	0	23.44±3.35 ^a
	5	34.81±3.31 ^b
	10	34.70±1.99 ^b
	15	37.50±3.26 ^{bc}
	20	37.89±3.11 ^{bc}
	25	39.39±2.24 ^c
	30	45.49±3.81 ^d
NH ₃ +Ar	0	24.95±2.65 ^a
	5	30.65±1.85 ^b
	10	33.75±1.59 ^c
	15	35.44±1.59 ^c
	20	37.61±2.42 ^d
	25	35.69±3.15 ^{cd}
	30	38.16±1.47 ^c

หมายเหตุ: ^{a,b,c,d,e} เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่

แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 ผลของชนิดก๊าซ และระยะเวลาการเก็บต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด
สถานะ ความดันก๊าซ 100 มิลลิทอร์ กำลังวิทยุ 75 วัตต์ เวลา 10 นาที (ต่อ)

ชนิดก๊าซ	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	มุมสัมผัส (องศา)
Ar	0	42.90±1.67 ^a
	5	43.27±3.96 ^a
	10	43.14±1.95 ^a
	15	45.56±2.43 ^a
	20	44.34±2.40 ^a
	25	44.11±4.08 ^a
N ₂ +Ar	0	36.54±2.07 ^a
	5	38.89±2.93 ^a
	10	38.90±2.68 ^a
	15	45.21±1.45 ^b
	20	44.67±2.85 ^b
	25	46.12±1.83 ^b
	30	46.22±2.76 ^b

หมายเหตุ: ^{a,b} เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างตามแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

พิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังผ่านการประยุกต์ด้วยพลาสมาของก๊าซแอมโมเนีย แอมโมเนียผสมอาร์กอน ไนโตรเจนผสมอาร์กอน พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 5 วันแรก ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่วัดค่าภายใน 24 ชั่วโมงหลังการประยุกต์พลาสมา แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังผ่านการประยุกต์พลาสมาจะเพิ่มอย่างช้าๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Morent et al. (2011) แสดงให้เห็นว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังผ่านการประยุกต์พลาสมาจะมีคุณสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีกลับมามีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) อย่างรวดเร็ว (Hirotzu et al., 2002)

พิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังผ่านการประยุกต์ด้วยพลาสมาของก๊าซอาร์กอนพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปทุกๆ 5 วัน ค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่วัดค่าภายใน 24 ชั่วโมงหลังการประยุกต์พลาสมา เนื่องจากก๊าซอาร์กอนเป็นก๊าซเฉื่อย จะไม่ทำปฏิกิริยากับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด แต่จะช่วยให้ก๊าซชนิดอื่นๆ เกิดการแตกตัวเป็นพลาสมาได้มากขึ้นและเมื่อฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดถูกประยุกต์ด้วยก๊าซอาร์กอนแล้วจะมี cross-linking สูง สายพอลิเมอร์ถูกจำกัดการเคลื่อนที่ (Morent et al., 2011)

4.3 การศึกษาคุณสมบัติการซึมผ่านฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

ก่อนและหลังการประยุกต์ พลาสมา

การศึกษาคุณสมบัติการซึมผ่านของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา ความดันก๊าซ 100 มิลลิทอร์ กาลังคลื่นวิทยุ 75 วัตต์ เวลา 10 นาที ในการทดลองได้ทำการศึกษาคูณสมบัติการซึมผ่าน 2 ชนิด ได้แก่ คุณสมบัติการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5

4.3.1 อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา

อัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมาแสดงดังตารางที่ 4.4 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และจากผลการทดลองพบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ประยุกต์พลาสมาด้วยก๊าซต่างชนิดกันอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนจะมีค่าแตกต่างกัน โดยก๊าซแอมโมเนียมีอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ก๊าซไนโตรเจนผสมอาร์กอน ก๊าซแอมโมเนียผสมอาร์กอน และก๊าซอาร์กอนตามลำดับ อัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด มีค่าแตกต่างกันเมื่อใช้ก๊าซต่างชนิดกันในการประยุกต์พลาสมา เนื่องจากอัตราการซึมผ่านของก๊าซ (gas permeability) ผ่านพอลิเมอร์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย คือการกระจายตัว (diffusion) และความสามารถในการละลาย (solubility) (Chaiwong et al., 2010) และในกระบวนการประยุกต์พลาสมานั้นจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับพลาสมาของก๊าซ โดยอนุภาคพลาสมาสามารถทำปฏิกิริยาบนผิวของฟิล์ม พอลิแลคติกแอซิด และเกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดการยึดเกาะของอนุภาคในบริเวณพื้นผิว หรือทำให้เกิดการกัดผิว (etching) บริเวณพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ทำให้พื้นผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเกิดความขรุขระเพิ่มมากขึ้น (Chian, 1994) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคของก๊าซออกซิเจนสามารถกระจายตัว (diffusion) และยึดเกาะบริเวณพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมากขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ผ่านการประยุกต์พลาสมามีอัตราการการซึมผ่านของออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น และ

ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ผ่านการประยุกต์พลาสมาของก๊าซต่างชนิดกัน จะมีอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนแตกต่างกัน เนื่องจากการประยุกต์ด้วยพลาสมาของก๊าซต่างชนิดกัน โดยพลาสมาของก๊าซแอมโมเนียมีความขรุขระบริเวณพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมากที่สุด รองลงมาคือพลาสมาของก๊าซไนโตรเจนผสมอาร์กอน พลาสมาของก๊าซแอมโมเนียผสมอาร์กอนและพลาสมาก๊าซอาร์กอน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา

ชนิดก๊าซ	ความดันก๊าซ (มิลลิทอร์)	กำลังคลื่นวิทยุ (วัตต์)	เวลาที่ใช้ประยุกต์ (นาที)	อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{Pa}$)
untreated	100	75	10	785.0 ^a
NH ₃	100	75	10	1223.5 ^b
NH ₃ +Ar	100	75	10	1140.0 ^b
N ₂ +Ar	100	75	10	1200.5 ^b
Ar	100	75	10	976.0 ^a

หมายเหตุ: ^{a,b} เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.2 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา แสดงดังตารางที่ 4.5 ผลการทดลองพบว่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากการซึมผ่านของไอน้ำจะขึ้นอยู่กับโมเลกุลของน้ำที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสายโซ่พอลิเมอร์ได้ ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์พลาสมา เป็นการปรับเปลี่ยนเฉพาะคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเท่านั้น โดยจะไม่ทำให้คุณสมบัติดั้งเดิม (bulk properties) ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเปลี่ยนแปลงไป (Chaiwong et al., 2010)

ตารางที่ 4.5 อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา

ชนิดก๊าซ	ความดันก๊าซ (มิลลิทอร์)	กำลังคลื่นวิทยุ (วัตต์)	เวลาที่ใช้ประยุกต์ (วินาที)	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (g/m ² /day)
untreated	100	75	600	24.95 ^a
NH ₃	100	75	600	24.80 ^a
NH ₃ +Ar	100	75	600	25.90 ^a
N ₂ +Ar	100	75	600	26.10 ^a
Ar	100	75	600	26.25 ^a

หมายเหตุ: ^a เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างตามแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพื้นผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา

องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมาของก๊าซแอมโมเนีย แอมโมเนียผสมอาร์กอน ไนโตรเจนผสมอาร์กอน และก๊าซอาร์กอน ที่ความดันก๊าซ 100 มิลลิทอร์ กำลังคลื่นวิทยุ 75 วัตต์ เวลา 10 นาที โดยใช้เทคนิค XPS ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ดังแสดงในตารางที่ 4.6

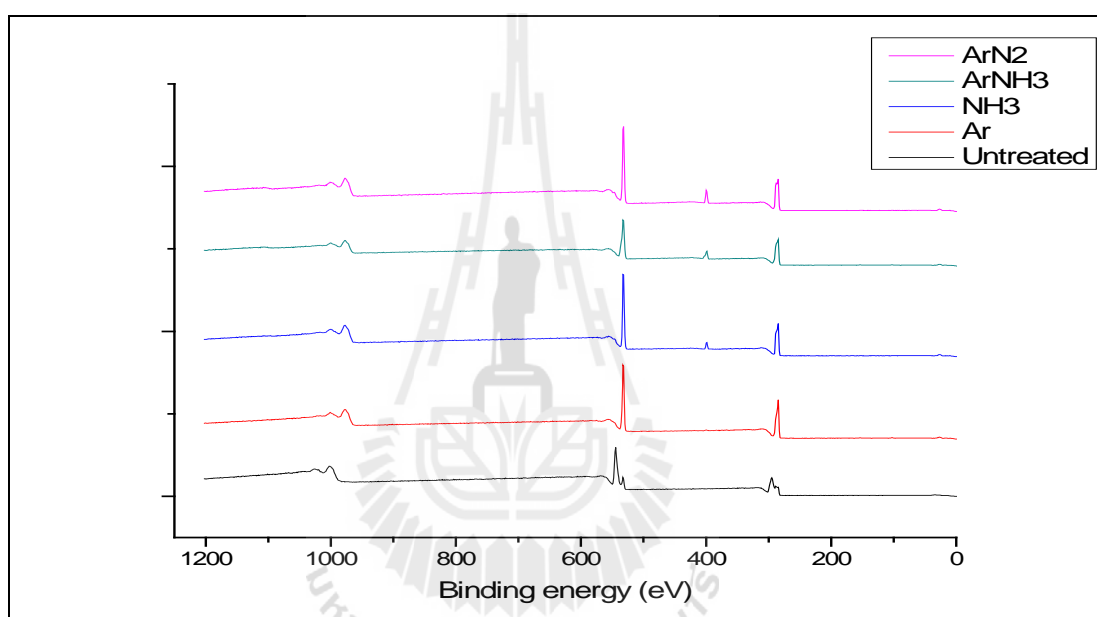
ตารางที่ 4.6 แสดงจำนวนอะตอมบนผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา

ชนิดก๊าซ	จำนวนอะตอม (%)				
	C	O	N	N/C	O/C
Untreated	64.90	35.10	0.00	0.00	0.54
NH ₃	61.38	31.64	6.98	0.11	0.51
NH ₃ +Ar	65.63	28.96	5.41	0.08	0.44
N ₂ +Ar	67.87	31.35	0.78	0.01	0.46
Ar	59.82	33.44	6.74	0.11	0.55

จากตารางที่ 4.6 พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังประยุกต์ด้วยก๊าซแอมโมเนีย แอมโมเนียผสมอาร์กอน และไนโตรเจนผสมอาร์กอนมีสัดส่วนอะตอม O/C ลดลง จาก 0.54 เป็น 0.52, 0.44 และ 0.46 ตามลำดับ ส่วนฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ประยุกต์ด้วยก๊าซอาร์กอนมีสัดส่วนอะตอมของ

O/C เพิ่มขึ้น จาก 0.54 เป็น 0.55 และเมื่อกล่าวถึงมีสัดส่วนอะตอม N/C ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังประยุกต์ด้วยก๊าซแอมโมเนีย แอมโมเนียผสมอาร์กอน ไนโตรเจนผสมอาร์กอน และอาร์กอน พบว่าสัดส่วนอะตอม N/C เพิ่มขึ้น จาก 0.00 เป็น 0.11, 0.08, 0.01 และ 0.11 ตามลำดับ

รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมสำรวจของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนประยุกต์พลาสมา ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดประยุกต์พลาสมาอาร์กอน ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดประยุกต์พลาสมาแอมโมเนีย ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดประยุกต์พลาสมาแอมโมเนียผสมอาร์กอน และฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดประยุกต์พลาสมาไนโตรเจนผสมอาร์กอน

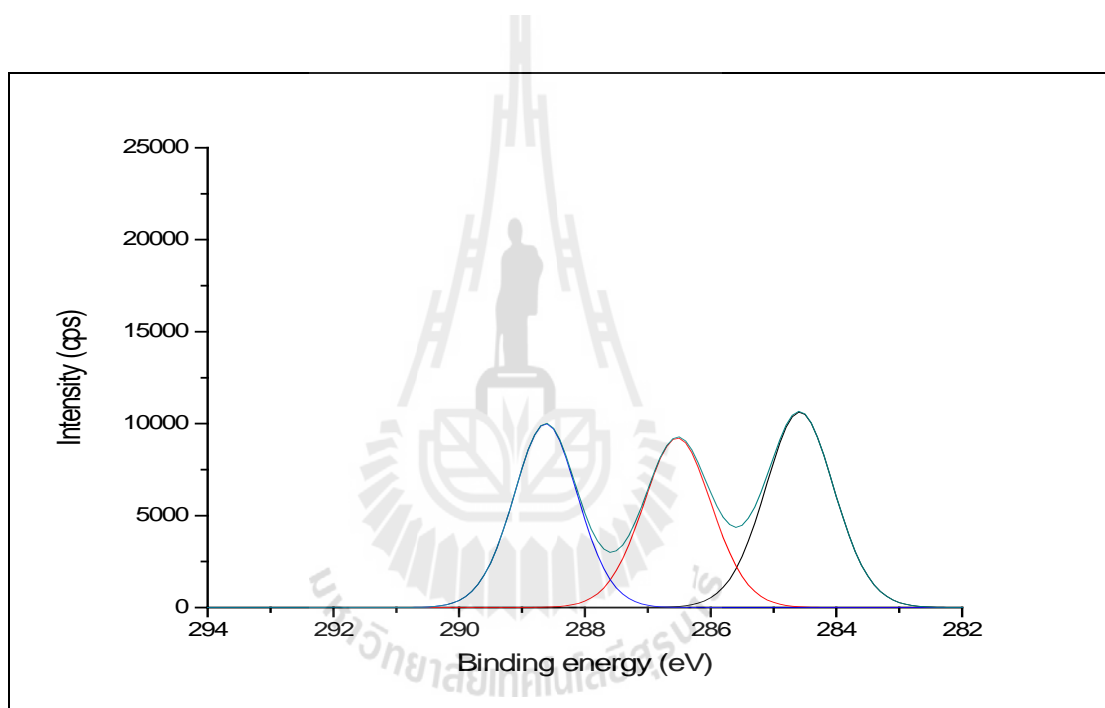


รูปที่ 4.1 แสดงพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน (binding energy)

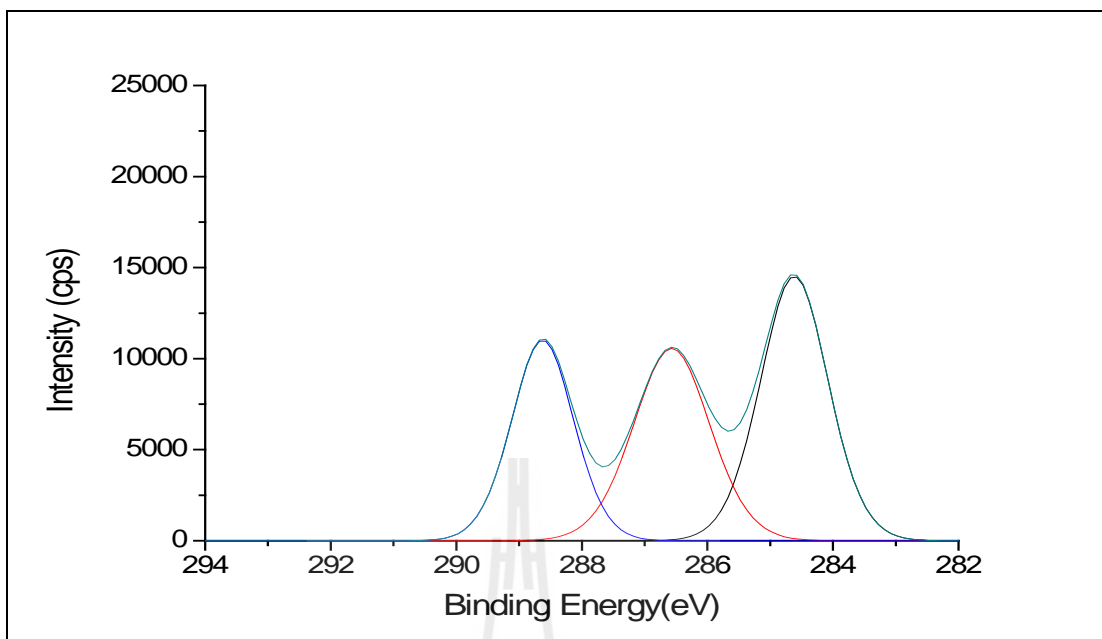
ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังประยุกต์ด้วยพลาสมา

จากรูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัม C1s ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนการประยุกต์พลาสมา พบพีกที่พลังงานแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน (binding energy) 285.0 eV แสดงถึงตำแหน่งของ C-C และ C-H พีกที่พลังงานแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน 286.8 eV แสดงตำแหน่งของ C-O พีกที่พลังงานแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน 289.1 eV แสดงตำแหน่งของ O-C=O รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัม C1s ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาแอมโมเนีย และแอมโมเนียผสมอาร์กอนพบพีกที่พลังงานแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน 284.6 eV แสดงถึงตำแหน่งของ C-C และ C-H พีกที่พลังงานแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน 286.8 eV แสดงตำแหน่งของ C-N, C=N และ C-O พีกที่พลังงานแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน 288.9 eV แสดงตำแหน่งของ O-C=O, N-CO-N, N-C-O

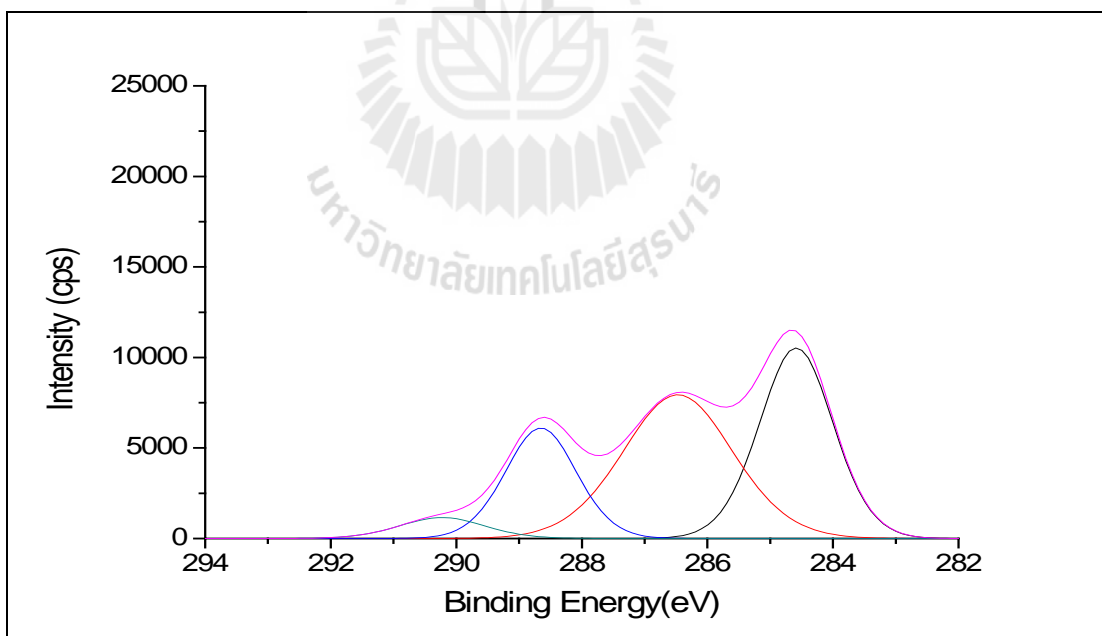
และ N-C=O รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัม C1s ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดประยุกต์พลาสมาอาร์กอน พบพีคที่พลังงานแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน 285.0 eV แสดงถึงตำแหน่งของ C-C และ C-H พีคที่พลังงานแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน 286.8 eV แสดงตำแหน่งของ C-O พีคที่พลังงานพันธะ 289.1 eV แสดงตำแหน่งของ O-C=O รูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัม C1s ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดประยุกต์พลาสมาไนโตรเจนผสมอาร์กอน พบพีคที่พลังงานแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน 284.6 eV แสดงถึงตำแหน่งของ C-C และ C-H พีคที่พลังงานแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน 286.8 eV แสดงตำแหน่งของ C-N, C=N และ C-O พีคที่พลังงานแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน 288.9 eV แสดงตำแหน่งของ O-C=O, N-CO-N, N-C-O และ N-C=O



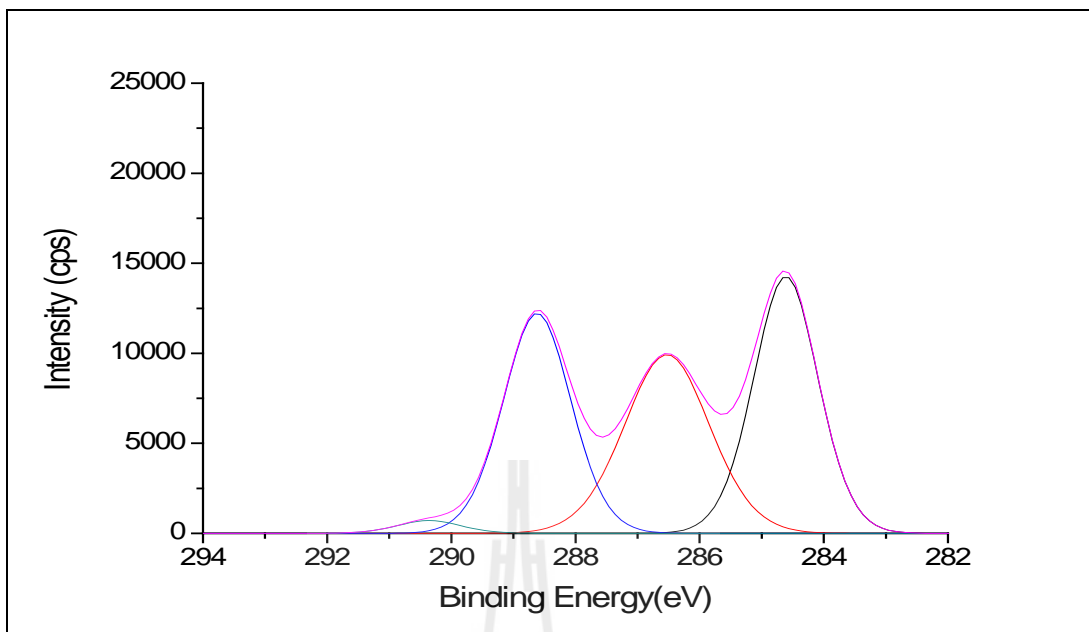
รูปที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนการประยุกต์พลาสมา



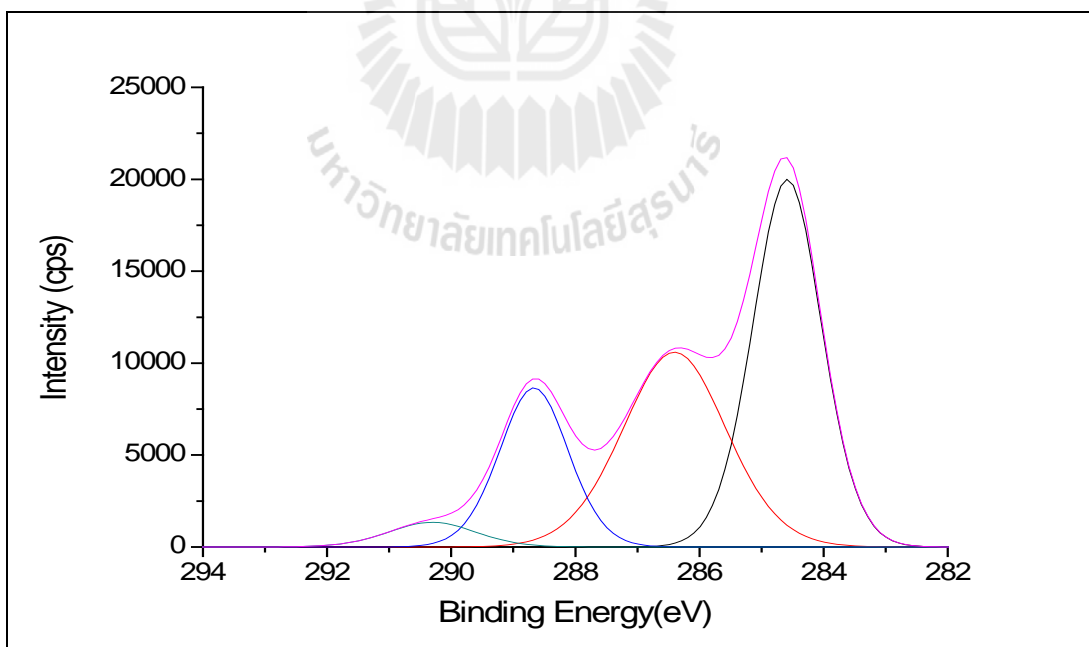
รูปที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาแอมโมเนีย



รูปที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด
ประยุกต์พลาสมาแอมโมเนียผสมอาร์กอน



รูปที่ 4.5 องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ผ่านการบำบัดพลาสมาไนโตรเจนผสมอาร์กอน 4.5 นาที



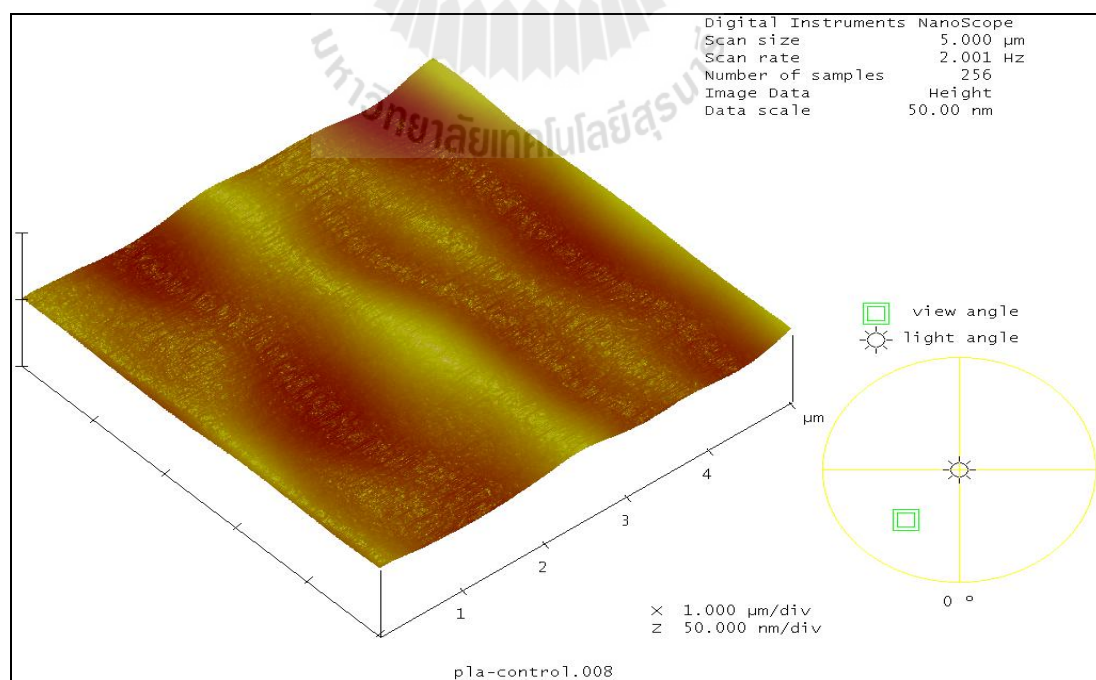
รูปที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ผ่านการบำบัดพลาสมาไนโตรเจนผสมอาร์กอน 4.6 นาที

4.5 การศึกษาคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

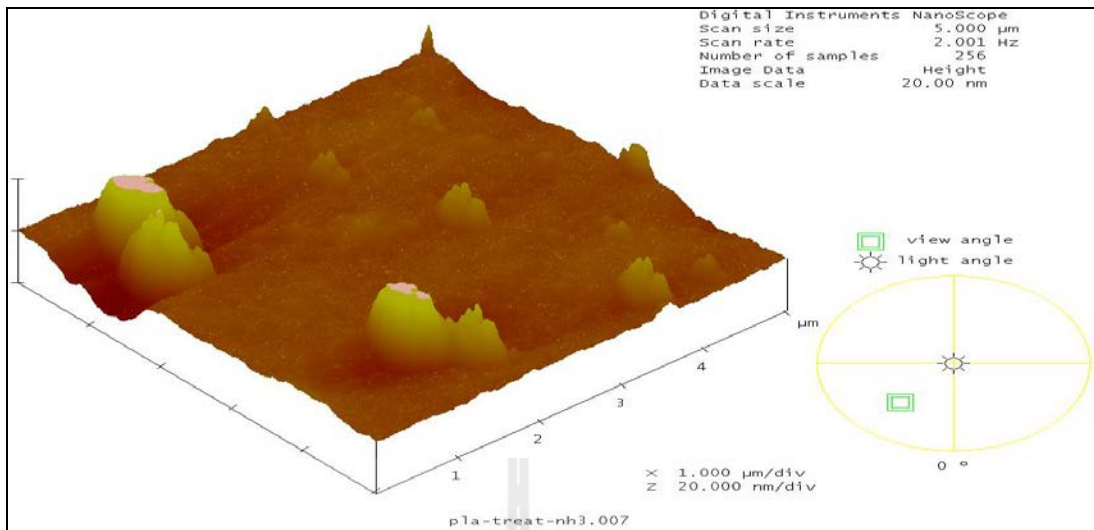
ก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา

4.5.1 ผลจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic force microscope, AFM)

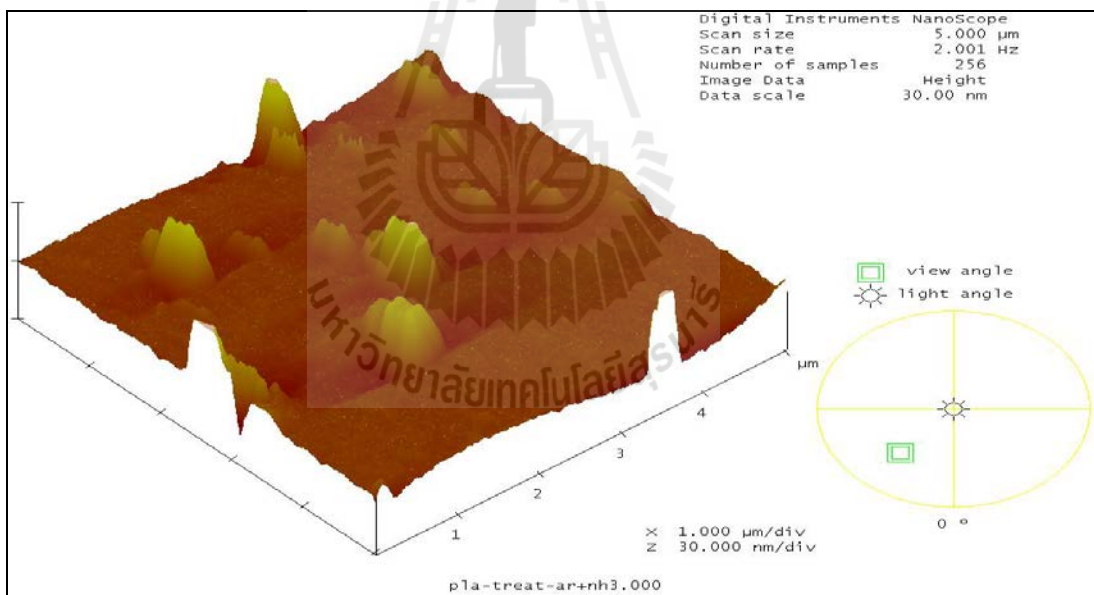
การวิเคราะห์พื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา โดยเทคนิค atomic force microscope (AFM) เพื่อตรวจดูลักษณะความขรุขระของพื้นผิวฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา แสดงดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.11 เมื่อพิจารณาภาพถ่ายด้วยเครื่อง AFM พบว่าพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมามีความแตกต่างกัน โดยที่ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนการประยุกต์ด้วยพลาสมานั้นมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ ส่วนฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังการประยุกต์ด้วยพลาสมาของก๊าซแอมโมเนีย แอมโมเนียผสมอาร์กอน ไนโตรเจนผสมอาร์กอน และก๊าซอาร์กอน ที่ความดันก๊าซ 100 มิลลิทอร์ กำลังคลื่นวิทยุ 75 วัตต์ เวลา 10 นาที ลักษณะพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Geyer et al. (2010) พบว่าลักษณะพื้นฐานพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนการประยุกต์พลาสมามีความขรุขระแตกต่างจากฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังการประยุกต์พลาสมาอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งลักษณะเช่นนี้อาจทำให้การซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำผ่านฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากการประยุกต์พลาสมาช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดทำให้สามารถรับก๊าซ และไอน้ำได้มากขึ้น



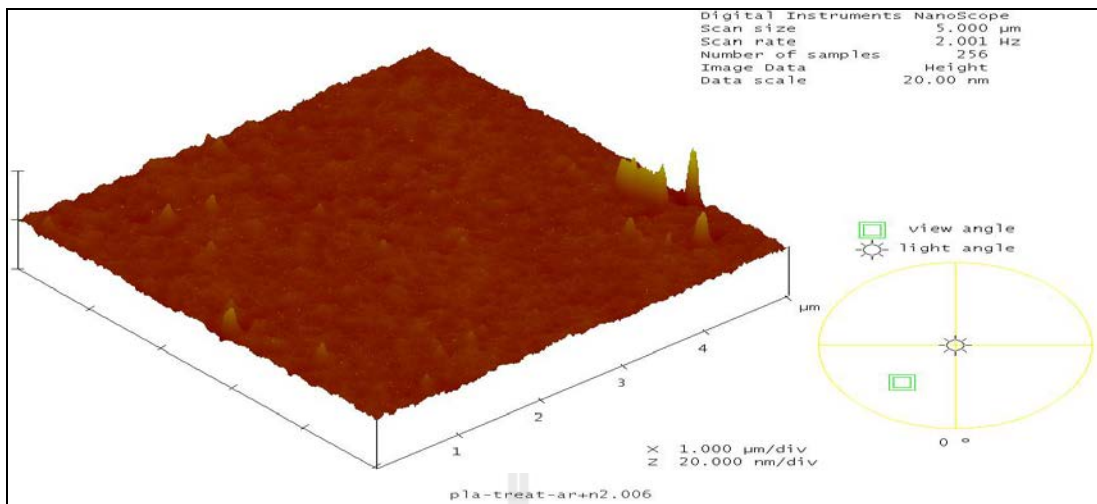
รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิวจาก AFM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนประยุกต์พลาสมา



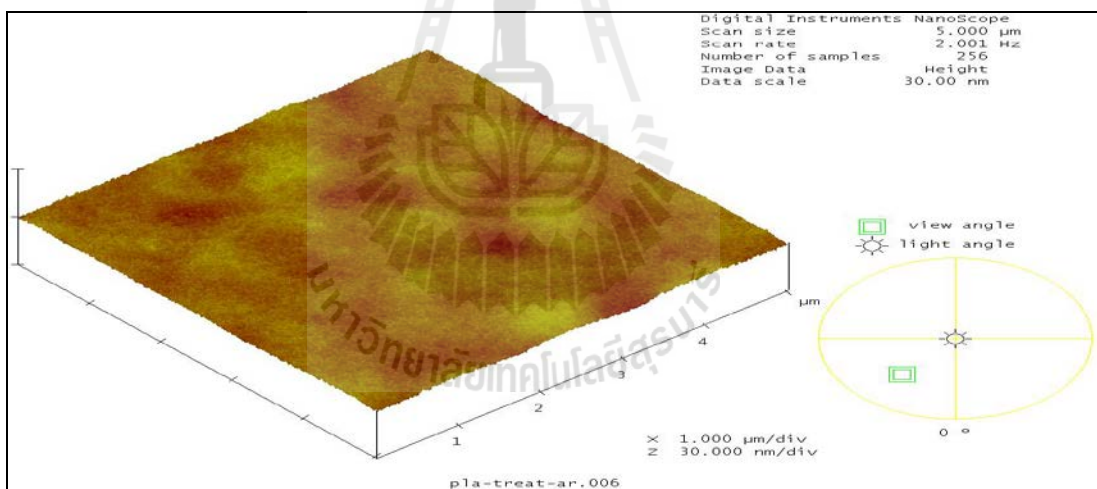
รูปที่ 4.8 ลักษณะพื้นผิวจาก AFM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาแอม โมเนีย



รูปที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิวจาก AFM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด
 ประยุกต์พลาสมาแอมโมเนียผสมอาร์กอน



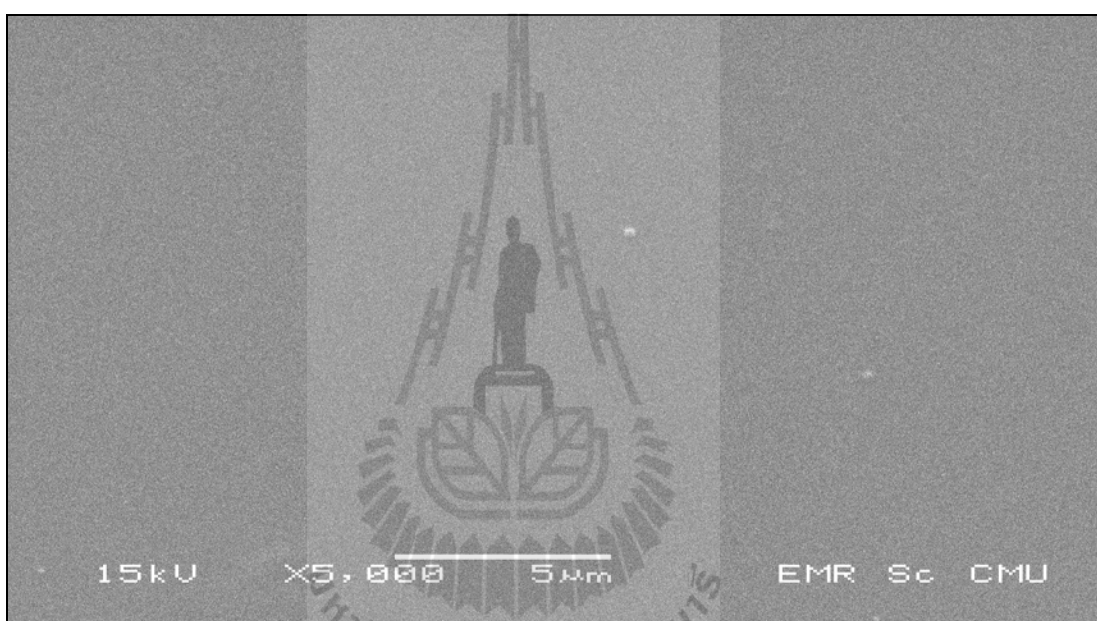
รูปที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวจาก AFM ของฟิล์มพอลิเอทิลีนไกลคอล
 ประยุกต์พลาสมาไนโตรเจนผสมอาร์กอน



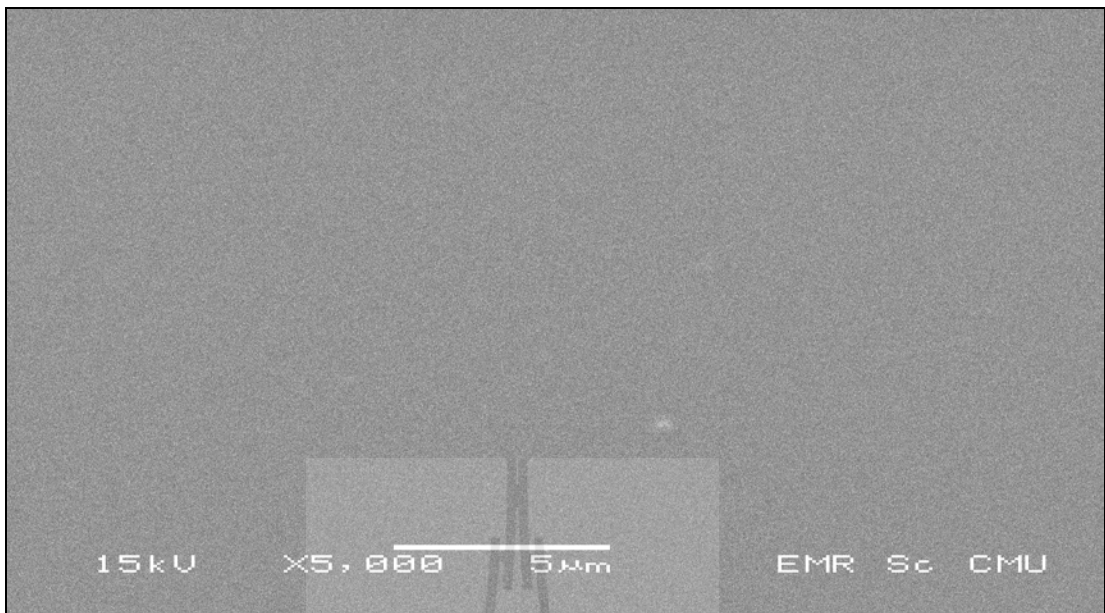
รูปที่ 4.11 ลักษณะพื้นผิวจาก AFM ของฟิล์มพอลิเอทิลีนไกลคอล
 ประยุกต์พลาสมาอาร์กอน

4.5.2 ผลจาก scanning electron microscopy (SEM)

การวิเคราะห์พื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมา โดยเทคนิค scanning electron microscopy (SEM) จากภาพถ่าย กำลังขยาย 5000 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนและหลังการประยุกต์พลาสมามีลักษณะไม่แตกต่างกัน โดยพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ถึง 4.16 เนื่องจากการประยุกต์พลาสมาจะทำอันตรกิริยาเฉพาะที่พื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเท่านั้น โดยไม่ทำให้คุณสมบัติดั้งเดิมของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเปลี่ยนแปลงไป (Chaiwong et al.,2010)



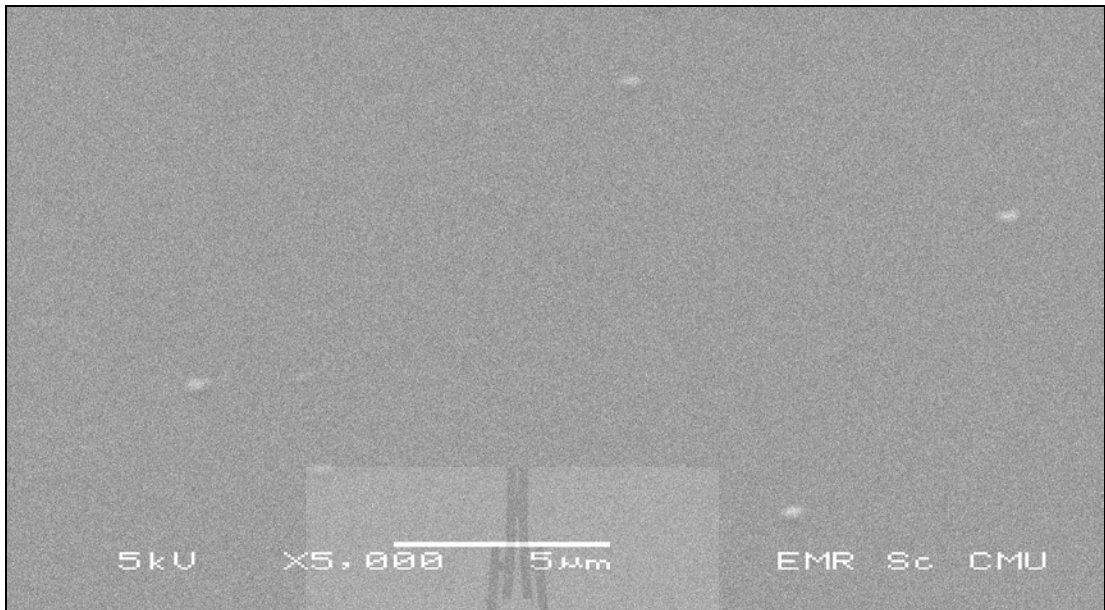
รูปที่ 4.12 ลักษณะพื้นผิวจาก SEM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ก่อนประยุกต์พลาสมา



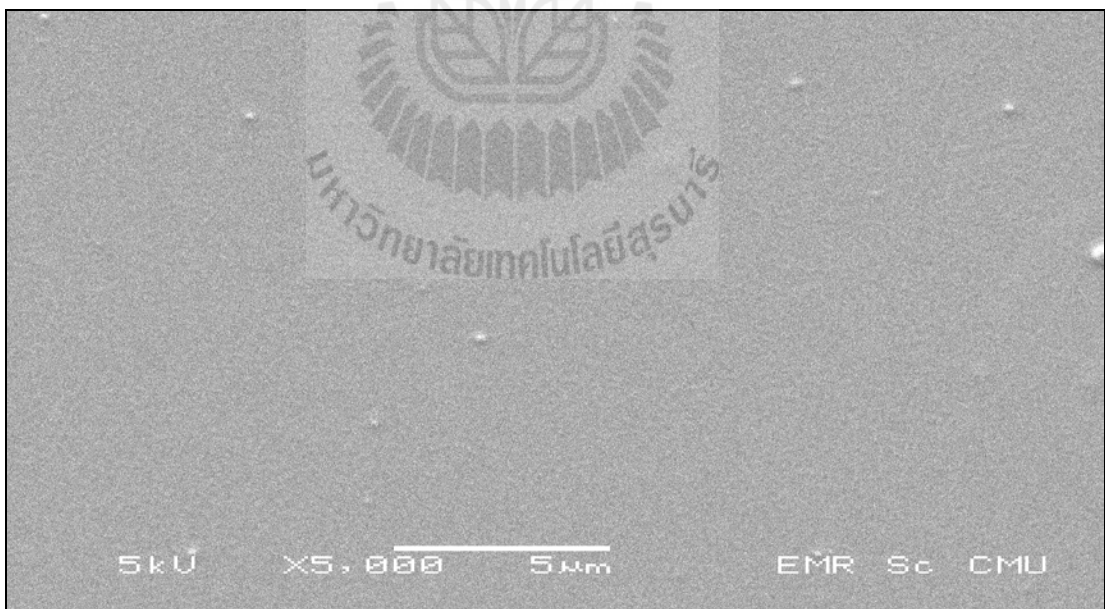
รูปที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิวจาก SEM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาแอมโมเนีย



รูปที่ 4.14 ลักษณะพื้นผิวจาก SEM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด
ประยุกต์พลาสมาแอมโมเนียผสมอาร์กอน



รูปที่ 4.15 ลักษณะพื้นผิวจาก SEM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด
ประยุกต์พลาสมาไนโตรเจนผสมอาร์กอน



รูปที่ 4.16 ลักษณะพื้นผิวจาก SEM ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ประยุกต์พลาสมาอาร์กอน

บทที่ 5

บทสรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมาต่อการตัดแปรรูณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ด้วยก๊าซแอมโมเนีย แอมโมเนียผสมอาร์กอน ไนโตรเจนผสมอาร์กอน และอาร์กอน พบว่าการประยุกต์พลาสมาโดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย เวลาที่ใช้ในการประยุกต์พลาสมา 10 นาที ความดันก๊าซ 100 มิลลิทอร์ กำลังคลื่นวิทยุ 75 วัตต์ ส่งผลให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด มีค่ามุมสัมผัสลดลงหรือคุณสมบัติความชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากตรวจพบอะตอมของไนโตรเจนบนโครงสร้างฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด และการประยุกต์พลาสมาส่งผลให้พื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้น ทำให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ส่งผลให้หลังการประยุกต์พลาสมาฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากก๊าซออกซิเจนสามารถกระจายตัวบนพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดได้มากขึ้น แต่การประยุกต์พลาสมาส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ไม่แตกต่างกับที่ไม่ประยุกต์พลาสมา เนื่องจากการประยุกต์พลาสมาจะเปลี่ยนแปลงเฉพาะคุณสมบัติพื้นผิวเท่านั้นแต่จะไม่ทำให้คุณสมบัติดั้งเดิมของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเปลี่ยนแปลงไป

การประยุกต์พลาสมาฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเพื่อตัดแปรรูปเพื่อตัดแปรรูณสมบัติผิว ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ให้มีคุณสมบัติผิวใหม่ คือมีค่ามุมสัมผัสลดลงหรือคุณสมบัติความชอบน้ำเพิ่มมากขึ้นและยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้มากขึ้น โดยไม่ทำให้คุณลักษณะดั้งเดิม ของฟิล์มพอลิแลคติกเปลี่ยนแปลงไป แต่ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังจากประยุกต์พลาสมาผ่านไป 5 วัน จะสามารถกลับมามีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำหรือมีค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังผ่านการประยุกต์พลาสมาจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวส่วนใหญ่จะใช้บรรจุผักและผลไม้ซึ่งจะใช้ระยะเวลาเพียงสั้น ๆ ในการวางจำหน่าย

รายการอ้างอิง

- ฉัตรพัฒน์ วิไลทอง. (2549). **โครงการวิจัยทางเยาวชนความคาดหวังของนักวิจัยอาวุโส**. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ธีรวรรณ บุญญวรรณ. (2550). **เทคโนโลยีพลาสติก**. ศูนย์วิจัยนวัตกรรมพลังงานสูง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ. (2541). **บรรจุภัณฑ์อาหาร**. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์หทัยแสง จำกัด.
- รังสรรค์ ศรีสาคร. (2543). **พลาสติก (สถานะของสาร)**. [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.wikipedia.org/wiki>
- สุชาดา ถาวรวิริยะนันท์. (2551). **การปรับปรุงสมบัติการต้านน้ำของกระดาษแข็งโดยพลาสติกพอลิเอทิลีน**. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์. (2553). **หน่วยวิจัยฟิสิกส์พลาสติกของวัสดุใหม่**. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://thep-center.org/src/activity2_2.php
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2553). **พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ**. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www2.mtec.or.th/special/biodegradable_plastic/bio_de_plas.html
- Alentiev, A., Drioli, E., Gokzhaev, M., Golemme, G., Ilinich, O., Lapkin, A., Volkov, V. and Yampolskii, Yu. (1998). Gas permeation properties of phenylene oxide polymers. **Journal of Membrane Science**, 138: 99-107.
- Aionicesei, E., Skerget, M. and Knez, Z. (2008). Measurement of CO₂ solubility and diffusivity in poly(L-lactide) and poly(D,L-lactide-co-glycolide) by magnetic suspension balance. **The Journal of Supercritical Fluids**, 47: 296-301.
- Bryjak, M., Gancary, I., Poz'niak, G. and Tylus, W. (2002). Modification of polysulfone membranes 4 ammonia plasma treatment. **European Polymer Journal**, 38: 717-726.
- Chaiwong, C., Rachtanapun, P., Wongchaiya, P., Auras, R. and Boonyawan, D. (2010). Effect of plasma treatment on hydrophobicity and barrier property of polylactic acid. **Surface & Coatings Technology**, 204: 2933-2939.
- Chan., C-M. (1994). **Polymer surface modification and characterization**. New York. Hanser.

- Ferreira, B. M. P., Pinheiro, L. M. P., Nascente, P. A. P., Ferreira, M. J. and Duek, E. A. R. (2009). Plasma surface treatment of poly (L-lactic acid) (PLLA) and poly (hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) (PHBV). **Materials Science and Engineering C**. 29: 806-813.
- Geyter, D. N., Morent, R., Trentesaux, M., Gengembre, L., Dubruel, P., Leys, C. and Payen, E. (2010). Plasma modification of polylactic acid in a medium pressure DBD. **Surface & Coatings Technology**. 204: 3272-3279.
- Li, J., Lu, X. L. and Zheng, Y. F. (2008). Effect of surface modified hydroxyapatite on the Tensile property improvement of HA/PLA composite. **Applied Surface Science**. 255: 494-497.
- Martin, O. and Av'eros, L. (2001). Poly (lactic acid) : plasticization and properties of biodegradable multiphase systems. **Polymer**. 42: 6209-6219.
- Matsuyama, H., Teramoto, M. and Hirai, K. (1995). Effect of plasma treatment on CO₂ permeability and selectivity of poly(dimethylsiloxane) membrane. **Journal of membrane Science**. 99: 139-147.
- Morent, R., Geyter, D. N., Desmet, T. and Dubruel, P. (2011). Plasma Surface Modification of Biodegradable Polymers: A Review. **Plasma Processes and Polymers**. 8: 171-190.
- Pake, Y.W., Inagaki, N. (2003). Surface modification of poly (vinylidene) film by remote Ar, H₂ and O₂ plasma. **Polymer**. 44: 1569-1575.
- Pillin, I., Monterlay, N. and Grohens, Y. (2006). Thermo-mechanical characterization of plasticized plasticized PLA: is the miscibility the only significant factor. **Polymer**. 47: 4676-4682.
- Rhim, J-W., Hong, S-I. and Ha, C-S. (2009). Tensile, water vapor barrier and antimicrobial Properties of PLA/nanoclay composite film. **LWT-Food Science and Technology**. 42: 612-617.
- Truica-Marasescu, F., Guimond, S., Jedrzejowski, P. and Wertheimer, M. R. (2005). Hydrophobic recovery of VUV/NH₃ modified polyolefin surfaces: Comparison with plasma treatment in nitrogen. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B**. 236: 117-122.
- Tus'ek, L., Nitschke, M., Werner, C., Stana-Kleinschek, K. and Ribitsch, V. (2001). Surface characterization of NH₃ plasma treated polyamide 6 foils. **Colloids and Surfaces**. 195: 81-95.

Vandencastele, N. and Reniers, F. (2010). Plasma-modified polymer surface: characterization using XPS. **Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena**. In press.

Wan, Y., Yang, J., Yang, j., Bie, J. and Wang, S. (2003). Cell adhesion on gaseous plasma modified Poly-(L-lactide) surface under shear stress field. **Biomaterials**. 24: 3757-3764.





ภาคผนวก

ประวัติผู้เขียน

นางสาวอัจฉราภรณ์ บุญมา เกิดเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2526 ที่จังหวัดนครราชสีมา ศึกษาในระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนพิมายสามัคคี 1 จังหวัดนครราชสีมา จากนั้นศึกษาต่อในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนพิมายวิทยา จังหวัดนครราชสีมา จบการศึกษาในปีการศึกษา 2544 ในปีการศึกษา 2545 ได้รับคัดเลือกประเภทโควตาเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ปีการศึกษา 2548

ปี พ.ศ. 2550 ได้เข้าทำงานที่บริษัท เค ไอ เอทานอล จำกัด ในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ควบคุมการผลิตเอทานอล

พ.ศ. 2551 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

