



รายงานการวิจัย
เรื่อง

การปรับปรุงผิวยางธรรมชาติโดยกระบวนการพลาสมา
Surface modification of natural rubber by plasma treatment

ดร.จิราภรณ์ พงษ์โสภา
ดร.กัญชญา หงส์เลิศคงสกุล
ดร.ภัทธีรา หอมหวล

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต



รายงานการวิจัย
เรื่อง

การปรับปรุงผิวยางธรรมชาติโดยกระบวนการพลาสมา
Surface modification of natural rubber by plasma treatment

ดร.จิราภรณ์ พงษ์โสภา
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
ดร.กัญจน์ชญา หงส์เลิศคงสกุล
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ดร.ภัทธีรา หอมหวล
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอยุธยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านวิจัย ปีงบประมาณ 2556)

หัวข้อวิจัย	การปรับปรุงผิวยางธรรมชาติโดยกระบวนการพลาสมา
ผู้ดำเนินการวิจัย	ดร.จิราภรณ์ พงษ์โสภา ดร.กัญจน์ชญา หงส์เลิศคงสกุล ดร.ภัทธีรา หอมหวล
หน่วยงาน	หลักสูตรศึกษาศาสตร(ฟิสิกส์) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
ปี พ.ศ.	2558

พื้นผิวของยางพาราแบบวัลคาไนซ์ผ่านการปรับปรุงโดยกระบวนการพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกดิสชาร์จ (Dielectric Discharge Barrier) การอาบพลาสมาที่เวลาสั้นๆ ของพื้นผิวยางพาราที่เวลา 5,10,15 วินาที สามารถทำให้ผิวชิ้นงานมีความชอบน้ำเพิ่มขึ้น โดยผลที่ได้วิเคราะห์โดยพิจารณาจากการวัดมุมสัมผัส พบว่าการเพิ่มขึ้นของมุมฟังก์ชันที่ชอบน้ำของผิวยางที่ผ่านการอาบพลาสมาสังเกตได้จากข้อมูลวิเคราะห์จากเครื่องมือ ATR-FTIR นอกจากนั้นความขรุขระของผิวชิ้นงานมีค่าลดลงจาก 202.13 เป็น 82.02 nm เมื่อผ่านการอาบพลาสมา 180 วินาที จากการวิจัยพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้มุมสัมผัสลดลงเป็น 22 องศา โดยการใช้พลาสมาแบบไดอิเล็กทริกดิสชาร์จ คือใช้เวลาอาบพลาสมา 15 วินาที และจ่ายความต่างศักย์บนหม้อแปลงแบบนีออน 200 โวลต์ และจัดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นไดอิเล็กทริก 6 มิลลิเมตร

Research Title	Surface modification of natural rubber by plasma treatment
Researchers	Dr. Jiraporn Pongsopa Dr. Kanchaya Honglertsukul Dr. Pattira Homhuan
Organization	Physics Program, Faculty of Science and Technology SuanDusit Rajabhat University Department of Physics, Faculty of science and Technology Burapa University Faculty of Science and Technology Ayutthaya Rajabhat University
Year	2015

Vulcanized rubber surface has been modification by Dielectric Discharge Barrier plasma system. The shortly treatment time 5, 10, 15 s can achieve the hydrophilic surface as confirmed by contact angle measurement. The increasing hydrophilic group on rubber surface was monitored by ATR-FTIR. The surface roughness was investigated to decrease from 202.13 to 82.02 nm after DBD plasma at treatment time 180s. The optimum conditions for making contact angle lower to 22 degree by DBD plasma treatment in this work were; treatment time, 15 s; input voltage on a neon sign transformer, 200 V; electrode gap, 6 mm.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2556 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต โดยได้รับการประเมินข้อเสนอโครงการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย
2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับยางธรรมชาติ	3
พลาสติก	4
การวัดและคำนวณมุมสัมผัส	9
การปรับปรุงชิ้นงานด้วยกระบวนการพลาสติก	11
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
กรอบแนวคิดในการวิจัย	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	14
วัตถุประสงค์	14
วัสดุอุปกรณ์	14
เครื่องมือวิเคราะห์	15
วิธีการทดลอง	16
บทที่ 4 ผลการวิจัย	18
ผลการวิเคราะห์มุมสัมผัสของเงื่อนไขพลาสติกต่างๆ	19
ผลของระยะเวลาหลังชิ้นงานผ่านการอบพลาสติก	22
ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยา	23

ผลการวิเคราะห์หาโครงสร้างและองค์ประกอบโมเลกุล	25
ผลการวิเคราะห์ความขรุขระของชิ้นงาน	27
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	29
สรุปผลการวิจัย	29
อภิปรายผล	29
ปัญหาและอุปสรรค	29
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	30
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	30
บรรณานุกรม	31
บรรณานุกรมภาษาไทย	31
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	31
ประวัติผู้วิจัย	33

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดของพลาสติก	7
2.2	แสดงคุณสมบัติของพลาสติกที่ดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ	9
4.1	แสดงเงื่อนไขการทดลองพลาสติกต่างๆที่นำมาวิเคราะห์มุมสัมผัส	19
4.2	แสดงมุมสัมผัสของหยดน้ำที่เวลาและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้หม้อแปลงไฟฟ้าแตกต่างกัน โดยกำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นไดอิเล็กตริก 8 มิลลิเมตร	20
4.3	แสดงมุมสัมผัสของหยดน้ำที่เวลาและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้หม้อแปลงไฟฟ้าแตกต่างกัน โดยกำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นไดอิเล็กตริก 6 มิลลิเมตร	21
4.4	แสดงมุมสัมผัสเมื่อวางชิ้นงานที่อาบพลาสติกทิ้งไว้ 10 วัน	22
4.5	แสดงการเปรียบเทียบค่าความขรุขระของชิ้นงานก่อนและหลังอาบพลาสติก	28

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงส่วนประกอบของพลาสมา	5
2.2	แสดงชนิดของพลาสมาโดยแสดงความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและอุณหภูมิอิเล็กตรอน	7
2.3	แสดงลักษณะหยดน้ำบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน	10
2.4	แสดงมุมสัมผัสของหยดน้ำ	10
2.5	แสดงตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณในสมการยัง (Young's equation)	11
2.6	แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากการพลาสมา	12
2.7	กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	13
3.1	แสดงชิ้นงานยางพาราที่ใช้ในการทำวิจัย	14
3.2	แสดงระบบพลาสมาความดันบรรยากาศ	15
3.3	แสดงการทดสอบการจุดพลาสมา	16
4.1	แสดงการจุดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ	18
4.2	แสดงมุมสัมผัสที่ระยะห่าง 8 มิลลิเมตร	20
4.3	แสดงมุมสัมผัสที่ระยะห่าง 8 มิลลิเมตร	21
4.4	ภาพถ่ายจาก SEM ของแผ่นยางพาราก่อนการอาบพลาสมา	23
4.5	ภาพถ่ายจาก SEM ของแผ่นยางพาราหลังการอาบพลาสมา 30 s	23
4.6	ภาพถ่ายจาก SEM ของแผ่นยางพาราหลังการอาบพลาสมา 60 s	24
4.7	ภาพถ่ายจาก SEM ของแผ่นยางพารากำลังขยาย 1000 เท่า	24
4.8	แสดงโครงสร้างทางเคมีของยางพาราแผ่น	25
4.9	แสดงแบบจำลองการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการพลาสมา	25
4.10	แสดงพีคของ IR ของแผ่นยางพาราก่อนและหลังอาบพลาสมา	26
4.11	ผลการวิเคราะห์ยางพาราก่อนการอาบพลาสมาด้วย AFM	27
4.12	ผลการวิเคราะห์ยางพาราหลังการอาบพลาสมาด้วย AFM	28

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ยางธรรมชาติ (natural rubber) หรือที่รู้จักในนามยางพาราเนื่องจากในอดีตศูนย์กลางการซื้อขายยางอยู่ที่เมืองท่าชื่อพารา (para) ประเทศบราซิล จึงนิยมเรียกจนถึงปัจจุบัน ยางพาราจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีบทบาทต่อการพัฒนาประเทศไทยทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม รวมทั้งความเป็นอยู่ของเกษตรกรที่ปลูกยางพาราที่ปัจจุบันได้มีการขยายพื้นที่ปลูกในหลายภูมิภาค ส่งผลให้เราควรคำนึงการพัฒนาพืชเศรษฐกิจชนิดนี้แบบยั่งยืน แม้ว่าราคายางดิบและยางแผ่นจะมีแนวโน้มการปรับราคาสูงขึ้น แต่กลับพบว่าความต้องการใช้ยางยังน้อยซึ่งมีความเสี่ยงต่อการส่งออกยางในอนาคต ดังนั้นหากมีการเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตที่ได้จากยางธรรมชาติและนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายขึ้น จะสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์และสร้างความสามารถในการแข่งขันได้ ซึ่งพบว่าอุตสาหกรรมยางพาราไทยมีการนำพัฒนาผลผลิตจากยางในสองรูปแบบคือรูปแบบแรกนำน้ำยางข้นส่วนใหญ่ไปผลิตเป็นถุงมือยางและถุงยางอนามัย ส่วนรูปแบบที่สองเป็นการนำน้ำยางสดเป็นยางแท่งได้แก่ ยางแผ่น ยางแท่ง เป็นต้น ซึ่งยางแท่งจะถูกนำไปใช้เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จำพวก ล้อรถยนต์ สายพาน เป็นต้น จากที่กล่าวมาจะพบว่าผลผลิตจากยางจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทั้งรถยนต์และการแพทย์เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของยางสูง ได้แก่ ความยืดหยุ่น (Elasticity), ความอ่อนตัว (Flexibility) ความแข็งแรง (Strength) ความแข็งแรงต่อการล้าตัว (Fatigue resistance) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าผลผลิตจากยางธรรมชาติยังมีข้อจำกัดคือทนต่อความร้อนต่ำ ในขณะที่เดียวกันก็มีความทนต่อน้ำมันต่ำเนื่องจากคุณสมบัติไม่มีขั้วของยางธรรมชาติจากเหตุผลดังกล่าวทำให้ยางธรรมชาติเกิดข้อจำกัดของการนำยางธรรมชาติไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งการปรับปรุงผิวยางธรรมชาติสามารถทำได้ทั้งด้านเคมีและกายภาพ ซึ่งเทคนิคทางเคมีจะใช้กระบวนการที่แตกต่างกันไป เช่น ฮาโลจีเนชัน (Halogenation), กราฟท์ (Grafting) การเชื่อมขวาง (Crosslinking) เป็นต้น ส่วนทางด้านกายภาพสามารถทำได้ด้วยการอบด้วยพลาสมาทั้งในระบบสุญญากาศ และพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ แม้ว่าการปรับปรุงผิวยางส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการทางด้านเคมีแต่เทคนิคนี้ก็จะส่งผลเสียในระยะยาวเนื่องจากเป็นพิษและสร้างมลพิษให้แก่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการนำกระบวนการพลาสมาในระบบสุญญากาศมาใช้ซึ่งมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าและไม่ทำให้คุณลักษณะเดิม (bulk properties) ของผิวยางเปลี่ยนแปลง แต่ก็มีข้อจำกัดเรื่องต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าแบบเคมีเนื่องจากกระบวนการที่ความดันต่ำ

ดังนั้นในการวิจัยนี้พลาสมาที่ความดันบรรยากาศจึงถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงผิวยางธรรมชาติให้มีความชอบน้ำเพิ่มขึ้น โดยหาภาวะและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวยาง โดยพิจารณาจากผลการวัดมุมสัมผัส (Contact angle) และหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปจากการวิเคราะห์ผลจากเครื่องสเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ปล่อยด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray photoelectron: XPS) และเครื่องฟลูออรีทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectroscopy: FTIR)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติของยางหลังจากการปรับปรุงพื้นผิวด้วยพลาสมา
2. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับปรับปรุงผิวชิ้นงานยางพาราโดยกระบวนการพลาสมา

ขอบเขตการวิจัย

1. ใช้กระบวนการพลาสมาที่ความดันบรรยากาศเท่านั้น โดยไม่ใช้สารเคมี
2. หาสถานะที่เหมาะสม โดยปรับพารามิเตอร์ 3 ตัว ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า ช่องว่างระหว่างขั้วพลาสมา และเวลาในการอาบพลาสมา
3. วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscope: SEM) และความขรุขระด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แรงของอะตอม (Atomic Force Microscope: AFM)
4. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปเครื่องสเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ปล่อยด้วยรังสีเอกซ์ (x-ray photoelectron: XPS) และเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectroscopy: FTIR)
5. ถ่ายภาพหยดน้ำด้วยกล้อง CCD และทำการวัดมุมสัมผัส

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

1. พลาสมา คือสถานะที่สี่ของสสาร ซึ่งเกิดจากแก๊สมีสภาพเป็นไอออน ในทางฟิสิกส์สามารถทำให้แก๊สเกิดการแตกตัวเป็นสภาพไอออนได้โดยการให้พลังงานสูงที่มากพอ โดยสถานะพลาสมาจะประกอบไปด้วย อนุภาคประจุบวกประจุลบ อะตอม ไอออน เป็นต้น
2. ระบบพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric plasma) เป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นกับไดอิเล็กตริกภายใต้แรงดันไฟฟ้าสูง ที่ความดันบรรยากาศโดยไม่ต้องจุดพลาสมาในภาชนะปิดที่ภายในเป็นสุญญากาศ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้องค์ความรู้ใหม่ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงพื้นผิวยาง ซึ่งจะนำไปสู่การตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการในระดับนานาชาติ อีกทั้งยังมีผลต่อการยกระดับมาตรฐานงานวิจัยพื้นฐานและงานวิจัยประยุกต์ในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เมื่อโครงการเสร็จสิ้นคาดว่าจะสามารถนำผลจากการวิจัยไปใช้เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป และนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ในภาคเอกชนได้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับยางธรรมชาติ

1. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

เป็นผลผลิตจากน้ำยางสดที่ได้จากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) โดยที่อนุภาคของเม็ดยางเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ซึ่งมีชื่อเคมีว่า โพลีไอโซพรีน (*cis*-1,4-polyisoprene) และน้ำยางที่ได้จะมีสภาพเป็นคอลลอยด์ และขณะสดจะมีสีขาวครีมหรือขาวเหลือง โดยมีความหนืดประมาณ 12-15 เซนติพอยส์ ค่าของความเป็นกรด-เบส (pH) 6.5-7 โดยที่ทั้งนี้ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติที่ได้จากการกรีดยาง ยังพบว่ามีส่วนประกอบชนิดอื่นนอกเหนือจากเนื้อยาง เช่น โปรตีน เรซิน คาร์โบไฮเดรต สารอนินทรีย์ เป็นต้น และนอกจากนั้นปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง จะมีส่วนที่เป็นเนื้อยางประมาณ 33% ซึ่งสัดส่วนของสารที่ประกอบอยู่ในน้ำยางและปริมาณเนื้อยาง พบว่ามีความแตกต่างเมื่อมีปัจจัยของการปลูกต่างกัน เช่น ชนิดพันธุ์ยาง ฤดูและวิธีการกรีดยาง มีผลต่อสัดส่วนของสารประกอบที่อยู่ในน้ำยางด้วย ซึ่งการนำยางธรรมชาติไปใช้งานจะมีทั้งแบบน้ำยางข้นและยางแห้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ยางที่นำไปประยุกต์ใช้

จากโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) ทำใหยางธรรมชาติมีสมบัติต่างๆโดยทั่วไปดังนี้

- ไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เนื่องจากมีโครงสร้างหลักที่ประกอบไปด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน
- มีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่าย เช่น ออกซิเจน โอโซน กำมะถันสำหรับการทำวัลคาไนซ์ เป็นต้น
- สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนไหวหยุกงได้ ทำให้มีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง
- แต่ที่อุณหภูมิต่ำโมเลกุลจะถูกจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบซึ่งทำใหยางมีสภาพแข็งเปราะง่าย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิพบว่ายางจะคืนตัวและเกิดการยืดตัว ซึ่งทำใหยางมีคุณสมบัติที่ดีในด้านความยืดหยุ่น (elasticity) และเมื่อมีแรงภายนอกกระทำพบว่ายางธรรมชาติสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้อย่างรวดเร็วมากกว่ายางสังเคราะห์
- มีความเป็นฉนวนไฟฟ้ามาก สามารถต้านทานไฟฟ้าได้สูงถึง 10^{15} โอห์ม.เซนติเมตร

จากคุณสมบัติของยางธรรมชาติพบว่ายางที่มีพันธะคู่ที่ว่องไวมาก ทำให้เกิดปฏิกิริยากับสารประกอบต่างๆที่อยู่ในบรรยากาศได้ง่ายและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพเร็ว ดังนั้นก่อนการนำยางไปประยุกต์ใช้ ดังนั้นจึงมีการเติมสารเคมีเพื่อยืดอายุของยางธรรมชาติ

2. ยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (Rubber compound)

เพื่อลดข้อจำกัดการเสื่อมสภาพเร็วของยางธรรมชาติ ก่อนนำยางไปใช้งานยางจะผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน (vulcanization) เพื่อให้ยางเป็นยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (rubber compound) ซึ่งทำใหยางคงรูป การทำวัลคาไนซ์จะเป็นกระบวนการที่เติมสารประกอบ เช่น

กำมะถัน(sulfur) สารที่ให้กำมะถันที่อุณหภูมิวัลคาไนซ์ เป็นต้น เพื่อให้เกิดการเชื่อมขวาง (cross linking) ระหว่างโมเลกุลเพื่อให้เกิดโครงสร้างแบบสามมิติและโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของยางดีขึ้น เช่น ความต้านทานแรงดึง(tensile strength) ความแข็ง(hardness) เป็นต้น นอกจากนี้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางเร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพ อาจมีการเติมสารตัวเร่ง (accelerators) เช่น สารในกลุ่มไดไฮโอคาร์บาเมท เป็นต้น นอกจากนี้สามารถเติมสารกระตุ้น (activator) เพื่อเสริมประสิทธิภาพการทำงานของตัวเร่งได้อีกด้วย ในบางอุตสาหกรรมต้องการเพิ่มคุณสมบัติของยาง อาจมีการเติมสารตัวเติม (Fillers) เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเชิงกลของยาง และเติมสารแอนต้ออกซิแดนซ์ (antioxidant) เพื่อยืดอายุการใช้งานของยาง

พลาสมา (Plasma)

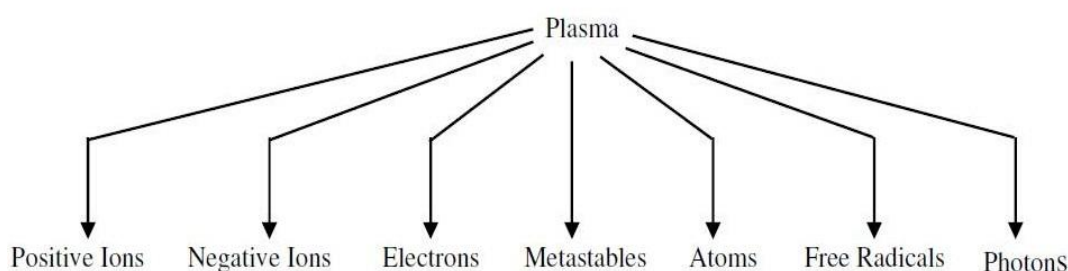
1. ความหมายของพลาสมา

พลาสมา คือ สภาวะที่ก๊าซเกิดการแตกตัว (Ionization) ประกอบด้วย อิเล็กตรอน ไอออน และอนุภาคของก๊าซ ในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ ทำให้โดยรวมแล้วพลาสมายังคงสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า คำนี้ถูกบัญญัติโดย เออร์วิง แลงมัวร์ (Irving Langmuir) ในปี 1928 ใช้เพื่อบรรยายสภาพก๊าซที่ถูกทำให้เป็นไอออนในการดิสชาร์จด้วยไฟฟ้า ดังนั้นจึงถือได้ว่าพลาสมาเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร เนื่องจากมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากสถานะอื่นอย่างชัดเจน หากพิจารณาช่วงเปลี่ยนสถานะ ของแข็ง - ของเหลว - ก๊าซ (solid-liquid-gas) ถ้าเราเพิ่มอุณหภูมิ (คือการให้พลังงานจลน์แก่อนุภาคของก๊าซ) ให้กับก๊าซต่อไปเรื่อยๆ เช่นถึง 20,000 เคลวิน เราจะได้พลาสมาของก๊าซนั้น (อุณหภูมิอาจต่ำกว่าก็ได้ แล้วแต่กลไกการทำให้เป็นไอออนของก๊าซ) พลาสมามีลักษณะพิเศษที่น่าสนใจ เพราะว่าแรงไฟฟ้า ถือเป็นแรงชนิดไกล (Long range force) และอนุภาคของพลาสมาทุกตัวกระทำต่ออนุภาคซึ่งกันและกัน เรียกว่าเป็นพฤติกรรมรวม (Collective behavior) พฤติกรรมรวมนี้หมายถึง การเคลื่อนที่ของอนุภาคในพลาสมา ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับ เงื่อนไขในบริเวณนั้นๆ เท่านั้น แต่เป็นผลโดยรวมจากพลาสมาส่วนใหญ่ มากกว่าจะเป็นผลมาจากการชนกันของอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอนุภาคในพลาสมาที่สถานะสมดุล จะมีการสั่นด้วยความถี่ที่สูงกว่าความถี่ในการชนกันของอนุภาค 2 ตัวที่อยู่ใกล้กัน ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าพฤติกรรมรวมนี้เป็นพฤติกรรมที่กลุ่มพลาสมาแสดงออกมารวมกัน พลาสมาสามารถเกิดได้โดยการให้สนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่ก๊าซที่เป็นกลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอม และทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากซึ่งจะทำให้ก๊าซแตกตัวและกลายเป็นพลาสมา

พลาสมา จัดเป็นสถานะที่สี่ของสสาร ประกอบด้วยสปีชีส์จำนวนมาก เช่น อิเล็กตรอน (Electron) ไอออนบวก (Positive ions) ไอออนลบ (Negative ions) อนุภาคอิสระ (Free radical) อะตอมแก๊ส (Gas atom) โมเลกุล (Molecules) โดยส่วนประกอบพลาสมาแสดงตามภาพที่ 2 ซึ่งพลาสมาที่เกิดขึ้นสามารถทำให้เกิดสถานะพลาสมาได้ทั้งที่ความดันต่ำที่อาศัยระบบสุญญากาศ และพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ โดยทั่วไปการศึกษากระบวนการเกี่ยวกับพลาสมาจะมีตัวแปรที่สำคัญ

หลักๆ คือ อุณหภูมิพลาสมา (Plasma temperature) ซึ่งจะกล่าวถึงอุณหภูมิเฉลี่ยของอิเล็กตรอน หรือไอออนในพลาสมา และความหนาแน่นพลาสมา (Plasma density) ซึ่งอุณหภูมิและความหนาแน่นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิดเช่นกัน เช่น แหล่งจ่ายพลังงาน ความดัน ความเป็นสุญญากาศ ชนิดแก๊สพลาสมา เป็นต้น ซึ่งหากต้องการทราบความหนาแน่นของพลาสมาสามารถคำนวณโดยใช้สมการพื้นฐานคือสมการของโบลต์ซมาน (Boltzmann 's equation)

$$n = n_0 e^{-e\phi/kT} \quad (1)$$



ภาพที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของพลาสมา

2. กระบวนการเกิดพลาสมา

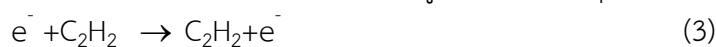
(1) Ionization

ในการเกิดปฏิกิริยาของพลาสมาในห้องสุญญากาศ ซึ่งมีก๊าซไหลผ่านในระดับคงที่และความดันต่ำมากๆ โมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซในสุญญากาศ อาศัยการชนของอิเล็กตรอนกับโมเลกุลหรืออะตอมเป็นสำคัญ โดยคลื่นวิทยุหรือคลื่นไมโครเวฟทำหน้าที่เร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานจนไปชนกับโมเลกุลหรืออะตอมดังสมการที่ (2) ซึ่งในกรณีนี้แสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนนั้นมีค่ามากกว่า Ionization energy



(2) Excitation

พลังงานที่ส่งผ่านเมื่ออิเล็กตรอนกระโดดไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า ทำให้อะตอมนั้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น ซึ่งแสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยกว่า Ionization energy ดังแสดงในสมการที่ (3) โดย $C_2H_2^*$ คืออะตอมของอะเซทิลีนที่อยู่ในสถานะกระตุ้น

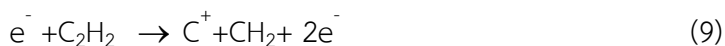


(3) Dissociation

กระบวนการสุดท้ายที่สามารถเกิดขึ้นได้ โดยโมเลกุลเกิดการแตกตัว (Dissociation) ซึ่งโมเลกุลของอะเซทิลีนสามารถเกิดการแตกตัวดังแสดงในสมการ (4)–(8)



ผลของการแตกตัวจะเพิ่มประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี คือ ผลผลิตที่ได้จะมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าตอนที่อะตอมยังไม่แตกตัว การแตกตัว (Dissociation) อาจเกิดควบคู่กับ ionization หรือไม่ก็ได้ ถ้าเกิดคู่กันจะเรียกว่า dissociative ionization ซึ่งโมเลกุลของอะเซทิลีนสามารถเกิดการ dissociative ionization ได้ดังสมการ (9) – (14)

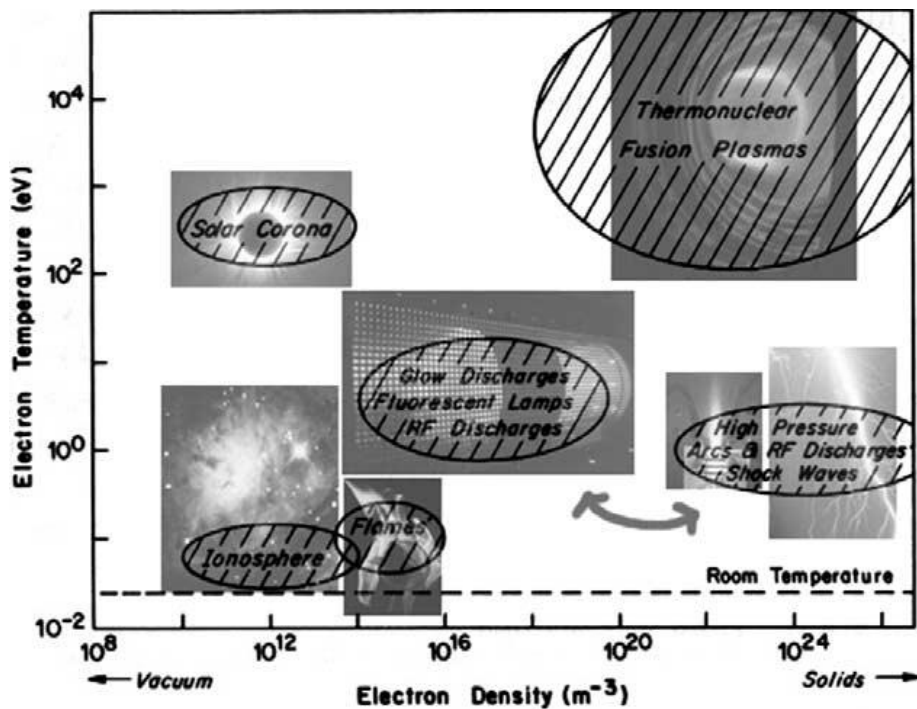


เมื่อก๊าซได้รับพลังงานจากคลื่นวิทยุ (RF) หรือคลื่นไมโครเวฟ ที่ความดันต่ำ เราจะมองเห็นพลาสมาที่เปล่งแสงออกมา เนื่องมาจากพลังงานภายนอกทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนเปลี่ยนจากสถานะพื้นไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น โดยธรรมชาติอิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะกระตุ้นได้เพียง ประมาณ 10-18 s หลังจากนั้นเวเลนซ์อิเล็กตรอนจะกลับคืนสู่สถานะพื้นพร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถเห็นได้ (visible light) การเปล่งแสงของพลาสมาสามารถบ่งถึงลักษณะของก๊าซที่แตกตัวได้ เช่น ก๊าซอาร์กอนจะเปล่งแสงสีม่วง อากาศและก๊าซไนโตรเจนจะเปล่งแสงเป็นสีชมพูซึ่งบ่งบอกถึงสภาวะกระตุ้นโมเลกุลของไนโตรเจน

3. ชนิดของพลาสมา (Classification of plasma)

การแบ่งประเภทของพลาสมาจะขึ้นอยู่กับชนิดของพลังงานที่จ่ายให้กับอะตอมของแก๊สและพลังงานที่ให้กับระบบจะเปลี่ยนเป็นพลาสมา ซึ่งคุณสมบัติของพลาสมาจะมีการเปลี่ยนแปลงและแตกต่างกันในส่วนของความหนาแน่นและอุณหภูมิ ซึ่งหากพิจารณาการแบ่งชนิดของพลาสมาที่อุณหภูมิพลาสมาสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ พลาสมาอุณหภูมิสูง หรือ fusion พลาสมา และ พลาสมาที่อุณหภูมิต่ำ หรือแบบไม่ใช้ความร้อน (non-thermal) ซึ่งการจำแนกส่วนประกอบของพลาสมาที่อุณหภูมิสูงและต่ำ จะแสดงตามตารางที่ 2.1 โดยที่อุณหภูมิสูงพลาสมาสปีชีส์ทุกตัวจะอยู่ในสถานะ thermal equilibrium ซึ่งอุณหภูมิของอิเล็กตรอน (T_e : electron temperature) จะมีค่าเท่ากับ

อุณหภูมิของไอออน (T_i : ion temperature) ส่วนพลาสมาที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิของอิเล็กตรอน (T_e) จะมีความมากกว่า อุณหภูมิของไอออน (T_i) มาก



ภาพที่ 2.2 แสดงชนิดของพลาสมาโดยแสดงความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและอุณหภูมิอิเล็กตรอน ที่มา C. Tendero et al. Acta Part B61 (2006) 2-30

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของพลาสมา

พลาสมา	สถานะ	ตัวอย่าง
พลาสมาที่อุณหภูมิสูง	$T_e \approx T_i \approx T_g, T_p = 10^{-6} - 10^8 \text{ K}$ $N_e \geq 10^{20} \text{ m}^{-3}$	พลาสมาเลเซอร์ฟิวชัน (Laser fusion plasma)
Low temperature plasma (พลาสมาที่อุณหภูมิต่ำ)		
พลาสมา Thermal plasma (Quasi-equilibrium plasma)	$T_e \approx T_i \approx T_g \leq 2 \times 10^4 \text{ K}$ $N_e \geq 10^{20} \text{ m}^{-3}$	Arc plasma, plasma torches, RF inductively coupled discharge
พลาสมา Non-Thermal plasma (Non-equilibrium plasma)	$T_e \gg T_i \approx T_g = 300 \dots \dots \text{K}$ $N_e \approx 10^{10} \text{ m}^{-3}$	Glow, corona, APPJ, DBD, MHCD, OAUGDP, plasma needle etc.

4. การเบรกดาว์นแก๊ส (Electrical breakdown of gases)

เนื่องจากพลาสมาที่ความดันบรรยากาศสามารถทำได้หลายรูปแบบ ทั้งนี้แล้วแต่ระบบในการปล่อยประจุ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเข้าใจและศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและการเบรกดาว์นแก๊ส (Gas break down) ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มความต่างศักย์หรือไฟที่จ่ายเข้าไป แก๊สจะสูญเสียคุณสมบัติไดอิเล็กทริกและนำไปสู่การเป็นคุณสมบัติตัวนำ หรือกล่าวได้ว่าแก๊สเปลี่ยนสภาพการต้านทานไฟฟ้าเป็นสภาพนำไฟฟ้า

ทั้งนี้ยังสามารถหาสมการความสัมพันธ์สำหรับ self-sustaining คือ

$$1 - \gamma(e^{ad} - 1) = 0$$

$$e^{ad} = \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right)$$

โดยปกติการเบรกดาว์นความต่างศักย์ในแก๊ซดิสชาร์จ สามารถอธิบายโดยใช้กฎของ Paschen law ซึ่งจะเห็นได้จากสมการ (15) และ (16) ว่าการ Breakdown voltage ซึ่งขึ้นอยู่กับผลของ pd

$$V_b = \frac{B_{pd}}{\left\{ \ln(Apd) - \ln \left[\ln \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right) \right] \right\}} \quad (15)$$

$$V_B = f(pd) \quad (16)$$

5. พลาสมาที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric plasma)

พลาสมาที่ความดันบรรยากาศ หมายถึง การทำให้เกิดสถานะพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ หรือใกล้เคียงความดันบรรยากาศ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ระบบสุญญากาศช่วยในการจุดพลาสมาซึ่งพลาสมาที่ความดันบรรยากาศยังแบ่งเป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ติดตั้ง ลักษณะการเกิด ดิสชาร์จหรือการปล่อยประจุ เช่น thermal torch, plasma arc, corona discharge, DBD เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเภทสามารถปรับปรุงพื้นผิวโดยตรง หรืออาศัย species ที่เกิดขึ้นจากการไอออไนซ์ ทำปฏิกิริยากับสาร หรือสิ่งที่ใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาและได้โครงสร้างทางเคมีใหม่บนพื้นผิวชิ้นงาน จากการแบ่งประเภทของพลาสมาที่กล่าวในหัวข้อ 3 เราจะพบว่าพลาสมาที่ความดันบรรยากาศมีทั้งชนิด thermal-plasma และ non-thermal plasma ซึ่งจะกล่าวเฉพาะแบบ non-thermal plasma ซึ่งได้แก่ โคโรนาดิสชาร์จ (corona discharge) แบบไดอิเล็กทริก DBD (dielectric barrier) APPJ, Atmospheric glow MHCD ตามแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งแต่ชนิดของอุปกรณ์จะใช้แหล่งจ่ายพลังงานที่แตกต่างกัน โดยแบบโคโรนาดิสชาร์จจะใช้ pulsed DC และ DBD ใช้กระแสไฟฟ้าสลับ(AC) หรือคลื่นความถี่วิทยุ (rf) เป็นต้น

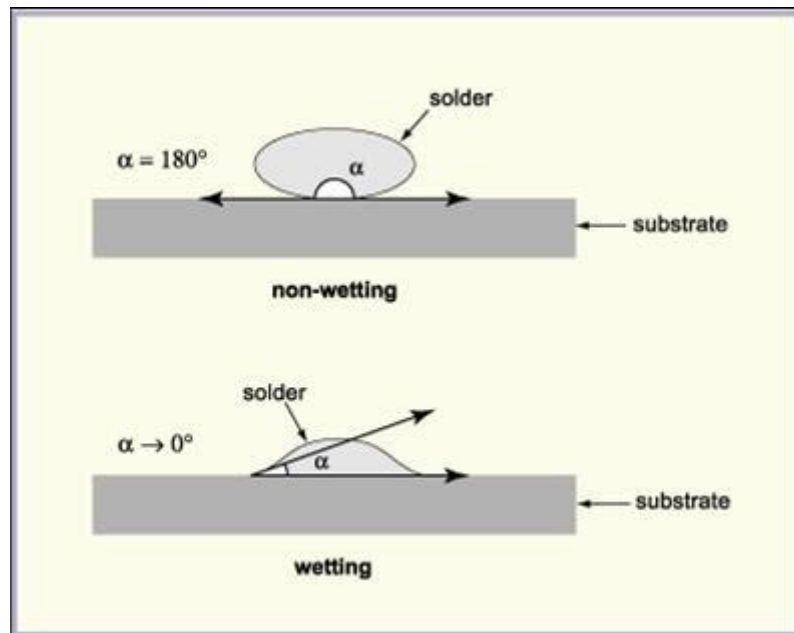
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของพลาสมาที่ดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ

พารามิเตอร์	โคโรนาดิสชาร์จ (Corona discharge)	ไดอิเล็กทริกแบริเออร์ ดิสชาร์จ(Dielectric barrier discharge: DBD)	พลาสมาความ ดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure plasma Jet: APPJ)	Atmospheric glow MHCD
กระบวนการ และชนิด	Sharply pointed electrode	Dielectric barrier cover on electrodes	RF capacitively coupled	DC glow with micro hollow cathode electrode
Excitation	Pulsed DC	AC หรือ RF	RF 13.5 MHz	DC
Pressure(bar)	1bar	1 bar	760 torr	1 bar
Electron energies (eV)	5 variable	1-10	1-2
Electron Density,cm ⁻³	10 ⁹ -10 ¹³ variable	≈10 ¹² -10 ¹⁵	10 ¹¹ -10 ¹²	
Breakdown Voltage (kV)	10-50	5-25	0.05-0.2
Scalability& Flexibility	No	Yes	Yes	Yes
T _{max} Temp T(K)	Room	Average gas Temp (300)	400	2000
Gas	N ₂ ⁺ O ₂ ⁺ NO+ Rare gas/Rare gas halides	Helium, Argon	Rare gas Rare gas halides

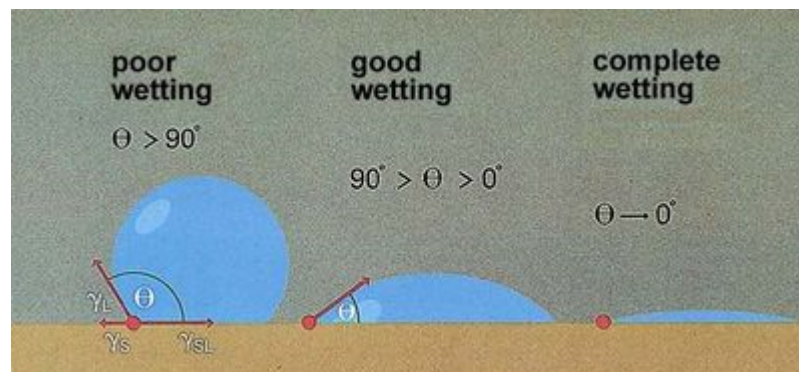
การวัดและคำนวณมุมสัมผัส

การวัดผิววัสดุที่มีสมบัติชอบน้ำมากน้อยเพียงใด สามารถวัดได้จากการสังเกตรูปทรงหยดน้ำบนผิววัสดุนั้น เช่น หากหยดน้ำมีลักษณะค่อนข้างแบน ไม่โค้งนูนมาก แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำหรือเปียกน้ำง่าย ในทางตรงข้ามหากหยดน้ำมีลักษณะเป็นเม็ดนูนเด่นชัดแสดงว่า ผิววัสดุมีสมบัติไม่ชอบน้ำมากหรือเปียกน้ำยาก แต่การจำแนกสมบัติความชอบน้ำไม่ชอบน้ำของพื้นผิววัสดุในเชิงวิชาการจะใช้ค่ามุมสัมผัส (contact angle) ระหว่างผิวหยดน้ำกับผิววัสดุเป็นตัวบอก โดยจากภาพที่ 2.3 แสดงหยดน้ำที่พื้นผิวต่างกัน และภาพที่ 2.4 แสดงมุมสัมผัสของหยดน้ำแบบต่างๆ โดยที่หากหยดน้ำกับวัสดุมีมุมสัมผัสระหว่างผิวน้อยกว่า 90 องศา แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำหรือเป็นผิวไฮโดรฟิลิ

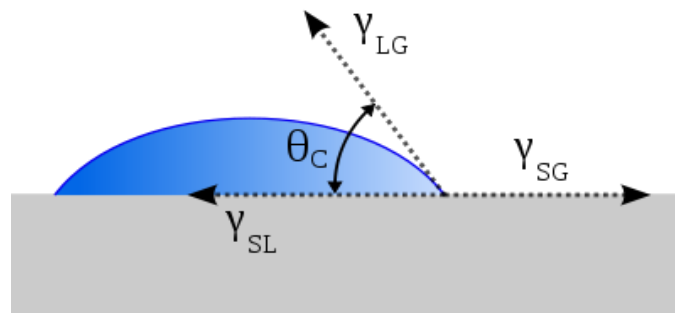
ลิก (hydrophilic) ถ้ามุมสัมผัสระหว่างผิวอยู่ระหว่าง 90 - 150 องศา แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือผิวไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) และถ้าหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่ามุมสัมผัสระหว่างผิวตั้งแต่ 150 - 180 องศา แสดงว่าผิววัสดุนั้นมีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวดหรือเป็นผิวซูเปอร์ไฮโดรโฟบิก (super hydrophobic)



ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะหยดน้ำบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2.4 แสดงมุมสัมผัสของหยดน้ำ



ภาพที่ 2.5 แสดงตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณในสมการยัง (Young's equation)

การเกาะติด (Attachment) ของหยดน้ำกับพื้นผิวชิ้นงานจะแสดงถึงความคงตัวได้ในลักษณะของมุมสัมผัส (θ , Contact Angle) ตามภาพที่ 2.5 สามารถแสดงโดยสมการของยัง (Young's Equation) ดังนี้คือ

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta \quad (17)$$

เมื่อ θ คือ มุมสัมผัส

γ_{SG} คือ ความตึงผิวระหว่างผิวของของแข็งและอากาศ

γ_{SL} คือ ความตึงผิวระหว่างผิวของของแข็งและของเหลว

γ_{LG} คือ ความตึงผิวระหว่างผิวของของเหลวและอากาศ

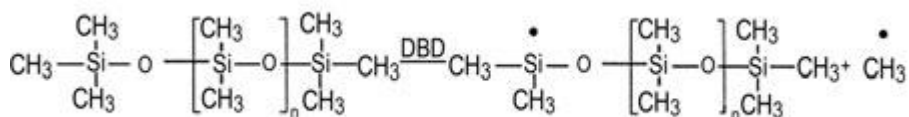
การปรับปรุงผิวชิ้นงานด้วยกระบวนการพลาสมา

การปรับปรุงผิวด้วยกระบวนการพลาสมานั้น สามารถทำให้ผิวชิ้นงาน เช่น โลหะ พลาสติก แก้ว หรือพอลิเมอร์ มีทั้งความไม่ชอบน้ำและชอบน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสมาแก๊สที่ใช้ เช่น แก๊ส CH_4 เมื่อแตกตัวในพลาสมาจะสามารถทำให้เกิด fluoric groups ซึ่งสามารถแสดงสมบัติ hydrophobic บนตัวอย่างชิ้นงาน เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติพื้นผิวมีความชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นนั้น สามารถพิจารณาจากค่าการวัดมุมสัมผัส (contact angle: CA) ที่เปลี่ยนไปหลังจากผ่านกระบวนการอาบด้วยพลาสมา โดยผิวชิ้นงานที่มีความชอบน้ำ $\text{CA} < 90^\circ$ พื้นผิวไม่ชอบน้ำจะวัดมุมสัมผัสได้ $\text{CA} > 90^\circ$ และพื้นผิวที่มีความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (super hydrophobic) $\text{CA} > 180^\circ$

ปฏิกิริยาเคมีของพลาสมา

ในสถานะพลาสมาที่ประกอบไปด้วยอนุภาคที่พลังงานมาก เช่น ไอออน อิเล็กตรอน หรือโปรตอน ซึ่งสามารถถ่ายพลังงานให้กับโมเลกุลหรืออะตอมของสสารที่สัมผัสอยู่กับพลาสมาได้ ทำให้อะตอม หรือโมเลกุลของสสารเหล่านี้หลุดออกจากตำแหน่งเดิมไป หรือทำให้พันธะระหว่างอะตอมในสสารถูกทำลาย ส่งผลให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุล หรือการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลใหม่

เป็นโครงสร้างใหม่ เช่น การโพลีเมอร์ไรเซชันหรือการเชื่อมกับโมเลกุล สมบัติของวัสดุหรือสารเหล่านี้จึงถูกปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น ผ้าไหม เมื่อถูกปรับสภาพด้วยพลาสมาของอาร์กอนจะสามารถซึมซับน้ำได้ดีขึ้น โครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังที่จับแน่น กันมากขึ้น ลดการดูดกลืนความชื้น ช่วยยืดอายุการจำหน่ายหรือการเก็บรักษาให้ยาวขึ้น



ภาพที่ 2.6 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากการพลาสมา

นอกจากนี้พบว่ากลุ่มสารประกอบจำพวกซิลิโคน ภาพที่ 2.6 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากที่โมเลกุล polydimethyl siloxane molecule หลังจากที่ผ่านมากระบวนการพลาสมาแบบ DBD ซึ่งจะพบว่าโพลีไดเมทิลไซโลเซนหลังจากผ่านการอาบพลาสมาทำให้เกิด $-\text{CH}_3$ และ $(\text{CH}_3)_3\text{SiO}[\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{O}]_n\text{Si}(\text{CH}_3)_2^+$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Li และคณะ (2007) ใช้พลาสมาแก๊ส hexafluoropropene (C_3F_6) ที่เงื่อนไขต่างๆ บนผิวผ้าไหมและผ้าฝ้ายพบว่าเมื่อหลังการอาบด้วยพลาสมา ผลการตรวจสอบผิวชิ้นงานแสดง หมู่ของ $-\text{CF}$, $-\text{CF}_2$, CF_3 บนผิวผ้าทั้งสองชนิด และมุมสัมผัสเพิ่มขึ้นเป็น 122 องศา สำหรับผ้าไหม และ 127 องศา สำหรับผ้าฝ้าย เมื่ออาบพลาสมาเป็นระยะเวลา 10 นาที

Mudtorlep และคณะ (2009) ได้ใช้กระบวนการพลาสมาโพลีเมอร์ไรเซชัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเมมเบรนให้มีคุณสมบัติดีขึ้น โดยพิจารณาความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำที่เปลี่ยนไป หลังจากการอาบด้วยพลาสมา โดยกระบวนการพลาสมาใช้แหล่งกำเนิดพลังงานด้วยคลื่นวิทยุ ผลการวิจัยพบว่าอาบพลาสมาด้วย C_2H_2 บนเซลล์ลูโลสเมมเบรนทำให้ผิวมีความชอบน้ำมากขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้แทน CH_4 หรือ SF_6 ซึ่งใช้สำหรับปรับปรุงความชอบน้ำ เนื่องจาก C_2H_2 มีราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องตลาด

Wang และคณะ (2000) ได้ทำการปรับปรุงผิวฟิล์มลาเท็กซ์จากยางธรรมชาติโดยการกราฟต์โคพอลิเมอร์ (graft copolymerization) เพื่อให้ผิวของยางมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น โดยมีการอาบด้วยพลาสมาจากแก๊สอาร์กอน ก่อนทำการกราฟต์ด้วย acrylamide (AAM) หรือ 2,2,3,3,4,4-heptafluorobutyl acrylate (HFA) พบว่าเมื่ออาบพลาสมานานขึ้นและความเข้มข้นของ HFA มากขึ้น จะทำให้ความไม่ชอบน้ำเพิ่มมากขึ้นโดยวัดมุมสัมผัสได้ 109 องศา

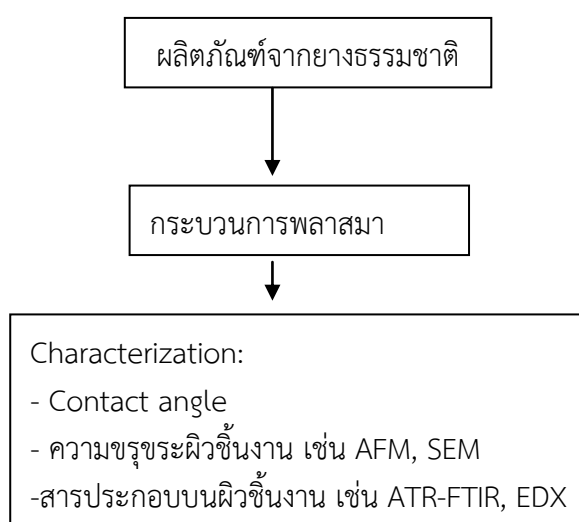
Basak และคณะ (2011) ได้ปรับปรุงผิวยางวัลคาไนซ์ EPDM โดยใช้แก๊สอาร์กอนและออกซิเจนในการแตกตัวให้อยู่ในสภาพพลาสมา และพบว่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแก๊สที่ใส่เข้าไป เวลาที่ใช้ในการอาบพลาสมาของชิ้นงานยาง ปริมาณของแก๊สอาร์กอน มีผลต่อการเกิดหมู่ฟังก์ชันบน

พื้นผิวยางเมื่อทดสอบด้วย ATR-FTIR และเมื่อทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันบนผิวชิ้นงานในระดับ 0-10 นาโนเมตร โดยใช้ XPS พบว่า พันธะ C-C และ C-H ลดลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจาก 50-100 W นอกจากนี้พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอาร์กอนในภาชนะสุญญากาศพบว่าพื้นผิวชิ้นงานมีความขรุขระสูงเนื่องจากไอออนของอาร์กอนที่ชน (ion bombardment) ผิวชิ้นงานยาง ในกระบวนการอาบด้วยอาร์กอนและออกซิเจนพลาสมา พบว่ามีคุณสมบัติ adhesion strength และผิวชิ้นงานมีสภาพมีขี้ขี้เกิดขึ้นเนื่องจากมีหมู่ออกซิเจนเกิดขึ้นบนชิ้นงานเมื่อ ทดสอบด้วย ATR-IR และ XPS

Gao และคณะ (2011) ใช้แก๊ส CF_4 แดกตัวในสถานะพลาสมาด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (rf) และอาบผิวยางซิลิโคน (silicone rubber: SIR) โดยใช้กำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ ในเวลา 5 นาที พบว่าค่า contact angle มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 100.7 องศา เป็น 150.2 องศา ซึ่งแสดงความไม่ชอบน้ำของชิ้นงาน นอกจากนี้การอาบด้วยพลาสมาที่กำลังไฟฟ้าสูง 200 W พบว่าผิวของตัวอย่างชิ้นงานมีความขรุขระสูงโดยตรวจสอบด้วย AFM

Fang Zhi (2007: Abstract) ทำการพัฒนาพื้นผิวกระจกให้มีความไม่ชอบน้ำ โดยใช้ non-thermal plasma โดยใช้พลาสมาที่ความดันบรรยากาศแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ เจ็อนไซของพลาสมาจะพิจารณาจากความต่างศักย์และเวลาที่ใช้ในการอาบพลาสมา ซึ่งจากการทดลองพบว่าหลังจากฉีดผิวกระจกด้วยซิลิโคนเหลวและนำไปอาบพลาสมา พบว่าความไม่ชอบน้ำจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ของ DBD และระยะเวลาในการอาบพลาสมา และจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า CH_3 และโมเลกุลอิสระสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ (Radicals) บนพื้นผิวกระจกและแทนที่ OH และเกิดความไม่ชอบน้ำบนผิวกระจก

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



ภาพที่ 2.7 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาด้านอิทธิพลของพลาสมาที่ส่งผลต่อความชอบน้ำของยางพาราแผ่น โดยสมบัติต่างๆ ของยางพาราหลักจากผ่านกระบวนการอบพลาสมาที่เงื่อนไขต่างๆ ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย ลักษณะโครงสร้าง (Morphology) วิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบหลักทางเคมี ความขรุขระ (roughness) มุมสัมผัส (Contact angle)

วัตถุดิบ

แผ่นยางสีขาว จากบริษัทเวสทาร์เอ็นจิเนียริง จำกัด กว้าง X ยาว 1 เมตรหนา 3 มิลลิเมตร และนำมาตัดให้มีขนาด กว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 12.5 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.1 แสดงชิ้นงานยางพาราที่ใช้ในการทำวิจัย

วัสดุอุปกรณ์

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงได้ดังรายการต่อไปนี้

3.2.1.1 สารเคมีที่ใช้

- อะซิโตน (Acetone)
- เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol)
- น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Deionized water)
- ก๊าซชนิดต่างๆ ได้แก่ อาร์กอน, ไนโตรเจน

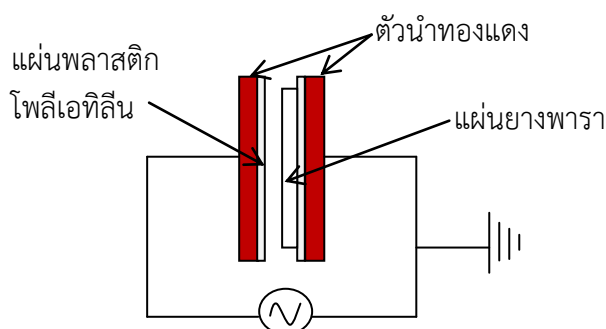
3.2.1.2 วัสดุอุปกรณ์สำหรับเครื่องพลาสมา

- หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงขนาด 40 วัตต์
- ออสซิลโลสโคป
- ตัวเก็บประจุ
- ตัวปรับกระแส
- แผ่นทองแดงสำหรับขั้ว DBD

- ไม้อัดสำหรับฐานขั้วไฟฟ้า
- ฟิวส์

3.2.1.3 วัสดุอุปกรณ์อื่นๆ

- แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน (polyethylene film)
- ไตรเป่าผสมลมเย็น
- ปีกเกอร์
- นาฬิกาจับเวลา



ภาพที่ 3.2 แสดงระบบพลาสมาความดันบรรยากาศ

เครื่องมือวิเคราะห์

1. วิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบหลักทางเคมี โดยเครื่อง Spectrum One FT-IR Spectrometer (Perkin Elmer) เทคนิค Attenuated Total Reflectance (ATR) ผลึก ZnSe แหล่งกำเนิดแสงช่วง Middle range infrared ($4000-650\text{ cm}^{-1}$) Resolution: 4 cm^{-1}
2. วิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวในระดับจุลภาคด้วยเทคนิค SEM ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410 โดยมีอุปกรณ์ตรวจวัดอิเล็กตรอนแบบทุติยภูมิ (secondary electron) และยังต่อกับอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ธาตุของบริษัท Oxford รุ่น INCA 300
3. วิเคราะห์พื้นผิวและความขรุขระด้วย Atomic Force Microscope (AFM)
4. การศึกษาคุณสมบัติไม่ชอบน้ำของฟิล์มบางด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle measurement)

วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอนโดยมีรายละเอียดดังนี้

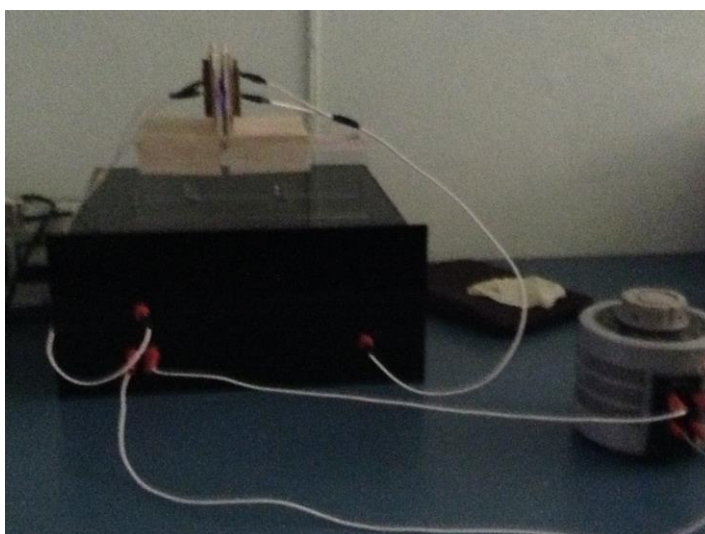
ตอนที่ 1 การออกแบบและสร้างเครื่องพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ

พัฒนาอุปกรณ์พลาสมาชนิดดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ โดยทำการศึกษารูปแบบอุปกรณ์ และชนิดการปล่อยประจุของพลาสมาแบบความดันบรรยากาศ และเลือกแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ออกแบบรูปแบบของอุปกรณ์ การนำแก๊สเข้าระบบ และส่วนสำหรับวางชิ้นงาน โครงสร้างของ DBD มีการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าทองแดงแบบแผ่นวางขนานกัน และมีวัสดุไดอิเล็กทริก (Dielectric material) กั้นอยู่ระหว่างแผ่นทองแดง โดยงานวิจัยนี้ใช้พลาสติกแผ่นใสเป็นไดอิเล็กทริก ซึ่งจะช่วยลดการสัมผัสกับพลาสมาโดยตรงและป้องกันสีกร่อนของขั้วไฟฟ้า และป้องกันการเกิดการ arcing ที่แรงดันไฟฟ้าสูง การออกแบบจะเริ่มจากการออกแบบวงจรโดยใช้หม้อแปลงกระแสสลับแรงดันไฟสูงต่อเข้ากับตัวเก็บประจุ เมื่อได้วงจรเรียบร้อยแล้วจะนำไปติดตั้งกับกล่องอะคริลิก หลังจากติดตั้งวงจรเรียบร้อยแล้วแผ่นทองแดงขนาดเท่ากันเพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับระบบโดยแผ่นทองแดงที่ได้จะถูกยึดติดกับแผ่นไม้อัดซึ่งใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า

ตอนที่ 2 การศึกษาและทดสอบเครื่องพลาสมา

ทำการทดสอบการจุดพลาสมา และศึกษาพารามิเตอร์ ชนิดของสปีชีส์ที่ได้จากพลาสมา โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ติดตั้งระบบวงจรกับแผ่นขั้วไฟฟ้าทองแดง
2. นำหม้อแปลงแบบปรับค่าต่อเข้ากับแผ่นขั้วไฟฟ้าทั้งสอง
3. ทดสอบระยะห่างระหว่างแผ่นทองแดงทั้งสอง เพื่อหาระยะที่เหมาะสมในการจุดพลาสมา และไม่เกิดการ Arcing



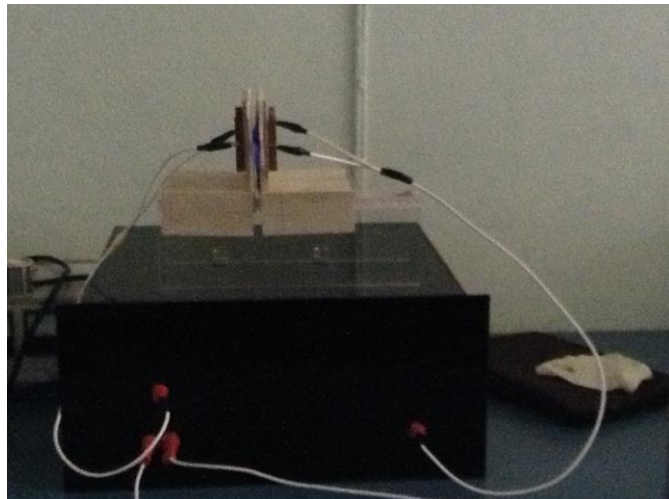
ภาพที่ 3.3 แสดงการทดสอบการจุดพลาสมา

ตอนที่ 3 การศึกษาการนำเครื่อง DBD ไปใช้ในการอาบพลาสมากับแผ่นยางพารา

1. นำชิ้นงานที่ตัดเรียบร้อยแล้วไปทำความสะอาด
2. ล้างชิ้นงานด้วยอะซิโตนด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 480 วินาที หลังจากนั้นเป่าให้แห้ง
3. ล้างชิ้นงานด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 480 วินาที
4. ล้างชิ้นงานอีกครั้งด้วยน้ำสะอาด เป่าให้แห้งด้วยลมเย็น
5. ศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงผิวแผ่นยางพารา และทำการทดลอง โดยปรับเปลี่ยนเงื่อนไขต่างๆ เช่น กำลังไฟฟ้า ความดัน เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับแผ่นยางพาราให้มีความชอบน้ำมากที่สุด
6. ทดสอบการจุดพลาสมาเพื่อหาระยะห่างที่เหมาะสมของช่องว่างระหว่างแผ่นขั้วไฟฟ้าทั้งสอง โดยพิจารณาที่ระยะห่าง 5 มิลลิเมตร, 8 มิลลิเมตร, 11 มิลลิเมตรตามลำดับ สังเกตการเกิดพลาสมาในแต่ละระยะห่างและเลือกระยะที่พลาสมามีความสม่ำเสมอที่สุดใช้ในการทดลอง
7. ศึกษาวิเคราะห์หาผลจากการอาบพลาสมา โดยวัดมุมสัมผัสที่ได้ พื้นผิวและโครงสร้างส่วนประกอบของพื้นผิวแผ่นยางพารา ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

บทที่ 4 ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของพลาสมาที่ส่งผลต่อความชอบน้ำของยางพาราแผ่น โดยกระบวนการพลาสมาที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้ใช้ระบบพลาสมาที่ความดันบรรยากาศแบบไดอิเล็กทริกดิสชาร์จ โดยทำการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของการพลาสมาได้แก่ 1) ความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหม้อแปลงเพื่อใช้ในการสแตปอ์พความต่างศักย์ให้เพียงพอสำหรับการจุดพลาสมา คือ 160 โวลต์ , 180 โวลต์, 200 โวลต์ 2) ระยะห่างระหว่างแผ่นไดอิเล็กทริก โดยศึกษาอิทธิพลความชอบน้ำของแผ่นยางพารา เมื่อระยะห่างของแผ่นไดอิเล็กทริก 6 มิลลิเมตร และ 8 มิลลิเมตร 3) เวลาที่ใช้ในการจุดพลาสมา คือ 5 , 10 ,15 วินาที โดยในแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะมีการจัดตั้งอุปกรณ์เพื่อจุดพลาสมาดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงการจุดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ

โดยเมื่อชิ้นงานยางพาราได้ผ่านการอบพลาสมาที่เงื่อนไขพลาสมาต่างๆ คณะผู้วิจัยได้นำชิ้นงานไปศึกษาด้วยกระบวนการวิเคราะห์เทคนิคต่างๆ ได้แก่ การวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angle measurement) เพื่อศึกษาความไม่ชอบและชอบน้ำ เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared: FTIR) โดยวิเคราะห์ในโหมด ATR เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพันธะของชิ้นงานหลังจากมีการอบพลาสมา การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope; AFM) เพื่อศึกษาความขรุขระของชิ้นงาน การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Scanning electron microscope: SEM)

ผลการวิเคราะห์มุมสัมผัสของเงื่อนไขพลาสติกต่างๆ

การวัดมุมสัมผัสของการวิจัยในครั้งนี้ ได้ใช้เครื่องมือการวัดมุมสัมผัสที่คณะวิจัยได้ทำการประกอบเองโดยใช้กล้อง CCD ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาและมีกล้องสำหรับวางชิ้นงาน พร้อมทั้งแท่นวางหลอดหยดน้ำเหนือชิ้นงาน โดยเงื่อนไขที่ผู้ทำการวิจัยได้นำมาศึกษาเพื่อหามุมสัมผัสคือชิ้นงานแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลองตามแสดงตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงเงื่อนไขการทดลองพลาสติกต่างๆ ที่นำมาวิเคราะห์มุมสัมผัส

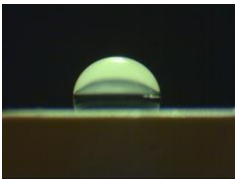
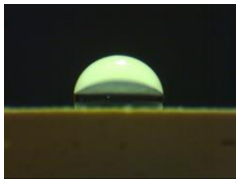
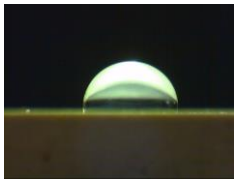
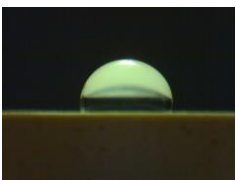
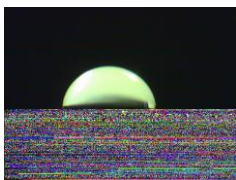
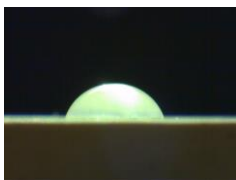
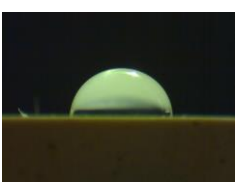
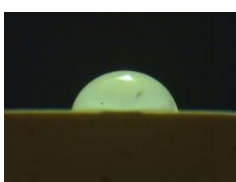
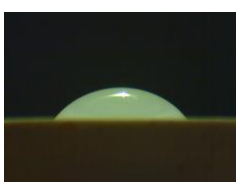
ชุดการทดลอง	ความต่างศักย์ที่จ่าย(V)	เวลาที่ใช้ในการอาบพลาสติก (s)	ระยะห่างระหว่างแผ่นไดอิเล็กตริก (mm)
1	160, 180, 200	5,10,15	8
2	160, 180, 200	5,10,15	6

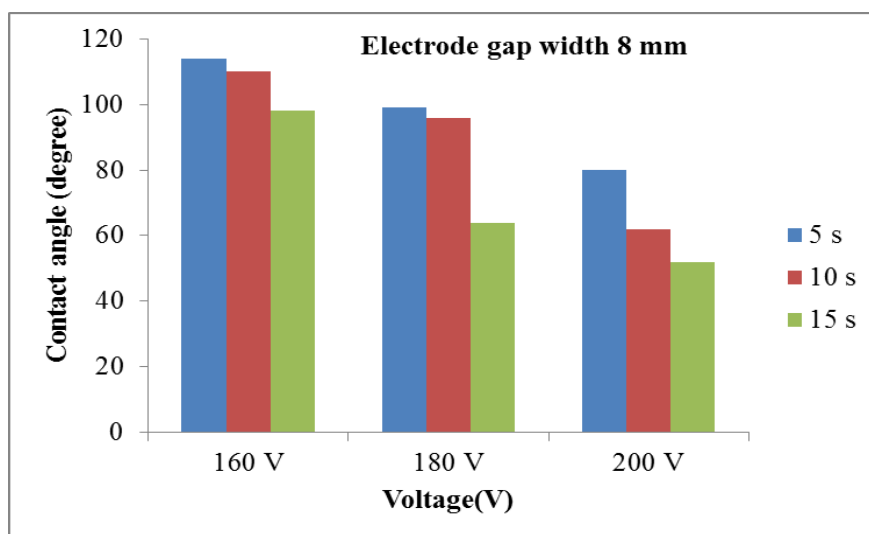
ผลการทดลองมุมสัมผัสชุดการทดลองที่ 1

จากตาราง 4.1 พบว่าที่ความต่างศักย์ที่จ่ายให้หม้อแปลง 160 โวลต์ และระยะห่างแผ่นไดอิเล็กตริก (d) 8 มิลลิเมตร พบว่ามุมสัมผัสเฉลี่ยมีค่าลดลง 114 องศา, 110 องศา, 98 องศา เมื่อระยะเวลาในการอาบพลาสติกเพิ่มขึ้นจาก 5, 10,15 วินาทีตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ที่จ่ายเป็น 180 V พบว่าที่เวลาในการอาบพลาสติกที่ต่างกัน มุมสัมผัสมีค่าลดลงตามลำดับ (99° , 96° , 64°) โดยพบว่าที่ระยะห่าง (d) มีค่า 8 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ขาเข้าที่จ่ายหม้อแปลง 200 โวลต์ พบว่ามุมสัมผัสเฉลี่ยมีค่าลดลง มากสุด คือ 55 องศา เมื่อแผ่นยางพาราอาบพลาสติกที่เวลา 15 วินาที

จากตารางที่ 4.2 แสดงมุมสัมผัสเฉลี่ยและภาพหยดน้ำ เมื่อปรับระยะห่าง d เป็น 6 มิลลิเมตร และทำการศึกษาผลของความต่างศักย์ขาเข้า 160 โวลต์, 180 โวลต์ และ 200 โวลต์ ที่ช่วงเวลาการอาบพลาสติกต่างๆ พบว่าความต่างศักย์ที่ขาเข้า 160 โวลต์ และ 180 โวลต์ ที่เวลาอาบพลาสติก 5,10,15 วินาที ทำให้มุมสัมผัสเฉลี่ยลดลงไม่มีค่าแตกต่างกันมาก (ภาพที่ 4.3) แต่เมื่อความต่างศักย์ขาเข้ามีค่า 200 โวลต์ พบว่ามุมสัมผัสเฉลี่ยมีค่าลดลงมีค่ามุม 22 องศา เมื่ออาบพลาสติกนาน 15 วินาที (ภาพที่ 4.3)

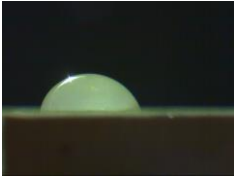
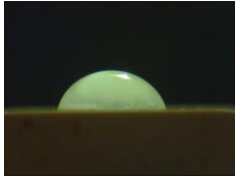
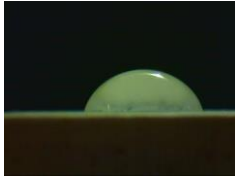
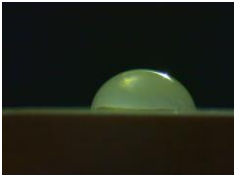
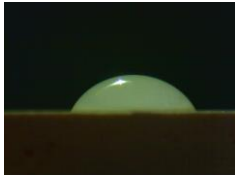
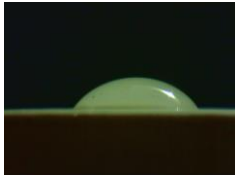
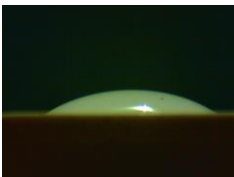

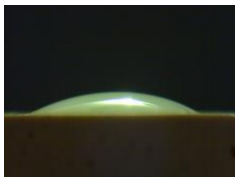
ตารางที่ 4.2 แสดงมุมสัมผัสของหยดน้ำที่เวลาและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้หม้อแปลงแตกต่างกัน โดยที่กำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นไดอิเล็กตริก 8 มิลลิเมตร

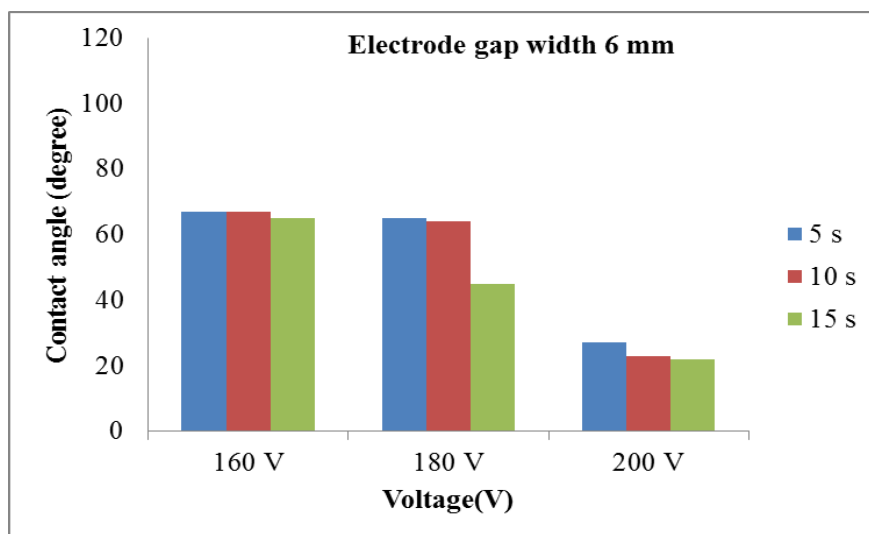
	เวลาที่ใช้ในการอาบพลาสมา (วินาที)		
	5	10	15
$V_{\text{input}}=160 \text{ V}$	 มุมเฉลี่ย = 114°	 มุมเฉลี่ย = 110°	 มุมเฉลี่ย = 98°
$V_{\text{input}}=180 \text{ V}$	 มุมเฉลี่ย = 99°	 มุมเฉลี่ย = 96°	 มุมเฉลี่ย = 64°
$V_{\text{input}}=200 \text{ V}$	 มุมเฉลี่ย = 80°	 มุมเฉลี่ย = 62°	 มุมเฉลี่ย = 52°



ภาพที่ 4.2 แสดงมุมสัมผัสที่ระยะห่าง (d) 8 mm

ตารางที่ 4.3 แสดงมุมสัมผัสของหยดน้ำที่เวลาและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้หม้อแปลงแตกต่างกัน โดยที่กำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นไดอิเล็กตริก 6 มิลลิเมตร

	เวลาที่ใช้ในการอาบพลาสมา (วินาที)		
	5	10	15
$V_{input}=160\text{ V}$	 มุมเฉลี่ย = 67°	 มุมเฉลี่ย = 67°	 มุมเฉลี่ย = 65°
$V_{input}=180\text{ V}$	 มุมเฉลี่ย = 65°	 มุมเฉลี่ย = 64°	 มุมเฉลี่ย = 45°
$V_{input}=200\text{ V}$	 มุมเฉลี่ย = 27°	 มุมเฉลี่ย = 23°	 มุมเฉลี่ย = 22°

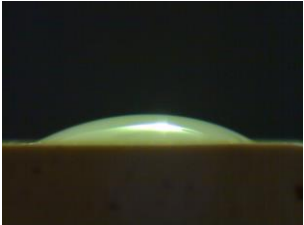
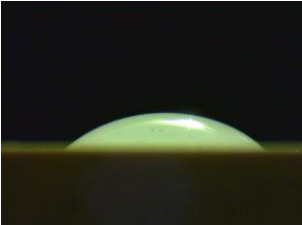
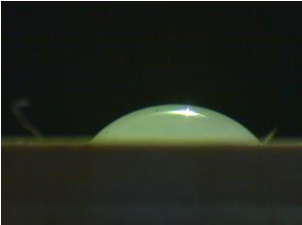
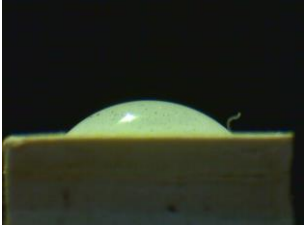
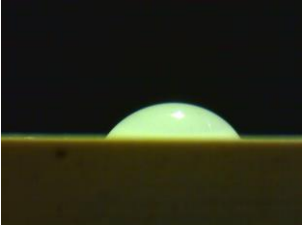
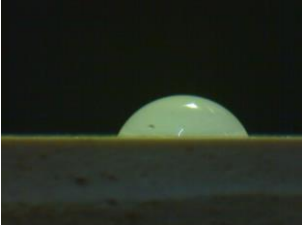


ภาพที่ 4.3 แสดงมุมสัมผัสที่ระยะห่าง (d) 6 mm

การศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาต่อชิ้นงานที่ผ่านการอบพลาสมา

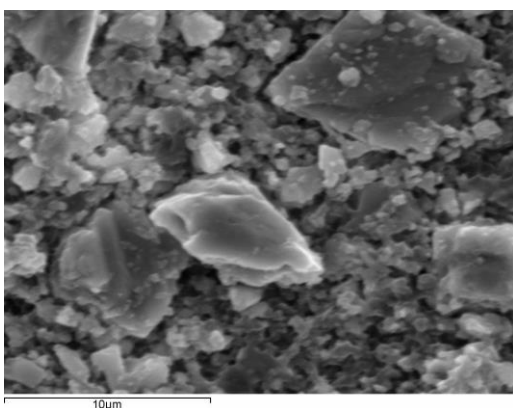
ในการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ คณะวิจัยได้เลือกพลาสมาเจ็อนไซที่มุมสัมผัสของหยดน้ำน้อยที่สุด โดยเลือกเจ็อนไซการอบพลาสมาที่เวลา 15 วินาที ระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด 6 มิลลิเมตร และความต่างศักย์ไฟฟ้าขาเข้าที่จ่ายให้หม้อแปลง 200 โวลต์ พบว่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน ดังแสดงตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงมุมสัมผัสเมื่อวางชิ้นงานที่อบพลาสมาทิ้งไว้ 10 วัน

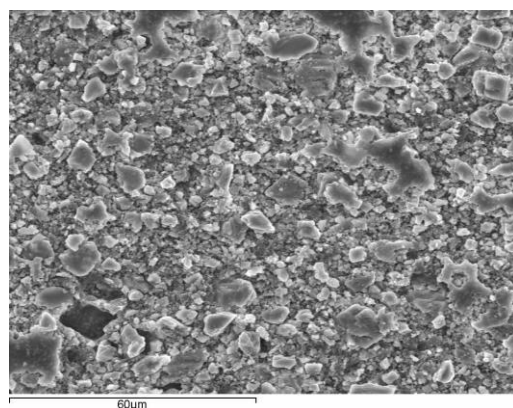
ควบคุม	2 วัน	4 วัน
		
มุมสัมผัสเฉลี่ย = 22°	มุมสัมผัสเฉลี่ย = 30°	มุมสัมผัสเฉลี่ย = 35°
6 วัน	8 วัน	10 วัน
		
มุมสัมผัสเฉลี่ย = 40°	มุมสัมผัสเฉลี่ย = 50°	มุมสัมผัสเฉลี่ย = 56°

ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

ในการวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาของแผ่นยางพาราเมื่อผ่านการอบพลาสมา โดยใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy) จากภาพที่ 4.4 พบว่าก่อนการอบพลาสมาพื้นผิวของยางพาราไม่เรียบและมีเศษชิ้นส่วนขนาดใหญ่กระจายบนผิวยางพารา เมื่อทำการอบด้วยพลาสมา 30 วินาที เศษหรือชิ้นส่วนที่ติดบนพื้นผิวของแผ่นยางพาราหลุดไป เหลือพื้นผิวที่มีความละเอียดมากขึ้น (ภาพที่ 4.5)

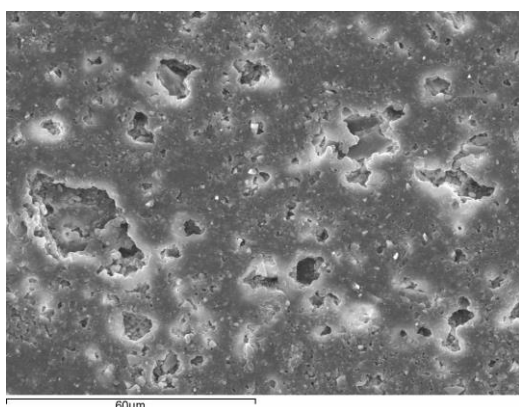


(ก)

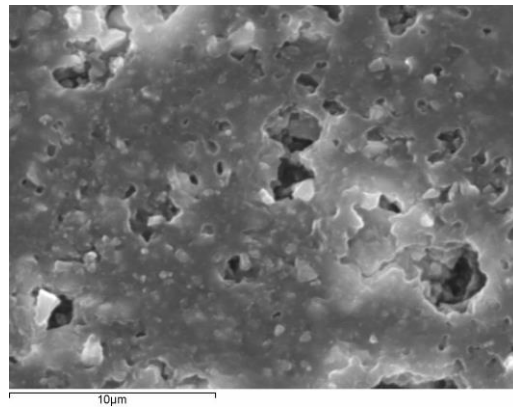


(ข)

ภาพที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายจาก SEM ของแผ่นยางพารา ก่อนการอบพลาสมาที่กำลังขยาย (ก) 1,000 เท่า (ข) 5,000 เท่า

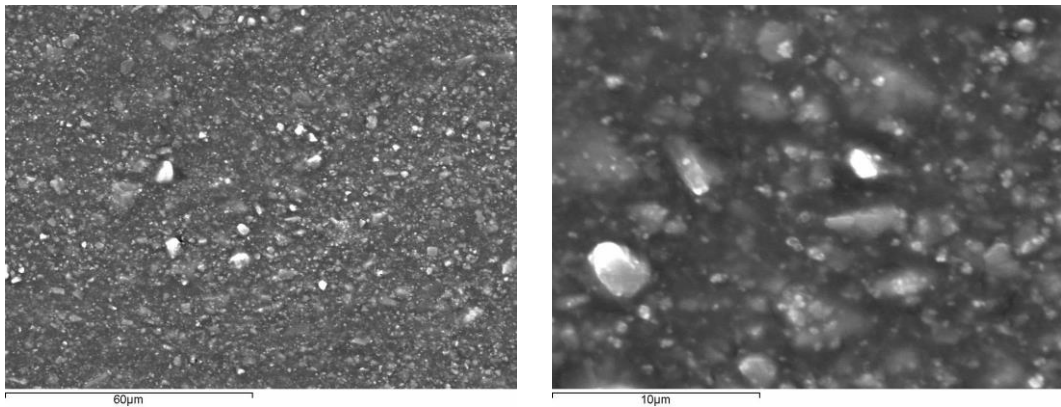


(ก)



(ข)

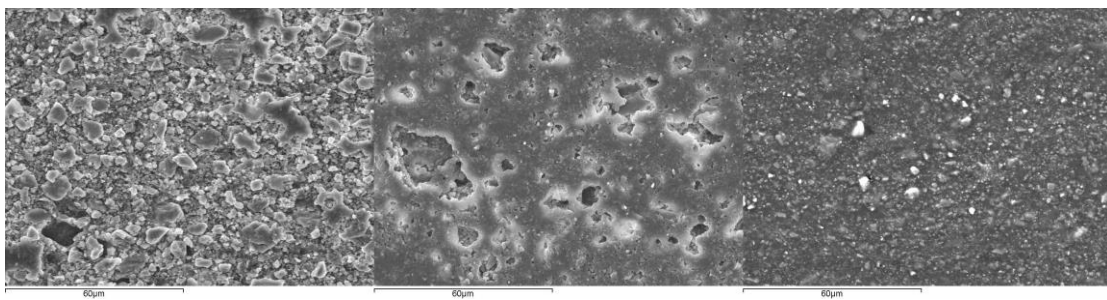
ภาพที่ 4.5 แสดงภาพถ่ายจาก SEM ของแผ่นยางพาราที่อบพลาสมา 30 s ที่กำลังขยาย (ก) 1,000 เท่า (ข) 5000 เท่า



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.6 แสดงภาพถ่ายจาก SEM ของแผ่นยางพาราที่อาบพลาสมา 60 s ที่กำลังขยาย (ก) 1,000 เท่า (ข) 5000 เท่า



(ก)

(ข)

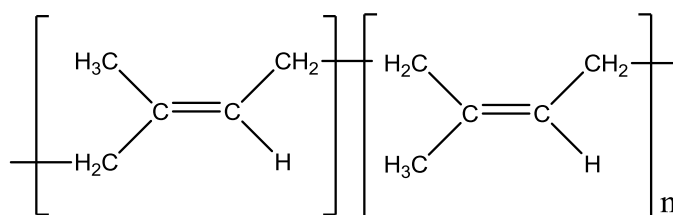
(ค)

ภาพที่ 4.7 แสดงภาพถ่ายจาก SEM ของแผ่นยางพาราที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ก) 0 วินาที (ข) 30 วินาที (ค) 60 วินาที

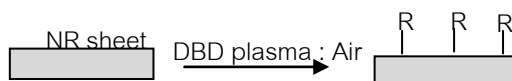
ผลการวิเคราะห์หาโครงสร้างและองค์ประกอบของโมเลกุล

การวิเคราะห์ชิ้นงานที่ผ่านการอบพลาสมา เพื่อบอกถึงคุณสมบัติจำเพาะของสารและหมู่ฟังก์ชันนอลกรุป (functional group) เริ่มจากการศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของยางพาราแผ่นพบว่า ยางพาราโดยทั่วไปมีสูตรโครงสร้างเป็นไปดังภาพที่ 4.8 โดยมีชื่อทางเคมี cis-1, 4 - polyisoprene และมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วและทำให้ยางพารามีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ไม่ละลายในน้ำแต่จะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลของมุมสัมผัสของหยดน้ำที่มีค่าลดลงเมื่อผ่านกระบวนการพลาสมา ซึ่งหากพิจารณาจากสูตรโครงสร้างของแผ่นยางพาราสามารถคาดการณ์ได้ว่า พลาสมาที่ประกอบไปด้วยไอออนชนิดต่างๆ ทำให้พันธะเคมีเกิดการแตกตัวและพร้อมจะจับตัวไอออนที่อยู่บริเวณใกล้เคียง (ภาพที่ 4.9) ซึ่งหากมีการจุดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งประกอบไปด้วย ไนโตรเจน ออกซิเจนเป็นแก๊สหลักนั้น ทกให้พื้นผิวของยางพาราที่ได้รับการอบพลาสมามีการจับตัวกับไอออนหรืออะตอมของพลาสมา และทำให้พื้นผิวของยางพาราเปลี่ยนหรือถูกแทนที่ด้วยหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic group)

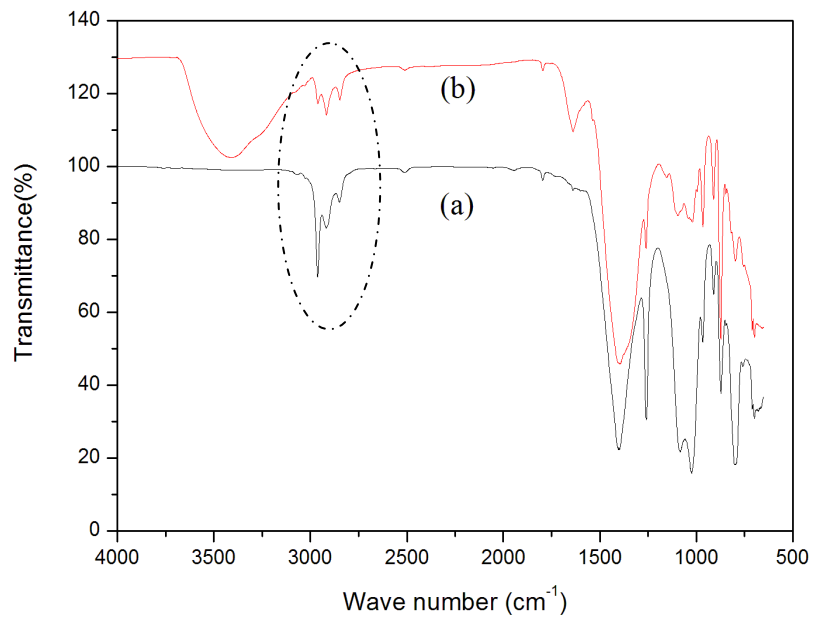
ดังนั้นเพื่อทดสอบการวิเคราะห์ที่กล่าวมานั้น คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของยางพาราแผ่น หลังจากการอบพลาสมาด้วยเครื่อง เอทีอาร์-เอฟทีไออาร์สเปกโทรสโกปี (ATR-FTIR) ย่านความถี่ $4000-400\text{ cm}^{-1}$ โดยพิจารณาจากพลังงานที่ปลดปล่อยออกมา (Transmission) ซึ่งจากภาพที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบพีคของ IR สเปกตรัมของยางพาราก่อนและหลังอบพลาสมา ซึ่งเมื่อพิจารณาช่วง $C = C$ torsion ที่ตำแหน่ง 966 cm^{-1} มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าพันธะคู่แตกตัว และเกิดการรวมตัวเป็นหมู่ที่ชอบน้ำขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากพีคตำแหน่ง 3410 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ $-OH$ group หลังจากการอบพลาสมามีความกว้าง (Broad peak) ขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 4.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของยางพาราแผ่น



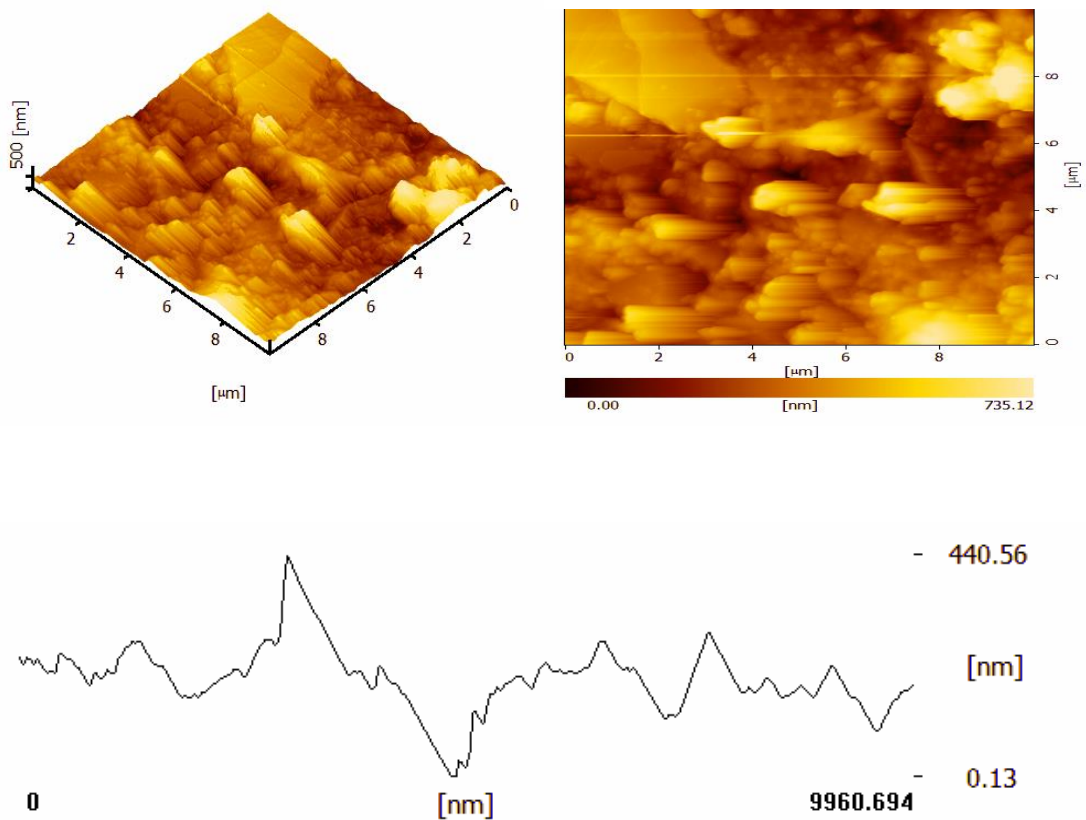
ภาพที่ 4.9 แสดงแบบจำลองการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการพลาสมา โดย R คือ หมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ



ภาพที่ 4.10 แสดงพีค IR ก่อน (a) และหลัง (b) จากการอบพลาสมา

ผลการวิเคราะห์ความขรุขระของชิ้นงาน

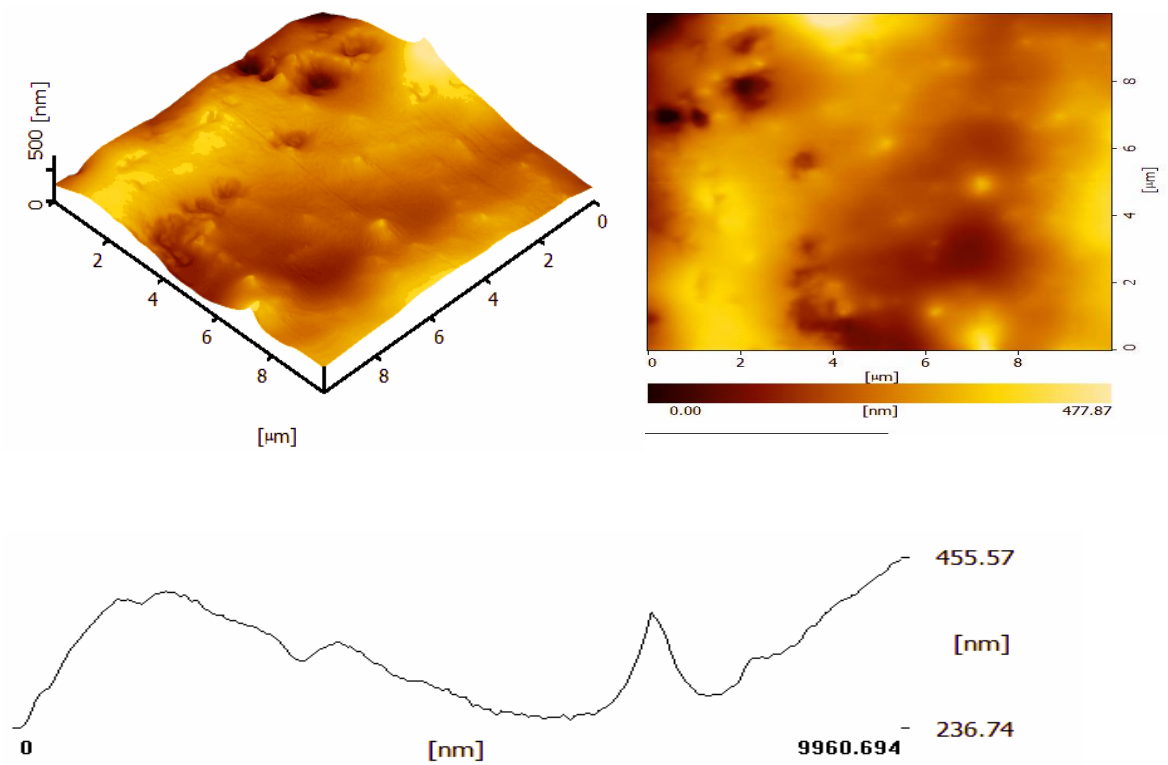
สำหรับการศึกษาความขรุขระของชิ้นงานที่ผ่านการอบพลาสมา โดยพิจารณาจากค่า RMS (Root mean square surface roughness) ของชิ้นงานที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งภาพที่ได้ของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นไปตามภาพที่ 4.9 และ 4.10 โดยค่า RMS ของตัวอย่างพาราแผ่นก่อนและหลังอบพลาสมาเป็นไปตามตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่าหลังจากผ่านการอบพลาสมา 180 วินาที ชิ้นงานมีความขรุขระลดน้อยลงเป็น 82 nm



ภาพที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์หยาบพาราก่อนการอบพลาสมาด้วย AFM

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความขรุขระของชิ้นงานก่อนและหลังอาบพลาสมา

Type of rubber	Average \pm standard deviation of RMS (nm)
Untreated	202.13 \pm 38.44
Treated for 180 s	82.02 \pm 7.32



ภาพที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ทางพาราหลังการอาบพลาสมาด้วย AFM

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองสามารถปรับปรุงพื้นผิวของยางพาราแผ่นที่มีความไม่ชอบน้ำ ให้มีความชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น ด้วยกระบวนการพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ แบบไดอิเล็กตริกแบริเออร์ดิสชาร์จ โดยมีเงื่อนไขที่เหมาะสมคือจ่ายค่าความดันไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงนีออนที่ 200 โวลต์ และจัดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นไดอิเล็กตริกห่างกัน 6 มิลลิเมตร และใช้เวลาในการอาบพลาสมา 15 วินาทีเพื่อปรับปรุงให้มีความชอบน้ำและมุมสัมผัสลดลงเป็น 22 องศา ซึ่งมีความแตกต่างชัดเจนของมุมสัมผัสก่อนและหลังจากการอาบพลาสมา นอกจากนี้จากการสุ่มตัวอย่างของชิ้นงานที่อาบพลาสมาและทำการเปรียบเทียบ เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นของชิ้นงานเมื่อผ่านกระบวนการพลาสมาและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาโดยเครื่องมือวิเคราะห์ ATR-FTIR ทำให้พบว่ากระบวนการพลาสมาทำให้ผิวของชิ้นงานยางพารามีคุณสมบัติเปลี่ยนไป โดยทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลหรือหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำเพิ่มขึ้นบนผิวชิ้นงานที่อาบพลาสมา

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงเพื่อให้พื้นผิวของแผ่นยางพารามีความชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น พบว่าปัจจัยที่ทำให้มุมสัมผัสมีค่าลดลง มีความเป็นไปได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกในทางเคมี (Chemical) คือการที่ผิวชิ้นงานมีหมู่ฟังก์ชันของความชอบน้ำมากขึ้น จากผลการวิเคราะห์โดย ATR-FTIR เนื่องจากพลาสมามีพลังงานมากพอที่จะไปสลายพันธะของแผ่นยางพารา และเกิดการสร้างพันธะใหม่ และเกิดหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำขึ้น กรณีที่ 2 ทางด้านกายภาพ (Physical) โดยพิจารณาจากความขรุขระที่มีค่าลดลงจากผลการวิเคราะห์ AFM ซึ่งพื้นผิวที่เรียบขึ้น ส่งผลให้มุมสัมผัสมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งหากพิจารณาผลการทดลองและจากการวิเคราะห์ที่กล่าวมา รวมทั้งผลของการนำชิ้นงานที่อาบพลาสมาและวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและทำการวัดมุมสัมผัส ซึ่งพบว่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการที่มุมสัมผัสเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการที่ พันธะที่เกิดการรวมตัวเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำรวมตัวกันแบบไม่เสถียร และชิ้นงานที่ผ่านการอาบพลาสมาเมื่อวางทิ้งไว้จะมีคราบฝุ่นละอองมาเกาะติด ซึ่งล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้มุมพลาสมาลดลง และทำให้เกิดการปรับปรุงผิวชิ้นงานของยางพาราด้วยกระบวนการพลาสมาไม่มีความถาวรในระยะยาว

ปัญหาและอุปสรรค

ระบบการจุดพลาสมามีความไม่เสถียร เนื่องจากการจุดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศจึงต้องเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมและควบคุมสภาพอากาศให้ใกล้เคียงกันทุกครั้งที่ทำทดลอง และเกิดการอาร์คของเครื่องบ่อย ทำให้ขาดความต่อเนื่องในการจุดพลาสมาเพื่อทำการปรับปรุงชิ้นงาน

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปปรับปรุงชิ้นงานที่ต้องการความชอบน้ำชั่วคราว สำหรับชิ้นงานที่ไม่มีความชอบน้ำ เช่น การย้อมให้สีติด เป็นต้น เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการทำสั้นและไม่ยุ่งยากเมื่อเทียบกับกระบวนการพลาสติกที่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

แม้ว่าระบบพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกดิสชาร์จ์ จะสามารถจุดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศได้ แต่หากทำในระบบปิดและมีการใช้แก๊สเฉื่อย ในระบบ เช่น อาร์กอน จะทำให้ความหนาแน่นของพลาสมาเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งใช้เวลาในการอาบพลาสมาที่นานขึ้น เพื่อให้พื้นผิวชิ้นงานเกิดการรวมตัวเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำมากขึ้น นอกจากนั้นเพื่อการสร้างหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำมากขึ้น อาจใช้สารเคมีที่มีความชอบน้ำเข้ามาช่วย เพื่อให้เกิดพันธะที่มีความเสถียรของหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

- พงษ์ธร แซ่ฮุย. 2548. *สารเคมีสำหรับยาง*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). กรุงเทพมหานคร.
- รัฐพงษ์ หนูหมาด. *การศึกษาพันธะเชื่อมโยงและการเสื่อมสภาพของฟิล์มยางโดยเทคนิคการวัดการดูดกลืนรังสีเอกซ์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2552).
- วิภาวี พัฒนกุล. *ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์*. กลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง. สืบค้นจาก: <http://www.rubberthai.com/book/file/98.pdf>

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

- Basak, B., Bandyopadhyay, A., Neogi, S., Bhowmick,. (2011) A. Surface modification of argon/oxygen plasma treated vulcanized ethylene propylene surfaces for improved adhesion with natural rubber. *Applied Surface Science* .257, 2891-2904.
- Dany Soma, water-and Stain-repellent Textiles, *Using New Plasma Technology*, Fang, Z., Qiu, Y., Wang, H., & Kuffel, E. (2007). Improving hydrophobicity of glass surface using dielectric barrier discharge treatment in Atmospheric air. *Plasma science and technology*, 9(5), 582.
- Ganesh C.B., Abhijit, B., Sudarsan N., & Anil, K.B., (2010). Surface modification of argon/oxygen plasma treated vulcanized ethylenepropylene diene polymethylene surfaces for improved adhesion with natural rubber. (2011). *Applied Surface Science*, 257, 2891-2904.
- Gao. S., Gao, L-H., Zhou, K-S.,. (2011). Super-hydrophobicity and oleophobicity of silicone rubber modified by CF₄ radio frequency plasma. *Applied Surface Science*. 257. 4945–4950.
- Kim, M.C., and others. (2003). Surface modification for hydrophilic property of stainless steel treated by atmospheric-pressure plasma jet. *Surface and Coatings Technology*, 171, 312–316.
- Mudtorlep N., Pikul W. (2010). Surface hydrophobic modification of cellulose membranes by plasma-assisted deposition of hydrocarbon films. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 32(1), 97-101.

- Peng, W., and others. (2000). Surface modification of natural rubber latex films by graft copolymerization. (2000). *European Polymer Journal*. 36, 1323-1331.
- Prachid, S., Natinee, L., & Kannika, S. (2014). Preparation and Some Properties of Modified Natural Rubber Bearing Grafted. *European Polymer Journal*. 56, 1-10.
- Shanmugaraj, A.M., Kim J. K. & Tyu, S.H., (2006). Modification of rubber surface by UV surface grafting. *Applied Surface Science*, 252, 5714-5722.
- Shen Li, & Dai, J.(2007). Improvement of hydrophobic properties of silk and cotton by hexafluoropropene plasma treatment. 253, 5051-5055.
- Fang, Z., Qiu, Y., Wang, H., & E, K., (2007).Improving Hydrophobicity of Glass Surface Using Dielectric Barrier Discharge Treatment in Atmospheric Air. *Plasma Science and technology*. 9(5).

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวจิราภรณ์ พงษ์โสภา เกิดเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2521 ณ จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี ศึกษาศาสตร์บัณฑิต สาขาการสอนวิทยาศาสตร์ (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อ พ.ศ. 2541 ระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาฟิสิกส์ เมื่อ พ.ศ. 2546 และปริญญาเอกวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์นาโนและเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2554 ประสบการณ์การทำงาน พ.ศ. 2542 อาจารย์ประจำ คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่ ได้แก่

- 1) J. Pongsopa, B. Paosawatyanong, P. Visuttpitukul. Surface Hardening of aluminium –copper alloy 2011 by rf plasma nitriding process. Key Engineering Materials, Volume 462-263, pages 1097-1102. (2011).
- 2) J. Pongsopa, P. Visuttpitukul, B. Paosawatyanong. Effect of hydrogen in rf plasma nitriding on Al-6wt%Cu alloy. Applied Mechanics and Materials, Volume 55-57, pages 1063 -1066. (2011).
- 3) J. Pongsopa, P. Visuttpitukul, B. Paosawatyanong. Low Temperature Plasma Nitriding of H13 Steel for Improved Surface Hardness. Rare journal. ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน ประธาน หลักสูตรศึกษาศาสตรบัณฑิตสาขา วิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผู้ร่วมวิจัย

นางสาวกัญจน์ชญา หงส์เลิศคงสกุล เกิดเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2522 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากรเมื่อ พ.ศ. 2542 ระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาฟิสิกส์ เมื่อ พ.ศ. 2547 จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและปริญญาเอก วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2553 ประสบการณ์การทำงาน พ.ศ. 2554 อาจารย์ประจำ ภาววิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่ ได้แก่ 1. B. Paosawatanyong , K. Honglertsakul , and D. K. Reinhard, DLC-film Schottky barrier diodes, Solid State Phenomena 2005; 107: 75-79. (Impact factor 0.493) 2. K. Honglertkongsakul, P. W. May, B. Paosawatanyong, Electrical and optical properties of diamond-like carbon films deposited by pulsed laser ablation. Diamond and Related Materials 2010; 19: 999-1002. (Impact factor 2.092) ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน ผู้ช่วยคณบดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ผู้ร่วมวิจัย

นางสาวนางสาวภัทธีรา หอมหวล เกิดเมื่อวันที่ 7 ตุลาคม 2522 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2543 ระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาฟิสิกส์ เมื่อ พ.ศ. 2547 จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและปริญญาเอกวิทยาศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์นาโนและเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2554 ประสบการณ์การทำงาน พ.ศ. 2554 อาจารย์ประจำ ภาววิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่ ได้แก่ 1) P. Homhuan, S. Chaiyakun, R. Thonggoom, N. Panich⁵ and S.Tungasmita Growth and structural characterizations of nanostructured chromium zirconium-nitride thin films for tribological applications. Material transactions, The Japan institute of materials 51 (2010) 1651-1655. 2) P. Homhuan, T. Nabatame, T. Chickyow and S. Tungasmita. Effect of Y content in (TaC)_{1-x}Y_x gate electrodes on flatband voltage control for Hf-based high-k gate stacks. Japanese journal of applied physics. In Press, Corrected Proof. ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน รองคณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอยุธยา