

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะเงินบนผิวของแผ่นยางธรรมชาติโดยใช้
โปรตีนในยางเป็นตัวรีดิวซ์เพื่อเตรียมฟิล์มยางที่มีแรงเสียดทานต่ำ
SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES ON SURFACE OF NATURAL
RUBBER FILM USING RUBBER PROTEIN AS REDUCING AGENT TO
PRODUCE LOW FRICTION NATURAL RUBBER FILM



ธนดล จารุรักษา
THANADOL JARURAKSA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2567
KMITL-2024-EN-M-227-309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES ON SURFACE OF NATURAL
RUBBER FILM USING RUBBER PROTEIN AS REDUCING AGENT TO
PRODUCE LOW FRICTION NATURAL RUBBER FILM



THANADOL JARURAKSA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2024
KMITL-2024-EN-M-227-309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะเงินบนผิวของแผ่นยางธรรมชาติโดยใช้โปรตีนในยางเป็นตัวริวิตซ์เพื่อเตรียมฟิล์มยางที่มีแรงเสียดทานต่ำ
นักศึกษา	นายชนดล จารุรักษา
รหัสประจำตัว	63601055
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ธีรพร สุธีวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการปรับผิวแผ่นยางธรรมชาติที่ผ่านการพรีวัลคาไนเซชันด้วยกำมะถัน ให้มีความขรุขระเพื่อลดแรงเสียดทานด้วยการสังเคราะห์สังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly(methyl methacrylate): PMMA) และอนุภาคนาโน (AgNPs) ขึ้นที่ผิวฟิล์มยางผ่านปฏิกิริยา Induced-redox/emulsion polymerization โดยใช้โปรตีนของยางเป็นตัวริวิตซ์ เริ่มจากการแช่แผ่นยางลงในสารละลายอิมัลชันซึ่งประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิวโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต มอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต (MMA) ตัวริเริ่มปฏิกิริยา และซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate: AgNO_3) เพื่อให้เกิดการดูดซับของไอออนของเงินและ MMA บนผิวของยางก่อนแช่ลงในสารละลายที่มี Fructose และ Ferrous ion ซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ MMA เป็น PMMA และช่วยริวิตซ์ไอออนของเงินให้เป็น AgNPs โดยศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการแช่อย่างต่อเนื่องทั้งทางกายภาพ เช่น ความขรุขระของผิว ขนาด และการกระจายตัวของอนุภาคนาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope: AFM) และกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) ซึ่งเมื่อเวลาการแช่ที่ยาวขึ้นส่งผลให้ความขรุขระของผิวยางลดลงแต่ยังคงมากกว่ายางที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว และอนุภาคนาโนของโลหะเงินก็เกิดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	<i>Synthesis of Silver Nanoparticles on Surface of Natural Rubber Film Using Rubber Protein as Reducing Agent to Produce Low Friction Natural Rubber Film</i>
Student	<i>Mr. Thanadol Jaruraksa</i>
Student ID.	<i>63601055</i>
Degree	<i>Master of Engineering</i>
Program	<i>Chemical Engineering</i>
Year	<i>2024</i>
Thesis Advisor	<i>Assoc. Prof. Dr. Teeraporn Suteewong</i>

ABSTRACT

This project presents the surface modification of sulphur prevulcanized natural rubber (SPNR) film to decrease surface friction. Induced redox/emulsion polymerization reaction were developed to form PMMA and AgNPs high T_g poly(methyl methacrylate) (PMMA) and antibacterial silver nanoparticles (AgNPs) on the surface of SPNR. First, SPNR film was immersed in emulsion solution containing surfactant (sodium dodecyl sulphate), methyl methacrylate (MMA) monomer, redox initiator (tert-butyl hydroperoxide: t-BuHP) and silver nitrate ($AgNO_3$) to form the adsorption silver ion and MMA on rubber film. Then, this swollen SPNR film was transferred to the solution containing the mixture of fructose and ferrous ion which initiate the polymerization of MMA to PMMA and reduce silver ion to AgNPs. Morphologies and the average surface roughness of the modified SPNR was studied by using scanning electron microscope (SEM) and atomic force microscope (AFM), respectively. The effects of immersing time on the average surface roughness, size, AgNPs distribution and surface morphology of the SPNR film were studied.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ดี อันเนื่องมาจากการช่วยเหลือทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับปริญญาโทจากสำนักบริหารงานวิจัยและนวัตกรรมเลขที่ KREF016316 ในหัวข้อการศึกษา “การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะเงินบนพื้นผิวของแผ่นยางธรรมชาติโดยใช้โปรตีนที่มีในน้ำยางเป็นตัวรีดิวซ์เพื่อให้ได้ฟิล์มยางที่มีแรงเสียดทานต่ำและมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในคราวเดียว”

ข้าพเจ้าขอขอบคุณความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.ธีรพร สุธีวงศ์ อย่างซาบซึ้งที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในเรื่องต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องศึกษาหรือการใช้ชีวิตในแง่มุมต่างๆ

และนอกจากนี้ขอขอบคุณกานต์ธิดา บุรณพานิช คุณลลิตราทิพย์ บุญเรือง คุณธัญวรัตน์ โสภา คุณอาสนอินทร์ จ้อยสูงเนิน และคุณบุษยมาศ ชำนาญวงศ์ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านกำลังใจในการศึกษาและในด้านต่างๆมากมาย

ท้ายที่สุดขอขอบคุณบิดา มารดาที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้ศึกษาในระดับปริญญาโท รวมถึงคอยช่วยเหลือเลี้ยงดูข้าพเจ้าตลอดเวลาที่ผ่านมา

ธนดล จารุรักษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	I
บทคัดย่อภาษาไทย.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber).....	4
2.1.1 ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันของยางธรรมชาติ (Vulcanization).....	5
2.2 อิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน (Emulsion polymerization).....	5
2.3 พอลิเมทิลเมทาครีเลต (Poly(methyl methacrylate): PMMA).....	6
2.4 อนุภาคเงินนาโน.....	7
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	8
3.1 สารเคมีที่ใช้.....	8
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	9
3.3 การวิเคราะห์สมบัติของแผ่นยาง (Characterization).....	10
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	11
4.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาและความขรุขระของผิวของยาง SPNR ก่อนการปรับปรุงพื้นผิว.....	11
4.2 ผลของระยะเวลาในการแช่ต่อการเกิด PMMA/AgNPs บนผิวยาง SPNR.....	11
4.2.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวหลังแช่ สารละลายอิมัลชันที่เวลาต่างๆ.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความขรุขระของแผ่นยางที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวที่แช่ลงในสารละลายอิมัลชันที่ เวลาต่างๆ	13
4.3 ผลของลำดับการเติมสารประกอบในการเตรียมสารละลายอิมัลชัน: เติม $AgNO_3$ หลังการ เตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP	14
4.3.1 การทดลองการปรับปรุงผิวยาง SPNR โดยการเติม $AgNO_3$ หลังการเตรียม สารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 10 นาที	15
4.3.2 การทดลองการปรับปรุงผิวยาง SPNR โดยการเติม $AgNO_3$ หลังการเตรียม สารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 30 นาที	17
4.3.3 การทดลองการปรับปรุงผิวยาง SPNR โดยการเติม $AgNO_3$ หลังการเตรียม สารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 50 นาที	19
4.4 การทดลองการปรับปรุงผิวยาง SPNR โดยปรับการเติม $AgNO_3$ และ SDS ในช่วง 30 นาทีแรกของการเตรียมสารละลายอิมัลชันและเติม MMA และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที	21
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	24
5.1 สรุปผลการวิจัย	24
5.2 ข้อเสนอแนะ	24
บรรณานุกรม	25
ประวัติผู้เขียน	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงปริมาณ Ag บนผิวของ SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งมีการเติม $AgNO_3$ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที.....	17
ตารางที่ 4.2. ตารางแสดงปริมาณ Ag บนผิวของ SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งมีการเติม $AgNO_3$ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที.....	19
ตารางที่ 4.3. ตารางแสดงปริมาณ Ag บนผิวของ SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งมีการเติม $AgNO_3$ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 50 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที.....	21
ตารางที่ 4. ตารางแสดงปริมาณ Ag บนผิวของแผ่นยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งมีการเติม $AgNO_3$ และ SDS ในช่วง 30 นาทีแรกของการเตรียมสารละลายอิมัลชันและเติม MMA และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ poly(cis-1,4-isoprene)	4
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของโมเลกุลยางธรรมชาติ	4
รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาคัดค้านะเซชันของยางธรรมชาติ.....	5
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการเกิดพอลิเมอร์โดยปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน.....	6
รูปที่ 2.5 การสังเคราะห์ PMMA โดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเติมของ MMA.....	6
รูปที่ 4.1 ก) ภาพถ่าย SEM และ ข) รูป AFM ของแผ่นยาง SPNR ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว.....	11
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวยาง SPNR เพื่อให้เกิด PMMA/AgNPs บนพื้นผิวของแผ่นยาง	12
รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นยางที่มี PMMA/AgNPs ซึ่งแช่เป็นเวลา ก,ข) 20 นาที ค,ง) 30 นาที และ จ,ฉ) 40 นาที โดยคอลัมน์ซ้ายมือถ่ายที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และคอลัมน์ขวามือถ่าย ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	13
รูปที่ 4.4 ปริมาณเงินและความขรุขระบนผิวยางที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวโดยการแช่เป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที.....	13
รูปที่ 4.5 ค่าความขรุขระของ แผ่นยาง SPNR ที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว และ แผ่นยางที่ผ่านการ ปรับปรุงผิวโดยการแช่เป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที.....	14
รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวยาง SPNR เพื่อให้เกิด PMMA/AgNPs บนพื้นผิวของแผ่นยาง โดยการปรับลำดับการเติม AgNO ₃	15
รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวยาง SPNR เพื่อให้เกิด PMMA/AgNPs บนพื้นผิวของแผ่นยาง โดยการปรับลำดับการเติม AgNO ₃ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t- BuHP เป็นเวลา 10 นาที.....	15
รูปที่ 4.8 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นยางซึ่งมีการเติม AgNO ₃ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา ก,ข) 20 นาที ค,ง) 30 นาที และ จ,ฉ) 40 นาที โดยคอลัมน์ซ้ายมือถ่ายที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ คอลัมน์ขวามือถ่ายที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	16
รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวยาง SPNR เพื่อให้เกิด PMMA/AgNPs บนพื้นผิวของแผ่นยาง โดยการปรับลำดับการเติม AgNO ₃ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t- BuHP เป็นเวลา 30 นาที.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นยางซึ่งมีการเติม $AgNO_3$ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา ก,ข) 20 นาที ค,ง) 30 นาที และ จ,ฉ) 40 นาที โดยคอลัมน์ซ้ายมือถ่ายที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และคอลัมน์ขวามือถ่ายที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	18
รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวยาง SPNR เพื่อให้เกิด PMMA/AgNPs บนพื้นผิวของแผ่นยาง โดยการปรับลำดับการเติม $AgNO_3$ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 50 นาที.....	19
รูปที่ 4.12 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นยางซึ่งมีการเติม $AgNO_3$ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 50 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา ก) 20 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ข) 20 นาที ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า ค) 30 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ง) 30 นาที ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า และ จ) 40 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ฉ) 40 นาที ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	20
รูปที่ 4.13 การทดลองการปรับปรุงผิวยาง SPNR โดยปรับการเติม $AgNO_3$ และ SDS ในช่วง 30 นาทีแรกของการเตรียมสารละลายอิมัลชันและเติม MMA และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที.....	21
รูปที่ 4.14 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งปรับการเติม $AgNO_3$ และ SDS ในช่วง 30 นาทีแรกของการเตรียมสารละลายอิมัลชันและเติม MMA และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา ก) 20 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ยางพารา (Natural rubber: NR) หรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Hevea brasiliensis* เป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่ให้ผลผลิตที่สำคัญ คือ น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex: NRL) น้ำยางธรรมชาติมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยโซ่ตรงของ poly(cis-1,4-isoprene) ที่เป็นพอลิเมอร์ซึ่งมีความแข็งแรงและยืดหยุ่น [1] ในการใช้งานยางธรรมชาติมักผ่านกระบวนการพรีวัลคาไนเซชัน (Prevulcanization) ทำให้เกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ระหว่างพอลิเมอร์ ซึ่งส่งผลให้ยางพรีวัลคาไนซ์ที่ได้มีโครงร่างตาข่ายแบบสามมิติ (Three-dimensional network structure) มีค่าความแข็งแรงทางแรงดึง (Tensile strength) รับแรงกระแทกสูง (Toughness) และ ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ที่สูงขึ้นแม้เป็นฟิล์มบาง ซึ่งเป็นสมบัติทางกล (Mechanical properties) ที่ดีของยางธรรมชาติ

การนำน้ำยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ขึ้นรูปเป็นโฟมเพื่อผลิตเครื่องนอน [2] และขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์และสาธารณสุข เช่น สายยางและถุงมือ [3] เป็นต้น ซึ่งการนำยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางหรือฟิล์ม เช่น ถุงมือทางการแพทย์ เป็นรูปแบบการใช้งานที่นิยมและมีปริมาณการใช้สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์การแพร่ระบาดของ COVID-19 ในปัจจุบัน ซึ่งนอกเหนือจากการตัดแปรรูปหรือปรับแต่งผิวยางเพื่อลดแรงเสียดทานแล้ว การเสริมสมบัติพิเศษ เช่น ข่วนและยับยั้งการเติบโตของเชื้อโรค ก็มีความสำคัญและได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน ซึ่งมีการศึกษาการตัดแปรรูปสมบัติที่ผิวยางจำนวนมาก เช่น Rattaporn และคณะ [4] ได้ปรับปรุงฟิล์มยาง NR ที่อุณหภูมิห้องให้มีพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly(methylmethacrylate): PMMA) อยู่บนผิวโดยใช้ปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน แล้ววัดค่าความขรุขระ (Roughness) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope: AFM) พบว่ามีค่าความขรุขระมากขึ้นซึ่งเป็นผลมาจาก PMMA ที่ไปเกาะอยู่บริเวณผิวยาง Kittiporn S. และคณะ [5] ได้ปรับปรุงพื้นผิวของฟิล์มยางเพื่อเพิ่มค่าความแข็ง (Hardness) และความขรุขระด้วย PMMA โดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบ 2 ชั้น โดยศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาของปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดพอลิเมอไรเซชันของ MMA เกิดเป็น PMMA ซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมของปฏิกิริยานี้อยู่ที่ 60°C ด้วยระยะเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า PMMA ที่เกาะบนผิวยางส่งผลให้ยางมีค่า Hardness และ Roughness เพิ่มมากขึ้น เพราะ PMMA มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) สูงและลดค่าความเสียดทานของผิวยางอีกด้วย Artit และคณะ [6] ปรับปรุงพื้นผิวของยางซิลิโคนพรีวัลคาไนซ์ (SPNR) ด้วย PMMA

โดยวิธี Argon plasma treatment พบว่ายางที่ปรับปรุงพื้นผิวแล้วมีค่า Tensile strength และค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elongation at break ที่เพิ่มขึ้นจนผ่านมาตรฐานของถุงมือยาง (ASTM D3577) Chonlada และคณะ [7] ศึกษาการปรับปรุงผิวยางอีพอกซีไดส์ (Epoxidised natural rubber: ENR) ด้วย PMMA โดยใช้ปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน และ redox-initiated polymerization ด้วยสารละลายผสมของ Ferrous ion และ Fructose ที่ทำหน้าที่เป็น redox initiator ได้ผิวยาง ENR ที่มี PMMA เกิดขึ้นบริเวณผิวยาง เมื่อวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope: AFM) พบว่ามีค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผิวของยางที่ได้มีความเสียดทานที่ลดลง

การสร้างสมบัติที่ยั่งยืนแก่ยางที่เรียกว่าทำได้โดยการเคลือบสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลงบนผิวของยาง เช่น ไคโตซาน พอลิอัลลิลเอมีน (Poly(allylamine hydrochloride) คอปเปอร์ (Copper) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และอนุภาคนาโนของโลหะเงิน (Silver nanoparticles: AgNPs) เป็นต้น Indejith และคณะ [8] ได้สังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่ผสมลงในโพลียาง พบว่าโพลียางที่ได้สามารถต้านการเกิดของแบคทีเรีย แกรมบวกและแกรมลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ Abu Bakar และคณะ [9] ได้สังเคราะห์ฟิล์มยางที่มีอนุภาคของเงินโดยผลมสารตั้งต้นของโลหะเงิน (Silver nitrate: AgNO₃) ลงในน้ำยางก่อนขึ้นรูป พบว่าฟิล์มยางที่ได้ปรากฏอนุภาคนาโนขนาดประมาณ 10 นาโนเมตร ซึ่งเป็นผลมาจากโปรตีนภายในยางธรรมชาติที่รีดิวซ์ไอออนของเงิน (Ag⁺) เพื่อให้เกิดอนุภาคนาโนที่ผิวยาง แต่อนุภาคนาโนที่ได้เกิดการเกาะกลุ่มกัน (Aggregate) ซึ่งแสดงถึงความไม่เสถียรของอนุภาคนาโน

ดังนั้น งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวยางซัลเฟอร์พรีวัลคาไนซ์ (Sulphur pre-vulcanized natural rubber: SPNR) ให้มีความแข็งแรงมากขึ้น มีแรงเสียดทานต่ำ และมีสมบัติต้านการเกิดแบคทีเรียในขั้นตอนเดียว โดยการสังเคราะห์ PMMA และอนุภาคนาโนเงินลงบนผิวยางพร้อมกัน โดยใช้ปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชันแบบสองขั้นตอน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับปรุงพื้นผิวของแผ่นยาง SPNR ให้มี PMMA และอนุภาคนาโนเงินบนผิวยาง ด้วยวิธีการแช่แผ่นยาง โดยอาศัยปฏิกิริยา Induced-redox/emulsion polymerization
2. พัฒนาและเข้าใจกลไกการเกิด PMMA และ AgNPs บนผิวของแผ่นยาง SPNR

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาผลของระยะเวลาการแช่แผ่นยางที่มีผลต่อการเกาะติดของอนุภาคนาโนเงินและ PMMA บนผิวยาง
2. ศึกษากลไกการเกิด PMMA และ AgNPs บนผิวยาง SPNR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเพิ่มลดแรงเสียดทานและสมบัติ anti-bacterial ของผิวยาง SPNR ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย PMMA และ AgNPs



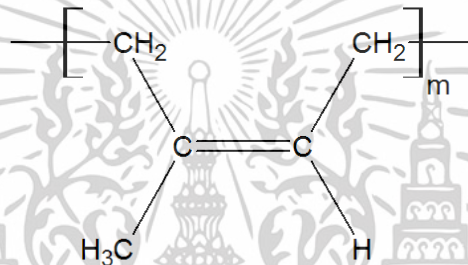
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

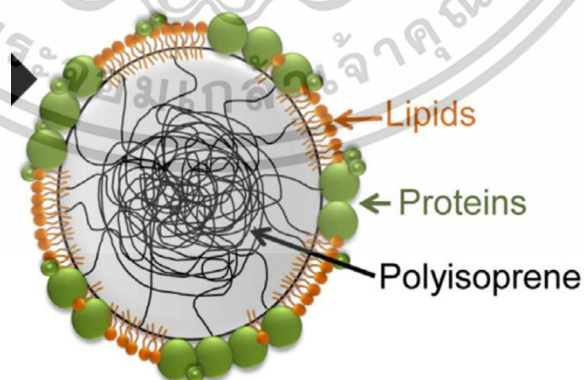
2.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber) [1]

ต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เมื่อถูกกรีดจะให้ผลผลิตเป็นของเหลวสีขาวคล้ายนม เรียกว่า น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex) มีสูตรทางเคมีคือ poly(*cis*-1,4-isoprene) ดังรูปที่ 2.1 ยางเป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่น เป็นวัสดุที่สามารถขึ้นรูปเป็นรูปแบบต่างๆได้อย่างหลากหลาย เช่น ฟิล์มยาง แผ่นยาง และโฟมยาง เป็นต้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ poly(*cis*-1,4-isoprene)

จากรูปที่ 2.2 น้ำยางธรรมชาติประกอบด้วย 45% โมเลกุลยาง (poly(*cis*-1,4-isoprene)), 50% น้ำ และ 5% เป็นสารอื่นๆ เช่น โปรตีน ไขมัน (Lipid) และคาร์โบไฮเดรต และอื่นๆ

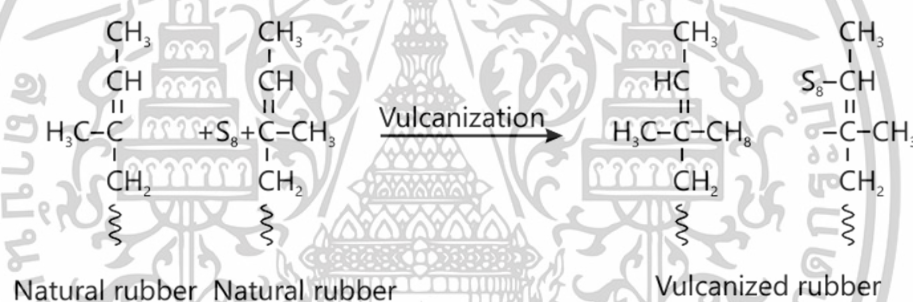


รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของโมเลกุลยางธรรมชาติ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ปฏิกริยาวัลคาไนเซชันของยางธรรมชาติ (Vulcanization) [12]

การนำยางธรรมชาติมีความนิ่ม หนึบและมีความยืดหยุ่นน้อย เมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยังคงมีความจำกัดในด้านสมบัติทางกล เช่น การกลับคืนรูปของยางธรรมชาติ หลังได้รับแรง ความสามารถในการรับแรง และช่วงอุณหภูมิของการใช้งาน เป็นต้น ดังนั้น ปฏิกริยาวัลคาไนเซชันจึงถูกนำมาใช้เพื่อเชื่อมโยงโครงสร้างพอลิเมอร์ของยางให้เกิดโครงสร้างแบบเชื่อมโยงหรือแบบร่างแห (Crosslinked or Network structure) ซึ่งเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างพอลิเมอร์ ส่งผลให้เพิ่มความทนทานต่อการกดทับของยางและลดแรงที่ทำให้เกิดการเสียรูปของวัสดุ (Deforming force) ทำให้ยางวัลคาไนซ์ (Vulcanized rubber) ที่ได้มีความแข็ง ยืดหยุ่นมากขึ้น รวมถึงมีช่วงอุณหภูมิของการใช้งานที่สูงขึ้นด้วย จึงทำให้เหมาะกับการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม เช่น การผลิตยางรถยนต์ การผลิตถุงมือ เป็นต้น



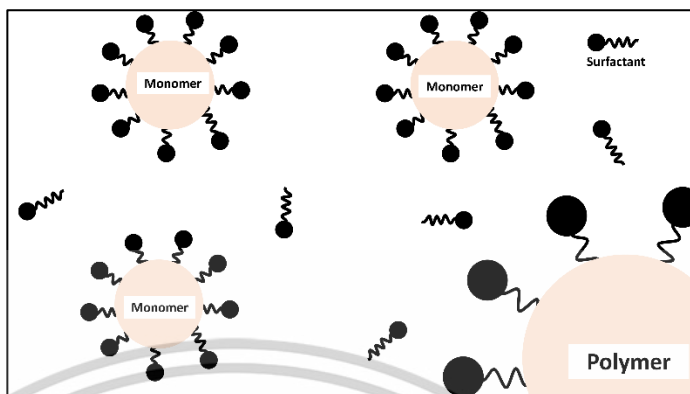
รูปที่ 2.3 ปฏิกริยาวัลคาไนเซชันของยางธรรมชาติ

2.2 อิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน (Emulsion polymerization) [10]

อิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน (Emulsion polymerization) เป็นหนึ่งในปฏิกิริยาที่ถูกนำมาใช้เพื่อผลิตพอลิเมอร์ในระดับอุตสาหกรรม เช่น การผลิตสารเคลือบผิว เป็นต้น เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่ทำได้ง่ายและไม่ซับซ้อน มีอัตราการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันที่สูง ควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย ได้พอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูง อิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชันเริ่มจากการทำให้มอนอเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำเกิดอิมัลชันขึ้นในน้ำโดยใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่ละลายในน้ำ ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เกินจุดวิกฤติการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration) จะรวมตัวกันเป็นลักษณะของไมเซลล์ (Micelles) เป็นทรงกลมที่มีด้านที่ไม่ชอบน้ำและชอบน้ำ เมื่อเวลาผ่านไปมอนอเมอร์จะกระจายไปอยู่ภายในไมเซลล์ ซึ่งมีขนาดประมาณ 10 นาโนเมตร จากนั้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจะเกิดขึ้นเมื่อเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical initiator) ลงไปในสารละลายดังกล่าว โดยมอนอเมอร์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมตัวกันเกิดเป็นสารละลายของพอลิเมอร์ขึ้นดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะถูกนำไปทำให้บริสุทธิ์ขึ้น (Purification) ต่อไป

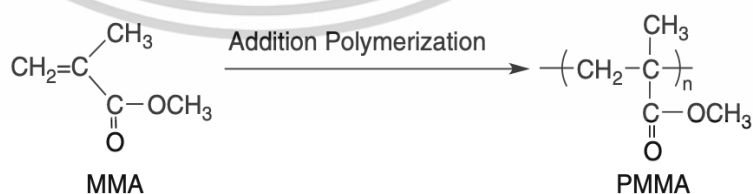


รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการเกิดพอลิเมอร์โดยปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน

กระบวนการอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชันแบบแบทช์ (Batch emulsion polymerization) เป็นหนึ่งในกระบวนการที่ทำได้ง่ายโดยการใส่สารทุกอย่างลงไปในปฏิกิริยาในทีเดียวเพื่อให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันขึ้น โดยทั่วไปแล้วมักเริ่มการพอลิเมอร์ไรเซชันโดยการให้ความร้อนกับมอนอเมอร์แล้วจึงเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) ลงไปเพื่อให้เริ่มเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชัน

2.3 พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly(methyl methacrylate): PMMA) [13]

พอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นพอลิเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ (Methyl methacrylate: MMA) เนื่องจาก PMMA มี T_g สูง ($T_g = 70^\circ\text{C}$) มีความโปร่งใส คงทนสูง และไม่นำไฟฟ้า จึงมีการนำ PMMA ไปใช้ในหลายๆอุตสาหกรรม เช่น ทำเป็นเลนส์กระจก และฝาไฟท้ายรถยนต์ เป็นต้น โดยทั่วไป PMMA ถูกสังเคราะห์โดยใช้ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเติม (Additional polymerization) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การสังเคราะห์ PMMA โดยปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเติมของ MMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อนุภาคเงินนาโน [8]

อนุภาคเงินนาโน (Silver nanoparticles: AgNPs) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติแอนตี้แบคทีเรีย (Antibacterial properties) เนื่องจากไอออนของเงิน (Ag^+) จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลภายในโปรตีนทำให้เกิดอนุมูลอิสระออกซิเจน (Reactive oxygen species: ROS) ที่เมื่อมีมากเกินไปจะทำให้เกิดการสลายตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ส่งผลให้ต้านทานการเกิดของแบคทีเรียได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำมาเคลือบบนผิวยางเพื่อให้ผิวยางมีสมบัติแอนตี้แบคทีเรีย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rattaporn และคณะ [4] ได้ปรับปรุงฟิล์มยาง NR ที่อุณหภูมิห้องให้มีพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly(methylmethacrylate): PMMA) อยู่บนผิวโดยใช้ปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน แล้ววัดค่าความขรุขระ (Roughness) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope: AFM) พบว่ามีค่าความขรุขระมากขึ้นซึ่งเป็นผลจาก PMMA ที่ไปเกาะอยู่บริเวณผิวยาง Kittiporn S. และคณะ [5] ได้ปรับปรุงพื้นผิวของฟิล์มยางเพื่อเพิ่มค่าความแข็ง (Hardness) และความขรุขระด้วย PMMA โดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบ 2 ชั้น โดยศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาของปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดพอลิเมอไรเซชันของ MMA เกิดเป็น PMMA ซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมของปฏิกิริยานี้อยู่ที่ $60^{\circ}C$ ด้วยระยะเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า PMMA ที่เกาะบนผิวยางส่งผลให้ยางมีค่า Hardness และ Roughness เพิ่มขึ้น เพราะ PMMA มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) สูงและลดค่าความเสียดทานของผิวยางอีกด้วย Artit และคณะ [6] ปรับปรุงพื้นผิวของยางซิลเฟออร์พรีวัลคาไนซ์ (SPNR) ด้วย PMMA โดยวิธี Argon plasma treatment พบว่ายางที่ปรับปรุงพื้นผิวแล้วมีค่า Tensile strength และค่า Elongation at break ที่เพิ่มขึ้นจนผ่านมาตรฐานของถุงมือยาง (ASTM D3577) เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการปรับปรุงพื้นผิวส่งผลให้เกิดการ Cross-linked ของยาง SPNR ซึ่งกระตุ้นให้เกิดการ Vulcanize บางส่วน นอกจากนี้ Chonlada และคณะ [7] ศึกษาการปรับปรุงผิวยางอีพอกซีไดล์ (Epoxidised natural rubber: ENR) ด้วย PMMA โดยใช้ปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน และ redox-initiated polymerization ด้วยสารละลายผลของ Ferrous ion และ Fructose ได้ผิวยาง ENR ที่มี PMMA เกิดขึ้นบริเวณผิวยางเนื่องจากการประพุดิตัวเป็นตัวริเริ่มการเกิดปฏิกิริยาแบบ redox (Redox initiation) เมื่อวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope: AFM) พบว่ามีค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผิวของยางที่ได้มีความเสียดทานที่ลดลง

ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนจำเป็นต้องใช้ emulsion เข้ามาช่วย V. Shah และคณะ [14] ได้ศึกษาปริมาณของ SDS ที่มีผลต่อการควบคุมขนาดของการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน โดยการเติมสารละลาย $AgNO_3$ ลงไปใน SDS ที่ความเข้มข้น 35mM (1wt%) จากนั้นเติม Tri sodium citrate (TSC) ซึ่งเป็น reducing agent พบว่าขนาดอนุภาคเงินนาโนที่ได้มีขนาดอยู่ที่ 43.2 ± 3.7 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ต้องการปรับปรุงพื้นผิวของฟิล์มยาง SPNR ให้มีความเสียดทานต่ำและมีสมบัติด้านแบคทีเรียโดยการพอลิเมอไรเซชันแบบ 2 ขั้นตอน คือการแช่ยางลงในอิมัลชันของ MMA สารลดแรงตึงผิว (Sodium dodecyl sulphate: SDS) มอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต (MMA) ตัวริเริ่มปฏิกิริยา (tert-butyl hydroperoxide: t-BuHP) และซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate: AgNO₃) จากนั้นไปแช่ลงในสารละลายที่มีไอออนของเหล็ก (Ferrous ion) และฟรุกโตส (Fructose) ที่ 60 °C เพื่อให้กระตุ้นเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดเป็น PMMA และอนุภาคเงินที่ผิวของฟิล์มยางขึ้น จากนั้นตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาบริเวณผิวของฟิล์มยางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) และวัดค่า Roughness ของแผ่นยางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope: AFM) ซึ่งในงานวิจัยมีการศึกษาผลของเวลาของการแช่และลำดับของการเติมสารเพื่อนเตรียมสารละลายอิมัลชันที่มีผลต่อการเกิดอนุภาคเงินบนผิวของฟิล์มยาง

3.1 สารเคมีที่ใช้

- 1) อะลูมิเนียมออกไซด์ (เบส), Brockmann I grade, SIGMA-ALDRICH
- 2) อะลูมิเนียมออกไซด์ (กลาง), Brockmann I grade, SIGMA-ALDRICH
- 3) เมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate: MMA), 99%, ACROS ORGANICS
- 4) ซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO₃), ≥99.0%, SIGMA-ALDRICH
- 5) เทอเทียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (tert-butyl hydroperoxide: t-BuHP), 70%, MERCK
- 6) D-(-)-Fructose, ≥99.0%, SIGMA-ALDRICH
- 7) แอมโมเนียมไอออน (II) ซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (Ammonium iron (II) sulphate hexahydrate), AR grade, KEMAUS
- 8) น้ำยางซัลเฟอร์พรีวัลคาไนซ์ (Sulphur prevulcanized natural rubber: SPNR)
- 9) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulphate: SDS), ≥98.5%, SIGMA-ALDRICH
- 10) น้ำปราศจากไอออน (Deionized water: DI water)
- 11) เมทานอล (Methanol: MeOH), Commercial grade
- 12) อะซิโตน (Acetone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การเตรียมแผ่นยาง SPNR

- 1) กรองน้ำยาง SPNR ผ่านตาข่ายขนาด 250 mesh เพื่อเอาฟองและของแข็งออก
- 2) เทน้ำยางลงบนแม่พิมพ์กระจกขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตรซ้ำๆ
- 3) อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสข้ามคืน
- 4) ตัดแผ่นยางเป็นขนาด 2x5 ตารางเซนติเมตร
- 5) วางแผ่นยางในหลอดพลาสติกที่บรรจุเมทานอล
- 6) Sonicate เป็นเวลา 15 นาที
- 7) เปลี่ยนจากเมทานอลเป็นน้ำ DI แล้ว Sonicate อีกครั้งเป็นเวลา 15 นาที
- 8) เก็บแผ่นยางที่ทำความสะอาดแล้วในกล่องดูดความชื้น

3.2.2 การทำมอนอเมอร์ MMA ให้บริสุทธิ์ (Purification of MMA monomer)

- 1) ใส่ลากลีในคอลัมน์แก้ว
- 2) เติมอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เป็นกลางและเบสลงในคอลัมน์ตามลำดับ
- 3) ท่อฟอยล์รอบคอลัมน์และค่อยๆเท MMA ลงในคอลัมน์ซ้ำๆ โดยแช่ภาชนะที่รับ MMA ในอ่างน้ำ (Water bath) ที่บรรจุน้ำแข็ง
- 4) นำ MMA ที่ได้ใส่ในขวดแก้วที่ห่อด้วยฟอยล์เพื่อป้องกันการโดนแสงและเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำ

3.2.3 การสังเคราะห์ PMMA และอนุภาคเงินนาโนลงบนแผ่นยาง SPNR

- 1) เตรียมสารละลายอิมัลชันโดยเติม MMA 62.5 กรัม ลงในสารละลาย SDS 191.2 กรัม (ความเข้มข้น 2 %w/v) แล้วปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 400 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วเติม t-BuHP 6.7 กรัม และ AgNO_3 (ความเข้มข้น 2 %w/v) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในสารละลายอิมัลชัน แล้วปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 2) แช่แผ่นยางลงในสารละลายอิมัลชันดังกล่าวเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดการเกาะติดของ MMA มอนอเมอร์บนผิวยาง โดยทำการปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 400 rpm
- 3) ล้างแผ่นยางด้วยน้ำ DI เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 400 rpm
- 4) แช่แผ่นยางลงในสารละลาย 150 mL ซึ่งประกอบด้วย D(-)-Fructose ที่ความเข้มข้น 2 %w/v และ Ammonium iron (II) sulphate hexahydrate 10 ppm โดยควบคุม pH ให้มีค่าเท่ากับ 10 โดยการเติม NH_4OH จากนั้นเพิ่มความร้อนจนมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปั่นกวนที่ 400 rpm เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) ล้างแผ่นยางอีกครั้งด้วยน้ำ DI เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 400 rpm
- 6) เก็บแผ่นยางลงในกล่องดูดความชื้น

3.3 การวิเคราะห์สมบัติของแผ่นยาง (Characterization)

แผ่นยางที่ได้จากการทดลองจะมีการตรวจลักษณะทางสัณฐานโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น EVO®MA10 โดยการเคลือบแผ่นยางด้วยไทเทเนียมเพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้า และวัดปริมาณเงินบนผิวโดยใช้เทคนิค EDX (Energy Dispersive X-ray Spectrometer) วัดค่าความขรุขระของแผ่นยางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) รุ่น Park system XE 100 โดยใช้ non-contact mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

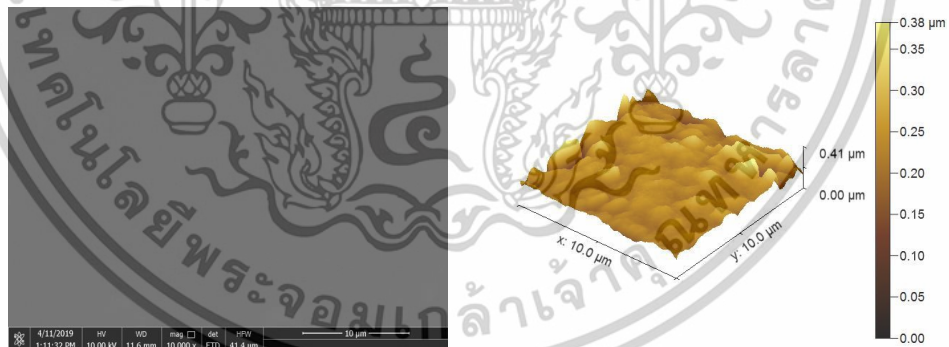
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาวิธีปรับปรุงผิวยาง SPNR เพื่อเพิ่มความขรุขระด้วย PMMA และเพิ่มสมบัติ Anti-bacterial ด้วยอนุภาคเงินผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบ 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกเป็นการแช่แผ่นยางลงในสารละลายอิมัลชันที่ประกอบด้วย SDS MMA t-BuHP และ AgNO_3 และขั้นตอนที่สองเป็นการแช่แผ่นยางลงในสารละลายที่มี Ammonium iron (II) Sulfate d-(-)-Fructose และ NH_4OH เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิด PMMA ที่มี AgNPs บนพื้นผิว โดยตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของการปรับปรุงพื้นผิวแล้วด้วย SEM และดูการปรากฏของ AgNPs บนพื้นผิวยางด้วย EDX และวัดความขรุขระของผิวยางโดยใช้ AFM

ตอนที่ 1 การปรับปรุงพื้นผิวของแผ่นยางเพื่อเพิ่มความขรุขระและสมบัติการต้านการเกิดแบคทีเรียบนพื้นผิวด้วย PMMA และ AgNPs

4.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาและความขรุขระของผิวของยาง SPNR ก่อนการปรับปรุงพื้นผิว

แผ่นยาง SPNR ที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมีลักษณะพื้นผิวที่ไม่ปรากฏอนุภาคใดๆบนพื้นผิว และเมื่อวัดค่าความขรุขระของผิวพบว่ามีความขรุขระ (Average surface roughness: R_a) อยู่ที่ 22.64 nm ดังรูปที่ 4.1



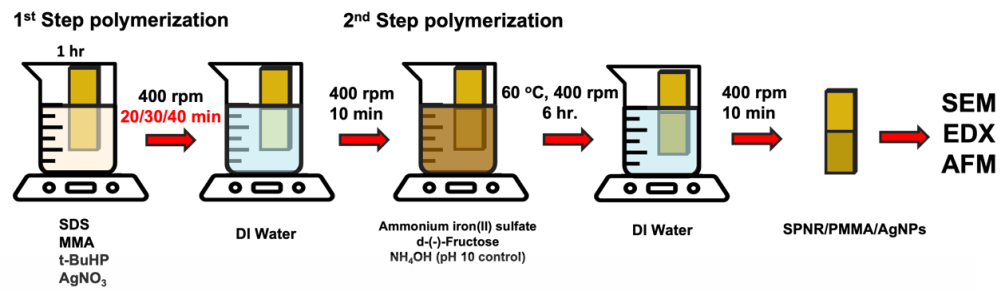
รูปที่ 4.1 ก) ภาพถ่าย SEM และ ข) รูป AFM ของแผ่นยาง SPNR ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว

4.2 ผลของระยะเวลาในการแช่ต่อการเกิด PMMA/AgNPs บนผิวยาง SPNR

เนื่องจากขั้นตอนการแช่แผ่นยางลงในสารละลายอิมัลชันส่งผลต่อการ adsorption ของสารประกอบในอิมัลชันบนหรือซึมลงในผิวยาง ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการแช่แผ่นยางจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณ PMMA และ AgNPs ที่เกิดขึ้น จึงทำการศึกษาผลของเวลา (20 30 และ 40 นาที) ต่อการเกิด PMMA/AgNPs บนผิวยาง SPNR โดยในขั้นตอนนี้จะใช้สารละลายอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เตรียมโดยผสม SDS MMA t-BuHP และ AgNO₃ และทำการศึกษาผลของเวลา (Dipping time) ดังรูปที่ 4.2

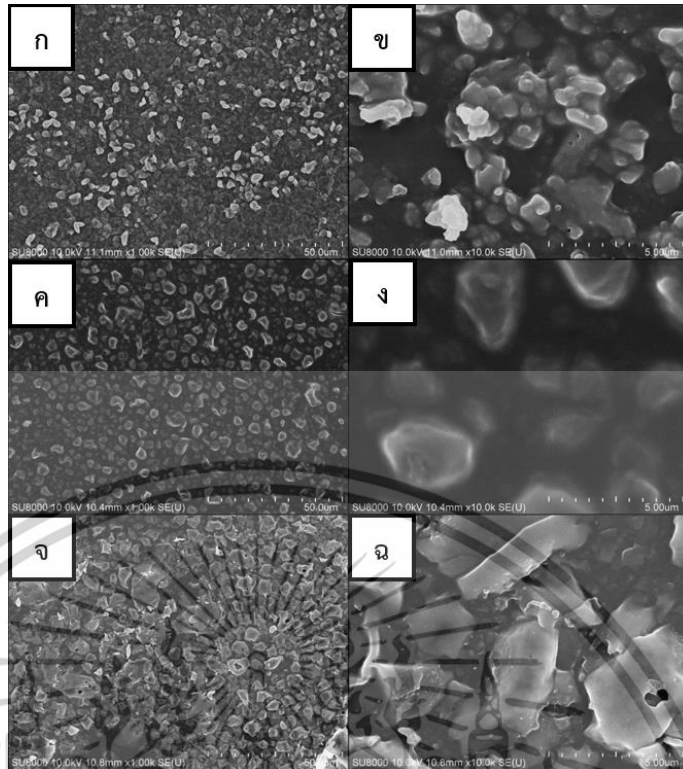


รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวของ SPNR เพื่อให้เกิด PMMA/AgNPs บนพื้นผิวของแผ่นยาง

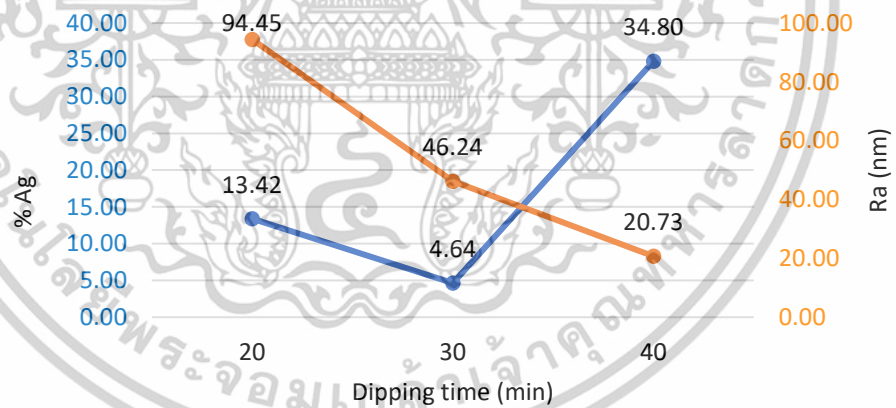
4.2.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวหลังแช่สารละลายอิมัลชันที่เวลาต่างๆ

ดังรูปที่ 4.3 แสดงสัณฐานวิทยาของแผ่นยาง SPNR ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวโดยการแช่เป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที พบว่าหลังการปรับแต่งผิวของแผ่นยาง ลักษณะสัณฐานวิทยาของผิวมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ จากผิวเรียบเป็นขรุขระ มีอนุภาคของแข็งปรากฏบนผิวโดยทั่ว และกระจายอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อระยะเวลาการแช่เพิ่มขึ้นลักษณะของอนุภาคที่เกิดขึ้นมีความเกาะกันเป็นกลุ่มที่มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ดังนั้นเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการจมของ PMMA ลงในผิวของแผ่นยางมากขึ้น

และเมื่อนำแผ่นยางที่ปรับปรุงพื้นผิวมาวัดปริมาณ %Ag บนพื้นผิว ผลที่ได้พบว่าแผ่นยางที่แช่เป็นเวลา 20, 30 และ 40 นาที พบว่าทั้ง 3 แผ่นมีการปรากฏของเงินบนผิว ซึ่งเป็นปริมาณ 13.42%, 4.64% และ 34.80% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า roughness ของแผ่นยางส่งผลให้อนุภาคเงินสามารถเกาะบนแผ่นยางได้



รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นยางที่มี PMMA/AgNPs ซึ่งแช่เป็นเวลา ก,ข) 20 นาที ค,ง) 30 นาที และ จ,ฉ) 40 นาที โดยคอลัมน์ซ้ายมือถ่ายที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และคอลัมน์ขวามือถ่ายที่ กำลังขยาย 10,000 เท่า

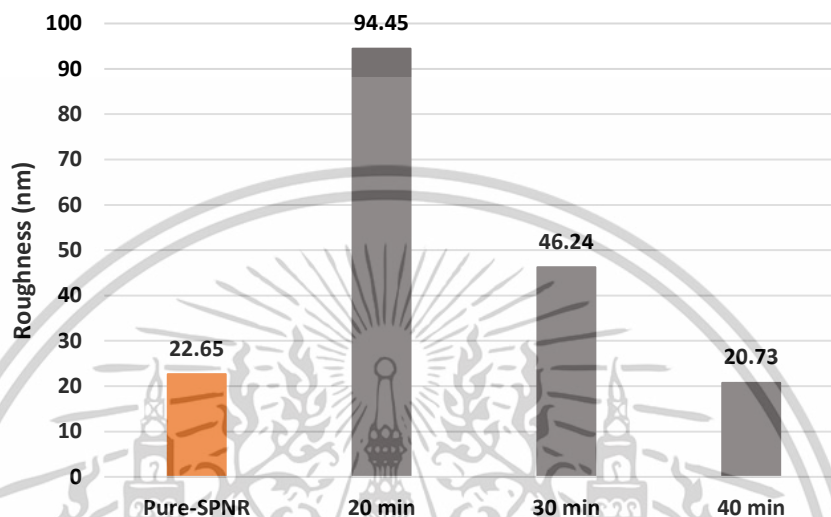


รูปที่ 4.4 ปริมาณเงินและความขรุขระบนผิวยางที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวโดยการแช่เป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที

4.2.2 ความขรุขระของแผ่นยางที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวที่แช่ลงในสารละลายอิมัลชันที่เวลาต่างๆ

จากการวิเคราะห์ความขรุขระของผิวยางที่แช่ในสารละลายอิมัลชันที่เวลาต่างๆ แล้วนำไปทำปฏิกิริยาเกิดอนุภาคของแข็งคาดว่า เป็น PMMA และ AgNPs บนผิวของแผ่นยาง ช่วยเพิ่มความขรุขระให้กับผิวยาง โดยมีค่า R_a เพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับผิวที่ 22.65 nm เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น 94.45 nm, 46.24 nm และ 20.73 nm ตามลำดับ ซึ่งเวลาของการแช่แผ่นมีผลต่อการเกิด PMMA และ AgNPs บนพื้นผิว เวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ MMA เกิดการจมลงในผิวของยางมากขึ้น ส่งผลให้ค่า Ra ของผิวยางมีค่าลดลง ทั้งนี้ความขรุขระของผิวยางที่แช่เป็นเวลา 40 นาที อาจเกิดการเกาะกันเกิดเป็นความลึกที่ไม่มากส่งผลให้ค่า Ra มีค่าน้อยกว่าผิวยางที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง



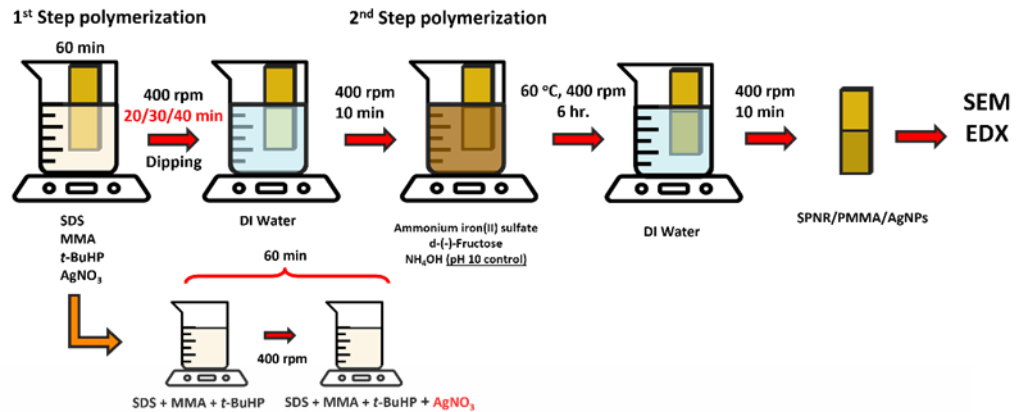
รูปที่ 4.5 ค่าความขรุขระของ แผ่นยาง SPNR ที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว และ แผ่นยางที่ผ่านการปรับปรุงผิวโดยการแช่เป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที

ตอนที่ 2 การศึกษากลไกการเกิด PMMA และ AgNPs จากส่วนประกอบและการเกิดอิมัลชัน

4.3 ผลของลำดับการเติมสารประกอบในการเตรียมสารละลายอิมัลชัน: เติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP

จากการทดลองในหัวข้อ 4.2 การเติม AgNO_3 ลงไปในการทดลองพร้อมกับ MMA SDS และ t-BuHP อาจทำให้อุณหภูมิที่ได้อาจเกิดการจมลงไปในไมเซลล์ของ MMA SDS และ t-BuHP ดังนั้นการทดลองจึงมีการปรับลำดับการเติม AgNO_3 ในขั้นตอนของการเตรียมสารละลายอิมัลชัน ดังรูปที่ 4.6 โดยเติม AgNO_3 ลงภายหลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 10 30 และ 50 นาที โดยกำหนดระยะเวลาของการเตรียมสารละลายอิมัลชันเป็นเวลาเท่ากันคือ 1 ชั่วโมง ซึ่งในแต่ละการทดลองมีการปรับระยะเวลาการแช่แผ่นยางอยู่ที่ 20 30 และ 40 นาที

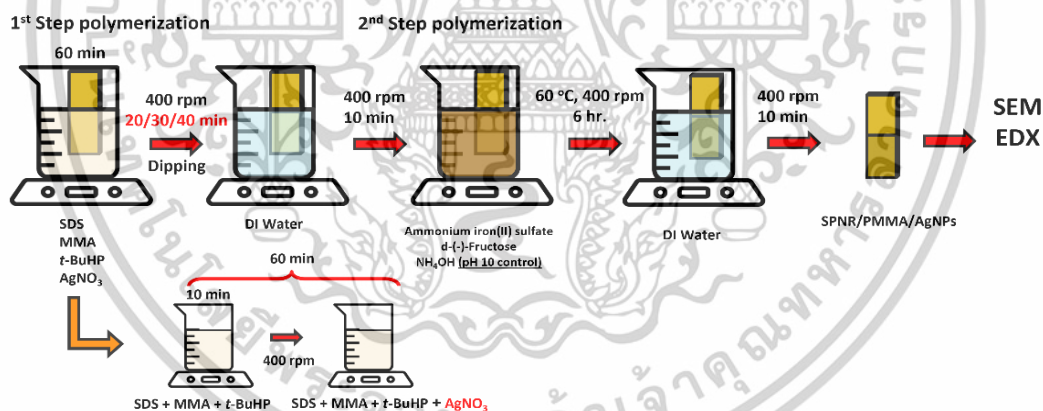
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวของ SPNR เพื่อให้เกิด PMMA/AgNPs บนพื้นผิวของแผ่นยาง โดยการปรับลำดับการเติม AgNO₃

4.3.1 การทดลองการปรับปรุงผิวของ SPNR โดยการเติม AgNO₃ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 10 นาที

ในขั้นตอนนี้การเตรียมสารละลายอิมัลชันมีการแบ่งเป็นการเตรียมด้วย SDS MMA และ t-BuHP ก่อนเป็นเวลา 10 นาทีแล้วจึงเติมสารละลาย AgNO₃ ลงไป แล้วปั่นกวนต่ออีก 50 นาที รวมระยะเวลาเตรียมสารละลายอิมัลชัน 1 ชั่วโมง จึงแช่ยางลงไปเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที

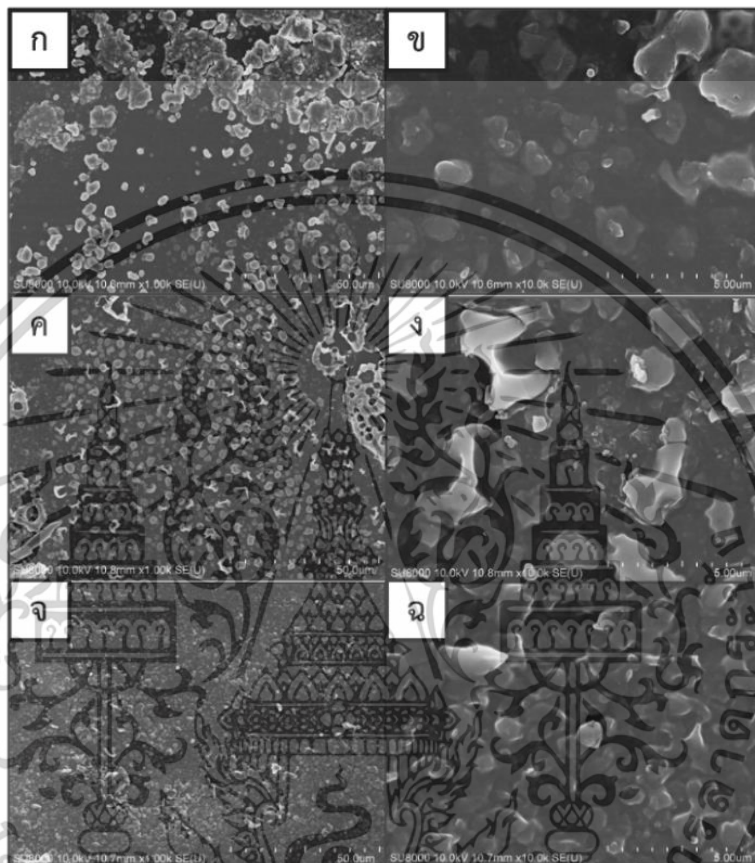


รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวของ SPNR เพื่อให้เกิด PMMA/AgNPs บนพื้นผิวของแผ่นยาง โดยการปรับลำดับการเติม AgNO₃ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 10 นาที

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและปริมาณ AgNPs ของแผ่นยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวที่เวลาต่างๆ

ลักษณะอนุภาคบนพื้นผิวของแผ่นยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวแล้วมีลักษณะดังรูปที่ 4.8 พบว่าที่ระยะเวลาของการแช่ 20 นาที มีลักษณะการเกาะตัวของ PMMA บนพื้นผิวที่เป็นกลุ่มซึ่งมีความเกาะอยู่เป็นกลุ่ม และที่ผิวยางที่ผ่านการแช่เป็นเวลา 30 นาที มีความกระจายของอนุภาคบนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวมากขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรที่มากขึ้นของการเกิด PMMA บนพื้นผิวของแผ่นยาง และผิวยางที่ผ่านการแช่เป็นเวลา 40 นาทีมีลักษณะของ PMMA เกาะอยู่บนพื้นผิวซึ่งมีการจมของ PMMA บนผิวของแผ่นยางมากขึ้น แต่แผ่นยางทั้งหมดยังไม่ปรากฏลักษณะของอนุภาคเงินบนพื้นผิว ซึ่งคาดว่าเวลาในการเตรียมไมเซลล์ของ MMA นั้นน้อยเกินกว่าที่จะทำให้ไมเซลล์มีความเสถียรและทำให้อนุภาคเงินมาเกาะบนผิวของ PMMA



รูปที่ 4.8 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นยางซึ่งมีการเติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา ก,ข) 20 นาที ค,ง) 30 นาที และ จ,ฉ) 40 นาที โดยคอลัมน์ซ้ายมือถ่ายที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และคอลัมน์ขวามือถ่ายที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

เมื่อทำการศึกษาปริมาณ AgNO_3 บนพื้นผิวของยาง พบว่าปริมาณเงินที่พบบนผิวยางที่แช่เป็นเวลา 20, 30 และ 40 นาที มีปริมาณ 5.76%, 13.31% และ 2.49% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งอาจเป็นไปได้ 2 สาเหตุ ประการแรก Ag^+ ที่เกิดจากการแตกตัวของ AgNO_3 เกิดแรงดึงดูดกับประจุลบของ SDS บนไมเซลล์หรือรบกวนการเกิดไมเซลล์ส่งผลให้ Ag^+ adsorb บนผิวยางได้น้อย หรือประการที่สอง ปริมาณเงินที่พบนั้นอาจเป็นปริมาณเงินที่เข้าไปกับไมเซลล์ของ MMA และไม่ได้เป็นอนุภาคเงินบนผิว PMMA บนผิวยาง

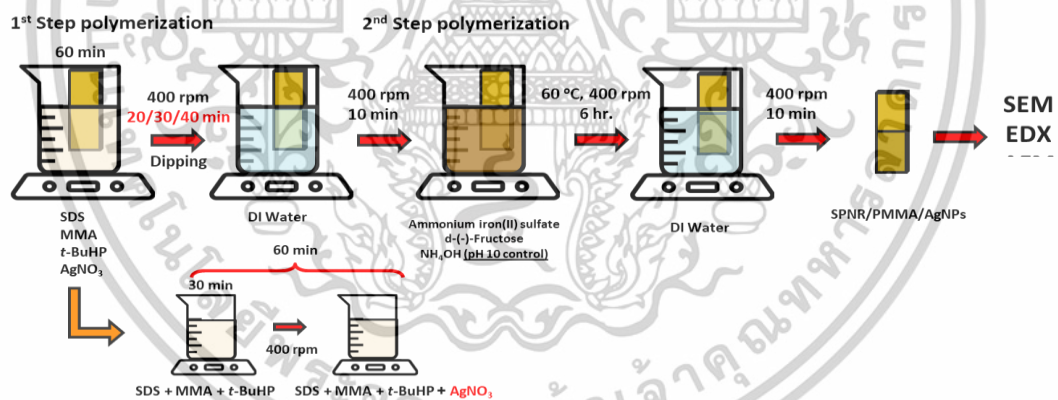
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. ตารางแสดงปริมาณ Ag บนผิวยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งมีการเติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที

Dipping time (min)	%Ag (%wt)
20	5.76
30	13.31
40	2.49

4.3.2 การทดลองการปรับปรุงผิวยาง SPNR โดยการเติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 30 นาที

จากการทดลองที่เติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 10 นาที ซึ่งพบว่าความเสถียรของไมเซลล์อาจจะมีไม่มากพอจะทำให้เกิดการรีตีวซ์ของอนุภาคเงินบน PMMA บนพื้นผิวของแผ่นยาง SPNR ในการทดลองนี้จึงลองปรับเพิ่มเวลาในการเตรียมสารละลายอิมัลชันก่อนการเติมสารละลาย AgNO_3 ลงไป ดังรูปที่ 4.9



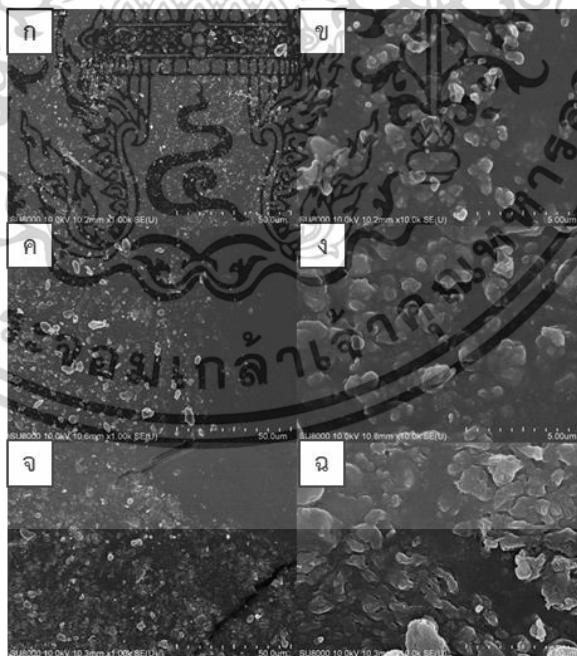
รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวยาง SPNR เพื่อให้เกิด PMMA/AgNPs บนพื้นผิวของแผ่นยาง โดยการปรับลำดับการเติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและปริมาณ AgNPs ของแผ่นยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งมีการเติม AgNO₃ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที

ลักษณะพื้นผิวของแผ่นยางที่มีการปรับปรุงพื้นผิวที่มีการเติม AgNO₃ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที มีลักษณะดังรูปที่ 4.10 โดยผิวของแผ่นยางที่แช่เป็นเวลา 20 และ 30 นาที มีลักษณะคล้ายอนุภาคบนพื้นผิวของยางหลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 10 นาที แต่มีลักษณะการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากกว่า ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการเกิดไมเซลล์ของ MMA และ SDS ที่มีความเสถียรขึ้นทำให้อนุภาคเงินเกิดการรีดิวซ์บนผิวของ PMMA บนผิวยางมากขึ้น แทนการเกิดอยู่บนผิวของแผ่นยางซึ่งอาจมีการจมในผิวของแผ่นยาง และในส่วนของแผ่นยางที่ผ่านการแช่เป็นเวลา 40 นาที มีลักษณะของ PMMA และ AgNPs บนพื้นผิวที่ชัดเจนขึ้นกว่าที่แช่เป็นเวลา 20 และ 30 นาที ซึ่ง PMMA ที่ปรากฏบนผิวมีลักษณะการเกาะกันเป็นกลุ่มที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งเกิดจากการ polymerization บนผิวมากขึ้นตามระยะเวลาของการแช่แผ่นยาง

เมื่อวัดปริมาณ Ag บนพื้นผิว พบว่าปริมาณ Ag มากขึ้นตามระยะเวลาการแช่ โดยที่แผ่นยางที่แช่เวลา 20, 30 และ 40 นาที มีปริมาณ Ag ที่ 3.15%, 4.23% และ 10.85% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2 เนื่องจากการการ reduce ของ AgNPs ที่สามารถเกิดได้มากขึ้นตามระยะเวลาการแช่ของแผ่นยาง



รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นยางซึ่งมีการเติม AgNO₃ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา ก,ข) 20 นาที ค,ง) 30 นาที และ จ,ฉ) 40 นาที โดยคอลัมน์ซ้ายมือถ่ายที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และคอลัมน์ขวามือถ่ายที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

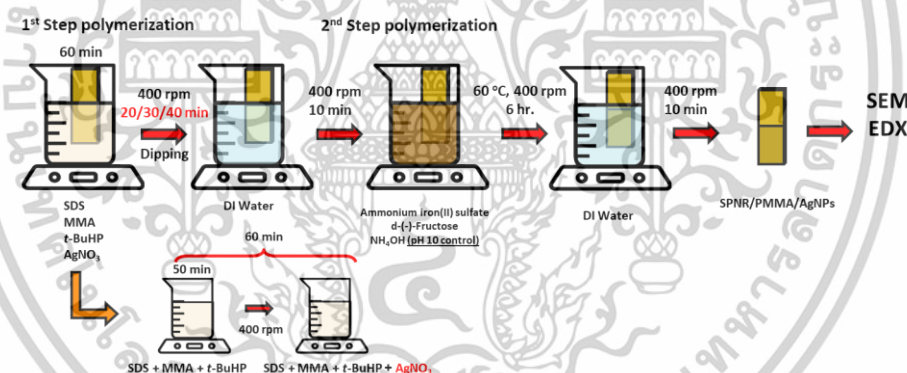
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2. ตารางแสดงปริมาณ Ag บนผิวยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งมีการเติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที

Dipping time (min)	%Ag (%wt)
20	3.15
30	4.23
40	10.85

4.3.3 การทดลองการปรับปรุงผิวยาง SPNR โดยการเติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 50 นาที

จากการทดลองที่เติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งยังไม่ปรากฏลักษณะของอนุภาคเงินบน PMMA อย่างเห็นได้ชัด ในการทดลองนี้จึงลองปรับเพิ่มเวลาในการเตรียมสารละลายอิมัลชันก่อนการเติมสารละลาย AgNO_3 ลงไป ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวยาง SPNR เพื่อให้เกิด PMMA/AgNPs บนพื้นผิวของแผ่นยาง โดยการปรับลำดับการเติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 50 นาที

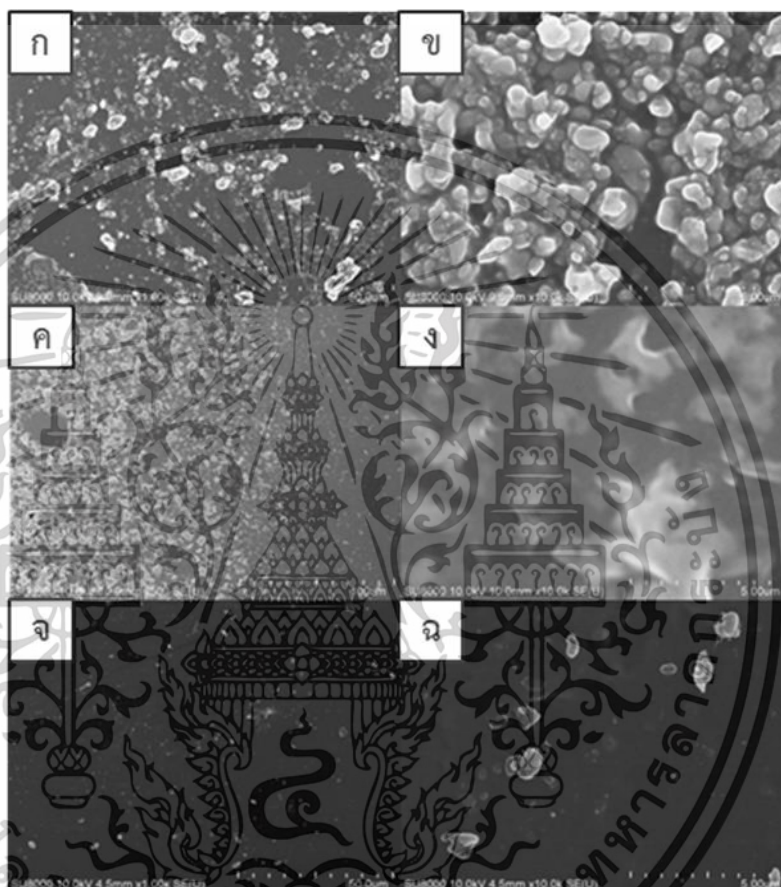
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและปริมาณ AgNPs ของแผ่นยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งมีการเติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 50 นาที

ลักษณะพื้นผิวของแผ่นยางที่มีการปรับปรุงพื้นผิวที่มีการเติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที มีลักษณะดังรูปที่ 4.12 โดยผิวของแผ่นยางที่แช่เป็นเวลา 20 นาที ปรากฏลักษณะของอนุภาคเงินบน PMMA แต่แผ่นยางที่แช่เป็นเวลา 30 และ 40 นาที พบว่ามีลักษณะของ PMMA อยู่บนผิว และจมในผิวซึ่งคาดว่าหากมีระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมในอิมัลชันที่นานเกินไป เมื่อเติม AgNO_3 ลงไปอาจไม่เกิดการ reduce เป็นอนุภาคเงินบนผิวของ PMMA บนแผ่นยาง

ตารางที่ 4.3 ปริมาณเงินบนผิวยางที่แช่เป็นเวลา 20 นาที มีปริมาณ Ag อยู่ที่ 6.11% ในขณะที่แผ่นยางที่แช่เป็นเวลา 30 และ 40 นาที ซึ่งไม่ปรากฏลักษณะของอนุภาคเงินบนผิวของ PMMA โดยมีปริมาณเงิน 23.74% และ 3.57% ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดการที่เงินอยู่ร่วมกับไมเซลล์ของ PMMA โดยไม่เกิดเป็นอนุภาคที่ผิวของ PMMA



รูปที่ 4.12 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นยางซึ่งมีการเติม AgNO_3 หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 50 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา ก) 20 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ข) 20 นาที ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า ค) 30 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ง) 30 นาที ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า และ จ) 40 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ฉ) 40 นาที ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

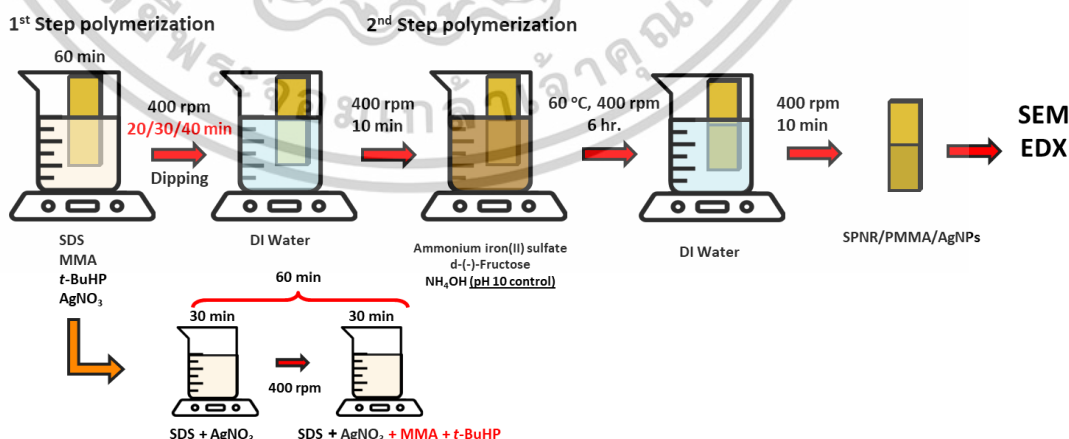
ตารางที่ 4.3. ตารางแสดงปริมาณ Ag บนผิวยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งมีการเติม $AgNO_3$ หลังการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ MMA SDS และ t-BuHP เป็นเวลา 50 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที

Dipping time (min)	%Ag (%wt)
20	6.11
30	23.74
40	3.57

ตอนที่ 3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลำดับของการเตรียมอนุภาค AgNPs ในสารละลายอิมัลชัน

4.4 การทดลองการปรับปรุงผิวยาง SPNR โดยปรับการเติม $AgNO_3$ และ SDS ในช่วง 30 นาทีแรกของการเตรียมสารละลายอิมัลชันและเติม MMA และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที

จากตอนที่ 2 การเตรียมสารละลาย SDS MMA และ t-BuHP ก่อนแล้วเติมสารละลาย $AgNO_3$ ลงไป อาจทำให้การเกาะตัวของเงินบนไมเซลล์ก่อนเกิดเป็นอนุภาค AgNP บน PMMA ไม่มากพอ ดังนั้นในขั้นตอนนี้ จึงศึกษาเพื่อลองดูว่า SDS และ $AgNO_3$ ก่อน อาจทำให้เกิดไมเซลล์ของเงินที่มีความเสถียรมากพอก่อนที่ SDS [14] ที่เหลือบางส่วนจับตัวกับ MMA ที่ถูกเหนี่ยวนำด้วย t-BuHP เกิดเป็น PMMA [15] จนเกิดเป็นอนุภาคของเงินบน PMMA ที่รีดิวซ์เกิดบนผิวยางที่ชัดเจนมากขึ้น ในขั้นตอนนี้จึงมีการทดลองดังรูปที่ 4.13



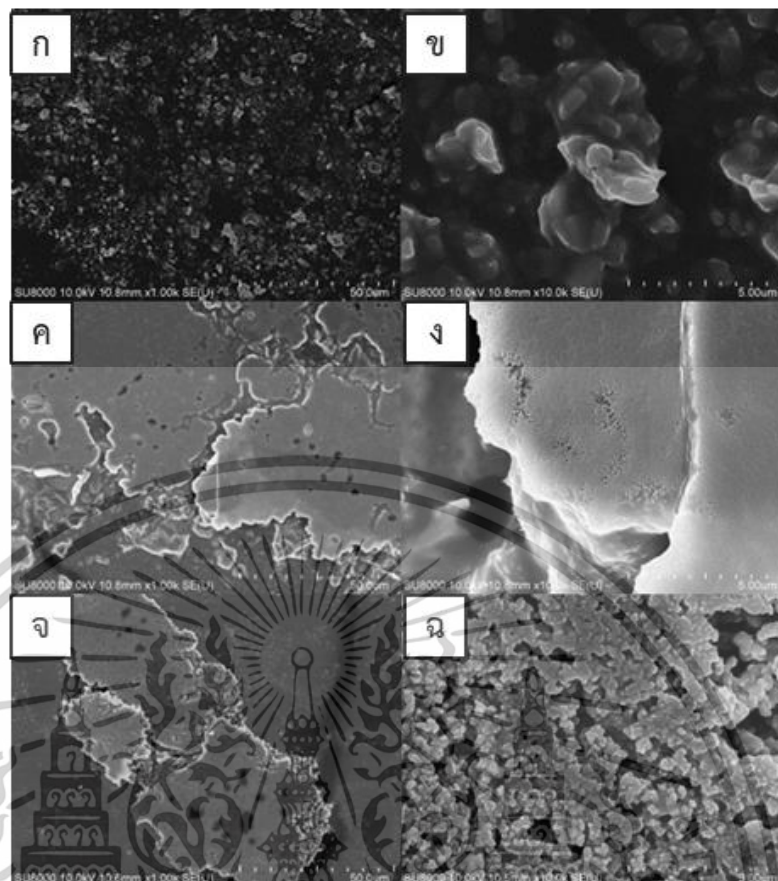
รูปที่ 4.13 การทดลองการปรับปรุงผิวยาง SPNR โดยปรับการเติม $AgNO_3$ และ SDS ในช่วง 30 นาทีแรกของการเตรียมสารละลายอิมัลชันและเติม MMA และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งปรับการเติม AgNO_3 และ SDS ในช่วง 30 นาทีแรกของการเตรียมสารละลายอิมัลชันและเติม MMA และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที

เมื่อทดลองปรับลำดับของการเตรียมสารละลายแล้วแช่แผ่นยาง SPNR ในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที พบว่าลักษณะพื้นผิวของแผ่นยางที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมีลักษณะดังรูปที่ 4.14 โดยที่ลักษณะของผิวยางที่แช่เป็นเวลา 20 นาที มีลักษณะของ PMMA ซึ่งยังไม่แสดงลักษณะของอนุภาคเงินบนผิวยางที่ชัดเจน แต่มีการกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบอันเป็นผลมาจากระยะเวลาของการเกิดไมเซลล์ของ MMA ที่ถูกเหนี่ยวนำโดย t-BuHP ก่อน ส่วนแผ่นยางที่ แช่เป็นเวลา 30 นาที พบว่ามีลักษณะของการเกาะกลุ่มของ PMMA ที่เป็นกลุ่มที่ใหญ่ขึ้นเนื่องจากเวลาของการเตรียมอิมัลชันที่เพิ่มขึ้นและปรากฏอนุภาคเงินบนพื้นผิวซึ่งมีขนาดที่ค่อนข้างเล็กซึ่งคาดว่าเป็นผลจากความเสถียรของไมเซลล์ของเงินก่อนจะเกิดเป็นอนุภาคเงินบน PMMA และแผ่นยางที่แช่เป็นเวลา 40 นาทีเห็นมีอนุภาคเงินที่เกิดบนผิวของ PMMA ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับการแช่ที่เวลา 30 นาที ส่วน PMMA พบว่ามีลักษณะคล้ายกับผิวของแผ่นยางที่แช่ที่เวลา 30 นาที แต่มีการกระจายตัวที่มีระเบียบมากขึ้น

เมื่อทำการวัดปริมาณเงินบนผิวยาง SPNR ที่แช่เป็นเวลา 20, 30 และ 40 นาที พบว่าผิวของแผ่นยางมีปริมาณดังตารางที่ 4 ซึ่งมีปริมาณ 11.56%, 12.21% และ 21.19% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณเงินที่เกิดบนผิวยางที่ถูกปรับปรุงเป็นเวลา 20 และ 30 นาที มีมากขึ้นเนื่องจากการเกิดไมเซลล์ของเงินซึ่งมากพอที่จะถูกรีดิวซ์เป็นอนุภาคที่มากขึ้น และไม่จมหายไป PMMA หรือในผิวของแผ่นยาง ส่วนแผ่นยางที่ผ่านการปรับปรุงที่ 40 นาที มีปริมาณเงินอยู่ที่ 21.19% ซึ่งมากที่สุดซึ่งเกิดจากการเกิดเป็นไมเซลล์ของเงินในสารละลายอิมัลชัน และมีเวลาที่จะเกิดอนุภาคเงินก่อนที่จะเกาะบนไมเซลล์ของ MMA แล้วซึ่งจะเกิดเป็นอนุภาคเงินบน PMMA บนผิวของแผ่นยาง



รูปที่ 4.14 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งปรับการเติม AgNO_3 และ SDS ในช่วง 30 นาทีแรกของการเตรียมสารละลายอิมัลชันและเติม MMA และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา ก) 20 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

ตารางที่ 4. ตารางแสดงปริมาณ Ag บนผิวของแผ่นยาง SPNR ที่ปรับปรุงพื้นผิวซึ่งปรับการเติม AgNO_3 และ SDS ในช่วง 30 นาทีแรกของการเตรียมสารละลายอิมัลชันและเติม MMA และ t-BuHP เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ลงในสารละลายอิมัลชันเป็นเวลา 20 30 และ 40 นาที

Dipping time (min)	%Ag (%wt)
20	11.56
30	12.21
40	21.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ การสังเคราะห์อนุภาคของเงินนาโนบน PMMA บนผิวยาง SPNR ด้วยวิธี redox/emulsion polymerization ซึ่งมีการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการแช่ที่มีผลต่อค่า Roughness ของผิวยาง ซึ่งระยะเวลาการแช่ที่มากขึ้นส่งผลให้ค่า Roughness ของผิวยางลดลง เนื่องจาก PMMA ที่อยู่บนผิวของแผ่นยางบางส่วนได้จมลงไปใต้ผิวของแผ่นยาง แต่ยังคงมากกว่าผิวยางที่ไม่ได้มีการปรับปรุงพื้นผิว และเมื่อทดลองปรับระยะเวลาการเตรียมสารละลายอิมัลชันก่อนที่จะเติมสารละลาย $AgNO_3$ ในสารละลายอิมัลชัน พบว่าเมื่อเตรียมอิมัลชันเป็นเวลา 50 นาทีก่อนเติมสารละลาย $AgNO_3$ ทำให้เห็นการเกิดของอนุภาคเงินและ PMMA บนผิวของแผ่นยาง SPNR และเมื่อเปลี่ยนลำดับการเตรียมสารละลายอิมัลชันโดยการเตรียมสารละลายอิมัลชันของ SDS และ $AgNO_3$ ก่อนที่จะเติม MMA และ t-BuHP ลงในสารละลาย พบว่าทำให้เกิดอนุภาคเงินบน PMMA บนผิวของแผ่นยาง SPNR ที่ชัดและปริมาณเยอะสุดที่ 21.19%wt ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมบัติที่จะยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียบนผิวของแผ่นยาง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการเตรียมสารละลายอิมัลชันแยกระหว่าง SDS กับ $AgNO_3$ และ SDS กับ MMA ก่อนเติม t-BuHP เพื่อให้เกิดอนุภาคของทั้ง AgNPs และ PMMA ก่อนเคลือบลงบนผิวของแผ่นยาง SPNR
2. ในการนำไปใช้ระดับอุตสาหกรรม ควรศึกษาปริมาณของเงินที่ใช้ให้มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Y. Hayashi, "Production of natural rubber from Para rubber tree," *Plant Biotechnology*, vol. 26, no. 1, pp. 67–70, Jan. 2009, doi: 10.5511/plantbiotechnology.26.67.
- [2] S.-A. Riyajan and S. Patisat, "A Novel Packaging Film from Cassava Starch and Natural Rubber," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 26, no. 7, pp. 2845–2854, Jan. 2018, doi: 10.1007/s10924-017-1172-5.
- [3] R. Ramli, A. B. Chai, S. Kamaruddin, J. H. Ho, F. R. Mohd. Rasdi, and D. S. A. De Focatiis, "Development of latex foam pillows from deproteinized natural rubber latex," *Journal of Rubber Research*, vol. 24, no. 4, pp. 615–630, Nov. 2021, doi: 10.1007/s42464-021-00130-7.
- [4] R. Thonggoom, P. Thamasirianunt, K. Sanguansap, and P. Tangboriboonrat, "Bulk phase separation study by atomic force microscope friction imaging of natural rubber/poly(methyl methacrylate) film," *Polymer Testing*, vol. 27, no. 3, pp. 368–377, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.polymertesting.2007.12.008.
- [5] K. Sanguansap, R. Thonggoom, and P. Tangboriboonrat, "Surface modification of natural rubber film by polymerisation of methyl methacrylate in water-based system," *European Polymer Journal*, vol. 42, no. 10, pp. 2334–2342, Aug. 2006, doi: 10.1016/j.eurpolymj.2006.06.011.
- [6] A. Sruanganurak and P. Tangboriboonrat, "Surface modification of sulphur prevulcanized natural rubber latex sheet via layer-by-layer assembled PMMA particles," *Colloids and Surfaces a Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 301, no. 1–3, pp. 147–152, Dec. 2006, doi: 10.1016/j.colsurfa.2006.12.041.
- [7] C. Amornchaiyapitak, W. Taweeprada, and P. Tangboriboonrat, "Modification of epoxidised natural rubber film surface by polymerisation of methyl methacrylate," *European Polymer Journal*, vol. 44, no. 6, pp. 1782–1788, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.eurpolymj.2008.03.002.
- [8] I. Rathnayake, H. Ismail, B. Azahari, N. D. Darsanasiri, and S. Rajapakse, "Synthesis and characterization of Nano-Silver incorporated natural rubber latex foam," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 51, no. 6, pp. 605–611, Apr. 2012, doi: 10.1080/03602559.2012.659310.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] N. H. H. A. Bakar, J. Ismail, and M. A. Bakar, "Synthesis and characterization of silver nanoparticles in natural rubber," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 104, no. 2–3, pp. 276–283, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.matchemphys.2007.03.015.
- [10] P. A. Lovell and F. J. Schork, "Fundamentals of Emulsion Polymerization," *Biomacromolecules*, vol. 21, no. 11, pp. 4396–4441, Jun. 2020, doi: 10.1021/acs.biomac.0c00769.
- [11] K. Berthelot, S. Lecomte, Y. Estevez, and F. Peruch, "Hevea brasiliensis REF (Hev b 1) and SRPP (Hev b 3): An overview on rubber particle proteins," *Biochimie*, vol. 106, pp. 1–9, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.biochi.2014.07.002.
- [12] H. Fang, Y. He, Y. Li, and J. Du, "A study on the preparation of a vulcanizing mixture and its application in natural rubber latex," *Polymers*, vol. 16, no. 9, p. 1256, Apr. 2024, doi: 10.3390/polym16091256.
- [13] R. Goseki and T. Ishizone, "Poly(methyl methacrylate) (PMMA)," in *Springer eBooks*, 2014, pp. 1–11. doi: 10.1007/978-3-642-36199-9_244-1.
- [14] V. Shah, B. Bharatiya, M. K. Mishra, D. Ray, and D. O. Shah, "Molecular insights into sodium dodecyl sulphate mediated control of size for silver nanoparticles," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 273, pp. 222–230, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.molliq.2018.10.042.
- [15] F. Zhang, M. Luo, Z. Chen, Z. Wei, and T. J. Pinnavaia, "Effects of mesoporous silica particles on the emulsion polymerization of methyl methacrylate," *Polymer Engineering and Science*, vol. 54, no. 12, pp. 2746–2752, Dec. 2013, doi: 10.1002/pen.23830.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายธนดล จารุรักษา
วัน เดือน ปีเกิด 22 กันยายน 2540 ที่ชลบุรี
ที่อยู่ 1/127 หมู่ที่ 8 ถนนสุขุมวิท ต.สัตหีบ อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี 20180

ประวัติการศึกษา:

2559 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2563 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย:

2565 – 2567 วิศวกร Olefins Conversion Operation ที่บริษัท มาบตาพุดโอเลฟินส์
จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้