

ผลิตภัณฑ์กรองอากาศสำหรับเครื่องปรับอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต
ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น

FILTER PRODUCTIONS FOR AIR CONDITIONER FROM
POLYBUTYLENE SUCCINATE USING THE MELT JET SPINNING
PROCESS

นายธนาเดช ชินสะอาด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลิตภัณฑ์กรองอากาศสำหรับเครื่องปรับอากาศจากพอลิวิวิทิลีนซัคซิเนต
ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบฟั่น

นายธนาเดช ชินสะอาด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลิตภัณฑ์กรองอากาศสำหรับเครื่องปรับอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต
ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น

Filter Products for Air Conditioner from Polybutylene Succinate
Using the Melt Jet Spinning Process

ชื่อ - นามสกุล

นายธนาเดช ชินสะอาด

สาขาวิชา

วิศวกรรมวัสดุ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสะอาด, Ph.D.

ปีการศึกษา

2563

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ประกอบ กิจไชยา, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนนมาลย์ เนียมกลาง, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสะอาด, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 22 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลิตภัณฑ์กรองอากาศสำหรับเครื่องปรับอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น
ชื่อ-นามสกุล	นายธนาเดช ชินสะอาด
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสะอาด, Ph.D.
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

แผ่นกรองอากาศในเครื่องปรับอากาศเป็นวัสดุผ้าไม่ถักไม่ทอแบบใช้แล้วทิ้งที่ผลิตจากพอลิเมอร์ประเภทพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตหรือพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ย่อยสลาย ชยะผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจึงเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพประเภทพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเป็นวัสดุในการผลิตแผ่นกรองอากาศในเครื่องปรับอากาศทดแทนพอลิเมอร์ที่ไม่ย่อยสลาย

ศึกษากระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูป ได้แก่ 250, 260, 270 และ 280 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงานที่ 30, 60, 90 และ 120 cm และศึกษาการเคลือบแผ่นกรองอากาศด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุดความเข้มข้น 1, 3, 5 และ 10 wt.% และทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติการออกฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโตของเชื้อโรค

จากการทดสอบกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น พบว่า 1) ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ เมื่ออุณหภูมิในการขึ้นรูปและระยะเก็บชิ้นงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาและน้ำหนักของแผ่นกรองอากาศมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่วนลักษณะสันฐานวิทยาและขนาดของเส้นใยผ้าไม่ถักไม่ทอนั้น การเพิ่มอุณหภูมิและความดันลมในการขึ้นรูปส่งผลให้ขนาดเส้นใยเล็กลง และมีการกระจายตัวของเส้นใยที่แคบลง ระยะเก็บชิ้นงานที่สูงขึ้นทำให้การกระจายตัวของเส้นใยมากขึ้น 2) ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของความต้านทานต่อแรงดึงของผ้าไม่ถักไม่ทอ พบว่าอุณหภูมิการขึ้นรูปและความดันลมที่สูงขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงของผ้าไม่ถักไม่ทอและอัตราการไหลผ่านของอากาศมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ระยะเก็บชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าลดลง 3) ผลการทดสอบการออกฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโตของเชื้อโรค พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อโรค *Staphylococcus aureus* และ *Streptococcus pneumoniae* สามารถวัดเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียมากกว่า 80% โดยการเพิ่มปริมาณสารสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุดที่เคลือบบนแผ่นกรองอากาศจะทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคดีขึ้นได้

คำสำคัญ: แผ่นกรองอากาศ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต การออกฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโตของเชื้อโรค

Thesis Title	Filter Products for Air Conditioner from Polybutylene Succinate Using the Melt Jet Spinning Process
Name-Surname	Mr. Tanadech Chinsaard
Program	Materials Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Sommai Pivsa-Art, Ph.D.
Academic Year	2020

ABSTRACT

Air conditioner filters are usually made of disposable nonwoven fabrics like polyethylene terephthalate or polypropylene. These polymers are non-degradable and their wastes become a source of environmental problems. This research aimed to investigate the utilization of polybutylene succinate, a biodegradable polymer, to replace the conventional non-degradable polymers.

The fabrication process parameters were studied including the process temperatures of 250, 260, 270 and 280 °C at the air pressures of 0.3 and 0.5 MPa with the collector distances of 30, 60, 90 and 120 cm. The filter was coated with xanthone extracts from mangosteen peels at the concentrations of 1, 3, 5 and 10 wt.%. The physical properties, the mechanical properties and the bacterial growth inhibition properties of the filters were examined.

The test results of fabrication of filter products for air conditioner using a melt jet spinning process revealed that : 1) regarding the physical properties, an increase in the process temperatures and the collector distances resulted in the increased weight and thickness of the nonwoven fabrics. According to the size and the morphology test of nonwoven fibers, an increase in the process temperatures and the air pressures resulted in the decreased fiber size and fiber distribution. Moreover, an increase in the collector distances resulted in the increased rate of fiber distribution. 2) Regarding the mechanical test, the tensile testing revealed that an increase in the process temperatures and the air pressures resulted in the increase of tensile strength and the increase of air flow rate. On the other hand, an increase in the collector distances resulted in the decrease of tensile strength. 3) Regarding to the bacterial growth inhibition test, it indicated that the filter could inhibit bacterial growth, *Staphylococcus aureus* and *Streptococcus pneumoniae*, by more than 80%. An increase in the amount of xanthone extracts from mangosteen peels coated on the filters could improve the bacterial inhibition efficiency.

Keywords: air filter, polybutylene succinate, bacterial growth inhibition

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาจัดทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้ และ ความ
อนุเคราะห์ของบุคคลต่าง ๆ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสะอาด อาจารย์ที่ปรึกษาที่เสียสละเวลา
ให้คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ
ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีราภรณ์ ผิวสะอาด อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่เสียสละ
เวลาให้คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้
สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ
คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ บุคคลหลายฝ่ายของมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำแนวทางและข้อเสนอแนะทางวิชาการที่เป็น
ประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รุ่นพี่นักศึกษาปริญญาเอกทุกท่านที่ให้คำชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือในการ
ทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนประสบความสำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดามารดา ผู้ให้การสนับสนุนทุก ๆ ด้านอย่างไม่เคยเหน็ดเหนื่อย และคอย
เป็นกำลังใจให้เสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ หาก
วิทยานิพนธ์นี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบอภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ธนาเดช ชินสะอาด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย.....	(3)
บทคัดย่ออังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(10)
สารบัญภาพ.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	13
1.2 วัตถุประสงค์.....	15
1.3 ขอบเขต.....	15
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.1 แผ่นกรองอากาศ.....	17
2.1.1 การกรองแบบทางกล.....	17
2.1.2 การกรองแบบทางไฟฟ้า.....	18
2.1.3 การกรองทางเคมี.....	19
2.2 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	23
2.3 กลไกการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	25
2.4 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Poly(butylene succinate), PBS).....	27
2.5 ผ้าไม่ถักไม่ทอ (Nonwovens).....	28
2.6 สารสกัดจากเปลือกมังคุด.....	29
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	39
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	40
3.2.1 วัสดุดิบ.....	40
3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	41
3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	42
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	43
3.3.1 การเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่น หลอมแบบพ่น.....	44
3.3.2 การเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด.....	44
3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล.....	44
3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ.....	44
3.4.1.1 การทดสอบการวัดความหนา.....	44
3.4.1.2 การทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน.....	45
3.4.1.3 การทดสอบลักษณะสัญญาณวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้ แสง.....	45
3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล.....	45
3.4.2.1 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength).....	45
3.4.2.2 การทดสอบการไหลผ่านของอากาศ.....	45
3.4.2.3 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริง.....	46
3.4.2.4 การทดสอบความดันแตกต่าง.....	46
3.4.2.5 การทดสอบการออกฤทธิ์ต้านเชื้อโรค.....	47
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน.....	48
4.1 ผลการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต.....	48
4.1.1 ผลการทดสอบความหนาและน้ำหนักของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีน ซัคซิเนต.....	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาและขนาดของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซีเนต.....	50
4.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล.....	52
4.2.1 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซีเนต.....	52
4.2.2 ผลการทดสอบการไหลผ่านอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซีเนต.....	53
4.2.3 ผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซีเนต.....	54
4.2.4 ผลของประสิทธิภาพการกรองอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซีเนต.....	55
4.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นในการเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดบนผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซีเนต ได้แก่ 0, 1, 3, 5 และ 10 wt%.....	56
4.3.1 ผลของการเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด.....	56
4.3.2 ผลของประสิทธิภาพการกรองอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซีเนตเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 1, 3, 5, และ 10 wt%.....	58
4.3.3 ผลการทดสอบความดันแตกต่างของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซีเนต.....	59
4.3.4 ผลการทดสอบการออกฤทธิ์ต้านเชื้อ.....	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ.....	62
5.1 ผลของกระบวนการขึ้นรูปปั้นหลอมแบบพ่นต่อสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซีเนต.....	62
5.2 ผลทดสอบการออกฤทธิ์ต้านเชื้อ.....	64
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	65
ภาคผนวก.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	112



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต.....	27
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน.....	40
ตารางที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ3M.....	50
ตารางที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ3M (ต่อ).....	51
ตารางที่ 4.2 ขนาดเส้นใยของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ3M.....	52
ตารางที่ 4.3 ผลึกภัณฑ์แผ่นกรองอากาศพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ3M.....	55
ตารางที่ 4.4 ผลึกภัณฑ์แผ่นกรองอากาศพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด) และ3M.....	57
ตารางที่ 4.5 ความไวของเชื้อจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันต่อสารสกัดจากเปลือกมังคุดโดยใช้ กระดาษดิสก์ (600 µg) และแผ่นกรองอากาศเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด 10 wt%.....	60
ตารางที่ 4.6 MIC และ MBC ของสารสกัดจากมังคุดกับสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกัน.....	61
ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ของการลดลงของเชื้อ MRSA แผ่นกรองอากาศที่เคลือบ - ไม่เคลือบ สารสกัดจากเปลือกมังคุด.....	61

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 หลักการกรองอากาศแบบต่างๆ.....	18
รูปที่ 2.2 ElectronicAir Cleaner.....	18
รูปที่ 2.3 การกรองทางเคมี.....	19
รูปที่ 2.4 ขนาดของอนุภาคปนเปื้อนชนิดต่างๆ.....	22
รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของ PBS.....	27
รูปที่ 2.6 แผนภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์สปินนิ่งแบบหลอมเหลว.....	31
รูปที่ 2.7 ลักษณะสัญญาณวิทยาของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 800 นาโนเมตร.....	31
รูปที่ 2.8 แผนภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์สปินนิ่งแบบหลอมเหลวที่มีการพัฒนาอุปกรณ์เพิ่มเติมคือระบบเลเซอร์.....	32
รูปที่ 2.9 เครื่อง Rotary Jet-Spinning.....	33
รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการปั่นเส้นใยด้วยเครื่อง Rotary Jet-Spinning.....	33
รูปที่ 2.11 ลักษณะเส้นใยที่ได้จากเครื่อง Rotary Jet-Spinning.....	34
รูปที่ 2.12 เครื่อง Melt Jet Spinning ขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ.....	35
รูปที่ 2.13 เส้นใยนาโนพอลิแลคติกแอซิดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 250 °C และความดันลม 0.2 MPa.....	35
รูปที่ 3.1 เครื่องฉีดขึ้นรูปเส้นใย รุ่น SR-Runer bambi.....	41
รูปที่ 3.2 เครื่องเก็บชิ้นงานระดับห้องปฏิบัติการ.....	41
รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบความดันแตกต่าง.....	42
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	43
รูปที่ 4.1 ความหนาผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซักซิเนต.....	49
รูปที่ 4.2 น้ำหนักผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซักซิเนต.....	49
รูปที่ 4.3 ความต้านทานต่อแรงดึงของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซักซิเนต.....	53
รูปที่ 4.4 อัตราการไหลผ่านอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซักซิเนต.....	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 ผลของประสิทธิภาพการกรองอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวทิลีนซัคซี เน็ตที่ไม่ได้เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด.....	56
รูปที่ 4.6 ผลของประสิทธิภาพการกรองอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวทิลีนซัคซี เน็ตที่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด.....	58
รูปที่ 4.7 ความดันแตกต่างของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวทิลีนซัคซีเน็ต.....	59



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

แผ่นกรองอากาศ (Air filter) มีปริมาณการใช้งานสูงมากทั้งในเครื่องปรับอากาศ รถยนต์ ในโรงงาน ซึ่งพอลิเมอร์ที่ใช้งานแผ่นกรองอากาศผลิตจากพอลิเมอร์ประเภทพอลิโพรพิลีน Polypropylene, (PP) หรือ พอลิเอธิลีนเทเรฟธาเลต Polyethylene terephthalate, (PET) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านี้ไม่ย่อยสลาย และระยะเวลาการใช้งานแผ่นกรองอากาศไม่เกิน 3 เดือน ก็ถูกทิ้งเป็นขยะพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การจัดการขยะแผ่นกรองอากาศทำได้โดยการฝังกลบ (Landfill) หรือการเผา (Incineration) ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก นอกจากนี้จากปัญหาที่ประเทศไทยทิ้งขยะพลาสติกลงสู่ทะเลเป็นอันดับ 5 ของโลกด้วยปริมาณขยะพลาสติกที่ถูกทิ้งลงสู่ทะเลมากกว่า 1 ล้านตันต่อปี จึงเป็นที่มาของปัญหาไมโครพลาสติก (Microplastic) ดังนั้น การใช้พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable polymers) เป็นทางเลือกของการใช้วัสดุเพื่อแก้ไขปัญหามลภาวะและการเกิดภาวะโลกร้อนเนื่องมาจากขยะพลาสติกที่สังเคราะห์จากปิโตรเลียม และย่อยสลายยากพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะต้องมีสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลที่ดี และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม โดยเมื่อผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพหลังการใช้เมื่อกลายเป็นขยะแล้วสามารถที่จะสลายตัวในสภาวะที่เหมาะสม และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะสมกับการแก้ปัญหาขยะพลาสติกพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด Polylactic acid (PLA), พอลิไฮดรอกซีอัลคานอยด์ Polyhydroxy alkanoyates (PHAs), พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต Polybutylene succinate (PBS), และ Polycaprolactone (PCL) [1]

Polybutylene succinate, (PBS) เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีอุณหภูมิการหลอมเหลวที่ประมาณ 90 - 120 °C (เหมือนกับ LDPE) อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ -45 ถึง -10 °C (อยู่ระหว่าง PE กับ PP) มีสมบัติการทนต่อแรงดึงใกล้เคียง PE และ PP โดย PBS มีความสามารถขึ้นรูปได้ดีด้วยกระบวนการอัดรีด กระบวนการเป่า เป็นต้น จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายผลิตภัณฑ์ เช่น แผ่นพลาสติกคลุมดิน (Mulch film) ฟิล์มพลาสติกห่อหุ้มอาหาร (Packaging film) กระเป๋าและผลิตภัณฑ์สุขอนามัย (Bags and flushable hygiene products) เป็นต้น [2-3]

การขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ (Nonwoven) ด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นที่มีข้อดีหลายด้าน ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ไม่ต้องเตรียมในรูปของสารละลายสามารถใช้เม็ดพลาสติกเกรดการค้าในการขึ้นรูปได้ ซึ่งเหมาะสมกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ทำการหลอมและดันเนื้อพอลิเมอร์เหลวออกมาที่หัวฉีดด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) ไม่ต้องอาศัยความต่างศักย์กำลังสูงเพื่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าสถิตช่วยดันให้สารละลายพอลิเมอร์พุ่งออกมาเป็นลาไปยังฉากรองรับวัสดุ ใช้ระบบการนำพาเส้นใยด้วยการควบคุมอุณหภูมิและความดันของอากาศ (Air pressure) เป็นการช่วยประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่ายของโรงงาน และผลผลิตของกระบวนการนี้ได้สูงซึ่งเหมาะสมกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

มังคุดเป็นผลไม้ที่มีศักยภาพทั้งทางด้านอาหาร และยาเปลือกผลมังคุดที่เป็นของเหลือจากการบริโภคเนื้อผลแล้วนั้น สามารถนำมาพัฒนาเพิ่มคุณค่าได้หลากหลายทั้งทางด้านอาหาร ยา และเครื่องสำอาง ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาประเทศอเมริกาได้มีการนำเข้ามังคุดจากประเทศไทยไปผลิตน้ำมังคุด ซึ่งมียอดจำหน่ายนับล้านขวดต่อปี ประเทศอื่น เช่น อินเดีย มีการนำเข้ามังคุดจากไทยเพื่อผลิตสารสกัดขาย โดยไทยเป็นแหล่งมังคุดที่สำคัญของต่างประเทศเปลือกผลมังคุดมีสารแซนโทนที่มีสรรพคุณทางยาที่หลากหลาย เช่น ฤทธิ์ในการต้านเชื้อวัณโรค *Mycobacterium tuberculosis* และเชื้อวัณโรคชนิดดื้อยา ซึ่งเป็นเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินหายใจอันดับต้น ๆ ที่เป็นสาเหตุการตายของประชากร [4-8]

โครงการวิจัยนี้จึงศึกษาสภาวะในการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศใช้แล้วทิ้งจากพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพพอลิবিทิลีนซัคซิเนต (PBS) ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น (Melt jet spinning process) ได้แก่ อุณหภูมิในการขึ้นรูป 250, 260, 270 และ 280 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm เพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เป็นแผ่นเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ (Nonwoven) นำไปขึ้นรูปแผ่นกรองอากาศ ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ วัตขนาดของเส้นใยน้ำหนัก และความหนา สันฐานวิทยาด้วย Optical Microscope การไหลผ่านของอากาศสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง และนำสารสกัดสารแซนโทนจากเปลือกมังคุดมาเคลือบบนผลิตภัณฑ์ ได้แก่ 0, 1, 3, 5 และ 10 wt% ทดสอบ ความดันแตกต่าง ทดสอบการใช้งานจริง การออกฤทธิ์ด้านการเจริญเติบโตของเชื้อโรค

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดบนผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ศึกษาสถานะในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น ดังนี้

1.3.1.1 อุณหภูมิในการขึ้นรูป ได้แก่ 250, 260, 270 และ 280 °C

1.3.1.2 แรงดันลม ได้แก่ 0.3 และ 0.5 MPa

1.3.1.3 ระยะเก็บชิ้นงาน ได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 cm

1.3.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

1.3.2.1 สมบัติทางกายภาพ ได้แก่

- 1) น้ำหนักและความหนา
- 2) สัณฐานวิทยาด้วย Optical Microscope
- 3) ขนาดของเส้นใย
- 4) การไหลผ่านของอากาศ

1.3.2.2 สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง ASTM D 3822 01

1.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นในการเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดบนผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ได้แก่ 0, 1, 3, 5, และ 10 wt%

1.3.4 ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด

1.3.4.1 ทดสอบการใช้งานจริง

1.3.4.2 ทดสอบความดันแตกต่าง

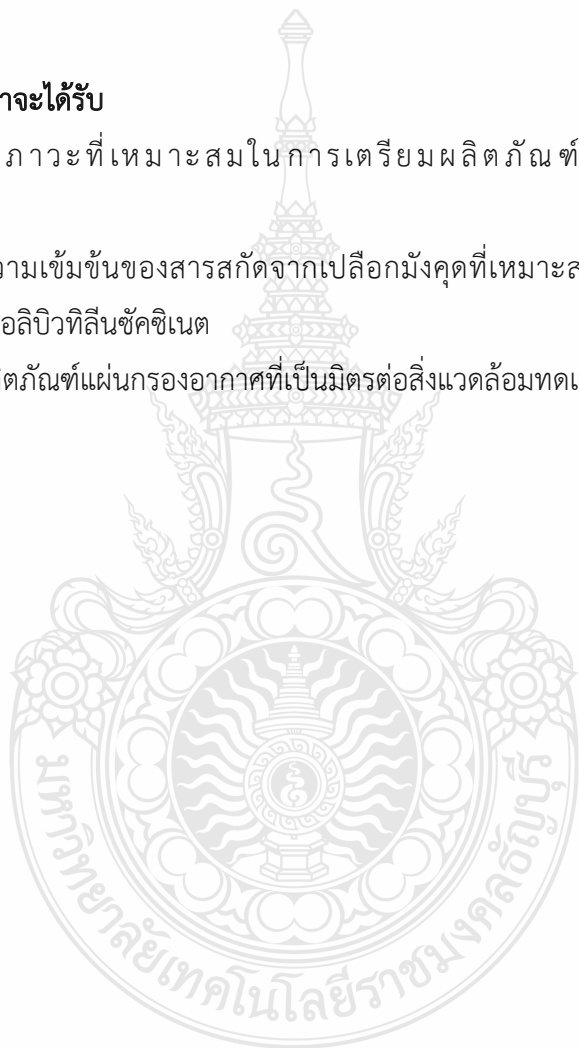
1.3.4.3. ทดสอบการออกฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโตของเชื้อโรค

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

1.4.2 ได้ความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่เหมาะสมในการเคลือบผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

1.4.3 ได้ผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทดแทนพลาสติกที่ไม่ย่อยสลาย



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผ่นกรองอากาศ [9]

แผ่นกรองอากาศได้นำมาใช้หลาย เช่น ห้องสะอาดในโรงงานยา ห้องสะอาดในโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ ห้องฟนสือบสีในโรงงานผลิตรถยนต์ในเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ และการใช้เฉพาะทาง เช่น โรงไฟฟ้าการบินและอวกาศโดยองค์การนาซ่า เป็นต้น แผ่นกรองอากาศที่ดีนั้นจะต้องมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการใช้งานประเภทต่าง ๆ ความสามารถในการเก็บกักฝุ่นที่สูง เพื่ออายุการใช้งานที่นาน และมีความดันตกคร่อมต่ำ ๆ ตามรูปที่ 2.1

หลักการดำเนินงานพื้นฐานของกรองอากาศลักษณะการจับยึดอนุภาคของกรองอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคของสิ่งปนเปื้อน และชนิดวัสดุของตัวกรองอากาศซึ่งมีอยู่ 4 ลักษณะ ดังนี้ [10]

2.1.1 การกรองแบบทางกล

การกรองแบบทางกลโดยการใช้เส้นใยเนื้อกรอง Media ที่มีขนาดต่างกัน มาถักสานกันใส่ลักษณะต่าง ๆ ให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใยต่างกัน เพื่อให้กระแสลมที่มากับอากาศมาพร้อมสิ่งปนเปื้อนถูกเนื้อกรองดักจับแผ่นกรองแบบทางกลนี้เริ่มต้นใช้งานแผ่นกรองยังสะอาดมักมีประสิทธิภาพต่ำ ตามรูปที่ 2.1 มีหลักการดังนี้

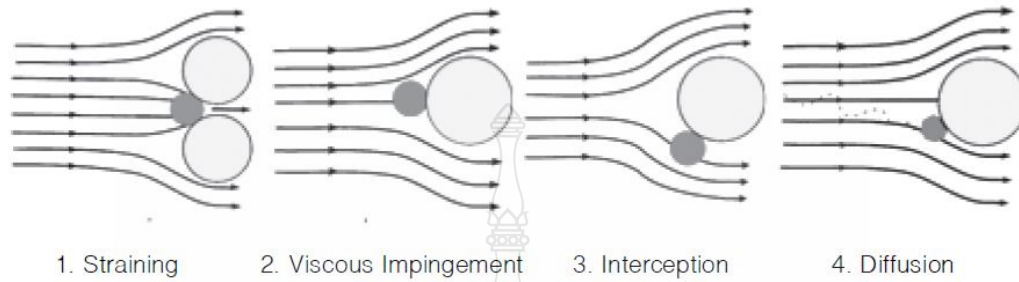
2.1.1.1 Straining กระบวนการนี้จะเกิดขึ้น เมื่ออนุภาคที่เคลื่อนที่มากับกระแสอากาศมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างเส้นใยของกรองอากาศ อนุภาคจึงติดอยู่ที่ช่องว่างระหว่างเส้นใยวิธีนี้จะใช้กับกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ

2.1.1.2 Impingement กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นสูงไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามกระแสของอากาศจึงไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่หลบเส้นใยของกรองอากาศได้ อนุภาคจึงเคลื่อนที่ชนกับเส้นใยของกรองอากาศและถูกจับยึดไว้ในบางครั้งเส้นใยของกรองอากาศประเภทนี้จะเคลือบด้วยสารที่มีความเหนียว (adhesive) เช่น น้ำมันเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจับยึดอนุภาค

2.1.1.3 Interception กระบวนการนี้จะเกิดขึ้น เมื่ออนุภาคที่มีขนาดเล็กเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในเนื้อกรองอากาศตามกระแสการไหลของอากาศ และเกิดเคลื่อนเข้าสัมผัสกับเส้นใยของกรองอากาศทำให้อนุภาคถูกจับยึดกับเส้นใยของกรองอากาศด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เรียกว่า VAN DER WAALS FORCE ใช้กับกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพปานกลาง

2.1.1.4 Diffusion กระบวนการนี้จะเกิดขึ้น เมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กมาก การเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเกิดการเบียดกับโมเลกุลของอากาศทำให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคมีทิศทางไม่แน่นอน

หรือที่เรียกว่า Brownian motion เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ไปชนกับเส้นใยของกรองอากาศก็จะถูกจับติดไว้ด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเช่นเดียวกับกระบวนการ Interception การจับยึดอนุภาคด้วยวิธีนี้จะใช้กับกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง

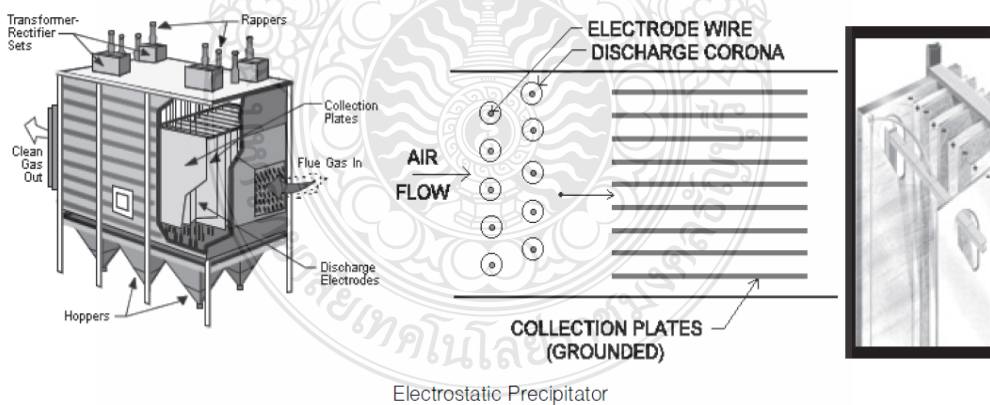


รูปที่ 2.1 หลักการกรองอากาศแบบต่าง ๆ

ที่มา : เรืองนารู้อเกี่ยวกับการกรองอากาศ สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย บริษัท ชัยมิตร เอ็นจิเนียริง อินเตอร์ เนชั่นแนล จำกัด

2.1.2 การกรองแบบไฟฟ้า

การกรองแบบทางไฟฟ้าโดยการใช้ไฟฟ้าเหนี่ยวนำอิเล็กตรอน โดยการชาร์จประจุ เช่น Electrostatic Charges Media



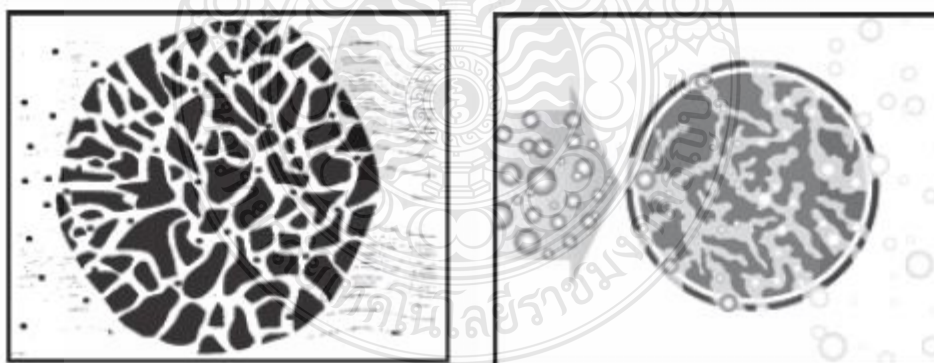
รูปที่ 2.2 Electronic Air Cleaner

ที่มา : เรืองนารู้อเกี่ยวกับการกรองอากาศ สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย บริษัท ชัยมิตร เอ็นจิเนียริง อินเตอร์ เนชั่นแนล จำกัด

เรามักทำโดยใช้ Ionizer wire หรืออาจใช้เข็มแทงประจุ Spike ในการเหนี่ยวนำอิเล็กตรอนออกจากอนุภาคสิ่งปนเปื้อนให้มีประจุเป็นลบเพื่อให้อนุภาคสิ่งปนเปื้อนเป็นมีประจุเป็นบวกเกาะติดกับแผ่นเก็บหรือแผ่น Collecting Plate ที่มีประจุลบ ซึ่งมักใช้ความต่างศักย์สูง ๆ High Voltage 12 KV และ 6 KV ในการชาร์จ Ionizer และแผ่น Collecting Plate ซึ่งระบบกรองแบบนี้มีความดันตกคร่อมต่ำ และประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่ความเร็วต่ำ ๆ มักมีประสิทธิภาพสูงประสิทธิภาพจะสูงสุดในตอนเริ่มต้นใช้งานทั้งนี้ประสิทธิภาพยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย เช่น ขนาดของอนุภาคความต่างศักย์ของ Ionizer และ Collector ระยะห่างของ Ionizer และ Collector Plate (Spacing)

2.1.3 การกรองทางเคมี

การกรองแบบทางเคมีการกรองแบบทางเคมีโดยใช้สาร Activated Carbon, Alumina เคลือบด้วยโปตัสเซียมเปอร์มังกานेट โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ ฯลฯ ทั้งนี้การเลือกชนิดของสารเคมีที่เคลือบนั้นขึ้นกับชนิดของ แก๊สปนเปื้อนที่เราต้องการจะดักจับประสิทธิภาพทั้ง Removal Capacity และ Efficiency ตามมาตรฐาน ASTM standard ซึ่งการกรองประเภทนี้ จะใช้กลไกการดูดซับ (Adsorption) การดูดซึม (Absorption) และการทำปฏิกิริยา (Chemisorption) ในการดักจับแก๊สปนเปื้อนที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก ๆ ส่วนใหญ่เล็กกว่า 0.01 ไมครอนประสิทธิภาพของการกรองขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัยเช่นความเร็วลมหรือเวลาที่ดักจับ (Resident time), อุณหภูมิ, ความชื้น, ความลึกของ Bed ที่ออกแบบ, ความเข้มข้นของแก๊สปนเปื้อน เช่น การใช้ถ่านเพื่อดูดซับกลิ่นในตู้เย็น



รูปที่ 2.3 การกรองทางเคมี

ที่มา : เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับการกรองอากาศ สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย บริษัท ชัยมิตร เอ็นจิเนียริง อินเตอร์ เนชั่นแนล จำกัด

แต่ในปัจจุบันนิยมการกรองแบบทางกลผสมกับทางเคมีโดยการเอาเนื้อกรองแบบใยสังเคราะห์หรือใยแก้วมาเคลือบด้วยสาร Anti-Microbial ที่มีคุณสมบัติยับยั้งกาเจริญเติบโตของเชื้อราแบคทีเรีย และไวรัสบางชนิดซึ่งจะต้องผ่านการทดสอบ และรับรองว่าจากสถาบัน เช่น Environmental Protection Agency (EPA) ว่าต้องไม่มีสารพิษไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ตัวแปร และสิ่งที่น่ารู้ในเรื่องการกรองอากาศ

2.1.3.1 ปริมาณลม (Air Flow) โดยทั่วไปถ้าเป็นแผ่นกรองชั้นต้นและชั้นกลางที่มีประสิทธิภาพไม่เกิน 98% ASHRAE dust spot efficiency ใช้ในงานปรับอากาศจะใช้ไม่เกิน 500 ฟุตต่อนาที (2.5 เมตรต่อวินาที) บางรุ่นถ้าเพิ่มพื้นที่เนื้อกรองสามารถรับลมได้ถึง 625 ฟุตต่อนาที (3.125 เมตรต่อวินาที) โดยความดันตกคร่อม

2.1.3.2 ประสิทธิภาพ (Efficiency) แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

- ประสิทธิภาพเริ่มต้น เมื่อแผ่นกรองสะอาด (Initial Efficiency)
- ประสิทธิภาพเฉลี่ย (Average Efficiency) เป็นประสิทธิภาพแผ่นกรองบอกว่าแผ่นกรองอากาศนี้มีประสิทธิภาพเท่าไรซึ่งทางผู้ออกแบบมักใช้ในการกำหนด Specification
- ประสิทธิภาพสุดท้าย (Final Efficiency) เป็นประสิทธิภาพที่แผ่นกรองไม่สามารถกรองได้ ณ จุดนี้แผ่นกรองอากาศจะตันอัตราการไหลจะลดลงความดันตกคร่อมจะสูงขึ้น

2.1.3.3 ความดันตกคร่อม (Pressure Drop หรือ Resistance) โดยทั่วไปเรามักอยากได้แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง ๆ แต่ความดันตกคร่อมต่ำ ๆ ซึ่งมักจะสวนทางกันเนื่องจากถ้าความดันตกคร่อมหรือความดันสูญเสีย (Pressure Loss) สูง ๆ มักจะต้องใช้พัดลมและมอเตอร์ขนาดใหญ่ซึ่งจะกินพลังงานมากดังนั้นผู้ผลิตจึงพยายามออกแบบแผ่นกรองให้มีประสิทธิภาพสูง แต่ความดันตกคร่อมต่ำ ๆ เป็นแบบ V Shape หรือเพิ่มพื้นที่เนื้อกรองให้ความเร็วลมต่ำ ๆ ในการเลือกซื้อให้พิจารณาค่าความดันตกคร่อมที่มีค่าคลาดเคลื่อน +/- ไม่ควรเกิน +/- 10% ความดันตกคร่อมเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- ความดันตกคร่อมเริ่มต้น (Initial Resistance) เป็นค่าความดันตกคร่อมเมื่อแผ่นกรองอากาศสะอาด
- ความดันตกคร่อมเฉลี่ย (Average Resistance) เป็นค่าความดันที่ผู้ออกแบบมักจะใช้ในการใช้คำนวณความดันสูญเสียในการเลือกขนาดของพัดลม
- ความดันตกคร่อมสุดท้าย (Final Resistance) เป็นค่าความดันตกคร่อมเมื่อแผ่นกรองตันโดยส่วนใหญ่

2.1.3.4 ความดันสุดท้ายที่แผ่นกรองอากาศจะเสียหาย (Burst Pressure) มักทดสอบกับแผ่นกรองอากาศที่ใช้งานในโรงไฟฟ้าซึ่งมีความเสี่ยงสูงในการที่แผ่นกรองอากาศเสียหายและหลุดเข้าไปในระบบโดยจะทำให้ระบบ Turbine เสียหายในโรงไฟฟ้าซึ่งจะทำให้ Turbine เสียโดยทั่วไปมัก

ทดสอบที่ความดันสูงสุดมากกว่าความดันสุดท้ายประมาณ 10-15 เท่า บางยี่ห้ออาจจะต้องมีความดันตกคร่อมถึง 25 INWG. (6,250 Pa.) ซึ่งจะทดสอบโดย Third Party

2.1.3.5 ความสามารถในการกักเก็บฝุ่น (Dust Holding Capacity; DHC) มีหน่วยเป็นน้ำหนัก gram หรือ kg บอกถึงอายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศ เราสามารถเปรียบเทียบกันได้ แบบประมาณการได้ถ้าเรามีแผ่นกรองอากาศ 2 ชนิด มี DHC ต่างกันชนิด A 500 grams และชนิด B 1,000 grams เราสามารถบอกได้ว่า ถ้าแผ่นกรองอากาศทั้งสองชนิดงานในสภาพแวดล้อมเดียวกันแผ่นกรองชนิด B จะมีอายุการใช้งานมากกว่าชนิด A 2 เท่า

2.1.3.6 อายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศ ผู้ขายมักกำหนดว่าแผ่นกรองอากาศชั้นต้น (20-30% ASHRAE Dust Spot Efficiency) มีอายุการใช้งาน 3-6 เดือน, แผ่นกรองอากาศชั้นกลาง (45-95% ASHRAE Dust Spot Efficiency) มีอายุการใช้งาน 6-12 เดือน และแผ่นกรองอากาศชั้นสุดท้าย (> 98% จนถึง HEPA, ULPA efficiency) มีอายุการใช้งานมากกว่า 1 ปี ถ้าหากว่าเราบำรุงรักษาเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศชั้นต้น และชั้นกลางอาจอยู่ได้นานถึง 2 ปี เป็นสิ่งที่ผู้ผลิตไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนเพราะเนื่องจากขึ้นสภาพแวดล้อมปริมาณฝุ่น

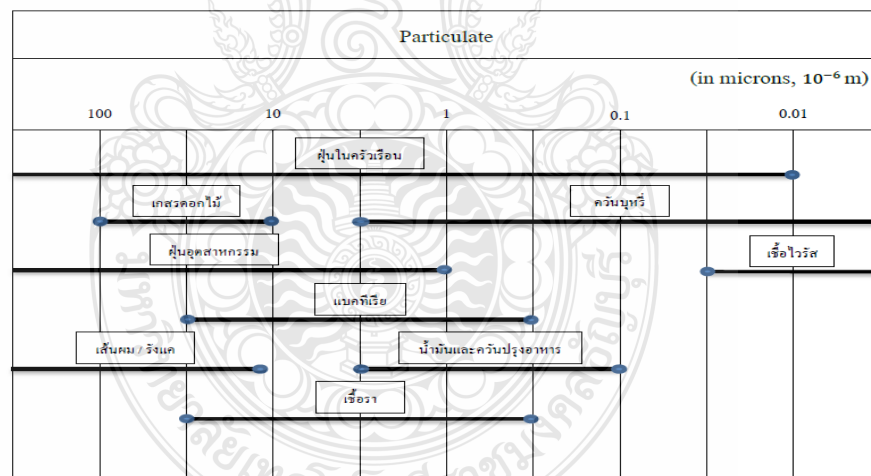
2.1.3.7 ความเร็วลมที่เข้าแผ่นกรองอากาศ (Face Air Velocity) หรือความเร็วที่ผ่านหน้าตัดของแผ่นกรองอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพการกรองอากาศที่เป็นแบบ Inertia Effect หรือ Impingement และแบบ Diffusion (HEPA&ULPA) แต่จะไม่มีผลกับแผ่นกรองอากาศแบบ Interception อธิบายโดยยกตัวอย่างง่าย ๆ คือ ถ้าเราใช้แผ่นกรองอากาศ HEPA 99.99% ที่ 0.3 ไมครอน ความเร็วลมสูง ๆ เช่น มากกว่า 250 ฟุตต่อนาที ประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศก็จะลดลงจะน้อยกว่า 99.99% ที่อนุภาคขนาด 0.3 ไมครอน เนื่องจาก Diffusion effect ต้องการความเร็วลมต่ำ ๆ ทำให้โอกาสที่อนุภาคขนาดเล็กจะไปเกาะติดบนเส้นใยของเนื้อกรองอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้การใช้ความเร็วลมสูง ๆ เกินกว่าที่ออกแบบจะทำให้ความดันตกคร่อมสูงด้วย Media Velocity เป็นความเร็วลมที่ผ่านเนื้อกรองอากาศ โดยทั่วไปถ้าเป็นแผ่นกรองอากาศชนิด HEPA จะมีความเร็วลมที่ผ่านเนื้อกรองที่ประมาณ 4 - 6 ฟุตต่อนาที ซึ่ง Face velocity อาจจะเป็น 90 ฟุตต่อนาที แบบ Mini pleat ดังนั้น ผู้ผลิตแผ่นกรองจะต้องออกแบบให้ HEPA มีเส้นใยที่มีขนาดที่เหมาะสมหลายชั้นมีพื้นที่เนื้อกรองอากาศมาก ๆ เพื่อลดความเร็วจาก 90 ฟุตต่อนาที เหลือ 4 - 6 ฟุตต่อนาที สำหรับแผ่นกรองแก๊ส (Chemical Filters) เรามักจะออกแบบให้มีความเร็วลมที่ต่ำเพื่อเพิ่ม Contact time หรือ Resident Time เช่น Activated Carbon ที่ใช้บ้านเราส่วนใหญ่ระบบที่ดีความจะออกแบบให้มีความเร็วลมที่ผ่านถาด Activated Carbon 20 - 60 ฟุตต่อนาที หรือมี Contact time อย่างน้อย 0.02 วินาที อีกเรื่องหนึ่งเป็นเรื่องการกระจายของความเร็วลมกรณีแผ่นกรองอากาศที่ติดบน Ceiling ที่เป็นแบบ Ceiling Module หรือเป็นแบบ FFU(Fan Filter Units) นับเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ผลิตแผ่นกรองอากาศจำนวนจุดที่

ต้องทดสอบขึ้นกับขนาดของแผ่นกรอง และมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน +/- 20% ของความเร็วลมที่กำหนด เพื่อให้เกิดการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

2.1.3.8 พื้นที่ของเนื้อกรองอากาศ โดยทั่วไปสามารถเพิ่มได้โดยการเพิ่มจำนวน pleat ทำเป็นแบบ V Shape เพื่อลดความเร็วลม และลดแรงเสียดทานอากาศ เพื่อลดความดันตกคร่อม Media อีกเรื่องหนึ่งที่สำคัญ การออกแบบให้เนื้อกรองเป็นแบบ Dual Density หรือ Progressive Density ด้านหน้าหยาบรับฝุ่นขนาดใหญ่ด้านหลังละเอียดรับฝุ่นขนาดเล็ก

2.1.3.9 การเกิด Outgassing ของเนื้อกรองอากาศวัสดุตัวมันเอง ไม่ก่อให้เกิด Gas ที่ไม่พึงประสงค์เข้าไปในระบบโดยเฉพาะห้องสะอาดที่มีการกำหนด Outgassing Criterion ของโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่ง Gas หลัก ๆ ที่เราสนใจก็จะมีหลายตัวซึ่งมักเป็นพวก Organic Contaminate มาจากเนื้อกรองเองสี Epoxy, Sealant เป็นต้น

2.1.3.10 Life Cycle Cost Analysis (LCCA) หรือการวิเคราะห์ในเรื่องของต้นทุนของแผ่นกรอง และต้นทุนขณะใช้งานรวมถึงค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เช่น ค่าไฟหรือค่าของพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง; KHz) ค่าแรงค่ากำจัดทิ้ง ฯลฯ ซึ่งจะมองถึงต้นทุนรวมทั้งหมดที่ต่ำที่สุดอายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศ และเวลาที่เราต้องเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศที่เหมาะสม และคุ้มค่าที่สุด



รูปที่ 2.4 ขนาดของอนุภาคปนเปื้อนชนิดต่าง ๆ

ที่มา : เรื่องนำรู้เกี่ยวกับการกรองอากาศ สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย บริษัท ชัยมิตร เอ็นจิเนียริ่ง อินเตอร์ เนชั่นแนล จำกัด

แผ่นกรองอากาศถูกใช้กันอย่างแพร่หลายมาตั้งแต่ปีคริสต์ศักราช 1900 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 แผ่นกรองอากาศชนิด HEPA ตัวแรกถูกออกแบบใช้กรองสิ่งปนเปื้อนแก๊สมันตภาพรังสีขนาด 0.3 ไมครอน (1 ไมครอน = 1/1,000,000 เมตร; เพื่อให้หมองภาพออกขนาดเส้นผมของเราโดยเฉลี่ย 50-150 ไมครอน)มาในปีคริสต์ศักราช 1940 โดยบริษัท R&D Arthur D.Little ภายใต้การสนับสนุนของรัฐบาลสหรัฐหนึ่งในโครงการManhattanเป็นเวลาเดียวกันกับการคิดค้นระเบิดปรมาณูในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งภายหลังจากนั้นแผ่นกรองอากาศได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการประยุกต์ใช้กับการใช้งาน เช่น ห้องสะอาดในโรงงานยา ห้องสะอาดในโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ห้องพ่นสี ออบสีในโรงงานผลิตรถยนต์ในเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ และยังการใช้เฉพาะทาง เช่น โรงไฟฟ้า การบิน และอวกาศโดยองค์การนาซ่า (Aerospace Industries; For Mars and Lunar mission, NASA), นิวเคลียร์ เป็นต้น ทั้งนี้เรายังไม่ได้พูดถึงกรองอากาศอีกประเภทหนึ่งซึ่งในงานกรองแก๊สระดับโมเลกุล (Molecular Contaminate) ซึ่ง HEPA หรือ ULPA ก็กรองไม่ได้ใช้ในการกำจัดมลพิษทั้งแก๊สก่อกร่อน แก๊สพิษ แก๊สที่มีกลิ่นเหม็น ในโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงกลั่นน้ำมัน, ระบบบำบัดน้ำเสีย, พิพิธภัณฑสถาน, ศูนย์ข้อมูล เป็นต้น ซึ่งวัตถุประสงค์หลักในการใช้กรองอากาศก็เพื่อต้องการเอาสิ่งปนเปื้อนออกจากอากาศทั้งของแข็งของเหลว และแก๊ส ที่เราไม่ต้องการเพื่อป้องกันคน ผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต อุปกรณ์ & เครื่องมือ และสิ่งแวดล้อมอาจบอกได้ว่าใช้กรองอากาศเพื่อป้องกัน และควบคุม 3P และ 2E (People, Products, Process, Equipment and Environments) ตามรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงขนาดของอนุภาคปนเปื้อนชนิดต่าง ๆ มีหน่วยเป็นไมครอน (Micron)

2.2 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [11]

เนื่องจากอนาคตอันใกล้ มีการคาดการณ์ว่าปิโตรเลียมมีแนวโน้มจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดและมีราคาสูงดังนั้นพลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) ที่สามารถย่อยสลายได้จึงเป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตพลาสติกทดแทนปิโตรเลียม อีกทั้งยังเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทั้งในด้านวัตถุดิบกระบวนการผลิต และกระบวนการกำจัดโดยพลาสติกย่อยสลายได้นั้นผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ ในธรรมชาติ (Renewable Resource) ซึ่งใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ และสามารถย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติภายหลังจากการใช้งานโดยพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้นั้นจะมีคุณสมบัติในการใช้งานได้เทียบเท่าพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแบบดั้งเดิม และสามารถทดแทนการใช้งานที่มีอยู่ได้

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นพลาสติกที่ผลิตมาจากพืช เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น โดยมีกระบวนการผลิตจากการใช้เอนไซม์ย่อยแบ่งให้เป็นน้ำตาลกลูโคสแล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน จะได้เป็นเม็ดพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้หรือที่รู้จักคือ พอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid), PLA) ซึ่งมีสมบัติพิเศษที่สามารถย่อยสลายได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เมื่อนำไปฝังกลบในดินหลังจากเลิกใช้งานการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นพลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) จึงเป็นทางเลือกใหม่เพื่อสิ่งแวดล้อมสีเขียว

ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถแยกประเภทตามแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.2.1 มีแหล่งกำเนิดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ

2.2.1.1 พอลิเมอร์ที่แยกได้โดยตรงจากพืชและสัตว์

- พอลิแซคคาไรด์ เช่น แป้ง เซลลูโลส ลิกนิน และไคติน
- โปรตีน เช่น เจลาติน เคซีน กลูเทน ไหม และขนสัตว์
- น้ำมันจากพืชและสัตว์ ซึ่งปัจจุบันมีการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเทอร์โมเซตเรซิน เพื่อนำมาผสมกับเส้นใยธรรมชาติในการผลิตวัสดุคอมโพสิตที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง และมีราคาถูก

2.2.1.2 พอลิเอสเทอร์ผลิตโดยจุลินทรีย์หรือพืชที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์ เช่น พอลิไฮดรอกซีอัลคานอยด์ Polyhydroxy alcanoates (PHAs)

2.2.1.3 พอลิเอสเทอร์สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ผลิตจากกระบวนการทางชีวภาพ เช่น พอลิแลคติกแอซิด เป็นต้น

2.2.2 มีแหล่งกำเนิดจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี

2.2.2.1 อะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ (Aliphatic polyester) เช่น พอลิไกลโคลิกแอซิด Poly(glycolic acid (PGA), พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต Polybutylene succinate (PBS), พอลิคาโพรแลก โทน Polycaprolactone (PCL)

2.2.2.2 อะโรมาติกพอลิเอสเทอร์ (Aromatic polyester) เช่น พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต Polybutylene succinate (PBS), พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเทเรฟทาเรท Polybutylene succinate terephthalate (PBST), พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตอะดิเพท Polybutylene succinate-co-adipate (PBSA)

2.2.2.3 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVOH)

2.2.2.4 พอลิโอเลฟินที่ผ่านการเติมแต่งทางเคมี (Modified polyolefin) เช่น การเติมสารเติมแต่งที่มีความว่องไวต่ออุณหภูมิหรือแสงลงในพอลิโอเลฟิน เช่น พอลิเอทิลีน

Polyethylene (PE), หรือพอลิโพรพิลีน Polypropylene (PP) เพื่อเร่งอัตราการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) หรือย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation) ก่อนเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ในขั้นตอนสุดท้าย

2.3 กลไกการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [12]

2.3.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation)

การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้างเมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวี จะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการเคลือบด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2.3.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation)

โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ

2.3.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation)

การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติกเป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้า ๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวีหรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH) ที่ไม่เสถียร และเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหัก และสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชันซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นอนุมูลอิสระ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหัก และสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.3.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation)

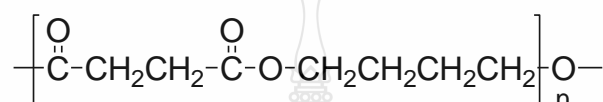
การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮดราต พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น ๒ ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่คะตะลิสต์ (Non-Catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น Depolymerase, Lipase, Esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และคะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ เบสและกรดที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.3.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่ และไม่ละลายน้ำในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้เอนไซม์ดูดความร้อน (Endo-enzyme) หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบเอนไซม์คายความร้อน (Exo-enzyme) หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่าง ๆ และชีวมวล (Biomass)

2.4 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Poly(butylene succinate), PBS) [13]

PBS โดยทั่วไปแล้วจัดอยู่ในกลุ่ม Aliphatic copolyesters ซึ่งเป็น Biodegradable copolymers ที่สังเคราะห์จากปิโตรเลียม เตรียมได้จาก 1,2-ethanediol หรือ 1,3-propanediol หรือ 1,4-butenediol และ Dicarboxylic acid, Adipic acid, Sebacic acid หรือ Succinic acid มีโครงสร้างทางเคมี ดังรูปที่ 2.5 และทางการค้ามีชื่อว่า Bionolle แสดงสมบัติดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของ PBS

ที่มา : http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20180624234853u.pdf

ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

Items	Test Method	Units	PBS
Grade		AZ91TN	Extrusion and Film
MFR (190 °C, 2.18 N)	ISO1133	g/10 min	4
Specific Gravity	ISO1183	g/l	1.26
Flexural Modulus	ISO 178	MPa	530
Flexural Strength	ISO 178	MPa	34
Yield Stress	ISO 527	MPa	37
Stress at Break	ISO 527	MPa	37
Strain at Break	ISO 527	MPa	37
Izod Impact Strength (23 °C)	ISO 180	KJ/m ²	8.2
Rock well Hardness	ISO 2039-2	-	96

2.5 ผ้าไม่ถักไม่ทอ (nonwovens) [14]

มีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นผ้าที่เกิดจากการสานไปมาของเส้นใย (Fibrous web) มีการยึดกันด้วยการที่เส้นใยพันกันไปมา (Mechanical entanglement) หรือโดยการใช้ความร้อนเรซินหรือสารเคมีในการทำให้เกิดการยึดกันระหว่างเส้นใย ผ้าไม่ถักไม่ทอสามารถผลิตได้โดยหลายกระบวนการผลิตคือ

2.5.1 Dry-laid โดยการใช้ลมพ่นเส้นใยลงบนสายพานที่กำลังเคลื่อนตัวไปโดยการเรียงตัวของเส้นใยจะไม่มีทิศทาง (Random oriented) ทำให้มีความแข็งแรงเท่ากันในทุกทิศทางตัวอย่างผ้าที่ได้จากการผลิตโดยกระบวนการนี้คือ ผ้าเซ็ดเอนกประสงค์ กระจาดแยกช่องแบตเตอรี่ (Battery separators) ใสกรอง (Filters) เป็นต้น

2.5.2 Wet-laid โดยการใช้เส้นใยสั้นในน้ำแล้วทำการกรองผ่านเพื่อแยกน้ำออกจากเส้นใยที่มีการเรียงตัวในทุกทิศทางตัวอย่างผ้าที่ได้จากการผลิตโดยกระบวนการนี้คือ ใสกรอง ใสฉนวน ผ้าเซ็ดเอนกประสงค์ และกระจาดแยกช่องแบตเตอรี่

2.5.3 Spun-bonded เป็นการเตรียมผ้าโดยตรงจากเส้นใยที่ถูกฉีดออกมาจากหัวฉีดเส้นใย (Spinnerets) เส้นใยต่อเนื่อง (Continuous filament) ที่กำลังร้อนก็จะถูกฉีดสานไปมาบนสายพานที่กำลังหมุนอยู่เส้นใยที่เย็นตัวลงจะมีการเชื่อมติดตรงจุดที่มีการพาดผ่านระหว่างเส้นใยด้วยการเชื่อมติดอาจทำเพิ่มเติมโดยการใช้ความร้อน และแรงกดบนอนุพวงวนที่ได้จากการผลิตโดยวิธีนี้จะมีค่าการทนต่อแรงดึง แรงฉีก และบาง (Low bulk) ตัวอย่างการใช้งานได้แก่ พื้นพรม (Carpet backing) ผ้าที่ใช้ในงานธรณี (Geotextiles) เสื้อผ้าป้องกัน (Protective apparel) ใสกรอง เป็นต้น

2.5.4 Hydroentangled หรือ Spunlace กระบวนการผลิตคล้ายกับการผลิตอนุพวงวนแบบ Spun-bond ยกเว้นใช้น้ำแรงดันสูงฉีดผ่านโครงสร้างที่สานไปมาของเส้นใยทำให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายผ้าทอ ผ้าที่ได้จะมีความยืดหยุ่น (Elasticity) และโค้งงอ (Flexibility) มากกว่า Spun bond

2.5.5 Melt-blown เป็นการฉีดเส้นใยผ่านหัวฉีดไปยังอากาศร้อนที่มีความเร็วสูงทำให้เส้นใยเกิดการขาดเป็นเส้นใยสั้น ๆ ซึ่งจะถูกลบลงบนสายพานที่เคลื่อนที่การยึดติดเกิดจากการสานไปมาของเส้นใย และการใช้ความร้อน เนื่องจากเส้นใยไม่ได้ผ่านการดัดยัดก่อนผ้าที่ได้จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าชนิดอื่น เส้นใยที่ใช้เทคนิคการผลิตนี้มากคือเส้นใยโพลีเอทิลีนและโพลีเอสเตอร์ (Olefin and polyester fibers) ตัวอย่างการใช้งานได้แก่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทางการแพทย์ และกระจาดแยกช่องแบตเตอรี่

2.6 สารสกัดจากเปลือกมังคุด

มังคุด (*Garcinia mangostana* L.) เป็นพืชที่พบในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ผลมังคุดเป็นราชินีของผลไม้ และนำมาใช้เป็นสมุนไพรพื้นบ้านในประเทศไทยอย่างแพร่หลาย มีสรรพคุณในการสมานแผล ใช้รักษาบาดแผลพุพอง แผลเน่าเปื่อย แผลเป็นหนอง โดยการใช้เปลือกมังคุดผสมกับน้ำปูนใสทา บริเวณแผล ผลมังคุดประกอบด้วยเปลือกมากกว่า 50% ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญคือ แซนโทน (xanthone) ในปริมาณที่สูงมาก จากรายงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาของค์ประกอบทางเคมีที่แยกได้จากเปลือกผลมังคุดพบสาร xanthones ที่สำคัญในเปลือกผลมังคุดประกอบด้วยสาร α -, β - และ γ -แมงโกสติน มีสรรพคุณในการต้านเชื้อแบคทีเรียที่ดีมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเชื้อวัณโรค *M. tuberculosis* และเชื้อวัณโรคชนิดดื้อยา [15-17] ซึ่งในปัจจุบันเชื้อวัณโรคยังคงเป็นเชื้อก่อโรคในอากาศอันดับแรก ๆ ที่คุกคามต่อสุขภาพของประชากร และยาปัจจุบันที่มีอยู่ก็มีประสิทธิภาพในการรักษาลดลงทั้งนี้เนื่องจากเชื้อวัณโรคมีการดื้อยาเกิดขึ้นประชากรโลกถึงหนึ่งในสามหรือประมาณ 1,900 ล้านคนมีการติดเชื้อวัณโรคมีผู้ป่วยวัณโรคใหม่อุบัติขึ้น 7 - 8 ล้านคน และเสียชีวิตรวม 2 - 3 ล้านคนต่อปี โดยการระบาดของ การติดเชื้อเอชไอวี และเกิดการแทรกซ้อนของเชื้อวัณโรคขึ้นนอกจากนี้เชื้อวัณโรคยังคงเป็นสาเหตุการตายของประชากรมากกว่าโรคติดเชื้ออื่น ๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญต่อวัณโรคโดยต้องเน้น และปรับปรุงการวินิจฉัยการรักษาวัณโรครวมถึงการป้องกัน ซึ่งเป็นวิธีการหลักที่สำคัญที่สุดในการควบคุมวัณโรคซึ่งงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการพัฒนาแผ่นกรองอากาศที่ผสมสารยับยั้งเชื้อวัณโรคจากเปลือกผลมังคุด เพื่อป้องกันการติดเชื้อและการแพร่กระจายของเชื้อวัณโรค และเป็นการนำวัสดุธรรมชาติที่ปลอดภัยและเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

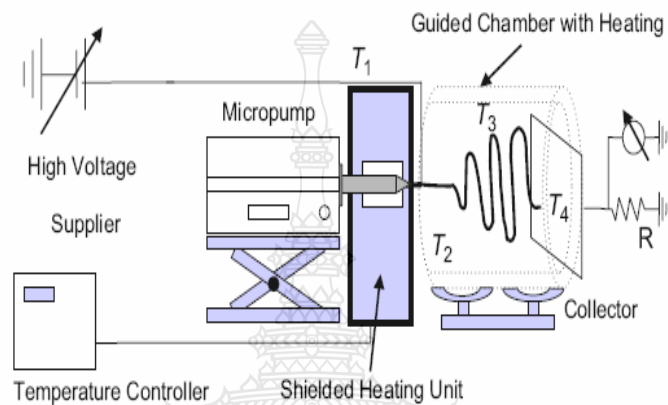
สารในเปลือกผลมังคุดมีสมบัติเป็นยาได้อรงค์ประกอบทางเคมีในเปลือกผลมังคุดเป็นสารจำพวกฟีนอลิก (Phenolic compounds) ซึ่งประกอบด้วยแซนโทน แอนโทไซยานิน และ แทนนิน เป็นส่วนใหญ่สารแซนโทนเป็นรงควัตถุสีเหลืองมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่น่าสนใจมากแซนโทนที่พบในเปลือกผลมังคุดจากแต่ละแหล่งทั่วโลกมีไม่น้อยกว่า 10 ชนิด โดยมี แอลฟา-แมงโกสติน (α -mangostin) และ แกมมา-แมงโกสติน (γ -mangostin) เป็นสารแซนโทนหลักแซนโทนจากมังคุดมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อราโรคพืชบางชนิด (เช่น *Fusarium Oxysporum Vasinfectum*, *Alternaria tenuis*, และ *Dreschlera oryzae*) [18] ฤทธิ์ในการต้านมะเร็ง [19] ฤทธิ์ในการต้านอาการอักเสบ และอาการภูมิแพ้จากสารสกัดที่ใช้สารละลายเอทานอลในน้ำเป็นตัวทำละลาย [20] ฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโต และกระตุ้นการตายของเซลล์แบบมะเร็งเต้านม SKBR3 จากสารสกัดที่ใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย [21] ฤทธิ์ในการกระตุ้นการตายของเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว HL60 ของสารแอลฟา-แมงโกสติน [22] ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์โคลินเอสเทอเรส [23] ฤทธิ์เกี่ยวข้องการปกป้องโรคหัวใจ [24]

ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *H. pylori* ที่เกี่ยวข้องกับโรคกระเพาะ [25-26] Nakatani รายงาน γ -mangostin สามารถปลดปล่อย Prostaglandin E2 และเหนี่ยวนำ Cyclooxygenase 2 (COX-2) gene expression ใน C6 rat glioma cells [27] Nguyen และคณะ รายงานสารพอลิฟีนอลิกจากเปลือกผลมังคุดมีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดกรดของ *Streptococcus mutans* GS-5 [28] และฤทธิ์ในการต้านเชื้อวัณโรค *M. tuberculosis*

จากการที่สารในเปลือกผลมังคุดมีฤทธิ์เป็นยาได้การศึกษาสารจากเปลือกมังคุดจึงได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับมังคุดรวมทั้งสิทธิบัตรเกี่ยวกับวิธีการเตรียมสารสกัดผลิตภัณฑ์ที่มีสารสกัดหรือสารสำคัญของมังคุดเป็นต้นว่า สิทธิบัตรประเทศอเมริกา กล่าวถึงเครื่องดื่ม (Nutritional supplement drink) ที่มีผสมสารแซนโทนจากมังคุด [29] เครื่องดื่มผสมสารสกัดผลไม้หลากชนิดรวมทั้งมังคุดที่ช่วยเรื่องผิวพรรณ [30] ส่วนผสมของเครื่องสำอางที่มีแซนโทนจากมังคุดรวมทั้งวิธีการสกัด [31] ผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ที่มีผลมังคุดเป็นส่วนผสม [32] ผลิตภัณฑ์ชา (Neutraceutical tea) ที่มีแซนโทนจากผลมังคุดผสมอยู่ด้วย [33] อาหารเสริมโปรตีน (Neutraceutical protein supplement) ที่มีผสมแซนโทนจากผลมังคุด [34] ฟิล์มบางที่ผสมแซนโทนจากผลมังคุด [Kupper et al 2005] เครื่องสำอางชะลอความแก่ซึ่งมีสารต้านออกซิเดชันต้านอนุมูลอิสระต้านอักเสบร่วมกับ collagen/fibrin boosting agents [35] สิทธิบัตรประเทศเยอรมัน จดกระบวนการสกัดแยกสาร α -mangostin และการทำให้บริสุทธิ์ [36] สิทธิบัตรญี่ปุ่นจัดการผลิตสารดับกลิ่นผสมสารสกัดมังคุด [Iinuma and Takeuchi, 2005] สารเพิ่มรสที่ผสมสารสกัดมังคุดชนิดไม่ละลายน้ำ [37] α - และ γ -mangostin สามารถยับยั้งการผลิต Nitrite จาก lipopolysaccharide (LPS)-activated RAW 264.7 macrophage cells [38] สิทธิบัตรการผลิตอาหารสุขภาพที่ผสมสารจากมังคุดเช่น α -, β - และ γ -mangostin ในการเป็นสารยับยั้ง Topomerase ในกระบวนการ apoptosis [39] วิธีการผลิตสารสกัดโดยใช้น้ำผสมตัวทำละลาย และการใช้สารสกัดนี้เป็นสารดับกลิ่น [40] สารยับยั้ง Glucosyl transferase ที่แยกได้จากพืชหลายชนิดรวมทั้งมังคุดเพื่อใช้ป้องกันฟันผุ [41] สารต้านภูมิแพ้ α - และ γ -mangostin จากมังคุดในผลิตภัณฑ์อาหาร-เครื่องดื่ม [42] สิทธิบัตรประเทศฝรั่งเศสจดผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดดที่ผลิตจากมังคุด [43] รองศาสตราจารย์ ดร. สุניתย์ สุขสำราญ จดอนุสิทธิบัตรกรรมวิธีการทำสารสกัดจากเปลือกผลมังคุดที่ให้ได้ปริมาณแซนโทนสูง โดยใช้ตัวทำละลายและน้ำ [44] รวมทั้งสารอนุพันธ์ของแซนโทน α -mangostin จากมังคุดมีฤทธิ์การต้านเชื้อวัณโรคชนิดดื้อยามีฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมบวก และแกรมลบ

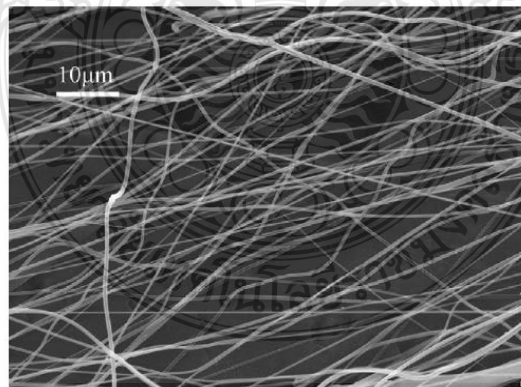
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Huajun Zhou และคณะ [45] ศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์พินนิ่งแบบหลอมเหลว ดังรูปที่ 2.6 ด้วยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิหัวฉีด (T2) อุณหภูมิปั่นเส้นใย (T3) ขนาดหัวฉีด อัตราการไหล และกระแสที่ป้อน ซึ่งการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ส่งผลให้ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเส้นใยลดลง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 แผนภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์พินนิ่งแบบหลอมเหลว

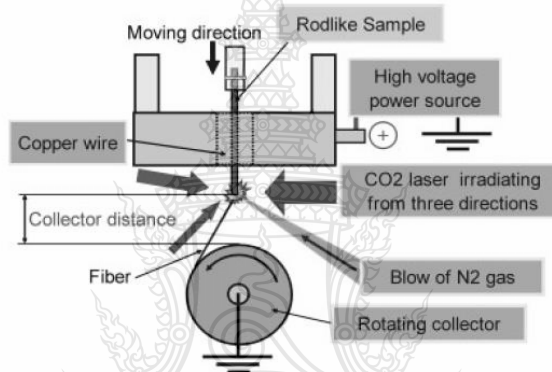
ที่มา : C.S. Wu, H.T. Liao, J.J. Jhang, J.T. Yeh, C.Y. Huang, S.L. Wang. (2013). Polymer Bull. vol.70. Thermal properties and characterization of surface-treated. RSF-reinforced Polylactide composites.



รูปที่ 2.7 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด เส้นผ่าศูนย์กลางกลางขนาด 800 นาโนเมตร

ที่มา : Huajun Z., Thomas B. G., Yong L.J. (2006). Polymer. vol.47. The thermal effects on electrospinning of polylactic acid melts.

Nobuo Ogata และคณะ [46] การเตรียมเส้นใยนาโนพอลิแลคติกแอซิด ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงแบบหลอมเหลว (Melt-electrospinning) ที่มีการพัฒนาอุปกรณ์เพิ่มเติมด้วยระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการใหม่ ดังรูปที่ 2.8 พบว่าเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดที่เตรียมได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร ขณะทำการทดลองทำการเพิ่มความเข้มของแสงเลเซอร์พบว่าทำให้เส้นใยมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ได้ขนาดเล็กลงอีก และการเพิ่มความเข้มของแสงเลเซอร์ส่งผลให้สมบัติทางความของเส้นใยนาโนพอลิแลคติกแอซิดนั้นแสดงความเป็นอสัณฐานเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มความเข้มของแสงเลเซอร์ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง และทำให้อุณหภูมิการเกิดผลึกลดลงนอกจากนั้นการเพิ่มความเข้มของแสงเลเซอร์ยังทำให้อุณหภูมิหลอมผลึกลดลง



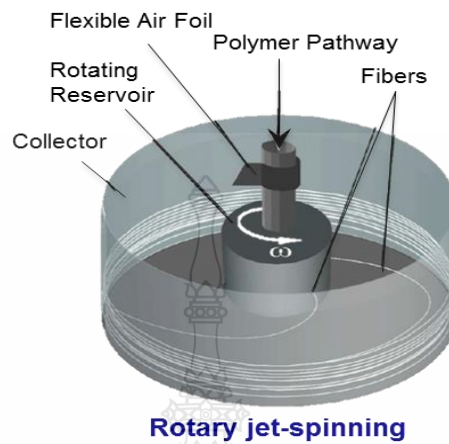
รูปที่ 2.8 แผนภาพของระบบอิเล็กโตรสปินนิงแบบหลอมเหลวที่มีการพัฒนาอุปกรณ์เพิ่มเติมคือระบบเลเซอร์

ที่มา : Nobuo O., Shinji Y. (2007). Journal of Applied Polymer Science. vol.104.

Poly lactide Nanofibers Produced by a Melt-Electrospinning System with a Laser Melting Device.

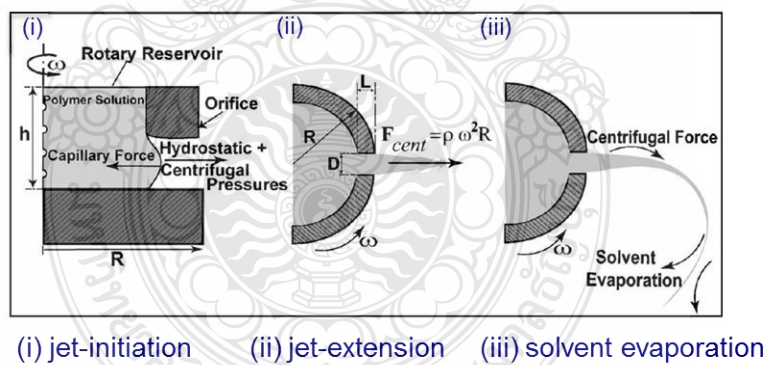
Mohammad Reza Badrossamay และคณะ [47] ศึกษาการเตรียมเส้นนาโนด้วยเครื่อง Rotary Jet-Spinning (RJS) ดังรูปที่ 2.9 เครื่อง RJS ประกอบด้วยอ่างที่ผนังด้านข้างและมีแกนตรงกลางที่มีช่องทางเข้าของพอลิเมอร์ที่ด้านบนที่ติดอยู่กับเพลลาของมอเตอร์ที่มีการควบคุมที่ความเร็วในการหมุน และมีช่องให้พอลิเมอร์ไหลเข้ามาในอ่างอย่างต่อเนื่องที่ความดันคงที่เส้นใยที่เกิดขึ้นถูกเก็บสะสมหมุนเหวี่ยงจนเต็มอ่างสำหรับพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องอยู่ในรูปของสารละลาย และถูกทำให้ระเหยใน

ขณะที่เกิดการปั่นเหวี่ยงดังรูปที่ 2.10 สำหรับลักษณะเส้นใยที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.11 การเพิ่มความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงส่งผลให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง



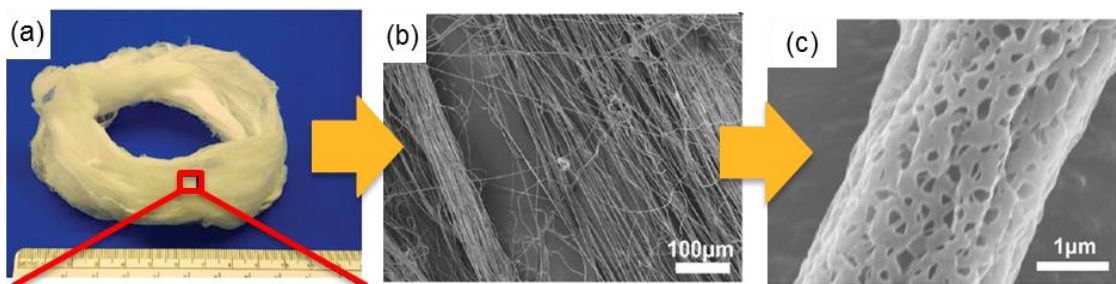
รูปที่ 2.9 เครื่อง Rotary Jet-Spinning

ที่มา : Mohammad R. B., (2010). Nano Lett, Vol.10. Nanofiber Assembly by Rotary Jet Spinning.



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการปั่นเส้นใยด้วยเครื่อง Rotary Jet-Spinning

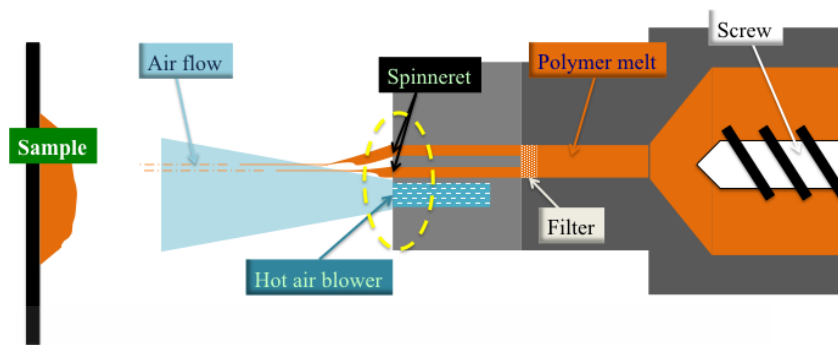
ที่มา : Mohammad R. B., (2010). Nano Lett, Vol.10. Nanofiber Assembly by Rotary Jet Spinning.



รูปที่ 2.11 ลักษณะเส้นใยที่ได้จากเครื่อง Rotary Jet-Spinning

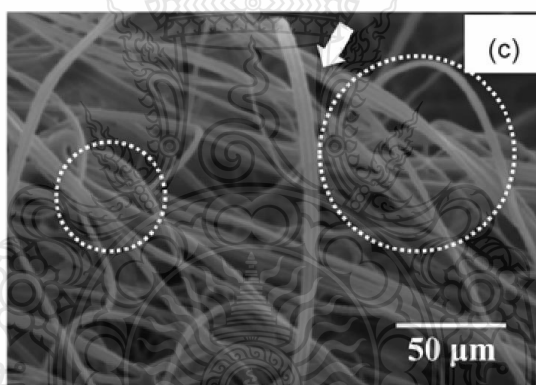
ที่มา : Mohammad R. B., (2010). Nano Lett, Vol.10. Nanofiber Assembly by Rotary Jet Spinning.

Rutchaneekorn Wongpajan และคณะ [48] ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อขนาด และสมบัติของเส้นใยนาโนพอลิโพลีโพรพีลีนแบบไม่ถักไม่ทอที่เตรียมด้วยเครื่อง Melt Jet Spinning ดังรูปที่ 2.12 ที่ความดันอากาศ 0.2 - 0.5 MPa โดยมีอุณหภูมิหัวฉีด 280 - 350 °C และอุณหภูมิอากาศคงที่ 600 °C ระยะห่างจากหัวฉีดถึงตัวสะสมตั้งไว้ที่ 10 - 90 ซม. ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้กับเครื่องที่ใช้ขึ้นรูปเส้นใยนี้ไม่ต้องเตรียมในรูปของสารละลายสามารถใช้พลาสติกเกรดการค้าขึ้นรูปได้เลยทำการหลอม และดันเนื้อพอลิเมอร์เหลวออกมาที่หัวฉีดด้วยระบบอัดรีดสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) แล้วใช้ระบบการนำพาเส้นใยด้วยการควบคุมอุณหภูมิและความดันของอากาศ (Air pressure) ไปยังฉากรับชิ้นงานเป็นกระบวนการที่ประหยัดพลังงาน และได้ผลผลิตสูง พบว่าอุณหภูมิของกระบอกลอมเหลว (Barrel temperature) และความดันของอากาศ (Air pressure) มีผลต่อขนาดเส้นใยที่เล็ก ให้ขนาดเส้นใยนาโนเล็ก ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 เครื่อง Melt Jet Spinning ขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ

ที่มา : Rutchaneekorn W., Supaphorn T., Hiroyuki I., Masayuki O., Hiroyuki H. (2018). Fibers and Polymers Vol.19. Development of Cotton Candy Method for High Productivity Polypropylene Fibers Webs.



รูปที่ 2.13 เส้นใยนาโนพอลิแลคติกแอซิด ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 340 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm และความดันลม 0.5 MPa

ที่มา : Rutchaneekorn W., Supaphorn T., Hiroyuki I., Masayuki O., Hiroyuki H. (2018). Fibers and Polymers Vol.19. Development of Cotton Candy Method for High Productivity Polypropylene Fibers Webs.

Kyungtaek Min และคณะ [49] ได้ศึกษาเทคโนโลยีกรองอากาศรูปแบบใหม่เนื่องจากมลพิษทางอากาศจากฝุ่นละออง (PMs) และสารอินทรีย์ระเหยได้ก่อให้เกิดความกังวลอย่างมากต่อสุขภาพเส้นใยนาโนโปรตีนไหมขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Electrospinning คุณสมบัติทางแสง (ความโปร่งแสงและการกระเจิง) ของตัวกรองอากาศนาโนไฟเบอร์ไหม (SNAFs) ประสิทธิภาพการกรองอากาศของ SNAF ได้ถึง 90% และ 97% สำหรับ PM ที่มีขนาดต่ำกว่า 2.5 และ 10 μm ตามลำดับซึ่งเกินกว่าประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ประสิทธิภาพการกรองอากาศอนุภาค (กึ่ง HEPA) หลังการใช้งาน SNAFs สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติ

Xiao Li และคณะ [50] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิค electrospinning เพื่อเตรียม Polytetrafluoroethylene / Polyvinyl alcohol (PTFE / PVA) เส้นใยนาโนไมโครไฟเบอร์ PTFE เป็นสารตั้งต้น เทียบกับพื้นผิวไมโครไฟเบอร์ PTFE ไฟเบอร์คอมโพสิต PTFE (CPFMs) มีปรับปรุงประสิทธิภาพการกรอง 70% และมุมสัมผัสน้ำ 23 การทดสอบการทดลองแสดงให้เห็นมุมสัมผัสน้ำของตัวอย่างเพิ่มขึ้นจากประมาณ 107 เป็น 130 ประสิทธิภาพการกรองของ PM_{2.5} เพิ่มขึ้นจาก 44.778% เป็น 98.905% และประสิทธิภาพการกรองของ PM_{7.25} เพิ่มขึ้นจาก 66.655% ถึง 100% เนื่องจากชั้นเส้นใยนาโน PTFE แบบ Electrospun งานนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ CPFM เป็นตัวกรองสำหรับการผลิตกำจัดฝุ่นในร่มหรือกลางแจ้งและเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการกรองก๊าซ

วรรณิ สมบัติ และคณะ [51] ได้ศึกษาคุณสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียและปริมาณสารสำคัญในตัวอย่างเปลือกมังคุด และเหง้าพลูที่สกัดด้วยวิธีการแช่ในเอทานอล 95% และน้ำมันพลูที่สกัดด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำจากการทดลอง พบว่าน้ำมันพลูมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย 8 ชนิดที่ทดสอบ (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *Salmonella typhi*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Serratia marcescens* และ *Escherichia coli*) เมื่อใช้วิธี Broth microdilution assay โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (MIC) ต่ำกว่า 12.50 $\mu\text{l/ml}$ องค์ประกอบทางเคมีของสารออกฤทธิ์สำคัญของน้ำมันพลูในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย ได้แก่ Sabinene, Terpinen-4-ol, Terpinene และ Pinene การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าน้ำมันพลูมีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียได้จึงสามารถนำน้ำมันพลูไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์กำจัดเชื้อที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อลดการใช้สารเคมี

นุศวดี พจนานุกิจ และคณะ [52] ได้ศึกษาการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Propionibacterium acnes* และเชื้อ *Staphylococcus aureus* ของสารสกัดจากพืชสมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ สารสกัดจากเปลือกมังคุด ขมิ้นชันและใบบัวบก พืชทั้ง 3 ชนิดจะถูกนำไปสกัดและนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของสารออกฤทธิ์ที่สกัดได้ ด้วยเทคนิค HPLC จากการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากเปลือกมังคุด ขมิ้นชันและใบบัวบก พบว่าบริเวณยับยั้งเชื้อ (Inhibition zone) ของ

สารสกัดจากเปลือกมังคุดมีค่ามากกว่าสารสกัดจากขมิ้นชัน และใบบัวบกที่ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากัน และการทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ (MIC) ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด ขมิ้นชันและใบบัวบก สำหรับเชื้อ *Propionibacterium acnes* มีค่าเท่ากับ 12.5, 25 และ 200 mg/ml ตามลำดับและเชื้อ *Staphylococcus aureus* มีค่าเท่ากับ 6.25, 12.5 และ 200 mg/ml ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อ (MBC) ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด ขมิ้นชัน และใบบัวบก สำหรับเชื้อ *Propionibacterium acnes* มีค่าเท่ากับ 25, 50 และ 200 mg/ml ตามลำดับ และเชื้อ *Staphylococcus aureus* มีค่าเท่ากับ 12.5, 25 และ 200 mg/ml ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการยับยั้งเชื้อของสารสกัดจากพืชทั้ง 3 ชนิดพบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดใช้ความเข้มข้นน้อยที่สุด (25 mg/ml) ในการยับยั้งเชื้อทั้ง 2 ชนิด

สมนึก อู่อรุณ [53] ได้ศึกษาการแยกสารสกัดจากเปลือกมังคุดในการนำมาใช้ยับยั้งเชื้อ *Propionibacterium acnes* ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียที่เจริญอยู่ตามผิวหนัง และรูขุมขนทำให้เกิดสิวอักเสบจากการสกัดสารพบว่าสารสกัดหยาบของเปลือกมังคุดจากจันทบุรีและภาคใต้ที่สกัดแบบแห้งด้วย 95% เอทานอล สกัดแบบสดด้วย 95% เอทานอล มีการวิเคราะห์สารสกัดหยาบโดยวิธี TLC พบว่า คลอโรฟอร์ม : เบนซีน (7:3) เป็นตัวทำละลายที่มีความเหมาะสมในการแยกสารสกัดหยาบจากเปลือก มังคุดจากจันทบุรีและภาคใต้ ที่สกัดแบบสด ส่วนไดคลอโรมีเทน : เมทานอล (98:2) เป็นตัวทำละลาย ที่มีความเหมาะสมในการแยกสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดจากจันทบุรีและภาคใต้ ที่สกัดแบบแห้งการแยกกลุ่มสารของสารสกัดหยาบแบบสดจากเปลือกมังคุดจากภาคใต้โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟีโดยใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม : เบนซีน (7:3) เป็นตัวชะ ได้สารสกัดทั้งหมด 9 fractions ซึ่งเมื่อนำสารสกัดไปทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย โดยวิธี agar diffusion พบว่า สารสกัดดังกล่าวสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *Propionibacterium acnes* ได้นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์สารสกัด fraction ที่ 2 และ 7 เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน 9-xanthone โดยวิธี HPLC พบว่า สารสกัดดังกล่าวไม่ใช่สาร 9-xanthone แต่อาจเป็นสารที่เป็นอนุพันธ์ของแซนโทนชนิดอื่นๆ

สุคนธ์ ตันติไพบูลย์วุฒิ และคณะ [54] ได้ศึกษาคุณสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเปลือกผลไม้ 5 ชนิด ได้แก่ ทูเรียนพันธุ์หมอนทอง มังคุดสุก ส้มเขียวหวาน กล้วยน้ำว่าดิบ และหมากสงดิบ เมื่อสกัดด้วยน้ำร้อนเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และอะซิโตนจากการทดลองพบว่า สารสกัดจากเปลือกมังคุดด้วยอะซิโตนให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียทุกชนิดที่ทดสอบ (*Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* และ *Salmonella typhimurium*) สูงที่สุดโดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (MIC) น้อยกว่า 195.7 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมา คือ สารสกัดจากเปลือกทุเรียนด้วย

อะซิโตน มีค่า MIC ต่อ *B. subtilis* และ *S. typhimurium* เท่ากับ 373 และ 273 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และมีค่า MIC ต่อ *S. aureus* และ *E. coli* เท่ากัน คือ 2,984 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดจากเปลือกผลไม้ทุกชนิดที่ทดสอบด้วยอะซิโตนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดด้วยน้ำร้อน และสารสกัดด้วยเอทานอล และพบว่า ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ตรวจพบในเปลือกผลไม้ นอกจากนี้เปลือกผลไม้ทุกชนิดที่ทำการศึกษาสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นนำมาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละกระบวนการเตรียมเส้นใยนั้น พบว่ากระบวนการอิเล็กทรอนิกส์แบบสารละลายและแบบ Rotary Jet-Spinning ต้องเตรียมตัวอย่างในรูปแบบสารละลายซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องมีการกำจัดสารเคมีและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพิ่มค่าใช้จ่ายและความยุ่งยากในการขึ้นรูประดับอุตสาหกรรมกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์แบบสารละลายต้องอาศัยความต่างศักย์กำลังสูงเพื่อให้เกิดแรงผลักดันไฟฟ้าสถิตขับเคลื่อนให้สารละลายพอลิเมอร์พุ่งออกมาเป็นลำไปยังฉากรองรับวัสดุส่วนอิเล็กทรอนิกส์แบบหลอมเหลวนั้นเหมือนกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์แบบสารละลายที่ต้องอาศัยความต่างศักย์กำลังสูงในการผลักดันให้เกิดเส้นใยไม่ต้องเตรียมตัวอย่างในรูปแบบของสารละลายแต่ผลผลิตที่ได้ต่ำเช่นกัน

จากงานวิจัยของการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอแบบพ่น (Melt jet spinning หรือ Cotton candy process) ที่สามารถขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอได้ เหมือนกับกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์ได้แก่ วัสดุที่ใช้ไม่ต้องเตรียมในรูปแบบของสารละลายสามารถใช้พลาสติกเกรดการค้าขึ้นรูปได้เลยไม่ต้องอาศัยความต่างศักย์กำลังสูงในการผลักดันให้เกิดเส้นใยแต่หลอมพอลิเมอร์ในสกรูแล้วใช้ระบบการนำพาเส้นใยด้วยการควบคุมอุณหภูมิและความดันของอากาศ (Air pressure) ไปยังฉากรับขึ้นงานเป็นการช่วยประหยัดพลังงาน และผลผลิตของกระบวนการนี้สูง โดยศึกษาสถานะการขึ้นรูปที่เหมาะสม จากนั้นเลือกสภาวะที่ดีที่สุดไปเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นโครงการวิจัยนี้ศึกษาผลของพอลิবিทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นจากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกล ของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিทิลีนซัคซิเนต ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

- 3.1.1 ศึกษาค้นหาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.2 รวบรวมข้อมูล และวางแผนการดำเนินงาน
- 3.1.3 จัดหาวัสดุดิบ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
- 3.1.4 ศึกษาสถานะในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิবিทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น ดังนี้
 - 3.1.4.1 อุณหภูมิในการขึ้นรูป ได้แก่ 250, 260, 270 และ 280 °C
 - 3.1.4.2 แรงดันลม ได้แก่ 0.3 และ 0.5 MPa
 - 3.1.4.3 ระยะเก็บชิ้นงาน ได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 cm
- 3.1.5 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิবিทิลีนซัคซิเนต
 - 3.1.5.1 สมบัติทางกายภาพ ได้แก่
 - 1) ขนาดของเส้นใย
 - 2) น้ำหนัก และความหนา
 - 3) สันฐานวิทยาด้วย Optical Microscope
 - 4) การไหลผ่านของอากาศ
 - 3.1.5.2 สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง มาตรฐาน ASTM D 3822 01
- 3.1.6 ศึกษาผลของความเข้มข้นในการเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดบนผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิবিทิลีนซัคซิเนต ได้แก่ 0, 1, 3, 5 และ 10 wt%
- 3.1.7 ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิবিทิลีนซัคซิเนตที่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด

- 3.1.7.1 ทดสอบการใช้งานจริง
- 3.1.7.2 ทดสอบความดันแตกต่าง
- 3.1.7.3 ทดสอบการออกฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโตของเชื้อโรค
- 3.1.8 รวบรวมผลทดสอบจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง
- 3.1.9 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มรายงาน

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

ลำดับ	แผนการดำเนินการ	2562				2563		2564
		ม.ค. -มี.ค.	เม.ย. -ส.ค.	ก.ย. -ต.ค.	พ.ย. -ธ.ค.	ม.ค. -เม.ย.	พ.ค. -ธ.ค.	ม.ค. -มี.ค.
1	ศึกษาค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	-----						
2	วางแผนการดำเนินงาน		-----					
3	จัดหาวัสดุดิบ			-----				
4	การขึ้นรูปเส้นใย				-----	-----		
5	เคลือบเส้นใย						-----	
6	ทดสอบสมบัติและวิเคราะห์ผล						-----	
7	สรุปผลการทดลองและทำรูปเล่ม							-----

----- แสดงแผนการดำเนินงาน

————— แสดงการดำเนินงานจริง

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุ

1) เม็ดพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต Poly(butylene succinate) (PBS) เกรด FZ71PM จากบริษัท PTT MCC Biochem company limited

2) สารสกัดจากเปลือกมังคุด มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องฉีดขึ้นรูปเส้นใยเส้นใย รุ่น SR-Runer bambi บริษัท Nihon Yuki จำกัด
- 2) เครื่องเก็บชิ้นงานระดับห้องปฏิบัติการ
- 3) ตู้อบแบบลมร้อนของ รุ่น FD115 บริษัท Scientific Promotion จำกัด



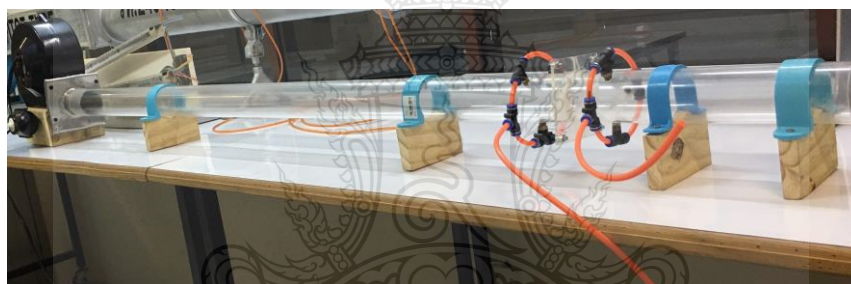
รูปที่ 3.1 เครื่องฉีดขึ้นรูปเส้นใย รุ่น SR-Runer bambi



รูปที่ 3.2 เครื่องเก็บชิ้นงานระดับห้องปฏิบัติการ

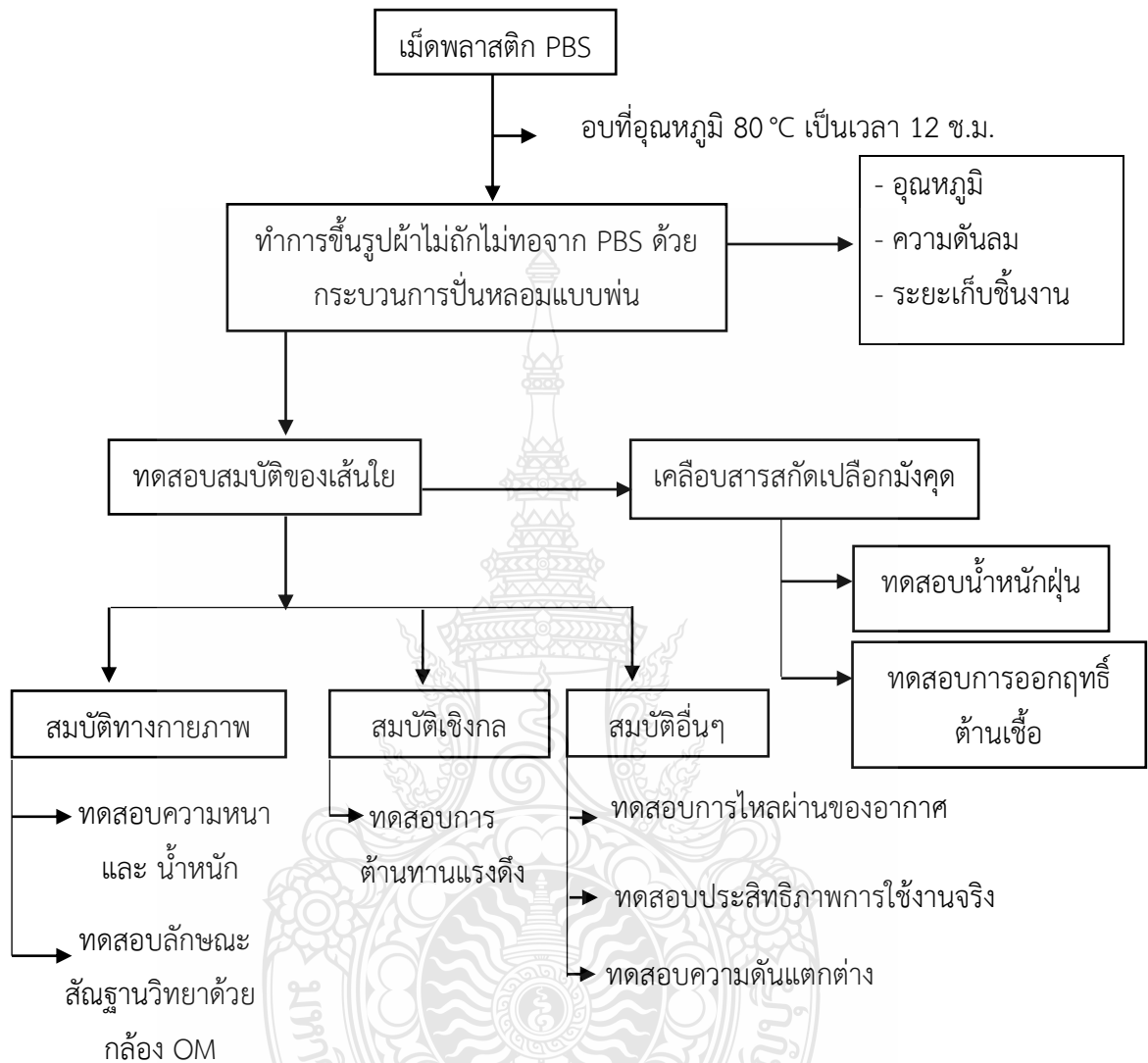
3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical Balan Overting) ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Adventurer AR2140
- 2) เครื่องวัดความหนา (Telclock Dial thickness gauge SM 112P)
- 3) เครื่องทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscopic, OM) ยี่ห้อ Olympus Microscope รุ่น CX41
- 4) เครื่องทดสอบการไหลผ่านของอากาศ (Air permeability) ตามมาตรฐาน ASTM D737 ยี่ห้อ Textest รุ่น FX3300
- 5) เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 3822 01 ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5569 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 6) เครื่องทดสอบความดันแตกต่าง (Differential pressure)



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบความดันแตกต่าง

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 การเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น ดังนี้

นำเม็ดพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต มาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชม. ทำการฉีดเม็ดพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นหัวตายที่ใช้เป็นแบบหัวฉีดเส้นใย (Spinneret) ลักษณะหน้าตัดวงกลมตันซึ่งมีจำนวน 3 รู โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 0.4 mm และรูของแรงดันลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 2 mm และ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปได้แก่ 250, 260, 270, และ 280 °C แรงดันลมที่ใช้ในการขึ้นรูป 0.3 และ 0.5 MPa ความเร็วรอบของสกรู 9 rpm ระยะเก็บตัวอย่างจากหัวตายถึงอุปกรณ์เก็บตัวอย่างเป็น 30, 60, 90, และ 120 cm และระยะเวลาในการเก็บ 5 รอบต่อตัวอย่าง

3.3.2 การเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด

เตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปปั่นหลอมแบบพ่น จากนั้นตัดชิ้นงานแผ่นกรองอากาศขนาด 11 x 7 cm เตรียมความเข้มข้นสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ต่าง ๆ คือ 0, 1, 3, 5 และ 10 wt% โดยใช้ เอทานอล เป็นตัวทำละลาย คือ 22 ml เทสารสกัดมังคุดลงในเอทานอลแล้วใช้แท่งแก้วกวนจนสารสกัดมังคุดละลายแล้วเทสารสกัดมังคุด และเอทานอลลงในภาชนะแบบเรียบนำผ้าไม่ถักไม่ทอวางคว่ำลงในภาชนะที่มีสารสกัดมังคุด และเอทานอลรองผ้าไม่ถักไม่ทอดูดสารสกัดมังคุด และเอทานอลจนแห้งแล้วนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชม.

3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล

3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความกายภาพ

3.4.1.1 การทดสอบการวัดความหนา

ขั้นตอนการทดสอบ

เตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปปั่นหลอมแบบพ่นทั้ง 32 สูตร ตัดชิ้นงานแผ่นกรองอากาศขนาด 1 x 1 cm สูตรละ 20 ตัวอย่าง จากนั้นวัดความหนาด้วยเครื่อง Thickness meter โดยทำการวัดความหนาซ้ำ ให้ครบทั้ง 32 สูตร คำนวณหาค่าเฉลี่ยทั้งหมด

3.4.1.2 การทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน

ขั้นตอนการทดสอบ

เตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปปั่นหลอมแบบพ่นทั้ง 32 สูตรตัดเป็นชิ้นขนาด 1×1 cm สูตรละ 20 ตัวอย่าง เปิดสวิทช์เครื่องชั่งทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้กระแสไฟคงที่จากนั้นเปิดประตูแล้ว และวางชิ้นงานลงบนจานเครื่องชั่งแล้วปิดรอจนกว่าตัวเลขน้ำหนักจะคงที่จากนั้นก็จดบันทึกข้อมูลทำซ้ำให้ครบทั้ง 32 สูตร

3.4.1.3 การทดสอบลักษณะสัมฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

ขั้นตอนการทดสอบ

เตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปปั่นหลอมแบบพ่นนำมาตัดเป็นชิ้นงานขนาด 1×1 cm นำชิ้นงานที่ตัดมาวางบนแผ่นกระจกใสนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโดยใช้การขยาย 10 X ทำการเลือกภาพบริเวณที่ต้องการและถ่ายภาพจากนั้นนำภาพที่ได้มาวัดขนาดเส้นใยโดยใช้โปรแกรม Image J

3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล

3.4.2.1 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

ขั้นตอนการทดสอบ

เตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปปั่นหลอมแบบพ่นโดยการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบความต้านทานทานต่อแรงดึงโดยตัดให้ได้ขนาด 1×6 cm นำชิ้นงานมาทำการวัด และทำเครื่องหมายแสดงช่วงของ Gauge จากนั้นนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปทดสอบแรงดึงโดยใช้ความเร็วในการดึง 50 mm/min และ Lode Cell ขนาด 50 N ทำการบันทึกข้อมูล Tensile Strength และทำการทดสอบเช่นเดิมกับทุกชิ้นงานตัวอย่างละ 15 ชิ้น

3.4.2.2 การทดสอบการไหลผ่านของอากาศ

ขั้นตอนการทดสอบ

เตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปปั่นหลอมแบบพ่นโดยการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบการไหลผ่านของอากาศโดยตัดให้ได้ขนาด 20×20 cm เปลี่ยนหัววัดให้เหมาะสมกับชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D737 เปิด Switch เครื่องรอให้เครื่องไต่ลมจนขึ้นหน้าจอ Ready ทำการเลือกหน่วยที่จะวัด Calibration โดยใช้แผ่นยางตัวอย่างดูค่าที่ได้ก็ใกล้เคียงค่าจากโรงงานนำชิ้นงานตัวอย่างวางที่เครื่องทดสอบกดแขนลง Lock แล้วบันทึกค่ากดลงอีกครั้งเพื่อคลาย Lock

3.4.2.3 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริง

ขั้นตอนการทดสอบ

เตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปปั่นหลอมแบบพ่น (เคลือบ-ไม่เคลือบสารสกัดมังคุด) ตัดชิ้นงานขนาด 11x7 cm ซึ่งนำหน้าก่อนทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริงนำชิ้นงานไปติดที่ตะแกรงด้านล่างของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ YORK แล้วใช้แผ่นตะแกรงเพื่อยึดชิ้นงานทำการชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบทุก 10 วัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 120 วัน และบันทึกข้อมูล

สมการคำนวณน้ำหนักของฝุ่น

$$\frac{M1 - M0}{M0} \times 100\%$$

M0 คือ น้ำหนักฝุ่นที่ระยะเวลาเริ่มต้น

M1 คือ น้ำหนักฝุ่นที่ระยะเวลา 10 วัน

3.4.2.4 การทดสอบความดันแตกต่าง

ขั้นตอนการทดสอบ

เตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปปั่นหลอมแบบพ่น (เคลือบ-ไม่เคลือบสารสกัดมังคุด) และประสิทธิภาพ (ก่อน - หลังใช้งานจริง) นำชิ้นงานทดสอบใส่ระหว่างแผ่นซีลียัมอะคริลิกใส จากนั้นไขน็อตเพื่อยึดชิ้นงานจากนั้นกดเปิดสวิตซ์พัดลมตามเบอร์ที่ต้องการทดสอบบรจนกว่าระดับน้ำที่เครื่องนาโนมิเตอร์จะนิ่งทำการอ่านค่าแล้วก็จดบันทึกข้อมูลทำซ้ำให้ครบทุกสูตร

สมการคำนวณความดันแตกต่าง

$$\Delta p = \rho gh$$

Δp คือ ค่าความดันแตกต่าง

ρ คือ ค่าความหนาแน่น

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วง

h คือ P1-P2

3.4.2.5 การทดสอบการออกฤทธิ์ต้านเชื้อโรค

ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบความไวรับของเชื้อต่อสารสกัดเปลือกมังคุดโดยวิธี Disk diffusion ทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อโดยใช้ Filter ที่เคลือบสารสกัดเปลือกมังคุด 0 wt%, 3 wt%, 5 wt%, 10 wt% หรือ Paper disk ขนาด 6 mm ที่มีสารสกัด 600 µg วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ Spread เชื้อที่มีความขุ่น 0.5 McFarland ทำการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง สำหรับเชื้อ MRSA, *S. pneumoniae* และ 48 ชั่วโมงสำหรับ เชื้อ *S. pneumoniae* บ่มในสภาวะที่มี 5% CO₂ อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับ MRSA ใช้ Mueller-Hinton agar, เชื้อ *S. pneumoniae* ใช้ Mueller-Hinton agar with 5% sheep blood อ่านผลโดยการวัดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของ Inhibition zone

การทดสอบค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดเปลือกมังคุดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อและฆ่าเชื้อทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดเปลือกมังคุดต่อเชื้อโดยใช้วิธี Broth microdilution สำหรับเชื้อ MRSA, และ วิธี Agar dilution สำหรับเชื้อ *S. pneumoniae* โดยทำการละลายสกัดสารแซนโทนจากเปลือกมังคุดด้วย Dimethyl sulfoxide (DMSO) ทำการทดสอบเชื้อกับสารสกัดที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.001 - 8000 mg/L ใน 2% DMSO โดยใช้เชื้อที่มีความขุ่นเท่ากับ 0.5 McFarland ทำการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง สำหรับเชื้อ MRSA, *S. pneumoniae* และ 48 ชั่วโมง สำหรับ เชื้อ *S. pneumoniae* บ่มในสภาวะที่มี 5% CO₂ อ่าน ค่า MIC (Minimal inhibitory concentration) ที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อ สำหรับค่า MBC (Minimal bactericidal concentration) คือ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อได้ ทำโดย subculture เชื้อจากหลุมที่เชื้อถูกยับยั้งการเจริญเติบโต

การทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศที่เคลือบด้วยสารสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุดในการฆ่าเชื้อโดยหยดเชื้อ 5×10^5 cfu ลงบนแผ่นกรองอากาศปิดทับด้วยแผ่น Polyethylene บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเติมน้ำเกลือเขย่าให้เชื้อหลุดจากแผ่นกรองอากาศเพาะเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy agar หรือ Blood agar บ่มที่ 35 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง เชื้อ *S. pneumoniae* บ่มในสภาวะที่มี 5% CO₂ นับจำนวนโคโลนี คำนวณ Percentage of reduction เทียบกับปริมาณเชื้อตั้งต้นทำการทดสอบที่ 0 และ 24 ชั่วโมง การทดลองนี้ใช้แผ่นกรองอากาศเปล่าที่ไม่ได้เคลือบด้วยสารสกัดเปลือกมังคุดเป็น Control

บทที่ 4

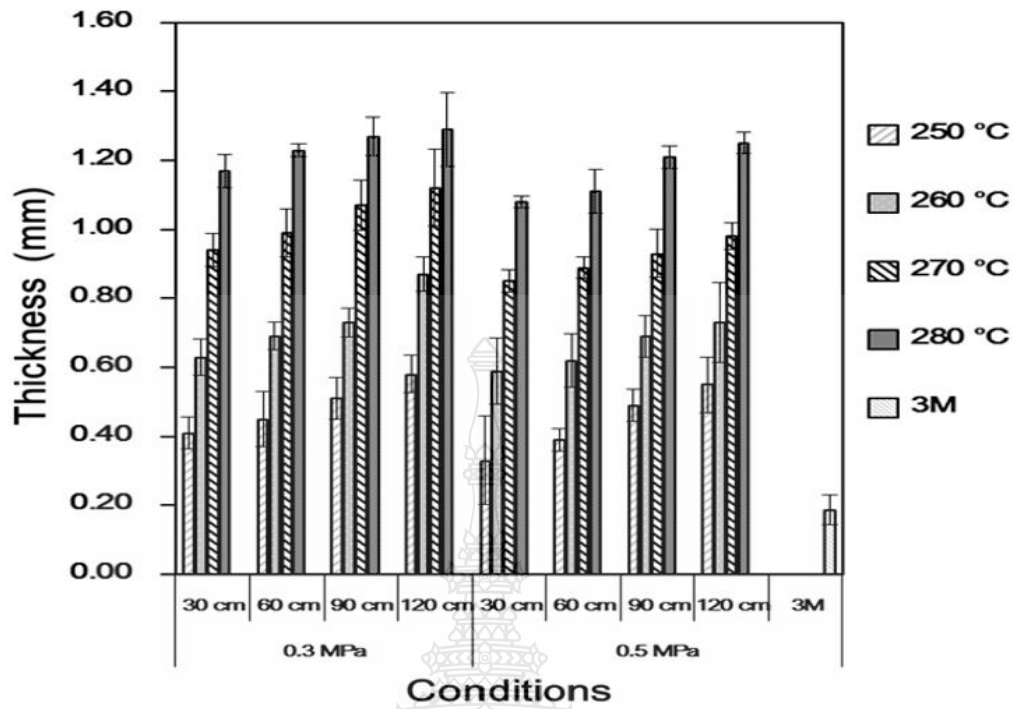
ผลและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

การเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นโครงการวิจัยนี้ศึกษาผลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นจากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกล ของเส้นใยที่ได้ซึ่งมีผลการทดสอบ ดังนี้

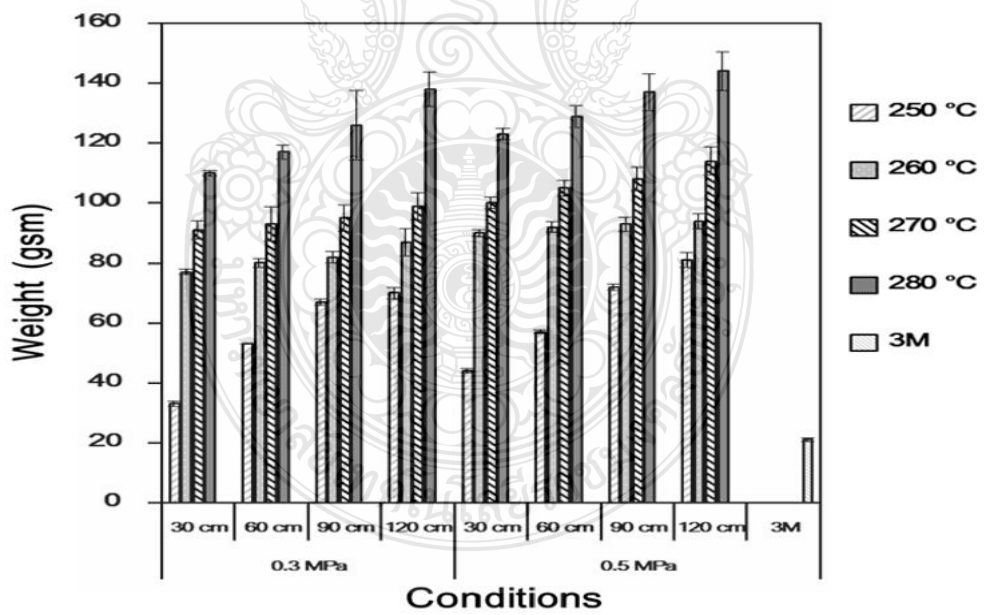
4.1 ผลการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

4.1.1 ผลของความหนาและน้ำหนักของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

การขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการการปั่นหลอมแบบพ่น โดยศึกษาอุณหภูมิในการขึ้นรูป ได้แก่ 250, 260, 270 และ 280 °C ความดันที่ 0.3 MPa และ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงานที่ 30, 60, 90 และ 120 cm ผลจากการทดสอบวัดความหนาและน้ำหนักของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต พบว่าค่าความหนาลดลง และน้ำหนักของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นนั้นพบว่าอุณหภูมิการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นจาก 250 ถึง 280 °C ผ้าไม่ถักไม่ทอมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการอุณหภูมิสูงขึ้นพอลิเมอร์มีความหนืดลดลง [48] ทำให้การไหลของเนื้อพอลิเมอร์มากขึ้น เช่นเดียวกันการเพิ่มระยะการเก็บชิ้นงานที่ 30, 60, 90 และ 120 cm ทำให้ชิ้นงานมีแนวโน้มหนามากขึ้น แต่น้ำหนักเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยชิ้นงานมีลักษณะพองและฟู เนื่องจากที่ระยะทางการเก็บเพิ่มขึ้นพอลิเมอร์มีการเย็นตัวเร็วก่อนที่จะถึงฉากรับชิ้นงานดังนั้นพอลิเมอร์ที่อยู่บนฉากรับชิ้นงานจึงเกาะกันแบบหลวม ๆ และผลของความดันลมที่ 0.3 และ 0.5 MPa นั้นมีผลต่อค่าความหนาเพียงเล็กน้อย แต่มีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงดันที่เพิ่มขึ้นทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวสามารถไหลออกจากหัวดายได้มากขึ้น



รูปที่ 4.1 ความหนาผ้าไม้ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

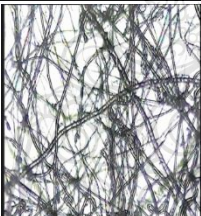
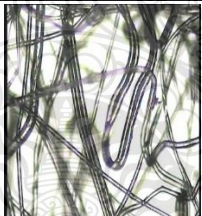
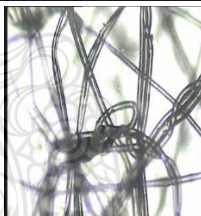
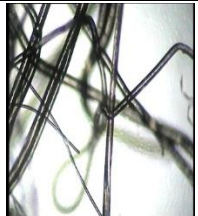

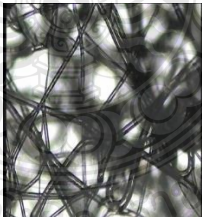
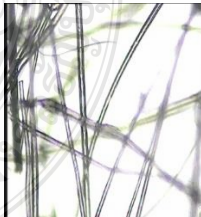
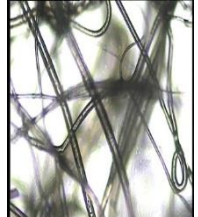
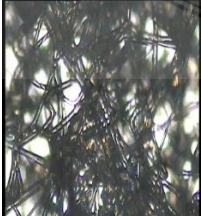
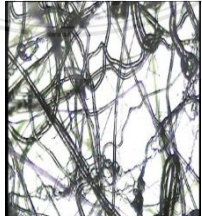
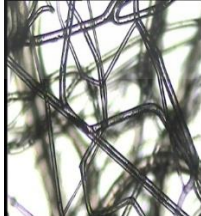
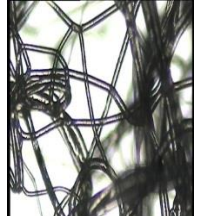


รูปที่ 4.2 น้ำหนักผ้าไม้ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต



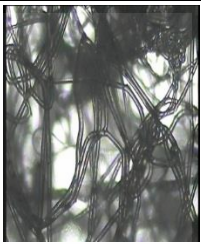


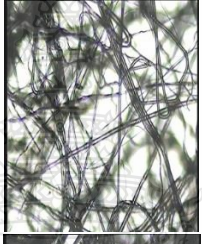
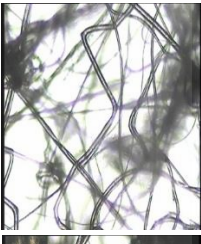


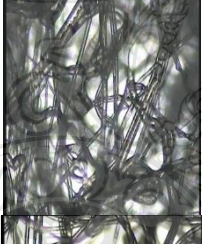
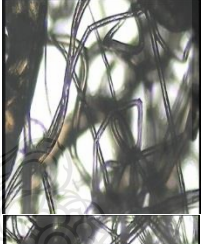
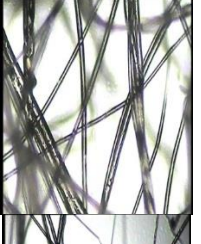

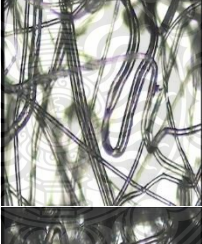
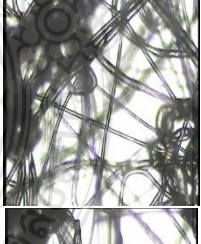
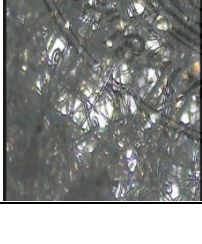
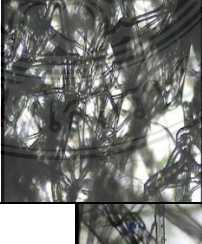
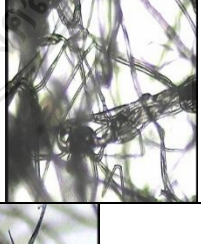
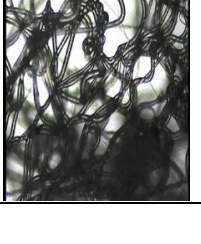

4.1.2 ลักษณะสัณฐานวิทยา และขนาดของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

จากผลการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงด้วยกระบวนการการปั่นหลอมแบบปั่น โดยศึกษาอุณหภูมิอุณหภูมิที่ในการขึ้นรูป ได้แก่ 250, 260, 270 และ 280 °C ความดันที่ 0.3 MPa และ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงานที่ 30, 60, 90 และ 120 cm พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเส้นใยจะมีการเกาะตัวเพิ่มมากขึ้นดังตารางที่ 4.1 ทำให้เส้นใยมีลักษณะหนาเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเก็บชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีการกระจายตัวออกจากกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยลดลงตามอุณหภูมิของกระบวนการที่เพิ่มขึ้นการกระจายขนาดเส้นใยสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิหัวฉีดเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นใย และการกระจายขนาดมีขนาดเล็กกว่าผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ 3M ดังตารางที่ 4.2 ความดันลมสูงช่วยลดขนาดเส้นใยและการกระจายเส้นใยที่ทำให้เส้นใยชิดกัน และทับซ้อนกันมากขึ้น ระยะเก็บชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยมากขึ้น

ตารางที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ3M

แรงดัน ลม (MPa)	อุณหภูมิ (°C)	ลักษณะของเส้นใย ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
		30	60	90	120
0.3	250				
	260				
	270				

ตารางที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของผ้าไม้ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนต และ3M (ต่อ)

แรงดัน ลม (MPa)	อุณหภูมิ (°C)	ลักษณะของเส้นใย			
		ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
		30	60	90	120
0.3	280				
	250				
					
	0.5	270			
280					
3M					

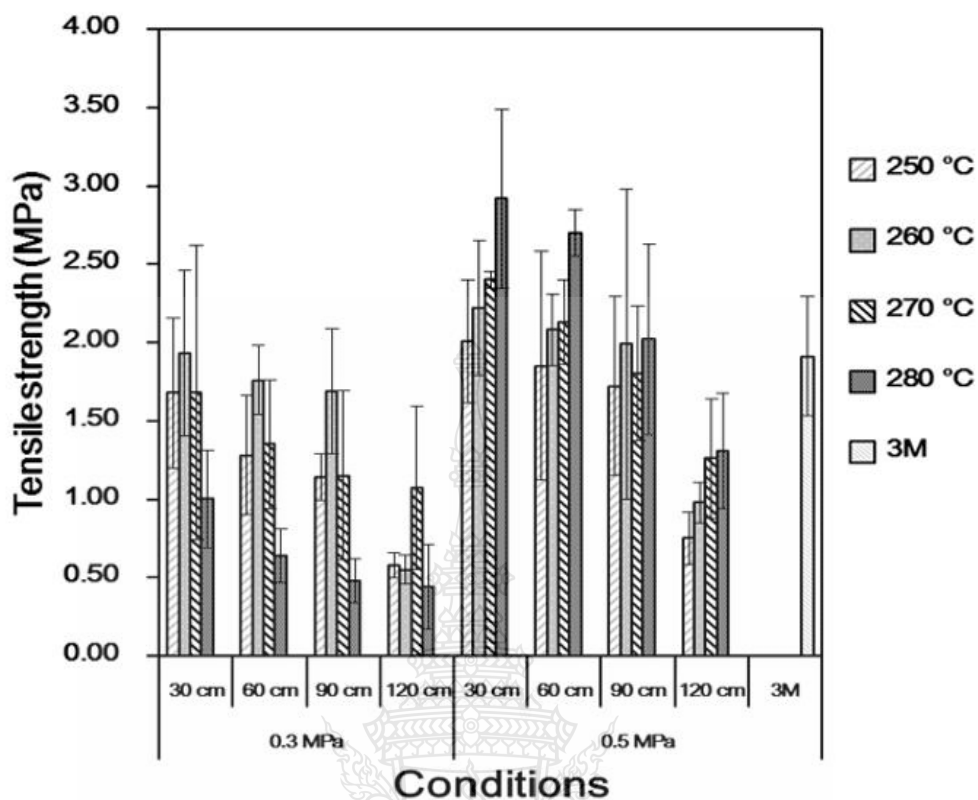
ตารางที่ 4.2 ขนาดเส้นใยของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ3M

แรงดันลม (MPa)	อุณหภูมิ (°C)	ขนาดเส้นใย (µm)			
		ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
		30	60	90	120
0.3	250	6.343±1.03	7.038±0.69	6.943±1.76	7.097±1.60
	260	6.278±1.65	6.854±1.57	6.926±0.51	7.025±1.36
	270	6.252±1.65	6.693±1.39	6.823±1.88	7.077±1.17
	280	6.186±0.93	6.402±1.44	6.675±1.29	6.857±1.23
0.5	250	6.027±1.07	6.113±1.24	5.676±1.38	5.511±1.22
	260	5.879±1.06	5.851±0.88	5.602±0.64	5.486±0.82
	270	5.709±0.91	5.791±0.93	5.596±0.96	5.430±0.73
	280	5.439±1.15	4.745±1.03	5.254±1.15	5.299±0.86
3M		13.111±6.81			

4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

4.2.1 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

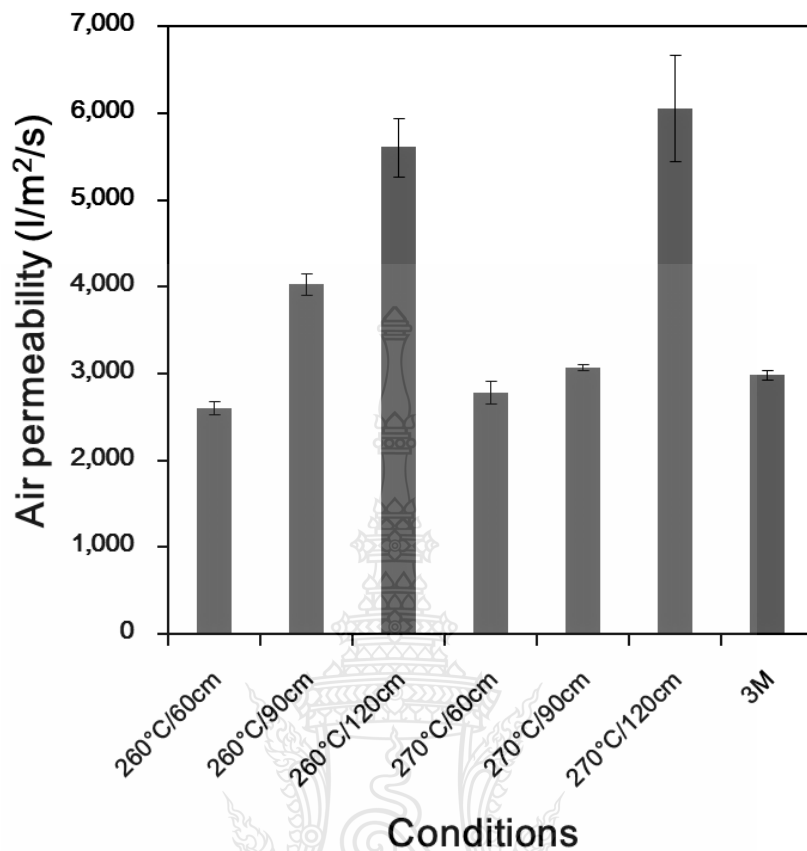
การขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น โดยศึกษาอุณหภูมิอุณหภูมิที่ในการขึ้นรูป ได้แก่ 250, 260, 270 และ 280 °C ความดันที่ 0.3 และ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงานที่ 30, 60, 90 และ 120 cm ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตพบว่า เมื่ออุณหภูมิ และความดันสูงขึ้นความต้านทานต่อแรงดึงของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่อุณหภูมิตำมีช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างเส้นใยจึงทำให้ความสามารถในความต้านทานต่อแรงดึงจะน้อยกว่าเส้นใยที่อุณหภูมิสูงระยะเก็บชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตลดลง เนื่องการจากมีช่องว่าง และการกระจายตัวของเส้นใยที่มากดังนั้นความต้านทานต่อแรงดึงจึงสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ 3M ที่ เนื่องจากเส้นใยมีขนาดใหญ่ทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงจึงน้อยกว่า ดังรูป 4.4



รูปที่ 4.3 ความต้านทานต่อแรงดึงของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

4.2.2 ผลการทดสอบการไหลผ่านอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

การขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการการปั่นหลอมแบบพ่น โดยเลือกจากขนาดของเส้นใยที่มีลักษณะเล็ก ช่องว่างและระยะห่างของเส้นใย ได้แก่ 260 และ 270 °C ความดันที่ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงานที่ 60, 90 และ 120 cm ผลการทดสอบอัตราการไหลผ่านอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต พบว่าที่อุณหภูมิ 260 °C ความดันที่ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงานที่ 60, 90 และ 120 cm อัตราการไหลผ่านของอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เท่ากับ 2600, 4028 และ 5604 $l/m^2/s$ ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิ 260 °C ลักษณะของเส้นใยมีขนาดใหญ่มีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่มากจึงทำให้มีการขวางกั้นการไหลผ่านของอากาศได้น้อย จึงทำให้การไหลผ่านของอากาศมาก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 270 °C ความดันที่ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงานที่ 60, 90 และ 120 cm เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ 3M เส้นใยมีขนาดที่เล็กลง และมีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่น้อย ช่วยให้อากาศสามารถไหลผ่านได้น้อย เท่ากับ 2780, 3064 และ 6054 $l/m^2/s$ เนื่องจากมีความหนาแน่นสูง และมีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่แคบลง ทำให้อากาศไหลผ่านน้อยกว่า

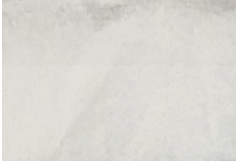
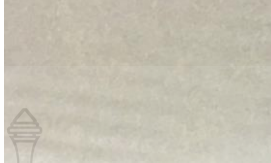
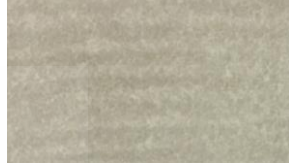

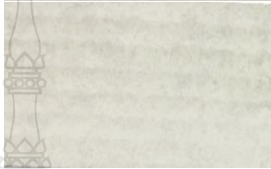

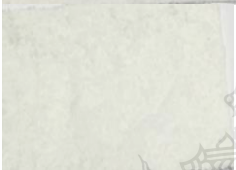

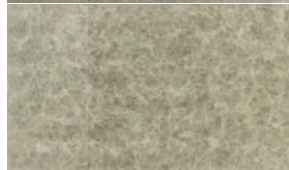
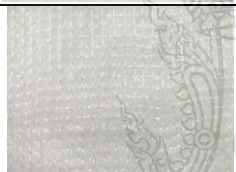




รูปที่ 4.4 อัตราการไหลผ่านอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

4.2.3 ผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

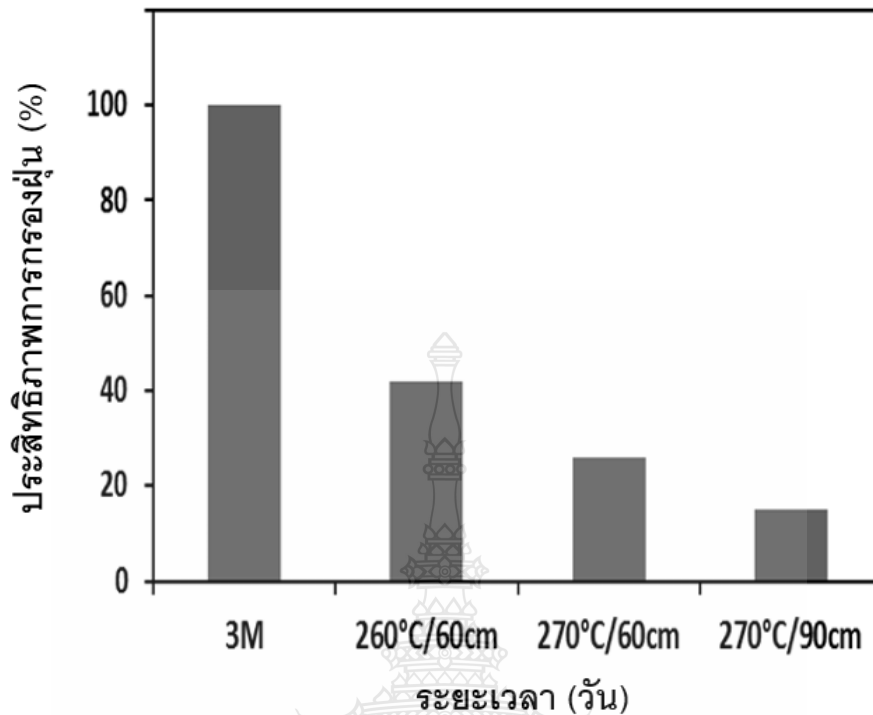
จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอากาศเลือกมาทั้งหมด 4 สูตร ได้แก่ ผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm อุณหภูมิ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60, 90 cm ความดันลม 0.5 MPa และ 3M นำผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต มาทดสอบการกรองอากาศจริงกับเครื่องปรับอากาศ เป็นเวลา 60 วัน โดยเก็บผลการทดลองทุก ๆ 10 วัน พบว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm และ อุณหภูมิ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60, 90 cm เมื่อทดสอบการใช้งานจริงที่ระยะเวลาผ่านไป 30 วันจะเห็นความเปลี่ยนแปลงของแผ่นกรองอากาศซึ่งมีลักษณะเป็นสีด้าอ่อน ๆ แต่ระยะเวลาผ่านไป 60 วัน จะเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นเมทอเทียบกับผลิตภัณฑ์ 3M มีสีที่เปลี่ยนไปที่ชัดเจนมากกว่า

ตารางที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศพอลิไบิวทิลีนซัคซิเนต และ3M

Conditions	ผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศ PBS		
	ระยะเวลา (วัน)		
	0	30	60
260°C/60cm			
270°C/60cm			
270°C/90cm			
3M			

4.2.4 ผลของประสิทธิภาพการกรองอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิไบิวทิลีนซัคซิเนต

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอากาศเลือกมาทั้งหมด 3 สูตร ได้แก่ ผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิไบิวทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 260 °C ระยะเวลาเก็บชิ้นงาน 60 cm อุณหภูมิ 270 °C ระยะเวลาเก็บชิ้นงาน 60, 90 cm ความดันลม 0.5 MPa นำผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิไบิวทิลีนซัคซิเนต มาทดสอบการกรองอากาศจริงกับเครื่องปรับอากาศ เป็นเวลา 60 วัน โดยเก็บผลการทดลองทุก ๆ 10 วัน พบว่า ซึ่งอุณหภูมิ 260 °C ระยะเวลาเก็บชิ้นงาน 60 cm พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การกรองฝุ่นมากที่สุด เนื่องจากมีเส้นใยเล็ก และช่องว่างที่มีขนาดเล็กทำให้เก็บฝุ่นได้เยอะฝุ่นจึงไม่สามารถผ่านได้ อุณหภูมิ 270 °C ระยะเวลาเก็บชิ้นงาน 60 และ 90 cm มีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่กว้างจึงทำให้เก็บฝุ่นได้น้อยกว่า



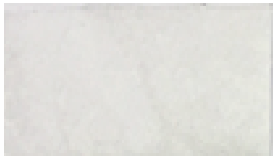
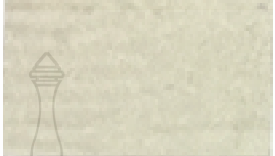





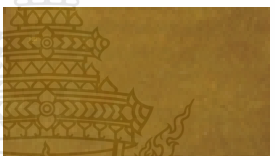
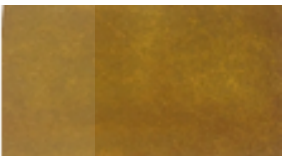




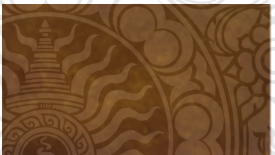

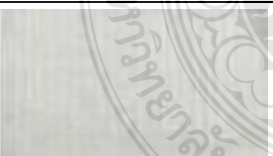


รูปที่ 4.5 ผลของประสิทธิภาพการกรองอากาศของผ้าไม้ถักไม่ทอจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่ได้เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด

4.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นในการเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดบนผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ได้แก่ 0, 1, 3, 5 และ 10 wt%

4.3.1 ผลของการเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด

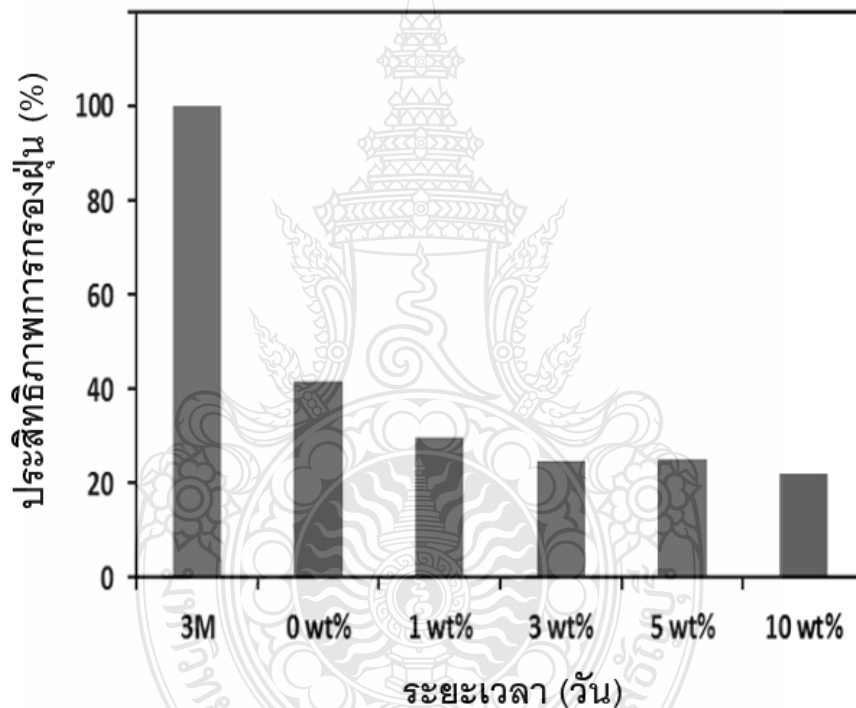
จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอากาศเลือกอุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm ความดันลม 0.5 MPa และ 3M นำมาศึกษาผลของความเข้มข้นในการเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดบนผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ได้แก่ 0, 1, 3, 5 และ 10 wt% ทดสอบการกรองอากาศจริงกับเครื่องปรับอากาศ เป็นเวลา 60 วัน โดยเก็บผลการทดลองทุก ๆ 10 วัน พบว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 1, 3 และ 5 wt% จะเห็นได้ว่าสีของแผ่นกรองอากาศไม่เปลี่ยนแปลง เทียบกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด 10 wt% พบว่าสีมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า

ตารางที่ 4.4 ผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศพอลิโพรพิลีนซัดซีเนต (เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด) และ 3M

สารสกัดจาก เปลือกมังคุด (wt%)	ผลิตภัณฑ์แผ่นกรองอากาศ PBS (เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด)		
	ระยะเวลา (วัน)		
	0	30	60
0			
1			
3			
5			
10			
3M			

4.3.2 ผลของประสิทธิภาพการกรองอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวทิลีนซัคซิเนตเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 1, 3, 5, และ 10 wt%

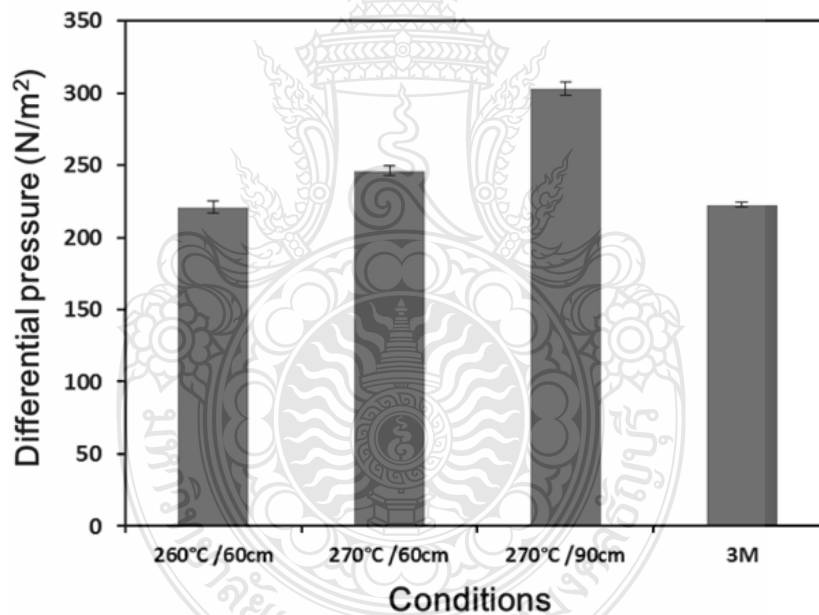
นำผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นที่สูตรอุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 ความดันลม 0.5 MPa นำมาเคลือบด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 1, 3, 5, และ 10 wt% และทดสอบการกรองอากาศจริงกับเครื่องปรับอากาศ เป็นเวลา 60 วัน โดยเก็บผลการทดลองทุก ๆ 10 วัน พบว่า ประสิทธิภาพการกรองฝุ่นที่ไม่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดมีเปอร์เซ็นต์การกรองฝุ่นมากที่สุดเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ 1, 3, 5 และ 10 wt% มีเปอร์เซ็นต์การกรองฝุ่นน้อยกว่าเนื่องจากปริมาณสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่เคลือบลงไปทำให้ไม่สามารถเก็บฝุ่นได้



รูปที่ 4.6 ผลของประสิทธิภาพการกรองอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวทิลีนซัคซิเนตที่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด

4.3.3 ผลการทดสอบความดันแตกต่างของผ้าไม้สักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนต

การขึ้นรูปผ้าไม้สักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น อุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm อุณหภูมิ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60, 90 cm ความดันลม 0.5 MPa และ 3M ผลการทดสอบความดันแตกต่างของผ้าไม้สักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนต พบว่า อุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm ความดันแตกต่างเท่ากับ 221 และ 228 N/m² อุณหภูมิ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 และ 90 cm ความดันแตกต่างเท่ากับ 246 และ 303 N/m² ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ 3M เวลา 0 ความดันแตกต่างเท่ากับ 222 N/m² พบว่า อุณหภูมิ 260 และ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm มีความดันแตกต่างกันใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ 3M เมื่อ อุณหภูมิ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 90 cm มีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่มากกว่าทำให้อากาศไหลผ่านได้ดีกว่า ความดันแตกต่างจึงเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ 3M ความดันแตกต่างมีค่าน้อยกว่า



รูปที่ 4.7 ความดันแตกต่างของผ้าไม้สักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนต

4.3.4 ผลการทดสอบการออกฤทธิ์ต้านเชื้อ

สารสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุด 0, 3, 5 และ 10 wt% ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า ที่ 3 - 10 wt% ของสารสกัดไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ Methicillin-resistant *S. aureus*, และ *S. pneumoniae* และ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเป็น 600 μg ใน paper disk โดยทำการทดสอบเทียบกับ 10 wt% filter พบว่า disk 600 μg สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ MRSA และ *S. pneumoniae* ได้ ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 โดยพบว่ามี Inhibition zone ขนาด 8 mm แสดงว่าสารสกัดมีฤทธิ์ต่อแบคทีเรียแกรมบวกมากกว่าแกรมลบที่ใช้ในการทดสอบนี้

ตารางที่ 4.5 ความไวของเชื้อจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันต่อสารสกัดจากเปลือกมังคุดโดยใช้กระดาษดิสก์ (600 μg) และแผ่นกรองอากาศเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด 10 wt%

Organisms	Inhibition zone (mm)
	Paper disk with extract (600 μg)
Methicillin-resistant <i>S. aureus</i> (MRSA 1)	8
Methicillin-resistant <i>S. aureus</i> (MRSA 27)	8
<i>Streptococcus pneumoniae</i> ATCC 6305	8
<i>Streptococcus pneumoniae</i> 1	8

การทดสอบหาค่า MIC และ MBC ของสารสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุดต่อเชื้อ MRSA, *S. pneumoniae*, *A. baumannii* และ *C. Albicans* ผลแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าสารสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุดมีฤทธิ์ต้านเชื้อ MRSA ได้ดีที่สุด ค่า MIC = 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$, $\text{MBC}_{99.9}$ = 200 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ตามด้วย *S. pneumoniae* ค่า MIC = 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$, $\text{MBC}_{99.9}$ = 1000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ซึ่งจะนำเชื้อ MRSA และ *S. pneumoniae* ไปศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศที่เคลือบด้วยสารสกัดเปลือกมังคุดต่อไป

ตารางที่ 4.6 MIC และ MBC ของสารสกัดจากมังคุดกับสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกัน

Organism	MIC (µg/ml)	MBC _{99.9} (µg/ml)
Methicillin-resistant <i>S. aureus</i> (MRSA1)	100	200
Methicillin-resistant <i>S. aureus</i> (MRSA27)	100	200
<i>Streptococcus pneumoniae</i> ATCC 6305	500	1000
<i>Streptococcus pneumoniae</i> 1	500	1000

การทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศที่เคลือบด้วยสารสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุด 10 % ในการยับยั้งเชื้อ MRSA และ *S. pneumoniae* เมื่อบ่มเชื้อไว้บนแผ่นกรองอากาศ 0 และ 24 ชั่วโมง ผลแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าแผ่นกรองอากาศที่เคลือบด้วยสารสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุดมีฤทธิ์ต่อเชื้อ MRSA โดยพบว่ามี Percentage of reduction = 84.40 % และ 83.10 % ตามลำดับเมื่อบ่มเชื้อไว้ 24 ชั่วโมง สำหรับเชื้อ *S. pneumoniae* พบว่ามี Percentage of reduction = 98.39 % และ 97.70 % ตามลำดับเมื่อบ่มเชื้อไว้ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อ MRSA ในแผ่นกรองอากาศที่เคลือบ – ไม่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด

Organism	% reduction of bacteria	
	0 w%	10 w%
MRSA 1	0	84.40
MRSA 27	0	83.10
<i>S. pneumoniae</i> ATCC 6305	0	98.39
<i>S. pneumoniae</i> 1	0	97.70

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นกรองอากาศจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นคือ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูป ได้แก่ 250, 260, 270 และ 280 °C ความดันที่ 0.3 และ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงานที่ 30, 60, 90 และ 120 cm จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของแผ่นกรองอากาศจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนต ผลการเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด และผลการทดสอบฤทธิ์การต้านการเจริญเติบโตของเชื้อโรคของสารสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุดต่อเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1 ผลของกระบวนการขึ้นรูปปั่นหลอมแบบพ่นต่อสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นกรองอากาศจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนต

จากผลทดสอบความหนา น้ำหนัก และความหนาแน่นของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตที่อุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 250, 260, 270 และ 280 °C ความดันอากาศ 0.3 และ 0.5 MPa ด้วยความเร็วของสกรู 9 rpm และระยะตัวเก็บ 30, 60, 90 และ 120 cm พบว่า เมื่ออุณหภูมิ และความดันลมในการขึ้นรูปเพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้น้ำหนักของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ความดันลมเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาลดลง และระยะการเก็บที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การกระจายขนาดเส้นใยลดลง

จากผลการทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นโดยศึกษาอุณหภูมิอุณหภูมิที่ในการขึ้นรูป ได้แก่ 250, 260, 270 และ 280 °C ความดันที่ 0.3 และ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงานที่ 30, 60, 90 และ 120 cm พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเส้นใยจะมีการเกาะตัวเพิ่มมากขึ้นทำให้เส้นใยมีลักษณะหนา เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเก็บชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีการกระจายตัวออกจาก ขนาดเส้นใย และการกระจายขนาดมีขนาดเล็กกว่าผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ 3M ความดันลมสูงช่วยลดขนาดเส้นใย และการกระจายเส้นใยที่ทำให้เส้นใยชิดกัน และทับซ้อนกันมากขึ้น ระยะเก็บชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นทำให้ ช่องว่างระหว่างเส้นใยมากขึ้น

จากผลทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 250, 260, 270 และ 280 °C ความดันที่ 0.3 และ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงานที่ 30, 60, 90 และ 120 cm พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิ และความดันลมการขึ้นรูปที่สูงขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึง ของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ระยะเก็บชิ้นงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงลดลง

จากผลทดสอบอัตราการไหลผ่านอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 260 และ 270 °C ความดันที่ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงานที่ 60, 90, และ 120 cm พบว่า อัตราการไหลผ่านของอากาศของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องมาจากอุณหภูมิ 260 °C ลักษณะของเส้นใยมีขนาดใหญ่มีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่มากจึงทำให้มีการขวางกั้นการไหลผ่านของอากาศได้น้อยจึงทำให้การไหลผ่านของอากาศมาก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 270 °C ความดันที่ 0.5 MPa และระยะเก็บชิ้นงานที่ 60, 90 และ 120 cm เส้นใยมีขนาดที่เล็กลงช่องว่างระหว่างเส้นใยที่น้อย ทำให้อากาศไหลผ่านได้น้อยกว่า

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอากาศเลือกมาทั้งหมด 3 สูตร ได้แก่ ผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm อุณหภูมิ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60, 90 cm ความดันลม 0.5 MPa นำผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตมาทดสอบการกรองอากาศจริงกับเครื่องปรับอากาศ เป็นเวลา 60 วัน โดยเก็บผลการทดลองทุก ๆ 10 วัน พบว่า ซึ่งอุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การกรองฝุ่นมากที่สุด เนื่องจากมีเส้นใยเล็กและช่องว่างที่มีขนาดเล็กทำให้เก็บฝุ่นได้เยอะฝุ่นจึงไม่สามารถผ่านได้ อุณหภูมิ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 และ 90 cm มีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่กว้างจึงทำให้เก็บฝุ่นได้น้อยกว่า

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอากาศโดยนำผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นที่สูตร อุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm ความดันลม 0.5 MPa นำมาเคลือบด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 1, 3, 5, และ 10 wt% และทดสอบการกรองอากาศจริงกับเครื่องปรับอากาศ เป็นเวลา 60 วัน โดยเก็บผลการทดลองทุก ๆ 10 วัน พบว่า ประสิทธิภาพการกรองฝุ่นที่ไม่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดมีเปอร์เซ็นต์การกรองฝุ่นมากที่สุดเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ 1, 3, 5 และ 10 wt% มีเปอร์เซ็นต์การกรองฝุ่นน้อยกว่าเนื่องจากปริมาณสารสกัดมังคุดที่เคลือบทำให้ฝุ่นหลุดไปได้มากกว่า

การขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นที่อุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm อุณหภูมิ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60, 90 cm ความดันลม 0.5 MPa และ 3M ผลการทดสอบความดันแตกต่างของผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิবিวิทิลีนซัคซิเนตพบว่า อุณหภูมิ 260 และ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm มีความดันแตกต่างกันใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ 3M เมื่ออุณหภูมิ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 90 cm มีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่มากกว่าทำให้อากาศไหลผ่านได้ดีกว่า ความดันแตกต่างจึงเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ 3M ความดันแตกต่างมีค่าน้อยกว่า

5.2 ผลทดสอบการออกฤทธิ์ต้านเชื้อโรค

จากการทดสอบสารสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุด 0, 3, 5 และ 10 wt% พบว่าที่ 3-10 wt% ของสารสกัดไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ Methicillin-resistant *S. aureus* และ *S. pneumoniae* แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด เป็น 600 µg ใน Paper disk โดยทำการทดสอบเทียบกับ 10 wt% Filter พบว่า Disk 600 µg สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ MRSA และ *S. pneumoniae* ได้ โดยพบว่ามี Inhibition zone ขนาด 8 mm แสดงว่าสารสกัดมีฤทธิ์ต่อแบคทีเรียแกรมบวกมากกว่าแกรมลบที่ใช้ในการทดสอบนี้ตัวอย่างผลการยับยั้งเชื้อ MRSA

จากผลการทดสอบสารสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุดสามารถสรุปผลได้ดังนี้ พบว่าแผ่นกรองอากาศที่เคลือบด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ 10 wt% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ MRSA และ *S. pneumoniae* โดยมีค่า %reduction มากกว่า 80% การเพิ่มปริมาณสารสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุดที่เคลือบบนแผ่นกรองอากาศจะทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อดีขึ้นได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ศึกษาการย่อยได้ทางชีวภาพของแผ่นกรองอากาศจากพอลิবিทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่นที่เคลือบ - ไม่เคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุด

5.3.2 ศึกษาผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแบบใหม่ที่ผลิตจากพอลิবিทิลีนซัคซิเนตขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น

5.3.3 ศึกษาการใช้งานอื่น ๆ เช่น การกรองของแข็ง การกรองของเหลว การกรองแก๊ส สำหรับแผ่นกรองอากาศจากพอลิবিทิลีนซัคซิเนตที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นหลอมแบบพ่น

บรรณานุกรม

- [1] C.S. Wu, H.T. Liao, J.J. Jhang, J.T. Yeh, C.Y. Huang, S.L. Wang. (2013). Polymer Bull. vol.70. **Thermal properties and characterization of surface-treated RSF-reinforced Polylactide composites** (pp. 3221–3239).
- [2] Zelalem Lule., Hyun Ju., Jooheon Kim. Ceramics International. **Effect of surface-modified Al₂O₃ on the Thermomechanical properties of polybutylene succinate/Al₂O₃ composites.** (pp 1-7).
- [3] Y.F. Shih a, L.S. Chenb., R.J. Jengb. (2008). Polymer. Vol.49. **Preparation and properties of biodegradable PBS / multi-walled carbon nanotubes** (pp. 4602-4611).
- [4] See I., Ee G. C., Teh S. S., Kadir A. A., Daud S. (2014). Molecules Vol.19. **Two new chemical constituents from the stem bark of Garcinia mangostana.** (pp. 7308–7316).
- [5] Pedraza-Chaverri, J., Cárdenas-Rodríguez N., Orozco-Ibarra M., Pérez-Rojas J. M. (2008). Food Chem. Toxic. vol.46. **Medicinal properties of mangosteen (Garcinia mangostana)** (pp. 3227–3239).
- [6] Negi J. S., Bisht V. K., Singh P., Rawat M. S. M., Joshi G. P. J. Appl. Chem. (2013). **Naturally Occurring Xanthenes: Chemistry and Biology.**
- [7] กนิษฐา อุดมทรัพย์พงศ์, รติยา คุณเขตพิทักษ์วงศ์. โครงการประชุมวิชาการ เรื่อง ความงามตามธรรมชาติและสุขภาพดีผ่านวิถีวิทยาศาสตร์ความงาม. **ผลของสารสกัดเปลือกมังคุด ต่อเชื้อ Propionibacterium acnes.** คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [8] Tousian S. H., Razavi B. M., Hosseinzadeh H. (2017). Phytother. Res. Vol.31. **(Review of Garcinia mangostana and its xanthenes in metabolic syndrome and related complications)** (pp. 1173-1182).
- [9] ธวัชชัย เสถียรรัตนกุล (2021). **เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับกรองอากาศ.** สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_de_plas.html
- [13] J, Bogner. E, Matthews. (2003). **Global methane emissions from landfills Newmethodology and annual estimates**, *Global Biogeochemical Cycles*. (pp 1980-1996).
- [14] **ผ้าไม่ถักไม่ทอ (nonwovens)**. [ออนไลน์] สืบค้นจาก <https://www2.mtec.or.th/th/research/textile/fabrics.html>
- [15] Suksamrarn S., Suwannapoch N., Phakhodee W., Thanuhiranlert J., Ratananukul P., Chimnoi N., Suksamrarn A. (2003). **Antimycobacterial activity of prenylated xanthenes from the fruits of *Garcinia mangostana***. *Chem. Pharm. Bull.* Vol.51 (pp. 857-859).
- [16] Sudta P., Jiarawapi P., Suksamrarn A., Hongmanee P., Suksamrarn, S. (2013). *Chem. Pharm. Bull.* Vol.61. **Potent activity against Multidrug-resistant *Mycobacterium tuberculosis* of α -mangostin analogs** (pp. 194-203).
- [17] สุนิตย์ สุขสำราญ, อมรมาศ จรัสรุ่งทิวี, พนมวรรณ ปานสีทา, พยุง เจียรวาปี, พินิติ รัตนานุกูล (26 กค 2556). **กรรมวิธีเตรียมสารสกัดมังคุดที่มีปริมาณแซนโทนสูง** อนุสิทธิบัตร เลขที่ 8171
- [18] Gopalakrishnan G., Banumathi B., Suresh G. (1997). *J. Nat. Prod.* Vol.60. **Evaluation of the antifungal activity of natural xanthenes from *Garcinia mangostana* and their synthetic derivatives**. (pp. 519-524).
- [19] Ho C.-K., Huang Y.-L., Chen C.-C. (2002). *Planta Med.* Vol.68. **Garcinone E, a xanthone derivative, has potent cytotoxic effect against Hepatocellular carcinoma cell lines**. (pp. 975-979).
- [20] Nakatani K., Atsumi M., Arakawa T., Oosawa K., Shimura S., Nakahata N., Ohizumi Y. *Biol.* (2002). **Inhibitions of histamine release and prostaglandin E2 synthesis by mangosteen, a Thai medicinal plant**. *Pharm. Bull.* Vol.25 (pp. 1137-1141).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] Moongkarndi P., Kosem N., Kaslungka S., Luanratana O., Pongpan N., Neungton N.J. *Ethnopharm.* (2004). **Alterations in Cell Cycle and Induction of Apoptotic Cell Death in Breast Cancer Cells Treated with α -Mangostin Extracted from Mangosteen Pericarp.** Vol.90 (pp. 161-166).
- [22] Matsumoto K., Akao Y., Yi H., Ohguchi K., Ito T., Tanaka T., Kobayashi E., Iinuma M., Nozawa Y. *Bioorg. Med.* (2004). **Antioxidant and cytotoxic activities of mangosteen *Garcinia mangostana* pericarp extracts.** *Chem.* Vol.12 (pp. 5799-5806).
- [23] Khaw K. Y., Choi S. B., Tan S. C., Wahab H. A., Chan K. L., Murugaiyah, V. (2014). *Phytomedicine* Vol.21. **Prenylated xanthenes from mangosteen as promising cholinesterase inhibitors and their molecular docking studies.** (pp. 1303–1309).
- [24] Jiang D.-J., Dai Z., Li Y.-J. (2004). *Cardiovascular Drug Rev.* Vol.22. **Pharmacological effects of xanthenes as cardiovascular protective agents.** (pp. 91–102).
- [25] Nontakham J., Charoenram N., Upamai W., Taweechotipatr M., Suksamrarn S. (2014). *Arch. Pharm. Res.* Vol.37. **Anti-*Helicobacter pylori* Xanthenes of *Garcinia fusca*.** (pp. 972-979).
- [26] Pan-in P., Tachapruetinun A., Chaichanawongsaroj N., Banlunara W., Suksamrarn S., Wanichwecharungruang S. (2014). **Combating *Helicobacter pylori* infections with mucoadhesive nanoparticle encapsulated *Garcinia mangostana* extract.**
- [27] Nakatani K., Yamakuni T., Kondo N., Arakawa T., Oosawa K., Shimura S., Inoue H., Ohizumi (2004) *Molec. Pharm.* Vol.66. **γ -Mangostin inhibits inhibitor-B kinase activity and decreases lipopolysaccharide-induced cyclooxygenase-2 gene expression in C6 rat glioma cells.** (pp. 667-674).
- [28] Nguyen T., Phuong M., Phan, T. N., Do N. L. (2004). *Tap Chi Duoc Hoc.* Vol.44. **Polyphenolic component of fruit skin of *Garcinia mangostana* L. and inhibitory effect on acid production by *Streptococcus mutans* GS-5.** (pp. 18-21).
- [29] Foulger S. W., Wu Y. X. (2006). (USA). U.S. Pat. Appl. Publ. **Nutritional supplement drink containing xanthone extracts.** (pp.19).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [30] Borba S., Vincent. (2006). **Nutritional beverage with skin improvement aids.**
- [31] Moffett A., Shah P. (2006). **Pharmaceutical, therapeutic, nutritional, cosmetic, and dermatological compositions derived from *Garcinia mangostana* L plant.** (pp.39)
- [32] Wadsworth J.W., Story S. P., Zhou B.-N., Ogden R. V., Godbee R. G., Palu A. K., Jensen C. J. *Garcinia mangostana* L. (2006). ***Garcinia* in Southern China: Ethnobotany, Management, and Niche Modeling.**
- [33] Garrity A. R., Morton J. C., Morrison P., De La Huerca V. (2005). **Nutraceutical mangosteen tea.** (pp.9).
- [34] Garrity A. R., Morton J. C., Morrison P., Horn G. (2005). **Mangosteen protein supplement.** (pp.9).
- [35] Kupper R., Smothers M. (2005). **Dissolving thin film xanthone supplement.** (pp.9).
- [36] Sobotta R., Ignatow H.-P. (2006). **Process for isolating of alpha-mangostin from *Garcinia mangostana*.** (pp. 4)
- [37] Inuma M., Takeuchi H. (2005). **Deodorant for deodorizing malodorous components and preventing malodor emission.** (pp. 7)
- [38] Wang C.-C., Chen L. G., Lin I.-H., Yang L.-L. (2004). **Inducible nitric oxide synthase inhibitors of Chinese herbs IV: *Garcinia mangostana*.**
- [39] Akao S., Matsumoto K., Inuma M., Tosa H., Ito, T. (2004). **Health foods containing apoptosis inducers.** (pp. 11)
- [40] Kato Y., Hosoda, S. (2003). **Mangosteen extracts, their preparation, and antimicrobial deodorant agents containing them.** (pp.9)
- [41] Oshima K., Mitsunaga T. (1999). **Glucosyl transferase inhibitors from plant extracts for dentifrice.** (pp. 9)
- [42] Oizumi K., Furukawa K., Chiranshilart N., Ota T., Nozoe S. (1998). **Antiallergic agents containing extracts of *Garcinia mangostana* pericarp or mangostin, and antiallergic foods containing them.** (pp. 6)
- [43] Gedouin J., Vallee R. (1998). **Sunscreen composition containing mangostin.** (pp. 12)

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [44] สุนิตย์ สุขสำราญ, พิชิต สุดตา, ชนิดาภา กัญจนวัตตะ, พินิติ ระตะนานุกุล, อภิชาติ สุขสำราญ (2560). **แขนโคนที่แสดงฤทธิ์ต้านเชื้อวัณโรค.**
- [45] Huajun Z., Thomas B. G., Yong L.J. (2006). *Polymer*. vol.47. **The thermal effects on electrospinning of polylactic acid melts.** (pp. 7497-7505).
- [46] Nobuo O., Shinji Y., Naoki S., Gang L., Toshiharu I., Koji N., Takashi O. (2007). *Journal of Applied Polymer Science*. vol.104. **Polylactide Nanofibers Produced by a Melt-Electrospinning System with a Laser Melting Device.** (pp. 640–1645).
- [47] Mohammad R. B., Holly A. M., Josue A. G., Kevin K. P. (2010). *Nano Lett*, Vol.10. **Nanofiber Assembly by Rotary Jet Spinning.** (pp 2257–2261).
- [48] Rutchaneekorn W., Supaphorn T., Hiroyuki I., Masayuki O., Hiroyuki H. (2018). *Fibers and Polymers* Vol.19. **Development of Cotton Candy Method for High Productivity Polypropylene Fibers Webs.** (pp. 135-146)
- [49] Kyungtaek Min¹, Sookyong Kim, & Sunghwan Kim (2018). **Silk protein nanofibers for highly efficient, eco-friendly, optically translucent, and multifunctional air filters.**
- [50] Xiao Li, Xiao-Xiong Wang, Tian-Tian Yue, Yuan Xu, Ming-Liang Zhao, Miao Yu, Seeram Ramakrishna, and Yun-Ze Long (2019). **Waterproof-breathable PTFE nano- and Microfiber Membrane as High Efficiency PM2.5 Filter.**
- [51] วรณิ สมป์ปิโต, ศุภชัย สมป์ปิโต, ลือชัย บุตุคูป (2559). **ผลของสารสกัดจากเปลือกมังคุด ไขมัน และน้ำมันโพลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรค.** มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [52] นุศวดี พจนานุกิจ, และ สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม (2553). **เปรียบเทียบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากเปลือกมังคุดเข้มข้นและใบบัวบก.** ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [53] สมนึก อุ่อรุณ (2550). **การแยกสารสกัดจากเปลือกมังคุดเพื่อใช้ในการยับยั้งเชื้อ *Propionibacterium acnes*.** คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [54] สุคนธ์ ต้นตีไพบุลย์วุฒิ, เทียนชัย น่วมเศรษฐี, เพชรลดา เดชาเย็นง (2555). **ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของสารสกัดจากเปลือกผลไม้บางชนิด.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.



ภาคผนวก ก

ข้อมูลและผลการทดสอบสมบัติต่างๆ

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบ ความหนา ของชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 250 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ความหนา (mm)				ชิ้นงาน	ความหนา (mm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	0.402	0.496	0.533	0.581	1	0.266	0.350	0.498	0.870
2	0.460	0.516	0.518	0.503	2	0.450	0.395	0.482	0.511
3	0.433	0.505	0.521	0.607	3	0.381	0.361	0.476	0.513
4	0.362	0.498	0.446	0.500	4	0.330	0.336	0.488	0.527
5	0.469	0.350	0.450	0.667	5	0.384	0.464	0.595	0.532
6	0.451	0.339	0.596	0.571	6	0.580	0.407	0.628	0.512
7	0.399	0.368	0.503	0.548	7	0.214	0.395	0.473	0.503
8	0.413	0.475	0.512	0.526	8	0.256	0.381	0.486	0.516
9	0.476	0.449	0.564	0.539	9	0.218	0.411	0.591	0.515
10	0.459	0.406	0.441	0.548	10	0.257	0.439	0.462	0.584
11	0.400	0.567	0.550	0.577	11	0.238	0.399	0.472	0.510
12	0.394	0.571	0.491	0.560	12	0.372	0.45	0.420	0.516
13	0.389	0.552	0.466	0.554	13	0.381	0.381	0.484	0.594
14	0.349	0.347	0.479	0.598	14	0.346	0.415	0.460	0.533
15	0.315	0.389	0.464	0.679	15	0.348	0.387	0.499	0.516
16	0.369	0.490	0.584	0.593	16	0.360	0.385	0.415	0.565
17	0.455	0.380	0.506	0.507	17	0.339	0.366	0.532	0.519
18	0.362	0.340	0.647	0.659	18	0.315	0.37	0.470	0.592
19	0.476	0.558	0.575	0.664	19	0.224	0.383	0.440	0.562
20	0.391	0.416	0.415	0.612	20	0.350	0.38	0.434	0.503
ค่าเฉลี่ย	0.411	0.451	0.513	0.580	ค่าเฉลี่ย	0.330	0.393	0.490	0.550
SD	0.047	0.082	0.060	0.055	SD	0.089	0.032	0.057	0.081

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบ ความหนา ของชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 260 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ความหนา (mm)				ชิ้นงาน	ความหนา (mm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	0.587	0.690	7.380	0.899	1	0.562	0.477	0.675	0.387
2	0.617	0.654	0.772	0.834	2	0.568	0.509	0.704	0.710
3	0.564	0.672	0.760	0.942	3	0.592	0.612	0.630	0.644
4	0.625	0.654	0.712	0.828	4	0.583	0.634	0.612	0.760
5	0.686	0.722	0.764	0.829	5	0.544	0.641	0.766	0.707
6	0.687	0.735	0.712	0.798	6	0.554	0.653	0.633	0.656
7	0.674	0.655	0.702	0.849	7	0.980	0.618	0.653	0.932
8	0.657	0.720	0.740	0.993	8	0.541	0.584	0.831	0.630
9	0.661	0.686	0.789	0.827	9	0.577	0.687	0.736	0.772
10	0.532	0.691	0.793	0.833	10	0.621	0.568	0.777	0.745
11	0.536	0.712	0.707	0.997	11	0.585	0.467	0.676	0.709
12	0.676	0.764	0.775	0.945	12	0.515	0.602	0.727	0.585
13	0.536	0.720	0.731	0.878	13	0.549	0.780	0.752	0.822
14	0.677	0.762	0.704	0.875	14	0.606	0.651	0.654	0.787
15	0.666	0.632	0.795	0.821	15	0.531	0.703	0.640	0.791
16	0.621	0.694	0.702	0.899	16	0.613	0.560	0.671	0.692
17	0.609	0.690	0.736	0.898	17	0.533	0.639	0.685	0.797
18	0.676	0.691	0.733	0.873	18	0.582	0.686	0.615	0.798
19	0.679	0.665	0.668	0.813	19	0.569	0.686	0.755	0.796
20	0.656	0.640	0.638	0.812	20	0.631	0.675	0.675	0.885
ค่าเฉลี่ย	0.631	0.692	1.066	0.872	ค่าเฉลี่ย	0.592	0.622	0.693	0.730
SD	0.054	0.037	1.487	0.059	SD	0.097	0.078	0.060	0.117

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบ ความหนา ของชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 270 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ความหนา (mm)				ชิ้นงาน	ความหนา (mm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	0.955	0.977	1.046	1.154	1	0.823	0.895	0.937	0.997
2	0.988	0.955	1.146	1.141	2	0.839	0.897	1.099	1.039
3	0.977	0.988	1.058	1.116	3	0.807	0.874	0.958	0.945
4	0.912	0.955	1.047	1.279	4	0.855	0.926	0.932	0.981
5	0.972	0.956	1.067	1.136	5	0.875	0.896	0.946	1.079
6	0.892	0.985	1.076	1.279	6	0.873	0.985	0.978	0.921
7	0.873	0.979	1.061	1.208	7	0.821	0.870	0.979	0.988
8	0.933	0.972	1.099	1.209	8	0.846	0.875	0.856	0.923
9	0.952	0.996	1.082	1.101	9	0.856	0.901	0.879	0.994
10	0.951	0.955	1.061	1.193	10	0.867	0.887	0.921	0.984
11	0.912	0.988	1.119	1.105	11	0.895	0.892	0.912	0.988
12	0.943	0.993	1.105	1.212	12	0.805	0.834	0.922	0.986
13	0.987	0.952	1.104	0.886	13	0.916	0.872	0.987	0.987
14	0.933	0.982	1.054	1.139	14	0.891	0.872	0.947	0.998
15	0.950	0.976	1.106	1.115	15	0.847	0.889	0.967	0.923
16	0.994	0.982	0.897	1.136	16	0.810	0.890	0.897	0.931
17	0.989	0.967	0.936	0.847	17	0.811	0.865	0.979	0.978
18	0.987	0.988	1.078	1.003	18	0.853	0.895	0.789	0.998
19	0.823	1.277	1.163	1.122	19	0.854	0.890	0.789	0.991
20	0.932	0.975	1.095	1.043	20	0.883	0.899	0.967	0.983
ค่าเฉลี่ย	0.943	0.990	1.070	1.121	ค่าเฉลี่ย	0.851	0.890	0.932	0.981
SD	0.044	0.069	0.061	0.110	SD	0.032	0.029	0.070	0.039

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบ ความหนา ของชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 280 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ความหนา (mm)				ชิ้นงาน	ความหนา (mm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	1.190	1.230	1.250	1.334	1	1.088	1.003	1.203	1.247
2	1.151	1.251	1.234	1.220	2	1.078	1.090	1.188	1.248
3	1.191	1.205	1.282	1.292	3	1.067	1.118	1.148	1.235
4	1.161	1.210	1.205	1.256	4	1.094	1.130	1.174	1.202
5	1.170	1.240	1.264	1.492	5	1.099	1.028	1.238	1.283
6	1.191	1.230	1.220	1.535	6	1.056	1.048	1.246	1.278
7	1.190	1.270	1.232	1.440	7	1.094	1.005	1.202	1.286
8	1.151	1.250	1.214	1.289	8	1.082	1.095	1.184	1.214
9	1.151	1.240	1.270	1.210	9	1.078	1.151	1.273	1.243
10	1.091	1.270	1.230	1.119	10	1.054	1.115	1.266	1.232
11	1.171	1.210	1.225	1.319	11	1.076	1.150	1.216	1.223
12	1.291	1.220	1.251	1.224	12	1.063	1.094	1.205	1.235
13	1.191	1.220	1.381	1.260	13	1.096	1.016	1.209	1.269
14	1.120	1.206	1.392	1.284	14	1.076	1.187	1.221	1.281
15	1.180	1.220	1.270	1.092	15	1.098	1.159	1.214	1.293
16	1.201	1.240	1.290	1.243	16	1.046	1.169	1.211	1.247
17	1.131	1.230	1.292	1.290	17	1.099	1.193	1.152	1.209
18	1.141	1.250	1.231	1.285	18	1.097	1.174	1.217	1.225
19	1.198	1.220	1.394	1.364	19	1.088	1.161	1.235	1.272
20	1.140	1.232	1.283	1.310	20	1.098	1.161	1.206	1.295
ค่าเฉลี่ย	1.170	1.232	1.271	1.293	ค่าเฉลี่ย	1.081	1.112	1.210	1.251
SD	0.041	0.019	0.057	0.108	SD	0.017	0.063	0.032	0.029

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบ น้ำหนัก ของชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 250 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)				ชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	0.0028	0.0065	0.0070	0.0078	1	0.0054	0.0062	0.0091	0.0078
2	0.0024	0.0075	0.0064	0.0071	2	0.0050	0.0066	0.0062	0.0076
3	0.0032	0.0042	0.0071	0.0075	3	0.0053	0.0059	0.0063	0.0095
4	0.0042	0.0055	0.0059	0.0050	4	0.0053	0.0054	0.0090	0.0062
5	0.0037	0.0069	0.0062	0.0055	5	0.0058	0.0064	0.0061	0.0079
6	0.0033	0.0058	0.0067	0.0083	6	0.0058	0.0054	0.0097	0.0067
7	0.0039	0.0048	0.0070	0.0073	7	0.0053	0.0058	0.0065	0.0099
8	0.0024	0.0057	0.0063	0.0058	8	0.0048	0.0054	0.0061	0.0099
9	0.0028	0.0061	0.0062	0.0083	9	0.0045	0.0058	0.0070	0.0087
10	0.0029	0.0056	0.0067	0.0090	10	0.0055	0.0061	0.0097	0.0099
11	0.0037	0.0055	0.0066	0.0092	11	0.0057	0.0063	0.0058	0.0063
12	0.0042	0.0056	0.0063	0.0058	12	0.0059	0.0047	0.0057	0.0067
13	0.0039	0.0064	0.0074	0.0051	13	0.0054	0.0053	0.0065	0.0067
14	0.0036	0.0048	0.0053	0.0048	14	0.0059	0.0061	0.0065	0.0088
15	0.0028	0.0040	0.0064	0.0087	15	0.0053	0.0061	0.0059	0.0093
16	0.0038	0.0052	0.0062	0.0077	16	0.0056	0.0057	0.0095	0.0060
17	0.0026	0.0031	0.0075	0.0068	17	0.0055	0.0056	0.0065	0.0069
18	0.0034	0.0050	0.0073	0.0073	18	0.0058	0.0052	0.0054	0.0068
19	0.0034	0.0046	0.0070	0.0042	19	0.0059	0.0054	0.0064	0.0099
20	0.0035	0.0041	0.0080	0.0091	20	0.0055	0.0054	0.0099	0.0099
ค่าเฉลี่ย	0.0033	0.0053	0.0067	0.0070	ค่าเฉลี่ย	0.0055	0.0057	0.0072	0.0081
SD	0.0006	0.0011	0.0006	0.0016	SD	0.0004	0.0005	0.0016	0.0015

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบ น้ำหนัก ของชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 260 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)				ชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	0.0044	0.0068	0.0094	0.0097	1	0.0099	0.0082	0.0098	0.0102
2	0.0084	0.0072	0.0075	0.0060	2	0.0098	0.0072	0.0088	0.0116
3	0.0090	0.0072	0.0094	0.0092	3	0.0096	0.0086	0.0098	0.0075
4	0.0078	0.0097	0.0096	0.0078	4	0.0096	0.0082	0.0098	0.0102
5	0.0062	0.0084	0.0083	0.0069	5	0.0099	0.0092	0.0068	0.0097
6	0.0088	0.0076	0.0077	0.0096	6	0.0095	0.0081	0.0098	0.0099
7	0.0088	0.0093	0.0094	0.0053	7	0.0099	0.0097	0.0097	0.0094
8	0.0085	0.0090	0.0088	0.0095	8	0.0075	0.0103	0.0096	0.0104
9	0.0073	0.0099	0.0096	0.0098	9	0.0097	0.0097	0.0099	0.0095
10	0.0051	0.0086	0.0079	0.0079	10	0.0095	0.0099	0.0099	0.0098
11	0.0089	0.0069	0.0079	0.0095	11	0.0098	0.0093	0.0094	0.0112
12	0.0076	0.0062	0.0076	0.0099	12	0.0091	0.0088	0.0089	0.0072
13	0.0087	0.0086	0.0076	0.0095	13	0.0099	0.0092	0.0093	0.0147
14	0.0080	0.0073	0.0061	0.0097	14	0.0089	0.0091	0.0095	0.0135
15	0.0056	0.0076	0.0086	0.0059	15	0.0086	0.0098	0.0081	0.0093
16	0.0096	0.0073	0.0075	0.0098	16	0.0073	0.0085	0.0091	0.0010
17	0.0082	0.0095	0.0071	0.0064	17	0.0096	0.0091	0.0097	0.0066
18	0.0091	0.0068	0.0067	0.0087	18	0.0066	0.0098	0.0093	0.0065
19	0.0072	0.0082	0.0094	0.0097	19	0.0057	0.0101	0.0094	0.0097
20	0.0073	0.0087	0.0079	0.0095	20	0.0099	0.0108	0.0097	0.0107
ค่าเฉลี่ย	0.0077	0.0080	0.0082	0.0085	ค่าเฉลี่ย	0.0090	0.0092	0.0093	0.0094
SD	0.0014	0.0011	0.0010	0.0016	SD	0.0012	0.0009	0.0007	0.0028

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบ น้ำหนัก ของชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 270 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)				ชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	0.0119	0.0064	0.0066	0.0087	1	0.0086	0.0121	0.0079	0.0155
2	0.0092	0.0070	0.0075	0.0066	2	0.0065	0.0084	0.0086	0.0210
3	0.0069	0.0071	0.0073	0.0138	3	0.0091	0.0106	0.0136	0.0153
4	0.0079	0.0075	0.0131	0.0131	4	0.0109	0.0079	0.0123	0.0101
5	0.0065	0.0099	0.0109	0.0076	5	0.0126	0.0106	0.0161	0.0060
6	0.0091	0.0068	0.0136	0.0129	6	0.0132	0.0128	0.0069	0.0146
7	0.0014	0.0092	0.0147	0.0098	7	0.0119	0.0135	0.0082	0.0142
8	0.0117	0.0144	0.0094	0.0124	8	0.0150	0.0074	0.0177	0.0040
9	0.0106	0.0131	0.0106	0.0127	9	0.0153	0.0102	0.0091	0.0107
10	0.0111	0.0122	0.0076	0.0155	10	0.0087	0.0149	0.0070	0.0138
11	0.0103	0.0149	0.0063	0.0074	11	0.0085	0.0095	0.0144	0.0146
12	0.0108	0.0086	0.0073	0.0073	12	0.0079	0.0118	0.0130	0.0126
13	0.0091	0.0152	0.0066	0.0142	13	0.0078	0.0145	0.0151	0.0196
14	0.0113	0.0063	0.0193	0.0097	14	0.0091	0.0107	0.0075	0.0121
15	0.0125	0.0065	0.0069	0.0125	15	0.0125	0.0108	0.0075	0.0055
16	0.0081	0.0066	0.0158	0.0085	16	0.0084	0.0122	0.0084	0.0073
17	0.0124	0.0071	0.0065	0.0068	17	0.0107	0.0076	0.0123	0.0052
18	0.0074	0.0146	0.0065	0.0077	18	0.0083	0.0079	0.0100	0.0069
19	0.0064	0.0054	0.0074	0.0031	19	0.0079	0.0086	0.0089	0.0063
20	0.0077	0.0070	0.0061	0.0070	20	0.0081	0.0078	0.0115	0.0131
ค่าเฉลี่ย	0.0091	0.0093	0.0095	0.0099	ค่าเฉลี่ย	0.0100	0.0105	0.0108	0.0114
SD	0.0027	0.0034	0.0038	0.0033	SD	0.0026	0.0023	0.0033	0.0049

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบ น้ำหนัก ของชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 280 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)				ชิ้นงาน	น้ำหนัก (g)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	0.0073	0.0065	0.0196	0.0079	1	0.0088	0.0086	0.0090	0.0099
2	0.0188	0.0067	0.0162	0.0075	2	0.0074	0.0087	0.0103	0.0092
3	0.0068	0.0189	0.0075	0.0072	3	0.0073	0.0098	0.0197	0.0099
4	0.0074	0.0139	0.0000	0.0100	4	0.0066	0.0097	0.0196	0.0098
5	0.0079	0.0178	0.0181	0.0070	5	0.0064	0.0090	0.0195	0.0093
6	0.0147	0.0099	0.0120	0.0064	6	0.0177	0.0092	0.0192	0.0198
7	0.0156	0.0138	0.0158	0.0171	7	0.0087	0.0086	0.0196	0.0099
8	0.0167	0.0176	0.0189	0.0181	8	0.0182	0.0186	0.0090	0.0097
9	0.0153	0.0088	0.0107	0.0191	9	0.0193	0.0183	0.0099	0.0191
10	0.0062	0.0167	0.0171	0.0199	10	0.0109	0.0098	0.0097	0.0137
11	0.0076	0.0181	0.0084	0.0184	11	0.0198	0.0169	0.0097	0.0096
12	0.0088	0.0074	0.0074	0.0151	12	0.0195	0.0181	0.0096	0.0195
13	0.0062	0.0188	0.0177	0.0166	13	0.0094	0.0090	0.0099	0.0076
14	0.0126	0.0072	0.0156	0.0179	14	0.0162	0.0181	0.0091	0.0149
15	0.0133	0.0061	0.0184	0.0198	15	0.0084	0.0106	0.0095	0.0173
16	0.0069	0.0079	0.0177	0.0078	16	0.0133	0.0186	0.0095	0.0193
17	0.0061	0.0074	0.0082	0.0077	17	0.0073	0.0199	0.0133	0.0198
18	0.0075	0.0148	0.0071	0.0187	18	0.0076	0.0081	0.0199	0.0200
19	0.0168	0.0076	0.0078	0.0168	19	0.0151	0.0094	0.0196	0.0191
20	0.0166	0.0072	0.0069	0.0175	20	0.0181	0.0196	0.0191	0.0197
ค่าเฉลี่ย	0.0110	0.0117	0.0126	0.0138	ค่าเฉลี่ย	0.0123	0.0129	0.0137	0.0144
SD	0.0045	0.0049	0.0056	0.0053	SD	0.0051	0.0047	0.0049	0.0049

ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบ การวัดขนาดเส้นใยของผ้าไม้สักไม้ทอ ที่อุณหภูมิ 250 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (µm)				ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (µm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	6.362	6.849	6.460	6.278	1	5.252	5.714	7.331	5.892
2	5.598	7.151	6.168	8.724	2	5.252	5.560	3.517	3.448
3	5.021	6.498	5.892	6.168	3	6.448	6.973	6.245	6.803
4	5.252	6.315	4.195	6.926	4	9.753	4.626	3.714	5.863
5	7.711	7.377	7.200	4.506	5	5.560	6.358	4.973	4.418
6	6.844	7.658	7.460	5.448	6	6.560	6.543	6.543	5.852
7	9.253	6.746	4.138	9.874	7	5.560	6.560	4.626	5.641
8	6.933	7.408	9.795	4.973	8	5.517	5.252	3.084	5.966
9	5.448	6.315	7.200	5.533	9	6.543	8.043	6.897	6.931
10	7.460	6.126	3.901	8.805	10	4.877	6.362	8.333	6.358
11	5.877	7.809	5.892	5.391	11	4.362	5.021	7.100	5.863
12	6.252	6.498	11.416	6.730	12	5.901	5.560	5.852	4.877
13	5.252	7.534	8.043	5.527	13	4.877	5.138	6.897	5.034
14	5.626	7.565	8.305	8.724	14	5.560	6.506	6.168	9.380
15	5.391	5.648	9.680	8.544	15	5.892	6.358	4.084	5.560
16	6.284	7.565	6.506	9.879	16	5.687	6.792	8.043	4.460
17	7.033	6.315	7.428	9.374	17	6.362	7.626	5.877	5.305
18	7.245	6.461	5.252	5.993	18	6.416	9.505	4.195	4.496
19	7.973	8.247	6.931	5.994	19	5.448	6.517	4.828	3.448
20	6.380	6.746	7.133	6.116	20	8.072	5.892	5.498	5.992
21	6.060	7.052	6.837	6.207	21	6.168	6.560	5.752	5.897
22	6.362	7.987	6.745	7.905	22	6.362	5.021	5.852	3.948
23	5.021	6.746	8.318	8.368	23	5.687	4.521	5.933	5.892

ตารางที่ ก.9 (ต่อ) ผลการทดสอบ การวัดขนาดเส้นใยของผ้าไม้สักไม่ทอ ที่อุณหภูมิ 250 °C
ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (µm)				ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (µm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
24	5.626	7.052	5.586	7.755	24	6.181	6.358	4.626	4.992
25	6.317	8.276	7.100	7.676	25	6.386	3.448	5.933	5.460
ค่าเฉลี่ย	6.343	7.038	6.943	7.097	ค่าเฉลี่ย	6.027	6.113	5.676	5.511
SD	1.03	0.69	1.76	1.60	SD	1.07	1.24	1.38	1.22

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบ การวัดขนาดเส้นใยของผ้าไม้สักไม่ทอ ที่อุณหภูมิ 260 °C ความดันลม
0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (µm)				ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (µm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	2.759	8.641	6.263	6.897	1	3.448	4.828	5.305	5.331
2	5.560	4.416	7.724	6.227	2	6.358	6.724	4.505	4.933
3	6.168	7.803	6.390	6.245	3	6.543	6.428	5.460	6.792
4	6.897	7.586	7.201	6.358	4	5.021	6.641	5.863	5.966
5	6.931	6.931	6.863	7.773	5	5.687	5.331	4.546	4.992
6	7.100	8.072	7.428	6.827	6	7.418	6.168	5.711	4.863
7	7.331	6.358	6.897	6.897	7	7.072	6.724	4.305	5.056
8	4.877	3.901	7.428	7.617	8	6.245	4.973	6.511	4.673
9	5.560	5.386	6.581	5.863	9	5.687	5.560	5.506	5.044
10	5.660	8.418	7.033	6.778	10	6.168	5.687	6.531	6.252
11	5.933	8.718	6.278	4.973	11	4.195	6.711	4.641	7.428
12	7.460	7.903	7.729	8.992	12	7.795	6.931	5.724	6.072
13	7.100	8.043	7.333	5.192	13	5.560	6.863	6.033	5.056

ตารางที่ ก.10 (ต่อ) ผลการทดสอบ การวัดขนาดเส้นใยของผ้าไม้สักไม่ทอ ที่อุณหภูมิ 260 °C
ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (μm)				ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (μm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
14	7.333	7.428	7.120	6.358	14	7.100	5.852	5.380	5.892
15	2.487	4.828	6.043	6.897	15	5.852	4.626	6.043	7.200
16	8.276	7.460	6.043	6.931	16	6.543	6.245	5.706	4.963
17	5.852	6.845	6.792	10.904	17	5.993	5.392	5.333	6.358
18	9.380	10.044	7.724	9.581	18	5.352	4.673	5.200	4.946
19	4.877	8.072	6.897	6.792	19	4.877	6.693	6.531	4.973
20	4.926	5.592	6.566	8.072	20	4.828	4.373	5.692	5.433
21	5.560	6.758	6.897	7.263	21	4.973	6.663	5.606	5.386
22	6.458	4.673	6.802	8.305	22	4.496	7.100	5.305	4.331
23	5.986	5.690	6.460	6.174	23	7.153	4.626	6.341	4.333
24	6.906	4.993	7.296	5.358	24	6.243	5.560	6.418	5.535
25	9.581	6.797	7.353	6.358	25	6.358	4.892	5.863	5.348
ค่าเฉลี่ย	6.278	6.854	6.926	7.025	ค่าเฉลี่ย	5.879	5.851	5.602	5.486
SD	1.65	1.57	0.51	1.36	SD	1.06	0.88	0.64	0.82

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบ การวัดขนาดเส้นใยของผ้าไม้สักไม่ทอ ที่อุณหภูมิ 270 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (μm)				ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (μm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	10.436	5.660	4.626	8.531	1	6.358	5.687	7.200	6.358
2	6.792	5.560	6.827	7.331	2	3.517	7.460	5.631	4.331
3	5.252	6.245	6.358	8.333	3	5.252	5.252	5.386	5.724
4	5.687	5.386	8.305	5.560	4	5.386	6.333	4.762	7.200
5	7.428	6.931	5.560	7.711	5	6.358	6.897	4.973	4.877
6	3.548	7.803	4.626	6.897	6	6.543	7.200	6.792	5.331
7	4.416	5.933	10.042	6.245	7	6.827	6.207	5.892	5.072
8	4.973	8.778	9.380	4.195	8	4.416	6.897	4.626	3.901
9	4.973	6.792	9.201	6.278	9	6.245	5.863	4.021	6.168
10	4.416	7.863	9.606	7.617	10	6.897	4.626	5.358	5.386
11	5.517	8.072	4.877	7.428	11	7.428	4.021	5.687	6.506
12	5.560	8.376	9.278	6.897	12	4.877	4.973	4.973	5.252
13	6.368	8.832	9.252	8.724	13	6.506	6.358	3.714	4.416
14	6.792	6.358	8.043	7.581	14	5.852	6.168	5.533	5.792
15	7.711	4.626	6.506	7.711	15	5.252	5.652	6.897	5.933
16	7.100	5.687	7.100	6.531	16	5.560	6.511	5.560	5.560
17	8.333	6.858	7.663	8.072	17	6.448	4.573	4.626	5.872
18	6.792	5.933	5.560	7.201	18	4.877	5.252	4.762	4.852
19	7.033	5.386	5.091	7.606	19	4.416	6.168	5.892	5.305
20	5.892	9.953	6.358	9.253	20	4.926	5.252	6.568	5.533
21	4.973	4.860	4.362	6.527	21	5.892	4.973	7.190	4.531
22	6.558	7.697	3.714	6.971	22	5.386	4.677	4.973	5.500
23	7.300	5.560	6.197	5.081	23	6.206	5.560	5.781	5.633

ตารางที่ ก.11 (ต่อ) ผลการทดสอบ การวัดขนาดเส้นใยของผ้าไม้สักไม่ทอ ที่อุณหภูมิ 270 °C

ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (µm)				ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (µm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
24	8.992	6.378	6.358	5.537	24	5.752	5.021	6.897	5.360
25	3.448	5.796	5.692	7.100	25	5.554	7.200	6.198	5.358
ค่าเฉลี่ย	6.252	6.693	6.823	7.077	ค่าเฉลี่ย	5.709	5.791	5.596	5.430
SD	1.65	1.39	1.88	1.17	SD	0.91	0.93	0.96	0.73

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบ การวัดขนาดเส้นใยของผ้าไม้สักไม่ทอ ที่อุณหภูมิ 280 °C ความดันลม

0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (µm)				ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (µm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	5.560	8.305	6.358	7.803	1	4.877	5.560	3.448	6.792
2	6.207	7.033	6.827	7.460	2	5.560	6.207	5.933	4.973
3	5.892	6.207	4.877	5.973	3	5.252	2.487	4.626	3.901
4	5.973	5.305	7.863	6.892	4	4.416	4.828	4.973	4.021
5	7.714	6.207	4.277	5.973	5	5.892	5.852	3.084	6.358
6	6.138	5.560	6.245	4.021	6	4.573	3.084	4.626	5.021
7	5.973	7.200	7.331	8.641	7	5.517	3.448	6.358	4.138
8	6.714	4.877	8.333	5.386	8	3.448	3.714	5.687	5.386
9	4.195	5.687	4.138	7.428	9	5.892	4.416	3.517	6.198
10	4.626	5.560	8.418	5.892	10	6.792	4.828	5.892	5.892
11	6.168	6.792	5.683	5.386	11	7.331	5.560	6.358	5.386
12	5.295	4.195	5.687	7.560	12	3.714	5.517	5.933	7.100
13	7.428	5.687	7.617	6.827	13	5.687	3.448	6.358	5.852

ตารางที่ ก.12 (ต่อ) ผลการทดสอบ การวัดขนาดเส้นใยของผ้าไม้สักไม่ทอ ที่อุณหภูมิ 280 °C
ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (μm)				ชิ้นงาน	ขนาดเส้นใย (μm)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
14	5.416	4.577	7.100	4.973	14	5.560	5.687	4.138	4.138
15	5.714	6.792	7.603	6.616	15	4.426	4.021	3.714	4.973
16	6.877	4.626	6.358	7.686	16	7.428	4.416	7.460	4.877
17	6.517	4.362	6.207	6.506	17	6.358	4.362	7.428	4.416
18	5.386	6.358	6.245	6.358	18	5.560	4.626	5.221	4.673
19	7.886	8.418	7.111	8.043	19	5.386	4.973	4.726	5.386
20	5.714	7.043	7.033	6.168	20	7.428	6.543	4.857	5.358
21	5.626	7.511	6.227	7.486	21	3.601	6.243	5.386	5.560
22	6.806	7.428	5.252	8.730	22	4.763	4.362	4.862	6.468
23	6.168	10.336	9.201	6.883	23	6.556	5.352	5.901	5.386
24	6.792	7.200	8.498	9.183	24	4.091	4.473	4.973	4.828
25	7.863	6.792	6.378	7.560	25	5.872	4.626	5.901	5.386
ค่าเฉลี่ย	6.186	6.402	6.675	6.857	ค่าเฉลี่ย	5.439	4.745	5.254	5.299
SD	0.93	1.44	1.29	1.23	SD	1.15	1.03	1.15	0.86

ตารางที่ ก.13 ผลการทดสอบ Tensile strength ที่อุณหภูมิ 250 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa
ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)				ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	1.52	1.34	0.95	0.69	1	1.97	1.81	1.98	0.92
2	1.25	1.10	1.14	0.56	2	1.87	1.76	1.80	0.93
3	1.95	1.45	0.90	0.62	3	2.39	1.97	1.49	0.58

ตารางที่ ก.13 (ต่อ) ผลการทดสอบ Tensile strength ที่อุณหภูมิ 250 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)				ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
4	1.72	1.20	1.32	0.63	4	1.68	1.85	1.65	0.68
5	1.60	1.30	1.17	0.67	5	2.14	1.79	1.73	0.84
6	1.37	1.16	1.33	0.47	6	2.64	1.57	1.90	0.74
7	1.67	1.45	1.14	0.54	7	1.81	1.84	1.48	0.60
8	1.68	1.29	1.21	0.35	8	1.90	1.90	1.67	0.60
9	2.02	1.19	1.09	0.71	9	1.56	1.88	1.96	0.74
10	2.06	1.27	1.12	0.58	10	2.13	2.15	1.51	0.82
ค่าเฉลี่ย	1.68	1.28	1.14	0.58	ค่าเฉลี่ย	2.01	1.85	1.72	0.75
SD	0.27	0.12	0.14	0.11	SD	0.33	0.15	0.19	0.13

ตารางที่ ก.14 ผลการทดสอบ Tensile strength ที่อุณหภูมิ 260 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)				ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	1.84	1.75	2.06	0.58	1	2.33	3.35	2.09	0.92
2	1.69	1.98	1.92	0.60	2	1.97	2.45	2.12	1.08
3	1.75	1.49	1.81	0.58	3	2.21	2.10	2.03	0.87
4	2.07	1.64	1.67	0.47	4	2.88	1.72	2.31	0.92
5	1.88	1.75	1.43	0.51	5	1.80	1.58	1.88	0.91
6	1.91	1.75	1.61	0.45	6	1.78	1.66	1.82	1.30
7	2.24	1.71	1.68	0.61	7	1.75	2.30	2.21	0.90

ตารางที่ ก.14 (ต่อ) ผลการทดสอบ Tensile strength ที่อุณหภูมิ 260 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)				ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
8	2.39	1.56	2.01	0.53	8	2.45	2.10	1.69	0.83
9	1.77	1.90	1.51	0.65	9	2.34	2.10	1.97	0.89
10	1.77	2.05	1.22	0.56	10	2.65	1.42	1.81	1.14
ค่าเฉลี่ย	1.93	1.76	1.69	0.55	ค่าเฉลี่ย	2.22	2.08	1.99	0.98
SD	0.23	0.18	0.26	0.06	SD	0.39	0.56	0.19	0.15

ตารางที่ ก.15 ผลการทดสอบ Tensile strength ที่อุณหภูมิ 270 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)				ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	1.74	0.90	0.89	1.18	1	2.46	2.14	1.77	1.08
2	1.73	1.14	1.16	1.14	2	2.40	1.81	1.85	1.29
3	1.64	1.34	0.93	0.68	3	2.32	2.15	1.84	1.49
4	1.61	1.42	1.09	1.01	4	2.34	2.00	1.66	1.49
5	1.53	1.37	1.07	0.98	5	2.40	2.06	1.86	1.32
6	1.51	1.65	1.20	1.19	6	2.31	2.01	1.87	1.21
7	1.74	1.19	1.08	0.94	7	2.28	2.29	1.86	1.25
8	1.66	1.58	1.26	0.94	8	2.25	1.87	1.65	1.21
9	1.94	1.26	1.22	1.30	9	2.43	2.61	1.82	1.28
10	1.74	1.71	1.66	1.37	10	2.83	2.37	1.79	1.00
ค่าเฉลี่ย	1.68	1.35	1.15	1.07	ค่าเฉลี่ย	2.40	2.13	1.80	1.26
SD	0.12	0.25	0.21	0.20	SD	0.16	0.24	0.08	0.16

ตารางที่ ก.16 ผลการทดสอบ Tensile strength ที่อุณหภูมิ 280 °C ความดันลม 0.3 และ 0.5 MPa
ระยะเก็บชิ้นงาน 30, 60, 90 และ 120 cm

ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)				ชิ้นงาน	Tensile strength (MPa)			
	แรงดันลม 0.3 MPa					แรงดันลม 0.5 MPa			
	ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)					ระยะเก็บชิ้นงาน (cm)			
	30	60	90	120		30	60	90	120
1	1.15	0.59	0.46	0.42	1	2.84	2.48	1.84	1.32
2	1.00	0.66	0.47	0.44	2	2.67	2.58	2.32	1.25
3	0.96	0.82	0.52	0.55	3	2.63	2.61	1.93	1.16
4	0.89	0.73	0.52	0.45	4	3.18	3.05	2.20	1.35
5	1.01	0.51	0.45	0.43	5	2.88	2.72	2.17	1.26
6	1.00	0.71	0.40	0.44	6	3.45	2.93	1.83	1.26
7	0.95	0.43	0.46	0.39	7	2.94	2.63	2.08	1.35
8	1.15	0.50	0.49	0.37	8	3.25	2.62	1.99	1.53
9	0.76	0.64	0.49	0.50	9	2.74	2.66	1.88	1.29
10	1.17	0.80	0.50	0.44	10	2.58	2.74	1.95	1.35
ค่าเฉลี่ย	1.00	0.64	0.48	0.44	ค่าเฉลี่ย	2.92	2.70	2.02	1.31
SD	0.13	0.13	0.04	0.05	SD	0.29	0.17	0.17	0.10

ตารางที่ ก.17 ผลการทดสอบ Air Permeability ที่อุณหภูมิ 260 และ 270 °C ความดันลม 0.5 MPa ระยะเก็บชิ้นงาน 60, 90, 120 cm และ 3M

อุณหภูมิ มิ (°C)	ระยะเก็บ ชิ้นงาน (cm)	Air Permeability (l/m ² /s)					ค่าเฉลี่ย	SD
		แรงดันลม 0.5 MPa						
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
260	60	2510	2560	2740	2600	2590	2600	86
	90	4000	3970	4270	3970	3930	4028	138
	120	5370	5080	5750	6050	5770	5604	380
270	60	2800	2570	2750	2820	2960	2780	141
	90	3060	3100	3090	3070	3000	3064	39
	120	5270	6540	6910	5540	6010	6054	680
	3M	3040	2980	2950	2900	3040	2982	60

ตารางที่ ก.18 ผลการทดสอบ น้ำหนักฝุ่น ที่อุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm และอุณหภูมิ 270 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60, 90 cm ความดันลม 0.5 MPa และ 3M

อุณหภูมิ (°C)	ระยะเก็บ ชิ้นงาน (cm)	น้ำหนักฝุ่น (g)						
		ระยะเวลา (วัน)						
		0	10	20	30	40	50	60
260	60	0	0.0054	0.0031	0.0026	0.0039	0.0011	0.0043
270	60	0	0.0036	0.0054	0.0071	0.0099	0.0110	0.0142
	90	0	0.0052	0.0025	0.0024	0.0033	0.0010	0.0035
	3M	0	0.0037	0.0049	0.0052	0.0040	0.0010	0.0018

ตารางที่ ก.19 ผลการทดสอบ น้ำหนักฝุ่น ที่อุณหภูมิ 260 °C ระยะเก็บชิ้นงาน 60 cm ความดันลม 0.5 MPa โดยเคลือบสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ 1, 3, 5 และ 10 wt%

สารสกัดจาก เปลือกมังคุด (wt%)	น้ำหนักฝุ่น (g)						
	ระยะเวลา (วัน)						
	0	10	20	30	40	50	60
1	0	0.0023	0.0025	0.0015	0.0042	0.0014	0.0035
3	0	0.0021	0.0026	0.0008	0.0031	0.0020	0.0024
5	0	0.0027	0.0022	0.0027	0.0038	0.0008	0.0034
10	0	0.0030	0.0041	0.0025	0.0054	0.0013	0.0025

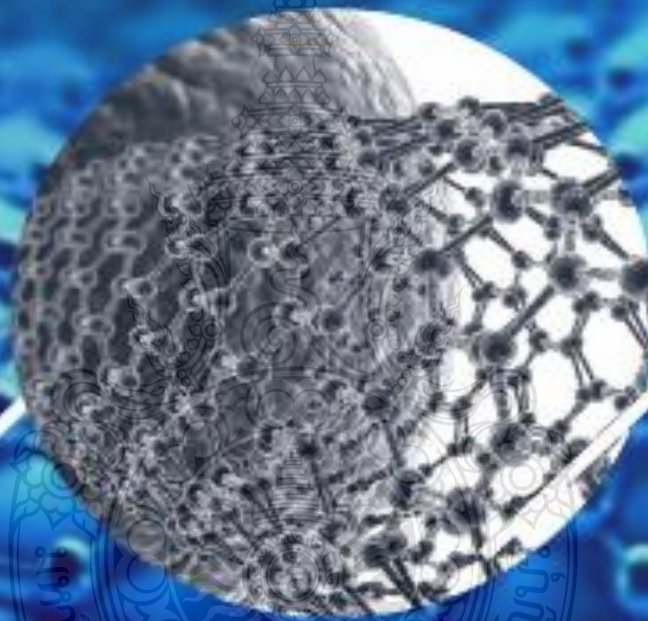




ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART
MATERIALS AND NANOTECHNOLOGY

BOOK OF ABSTRACT (SMARTMAT@2020)



1 DECEMBER - 4 DECEMBER 2020
NONGNOOCH PATTAYA GARDEN & RESORT





Welcome to The 5th International Conference on Smart Materials and Nanotechnology (SmartMat@2020)

On behalf of the organizing committee of The 5th International Conference on Smart Materials and Nanotechnology (SmartMat@2020), we are delighted to welcome you to this important scientific event from December 1st – 4th, 2020. SmartMat@2020 aims to bring together leading scientists, researchers, and research scholars to exchange and share their experiences and research results in the field of functional materials and nanotechnology. You will walk away with new perspectives, concrete ways to shape a better future and a brand-new group of collaborators.

The SmartMat Conference Series was initiated in 2004 as one of the very first international conferences held in Thailand. The First SmartMat Conference, called SmartMat-2004, was held in Chiang Mai, Thailand on December 1-3, 2004. Four years later, The Second SmartMat Conference (SmartMat-2008) was organized and held again in Chiang Mai, Thailand on April 22-25, 2008. With the success of the first two in the series, the next two SmartMat Conferences were then held as a crucial part of the main two international conferences, i.e. The 8th Asian Meeting on Ferroelectrics (AMF-8) on December 9-14, 2012 (Pattaya, Thailand), and The 5th Thailand International Nanotechnology Conference (NanoThailand-2016) on November 27-29, 2016 (Nakhon Ratchasima, Thailand). It is noticed that this conference series is successfully organized for every 4 years. Now, SmartMat@2020 Conference, identified as the fifth in this very successful SmartMat Conference Series, is co-organized by ACerS-Thailand Chapter and i-STEM on December 1st – 4th, 2020 in Nongnooch Pattaya Garden and Resort, Thailand.

Due to a difficult travel situation in this uncertain COVID-19, SmartMat@2020 is then organized in a hybrid format, in which international participants (with travel difficulties) can present and attend the Conference via On-line Platform and the domestic participants still attend the Conference on site. This way both groups of participants can still enjoy the benefits of attending an international conference in COVID-19 situation. Amidst this COVID-19, SmartMat@ still attracts more than 600 on-site participants and 25 on-line participants. There are more than 30 plenary, keynote, and invited speakers, some presenting their work via on-line system. There are also more than 250 contributed talks, and 259 poster presentations at SmartMat@2020. We are also very grateful to the kind support of our 12 co-hosts and 4 sponsors to make this event affordable for our participants.

Therefore, I would again like to express my sincerest gratitude to all of you for your contribution and participation at this important scientific event from December 1–4, 2020 both on-line and on-site in Nongnooch Pattaya Garden and Resort, THAILAND.

Sincerely yours

Prof. Dr. Rattikorn Yimnirun

Chairman of AcerS Thailand-Chapter and Chairman of The Organizing Committee



Conference Highlights





SMART MAT
@2020
Conference Highlights



1. AcerS-Thailand Chapter annual meeting
2. IEEE-Magnetics Thailand Chapter annual meeting





Co-Host



We would like to thank our co-host for contributing funds and services to SMARTMAT@2020. These contributions allow us to keep registration fees as low as possible.

THANK YOU!



Sponsors and Partners



We would like to thank our sponsors and partners for contributing funds and services to SMARTMAT@2020. These contributions allow us to keep registration fees as low as possible.

THANK YOU!



[Home](#)

[About SmartMat@2020+](#)

[Registration & Submission](#)

[Programs](#)

[Journals & Proceedings Publications](#)

[Accommodation](#)

[Contact Us](#)

Committee

GENERAL CHAIRMAN

Prof. Dr. Ratkorn Yimnirun
Chairman of ACeS Thailand Chapter
Vidyasirimahala Institute of Science and Technology (VISTEC), Thailand

INTERNATIONAL ADVISORY BOARD (Partial List)

1. Prof. Dr. Takashi Ohji
President, The American Ceramic Society (ACeS)
Fellow, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan
2. Dr. Daria Gosli
President-elect, The American Ceramic Society (ACeS)
Allied Mineral Products, Inc. USA
3. Prof. Dr. Amar S. Bhata
The University of Texas at San Antonio, USA
4. Mr. Mark Mackenroth
Executive Director, The American Ceramic Society (ACeS)
5. Prof. Dr. Yoshiyuki Kawakaze
Tohoku University, JAPAN
6. Prof. Hiroyuki Odagawa
National Institute of Technology, Kumamoto College, Japan
7. Dr. Sang-Goo Lee
IBULE Photonics, Korea
8. Prof. Dr. Kang Uchino, Penn State University, USA
Prof. Dr. Hyungwon Kim, Inha University, Korea
(Immediate Past President of K-IRIS)
9. Prof. Dr. Wookwang Jung, Kookmin University, Korea
(President of K-IRIS)
10. Prof. Dr. Takashi Goto,
Tohoku University, Japan
11. Prof. Dr. Samit Misra,
President of MRS-Thailand, Thailand
12. Prof. Dr. Roy Chalmers,
University of York, UK
13. Dr. Robert Lamberton,
Seajala technology
14. Prof. Dr. Takeshi Yanagida,
The University of Tokyo, Japan
15. Prof. Dr. Gang Meng,
Chinese Academy of Sciences, China
16. Prof. Dr. Ahmad Safari,
Rutgers University, USA
17. Prof. Dr. Xiaoli Tan,
Iowa State University, USA
18. Dr. Marco Deluca,
Materials Center Leibniz-Forschung GmbH (MCL)
19. Prof. Dr. Dea Yong Jeong,
Inha University, KOREA
20. Prof. Dr. Jürgen Rödel,
Technische Universität Darmstadt, Germany
21. Dr. Yao Kai,
IMRE Singapore
22. Prof. Dr. Steven Tidrow,
Alfred University, USA
23. Dr. Yao Kai, IMRE Singapore
24. Prof. Dr. Steven Tidrow,



EXECUTIVE ADVISORY COMMITTEE

1. Prof. Dr. Jiraporn Limtrakul
President of Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology (VISTEC), THAILAND
2. Prof. Dr. Pramoch Rangsunvigit
Director of the Center of Excellence on Petrochemical and Materials Technology, Chulalongkorn University, THAILAND
3. Prof. Dr. Sukit Limsupumpong
Director of The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST), THAILAND
4. Prof. Dr. Tamee Tunkasiri
Chang Mai University, THAILAND
5. Prof. Dr. Pichat Limkuan
King Mongkut's University of Technology Thonburi, THAILAND
6. Assoc. Prof. Dr. Saroj Ruprasert
Director, Synchrotron Light Research Institute (Public Organization), THAILAND
7. Dr. Wanee Chirakul
Executive Director of National Nanotechnology Center (NNOTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), THAILAND
8. Dr. Juthas Kapornayakul, Executive Director of National Metal and Materials Technology Center (MTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), THAILAND
9. Dr. Sannuk Srisornthom
National Metal and Materials Technology Center (MTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), THAILAND
10. Asst. Prof. Dr. Somjai Phua-As
President of Rajabhatgda University of Technology Thanyaburi (KMITG), THAILAND
11. Assoc. Prof. Dr. Pann Charvathangkul
Dean of Faculty of Science, Srinakharinwirot University, THAILAND
12. Mr. Roong Sivasatna
Senior Industrial Advisor at The College of Advanced Manufacturing Innovation (AMI), KMITL
13. Dr. Robert Lambert
Senior Engineering director Seagate technology
14. Assoc. Prof. Dr. Sumrit Meebung
Dean of Faculty of Science, Narasara University, THAILAND
15. Assoc. Prof. Dr. Chayan Boonyasri
Dean of Faculty of Science, University of Phayao

ORGANIZING COMMITTEE (Partial List)

1. Prof. Dr. Ratikorn Yimmanit VISTEC
2. Prof. Dr. Naratip Vittayakorn KMITL
3. Assoc. Prof. Dr. Jitrapong Kaewkijjanon NRRU
4. Assoc. Prof. Dr. Hathakorn Manopong CU
5. Asst. Prof. Dr. Sirithan Jiamanick CU
6. Asst. Prof. Dr. Thanapong Sarsen RMUTP
7. Dr. Natthapong Wongdamern RMUEB

LOCAL ORGANIZING COMMITTEE (Tentative List)

1. Prof. Dr. Ratikorn Yimnirun; VISTEC
2. Prof. Dr. Naratip Vitayakorn; KMITL
3. Assoc. Prof. Dr. Jakrapong Kaewkhao; NPRU
4. Assoc. Prof. Dr. Tosawat Seetawan; SNRU
5. Assoc. Prof. Dr. Anon Chaipranich; CMU
6. Assoc. Prof. Dr. Anucha Watcharapaorn; CMU
7. Assoc. Prof. Dr. Wianu Pecharapa; KMITL
8. Assoc. Prof. Dr. Hathaikam Manuapiya; CU
9. Assoc. Prof. Dr. Sukanda Jansirisomboon; SUT
10. Assoc. Prof. Dr. Oratai Jongprateep; KU
11. Assoc. Prof. Dr. Narong Sangwanantee; SSRU
12. Assoc. Prof. Dr. Anurak Prasathetragarn; UP
13. Assoc. Prof. Dr. Tawat Suriwong; NU
14. Assoc. Prof. Dr. Sirinan Jemsintars; CU
15. Assoc. Prof. Dr. Anurak Prasathetragarn; UP
16. Assoc. Prof. Dr. Theerachai Bongkarn; NU
17. Assoc. Prof. Dr. Phanwadee Churemart; MSU
18. Assoc. Prof. Dr. Nathapong Phinichka; SWU
19. Asst. Prof. Dr. Winita Panyodom; CMU
20. Asst. Prof. Dr. Jessada Churemart; MSU
21. Asst. Prof. Dr. Muangjai Unruan; RMUTI
22. Asst. Prof. Dr. Sasipoln Prasertpalicha; NU
23. Asst. Prof. Dr. Sukasem Watcharamaikul; SUT
24. Asst. Prof. Dr. Dujsutai Pengkao Kashima; CU
25. Asst. Prof. Dr. Thanapong Sarean; RMUTP
26. Asst. Prof. Dr. Pomsuda Bomai; PSU
27. Asst. Prof. Dr. Sorapong Pavesupree; RMUTT
28. Asst. Prof. Dr. Anocha Munkadee; SWU
29. Asst. Prof. Dr. Akarin Boonsombuth; SWU
30. Asst. Prof. Dr. Panitan Wanakamol; SWU
31. Asst. Prof. Dr. Supittha Supansongro; SWU
32. Asst. Prof. Dr. Waraporn Piyawit; SUT
33. Asst. Prof. Dr. Chaiyasit Banjengprapai; CMU
34. Dr. Supinya Wongruksa; SWU
35. Dr. Phakkhanan Pakawanit; SLRI
36. Dr. Nait Triannak; SU
37. Dr. Duangduen Atong; MTEC
38. Dr. Pitak Laoratanakul; MTEC
39. Dr. Saichon Sriphan; KMUTT
40. Dr. Nathapong Wonglannern; RMUSB
41. Dr. Pait Kidkhunthod; SLRI
42. Dr. Thirint Charoonsak; SWU
43. Dr. Satana Pongampai; KMITL
44. Dr. Mail Horprathum; NECTEC
45. Dr. Sukrit Sucharitakul; CMU
46. Dr. Reungruthai Sirrak; UP
47. Dr. Arak Kintumrung; UP
48. Dr. Chakkaphan Wattanawikkam; RMUTT
49. Dr. Atpong Boosahanont; RMUTT
50. Dr. Sukunthakan Ngambamrung; MTEC
51. Dr. Supagorn Rugmai; SLRI
52. Dr. Narong Chanlek; SLRI
53. Dr. Jaru Julimosak; NU
54. Dr. Noppadon Nuntawong; NECTEC
55. Dr. Asmar Sathukarn; NECTEC
56. Dr. Tassaporn Lertvanthiphol; NECTEC





[Home](#)

[About SmartMat@2020 +](#)

[Registration & Submission +](#)

[Programs +](#)

[Journals & Proceedings Publications](#)

[Accommodation +](#)

[Contact Us](#)

ACADEMIC COMMITTEE: (Partial List)

1. Prof. Dr. Rattikorn Yimnirun VISTEC
2. Prof. Dr. Naratip Vittayakorn KMITL
3. Assoc. Prof. Dr. Jakrapong Kaewkhao NPRU
4. Assoc. Prof. Dr. Anucha Watcharapasorn CMU
5. Assoc. Prof. Dr. Wisanu Paoharapa KMITL
6. Assoc. Prof. Dr. Hathakarn Manuapiya CU
7. Dr. Taras Kotodiaznyy Huawei Technologies Japan
8. Prof. Dr. Deayong Jeong, Inha University, Korea
9. Prof. Dr. Sun Kon Lee, Inha University, Korea
10. Prof. Dr. Jungho Ryu, Yeungnam University, Korea
11. Dr. Adisorn Tuantranont, NSD-NSTDA, Thailand
12. Dr. Robert Lamberton, Seagate technology
13. Prof. Dr. Roy Chantrell, University of York, UK
14. Assoc. Prof. Dr. Kazuki Nagashima, The University of Tokyo, Japan
15. Prof. Dr. Gang Meng Chinese Academy of Sciences, China
16. Prof. Dr. Ahmad Safari, Rutgers University, USA
17. Prof. Dr. Xiaoli Tan, Iowa State University, USA
18. Prof. Dr. Wook Jo, Ulsan National Institute of Science and Technology, KOREA
19. Prof. Dr. Hajime Nagata, TOKYO UNIVERSITY of SCIENCE, JAPAN

CONFERENCE SECRETARIAT:

1. Asst. Prof. Dr. Thanapong Sareein
2. Dr. Narit Triamnak
3. Dr. Natthapong Wongdamnern

Email: smatmat.thailand@gmail.com



Chair and Co-Chair of SmartMat@2020

1. Advanced Functional, Optical and Energy Materials

- o Chair: Prof. Dr. Naratip Vittayakorn KMITL
- o Co-chair: Assoc. Prof. Dr. Anucha Wattcharapaxom CMU
- o Co-chair: Dr. Thitirat Charonsak SWU
- o Co-chair: Dr. Noppadon Nuntawong, NECTEC

2. Nanomaterials, Catalyst, Surface Science and Thin Film Technology

- o Chair: Assoc. Prof. Dr. Wisanu Pecharapa KMITL
- o Co-chair: Assoc. Prof. Dr. Tosawat Seetawan SNRU
- o Co-chair: Assoc. Prof. Dr. Anurak Prasathiratham
- o Co-chair: Dr. Mali Horpiathum NECTEC

3. Ceramic and Glass Technology

- o Chair: Assoc. Prof. Dr. Jakrapong Kaewkhae NFRU
- o Co-Chair: Assoc. Prof. Dr. Sirithan Jamsinlers CU
- o Co-Chair: Asst. Prof. Dr. Sukazem Wacharamabakul SUT
- o Co-Chair: Asst. Prof. Dr. Dujsantal Pongkao Kashima CU

4. Applied Polymer materials and Biomaterials

- o Chair: Prof. Dr. Pramoch Rangsunvigit, CU
- o Co-Chair: Dr. Natt Triannak SU
- o Co-Chair: Dr. Duangduan Atong MTEC
- o Co-Chair: Asst. Prof. Dr. Supakij Sutruevongwong SU

5. Metal, Alloy, Materials Processing and Corrosion

- o Chair: Assoc. Prof. Dr. Sukanda Jansrisomboon SUT
- o Co-Chair: Assoc. Prof. Dr. Oratai Jongratap KU
- o Co-Chair: Asst. Prof. Dr. Thanapong Sareein

6. Advanced Composites and Construction Materials

- o Chair: Assoc. Prof. Dr. Arnon Chaipanich CMU
- o Co-Chair: Dr. Pitak Laoratanakul MTEC
- o Co-Chair: Assoc. Prof. Dr. Mathakam Vanustriya CU

7. Condensed Matter and Computational Materials Science

- o Chair: Prof. Dr. Sukt Limpitnong, PPT
- o Co-chair: Assoc. Prof. Dr. Narong Sangwongkiet, SRU
- o Co-chair: Assoc. Prof. Dr. Phanwadee Chaisriwan, MSU
- o Co-chair: Asst. Prof. Dr. Jessada Chuanmanee, MSU

8. Instrumentation and Advanced Materials Characterization

- o Chair: Dr. Supagorn Ragnai SLRI
- o Co-Chair: Dr. Natthapong Wongtanhai, KMUTT
- o Co-Chair: Dr. Pinit Kikhunthod SLRI



No.	Abstract Code	Abstract Title	page
304	S4_O21	Natural absorbent for oil spills: modified coffee grounds treated with peroxidation and isolates from kefir culture	358
305	S4_O22	Fabrication of pH-responsive smart hydrogels for controlled release system	359
306	S4_O24	PLGA Electrospun nanofibrous scaffolds embedded with PLAV/SSV crosslinked-microgels for skin tissue regeneration	360
307	S4_O25	Effect of fiber type, fiber content, and annealing time on heat deflection temperature and tensile properties of PLA-based biocomposites	361
308	S4_O26	Batch crystallinity calculation for polymer materials from synchrotron WAXS pattern via SAXSIT software	362
309	S4_O27	Core-shell electrospun nanofiber of PVA/SS - PLGA scaffolds for tissue engineering applications	363
310	S4_O28	Design and development of functional sulfonate based macromers for biomedical applications	364
311	S4_O29	The effect of stereo-regularity of PLA on ternary blend PBSA/PBS/PLA films	365
312	S4_O30	The development of rubber foam formula using as oil absorber material	366
313	S4_O31	Factors effecting the formation polymerization droplets in a novel porous hydrogel system	367
314	S4_O32	Comparison the properties of edible bird's nest from different pretreatment conditions using optical coherence tomography (OCT) method	368
315	S4_O33	Influence of injection process parameters on mechanical properties of isotactic polypropylene; a design of experiments approach.	369
316	S4_O34	A melt jet spinning process of poly(butylene succinate) for air conditioner filter	370
317	S4_O37	3D printed materials for creating channels of soft-robotics	371
318	S4_O38	Investigation of mechanical properties of 3D-printed pla plastic parts by fused deposition modeling process	372
319	S4_O39	Adsorption Mechanism of Metal Ions on Modified Waste Textile	373
320	S4_O40	Alteration of crystallinity and thermal properties from incompatibility between ibuprofen and boundary lubricants	374
321	S4_O41	Natural resin-based solvent exchange induced in-situ forming gel for vancomycin HCl delivery to periodontal pocket	375
322	S4_O42	X-ray tomographic microscopy beamline at siam photon laboratory: a new facility dedicated to 3D visualization of polymers & biomaterials	376
323	S4_O44	Physical properties and bioactivity of clove oil-incorporated solvent exchange-induced in situ forming gel	377
324	S4_O45	Curcumin- β -cyclodextrin inclusion complex-loaded alginate and chitosan double-layered hydrogel for wound dressing application	378



A MELT JET SPINNING PROCESS OF POLY(BUTYLENE SUCCINATE) FOR AIR CONDITIONER FILTER

Tanadech Chinsard¹, Werapom Pivsa-Art², Sommai Pivsa-Art^{1,2}

¹ Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand.

² Department of Chemical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand.

*E-mail: sommai.p@en.rmutt.ac.th

Abstract

Air filter is one of the important part in air conditioner. The air filter is usually made from non-woven fibers of poly(ethylene terephthalate) (PET) or polypropylene (PP) produced by a melt spinning process. According to huge amount of air filter consumption, wastes of the non-woven create serious environmental problems. In this research we studied the utilization of biodegradable polymer to produce the non-woven fabric. Furthermore, the application of a melt jet spinning process to produce the reduced the fiber diameter. It was found that die temperature had effect to the fiber size and non-woven property. The biodegradable polymer, poly(butylene succinate) (PBS) was processed using a melt jet spinning method with nozzle temperature of 250, 260, 270 and 280 °C. The air pressure at the die was controlled for 0.3 and 0.5 MPa and Collector distance of 30, 60, 90, and 120 cm. The non-woven samples were subjected to tensile strength, thickness, density and fiber diameter. The morphology was analyzed using optical microscope (OM). The fiber size was found to reduce with increasing the process temperature and air pressure. The air permeability test for air filter application was investigated.

Keyword: Poly(butylene succinate)(PBS), Non-woven fibers, Air filter.

Introduction

Air filters have a very high usage in air conditioners. The polymers used for air filters are polypropylene (PP) or poly(ethylene terephthalate) (PET). These polymers are petroleum-based and non-degradable. According to the lifetime of air filter utilization is not more than 3 months, it is discarded as a non-recyclable plastic waste. The treatment of disposed air filters can be landfill or incineration, which causes significant pollution to the environment. In addition, Thailand is the fifth largest in the world dispose plastic waste into the sea. It has been reported that more than 1 million tons of plastic dumped into the sea per year [8]. These wastes generate microplastic [9]. Therefore, it is necessary to develop the new materials not harmful to the environment. Biodegradable polymers are alternative materials to overcome the problems of pollution and global warming caused by conventional plastic wastes. Biodegradable polymers used must have good physical and mechanical properties and can be properly molded into products. When the polymer products become waste, they can be decomposed under suitable conditions and not toxic to the environment. The biodegradable polymers that have been continuously studied include poly(lactic acid) (PLA), poly(hydroxyalkanoate), (PHAs) poly(butylene succinate) (PBS), and polycaprolactone (PCL).

Poly(butylene succinate) (PBS) is a biodegradable polymer having a crystalline melting temperature of around 90-120°C (similar to LDPE), glass transition temperature at -45 to -10 °C (between PE and PP). PBS has a tensile strength similar to that of PE and PP. PBS has good

moldability, such as an extrusion process, blowing, etc., and can be molded into a variety of products such as mulch film, packaging film, bags and hygiene products [1]. The studies on various fibers, including glass fibers, carbon fibers which their wastes caused problems to the environment have been reported [2]. Therefore, the utilization of renewable natural fibers that are environmentally friendly to replace the conventional non-degradable petroleum-based fibers will help to reduce the number of synthetic fibers and solve environmental problems. The natural fibers have advantages of cheap price, light weight, good mechanical properties [3-6].

The nonwoven fibers produced using a melt jet spinning process has many advantages, including the raw materials used in the form of solvents, commercial grade plastic beads can be used to mold. The process is suitable for industrial production. The polymer pellets are melted and pushed into the nozzle with a single screw extruder. No high voltage potential is required to generate static electricity. The productivity of this process is high which is suitable for industrial production [7].

In this research, we studied the production of nonwoven from PBS using a melt jet spinning process. The most suitable condition of the spinning process was investigation. The biodegradable product, formed in a nonwoven fiber sheet, was molded into an air filter product. The physical and mechanical properties of the prepared nonwoven fiber sheet products were analyzed.

Experimental

Material

PBS grade FZ71PM supplied by Sumitomo Chemical Ltd. Japan. Melt flow rate of PBS is 22 g/10 min.

Fiber preparation

PBS nonwoven fiber is formed using a melt jet spinning process (SR-RUDER BAMB1, SRV-N-28, Nihon Yuki Co., Ltd., Japan). The nozzle temperature was varied for 250, 260, 270 and 280°C, air pressure 0.3 and 0.5 MPa, Collector distance was 30, 60, 90 and 120 cm. The duration of the collection is 5 cycles per sample.

Characterization

Weight of PBS nonwoven fabric was measured with 1x1 cm. for 20 pieces (g/cm²). The thickness of nonwoven fabric was measured using a thickness gauge (Telclock Dial thickness gauge SM 112P). The sample was cut in size 1x1 cm. for 20pieces.

The morphology of PBS fiber was observed by optical microscopy (OM) (Olympus Microscope, CX41) prepared from nonwoven fabric cut into 1x1 cm and beamed at 10 times magnification. The fiber diameter was examined with OM images and the fiber size was measured using an Image J program.

Mechanical properties were analyzed by tensile strength test is performed ASTM D3822-01 (8) by cutting specimens of 1 cm. width and 6 cm. in length for 10 samples, and then testing the tensile strength with a tensile testing machine. Pull (INSTRON model 5569) grips the workpiece with the workpiece clip so the workpiece has a length of 25 mm at a pull speed of 50 mm per minute.

Air permeability test was conducted by cutting the sample size of 20x20 cm. The test conditions were; measuring rang of 8, test area of 38 cm², and test pressure of 196 Pa.

Results and discussion

Effect of nozzle temperature

The effect of die temperature on physical property of PBS is shown in Figure 1(a) and (b). The fiber produced using air pressure of 0.5 MPa, collector distance 60 cm, die cm. The die temperature was 250-280 °C. The density, thickness and weight of PBS nonwoven air filter increased with increasing the die temperature. Viscosity of polymer decreased when the temperature increased [11]. At the die temperature of 280 °C, highest weight and thickness were observed compared with the commercial air filter (3M) as shown in Figure 1.

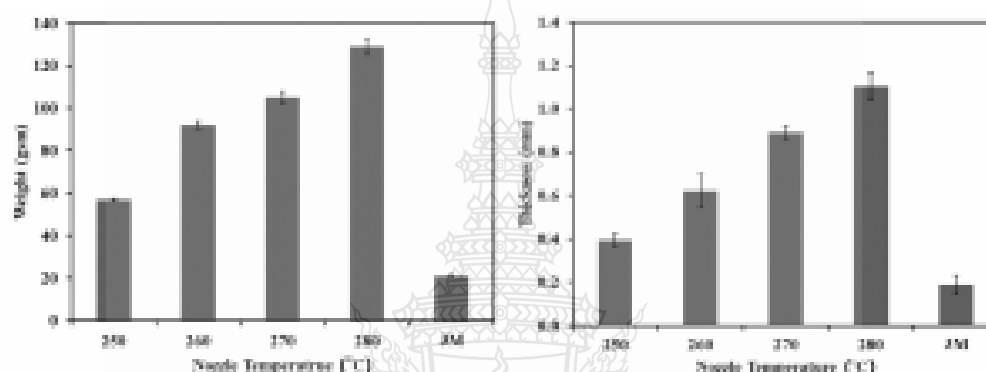


Figure 1. Weight and thickness of PBS nonwoven fiber (nozzle temperature 250, 260, 270, 280 °C and air pressure 0.5 MPa, collector distance 60 cm) (a) weight, (b) thickness

Table 1. Density of PBS and 3M Filter

Nozzle Temp (°C)	Density (g/cm ³)
250	0.150
260	0.158
270	0.166
280	0.172
3M	0.112

Density of nonwoven fabric increases with increasing nozzle temperature. At 250 and 260°C the polymer flow rate was low due to high viscosity. Increased the nozzle temperature to 270 and 280 °C the melt of polymer increased which assisted the polymer flowability and resulted in low distribution of fiber size [5]. The thickness of the nonwoven fabric is therefore increased higher than the commercial (3M).

The morphology of the nonwoven PBS fabric produced at different nozzle temperature was studied using an optical microscope (OM). At nozzle temperature 250 and 260 °C, the fiber size was in the range of 4-7 μm (Fig. 2 (a), (b), (f), (g)). The fiber size distribution was higher with increased nozzle temperature to 270 and 280 °C (Fig. 2 (c), (d), (h), (i)). Ellison *et al.* reported that the fiber diameter reduced with increasing process temperature in the melt spinning process [11]. The fiber sizes and size distribution of melt jet spinning process were smaller than the commercial nonwoven fiber (3M, fiber size 4-14 μm) (Fig. 2(j)).

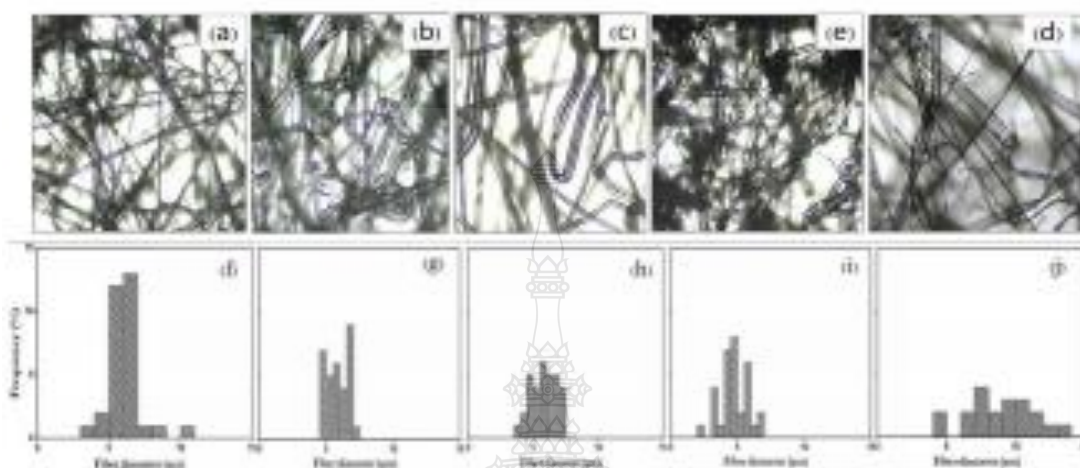


Figure 2. Morphology and distribution of PBS fibers at nozzle temperature (a) 250 °C, (b) 260 °C, (c) 270 °C, (d) 280 °C with collector distance 60 cm, air pressure 0.5 MPa, (e) 3M.

Effect of Air Pressure

Figure 3 depicts the effect of air pressure on weight and thickness of the PBS nonwoven fabric at nozzle temperature 260 °C. Increased the air pressure from 0.3 to 0.5 MPa, weight of the fabric increased while the thickness decreased due to high pressure pushed the fiber to be more compact to the collector.

Polymer blown with low pressure 0.3 MPa permits the less superposed and high dispersed. When the pressure increases to 0.5 MPa, the fiber is found large overlap and low distribution. The density increases with the air pressure compared with the commercial fabric (3M).

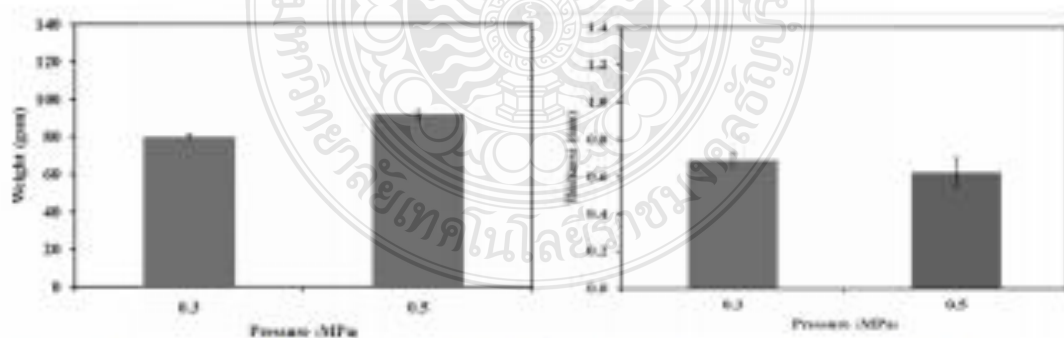


Figure 3. Effect of air pressure on weight and thickness of PBS nonwoven fiber; (a) weight, (b) thickness (air pressure 0.3 and 0.5 MPa, nozzle temperature 260 °C, collector distance 60 cm)

Table 2. Density of PBS and 3M Filter

Air Pressure (MPa)	Density (g/cm ³)
0.3	0.132
0.5	0.158
3M	0.112

The morphology analysis by optical microscopy (OM) indicates results from variable pressure. As show in the Figure 4 (a), (c) for air pressure 0.3 MPa, the PBS fiber size is 4-9 μm . For air pressure 0.5 MPa the fiber size is 4-7 μm (Figure 4 (b), (d)). High pressure reduces the fiber size and fiber distribution that make the polymer outlet is more closely and overlap.

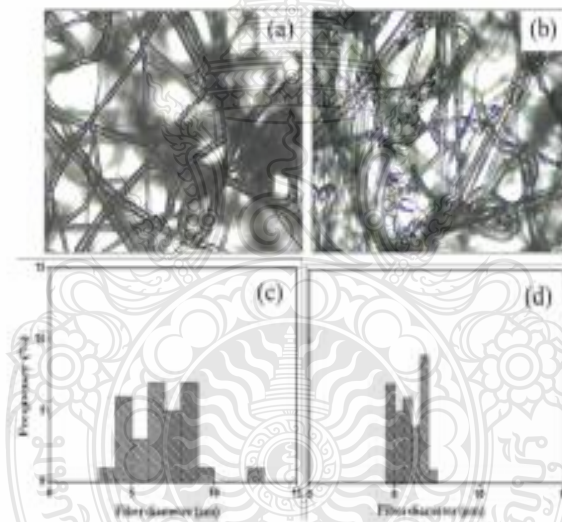


Figure 4 Effect of air pressure on OM photos (a) and distribution of PE (b) ir pressure (a)0.3 MPa and (b)0.5 MPa nozzle temperature 260 °C collector distance 60 cm

Effect of Collector Distance

Figure 5 (a), (b) shows the results of weight and of thickness of PBS at various collector distances (30, 60, 90, and 120 cm). The samples were processed at air pressure of 0.5 MPa and at the nozzle temperature of 260 °C. The weights of nonwoven fibers are independent of the collector distance. But the thickness increase lightly with the long collector distance that also define as high distribution of fiber and low overlap of fibers.

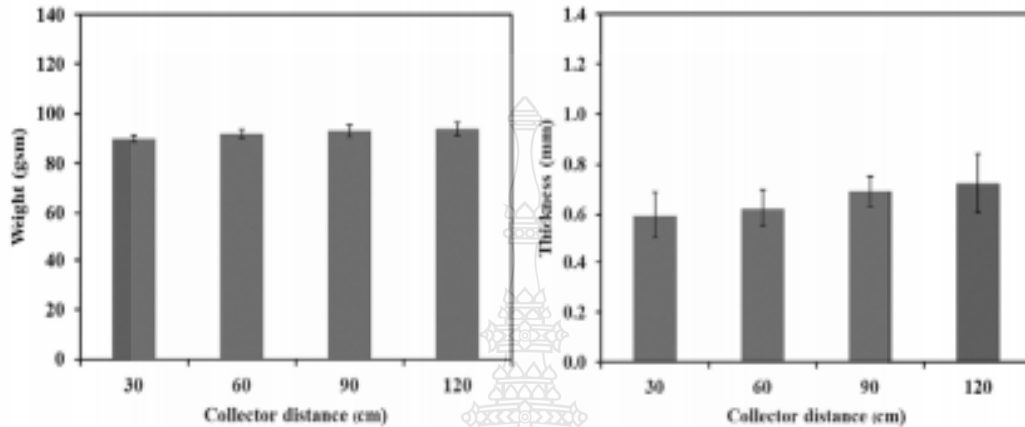


Figure 5. The weight and thickness of PBS nonwoven fiber collector distance 30, 60, 90 and 120 cm air pressure 0.5 MPa nozzle temperature 260 °C ;(a) weight, (b) thickness

Table 3. Density of PBS and 3M Filter

Collector Distance (cm)	Density (g/cm ³)
30	0.162
60	0.158
90	0.147
120	0.143
3M	0.112

At 30 and 60 cm of collector distance, the fiber is observed as messy and a lot of overlap. This low distribution results in high density of PBS fiber. When the collector distance raised to 90 and 120 cm, the results of density refer to wide distribution and to low overlap. As shown in Table 1, the commercial product has lower density than the melt jet spinning fibers.

The morphology of fibers produced from different collector distance analyzed by optical microscope (OM) is shown in Figure 6. Figure 6 (a), (b) present the distribution of fiber size from 4 to 8 μm for the collector distance of 30 to 60 cm. The space of fiber overlap is smaller than which 90 to 120 cm. In this collector distance, the fiber size is 4-7 μm (Figure 6 (g), (h)).

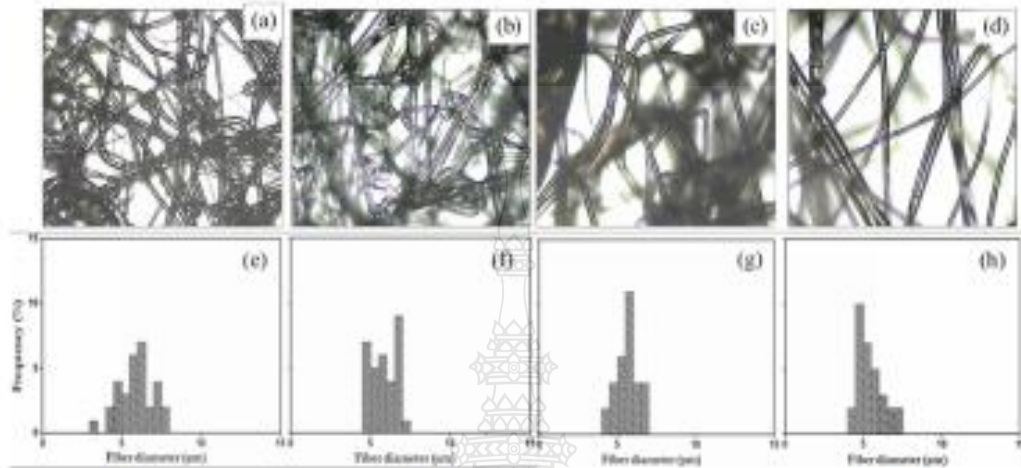


Figure 6. Effect of collector distance on OM photographs and distribution of PBS collector distance (a) 30 cm, (b) 60 cm, (c) 90 cm, and (d)120 cm air pressure 0.5 MPa nozzle temperature 260 °C

Figure 7 shows analysis of effect of collector distance on the tensile strength of fibers. tensile strength decreases respectively with the increasing of collector distance.

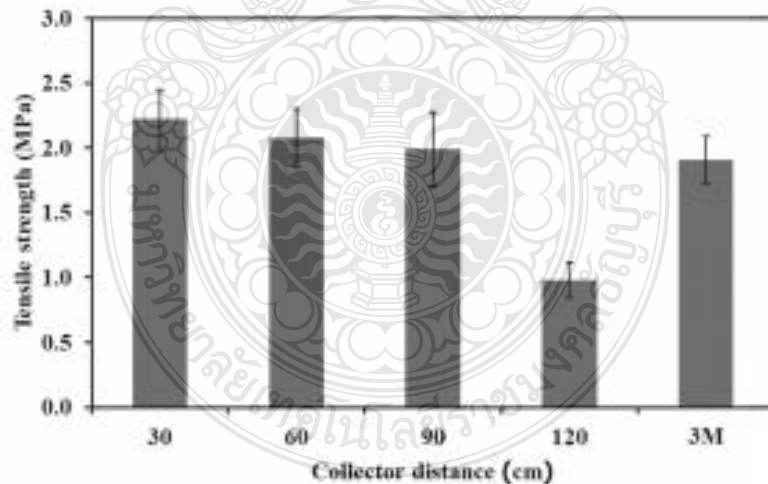


Figure 7. Effect of collector distance on tensile strength of PBS nonwoven fabric (a) 30 cm, (b) 60 cm, (c) 90 cm, and (d)120 cm (air pressure 0.5 MPa, nozzle temperature 260 °C)

Air flow rate test of non-woven fiber test at different collector distance show that the rate increase respectively with the fibers produced at high collector distance. Due to large scale of fiber at collector distance of 30 and 60 cm, it intercepts the air flow while at the collector distance of 90 and 120 cm the PBS fiber has low density, there are more space entering that facilitate air flow to pass the filter fiber. The commercial product shows less air flow rate due to its large fiber size.

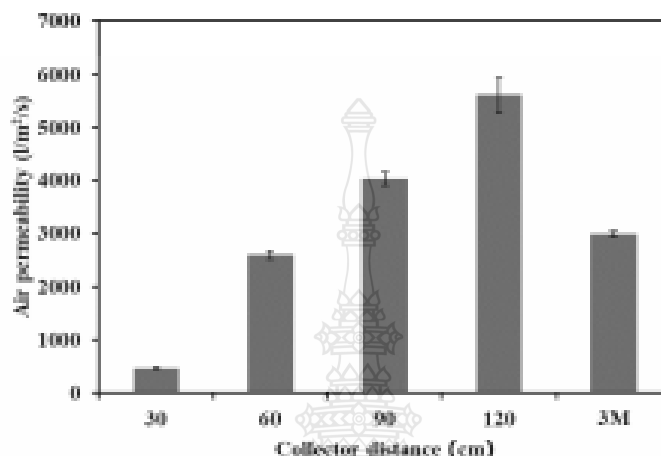


Figure 8. Effect of collector distance on air permeability of non-woven fabric of PBS collector (a)30 cm, (b)60 cm, (c)90 cm, and (d)120 cm air pressure 0.5 MPa nozzle temperature 260 °C

Conclusion

The biodegradable PBS nonwoven fabric was produced using a melt jet spinning process. The effect of process temperature, air pressure and collector distance on the property of nonwoven air filter were investigated. The process temperature studied was varied from 250, 260, 270 and 280 °C. The air pressure of 0.3 and 0.5, with screw speed of 9 rpm and collector distance 30, 60, 90 and 120 cm. Standard weight, thickness, density, fiber size and distribution, fiber arrangement, tensile property and air permeability of the PBS nonwoven fabric were studied. Increased in process temperature, air pressure and collecting distance resulted in reduced in fiber size distribution. Increased in collecting distance, and process temperature, the overlap of fibers reduced, while increased in air pressure resulted in small fiber size. The PBS nonwoven fabric could be applied to produce the air filter compared with the commercial fabric.

References

- [1] H. Zhou, T. B. Green, Y.L. Joo. The thermal effects on electrospinning of polylactic acid melts. *Polymer*, 47 (2006) 7497-7505.
- [2] N. Ogata, S. Yamaguchi, N. Shimada, G. Lu, T. Iwata, K. Nakane, T. Ogihara. Poly(lactide) nanofibers produced by a melt-electrospinning system with a laser melting device. *Appl. Polym. Sci.* 104 (2007) 1640-1645.
- [3] M.R. Badrossamay, H.A. Mellwee, J.A. Goss, K.K. Parker. Nanofiber assembly by rotary jet-spinning. *Nano Lett.* 10 (2010) 2257-2261.
- [4] R. Wongpajan, S. Thumsorn, H. Inoya, M. Okoshi, H Hamada. Preparation of poly(lactic acid) nanofiber by cotton candy method. *Proceedings of the Asian Workshop on Polymer Processing Annual Conference (AWPP 2015)*. December 1-4, (2015), Singapore.
- [5] B. Ovalle-Magallanes, D. Eugenio-Pérez, J. Pedraza-Chaverri. Medicinal properties of mangosteen *Garcinia mangostana*. *Food Chem. Toxic.* 46 (2008) 3227-3239.
- [6] J.S. Negi, V.K. Bisht, P. Singh, M.S.M. Rawat, G.P. Joshi. *J. Appl. Chem.* 157 (2013) 2013.

- [7] I. See, G.C.L. Ee, S.S.Teh, A.A. Kadir, S. Daud. Two new chemical constituents from the stem bark of *Garcinia mangostana*. *Molecules* 19 (2014) 7308–7316.
- [8] <https://www.greenpeace.org/thailand/story/2225/plastic-sea-th/> (30 April 2563)
- [9] <https://www.tistr.or.th/tistrblog/?p=4707> (30 April 2563)
- [10] R. B. Randall, W.C. Ko, *Int. Nonwovens J.*, 12 (2003) 21.
- [11] C. J. Ellison, A. Phatak, D. W. Giles, C. W. Macosko, and F. S. Bates, *Polymer*, 48 (2007) 3306.
- [12] Y. Lee and L. C. Wadsworth, *Polym. Eng. Sci.*, 30 (1990) 1413.
- [13] K. Watanabe, B.-S. Kim, and I.-S. Kim, *Polym. Rev.*, 51 (2011) 288.
- [14] 2. Y. Lee and L. C. Wadsworth, *Polymer*, 33 (1992) 1200.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายธนาเดช ชินสะอาด
วัน-เดือน-ปี ที่อยู่	วันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ.2537 25/9 หมู่ 8 ตำบลคลองขวาง อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี รหัสไปรษณีย์ 11150
การศึกษา	ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ พ.ศ.2560
ประสบการณ์การทำงาน	บริษัท พอลิเมอร์อินโนเวชั่น จำกัด (4 เดือน)
เบอร์โทรศัพท์	086-6273729
E-mail	Tanadech.chi@gmail.com

