



## รายงานวิจัย

### เรื่อง

การศึกษาเพื่อเตรียมเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ไม่ชอบน้ำสำหรับการผลิตผ้ากันน้ำ  
ที่ระบายอากาศได้

**A study to prepare hydrophobic polypropylene fiber for the production of  
waterproof and breathable fabric**

### คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร.สมนึก สังข์หนู	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.สมประสงค์ ภาษาประเทศ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สนับสนุนทุนวิจัยโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีงบประมาณ 2555

## รายงานวิจัย

### เรื่อง

การศึกษาเพื่อเตรียมเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ไม่ชอบน้ำสำหรับการผลิตผ้ากันน้ำ  
ที่ระบายอากาศได้

**A study to prepare hydrophobic polypropylene fiber for the production of  
waterproof and breathable fabric**

### คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร.สมนึก สังข์หนู

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รศ.ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ผศ.ดร.สมประสงค์ ภาษาประเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สนับสนุนทุนวิจัยโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อเตรียมเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ไม่ชอบน้ำสำหรับการผลิตผ้ากันน้ำที่ระบายอากาศได้ แบ่งการดำเนินงานเป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 เป็นศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณซิลิกา และการดึงยืดฟิล์มต่อลักษณะของพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อประเมินลักษณะทางสัญญาณวิทยาของพื้นผิวและผลของความสามารถในการเปียกของฟิล์มพอลิพรอพิลีน (PP) และ ฟิล์มคอมพอลิตพอลิพรอพิลีน-ซิลิกา (PP-Si) ในส่วนที่ 2 ศึกษาการปรับผิวด้วยเทคนิคโคโรนาของฟิล์มคอมพอลิตเพื่อเพิ่มความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวฟิล์ม ด้วยการประเมินลักษณะของพื้นผิวและผลของความสามารถในการเปียกของฟิล์มพอลิพรอพิลีน และ ฟิล์มคอมพอลิตพอลิพรอพิลีน-ซิลิกาที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับผิว ในส่วนที่ 3 เป็นการนำวัสดุคอมพอลิตพอลิพรอพิลีน-ซิลิกามาเตรียมเพื่อเป็นเส้นใยและผืนผ้า เพื่อดูค่ามุมสัมผัสของน้ำ

จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซิลิกาพบว่าระดับของความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวฟิล์มคอมพอลิต PP-Si มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในปริมาณ 30% (Stretched PP30Si) จะมีค่าความขรุขระของพื้นผิวสูงที่สุด และมีค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวสูงที่สุด คือ  $104 \pm 4^\circ$  ผลของการปรับผิวพบว่า ฟิล์ม PP และ PP30Si ที่ทำการเคลือบด้วยซิลิกา โดยไม่ผ่านกระบวนการปรับผิวด้วย corona treatment จะมีลักษณะการยึดเกาะระหว่างชั้นเคลือบกับพื้นผิวไม่ดีนัก แต่หลังจากปรับผิวแล้วทำให้ฟิล์มมีผิวขรุขระ มีการยึดติดของซิลิกาที่ดีและซิลิกากระจายตัวสม่ำเสมอมากกว่า นอกจากนั้นทำให้มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่าสูงขึ้น ผลของการเตรียมเส้นใยและผืนผ้าพบว่า ค่ามุมสัมผัสของผืนทอจากเส้นใย PP มีค่า  $97^\circ$  ผืนผ้าที่ได้จากการใช้เส้นใย PP15Si มีค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้นถึง  $117^\circ$  และ เมื่อมีการปรับสภาพพื้นผิวของผืนผ้าทอเส้นใย PP15Si โดยการเคลือบผิวด้วย MTES พบว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำกับพื้นผิวผ้าทอมีค่าสูงสุดถึง  $132^\circ$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผ้าทอที่ได้มีลักษณะไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมาก

จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่า งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาฟิล์มพอลิพรอพิลีนให้เป็นฟิล์มที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นจนเทียบเท่าได้กับการใช้สารฟลูออโรโรรีคาร์บอนที่มีราคาสูงเป็นตัวเคลือบ การปรับผิวมีผลให้ความขรุขระของพื้นผิวเพิ่มขึ้นและเพิ่มความไม่ชอบน้ำ ผ้าที่ทอจากเส้นใยคอมพอลิตพอลิพรอพิลีน-ซิลิกาช่วยเพิ่มความไม่ชอบน้ำของผ้ามากขึ้น

## Abstract

This work was a study to prepare hydrophobic polypropylene fiber for the production of waterproof and breathable fabric. Research works were separated into three steps. The first step was a study of the influence of silica content and the stretching of PP film on the surface characterization. The surface and water contact angle were determined. The second step was to evaluate the surface of the film that untreated and treated with corona technique. The third step was to determined water contact angle of fabric made from polypropylene-silica composite fiber.

It was found that with the silica content of 30% increased the hydrophobic and the roughness of the PP-Si film. The cohesion between layer and good distribution of silica on the film were obtained with the corona treatment. Also, this technique increased the water contact angle. The water contact angle of PP15Si fabric was higher than that of PP fabric. The PP15Si fabric with the surface treatment gave the water contact angle of  $132^{\circ}$ . This showed that the fabric had high hydrophobic property.

It can be said that this result can be brought to further develop the polypropylene film to have the hydrophobic property as high as the one that used the fluorocarbon for coating. A fabric made from polypropylene-silica composite can be developed for the waterproof and breathable fabric.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย  
ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล

สมนึก สังข์หนู

ทวิชัย อมรศักดิ์ชัย

สมประสงค์ ภาษาประเทศ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พอลิพรอพิลีน	3
2.2 ฟ้ายกน้ำ	4
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	9
3.1 วัสดุ	9
3.2 แผนภูมิของงาน	10
3.3 การทดลอง	13
3.4 Raman Mapping	14
3.5 การผลิตเส้นใยพอลิพรอพิลีนและเส้นใยคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน	14
บทที่ 4 ผลการทดลอง	16
4.1 ลักษณะทางสัญญาณวิทยาของพื้นผิวและผลของความสามารถในการเปียกของฟิล์มพอลิพรอพิลีน (PP) และ ฟิล์มคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน-ซิลิกา (PP-Si)	16
4.2 ลักษณะของพื้นผิวและผลของความสามารถในการเปียกของฟิล์มพอลิพรอพิลีน และ ฟิล์มคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน-ซิลิกาที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับผิว	21
4.3 การศึกษาลักษณะทางพื้นผิว และค่ามุมสัมผัสน้ำของพื้นผิวที่สกัดจากเส้นใย PP30Si ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย MTES	30

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	32
บรรณานุกรม	33

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติของพอลิพรอพิลีน	3
2.2	ตัวอย่างอัตราการหายใจสำหรับกิจกรรมต่างๆ	5
3.1	วัสดุที่ใช้ในการศึกษา	9
4.1	ค่าความขรุขระของพื้นผิวจากเทคนิค AFM	19

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะสัณฐานของพอลิพรอพิลีน	4
2.2	องค์ประกอบหลักของผ้าที่ระบายอากาศได้	5
2.3	ตัวอย่างการปรับพื้นผิวเส้นใยเซลลูโลสด้วยมอนอเมอร์ที่มีฟลูออรีน เป็นองค์ประกอบด้วยการใช้แสงยูวีเป็นตัวกระตุ้น	6
2.4	แบบจำลองของพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ	7
2.5	ขั้นตอนของการผลิตเส้นใยที่มีความพรุน และไม่ชอบน้ำ	8
3.1	แสดงลักษณะของเครื่องดึงเส้นใย	15
3.2	แสดงลักษณะของผ้าทอ	15
4.1	ภาพ SEM ตัวอย่างภาพถ่ายหยดน้ำ ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับ พื้นผิวของ PP, PP10Si, PP20Si และ PP30Si sheet (b, d และ f) และ stretched film (a, c, e และ g)	18
4.2	2D Mapping ของฟิล์มคอมพอสิต PP30Si ที่เกิดจากการสแกนที่ ความยาวคลื่น $470\text{ cm}^{-1}$ ในพื้นที่สแกนขนาด $10 \times 10\ \mu\text{m}$	20
4.3	ATR-FTIR spectra of PP30Si (a) และ PP (b)	21
4.4	ATR-FTIR spectra of PP (a) และ corona treated PP (b)	22
4.5	ATR-FTIR spectra of PP30Si (a) และ corona treated PP30Si (b)	23
4.6	ATR-FTIR spectra of PP (a), untreated PP-primer (b) และ untreated PP-primer-MTES (c)	24
4.7	ATR-FTIR spectra of corona treated PP (a), corona PP-primer (b) และ corona PP-primer-MTES (c)	24
4.8	ATR-FTIR spectra of PP30Si (a), untreated PP30Si-primer (b) and untreated PP30Si-primer-MTES (c)	25
4.9	ATR-FTIR spectra of corona treated PP30Si (a), corona PP30Si- primer (b) และ corona PP30Si-primer-MTES (c)	26
4.10	ภาพSEM ตัวอย่างหยดน้ำบนผิวฟิล์มและค่ามุมสัมผัสระหว่างหยด น้ำกับพื้นผิวของ PP series; a) Untreated PP, b) Untreated PP- Primer, c) Untreated PP-MTES, d) Corona PP, e) Corona PP- Primer, f) Corona PP-MTES	28

รูปที่		หน้า
4.11	ภาพ SEM ตัวอย่างหยดน้ำบนผิวฟิล์มและค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวของ PP30Si series; a) Untreated PP, b) Untreated PP-Primer, c) Untreated PP-MTES, d) Corona PP, e) Corona PP-Primer, f) Corona PP-MTES	29
4.12	ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวของผ้าทอ	31

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ผ้า หรือผ้าใบ ได้เข้ามามีบทบาทหลายๆ ด้านรอบๆ ตัวเรา เช่น เสื้อผ้า กระเป๋า ผ้าคลุม เต็นท์ รองเท้า ซึ่งในหลายๆ กรณี เราต้องการให้ผ้าในผลิตภัณฑ์ หรือการใช้งานนั้นๆ สามารถกันน้ำได้ เพื่อป้องกันสิ่งที่อยู่ภายใต้ผ้านั้นไม่ให้เปียก หรือเสียหาย (เช่น สิ่งของในกระเป๋า ในเต็นท์) แต่ในขณะเดียวกัน ก็ต้องยอมให้อากาศ หรือไอน้ำผ่านได้ เพื่อความสบายตัวในการสวมใส่ หรือ เพื่อระบายอากาศ (ในเต็นท์)

ผ้ากันน้ำสามารถเตรียมได้หลายวิธี เช่น การเคลือบด้วยยาง พอลิเมอร์ หรือสารบางชนิด เพื่อไม่ให้ น้ำซึมผ่านได้ รูปแบบที่ใช้เทคโนโลยีต่ำที่สุด อาจเป็นการเคลือบด้วยยาง หรือเรซิน ซึ่งจะทำให้รูพรุนใน โครงสร้างผ้าทั้งหมดถูกปิดด้วยวัสดุกันน้ำ ในกรณีนี้ ผ้าจะกันทั้งน้ำ และอากาศไม่ให้เคลื่อนที่ผ่านได้ หากนำผ้า ชนิดนี้ไปผลิตเสื้อกันฝน หรือรองเท้าน้ำ ก็จะทำให้เสื้อ หรือรองเท้าน้ำได้ แต่ผู้สวมใส่ก็จะมีอาการอึดอัด เนื่องจาก อากาศไม่ระบาย ดังนั้น จึงมีความต้องการผ้ากันน้ำที่ระบายอากาศได้สำหรับงานเหล่านี้ ซึ่งโดยปกติแล้ว ผ้า ประเภทนี้ สามารถผลิตได้จากเส้นใยที่มีความไม่ชอบน้ำ เช่น เส้นใยเทฟลอน หรือการใช้เทคโนโลยีพิเศษซึ่ง ค่อนข้างเฉพาะ และเป็นเทคโนโลยีขั้นสูง ไม่สามารถผลิตได้ในประเทศ

ในปัจจุบันได้มีความสนใจค่อนข้างมากในการผลิตวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ โดยใช้อนุภาคขนาดเล็กที่มีสมบัติไม่ ชอบน้ำ หรือใช้วิธีการปรับผิวของวัสดุ เพื่อเพิ่มความไม่ชอบน้ำ ซึ่งวิธีการนี้ได้มีการพิสูจน์ และทดสอบแล้วว่า สามารถเตรียมพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำได้ โดยการทำให้วัสดุมีพื้นผิวที่ขรุขระในระดับที่เหมาะสม จะด้วยการใช้ อนุภาคขนาดเล็ก หรือการเคลือบก็ได้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้สามารถทำได้ง่ายกว่าแบบเดิมมาก ดังนั้น หากสามารถ ประยุกต์หลักการดังกล่าวนี้ เพื่อทำให้ได้เส้นใยที่ไม่ชอบน้ำ และนำเส้นใยเหล่านี้ไปทอเป็นผืนผ้า (ให้มีโครงสร้าง ที่เหมาะสม) ก็จะได้ผ้ากันน้ำที่ระบายอากาศได้ ซึ่งหากสามารถผลิตผ้าประเภทนี้ได้ในต้นทุนที่ต่ำลง หรือลดการ นำเข้าสินค้าราคาแพงเหล่านี้ได้ ก็จะเป็นประโยชน์ต่อประเทศโดยรวมอย่างมาก

ได้มีการใช้อนุภาคซิลิกาขนาดนาโนในเส้นใยพอลิพรอพิลีน และพอลิเอสเตอร์ [1-3] แต่ก็เป็นการใช้เพื่อ ควบคุมอัตราการตกผลึก แต่ยังไม่มีการประเมินพฤติกรรมการเปียกน้ำ หรือใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติการเปียกน้ำ ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงเสนอที่จะศึกษาการเตรียมเส้นใยไม่ชอบน้ำจากคอมพอลิโทพอลิพรอพิลีน-ซิลิกา โดยใน งานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรกจะทำการศึกษาเพื่อทดสอบพฤติกรรมของพื้นผิววัสดุคอมพอลิโทพอลิโท ดังกล่าวเบื้องต้นในรูปแบบฟิล์มก่อน ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มคอมพอลิโทสามารถประเมินพฤติกรรมการเปียกน้ำได้ง่ายกว่าใน

รูปแบบเส้นใย โดยในการทดลองส่วนนี้จะทำการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณซิลิกา และการดึงยืดฟิล์ม ต่อลักษณะของพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไป ในส่วนที่ 2 จะทำการปรับผิวของฟิล์มคอมพอสิตเพื่อเพิ่มความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวฟิล์มด้วย ในส่วนที่ 3 เป็นการนำวัสดุคอมพอสิตพอลิพรอพิลีน-ซิลิกามาเตรียมเพื่อเป็นเส้นใย และปั่นผ้าต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตฟิล์มไม่ชอบน้ำจากพอลิพรอพิลีน-ซิลิกาคอมพอสิต
- 1.2.2 เพื่อศึกษาแนวทางในการผลิตเส้นใยไม่ชอบน้ำจากพอลิพรอพิลีน-ซิลิกาคอมพอสิต
- 1.2.3 เพื่อผลิตผ้าที่หายใจได้จากเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ไม่ชอบน้ำ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการเปียกน้ำของฟิล์มคอมพอสิตพอลิพรอพิลีน-ซิลิกา
- 1.3.2 ทดสอบสมบัติทางกายและสมบัติการเปียกน้ำของฟิล์มคอมพอสิตพอลิพรอพิลีน-ซิลิกาที่เตรียมในสถานะต่างๆ
- 1.3.3 ผลิตเส้นใยไม่ชอบน้ำจากคอมพอสิตพอลิพรอพิลีน-ซิลิกาภายใต้เงื่อนไขที่ผ่านการคัดเลือกจากการศึกษาฟิล์ม
- 1.3.4 ผลิตผ้าทอจากเส้นใยไม่ชอบน้ำที่ผ่านการคัดเลือกและทดสอบการเปียกน้ำ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

นำผลที่ได้จากการศึกษาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเส้นใยที่สามารถนำไปใช้ใน อุตสาหกรรมสิ่งทอต่อไปในอนาคต

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

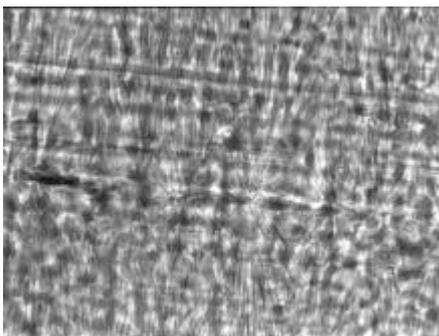
#### 2.1 พอลิพรอพิลีน [4]

พอลิพรอพิลีน (Polypropylene (PP) รู้จักในอีกชื่อหนึ่งคือพอลิพรอพีน (Polypropene) วัสดุนี้เป็นเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ มีการใช้อย่างแพร่หลาย เช่น การบรรจุภัณฑ์และป้าย สิ่งทอ (เชือก เสื้อผ้า และพรม) ส่วนประกอบในรถยนต์ เป็นต้น สมบัติของพอลิพรอพิลีน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน[4, 5]

สูตร โมเลกุล	$-(\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3))_n-$
ความหนาแน่น	0.855 g/cm <sup>3</sup> (อสัณฐาน)และ 0.946 g/cm <sup>3</sup> (ผลึก)
จุดหลอมเหลว	130–171 °C (266–340 °F)
Permeability Coefficients: Water (25°C)	$5.1 \times 10^{-10} \text{ cm}^2$
Water Absorption @24 h Immersion	0.03%
Modulus of Elasticity (Young's Modulus) -Homopolymer and Copolymer	1,300 MPa and 1,100 MPa respectively
Coefficient of Friction	0.3
Melting point: Homopolymer and Copolymer	160-165 °C and 135-159 °C respectively

พอลิพรอพิลีนสามารถผลิตให้มีโครงสร้างได้หลายแบบ แต่โครงสร้างที่มีการผลิตเป็นหลักในอุตสาหกรรม และใช้มากในทางการค้าคือไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความเป็นระเบียบสูง ลักษณะโครงสร้างที่เป็นระเบียบเช่นนี้ทำให้พอลิพรอพิลีนสามารถเกิดผลึกได้ แต่ความเป็นผลึกสูงไม่สูงมากเหมือนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จึงทำให้พอลิพรอพิลีนมีความแข็งแรง และสามารถโค้งงอได้ ลักษณะพื้นฐานของพอลิพรอพิลีนดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะพื้นฐานของพอลิพรอพิลีน [4]

การนำพอลิพรอพิลีนขึ้นรูปเป็นวัสดุขั้นต่อไปนั้นทำได้โดยการรีด(Extrusion)และฉีดเข้าแบบ (Injection Molding) ในการนำพอลิพรอพิลีนไปผลิตเป็นเส้นใย หรือผืนผ้า นั้น จะใช้วิธี Extrusion ได้แก่ Melt-blown และ Spun-bond fibers โดยทำวัสดุให้เป็นม้วนเพื่อนำไปใช้งานต่อไป เช่น ทำผ้าปิดหน้า ใส่กรอง ผ้าอ้อม และผ้าเช็ดน้ำ เป็นต้น วิธีการ Extrusion นั้น ยังใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทท่อ โปรีไฟล์ต่างๆ แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด หรือแผ่นพลาสติกสำหรับทำแผ่นบรรจุเอกสาร สำหรับการขึ้นรูปวัสดุด้วยวิธีการ Molding นั้น ได้แก่เทคนิคการทำ Injection molding ซึ่งใช้ผลิตพวกของใช้ในบ้าน ชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการ ใช้เทคนิค Blow Molding และ Injection stretch blow molding ซึ่งเกี่ยวข้องกับการ Extrusion และ Molding

โดยธรรมชาติของพอลิพรอพิลีน จะไม่ดูดซับน้ำ ไม่ติดสี และยึดติดกับสารต่างประเภทได้ไม่ดีนัก และมีจุดหลอมเหลวที่ไม่สูงมาก การใช้งานในด้านสิ่งทอที่เป็นเครื่องนุ่งห่มจึงค่อนข้างจำกัด แต่ก็มีการใช้งานแพร่หลายในด้านสิ่งทอเทคนิคต่างๆ เพราะพอลิพรอพิลีนก็มีข้อดีคือ ราคาถูก แปรรูปได้ง่าย โดยในการใช้งานเหล่านี้จะใช้การเติมผงสี แทนการย้อม หรือในการนำไปใช้งานบางอย่างจะต้องมีการตกแต่งผิว เช่น การตกแต่งให้ผิวของพอลิพรอพิลีนด้านฝุ่นผง หรืออาจจะตกแต่งให้ผิวพอลิพรอพิลีนติดหมึกพิมพ์และสีทาได้ดี

## 2.2 ผ้ากันน้ำ (Hydrophobic fabric)[6]

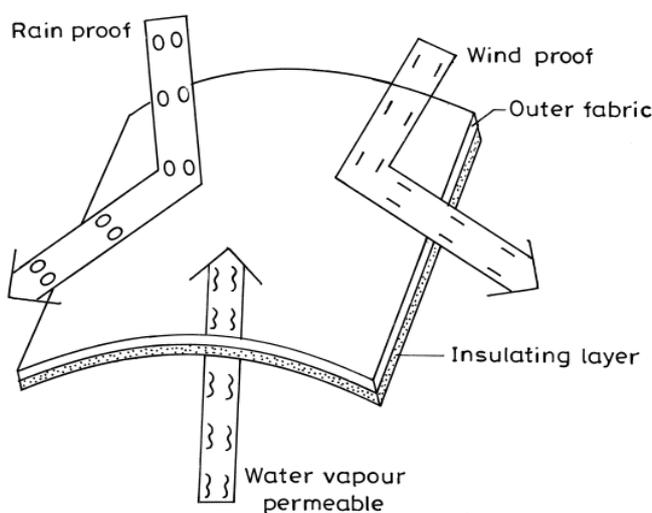
ในการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ จะมีความร้อนเกิดขึ้น พร้อมทั้งมีการขับเหงื่อเพื่อระบายความร้อน เราจะมีความรู้สึกสบาย หากปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น และปริมาณที่ระบายออก หรือแลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อมมีความสมดุล ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะเปลี่ยนไปตามกิจกรรมที่มนุษย์กำลังทำ ตัวอย่างของความร้อนที่เกิดขึ้น และอัตราการขับเหงื่อสำหรับกิจกรรมต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างอัตราการหายใจสำหรับกิจกรรมต่างๆ [6]

ระดับกิจกรรม	ความร้อนที่เกิดขึ้น (วัตต์)	อัตราการขับเหงื่อ (มล./ชม.)
นอนหลับ (สภาพอากาศแห้ง และเย็น)	60-80	15-30
เดินด้วยความเร็ว 5 กม.ต่อชั่วโมง	280-350	200-500
การทำงานหนัก (สภาพอากาศร้อน และชื้น)	580-1045	400-1000
กิจกรรมที่ให้เหงื่อสูงสุด (ที่ทนได้ในเวลาสั้นๆ)	810-1160	1600

อย่างไรก็ตาม ในการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ก็จะต้องพบกับสภาพแวดล้อมที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ โดยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น อุณหภูมิภายนอกที่เปลี่ยนแปลงไป มีลมแรง หรือมีฝนตก เป็นต้น ภายใต้สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปเช่นนี้ จำเป็นที่จะต้องมียุทธวิธีป้องกันที่เหมาะสม เพื่อให้สภาพร่างกายอบอุ่น และสบายตัว ซึ่งผ้าที่ใช้ในสภาพดังกล่าวนี้ อาจมีลักษณะแบบใดแบบหนึ่งต่อไปนี้ เป็นฉนวนกันความร้อน ป้องกันลม ป้องกันการระเหยของน้ำ หรือมีความหนา และน้ำหนักที่เหมาะสม ซึ่งการรวมสิ่งต่างๆ เหล่านี้เข้าด้วยกัน เพื่อเป็นยุทธวิธี หรือเครื่องนุ่งห่มสำหรับสภาพอากาศที่ไม่ปกติ ก็อาจทำให้การระบายความร้อน หรือการระบายเหงื่อจากร่างกายสูญเสียสมดุลไปได้ ผ้าที่ถูกลำมาใช้ในสภาพอากาศไม่ปกติ มีอยู่ 2 แบบหลัก คือ ผ้าเคลือบกันน้ำแบบไม่ให้มีการซึมผ่านได้ และผ้ากันน้ำแบบที่มีการซึมผ่านได้ หรืออาจเรียกว่าเป็นผ้าที่ระบายอากาศได้ (breathable fabric)

ผ้าที่ระบายอากาศได้ มีองค์ประกอบหลักดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งลักษณะที่ต้องการอย่างหนึ่ง คือ ความพรุนในวัสดุ สำหรับการระบายไอน้ำ ขณะเดียวกันวัสดุก็ต้องมีลักษณะที่ไม่ชอบน้ำไปพร้อมๆ เพื่อป้องกันน้ำจากภายนอกซึมเข้าผ่านเข้าไปภายใน ลักษณะดังกล่าวนี้สามารถทำได้หลายแบบ ซึ่งขณะนี้มีการศึกษากันมาก



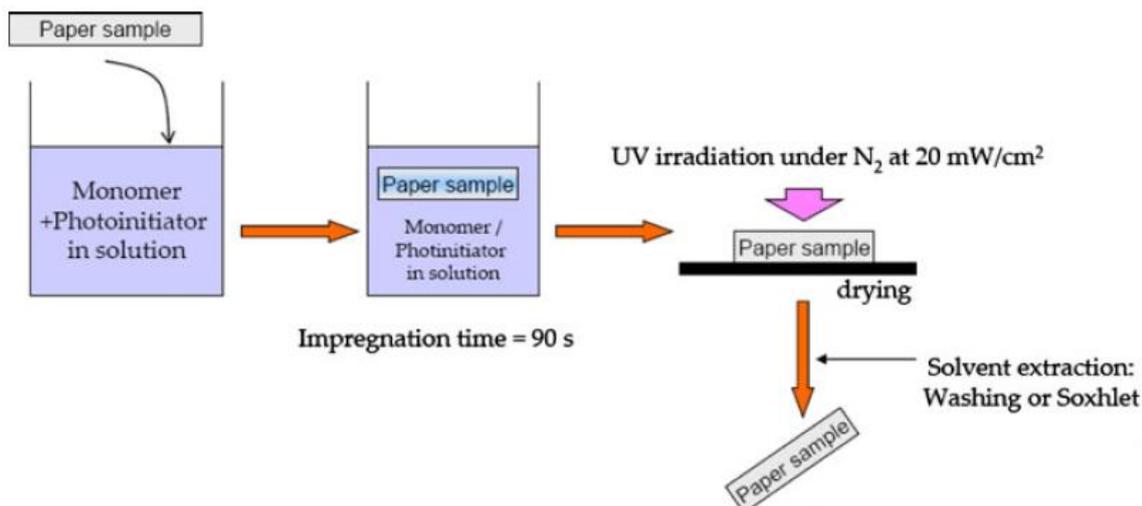
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบหลักของผ้าที่ระบายอากาศได้ [3]

ผ้าที่ระบายอากาศได้นี้ สามารถทำได้ในหลายโครงสร้างหรือรูปแบบ โดยรูปแบบหนึ่งที่ประสบความสำเร็จสูงในเชิงพาณิชย์ คือ แบบที่ผลิตจากเส้นใยเทฟลอนที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (microporous polytetrafluoroethylene) [6] ซึ่งมีชื่อการค้าว่า GORE-TEX® การผลิตเส้นใยแบบนี้ ใช้กระบวนการที่มีความซับซ้อนสูง เริ่มตั้งแต่การใช้วัสดุตั้งต้นที่มีราคาสูง คือ ผงเทฟลอนมากระจายตัวในของเหลวที่เป็นตัวกลางที่เหมาะสม นำมารีดเป็นแผ่นฟิล์ม และขจัดของเหลวออกจนแห้ง จากนั้นจึงนำมาดัดยัดที่อุณหภูมิสูง โดยอาจจะเป็นทิศทางเดียว หรือสองทิศทางที่ตั้งฉากกันก็ได้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน การดัดจะทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากขึ้นในฟิล์มของเทฟลอนนี้ โดยรูพรุนนี้จะมีลักษณะเป็นเส้นใยที่ยึดโยงอนุภาคเทฟลอนขนาดเล็กเข้าด้วยกันในทิศทางต่างๆ โดยอนุภาคเทฟลอน หรือโหนดเหล่านี้ จะมีขนาดต่างๆ กันตั้งแต่ 50-400 ไมโครเมตร และขนาดของเส้นใยที่ยึดนี้มีค่าประมาณ 0.1 ไมโครเมตร มีความยาวประมาณ 5-500 ไมโครเมตร ความพรุนของเส้นใยจะเกิดจากช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการที่เส้นใย และโหนดนี้ถึงดัดยึดออกจากกัน สามารถควบคุมให้มีความพรุนต่างๆ ได้ตามความต้องการ อย่างไรก็ตาม ฟิล์มเทฟลอนที่มีความพรุนสูงนี้ ก็ไม่มีความแข็งแรงมากนัก จึงจำเป็นต้องนำไปเคลือบอยู่บนวัสดุอื่นๆ เพื่อให้มีความแข็งแรงพอที่จะนำไปใช้งานต่อไปได้ กระบวนการและเทคโนโลยีที่ซับซ้อน และต้นทุนวัตถุดิบที่สูง จึงทำให้เส้นใยนี้ มีราคาสูงมาก และจำกัดวงการใช้งาน ไม่แพร่หลาย การสร้างเทคโนโลยีทดแทนจึงมีความจำเป็น

ในช่วงที่ผ่านมา ผ้าที่ไม่ชอบน้ำได้รับความสนใจมาก เพราะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่ต้องการเสื้อผ้า หรือรองเท้าผ้าใบที่ป้องกันน้ำได้ [7-9] ดังนั้น จึงมีความสนใจที่จะพัฒนา เส้นใยที่ไม่ชอบน้ำจากวัสดุที่มีราคาถูก เช่น พอลิเอทิลีน หรือพอลิพรอพิลีน [10-11] เพื่อใช้ทดแทนวัสดุที่มีราคาแพง และใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่สูง เช่น เส้นใยเทฟลอน [6] อย่างไรก็ตาม ความไม่ชอบน้ำของพอลิเอทิลีน หรือพอลิพรอพิลีนปกตินั้น มีไม่มากพอ จึงจำเป็นที่จะต้องเพิ่มลักษณะที่ไม่ชอบน้ำของพอลิเมอร์เหล่านี้ให้มากขึ้น

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

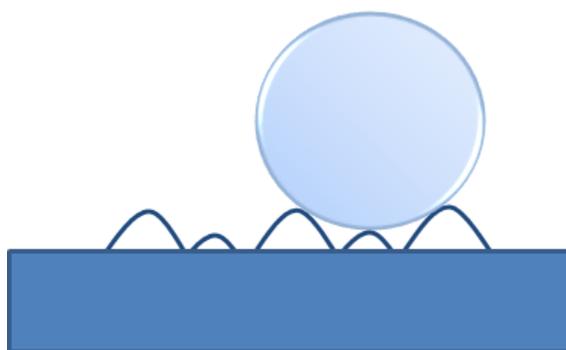
การทำให้วัสดุเกิดความไม่ชอบน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเคลือบทำปฏิกิริยาผิววัสดุด้วยมอนอเมอร์ที่มีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบ หรือเรียกว่า ฟลูโอโรคาร์บอน เพื่อให้มีลักษณะคล้ายกับมีผิวเป็นเทฟลอน ตัวอย่างของงานวิจัยเหล่านี้ อาจดูได้จากงานล่าสุดที่เพิ่งมีการตีพิมพ์ [12-13] และเอกสารอ้างอิงภายใน ซึ่งรูปแบบการทำงานอาจแสดงดังรูปที่ 2.3 อย่างไรก็ตาม วิธีการเหล่านี้จะมีความยุ่งยากในระดับหนึ่ง ที่อาจจะต้องใช้แสงยูวี รังสีแกมมา หรือพลาสมา ในการทำให้เกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการปรับพื้นผิวเส้นใยเซลลูโลสด้วยมอนอเมอร์ที่มีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบด้วยการใช้แสงยูวีเป็นตัวกระตุ้น [13]

อีกวิธีการหนึ่งที่มีความสนใจอย่างมาก คือ การเลียนแบบปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของวัสดุธรรมชาติ เช่น น้ำกลิ้งบนใบบัว หรือที่เรียกว่า lotus effect [14] ผิวของใบบัวจะมีลักษณะเป็นที่ไม่เรียบ มีปุ่มๆ ขนาดเล็กทั้งในระดับนาโนเมตร และไมโครเมตรจำนวนมาก [15-17] และบนพื้นผิวของปุ่มเล็กๆ เหล่านี้ จะมีสารที่มีลักษณะเป็นแว็กซ์เคลือบอยู่ อากาศที่ถูกขังอยู่ระหว่างช่องว่างเล็กๆ เหล่านี้ จะป้องกันไม่ให้น้ำสัมผัส หรือถูกดูดติดกับพื้นผิววัสดุ และสามารถกลิ้งไปมาบนพื้นผิวได้

ในการเลียนแบบพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำจากลักษณะของพื้นผิวใบบัวนี้ จะต้องประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ การทำให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิวในระยะที่เหมาะสม และการเคลือบด้วยสารที่มีพลังงานพื้นผิวดำ [15, 18-22] แบบจำลองของโครงสร้างแบบนี้ แสดงดังรูปที่ 2.4

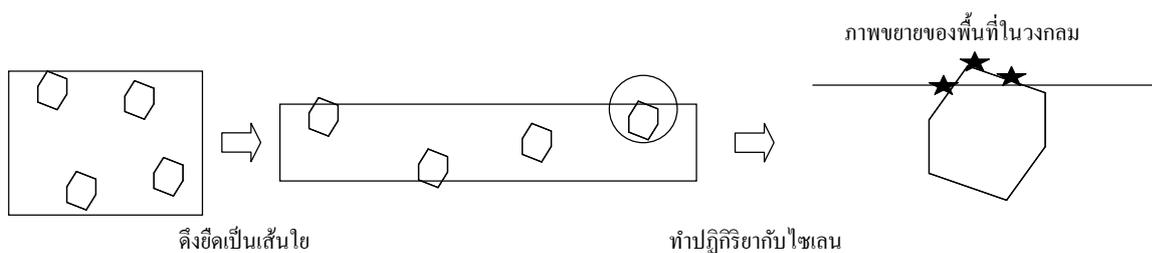


รูปที่ 2.4 แบบจำลองของพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ

หนึ่งในวิธีของการเตรียมวัสดุให้มีพื้นผิวที่ขรุขระนั้นก็คือวิธีการดึงยึดวัสดุ โดยขั้นตอนของการเตรียมวัสดุนั้นจะต้องมีการเติมสารตัวเติมลงในพอลิเมอร์และทำการดึงยึด ซึ่งจะพบว่าสารตัวเติมเหล่านั้นจะเผยออกมากที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุ และทำให้พื้นผิวมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้น [23]

มีงานวิจัยจำนวนมากที่มุ่งเน้นที่การเตรียมพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ แนวทางหนึ่งในงานเหล่านี้ คือ การใช้อนุภาคซิลิกา [24-27] เนื่องจากซิลิกาสามารถทำปฏิกิริยาได้ง่าย จึงสามารถติดหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่ต้องการได้ และยังสามารถทำให้มีความขรุขระเกิดขึ้นได้พร้อมๆ กัน

งานต่างๆ ที่กล่าวข้างต้น นั้น ใช้วิธีการเคลือบหรือทำปฏิกิริยาบนพื้นผิวของวัสดุที่เรียบ หรือผ้าที่ผ่านการทอมาแล้ว ในงานนี้ ได้เสนอทางเลือกใหม่ ที่ใช้วิธีการทำให้เกิดความพรุนบนพื้นผิวของพอลิพรอพิลีน ซึ่งความพรุนนี้เกิดจากการเติมอนุภาคซิลิกาลงในพอลิพรอพิลีน จากนั้นนำไปดึงยึด เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และทำให้อนุภาคซิลิกาโผล่ขึ้นมาเหนือผิวเส้นใย อนุภาคซิลิกาจะยังคงฝังอยู่ในเส้นใย สามารถช่วยให้เกิดการยึดติดที่ดีกับเส้นใยได้ โดยจะต้องควบคุมให้พื้นผิวมีความขรุขระที่เหมาะสม และเคลือบผิวซิลิกาที่โผล่ออกมานี้ด้วยสารไฮโดรฟิลิกที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ทำให้เกิดความไม่ชอบน้ำ แผนภาพของกระบวนการดังกล่าวนี้ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนของการผลิตเส้นใยที่มีความพรุน และไม่ชอบน้ำ

แนวทางของเทคโนโลยีที่น่าเสนอนี้ หากสามารถทำให้เกิดขึ้นได้ น่าจะเป็นประโยชน์ เนื่องจากในประเทศไทย มีอุตสาหกรรมต้นน้ำเกี่ยวกับการผสม หรือคอมพาวด์พลาสติกแทบทุกประเภท และยังมีโรงงานกลั่นน้ำ และปลายน้ำ ที่ผลิตเส้นใยพอลิพรอพิลีน และผลิตภัณฑ์จากเส้นใยเหล่านี้อยู่แล้ว

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 วัสดุ

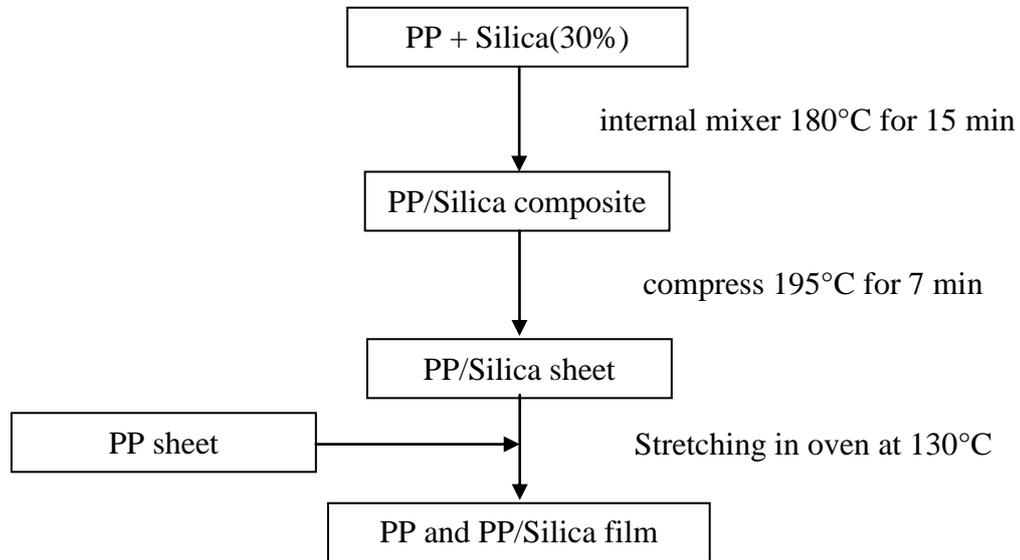
วัสดุที่ใช้ในการศึกษาดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

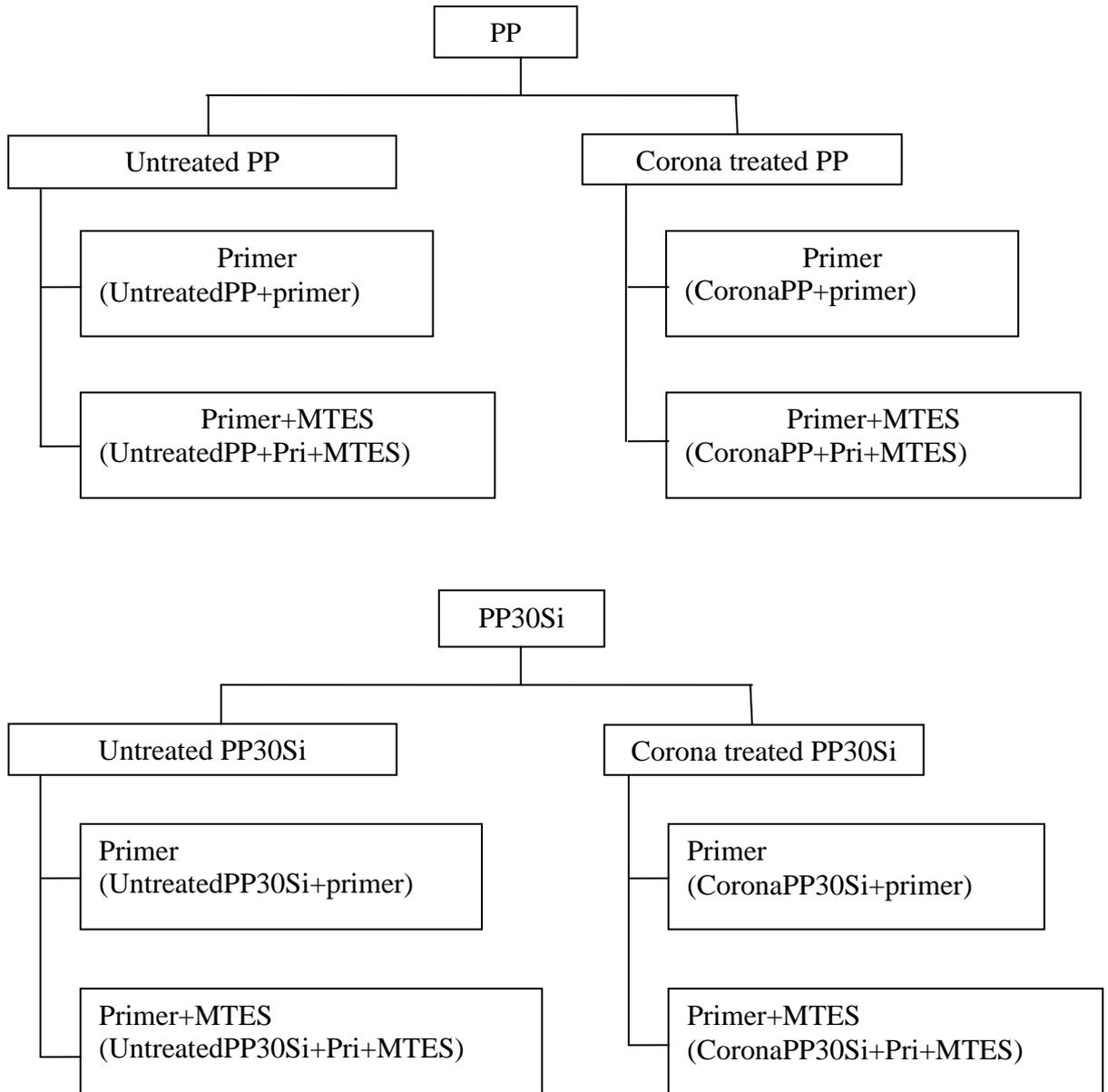
Reagent	Trademark
Polypropylene	HMC polymer
Deionized water (H <sub>2</sub> O)	-
Ethanol (EtOH)	Labscan
Ammonium hydroxide (NH <sub>4</sub> OH)	Sigma-aldrich
(3-aminopropyl)triethoxysilane (APTES)	Sigma-aldrich
Methyltriethoxysilane (MTES)	Sigma-aldrich
Silica (Tukusil R233)	OSC group
Isopropanol (iPrOH)	Labscan

### 3.2 แผนภูมิของงาน

ส่วนที่ 1 : การเตรียมฟิล์มพอลิพรอพิลีน ( PP) และ ฟิล์มพอลิพรอพิลีนคอมพอสิต (PP-Si composite)



ส่วนที่ 2 : การปรับสภาพพื้นผิวของฟิล์มพอลิพรอพิลีน (PP) และฟิล์มพอลิพรอพิลีนคอมพอสิต (PP-Si composite)



คำย่อ:

PP คือ ฟิล์มพอลิพรอพิลีน

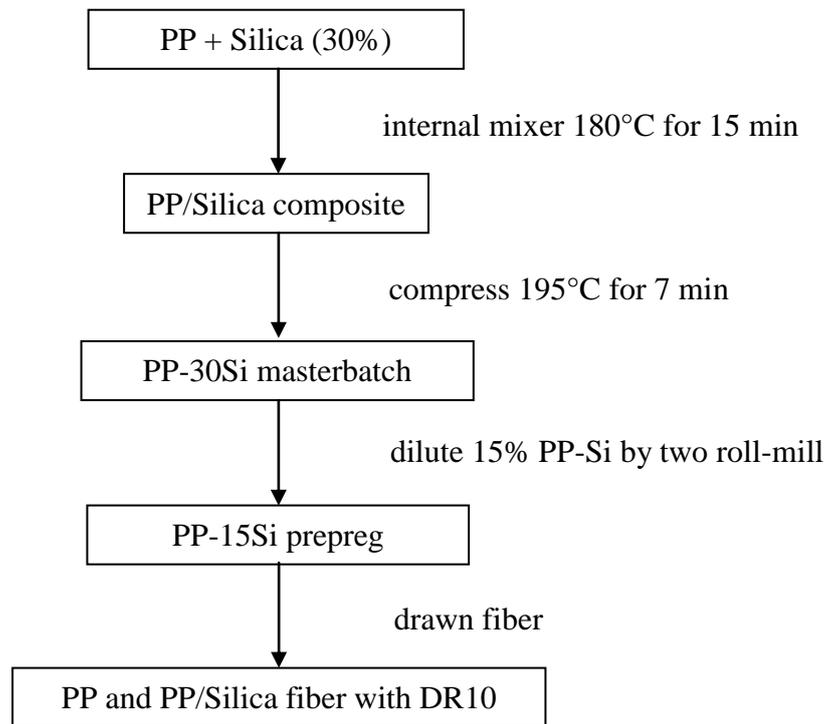
PP30Si คือฟิล์มพอลิพรอพิลีนคอมพอสิตที่เติมซิลิกา 30%

Corona คือการปรับสภาพพื้นผิวของฟิล์มด้วยวิธี corona

Pri or Primer คือการเคลือบผิวของฟิล์มด้วย (3-aminopropyl) triethoxysilane (APTES)

MTES คือการเคลือบผิวของฟิล์มด้วย methyl triethoxysilane

### ส่วนที่ 3: การเตรียมเส้นใยพอลิพรอพิลีนและเส้นใยพอลิพรอพิลีนคอมพอสิต



### 3.3 การทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียม PP and PP30Si

พอลิพรอพิลีนและซิลิกาถูกผสมกันโดยเครื่องผสมแบบปิดที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำพอลิพรอพิลีนและพอลิพรอพิลีนคอมพอสิตที่ได้ไปกดอัดที่อุณหภูมิ 195°C เป็นเวลา 7 นาทีและตัดแผ่นซีทที่ถูกกดอัดดังกล่าวเป็นชิ้น และนำไปตั้งยัดที่อุณหภูมิ 130°C ในเตาอบ ด้วยวิธีนี้จึงได้ฟิล์มพอลิพรอพิลีนและฟิล์มพอลิพรอพิลีนคอมพอสิต จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางด้านพื้นผิว

#### 3.3.2 การปรับสภาพผิวโดยใช้ Corona treatment

การปรับสภาพผิวให้มีการยึดติดที่ดีระหว่าง primer layer และ polymer substrate ดำเนินการโดยใช้เครื่อง corona (RUNGTHAI Plastic Corona, Bangkok, Thailand) โดยพลังงานที่ใช้ประมาณ 38.2 kJ/m<sup>2</sup> และช่องว่างระหว่างอิเล็กโตรดกับตัวอย่างฟิล์มเป็น 3 มิลลิเมตร

#### 3.3.3 การเคลือบซิลิกา (Silica coating)

การเคลือบด้วยซิลิกาที่ถูกสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซล-เจล วัสดุ H<sub>2</sub>O, EtOH, NH<sub>4</sub>OH and MTES ผสมกันด้วยอัตราส่วนปริมาตร 4:10:0.5:2 ส่วนผสมดังกล่าวถูกคนให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

PP และ PP30Si ถูกปรับสภาพผิวด้วย Primer coating ซึ่งเป็นสารละลายของ APTES และ isopropanol ด้วยอัตราส่วนปริมาตร 5:1 เป็นเวลา 1-2 นาที แล้วอบแห้งวัสดุที่ทำ Primer ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำวัสดุที่ทำ Primer จุ่มในซิลิกาโซล แล้วอบแห้งที่ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

### 3.3.4 การหาลักษณะผิว (Surface characterization)

#### 3.3.4.1 การวัดสเปกตรัมโดยใช้ Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR)

การวัด ATR-FTIR ใช้เครื่อง Perkin Elmer spectrometer ย่านอินฟราเรดในสเปกตรัมอยู่ในช่วง 4000 ถึง 650  $\text{cm}^{-1}$  ถูกรวบรวมโดยใช้โหมคการดูดซับ จำนวน 32 สแกนที่ความเข้ม 4  $\text{cm}^{-1}$

#### 3.3.4.2 สเปกโทรสโกปีรามาน (Raman spectroscopy)

รามานสเปกตรัมช่วง 3200-200  $\text{cm}^{-1}$  ถูกบันทึกโดยใช้ liquid nitrogen cooled detector เป็นตัวตรวจสอบ ด้วย laser excitation 785 nm

#### 3.3.4.3 มุมสัมผัสของน้ำ (Water contact angle)

การวัดมุมสัมผัสของน้ำใช้อุปกรณ์ contact angle goniometer โดยการหยดน้ำกลั่นจำนวน 5  $\mu\text{l}$  ลงบนตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างทดสอบ 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

#### 3.3.4.4 การดูผิวด้วย Scanning electron microscopy (SEM)

ผิวของตัวอย่างเคลือบด้วย Pt-Pd จากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ SEM (Hitachi S2500, Japan) ด้วยกำลัง 15 kV

### 3.4 Raman Mapping

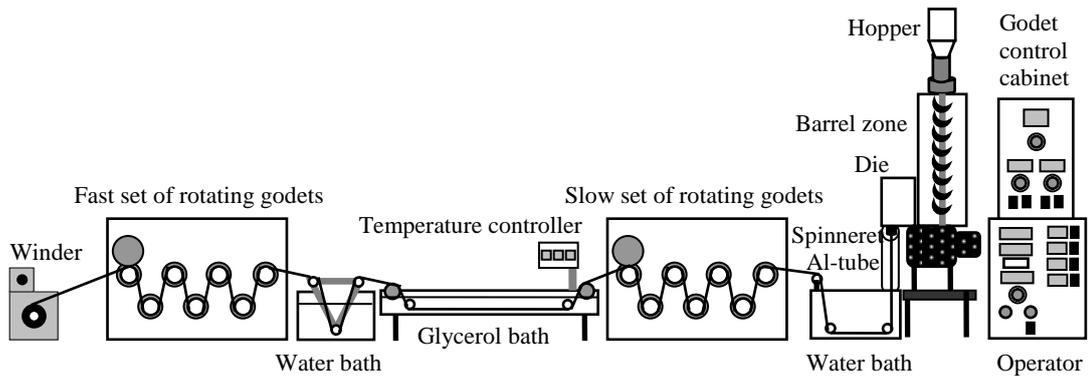
ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาหาระยะระหว่างอนุภาคซิลิกาใน PP30Si และเป็นการศึกษาลักษณะผิวของ PP30Si หลังจากเคลือบด้วยซิลิกาแบบไม่ชอบน้ำ (hydrophobic silica coating) ด้วยเทคนิครามาน

### 3.5 การผลิตเส้นใยพอลิพรอพิลีนและเส้นใยคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน

เส้นใยพอลิพรอพิลีนและเส้นใยพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตถูกเตรียมด้วยเครื่องดึงเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดรีด ได้แก่ 120, 180, 190, 215 องศา สำหรับโซนที่ 1, 2, 3 และหัวตายตามลำดับ โดยพอลิเมอร์หลอมเหลวจะไหลผ่านทางรูของหัวตายด้วยความเร็วของสกรูที่ 2 รอบต่อนาที ซึ่งจะเรียกพอลิเมอร์ที่ไหลออกมาเป็นว่าเส้นใย as-spun และเส้นใยนี้จะถูกทำให้เย็นด้วยอากาศก่อนที่จะผ่านอ่างกลีเซอรอลที่

อุณหภูมิที่ 120 องศาและถูกดึงที่อัตราการดึงยืดต่างๆ ขึ้นอยู่กับความเร็วของลูกกลิ้งตัวนำและตัวตาม โดยอัตราการดึงยืดสามารถคำนวณได้จากสัดส่วนของความเร็วของลูกกลิ้งตามต่อความเร็วของลูกกลิ้งนำ ดังสมการที่ 1

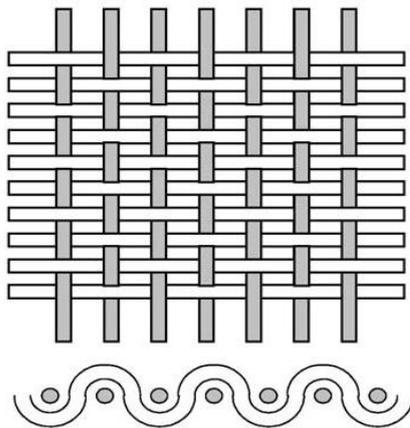
$$\text{อัตราการดึงยืด} = \frac{\text{ความเร็วของลูกกลิ้งตัวตาม}}{\text{ความเร็วของลูกกลิ้งตัวนำ}} \quad (1)$$



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของเครื่องดึงเส้นใย [28]

### 3.6 การทอเส้นใย

เส้นใยพอลิพรอพิลีนและเส้นใยพอลิพรอพิลีนคอมพอลิทถูกนำมาทอเป็นผืนผ้าดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของผ้าทอ [29]

## บทที่ 4

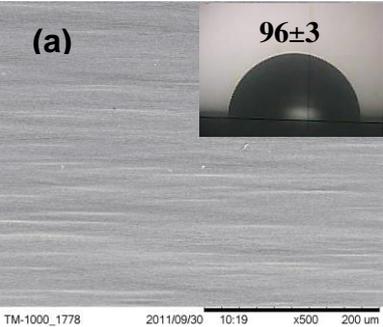
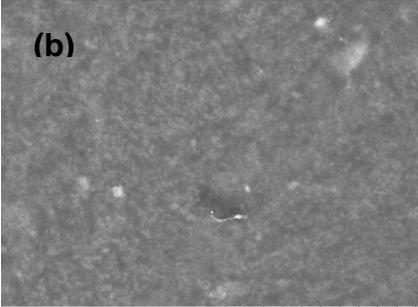
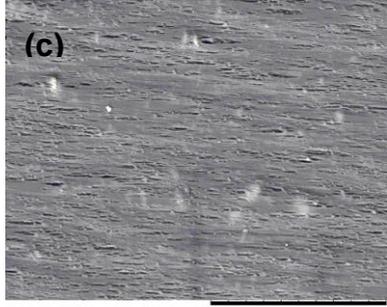
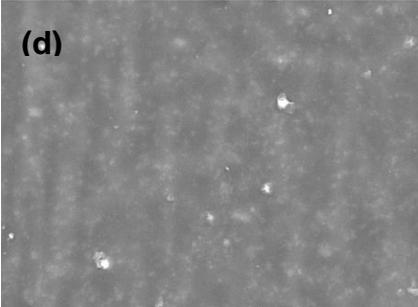
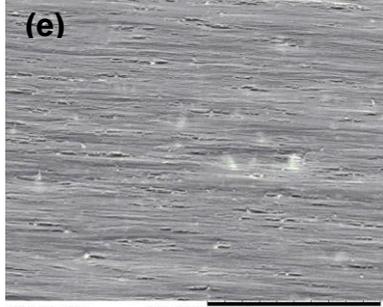
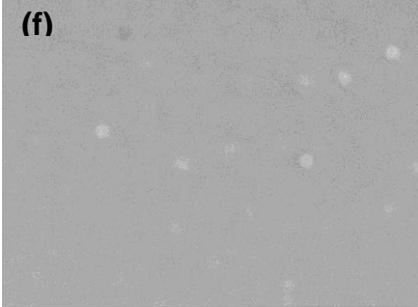
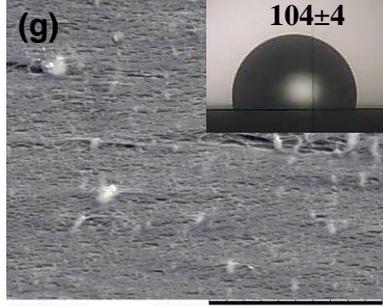
### ผลการดำเนินงานและวิจารณ์ผล

#### 4.1 ลักษณะทางสัญญาณวิทยาของพื้นผิวและผลของความสามารถในการเปียกของฟิล์มพอลิพรอพิลีน (PP) และ ฟิล์มคอมพอลิพรอพิลีน-ซิลิกา (PP-Si)

ในการทดลองในตอนต้นนี้จะทำการเปรียบเทียบลักษณะทางพื้นผิวของซีทและฟิล์ม PP และ PP-Si เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลปริมาณซิลิกาที่ใช้การผสม และพฤติกรรมของพื้นผิวหลังการดึงฟิล์ม ในการทดลองนี้จะศึกษาปริมาณซิลิกาที่สัดส่วน 10%, 20% และ 30% ทั้งนี้เนื่องจาก 30% เป็นปริมาณสูงสุดที่สามารถผสมให้ซิลิกาสามารถผสมเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกับพอลิพรอพิลีนได้ จากนั้นนำเอาซีท PP และ ซีท PP-Si มาดึงยึดเพื่อเป็นฟิล์มที่อุณหภูมิ 130 °C โดยลักษณะทางสัญญาณวิทยาของพื้นผิวของซีทและฟิล์ม PP และ PP composites ที่ผสมซิลิกาในปริมาณต่างๆ (10%, 20% และ 30%) แสดงดังรูปที่ 4.1 ส่วนค่าความขรุขระของแต่ละพื้นผิวแสดงในตารางที่ 2 จากรูปที่ 4.1 พบว่าพื้นผิวฟิล์ม PP ที่ผ่านการดึงยึดจะปรากฏร่องบนพื้นผิวเส้นใยที่มีทิศทางไปตามแนวแรงที่ดึงดังแสดงในรูปที่ 4.1(a) ซึ่งปรากฏการณ์นี้เป็นพฤติกรรมโดยปกติของ PP เมื่อถูกดึง ส่วนในกรณีของซีท PP-Si พบว่าพื้นผิวซีทก่อนดึง มีลักษณะเรียบไม่ปรากฏรูพรุนและอนุภาคใดๆ เกิดขึ้นบนพื้นผิวเลย ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (b), (d) และ (f) ในขณะที่พื้นผิวของฟิล์ม PP-Si จะพบรูพรุนบนพื้นผิวฟิล์มและพบว่ามีอนุภาคซิลิกาปรากฏอยู่บนผิวฟิล์ม ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (c), (e) และ (g)

สิ่งที่สังเกตเห็นจากรูปที่ 4.1 สอดคล้องกับค่าความขรุขระของพื้นผิวซีทและฟิล์มของตัวอย่างแต่ละชนิดที่ได้จากเทคนิค AFM ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่า ฟิล์ม PP มีค่าความขรุขระมากกว่าซีท PP ซึ่งอาจเป็นเพราะการดึงทำให้เกิดร่องที่ปรากฏอยู่บนผิวฟิล์ม การดึงทำให้พื้นผิวของ PP มีค่าความขรุขระเพิ่มขึ้นจาก 11.1 nm เป็น 31.7 nm ส่วนในกรณีของ PP-Si composite จะพบว่า หากไม่ได้ผ่านการดึงยึด พื้นผิวของซีท PP-Si ในปริมาณต่างๆ จะมีค่าความขรุขระของผิวซีท PP-Si ไม่แตกต่างกันเลย แต่เมื่อทำการดึงยึดเป็นฟิล์ม PP-Si จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบจะทำให้พื้นผิวฟิล์มที่ถูกดึงมีความขรุขระมากขึ้นกว่าฟิล์ม PP เพียงอย่างเดียวอย่างมาก โดยจะเห็นได้ว่า ฟิล์มที่มีการเติมซิลิกาลงไปเพียง 10% ทำให้ค่าความขรุขระของฟิล์ม PP เพิ่มขึ้นจาก 31.7 nm เป็น 62.2 nm ซึ่งค่าความขรุขระของผิวฟิล์ม PP-Si มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลิกาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งฟิล์ม PP30Si จะให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวสูงสุดประมาณ 89.4 nm ซึ่งจากลักษณะสัญญาณทางพื้นผิวในรูปที่ 4.1 และค่าความขรุขระของพื้นผิวต่างๆ ในตารางที่ 4.1 สามารถสรุปได้ว่าการดึงฟิล์มทำให้พื้นผิวของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของ PP-Si composite ที่พบว่า ซีทคอมพอลิทที่ไม่ได้ผ่านการ

ดึงยึดนี้แม้ว่าจะมีเติมซิลิกาลงไปในส่วนต่างๆกันนั้น กลับไม่ส่งผลต่อมีค่าความความขรุขระของพื้นผิวเลยทั้งนี้ เนื่องจากในซีท PP-Si composite ยังมีชั้นของพอลิเมอร์ปกคลุมบริเวณพื้นผิวอยู่ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากขณะอัดรีดพอลิเมอร์ที่ถูกล้อม จะไหลมาพื้นผิวซึ่งงาน ทำให้ความขรุขระของพื้นผิวที่ได้ของซีทที่ไม่ได้ผ่านการดึงยึดนี้ จึงมีค่าไม่แตกต่างกันนัก แต่เมื่อนำฟิล์มดังกล่าวมาผ่านการดึงยึดที่อุณหภูมิ 130 °C แล้วพบว่า ความขรุขระที่เกิดขึ้นในฟิล์มคอมพอลิตหลังจากการดึงยึดนั้น เป็นผลมาจากเมื่อทำการดึงยึด ทำให้เกิดการยึดตัวของพอลิเมอร์ ทำให้รูพรุนเกิดขึ้น และเกิดการปรากฏของอนุภาคซิลิกาบนพื้นผิว จึงทำให้ความขรุขระของพื้นผิวฟิล์มคอมพอลิตมีค่าเพิ่มมากขึ้น อิทธิพลของความขรุขระที่เพิ่มขึ้นของฟิล์มคอมพอลิตนี้ ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของพื้นผิวฟิล์มทำให้พื้นผิวมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น ดังแสดงให้เห็นจากตัวอย่างลักษณะหยดน้ำบนพื้นผิวฟิล์มและค่ามุมสัมผัสน้ำของฟิล์มพอลิพรอพิลีน และฟิล์มคอมพอลิตที่ผ่านการดึงยึด โดยพบว่าระดับของความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวฟิล์มคอมพอลิตที่แนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยฟิล์ม PP-Si ในปริมาณ 30% (Stretched PP30Si) จะมีค่าความขรุขระของพื้นผิวสูงที่สุด และมีค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวสูงที่สุด คือ  $104\pm 4^\circ$

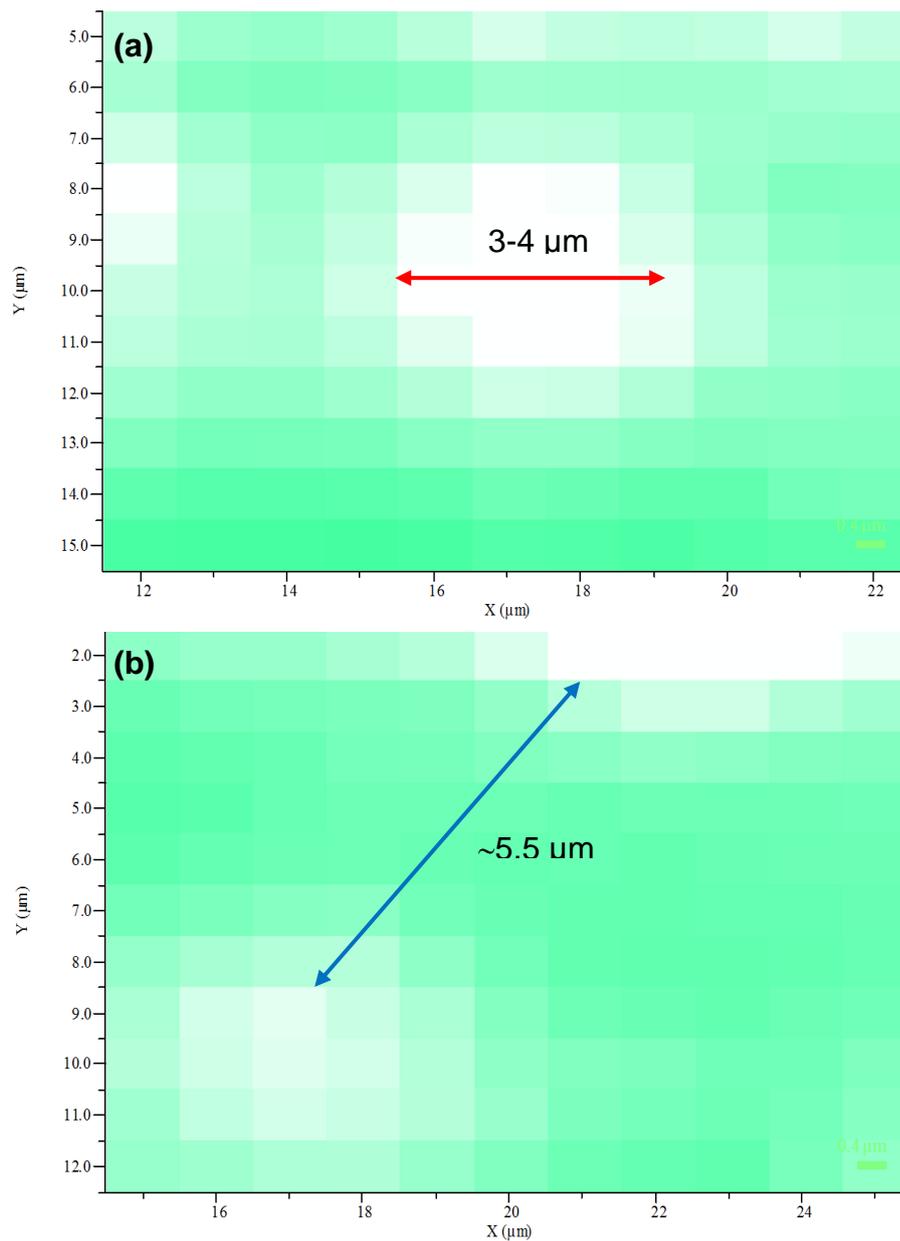
Sample	Sheet	Stretched film
PP		
PP10Si		
PP20Si		
PP30Si		

รูปที่ 4.1 ภาพ SEM ตัวอย่างภาพถ่ายหยดน้ำ ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวของ PP, PP10Si, PP20Si และ PP30Si sheet (b, d และ f) และ stretched film (a, c, e และ g)

ตารางที่ 4.1 ค่าความขรุขระของพื้นผิวจากเทคนิค AFM

Sample	Roughness (nm)
PP sheet	11.1
PP10Si sheet	29.6
PP20Si sheet	24.9
PP30Si sheet	23.5
Stretched PP	31.7
Stretched PP10Si	62.2
Stretched PP20Si	74.0
Stretched PP30Si	89.4

นอกจากนี้ เมื่อศึกษาลักษณะทางพื้นผิวของฟิล์ม PP30Si ที่ถูกดึงยืด ด้วยเทคนิค raman mapping เพื่อเป็นการยืนยันถึงตำแหน่งอนุภาคบนพื้นผิวของฟิล์มว่าเป็นอนุภาคของซิลิกาจริง โดยจะทำการสแกนพื้นผิวฟิล์มที่ความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง  $470\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของการสั่น O-Si-O stretching แล้วนำมาสร้างเป็น 2D mapping ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2 (a) และ (b) ซึ่งจาก 2D mapping แสดงให้เห็นว่า อนุภาคซิลิกานบนพื้นผิวมีขนาดประมาณ  $3\text{-}4\ \mu\text{m}$  รูปที่ 4.2 (a) ซึ่งขนาดของอนุภาคนี้ สอดคล้องกับขนาดของอนุภาคซิลิกาที่พบในภาพ SEM นอกจากนี้จาก 2D mapping ยังแสดงให้เห็นว่า ยังมีช่องว่างระหว่างอนุภาคซิลิกาประมาณ  $5.5\ \mu\text{m}$  จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ความขรุขระที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นหากสามารถลดระยะห่างระหว่างอนุภาคของซิลิกานบนพื้นผิวของฟิล์มได้ก็จะทำให้เพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นได้ด้วย อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อจำกัดของปริมาณซิลิกาในการผสมทำให้ไม่สามารถเติมซิลิกาลงไปในระบบได้มากกว่านี้แล้ว ดังนั้นแนวทางที่จะทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคนี้น้อยลง (เพิ่มความขรุขระ) คือวิธีการปรับผิวฟิล์มคอมพอลิตด้วยชั้นอนุภาคซิลิกาที่ไม่ชอบน้ำซึ่งนอกจากจะได้พื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้นแล้ว ยังทำให้มีสารที่ไม่ชอบน้ำอยู่บนพื้นผิว ซึ่งก็น่าจะเป็นแนวทางหนึ่ง เพื่อให้ได้พื้นผิวฟิล์มคอมพอลิตที่มีระดับความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวที่สูงขึ้น ซึ่งในการศึกษาต่อไปนี้จะใช้ฟิล์ม PP30Si ที่ผ่านการดึงยืดแล้ว เป็นตัวอย่างในการศึกษาต่อไป



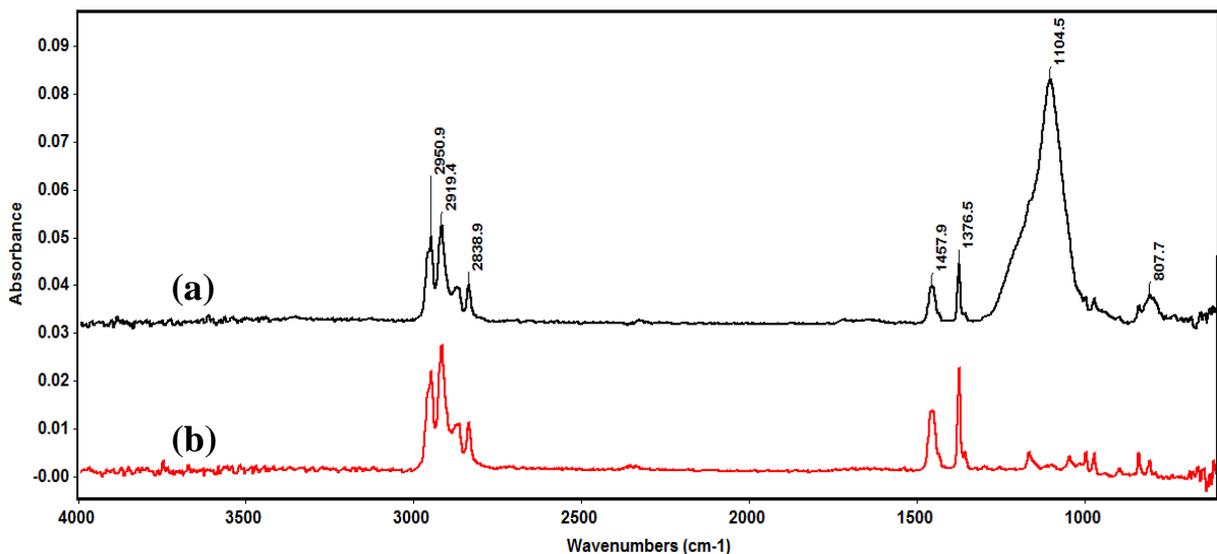
รูปที่ 4.2 2D Mapping ของฟิล์มคอมพอสิต PP30Si ที่เกิดจากการสแกนที่ความยาวคลื่น  $470 \text{ cm}^{-1}$  ในพื้นที่สแกน ขนาด  $10 \times 10 \mu\text{m}$

## 4.2 ลักษณะของพื้นผิวและผลของความสามารถในการเปียกของฟิล์มพอลิพรอพิลีน และ ฟิล์มคอมพอสิตพอลิพรอพิลีน-ซิลิกาที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับผิว

การศึกษาในขั้นตอนนี้จะทำการปรับผิวฟิล์ม PP30Si ที่ผ่านการดั่งยัด โดยการเคลือบผิวด้วยชั้นของซิลิกาที่ไม่ชอบน้ำที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการ sol-gel นอกจากนี้เพื่อเป็นการเพิ่มการยึดติดที่ติระหว่างชั้นเคลือบซิลิกาและพื้นผิวฟิล์มคอมพอสิต พื้นผิวฟิล์ม PP30Si จะถูกนำมาปรับผิวด้วยเทคนิค corona treatment และตามด้วยการปรับผิวด้วยสารรองพื้น (silica primer) ก่อน ซึ่งจะทำให้เกิดชั้น primer บนพื้นผิวฟิล์ม ก่อนที่จะทำการเคลือบผิวด้วยซิลิกาสังเคราะห์ที่ไม่ชอบน้ำต่อไป (MTES coating) โดยในขั้นตอนการปรับผิวนี้นำฟิล์ม PP มาใช้ศึกษาควบคู่ไปเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ ซึ่งในการศึกษาส่วนนี้จะทำวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบทางเคมีของพื้นผิวฟิล์ม วัดค่ามุมสัมผัสน้ำของพื้นผิวฟิล์ม และศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาทางพื้นผิวของฟิล์มทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับผิวด้วยขั้นตอนต่างๆ

### 4.2.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพื้นผิวฟิล์ม PP30Si ก่อนหลังการปรับผิวด้วยเทคนิค ATR-FTIR

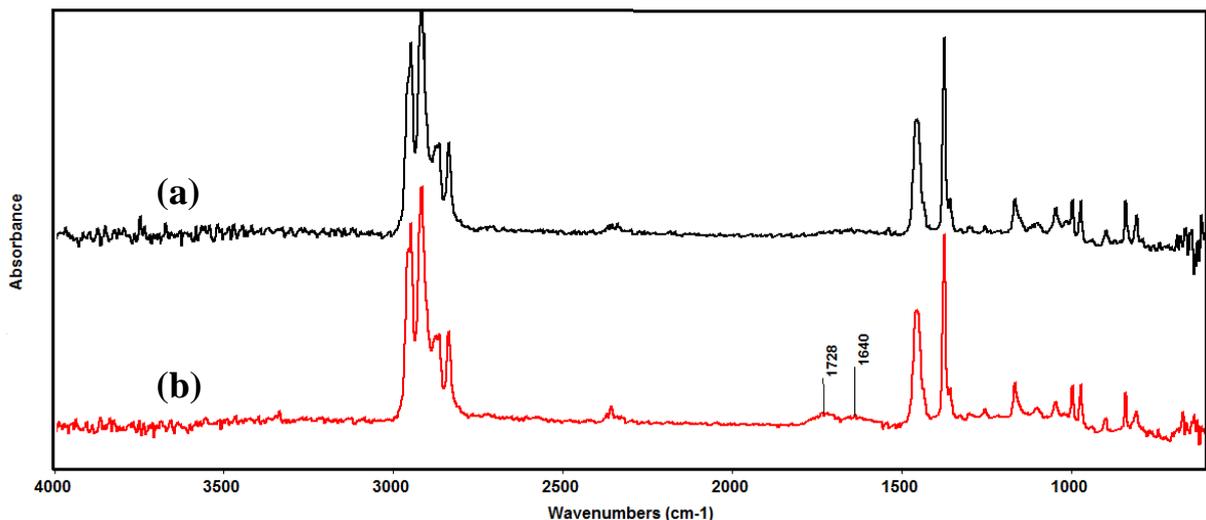
ในงานวิจัยนี้ฟิล์ม PP และ PP30Si ถูกใช้พื้นผิวสำหรับการเคลือบด้วย MTES ดังนั้นลักษณะเฉพาะของพื้นผิวของตัวอย่างการทำการเคลือบผิวจะถูกตรวจสอบด้วย ATR-FTIR โดย ATR-FTIR สเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่า ฟิล์ม PP30Si จะปรากฏตำแหน่งของ Silica peak คือ Si-O-Si และ Si-O-H ที่  $1104$  และ  $807\text{ cm}^{-1}$  นั้นหมายถึงปรากฏอนุภาคซิลิกาบนผิว PP หลังจากมีการดั่งยัดฟิล์ม



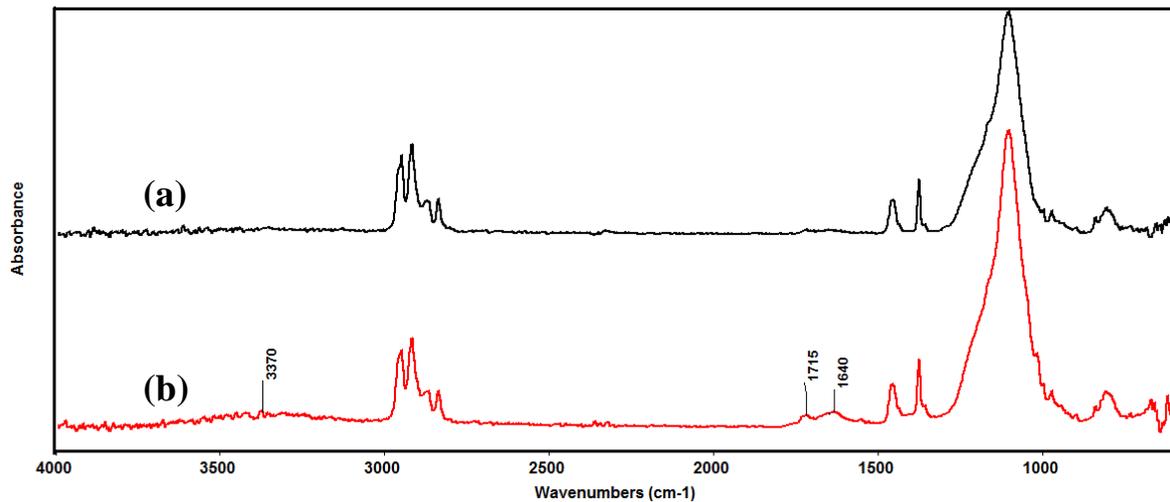
รูปที่ 4.3 ATR-FTIR spectra of PP30Si (a) และ PP (b)

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ก่อนการเคลือบพื้นผิวฟิล์ม PP และ PP30Si ด้วย MTES จะมีการเพิ่มการยึดติด โดยการปรับผิวด้วย วิธี corona treatment และทำการรองพื้นด้วย primer ก่อนทำการเคลือบ ซึ่งผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวฟิล์มหลังการทำ corona treatment บนผิวฟิล์ม PP และ PP30Si แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ATR-FTIR สเปกตรัมของแต่ละฟิล์ม PP ทั้งก่อนและหลังการทำ corona treatment แสดงดังรูปที่ 4.4 ซึ่งพบว่า หลังจากมีการทำ corona treatment จะพบว่ามีปรากฏของ carbonyl peaks บนผิวของ PP ที่ผ่านการทำโคโรนา จากรูปพบว่า มีการปรากฏของ peak C=O และ C=C ที่  $1728\text{ cm}^{-1}$  และ  $1640\text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการทำ corona treatment จะทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันของกลุ่มออกซิเจน (oxygen containing functional groups) อยู่บนผิวของตัวอย่างที่ปรับสภาพผิวด้วย corona เช่นเดียวกับกับ ฟิล์ม PP30Si ที่ผ่านการทำ corona treatment จะพบว่า หลังทำ corona treatment เกิดพีคของ oxygen containing functional groups ที่  $1715$  และ  $1640\text{ cm}^{-1}$  หมายถึง ตำแหน่งของ C=O stretching และ C=C stretching ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่ามี broad band peak ของ hydroxyl groups ที่  $3370\text{ cm}^{-1}$  แสดงดังรูปที่ 4.5 นั้นแสดงให้เห็นว่าหลังการทำ corona treatment จะก่อให้เกิดหมู่ oxygen containing functional groups ต่างๆ บนพื้นผิว ซึ่งในงานวิจัยคาดหวังว่าการที่มีหมู่ oxygen containing functional groups ต่างๆ บนพื้นผิวจะเป็นการเพิ่มตำแหน่งของหมู่ที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของสารรองพื้น (primer) ซึ่งคือ aminopropyl triethoxysilane หรือ amino silane ที่ถูกใช้เป็น primer ในการศึกษา ซึ่งคาดว่าจะช่วยให้ช่วยทำให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้น



รูปที่ 4.4 ATR-FTIR spectra of PP (a) และ corona treated PP (b)

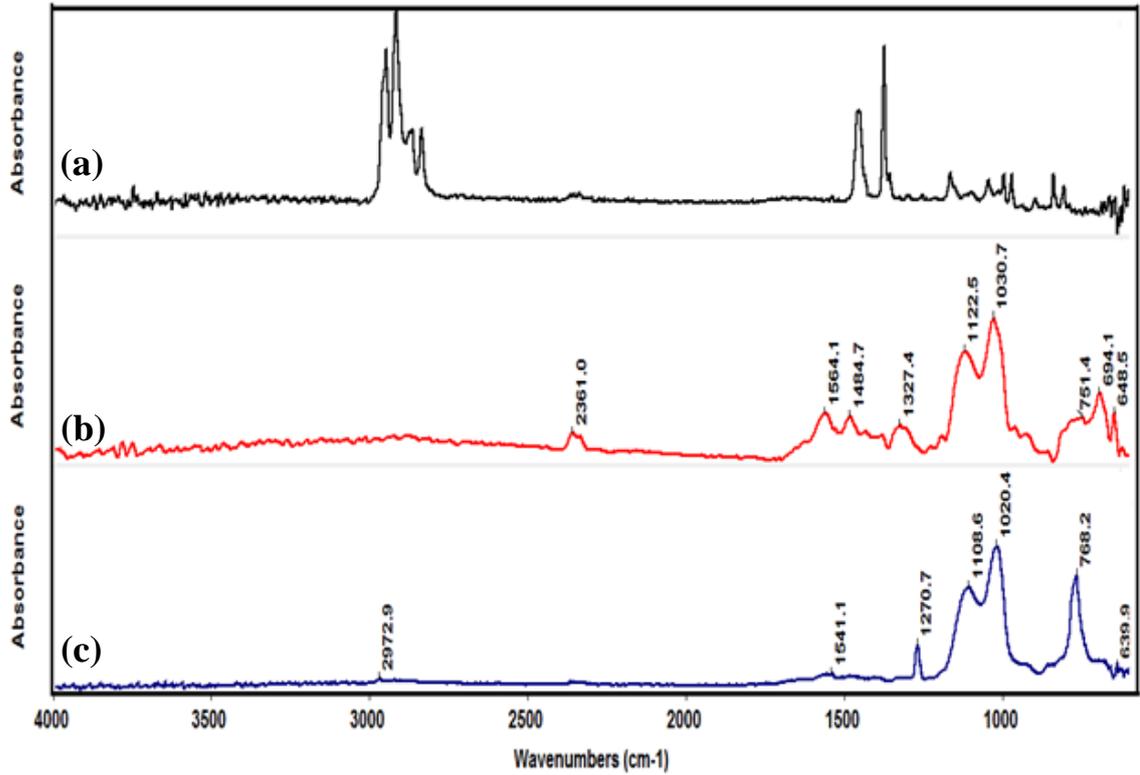


รูปที่ 4.5 ATR-FTIR spectra of PP30Si (a) และ corona treated PP30Si (b)

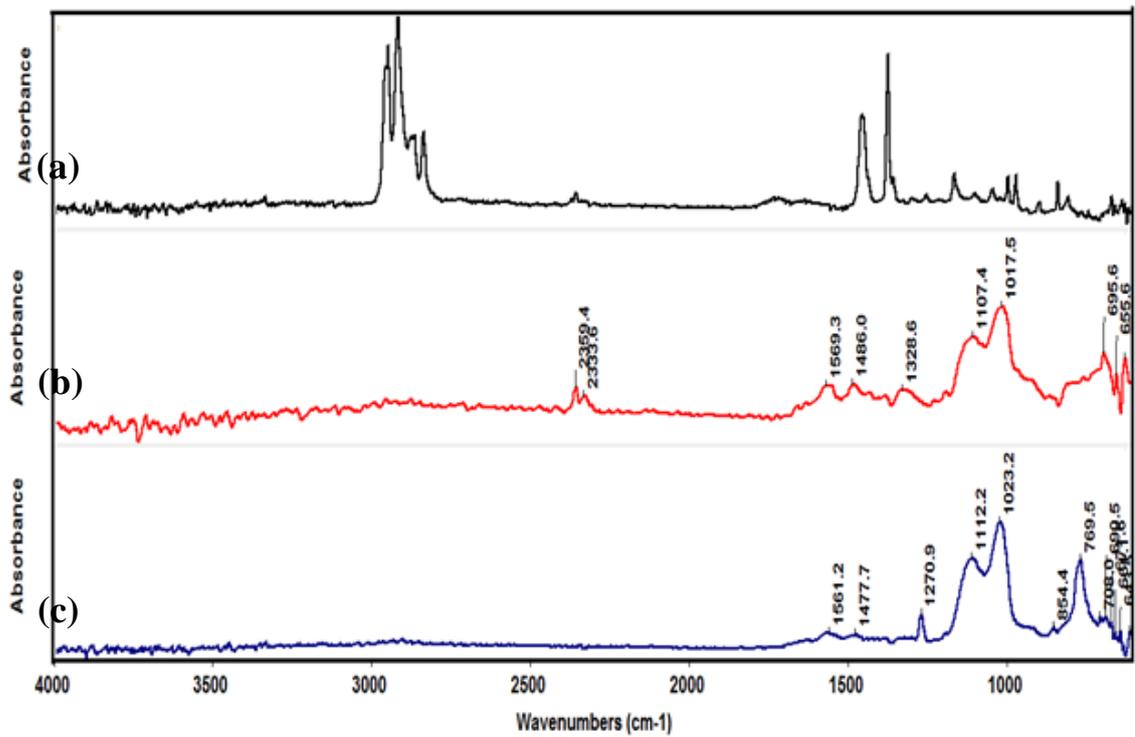
จากนั้นฟิล์ม PP และ PP30Si ทั้งที่ผ่าน (corona treated) และไม่ผ่านการทำ corona treatment (untreated) จะถูกนำไปปรับผิวด้วยสารรองพื้น (amino silane) และจึงนำมาทำการเคลือบด้วยซิลิกาที่ไม่ชอบน้ำ (MTES) อีกชั้น โดยพื้นผิวของฟิล์มที่ผ่านแต่ละขั้นตอนจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของพื้นผิวฟิล์มทั้งหลังการปรับผิวด้วยสารรองพื้น และการเคลือบด้วย MTES

ATR-FTIR สเปกตรัมของแต่ละฟิล์ม PP ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการทำ corona treatment แล้วนำมาปรับผิวด้วย amino silane และการเคลือบด้วย MTES แสดงดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ จาก รูปที่ 4.6 (b) แสดงสเปกตรัมของ untreated PP-Primer ซึ่งแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าบนพื้นผิวมีตำแหน่งของ peak amide I และ amide II ที่  $1564$  และ  $1484$   $\text{cm}^{-1}$  ตามลำดับ นอกจากนี้ยังปรากฏมี silica peaks ของ Si-O-Si และ Si-O-C ที่  $1122$  และ  $1030$   $\text{cm}^{-1}$  ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าบนพื้นผิวมี amino silane อยู่จริง นอกจากนี้สำหรับสเปกตรัมของ untreated PP-primer-MTES (รูปที่ 4.6(c)) จะเห็น peak ของ Si-CH<sub>3</sub> ได้ชัดเจนที่  $1270$   $\text{cm}^{-1}$  ตามด้วยพีคของ Si-O-Si และ Si-O-C ที่ช่วง  $1108$ - $1020$   $\text{cm}^{-1}$

รูปที่ 4.7 แสดง ATR-FTIR สเปกตรัมของ corona treated PP series จะเห็นได้ว่า สเปกตรัมของฟิล์มนี้ที่มีการปรับผิวด้วย amino silane และการเคลือบด้วย MTES รูปที่ 4.7 (b) และ (c) จะมีสเปกตรัมที่เหมือนกับผลที่ได้จาก untreated PP series รูปที่ 4.6 (b) และ (c) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเทคนิค ATR-FTIR เป็นการตรวจลักษณะผิวชั้นนอกสุดของ primer คือการเคลือบ amino silane และชั้นนอกสุดของ MTES คือการเคลือบซิลิกา ดังนั้นส่วนประกอบของเคมีที่ตรวจสอบได้จึงเหมือนกัน



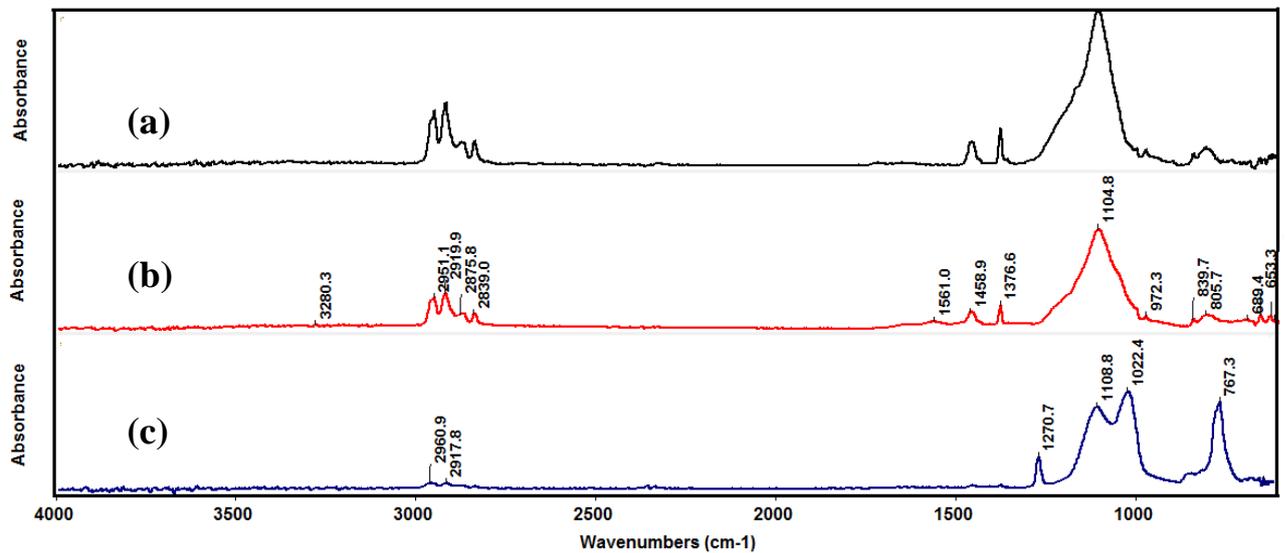
រូប ៤.៦ ATR-FTIR spectra of PP (a), untreated PP-primer (b) and untreated PP-primer-MTES (c)



រូប ៤.៧ ATR-FTIR spectra of corona treated PP (a), corona PP-primer (b) and corona PP-primer-MTES (c)

ส่วน ATR-FTIR สเปกตรัมของแต่ละฟิล์ม PP30Si ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการทำ corona treatment แล้ว นำมาปรับผิวด้วย amino silane และการเคลือบด้วย MTES แสดงดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ตามลำดับ

โดยพบว่า รูปที่ 4.8(b) แสดงสเปกตรัมของ untreated PP30Si-Primer ซึ่งแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าบนพื้นผิวมีตำแหน่งของ peak amide I และ amide II ที่ 1551 และ 1458  $\text{cm}^{-1}$  ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจะมีพีคสูงสุดของ Si-O-Si ที่ 1104  $\text{cm}^{-1}$  อยู่ในสเปกตรัมของ PP30Si ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากชั้นบางๆของการเคลือบ Primer ดังนั้นสัญญาณ IR ของ PP30Si ถูกตรวจพบได้ในตัวอย่างนี้ สำหรับ untreated PP30Si-primer-MTES ในรูปที่ 4.8 (c) จะพบเฉพาะสเปกตรัมของ MTES เท่านั้น สิ่งนี้หมายถึงผิวของ PP30Si ถูกเคลือบด้วยชั้นที่หนาของ MTES รูปที่ 4.9 เป็น ATR-FTIR ของ corona treated PP30Si series จากรูปพบว่า มีแนวโน้มที่เหมือนกับ untreated PP30Si series เพราะว่าชั้นนอกสุดคล้ายคลึงกัน



รูปที่ 4.8 ATR-FTIR spectra of PP30Si (a), untreated PP30Si-primer (b) and untreated PP30Si-primer-MTES (c)

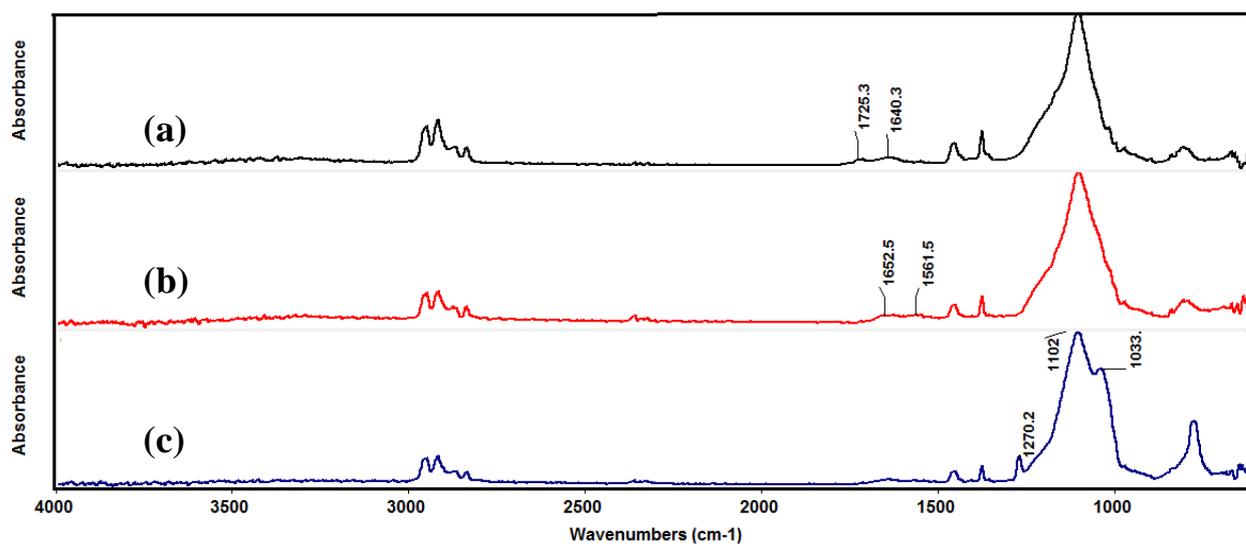
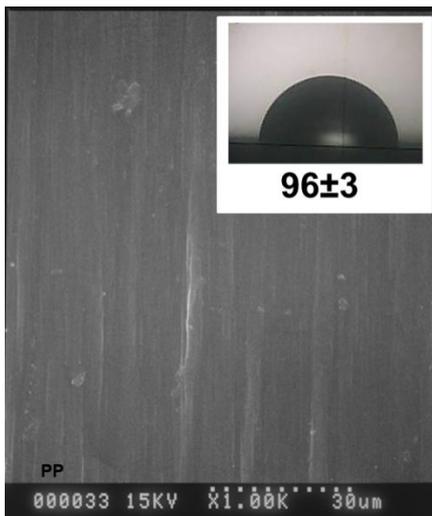


Figure 4.9 ATR-FTIR spectra of corona treated PP30Si (a), corona PP30Si-primer (b) and corona PP30Si-primer-MTES (c)

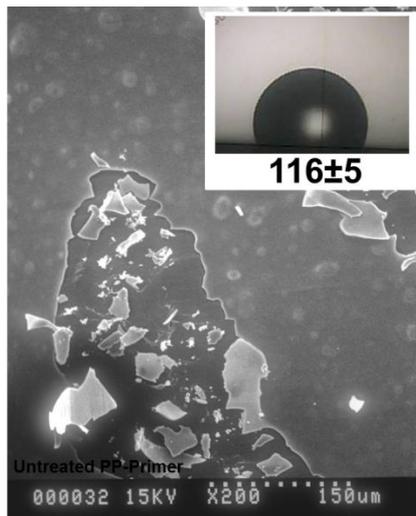
#### 4.2.2 การศึกษาลักษณะทางพื้นผิว และค่ามุมสัมผัสน้ำของพื้นผิวฟิล์ม PP30Si ที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับผิวต่างๆ

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของฟิล์มแต่ละตัวอย่างด้วยเทคนิค SEM พบว่า ลักษณะของพื้นผิวของฟิล์ม PP และ PP30Si ที่ผ่านการปรับผิวด้วยขั้นตอนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของการปรับผิวด้วยเทคนิค corona treatment พบว่า ฟิล์ม PP และ PP30Si ที่ทำการเคลือบด้วยซิลิกา โดยไม่ผ่านกระบวนการปรับผิวด้วย corona treatment จะมีลักษณะการยึดเกาะระหว่างชั้นเคลือบกับพื้นผิวไม่ดีนัก ดังแสดงในรูป ดังรูปที่ 4.10(b) และ (c) และรูปที่ 4.11(b) และ (c) แต่เมื่อพื้นผิวฟิล์ม PP และ PP30Si ผ่านกระบวนการปรับผิวด้วย corona treatment ก่อนทำการเคลือบด้วยซิลิกาจะพบว่าการยึดติดของชั้นเคลือบที่ดี และอนุภาคซิลิกาที่เคลือบลงไปบนพื้นผิวมีการกระจายตัวสม่ำเสมอดี ทั้งนี้เนื่องมาจากการปรับผิวด้วย corona treatment จะทำให้ความขรุขระบนพื้นผิวเพิ่มขึ้น และเกิดหมู่ฟังก์ชันในกลุ่มของที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น  $-OH$ ,  $-COOH$  ขึ้นอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวฟิล์ม โดยหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จะเป็นตำแหน่งที่จะทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของสาร primer (amino silane) ในขั้นตอนของการรองพื้น ดังนั้นจึงจะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ผ่านการทำ corona treatment จะมีพื้นผิวของชั้น primer ที่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4.10 (e) และรูปที่ 4.11 (e) และก็จะทำให้ได้ชั้นเคลือบซิลิกาที่กระจายตัวที่ดี มีความขรุขระสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4.10 (f) และรูปที่ 4.11(f)

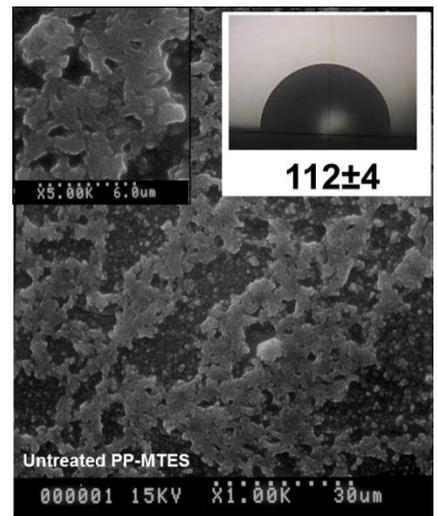
จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การเพิ่มความขรุขระและปรับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวให้มีส่วนประกอบที่ไม่ชอบน้ำ จะทำให้สามารถปรับปรุงความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวฟิล์มได้ ใน รูปที่ 4.10 และ 4.11 ตรงมุมขวาบนของแต่ละรูป จะแสดงตัวอย่างหยดน้ำและค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวเฉลี่ยของพื้นผิวแต่ละชนิด โดยพบว่าฟิล์ม PP และ PP30Si ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย MTES coating ทำให้มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่าสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการปรับผิวด้วย corona treatment และปรับผิวด้วยสาร primer ก่อนจะทำให้ได้ชั้น MTES coating ที่มีการยึดติดที่ดีและมีซิลิกากระจายตัวสม่ำเสมอกว่า จึงพบว่าค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวดังกล่าวมีค่าที่สูงกว่ารูปที่ 4.10 (f) และ 4.11(f) เมื่อเทียบกับ ฟิล์มที่ไม่ได้ทำปรับผิวด้วย corona treatment และปรับผิวด้วยสาร primer ก่อนทำ MTES coating รูปที่ 4.10 (c) และ 4.11(c)



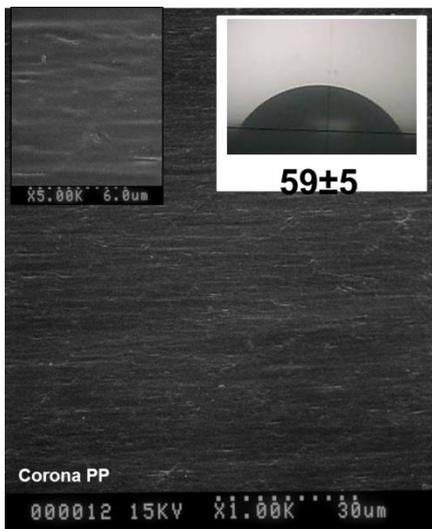
a) Untreated PP



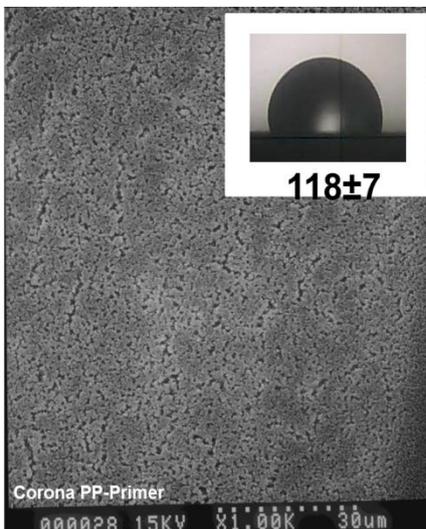
b) Untreated PP-Primer



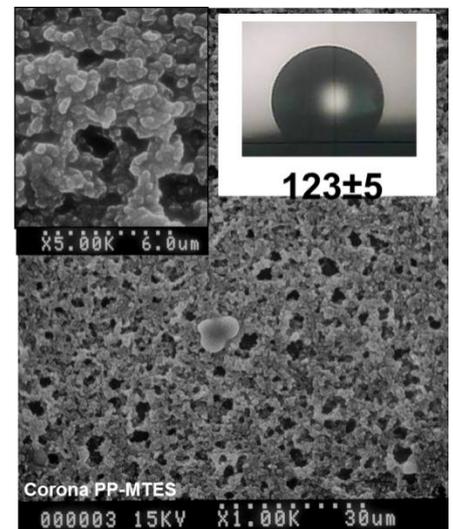
c) Untreated PP-MTES



d) Corona PP

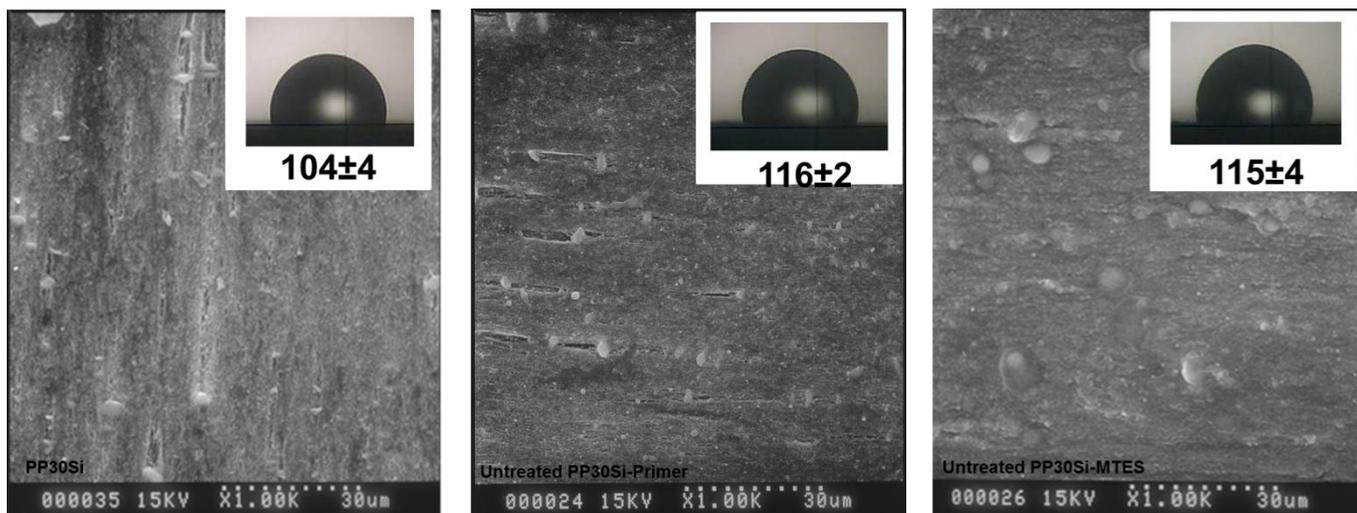


e) Corona PP-Primer



f) Corona PP-MTES

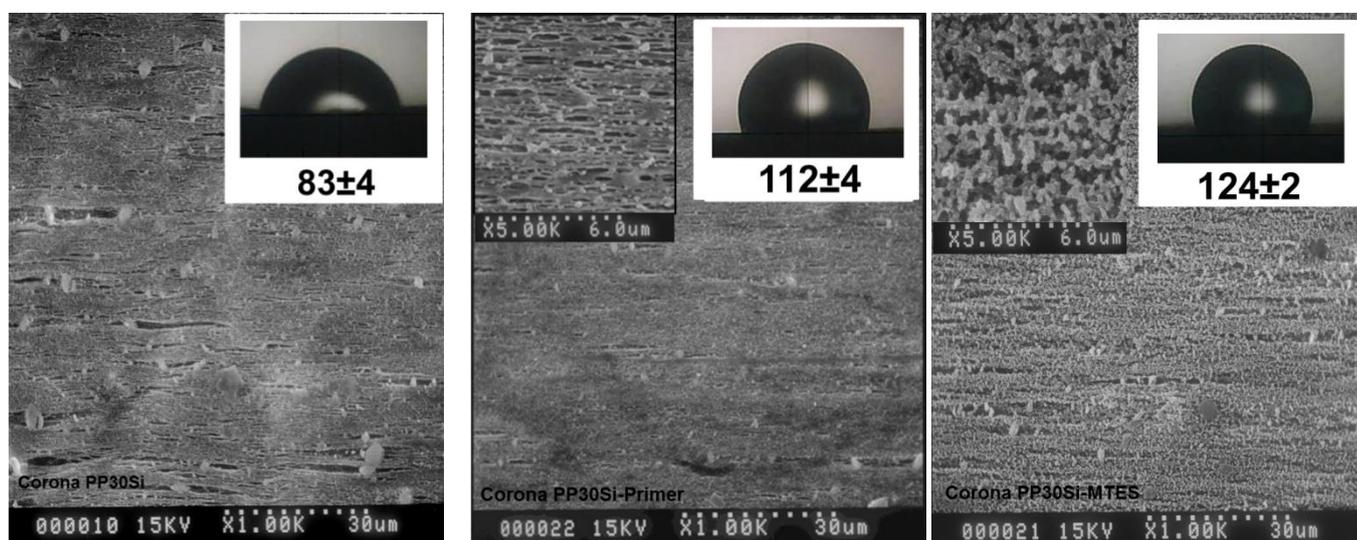
รูปที่ 4.10 ภาพSEM ตัวอย่างหยดน้ำบนผิวฟิล์มและค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวของ PP series; a) Untreated PP, b) Untreated PP-Primer, c) Untreated PP-MTES, d) Corona PP, e) Corona PP-Primer, f) Corona PP-MTES



a) Untreated PP30Si

b) Untreated PP30Si - Primer

c) Untreated PP30Si-MTES



d) Corona PP30Si

e) Corona PP30Si - Primer

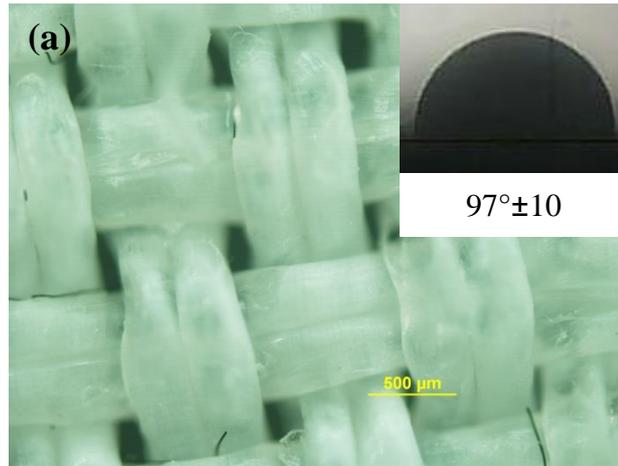
f) Corona PP30Si-MTES

รูปที่ 4.11 ภาพ SEM ตัวอย่างหยดน้ำบนผิวฟิล์มและค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวของ PP30Si series; a) Untreated PP, b) Untreated PP-Primer, c) Untreated PP-MTES, d) Corona PP, e) Corona PP-Primer, f) Corona PP-MTES

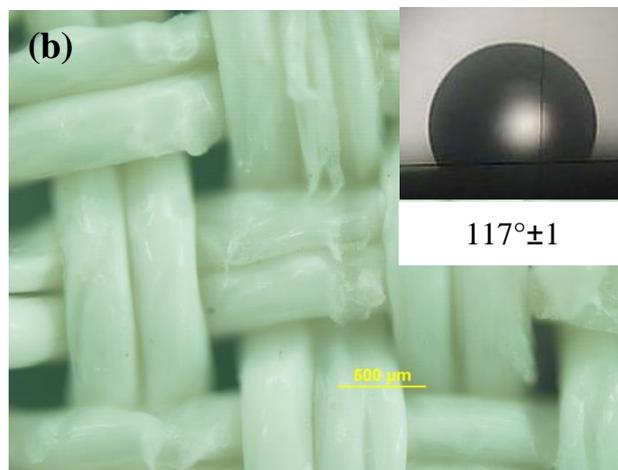
### 4.3 การศึกษาลักษณะทางพื้นผิว และค่ามุมสัมผัสน้ำของพื้นผิวผื่นทอจากเส้นใย PP30Si ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย MTES

จากการศึกษาข้างต้น ทำให้ทราบว่า สมบัติความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการเพิ่มระดับความขรุขระบนพื้นผิวร่วมกับการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีบนพื้นผิวของฟิล์ม จากแนวคิดข้างต้นจึงนำมาสู่แนวทางการพัฒนาเพื่อนำไปต่อยอดในอุตสาหกรรมเส้นใย ในขั้นตอนนี้ วัสดุ PP-Si จึงนำไปขึ้นรูปเป็นเส้นใยแล้วนำมาทอเป็นผืน แล้วนำไปทำเคลือบผิวด้วยซิลิกาต่อไป อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการศึกษาในขั้นตอนนี้คือไม่สามารถขึ้นรูปเส้นใยคอมพอสิตที่มีสัดส่วนซิลิกา 30% ได้ จึงจำเป็นต้องลดปริมาณซิลิกาเหลือเพียง 15% เท่านั้น นำมาทอเป็นผืนคอมพอสิต PP15Si จากนั้นจึงนำไปทำเคลือบผิวด้วยซิลิกา

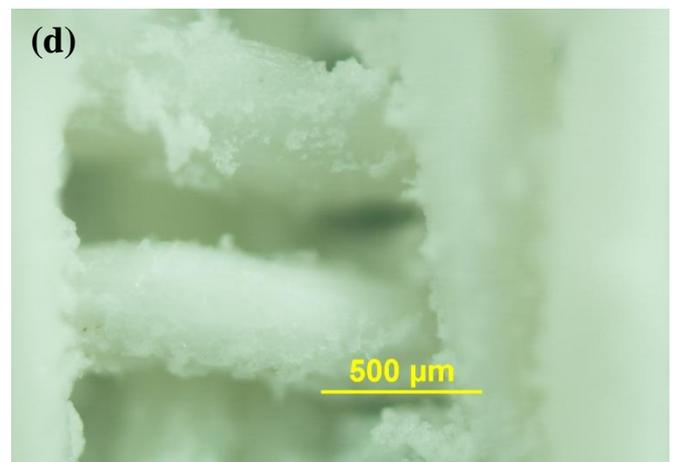
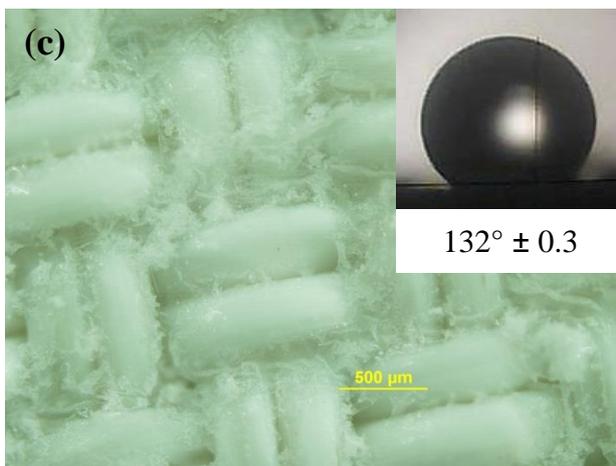
ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวของผ้าทอชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.12 จากรูปผืนผ้าทอจากเส้นใย PP และ PP15Si จะพบว่าเมื่อเกิดจากการทอปรากฏอยู่ และพบว่าค่ามุมสัมผัสของผืนทอจากเส้นใย PP มีค่า 97° ผืนทอที่ได้จากการใช้เส้นใย PP15Si มีค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้น ถึง 117° ค่ามุมสัมผัสที่เพิ่มขึ้นนี้น่าจะเกิดจากการที่พื้นผิวเส้นใยมีความขรุขระจากอนุภาคซิลิกาจึงทำให้มีค่ามุมสัมผัสสูงกว่าผ้าทอจากเส้นใย PP และเมื่อมีการปรับสภาพพื้นผิวของผืนผ้าทอเส้นใย PP15Si โดยการเคลือบผิวด้วย MTES พบว่า ค่ามุมสัมผัสของน้ำกับพื้นผิวผ้าทอนี้ได้มีค่าสูงสุดถึง 132° ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผ้าทอที่ได้มีลักษณะไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งเป็นผลมาจากความขรุขระบนพื้นผิวผืนผ้าทอดังกล่าวร่วมกับการเคลือบด้วยซิลิกาที่ไม่ชอบน้ำบนพื้นผิวของผ้า โดยจะสังเกตจากรูปที่ 4.12 (c) และ (d) ว่า เมื่อมีการเคลือบผิวผืนผ้าทอเส้นใย PP15Si ด้วย MTES พบว่า มีการเคลือบของอนุภาค MTES ที่ไม่ชอบน้ำอยู่ครอบคลุมกระจายทั่วทั้งผืนทอ มีการเกาะติดของอนุภาคดังกล่าวทั้งบริเวณพื้นผิวเส้นใยรูปที่ 4.12 (d) และตรงรอยต่อของการทอรูปที่ 4.12 (c) ทำให้ความขรุขระเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผืนทอที่ผ่านการเคลือบนี้ก็ยังคงมีความพรุนมากพอที่จะให้อากาศเคลื่อนที่เข้าออกได้ ดังนั้นถือว่าวัสดุดังกล่าวนี้เป็นชิ้นงานต้นแบบสำหรับเป็นแนวทางที่จะพัฒนาผืนผ้าทอกันน้ำที่สามารถระบายอากาศออกได้



ผ้าทอจากเส้นใยพอลิพรอพิลีน



ผ้าทอจากเส้นใยคอมโพลีพอลิพรอพิลีนและซิลิกา (PP15Si)



ผ้าทอจากเส้นใยคอมโพลีพอลิพรอพิลีนและซิลิกา (PP15Si) แล้วทำการเคลือบผิวด้วย MTES

รูปที่ 4.12 คำนวณสัมประสิทธิ์ระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวของผ้าทอ

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่า งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาฟิล์มพอลิพรอพิลีน ให้เป็นฟิล์มที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นจนเทียบเท่าได้กับการใช้สารฟลูออรีโรรอบอนที่มีราคาสูง[30] เป็นตัวเคลือบ รวมถึงกระบวนการที่ใช้ไม่ยุ่งยาก และสารเคมีที่ใช้ก็ไม่มีราคาแพง แนวทางในการพัฒนาความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวฟิล์ม อาศัยหลักการเพิ่มความขรุขระบนพื้นผิวด้วยการเติมอนุภาคในพอลิพรอพิลีน แล้วทำการดิ่งเพื่อเพิ่มความขรุขระของพื้นผิว นอกจากนี้ยังทำการเคลือบผิวด้วยซิลิกาที่ไม่ชอบน้ำ โดยสังเคราะห์ได้จากกระบวนการ sol gel ทำให้ได้อนุภาคซิลิกากระจายอยู่เต็มบริเวณพื้นผิวฟิล์ม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความขรุขระ ปรับองค์ประกอบทางเคมีบริเวณที่พื้นผิวด้วยซิลิกาที่ไม่ชอบน้ำ จึงทำให้พื้นผิวฟิล์มนี้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งก็เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาเพื่อเตรียมเป็นผืนผ้าทอจากเส้นใยพอลิพรอพิลีนต้นแบบ ซึ่งพบว่าแนวทางดังกล่าวสามารถทำให้พื้นผิวของผ้าทอมีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่ยังคงสามารถระบายอากาศได้ ซึ่งนับว่างานวิจัยนี้ทำให้ได้แนวทางการเตรียมเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ไม่ชอบน้ำสำหรับผลิตผ้ากันน้ำที่ระบายอากาศได้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

## บรรณานุกรม

- [1] J. Rottstegge (Y. K. Qiao), X. Zhang, Y. Zhou, D. Xu, C. C. Han, and D. Wang “Polymer Nanocomposite Powders and Melt Spun Fibers Filled with Silica Nanoparticles” *J. Appl. Polym. Sci.* 103 (2007) 218–227.
- [2] W. Liu, X. Tian, P. Cui, Y. Li, K. Zheng, and Y. Yang “Preparation and Characterization of PET/Silica Nanocomposites” *J. Appl. Polym. Sci.* 91 (2004) 1229–1232.
- [3] H. Zheng, and J. Wu “Preparation, Crystallization, and Spinnability of Poly(ethylene terephthalate)/Silica Nanocomposites” *J. Appl. Polym. Sci.* 103 (2007) 2564–2568.
- [4] Polypropylene[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene> (10 สิงหาคม 2556)
- [5] Typical engineering properties of polypropylene [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.ineos.com/Global/Olefins%20and%20Polymers%20USA/Products/Technical%20information/Engineering%20Properties%20of%20PP.pdf> (10 สิงหาคม 2556)
- [6] Sen, A.K., Coated Textiles: Principles and Applications, Technomic Publishing Company Inc., Lancaster, pp. (2001)
- [7] S. S. Chaudhari, R.S. Chitnis and R. Ramkrishnan, “Waterproof Breathable Fabrics: New Technologies for Greater Comfort” [http://www.researchandmarkets.com/reports/605550/waterproof\\_breathable\\_fabrics\\_new.pdf](http://www.researchandmarkets.com/reports/605550/waterproof_breathable_fabrics_new.pdf) (accessed: 20 June 2012).
- [8] Y. K. Kang, C. H. Park, J. Kim and T. J. Kang, “Application of electrospun polyurethane web to breathable water-proof fabrics” *Fiber Polym.* DOI: 10.1007/BF02875881.
- [9] A.P.S. Sawhney, B Condon, K. V. Singh, S.S. Pang and G. L. D. Hui, “Modern Applications of Nanotechnology in Textiles” *Text. Res. J.* 78 (2008) 731-739.
- [10] J. Bekesi, J.J.J. Kaakkunen ·W. Michaeli, F. Klaiber, M. Schoengart, J. Ihlemann and P. Simon, “Fast fabrication of super-hydrophobic surfaces on polypropylene by replication of short-pulse laser structured molds” *Appl. Phys.* A99(2010) 691–695.
- [11] H.Y. Erbil, A.L. Demirel, Y. Avci and O. Mert, “Transformation of a Simple Plastic into a Superhydrophobic Surface” *Science*, DOI: 10.1126/science.1078365.
- [12] Deng, B., Cai, R., Yu, Y., Jiang, H., Wang, C., Li, J., Li, L., Yu, M., Li, J., Xie, L., Huang, Q., and Fan, C. Laundering Durability of Superhydrophobic Cotton Fabric, *Advanced Materials* 22 (48) , pp. 5473-5477 (2010).

- [13] Bongiovanni, R., Zeno, E., Pollicino, A., Serafini, P.M., Tonelli, C., UV light-induced grafting of fluorinated monomer onto cellulose sheets, *Cellulose* 18 (1) , pp. 117-126 (2011)
- [14] lotus effect [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
:http://www.nectec.or.th/info/posters/archives/pdf/Eco/RDE3e.pdf (21 สิงหาคม 2556)
- [15] B. Bhushan and Y. C. Jung, “Wetting study of patterned surfaces for superhydrophobicity” *Ultramicroscopy* 107 (2007) 1033–1041.
- [16] D. Ebert and B. Bhushan “Durable Lotus-effect surfaces with hierarchical structure using micro- and nanosized hydrophobic silica particle” *J. Colloid Interf. Sci* 368 (2012) 584–591.
- [17] P. Forbes, “Lotus effect Self-Cleaning Materials: Lotus Leaf-Inspired Nanotechnology”  
<http://insurftech.com/docs/links/Related-Papers/Article-1-Scientific-American-Self-Cleaning-Materials-Lotus-Effect.pdf> (accessed 20 June 2012).
- [18] E. Martines, K. Seunarine, H. Morgan, N. Gadegaard, C. D. W. Wilkinson and M. O. Riehle, “Superhydrophobicity and Superhydrophilicity of Regular Nanopatterns” *Nano Lett.* 5 (2005) 2097–2103.
- [19] B. Bhushan, M. Nosonovsky and Y. C. Jung, “Towards optimization of patterned superhydrophobic surfaces” *J. R. Soc. Interface* 4 (2007) 643–648.
- [20] G. Londe, A. Chunder, L. Zhai and H. J. Cho, “An analytical model for the wettability switching characteristic of a nanostructured thermoresponsive surface” *Appl. Phys. Lett.* 94 (2009) 164104.
- [21] C. Yang, U. Tartaglino and B. N. J. Persson, “Influence of Surface Roughness on Superhydrophobicity” *PRL* 97 (2006) 116103
- [22] W. Chen, A. Y. Fadeev, M. C. Hsieh, D. Oner, J. Youngblood and T. J. McCarthy, “Ultrahydrophobic and Ultralyophobic Surfaces: Some Comments and Examples” *Langmuir* 15 (1999) 3395–3399.
- [24] C. Su, “A simple and cost-effective method for fabricating lotus-effect composite coatings” *J. Coat. Technol. Res.* DOI: 10.1007/s11998-009-9230-0.
- [25] C. Su, “Facile fabrication of a lotus-effect composite coating via wrapping silica with polyurethane” *Appl. Surf. Sci.* 256 (2010) 2122–2127.
- [26] H. Hou and Y. Chen, “Preparation of super-hydrophobic silica films with visible light transmission using phase separation” *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 43 (2007) 53–57.
- [27] J. R. Klein, P. M. Biesheuvel, B. C. Yu, C. D. Meinhart and F. F. Lange, “Producing Super-Hydrophobic Surfaces with Nano-Silica Spheres” *Inter. J. Mater. Res.* 94 (2003) 377–380.

[28] S. Panumati, "Effect of organoclay on internal morphology and mechanical properties of highly drawn polyethylene/organoclay composite". Master degree of science. NakhornPathom: 2009.]

[29] A. Peled , S. Sueki , B. Mobasher, "Bonding in fabric–cement systems: Effects of fabrication methods" *Cem. Concr. Res.* 36 (2006) 1661–1671.

[30] ผ้าสะท้อนน้ำ[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: [http://www.thaitextile.org/tdc/?page\\_id=541](http://www.thaitextile.org/tdc/?page_id=541)

(21 สิงหาคม 2556)