

การเตรียมสารเคลือบผิวกระดาษระดับนาโนจากพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์

นางสาวภาสินี โนนีวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF POLYLACTIDE/MONTMORILLONITE NANOCOATING FOR PAPER

Miss Pasinee Noreewon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Pulp and Paper Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมสารเคลือบผิวกระดาษระดับนาโนจากพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์
โดย	นางสาวภาสินี โฉมสุวรรณ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สิริวรรณ พัฒนาฤดี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ดร.กุนทีนี้ สุวรรณกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.สิริวรรณ พัฒนาฤดี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปดี)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.โสภี สงวนนดีกุล)

ภาสินี โนรีวรรณ : การเตรียมสารเคลือบผิวกระดาษระดับนาโนจากพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์. (PREPARATION OF POLYLACTIDE/MONTMORILLONITE NANOCOATING FOR PAPER)
อ. ที่ปรึกษา : ดร. สิริวรรณ พัฒนาฤดี, 108 หน้า.

งานวิจัยนี้เตรียมสารเคลือบผิวกระดาษจากวัสดุชีวภาพ คือพอลิแลกไทด์เรซิน (PLA) ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดดัดแปร (Cloisite 15A) เตรียมที่อัตราส่วนของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ 3%, 6% และ 9% โดยน้ำหนัก และศึกษาผลของการเติมพลาสติกไซเซอรต์ต่อสารเคลือบผิวโดยใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่น้ำหนักโมเลกุล 1,000 กรัมต่อโมล เติมที่ 5%, 10% และ 15% โดยน้ำหนัก การเคลือบผิวทำด้วยวิธี Solvent casting ใช้ไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลาย ทำการเคลือบลงบนผิวหน้ากระดาษ โดยใช้แท่งเคลือบ K bar ที่มีความหนาขณะเปียก 40, 80 และ 120 ไมครอน และนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ของกระดาษหลังเคลือบผิว เช่น น้ำหนักของสารเคลือบ สัณฐานวิทยาของกระดาษหลังเคลือบผิว ความขาวสว่าง ความมันวาว ความแข็งแรงต่อแรงดึงและแรงดันทะลุ สภาพให้อากาศซึมได้ การดูดซึมน้ำ การถอนผิวกระดาษ และมุมสัมผัสของน้ำบนกระดาษหลังเคลือบผิว ผลพบว่าสารเคลือบผิวผสมมอนต์มอริลโลไนต์มีสมบัติการขวางกั้นอากาศและการกั้นการดูดซึมน้ำเข้าผิวกระดาษที่ดีมาก เมื่อผสมในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติดังกล่าวดีขึ้นตามลำดับ ความมันวาวของกระดาษหลังเคลือบผิวมีเพิ่มมากขึ้น สารเคลือบผิวสามารถยึดกับกระดาษได้ดีมาก ไม่เกิดการถอนผิวของกระดาษ จากการตรวจวัดสมบัติของผิวหน้าสารเคลือบพบว่ามีความไม่ชอบน้ำ การเติม PEG ลงในสารเคลือบผิวผสมมอนต์มอริลโลไนต์ ผลพบว่าที่การเติม 5% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้สารเคลือบผิวผสมมอนต์มอริลโลไนต์มีความเงาสูงสุด นอกจากนี้การเติม PEG ช่วยปรับให้ผิวหน้าสารเคลือบมีความชอบน้ำเพิ่มขึ้นด้วย จากการตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์พบว่าแผ่นฟิล์มมีความเป็นผลึก (Crystallinity) เกิดขึ้น จากภาพถ่าย TEM แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเกิด Intercalation และการเกิด Exfoliation บางส่วน ผลการทดสอบการทนต่อความร้อนของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์พบว่าแผ่นฟิล์มมี Onset temperature สูงขึ้นประมาณ 10°C เมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ที่ไม่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์

สาขาวิชา เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ
ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4972435123 : MAJOR Pulp and Paper Technology

KEY WORD: POLYLACTIDE/MONTMORILLONITE/NANOCOMPOSITE/PAPER COATING

PASINEE NOREEWON : PREPARATION OF POLYLACTIDE/MONTMORILLONITE NANOCOATING FOR PAPER. THESIS ADVISOR : SIRIWAN PHATTANARUDEE, Ph. D, 108 pp.

Preparation of nanocoating for paper based on polylactide, a biodegradable polymer, and modified montmorillonite (Cloisite 15A) was studied. Montmorillonite was added at 3%, 6%, and 9% by wt. Effect of plasticizer on film flexibility was also investigated at 5%, 10%, and 15% (by wt) by adding poly(ethylene glycol) (MW 1,000 g/mol). Film coating was done by solvent casting technique in which dichloromethane was used as a solvent. Film thickness was controlled at 40, 80, and 120 microns (wet film thickness) using K bar. After that, the coated paper was dried at 80 °C for 20 min, and later characterized in terms of coating weight, morphology of coated paper, brightness, gloss, tensile and burst strength, air permeability, Cobb and picking tests, and water contact angle. It was found that the barrier properties, such as air permeability and water absorption, were much improved by adding montmorillonite in which increasing the amount was further enhanced the properties. The coated paper gained more smoothness due to better surface coverage and porosity reduction in the paper. As a result, gloss of the coated paper was also increased. The coating strongly adhered to the paper in which no picking was occurred. From water contact angle measurement, it suggested that the coating surface appeared to be hydrophobic. The coating surface tended to be more hydrophilic when PEG was added. By adding 5% wt of PEG in the mixture resulted in a gloss improvement. It was observed that polylactide could crystallize under the solvent casting condition. TEM micrographs suggested the presence of intercalation and exfoliation in the nanocomposite films, enhancing the onset temperature of such films by 10°C higher than that of the polylactide film.

Field of study: Pulp and Paper Technology Student's signature.....

Academic year: 2008

Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากความเมตตาและความอนุเคราะห์จากหลายๆ ฝ่าย ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สิริวรรณ พัฒนาฤดี อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำให้คำปรึกษา และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์และถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ ดร.กุนทีนี้ สุวรรณกิจ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้ต้นฉบับให้ถูกต้องและสมบูรณ์ครบถ้วน

ขอขอบพระคุณ ดร.ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปดี ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้ต้นฉบับจนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.โสภี สงวนดีกุล ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้ต้นฉบับจนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ให้เงินทุนอุดหนุนสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ฟินิกซ์ พัลพ แอนด์ เพเพอร์ จำกัด (มหาชน) ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เยื่อกระดาษยูคาลิปตัส เพื่อใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณบุคลากรทุกๆ ท่านในภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเสมอมาตลอดการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ สำหรับทำงานวิจัยนี้

นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนในสาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ น้อง และ ครอบครัวที่ให้กำลังใจเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.1.1 จุดประสงค์ในการเคลือบผิวและโครงสร้างของสารเคลือบผิว.....	4
2.1.1.1 จุดประสงค์ในการเคลือบกระดาษ.....	4
2.1.1.2 โครงสร้างสารเคลือบกระดาษ.....	4
2.1.2 วิธีการเคลือบผิวกระดาษ.....	7
2.1.3 ผลของสารเคลือบกระดาษที่มีต่อสมบัติกระดาษ.....	8
2.1.4 พอลิแลกติกแอซิด.....	8
2.1.5 แร่ดิน.....	11
2.1.6 ดินเบนโทไนท์.....	15
2.1.7 มอนต์มอริลโลไนต์.....	15
2.1.8 วัสดุนาโนคอมพอสิต.....	17
2.1.9 พอลิเอทิลีนไกลคอล.....	20
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21

3. วิธีการดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 สารเคมี.....	24
3.2 เครื่องมือ.....	25
3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	27
3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมกระดาษ.....	27
3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบกระดาษ.....	28
3.3.3 การเคลือบกระดาษและการทดสอบสมบัติต่างๆ ของกระดาษ หลังเคลือบผิว.....	29
3.3.4 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มจากสารเคลือบและ การทดสอบสมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์ม.....	29
3.4 วิธีการทดสอบกระดาษ.....	30
3.5 วิธีการทดสอบแผ่นฟิล์ม.....	34
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	38
4.1 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว.....	38
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว.....	38
4.1.2 น้ำหนักของสารเคลือบกระดาษ.....	49
4.1.3 ความขาวสว่างของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ.....	50
4.1.4 ความทึบแสงของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ.....	51
4.1.5 ความเรียบของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ.....	52
4.1.6 ความมันวาวของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ.....	53
4.1.7 สภาพใให้อากาศซึมผ่านได้ของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ.....	58
4.1.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ.....	61
4.1.9 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษ.....	66
4.1.10 การถอนผิวกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยวิธี Wax pick.....	70
4.1.11 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษ.....	71
4.1.12 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษก่อน และหลังเคลือบ.....	71

4.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงความร้อน ของสารเคลือบผิวและแผ่นฟิล์มของสารเคลือบผิว.....	76
4.2.1 ความหนืดของสารเคลือบผิว.....	76
4.2.2 ภาพถ่าย TEM ของแผ่นฟิล์ม.....	77
4.2.3 ความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิค XRD.....	78
4.2.4 สมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิค TGA.....	84
4.2.5 ความขุ่นของแผ่นฟิล์ม (Haze).....	87
5. สรุปผลการทดลอง.....	88
รายการอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	94
ภาคผนวก ข.....	100
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	108

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของสารเคลือบกระดาษหลังเคลือบที่เตรียมจาก PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (by wt) ที่ความหนาขณะเปียกของชั้นสารเคลือบแตกต่างกัน.....	49
ตารางที่ 4.2 ความขาวสว่างของกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบPLA ที่เตรียมจากอัตราส่วนของ MMT (Cloisite 15A) และ PEG (by wt) ที่ต่างกัน ที่ความหนาขณะเปียกของชั้นสารเคลือบแตกต่างกัน.....	50
ตารางที่ 4.3 ความทึบแสงของกระดาษหลังเคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมขึ้นจากของผสมระหว่าง PLA MMT และ PEG ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	51
ตารางที่ 4.4 ความเรียบของกระดาษหลังเคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมจากอัตราส่วนของ PLA MMT (Cloisite 15A) และ PEG (by wt) ที่ต่างกัน ที่ความหนาขณะเปียกของชั้นสารเคลือบแตกต่างกัน.....	53
ตารางที่ 4.5 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวที่ความหนา 80 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) ณ เวลาการวัดที่ต่างกัน.....	66
ตารางที่ 4.6 การถอนผิวกระดาษก่อนเคลือบด้วยวิธี Wax pick.....	70
ตารางที่ 4.7 การถอนผิวกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วยวิธี Wax pick.....	70
ตารางที่ 4.8 2θ ของโครงสร้างผลึกในแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ชนิดต่างๆ.....	83
ตารางที่ 4.9 2θ และระยะห่างระหว่างชั้นของซิลิกาในมอนอ์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ชนิดอบแห้งและที่กระจายในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน และแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ชนิดต่างๆ.....	84

ตารางที่ 4.10 2θ ของโครงสร้างผลึกเซดลูโลสในกระดาษก่อนเคลือบผิว.....	84
และหลังเคลือบผิว	
ตารางที่ 4.11 Onset temperature และอุณหภูมิที่น้ำหนักของตัวอย่าง.....	86
ลดไป 50% (T_{50})	
ตารางที่ 4.12 Haze ของแผ่นฟิล์มต่างๆ ที่ความหนา 50 ไมครอน.....	87

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลกติกแอซิด.....	9
รูปที่ 2.2 วงจรวัฏจักรของพอลิแลกติกแอซิด.....	10
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์.....	16
รูปที่ 2.4 การยึดกันระหว่างชั้นของดินกับประจุบวกที่อยู่ระหว่างชั้นของดิน.....	17
รูปที่ 2.5 ชนิดของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต.....	19
รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของ PEG.....	21
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของ Dimethyl, dihydrogenated tallow, quaternary ammonium (HT คือ Hydrogenated Tallow (~65% C18; ~30% C16; ~5% C14)) และโมเลกุลของแอนไอออนคือคลอไรด์ (Chloride).....	24
รูปที่ 3.2 รูปแบบการกระเจิงของแสงเอกซเรย์ในผลึก.....	36
รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของเครื่อง XRD.....	36
รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษก่อนเคลือบผิว.....	38
รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA ที่ความหนาของชั้นสารเคลือบ.....	39
ที่ต่างกัน (ความหนาขณะเปียก) กำลังขยาย 75 เท่า	
รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA + 3% MMT (by wt) (1) ที่ความหนา 40 ไมครอน (2) ที่ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ที่ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) กำลังขยาย 75 เท่า.....	40

รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA + 9%MMT (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) กำลังขยาย 75 เท่า.....	41
รูปที่ 4.5 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA+3%MMT+5%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) กำลังขยาย 75 เท่า.....	42
รูปที่ 4.6 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA+3%MMT+10%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) กำลังขยาย 75 เท่า.....	43
รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA+3%MMT+15%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) กำลังขยาย 75 เท่า.....	44
รูปที่ 4.8 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษหลังเคลือบด้วย (1) PLA+3%MMT (by wt) และ (2) PLA+3%MMT +5%PEG (by wt) ที่ความหนา 80 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) กำลังขยาย 75 เท่า.....	45
รูปที่ 4.9 ภาพตัดขวางของกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วย PLA (by wt) ที่ความหนา ต่างกัน 40 80 และ 120 ไมครอน (1) กระดาษก่อนเคลือบ (2) ที่ความหนา 40 ไมครอน (3) ที่ความหนา 80 ไมครอน และ (4) ที่ความหนา 120 ไมครอน (กำลังขยาย 750 เท่า).....	46
รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายตัดขวางของกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วย (1) กระดาษก่อนเคลือบ (2) ที่ความหนา 40 ไมครอน (3) ที่ความหนา 80 ไมครอน และ (4) ที่ความหนา 120 ไมครอน (กำลังขยาย 750 เท่า).....	48

รูปที่ 4.12 ความเรียบของกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบ ที่เตรียมจาก PLA และ MMT ในอัตราส่วนที่ต่างกัน (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	54
รูปที่ 4.13 ความเรียบของกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมจาก PLA, MMT และ PEG ในอัตราส่วนที่ต่างกัน (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้น สารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	55
รูปที่ 4.14 ความมันวาวของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนา ของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	56
รูปที่ 4.15 ความมันวาวของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับ ความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	57
รูปที่ 4.16 สภาพให้อากาศซึมผ่านได้ของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วน ของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนา ของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	59
รูปที่ 4.17 สภาพให้อากาศซึมผ่านได้ของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มี อัตราส่วนของ PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	60
รูปที่ 4.18 ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วน ของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสาร เคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	62

รูปที่ 4.19 ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	63
รูปที่ 4.20 ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	64
รูปที่ 4.21 ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	65
รูปที่ 4.22 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA และ MMT ในอัตราส่วนที่ต่างกัน ที่ความหนา 80 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)	67
รูปที่ 4.23 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบสารเคลือบ PLA MMT และ PEG ในอัตราส่วนที่ต่างกัน ที่ความหนา 80 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)	68
รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิว PLA (10% wt) ที่ความหนา 80 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) (A) กระดาษก่อนเคลือบผิว (B) PLA (C) 3%MMT (D) 6%MMT (E) 9%MMT (F) PLA+3%MMT+15%PEG (by wt) (ภาพถ่ายที่ 1 วินาที).....	69

รูปที่ 4.25 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	72
รูปที่ 4.25 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	72
รูปที่ 4.26 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	73
รูปที่ 4.27 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA, และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	74
รูปที่ 4.28 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก).....	75
รูปที่ 4.29 ความหนืดของสารเคลือบผิวที่เตรียมจาก PLA และ MMT ในอัตราส่วน 3%, 6% และ 9% (by wt) อุณหภูมิ 25 ° C.....	77
รูปที่ 4.30 ความหนืดของสารเคลือบผิวที่เตรียมจาก PLA, MMT และ PEG ในอัตราส่วน 5%, 10% และ 15% (by wt) อุณหภูมิ 25 ° C.....	77

รูปที่ 4.31 ภาพถ่าย TEM ของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่ 3%	78
รูปที่ 4.32 รูปแบบ XRD ของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์เตรียมด้วยวิธี Solvent casting โดยใช้ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน.....	79
รูปที่ 4.33 รูปแบบ XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่ผ่านการอบ (MMT_dry) และที่กระจายในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (MMT_solvent).....	80
รูปที่ 4.34 รูปแบบ XRD ของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่อัตราส่วนต่างๆ เตรียมด้วยวิธี Solvent casting โดยใช้ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน.....	80
รูปที่ 4.35 รูปแบบ XRD ของแผ่นฟิล์ม PEG เตรียมด้วยวิธี Solvent casting โดยใช้ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน.....	81
รูปที่ 4.36 รูปแบบ XRD ของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) และ PEG เตรียมด้วยวิธี Solvent casting โดยใช้ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน.....	81
รูปที่ 4.37 รูปแบบ XRD ของเซลลูโลสในกระดาษและสารเคลือบผิวจากพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) และ PEG.....	82
รูปที่ 4.38 การทนความร้อนของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ที่ไม่ผสมและที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน.....	85
รูปที่ 4.39 การทนความร้อนของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ที่ไม่ผสมและที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) และ PEG ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน.....	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ได้รับความนิยมในการนำมาใช้เพื่อทดแทนผลิตภัณฑ์จากพลาสติกฐานปิโตรเลียม เพื่อเป็นการลดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม และลดปริมาณขยะพลาสติกที่กำจัดได้ยาก จึงมีความสนใจในการนำกระดาษ ซึ่งผลิตจากเส้นใยเซลลูโลสจากธรรมชาติมาปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นโดยการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวกระดาษ เพื่อให้กระดาษมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน และเป็นการเพิ่มมูลค่า และคุณภาพให้กับบรรจุภัณฑ์กระดาษ ซึ่งสารเคลือบกระดาษส่วนใหญ่ประกอบด้วยพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น เรซิน สารยึด และสารสี เป็นต้น นอกจากนี้สารเคลือบยังสามารถผลิตหรือเตรียมได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์ และพอลิเมอร์ธรรมชาติที่อยู่ในรูปของคอมพอลิเมอร์ และนาโนคอมพอลิเมอร์

ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำวัสดุชีวภาพที่มีความสามารถในการย่อยสลายเองตามธรรมชาติ มาใช้งานร่วมกันในการเตรียมหรือสารเคลือบผิวกระดาษ เพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้เตรียมขึ้นจาก พลาสติกชีวภาพ พอลิแล็กไทด์ (PLA) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากการพอลิเมอไรเซชันของกรดแล็กติกที่ได้จากการหมักของข้าวโพด ชานอ้อย หรือแป้งมันสำปะหลัง มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับนาโนเคลือบ คือ มอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) ชนิดดัดแปร โดยมีการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล Poly(ethylene glycol) เป็นพลาสติกไซเซอร์ เพื่อช่วยให้ฟิล์มของสารเคลือบมีความยืดหยุ่นดีขึ้น โดยทำการเคลือบที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบที่ต่างกัน ศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษหลังเคลือบผิว รวมทั้งสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาอัตราส่วนผสมของพอลิแล็กไทด์เรซินและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ให้สมบัติทางกายภาพของกระดาษหลังเคลือบที่ดี

1.2.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษหลังเคลือบผิว เช่น ความมันวาว ความขาวสว่าง การขวางกันแก๊ส การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงต่อการถอนผิวกระดาษ และลักษณะเฉพาะของพื้นผิว

1.2.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากสารเคลือบผิวพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่เตรียมจากวัสดุทางธรรมชาติที่มีความสามารถในการย่อยสลายทางธรรมชาติ ซึ่งเตรียมจากพอลิแลกไทด์เรซินผสมมอนต์มอริลโลไนต์ในอัตราส่วนที่ต่างกันคือ 0, 3, 6, และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และได้มีการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล เพื่อเป็นพลาสติกไฮเซออร์ ช่วยให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นที่ดีขึ้น นำมาทำการเคลือบลงบนผิวน้ำกระดาษที่ระดับความหนาของชั้นฟิล์มที่แตกต่างกัน 40 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) ศึกษาสมบัติต่างๆ ของกระดาษหลังเคลือบผิว เช่น ความพรุน ความเรียบ การดูดซึมน้ำ ความมันวาว ความขาวสว่าง ความทึบแสง ความแข็งแรงต่อการถอนผิว และทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม เช่น ความสามารถในการทนความร้อนของแผ่นฟิล์ม ความแข็งแรงต่อแรงดึง ความเป็นผลึก ความขุ่น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิแลกไทด์เรซินและมอนต์มอริลโลไนต์ เพื่อใช้เป็นสารเคลือบผิวกระดาษ ที่มีสมบัติการกันขวางที่ดีขึ้น รวมทั้งสามารถช่วยในการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของกระดาษได้

1.4.2 ได้ข้อมูลเพื่อนำไปพัฒนาสารเคลือบผิวกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ กระดาษให้มีสมบัติที่ดีขึ้น

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.5.1 ค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ
- 1.5.2 ศึกษาวิธีการและเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง
- 1.5.3 ศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติของกระดาษ
- 1.5.4 วางแผนการทดลอง ทำการทดลองตามขั้นตอนเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
- 1.5.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- 1.5.6 เรียบเรียงและเขียนบทความเพื่อเผยแพร่วิทยานิพนธ์

1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

- 1.6.1 อิทธิพลจากอัตราส่วนของพอลิแลกไทด์เรซินและมอนอเมอร์ไรโกลไนด์ต่อสมบัติต่างๆของกระดาษและแผ่นฟิล์ม
- 1.6.2 อิทธิพลจากอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนไกลคอล ต่อสมบัติต่างๆ ของกระดาษและแผ่นฟิล์ม
- 1.6.3 ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบที่ใช้ในการเคลือบต่อสมบัติต่างๆ ของกระดาษหลังเคลือบ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 จุดประสงค์ในการเคลือบผิวและโครงสร้างของสารเคลือบผิว

สารเคลือบผิว คือ วัสดุเมื่อเคลือบผิวลงบนพื้นผิวที่ใดแล้วจะเกิดเป็นแผ่นฟิล์ม ซึ่งจะมีการยึดเกาะทั้งระหว่างสารเคลือบผิวด้วยกันเองและระหว่างสารเคลือบผิวกับพื้นผิวที่ต้องการ สารเคลือบผิวแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือประเภทเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต โดยสารเคลือบผิวประเภทเทอร์โมพลาสติกประกอบด้วยพอลิเมอร์อย่างน้อยหนึ่งชนิด ที่มีน้ำหนักสูงพอที่จะทำให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการและสามารถนำไปใช้งานได้ทันที ส่วนสารเคลือบผิวเทอร์โมเซตประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า และจะเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันต่อไปได้อีกขณะใช้งาน เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ [1]

2.1.1.1 จุดประสงค์ในการเคลือบกระดาษ

การเคลือบกระดาษ เป็นวิธีการนำสารเคลือบผิวมาปกคลุมอยู่บนผิวหน้าของเยื่อกระดาษ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติบางประการของผิวหน้ากระดาษ เช่น ความมันวาว ความแข็งแรง ความทึบแสง ความเรียบ การขวางกั้นแก๊ส และความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ของกระดาษ เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในแต่ละด้าน และเป็นการเพิ่มมูลค่าและคุณภาพให้กับบรรจุภัณฑ์กระดาษให้เป็นไปตามความต้องการของตลาด ซึ่งสารเคลือบกระดาษส่วนมากจะมีองค์ประกอบของพอลิเมอร์สังเคราะห์ [2]

2.1.1.2 โครงสร้างสารเคลือบกระดาษ

1. **สารสี (Pigment)** เป็นสารเคมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ใส่ในสารเคลือบผิวเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผิวหน้ากระดาษให้รับหมึกพิมพ์ได้ดี ทำให้กระดาษเรียบ มีความมันวาว และทำให้กระดาษขาว สมบัติพื้นฐานของสารสีต้องมีอนุภาคเล็ก มีประสิทธิภาพการกระเจิงแสงสูง สามารถปกปิดผิวหน้าของเส้นใยกระดาษได้ มีการกระจายตัวในสารยึดได้ดี ให้ความขาวสว่างสูง ควรเลือกใช้สารสีที่มีดัชนีหักเหต่างจากสารยึด เพื่อให้สารเคลือบนั้นมีสมบัติทึบ

แสง นอกจากนี้สารสีต้องทนการขัดผิวหน้าได้โดยเฉพาะการขัดผิวหน้าเพื่อความเงาที่อุณหภูมิสูง โดยไม่ต้องมีสารยึดปริมาณมาก ดังนั้น จึงไม่มีสารสีชนิดใดชนิดหนึ่งที่สามารถให้สมบัติได้ครบตามต้องการ ทำให้ต้องนำสารสีหลายชนิดมาผสมเพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการทุกประการ โดยทั่วไปนิยมใช้สารสีไม่เกิน 2 ชนิด คือสารสีหลักและสารสีร่วมโดยต้องใช้ปริมาณสารสีหลักไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 และสารสีร่วมในปริมาณที่น้อยกว่า ผงสีมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3), ดินขาว (Kaolin), ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) [3]

2. สารยึด (Binder) เป็นตัวเชื่อมหรือเป็นตัวกลางให้สารสี และสารเคมีอื่นๆ กระจายตัวอยู่ในการเคลือบผิวเพื่อให้สารเคลือบผิวนั้นสามารถยึดติดอยู่บนเส้นใยเซลลูโลส จึงทำหน้าที่คล้ายการช่วยยึดสารเคลือบและกระดาษเข้าด้วยกัน นอกจากนี้สารยึดยังทำหน้าที่ควบคุมความหนืด การไหล การปลดปล่อยน้ำ และเวลาเซตตัวของสารเคลือบผิว การใช้สารยึดในสัดส่วนที่เหมาะสมสามารถควบคุมและกำหนดสมบัติดังกล่าวได้ การใช้ปริมาณสารยึดน้อยไปทำให้สารเคลือบกระดาษมีผิวหน้าไม่เรียบและไม่แข็งแรง ส่วนการใช้ปริมาณสารยึดมากไปจะทำให้สมบัติทางแสงและทางารพิมพ์เสียไป สารยึดที่ดีต้องมีความสามารถในการยึดสารสี และให้สารสีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในสารเคลือบ นอกจากนี้ยังต้องมีราคาถูก ไม่มีสี มีความเป็นพลาสติกดี เกิดเป็นแผ่นฟิล์มได้ง่าย สามารถปรับความหนืดได้ง่าย มีค่าคงตัวทั้งเวลา อุณหภูมิ และทนแรงเฉือนเวลาใช้งาน สารเคมีเคลือบผิวระบบน้ำหรือระบบคอลลอยด์ใช้สารยึดประเภทแป้ง โปรตีน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สารยึดเป็นสารพอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่เสมือนลดรูปของแผ่นกระดาษ โดยทั่วไปพบว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความสามารถในการลดรูปได้ดีที่สุด และสามารถลดความเป็นรูปของกระดาษได้ที่ปริมาณของสารยึดสูง [3]

3. สารยึดร่วม (Co-binder) เป็นสารช่วยประสานระหว่างสารยึดและสารเคมีอื่นๆ มักใช้ในปริมาณน้อย เพื่อเสริมสมบัติบางประการเพิ่มเติมจากผลที่ได้จากสารยึดหลัก สารยึดร่วมที่นิยมใช้กันทั่วไปในการเคลือบผิวกระดาษคือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสซึ่งช่วยในด้านการยึดติด การปรับความหนืดและความสามารถดูดหรือเก็บน้ำได้ดี จึงทำให้สามารถใช้ในสูตรสารเคลือบที่มีปริมาณของแข็ง (Solid content) จำนวนมาก [3]

4. สารเติมแต่ง (Additives) สารเติมแต่งในสารเคลือบมีหน้าที่ต่างกัน เช่น ปรับค่าความเป็นกรด-เบส เป็นสารหล่อลื่น ปรับความขาวสว่าง และช่วยการกระจายตัวของสี เป็นต้น ส่วนใหญ่สารเคลือบมีปริมาณสารเติมแต่งเพียงเล็กน้อยและประมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของของแข็งทั้งหมด ตัวอย่างของสารเติมแต่งได้แก่ [3]

- สารช่วยกระจาย (Dispersant) ช่วยให้สารสีกระจายตัวในสารยึดได้ดี ไม่จับตัวกันเป็นก้อน เป็นสารจำพวก โซเดียมพอลิอะคริเลต เตตระโซเดียมพอลิฟอสเฟต เป็นต้น
- สารปรับความหนืด (Viscosity modifier) สารปรับความหนืดทำหน้าที่ลด หรือเพิ่มความหนืดของสารเคลือบผิว โดยพิจารณาจากความเร็วของเครื่องเคลือบผิว
- สารหล่อลื่น (Lubricant) ใช้เพื่อปรับสมบัติการไหลของสารเคลือบและคุณสมบัติในระหว่างการทวน ช่วยในเรื่องของความเรียบและป้องกันการแตกหักของชั้นเคลือบผิวเมื่อแห้งอ รวมทั้งช่วยให้สภาพการเดินกระดาษคล่องตัวขึ้น ส่วนใหญ่เป็นสารพวกแคลเซียมสเตียเรต พอลิเอทิลีนอิมัลชัน เป็นต้น
- สารกั้นน้ำ (Crosslinker or insolubilizer) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ สารจำพวก ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน แอมโมเนียมเซอร์โคเนียมคาร์บอเนต เป็นต้น
- สารช่วยป้องกันเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อรา (Biocide) เช่น อัลดีไฮด์
- สารควบคุมค่าความเป็นกรด-เบส (pH control)
- สารเพิ่มความขาวสว่าง (Optical brighteners) ช่วยดูดกลืนแสงยูวีและเพิ่มความขาวสว่างของสารเคลือบผิว
- สีย้อม (Dye) ใช้เพื่อให้สังเกตด้านเคลือบผิวได้ชัดเจน
- สารลดฟอง (Defoamer) ใช้เพื่อยับยั้งหรือป้องกันไม่ให้เกิดฟองในสารเคลือบขณะทวน

5. ตัวทำละลาย (Solvent) ในสารเคลือบกระดาษสำหรับการพิมพ์อิงก์เจ็ทมีน้ำเป็นตัวทำละลาย ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของสารเคลือบ น้ำทำให้ส่วนประกอบของสารเคลือบรวมตัวเข้ากันได้ สารสีสามารถกระจายตัวได้ ทำให้เกิดการแห้งตัว ทำให้เกิดการถ่ายโอนของสี และสามารถเคลือบลงบนกระดาษได้ หากน้ำเกิดการระเหยจากชั้นของสารเคลือบจะทำให้เกิดชั้นของแข็ง สารยึดจะทำหน้าที่เชื่อมสารสีและกระดาษ สารเคลือบประกอบด้วยน้ำเพื่อสมบัติการไหล โดยปริมาณของของแข็งของสารเคลือบที่แห้งจะมีปริมาณถึงร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ซึ่งหมายความว่าสารเคลือบจะมีน้ำน้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก [3]

2.1.2 วิธีการเคลือบผิวกระดาษ

เทคนิคการเคลือบ สามารถทำได้หลายแบบ เช่น เคลือบสารยึดติด (Adhesives) สารเคลือบ (Coating) และหมึกพิมพ์ แต่ละวิธีจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ [4]

- ความหนืดและกระแสวิทยา (viscosity and rheology)
- ความหนาของชั้นฟิล์ม (Film thickness)
- รูปร่างของฐานที่ใช้เคลือบ (Shape of substrate)
- ราคา (Cost)
- ความสามารถในการนำไปใช้ได้หลากหลาย (Versatility of use)
- วิธีการเคลือบที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ได้แก่

ก. การเคลือบแบบกราวัวร์

วิธีการเคลือบด้วยเครื่องกราวัวร์ ใช้กับสารเคลือบที่หนาไม่เกิน 0.2 มิล (mil) และใช้ได้ทั้งโรงงานหมึกพิมพ์ที่ให้ความแม่นยำ ประโยชน์หลักของการเคลือบด้วยกราวัวร์คือ สามารถเพิ่มน้ำหนักสารเคลือบได้ขึ้นกับแรงดึงของกระดาษม้วนและความเร็วของม้วนกระดาษ

ข. การเคลือบแบบเฟล็กโซกราฟฟิก

การพิมพ์ด้วยเครื่องเฟล็กโซกราฟฟิกคล้ายกับการพิมพ์กราวัวร์ แต่ใช้กับเพลตยาง ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ใช้อยู่ระหว่าง 35 – 200 cps

ค. แท่งขดลวด

เป็นการใช้ขดลวดในการเคลือบที่ให้ความหนาของสารเคลือบ 0.2 – 0.8 มิล ใช้กับสารยึดติดหรือสารเคลือบที่มีความหนืด 200 – 1000 cps เป็นรูปแบบทำง่ายจึงเป็นที่นิยม

ง. ไบมีดเหนื่อลูกกลิ้ง

เป็นการใช้ไบมีดวางอยู่เหนือโม ซึ่งใช้กับสารยึดที่มีความหนืดสูง หรือสารเคลือบที่มีน้ำหนักสารเคลือบสูง ใช้กับความหนืดประมาณ 10,000 – 100,000 cps และใช้กับสารเคลือบที่หนาประมาณ 0.5 – 2.0 มิล

จ. การเคลือบแบบลูกกลิ้งย้อนกลับ

เป็นการใช้กับงานที่ต้องการคุณภาพ รูปลอก หรืองานกราฟฟิก น้ำหนักสารเคลือบสามารถควบคุมได้ด้วยความเร็วของโมล์ัมพันธ์กับความเร็วของโมล์ด้านหลัง ถ้าความเร็วสูงขึ้นน้ำหนักสารเคลือบจะเพิ่มมากขึ้น ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักสารเคลือบประมาณ 0.0001 นิ้ว สามารถใช้กับความหนืดที่สูงมากกว่า 10,000 – 20,000 cps

2.1.3 ผลของสารเคลือบกระดาษที่มีต่อสมบัติของกระดาษ

การเคลือบผิวเป็นการปกคลุมผิวหน้ากระดาษและทำให้กระดาษมีทิศทางในการดูดซึมหืน การเคลือบผิวจะเพิ่มความเรียบของกระดาษ ซึ่งเมื่อเทียบกับกระดาษไม่เคลือบผิวพบว่า

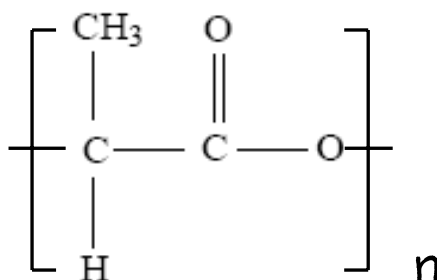
- การดูดซึมหืนมีทิศทาง
- ความแข็งแรงที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้น
- ความมันวาวเพิ่มขึ้น กระดาษที่ไม่เคลือบผิวจะไม่มี ความมันวาว
- ความทึบแสงเพิ่มขึ้น และอาจมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้นด้วย
- สมบัติเชิงกลลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากัน

สมบัติต่างๆ จะเปลี่ยนแปลงอย่างไรขึ้นกับชนิดและปริมาณของส่วนประกอบต่างๆ ของสารเคลือบ อุปกรณ์ในการเคลือบผิว ถึงแม้การเคลือบผิวจะมีผลต่อสมบัติของกระดาษแต่สมบัติของกระดาษฐานที่จะเคลือบนั้นก็มีความสำคัญ พบว่า 80 % ของกระดาษเคลือบจะขึ้นกับสมบัติของกระดาษฐานที่ใช้ [5]

2.1.4 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA)

พอลิแลคติกแอซิด (PLA) เป็นพอลิเอสเทอร์แบบกึ่งผลึกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ผลิตจากกรดแลคติก (lactic acid) บางครั้งจึงถูกเรียกว่า พอลิแลคเตต (polylactate) หรือ พอลิแลคไทด์ (polylactide) กรดแลคติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีหรือกระบวนการหมักผลผลิตทางการเกษตรที่มีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น อ้อย ข้าวโพด ข้าวสาลี และมันสำปะหลัง เป็นต้น โดยใช้จุลินทรีย์เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติก เมื่อนำมาแยกให้บริสุทธิ์ แล้วจึงนำมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์เป็น PLA ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การสังเคราะห์โดยใช้กระบวนการควบแน่นได้ PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จนกว่าจะใช้สารเคมีเชื่อมโยง (coupling agent) เพื่อเพิ่มน้ำหนักโมเลกุล แต่กระบวนการที่นิยมใช้คือ กระบวนการสังเคราะห์แบบเปิดวงแหวนแลคไทด์ (lactide) โดยมีคะตะ

ลิสต์แรงปฏิกิริยา ได้ PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 100,000 และมีสมบัติที่ดีสามารถนำไปใช้งานด้านต่างๆได้ [6]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด

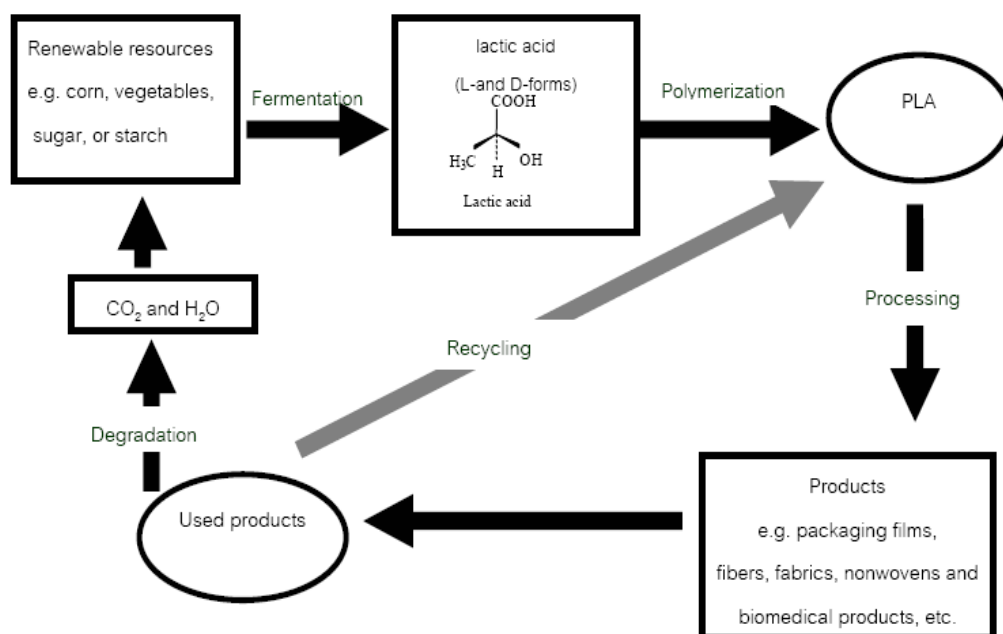
การใช้งาน

PLA เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีสมบัติทางความร้อนและทางกลสูงกว่า พอลิไฮดรอกซีบิวทีเรต (Polyhydroxybutyrate, PHB) และ พอลิคาโพรแลคโตน (Polycaprolactone, PCL) โดยมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) และ พอลิเอทิลีนเทอแรพทาเลท (Poly(ethylene terephthalate), PET) PLA เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ขึ้นรูปได้ง่ายโดยกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกต่างๆ เช่น การฉีดขึ้นรูป การอัดรีดแผ่น การเป่าเป็นฟิล์ม เทอร์โมฟอร์ม และการปั่นหลอมเส้นใย PLA มีศักยภาพในการนำมาใช้งานด้านเส้นใย สิ่งทอ และผ้าชนิดไม่ถักทอ (Non-woven) มีสมบัติจับจีบและคงรูปได้ดี เชื่อมติดกันได้ดีด้วยความร้อน มีความทนทานต่อแสงยูวี ทำให้สีของเส้นใยซีดช้า มีสมบัติติดไฟ และการเกิดควันต่ำ เหมาะสำหรับใช้ทำเสื้อผ้า และงานตกแต่ง ผ้าคลุมพื้น ผ้าใบ นอกจากนี้ PLA ยังเป็นวัสดุที่เข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ เหมาะสมสำหรับงานทางการแพทย์ จึงถูกนำมาใช้งานด้านนี้ยาวนานกว่า 25 ปี โดยใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยตัวยาหรือสารสำคัญ และชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์สำหรับฝังในกระดูกหรือเนื้อเยื่อของผู้ป่วย รวมถึงไหมละลาย โดยสามารถควบคุมสมบัติเชิงกล สมบัติทางเภสัชกรรมและการสลายตัวโดยการปรับส่วนผสมทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งระยะเวลาการย่อยสลายอาจใช้เวลาตั้งแต่ 2-3 สัปดาห์ ไปจนถึง 2-3 ปี ด้านบรรจุภัณฑ์ PLA ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุติบในการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับของใช้และอาหาร รวมถึงขวดสำหรับบรรจุน้ำดื่ม เช่น บริษัท BIOTA Brands of America นำ PLA Naturework™ มาใช้ผลิตขวดสำหรับบรรจุน้ำดื่มเป็นเจ้าแรก มีสมบัติใกล้เคียงกับขวด PET สามารถย่อยสลายได้ 100% ในสภาวะของโรงหมักปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้เวลาในการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ ภายในเวลา 75-80 วัน หรือประมาณ 12 สัปดาห์ และได้รับการรับรองจากสถาบัน The Biodegradable Products Institute (BPI) และได้รับการรับรองจากสถาบัน The

Food and Drug Administration (FDA) ว่า มีความปลอดภัยสำหรับใช้บรรจุอาหารและเครื่องดื่ม [6]

การย่อยสลาย

PLA ย่อยสลายได้ทางชีวภาพในสภาวะคอมโพสท์ที่อุณหภูมิ 60°C มีการย่อยสลายแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ เกิดการย่อยสลายผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ของพอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ถูกตัดสั้นลงจนมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ในขั้นตอนนี้พลาสติกจะมีสมบัติที่แตกหักเป็นชิ้นเล็กๆ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลต่ำลงจะถูกย่อยสลายต่อโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ได้ง่าย เกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ แต่ PLA ย่อยสลายได้ไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60°C เนื่องจากมีอุณหภูมิทรานซิชันที่ 60°C [6]



รูปที่ 2.2 วงจรวัฏจักรของพอลิแลกติกแอซิด

สมบัติของพอลิแลกติกแอซิด

1. มีความใส
2. มีสมบัติขวางกั้น (barrier properties) ที่ดี
3. เข้ากับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต (biocompatibility) ได้
4. ไม่มีความเป็นพิษ

2.1.5 แร่ดิน (Clay minerals)

แร่ดิน เป็นสารประกอบจำพวก ไฮดรอกไซด์อะลูมิเนียมซิลิเกต (Hydrous aluminous silicate) มีสมบัติ plasticity เมื่อผสมกับน้ำและเมื่อนำไปอบแห้งจะเปราะ โดย plasticity ของแร่ดินจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติ และ ความละเอียดของแร่ดิน ถ้าละเอียดมากแร่ดินจะมี plasticity สูง แร่ดินส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบแผ่น (sheet silicate) จัดอยู่ในพวก phyllosilicates ประกอบด้วยชั้นของอะลูมิเนียมออกไซด์ระฆัง (Al-Octahedral) และซิลิคอนเตตระระฆัง (Si-Tetrahedral) และในระหว่างชั้นรอยต่อของชุด (interlayer) อาจมีไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม หรือโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ ทำให้ดินแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกัน กลุ่มแร่ดินที่สำคัญ ได้แก่ Illite Kaolinite Smectite และ Vermiculite ยกเว้นพวก แอตตาปุลไกต์ (Attapulgite) หรือที่รู้จักกันในนามปาลิโกรซไกต์ (palygorskite) ซึ่งมีโครงสร้างต่อเนื่องกันเป็นเหมือนลูกโซ่ (Chain silicate) [7] แร่ดินในธรรมชาติสามารถแบ่งแยกตามโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1.1 กลุ่มเคโอลิไนต์ (Kaolinite group) มีสูตรเคมีทั่วไปดังนี้ คือ $2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ มีโครงสร้างแบบแผ่นชนิด 1:1 ประกอบด้วยแผ่น Si-tetrahedral 1 ชั้น จับยึดกับแผ่น Al-octahedral 1 ชั้น และวางซ้อนกันขึ้นไปตามแนวตั้งแกน c และแต่ละแผ่นของ Al-octahedral และ Si-tetrahedral จะจับยึดต่อเนื่องไปตามแนวนอนที่เรียกว่าแกน a และ b เคโอลิไนต์มีรูปผลึกแบบไตรคลินิก (Triclinic) แร่ในกลุ่มนี้ได้แก่ เคโอลิไนต์ (Kaolinite) ดิกไกต์ (Dickite) แนลไครต์ (Nacrite) แฮลลอยไซต์ (Halloysite) และ แอลโลเฟน (Allophane) โดยลักษณะที่สำคัญของแร่กลุ่มนี้คือ

1. ไม่มีการแทนที่ของธาตุภายในโครงสร้างหรือมีน้อยมาก ซึ่งเป็นผลทำให้ประจุถาวรต่ำ (low permanent charge)

2. หน่วยของผลึกแต่ละหน่วย (crystal unit) ดูดยึดกันค่อนข้างเหนียวแน่นด้วยแรง Hydrogen bond ซึ่งเกิดขึ้นในช่อง (interlayer) มีผลทำให้แร่ดินเหนียวซิลิเกตพวกนี้มีการขยายตัวและหดตัว (swelling and shrinking) น้อยมาก

3. จำนวนหน่วยที่ซ้อนดูดยึดกันมีค่อนข้างมาก จึงทำให้ขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับแร่ดินเหนียวชนิดอื่นๆ ขนาดของแร่ดินเหนียวกลุ่มนี้จะอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 ไมครอน แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 2.0 ไมครอน เนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่จึงทำให้มีพื้นที่ผิวภายนอก (external surface) น้อย และพื้นที่ผิวภายใน (internal surface) มีน้อยมากหรือไม่มีเลย

4. มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity: CEC) ได้ต่ำ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยและมีประจุลบในผลึกน้อยมาก CEC จะมีประมาณ 3-15 meq/100กรัม

1.2 กลุ่มแร่อิไลต์ (Illite group) มีสูตรเคมีทั่วไปดังนี้ คือ $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ เป็นแร่ดินเหนียวที่พบมากในหินตะกอน และในสภาพที่มีการตกตะกอนต่างๆ มีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับแร่ซิลิโคไวต์ แร่นี้บางที่เราเรียกกันว่าไมกา (Mica) และจะคงสภาพอยู่ได้ดี ถ้ามีความเข้มข้นของซิลิคอนและอะลูมิเนียมปานกลางถึงสูงในสภาพแวดล้อมที่เกิด แต่ถ้ามีพวกไฮโดรเนียมไอออนปานกลางถึงสูงทำให้เสียเสถียรภาพ และจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นเวอร์มิคิวไลต์ โดยลักษณะที่สำคัญของแร่กลุ่มนี้ คือ

1. ประมาณ 15-25 เปอร์เซ็นต์ ของ Si^{+4} ในชั้นเตตระฮีดรอนจะถูกแทนที่ด้วย Al^{+3} จึงทำให้เกิดประจุลบถาวร (permanent negative charge) มากในชั้นเตตระฮีดรอน

2. ประจุลบที่เกิดขึ้นจะถูกทำให้สมดุล (balance) ด้วย K^+ ในช่อง ซึ่งขนาดของ K^+ นี้พอเหมาะกับช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นของเตตระฮีดรอนของแผ่นบนและแผ่นล่างที่ซ้อนกันอยู่

3. ระยะทางระหว่างประจุลบที่เกิดขึ้นมากในชั้นเตตระฮีดรอนและ K^+ ใกล้กันมาก ทำให้เกิดแรงดึงดูดยึดสูงมากตามกฎของ Coulomb

4. K^+ เปรียบเสมือนสลักทำหน้าที่ยึดหน่วยของผลึกแต่ละหน่วยเข้าไว้ด้วยกันค่อนข้างแน่น มีผลทำให้ไม่สามารถยึดเข้าหรือออกได้

5. มีการขยายตัวและหดตัว พื้นที่ผิวภายในและภายนอก และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกค่อนข้างต่ำ แต่มีสมบัติเหล่านี้มากกว่าแร่ดินเหนียวพวกเคโอลิไนท์ (CEC อยู่ระหว่าง 15-40 meq/100 กรัม)

1.3 กลุ่มแร่สเมคไทต์ (Smectite group) มีสูตร $Mx(Al_{4-x}Mg)Si_8O_{20}(OH)_4$ โดยที่ M คือ cation มีส่วนประกอบที่สำคัญของหินชั้น (Sedimentary rock) และทราย (Soils) เป็นกลุ่มของแร่ดินที่สามารถแสดงการขยายตัว (Expandability) เมื่อใส่น้ำหรือโมเลกุลของสารอินทรีย์เข้าไปในโครงสร้างและมีสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออน (Cation exchange) แร่ในกลุ่มนี้ได้แก่ มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) บีเดลไลต์ (Beidellite) และ นอนโทรไนต์ (Nontronite) แร่พวกนี้จะมีโครงสร้างแบบแผ่นชนิด 2:1 สามารถใช้ในอุตสาหกรรมอิฐ (Brick) เซรามิก (Ceramic) ใช้ทำ

โคลนเจาะ (Drilling mud) และผสมทรายทำกากกัมมันตรังสีได้อีกด้วย มีลักษณะแปรผันไปได้มาก เนื่องจากองค์ประกอบแปรผันได้ โดยเฉพาะน้ำ แม้แต่ค่าดรชนีหักเหของแสงก็ยังสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในพิสัย 1.50 ถึง 1.64 แร่ในกลุ่มนี้มีการแทนที่ของอะตอมมาก องค์ประกอบของแร่จะแปรผันออกไปจากสูตรเคมี มีการแทนที่อะลูมิเนียมโดยแมกนีเซียม และแทนที่ซิลิกอนโดยอะลูมิเนียม ซึ่งจะทำให้เกิดประจุลบบนชั้นโครงสร้าง ทำให้สามารถดูดซับ (adsorb) ไอออนบวก เช่น Ca^{2+} Na^+ และ H_3O^+ ($\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$) ไว้ระหว่างชั้นในโครงสร้างได้ ทำให้แร่ชนิดนี้สามารถพองตัวเมื่อถูกน้ำ และแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange) ได้ ปกติมอนต์มอริลโลไนต์จะเป็นแร่ที่มีอะลูมิเนียมสูง และจะมีแร่ที่อยู่ในกลุ่มนี้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่องค์ประกอบแตกต่างกันออกไปบ้าง คือ นอนโทรไนต์ (Nontronite) ซึ่งมีสีเหลืองแกมเขียว มีเหล็กมาก เพราะมีการแทนที่อะลูมิเนียมด้วยเหล็ก (Fe) ซาโปไนต์ (Saponite) มีการแทนที่อะลูมิเนียมด้วยแมกนีเซียม ซอโคไนต์ (Sauconite) มีการแทนที่อะลูมิเนียมด้วยสังกะสี (Zn) และบีเดลไลต์ (Beidellite) มีการแทนที่ซิลิกอนด้วยอะลูมิเนียม แร่ชนิดนี้ถ้าถูกน้ำแล้ว จับจะลื่นมือเหมือนสบู่และจะทำให้เกิดลักษณะเหมือนวุ้นเมื่อแช่น้ำ มอนต์มอริลโลไนต์พบในหินตะกอนและจากการผุพังสลายตัวของภูเขาไฟ (Volcanic ash) ดินเบนโทไนต์ (Bentonite) เป็นดินชนิดหนึ่งที่แร่องค์ประกอบส่วนใหญ่คือ มอนต์มอริลโลไนต์ การดุลประจุ (charge balance) เกิดขึ้นจากการแทนที่ของไอออนในชั้นออกตะฮีดรอน (Al^{+3} หรือ Mg^{+2}) ชั้นเตตระฮีดรอน โดยส่วนมากจะใช้ Ca^{+2} หรือ Na^+ เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุ ผลรวมระหว่างความหนาของชั้นดินและพื้นที่บริเวณระหว่างชั้นของดิน แต่ละชั้นจะมีความกว้างของช่องว่างเท่าๆกัน ซึ่งคำนวณจากระนาบ 001 โดยดูได้จาก X-ray Diffraction ค่า d spacing ของ Silica-Alumina-Silica 1 ชุดของดิน Na-มอนต์มอริลโลไนต์ จะมีค่าตั้งแต่ 9.6 อังสตรอม จนถึง 20 อังสตรอม สำหรับดินที่กระจายตัวในน้ำ ตำแหน่งชนิดประจุบวกหรือโมเลกุลของน้ำอยู่จะเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจน โดยลักษณะที่สำคัญของแร่กลุ่มนี้คือ

1. ประจุลบที่เกิดขึ้นน้อยมากในชั้นเตตระฮีดรอน แต่ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในชั้นของออกตะฮีดรอน (บางส่วนของ Al^{+3} ถูกแทนที่ด้วย Mg^{+2})
2. ประจุลบที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีปริมาณน้อยกว่าในเวอร์มิคิลไลต์และอิลไลต์
3. ประจุลบที่เกิดขึ้นถูกทำให้สมดุลด้วย Mg^{+2} และ Ca^{+2} ซึ่งมีน้ำล้อมรอบในช่องคล้ายค้ำกับเวอร์มิคิลไลต์
4. แรงคูยิตระหว่างหน่วยของผลึกกับ Mg^{+2} และ Ca^{+2} ในช่องมีน้อยจึงทำให้มีการยึดและหดตัวของดินเหนียวชนิดนี้เป็นไปได้อย่างเต็มที่แล้วแต่ปริมาณความชื้น

5. Mg^{+2} และ Ca^{+2} สามารถแลกเปลี่ยนได้

6. เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็ก คือมีขนาดประมาณ 0.01 – 1.0 ไมครอน มีการสลายตัวหรือแตกหักเป็นอนุภาคนาขนาดเล็กได้ง่าย จึงทำให้มีพื้นที่ผิวทั้งภายในและภายนอกสูง และมี CEC ค่อนข้างสูงประมาณ 80 – 100 meq/100 กรัม

1.4 กลุ่มแร่เวอร์มิคูลไลต์ (Vermiculite) มีสูตร $MgSi_4O_{10}(OH)_2 \cdot XH_2O$ เป็นแร่ดินเหนียวในกลุ่มไมกา ซึ่งเกิดขึ้นคลุมรูปร่างของแร่ฟลโกไฟต์และไบโอไทต์ และมักจะมีการแทนที่ซิลิคอนด้วยอะลูมิเนียม ประจุที่ขาดไปทำให้เกิดการแทนที่แมกนีเซียมด้วยเหล็ก (Fe^{3+}) และไอออนที่ถูกดูดซับได้ เวอร์มิคูลไลต์แสดงลักษณะหลายอย่างคล้ายคลึงกับมอนต์มอริลโลไนต์ เช่น การแลกเปลี่ยนไอออนบวก และช่องว่างระหว่างชั้น ซึ่งแปรผันไปตามปริมาณของน้ำที่เป็นองค์ประกอบ และชนิดของไอออนบวกที่ถูกดูดซับไว้ ลักษณะพิเศษเฉพาะตัวของเวอร์มิคูลไลต์ก็คือ สามารถขยายขนาดกับแกน c ได้เพิ่มขึ้นถึง $30^{\circ}C$ ผลที่เกิดขึ้นจากการขยายตัวนี้นำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ เวอร์มิคูลไลต์พบมากในการสลายตัวของฟลโกไฟต์ และไบโอไทต์และจะพบในดินบางชนิดโดยลักษณะที่สำคัญของแร่กลุ่มนี้ คือ

1. ประจุลบที่เกิดขึ้นในชั้นเตตระฮีดรอนเช่นเดียวกับในพวกมัสโคไวท์ แต่ประจุที่เกิดขึ้นนี้บางส่วนถูกทำให้สมดุลด้วยประจุบวกซึ่งเกิดขึ้นในชั้นออกเตฮีดรอน อันเนื่องมาจากมี Al^{+3} และ Fe^{+3} มากเกินไป

2. ประจุลบสุทธิ (Net negative charges) ถูกสมดุลด้วย Mg^{+2} และ Ca^{+2} ในช่อง Mg^{+2} และ Ca^{+2} นี้มีน้ำล้อมรอบอยู่ด้วยจึงมีขนาดใหญ่กว่า K^{+} ซึ่งมีขนาดใหญ่ไม่พอเหมาะสำหรับช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเตตระฮีดรอนที่ซ้อนกันอยู่

3. Mg^{+2} และ Ca^{+2} สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cations)

4. เนื่องจากประจุลบสุทธิมีค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้แรงดึงดูดยึดระหว่างหน่วยของผลึกกับ Mg^{+2} และ Ca^{+2} มีพอประมาณ จึงทำให้มีการขยายและหดตัวได้ไม่เต็มที่แล้วแต่ปริมาณของความชื้น

5. มีพื้นที่ผิวภายนอกและภายในตลอดจน CEC ค่อนข้างสูง (100 – 150 meq/100 กรัม)

2.1.6 ดินเบนโทไนท์ (Bentonite)

ดินชนิดนี้ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ เหล็กออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ มอนต์มอริลโลไนต์ทำให้ดินเบนโทไนท์มีสมบัติในการดูดซับที่ดี และสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ อย่างไรก็ตามสมบัติของดินก็ยังคงแตกต่างกันไปในเรื่องของความสามารถในการดูดซับ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์ [8] ดินเบนโทไนท์ ที่มีการใช้งานมากในอุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มได้แก่

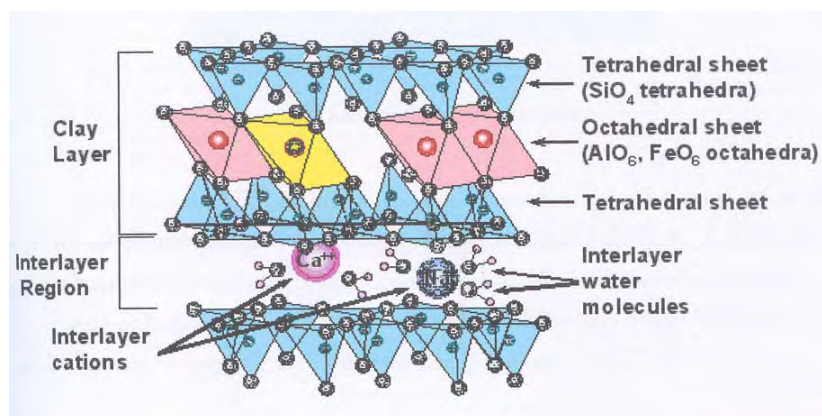
1. Natural Sodium Bentonite หรือ Sodium Montmorillonite: เป็นการแลกเปลี่ยน Na^+
2. Natural Calcium Bentonite หรือ Calcium Montmorillonite: เป็นการแลกเปลี่ยน Ca^{+2}
3. Sodium Activated Bentonite หรือ Sodium Activated Montmorillonite: เป็นการแลกเปลี่ยนประจุจาก Ca^{+2} กลายเป็น Na^+

โซเดียมเบนโทไนท์เมื่อดูดซับน้ำแล้วสามารถพองตัวได้มากถึง 15 – 20 เท่าจากปริมาตรเดิม มีสมบัติเป็นตัวหล่อลื่นและกันการแพร่ผ่าน โดยนิยมใช้เป็นหัวเจาะโคลนและใช้ดูดยาหรือแนวของเขื่อนทำนบ สำหรับแคลเซียมและแคลเซียม-แมกนีเซียมเบนโทไนท์ มีความสามารถในการพองตัวได้น้อยกว่าโซเดียมเบนโทไนท์ ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นสารฟอกสีหรือเป็นสารดีเทอร์เจนต์ในการดูดซับน้ำมันจากพืชและสัตว์ นอกจากนี้ยังมีการนำไปดัดแปรโดยทำปฏิกิริยากับกรดได้เป็นแอติเวตเตดเคลย์ (Activated Clays) สำหรับใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือทำปฏิกิริยากับโซดาไฟ โดยเปลี่ยนจากแคลเซียมเป็นโซเดียมเบนโทไนท์

2.1.7 มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite, MMT)

มอนต์มอริลโลไนต์ มีสูตรทางเคมี คือ $\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ มอนต์มอริลโลไนต์ เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างซ้อนทับกัน ซึ่งประกอบด้วยชั้นของแผ่นอะลูมินา โดยชั้นที่อยู่ตรงกลางจะเป็นชั้นของอะลูมินา ที่ถูกประกบบนและล่างด้วยชั้นซิลิกา เรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า 2:1 phyllosilicate แต่ละชั้นจะมีความบางมาก ซึ่งจะมีความหนาน้อยกว่า 1 นาโนเมตร และมีความยาวประมาณ 1000 เท่า ทำให้มีค่า aspect ratio สูงเหมาะสมอย่างมากที่จะนำไปใช้เสริมแรงวัสดุพอลิเมอร์

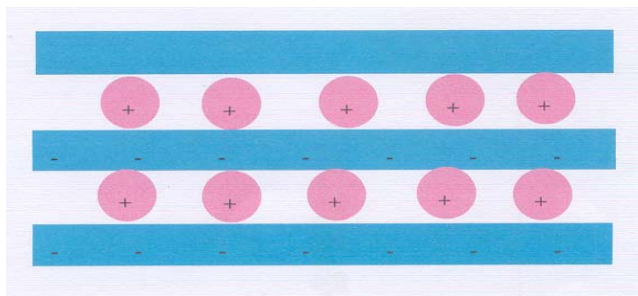
ระหว่างชั้นจะมีช่องว่างขนาดเล็กเรียกว่า แกลเลอรี (gallery) ดังรูปที่ 2.3 [9, 10] พื้นผิวของชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate) จะมีประจุลบ แต่ชั้นเหล่านี้สามารถยึดเกาะกันได้ด้วยประจุบวก เช่น โซเดียมไอออน (Na^+) และ แคลเซียมไอออน (Ca^+) จะทำหน้าที่ยึดชั้นของดินที่มีประจุลบเอาไว้ด้วยกัน จึงทำให้ชั้นของดินยึดติดกันแน่น



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์

การตัดแปรแรมมอนต์มอริลโลไนต์

มอนต์มอริลโลไนต์และแร่ในกลุ่มของอะลูมิเนียมซิลิเกตอื่นๆ โดยธรรมชาติจะมีสมบัติชอบน้ำ ทำให้แร่ในกลุ่มนี้ยากที่จะนำไปผสมและเกิดปฏิกิริยากับเนื้อพอลิเมอร์ ยิ่งไปกว่านั้นชั้นที่ซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบของแผ่นโครงสร้างของเคลย์มีการยึดกันแน่นหนาด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ คู่ไอออน (Counterions) จะถูกดึงดูดด้วยประจุลบในแผ่นโครงสร้างของเคลย์ คู่ไอออนนี้สามารถดึงดูดแผ่นโครงสร้าง 2 แผ่นเข้าไว้ด้วยกัน จึงทำให้ชั้นที่ซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบของแผ่นโครงสร้างของเคลย์ยึดกันอย่างแน่นหนายิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.4 ด้วยเหตุนี้ เคลย์จึงต้องทำการตัดแปรก่อนที่จะนำเคลย์ไปทำนาโนคอมโพสิต เพื่อให้ชั้นแผ่นโครงสร้างของเคลย์เกิดการแยกชั้น การทำคอมโพสิตโดยปราศจากการตัดแปรเคลย์ก่อนจะทำให้ได้วัสดุคอมโพสิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากเคลย์ทั้งหมดจะเกาะติดยึดอยู่ภายในเนื้อพอลิเมอร์ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับเนื้อพอลิเมอร์ได้ วิธีการที่นิยมคือการตัดแปรผิวของเคลย์ ทำให้สามารถเข้ากันได้มากขึ้นกับเนื้อของสารอินทรีย์คือ การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchanging) ประจุบวกจะเกิดพันธะที่ไม่แข็งแรงกับผิวของเคลย์ ดังนั้นประจุบวกโมเลกุลเล็กๆ สามารถแทนที่ประจุบวกที่มีอยู่บนเคลย์ได้



รูปที่ 2.4 การยึดกันระหว่างชั้นของดินกับประจุบวกที่อยู่ระหว่างชั้นของดิน

ประโยชน์ของแรมอนต์มอริลโลไนต์

เนื่องจากสมบัติพิเศษของแรมอนต์มอริลโลไนต์ที่สามารถดัดแปรจนมีขนาดอนุภาคเล็กในระดับนาโนเมตรจนสามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อพอลิเมอร์แล้ว ปัจจุบันแรมอนต์มอริลโลไนต์จึงได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้เสริมแรงพลาสติก ได้มีผู้สนใจนำมอริลโลไนต์ไปผสมกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ เช่น พอลิยูรีเทน ไนลอน พอลิพรอพิลีน เป็นต้น ได้เป็นนาโนคอมพอสิตที่เสริมแรงในระดับโมเลกุลทำให้คอมพอสิตที่ได้มีสมบัติที่ดีขึ้น เช่น สมบัติการทนความร้อน สมบัติความแข็งแรง เป็นต้น นอกจากนี้พบว่า แรมอนต์มอริลโลไนต์ในนาโนคอมพอสิตช่วยเพิ่มความต้านทานสารเคมี ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน ลดความสามารถในการซึมผ่าน และช่วยให้วัสดุมีความสามารถในการหน่วงไฟอีกด้วย [8, 9, 10]

2.1.8 วัสดุนาโนคอมพอสิต

วัสดุนาโนคอมพอสิต คือ วัสดุที่เตรียมขึ้นได้จากการนำสารตั้งแต่สองชนิดมาผสมกัน โดยมีสารอย่างน้อยหนึ่งชนิดที่มีขนาดนาโนเมตร (1-20 nm) วัสดุนาโนคอมพอสิตจัดว่าเป็นวัสดุชนิดใหม่ ซึ่งจะปรับปรุงสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล และสมบัติด้านการกัดกร่อน [11, 12, 13]

วัสดุที่นำมาใช้เสริมแรงในวัสดุนาโนคอมพอสิตที่กำลังได้รับความสนใจ คือ มอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งการเตรียมคอมพอสิตของเคลย์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังแสดงในรูป 2.5

1. คอมพอสิตทั่วไป (Conventional composite)

ประกอบด้วยอนุภาคของเคลย์ซึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อของพอลิเมอร์ โดยที่ชั้นแต่ละชั้นในโครงสร้างยังรวมกลุ่มกันอยู่ ไม่แยกออกจากกัน

2. นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด (Intercalated nanocomposite)

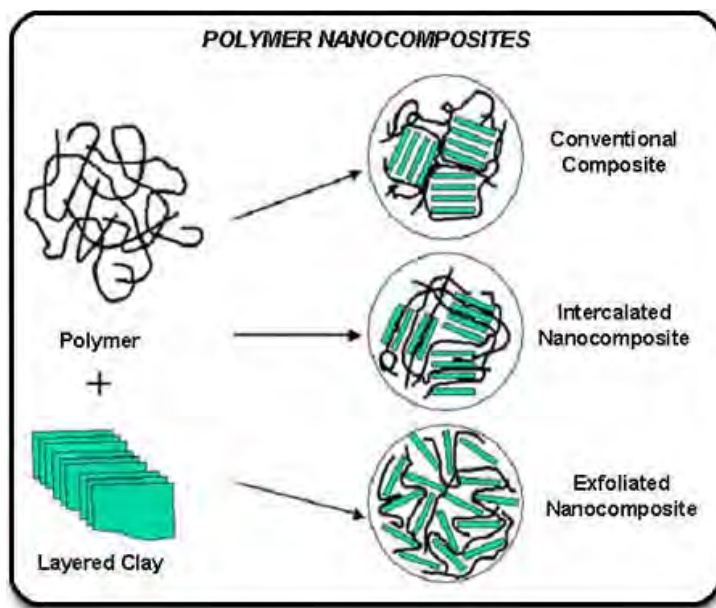
คอมพอสิตชนิดนี้ประกอบด้วยสายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแทรกสอดเข้าไประหว่างชั้นของซิลิเกตตั้งแต่ 1 สายโซ่ขึ้นไปทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นของเคลย์ขยายออก แต่ชั้นของเคลย์จะยังไม่แยกออกจากกันอย่างชัดเจน ชั้นของเคลย์ยังคงรักษาความเป็นระเบียบได้ดี แต่เมื่อนำมาตรวจสอบโดยใช้การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-ray scattering) จะพบว่าระยะห่างระหว่างชั้นดินจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วนาโนคอมพอสิตชนิดนี้จะมีค่าระยะห่างของชั้นดินน้อยกว่า 20-30 อังสตรอม

นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอดสามารถสังเคราะห์ได้โดยการแทรกสอดพอลิเมอร์โดยตรง (Direct polymer intercalation) และการแทรกสอดขณะการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบ in situ (In situ polymerization) ของมอนอเมอร์ในช่องว่างระหว่างชั้นของเคลย์ และเนื่องจากการมีที่ว่างที่จำกัดของพอลิเมอร์ระหว่างช่องว่างระหว่างชั้นที่หนาแน่นของเคลย์ ส่งผลให้นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอดมีสมบัติการเหนียวนำและการสกัดกั้นที่ดี

3. นาโนคอมพอสิตแบบแยกออกจากกัน (Exfoliated nanocomposite)

โครงสร้างที่เป็นแบบแยกออกจากกัน จัดว่าเป็นโครงสร้างที่เป็นแบบอุดมคติ เพราะชั้นของเคลย์จะแยกชั้นกันอย่างชัดเจนทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สามารถแทรกสอดเข้าไประหว่างชั้นของดินได้ และเมื่อได้ทำการศึกษาด้วยการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-ray scattering) โดยทั่วไปแล้วนาโนคอมพอสิตแบบนี้จะมีค่าระยะห่างของชั้นดินมากกว่า 80-100 อังสตรอม แต่อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะทำให้เคลย์เกิดการแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ในเนื้อพอลิเมอร์ เนื่องจากแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตที่แข็งแรงระหว่างชั้นซิลิเกต และประจุลบระหว่างแกลเลอรี

เคลย์ที่เกิดนาโนคอมพอสิตแบบแยกออกจากกันกับเนื้อพอลิเมอร์จะช่วยปรับปรุงสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกลและสมบัติการไหลให้ดีขึ้น ทำให้การใช้งานของพอลิเมอร์นั้นๆ กว้างขวางขึ้น



รูปที่ 2.5 ชนิดของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต

กระบวนการเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต

การเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตในปัจจุบันมี 3 วิธี ซึ่งการเลือกกระบวนการเตรียมขึ้นกับความเหมาะสม และชนิดของพอลิเมอร์ [14]

1. Solution intercalation

วิธีนี้ผสมออร์กาโนเคลย์ในพอลิเมอร์ที่ละลายในตัวทำละลาย สายโซ่พอลิเมอร์จะแทรกเข้าไประหว่างชั้นของออร์กาโนเคลย์ และเมื่อหลังจากการระเหยตัวทำละลายก็จะได้นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด

2. In-situ polymerization

วิธีนี้เป็นวิธีที่คล้ายกับวิธีของ Solution intercalation แต่จะต่างกันตรงที่เปลี่ยนจากตัวทำละลายเป็นมอนอเมอร์ มอนอเมอร์จะแทรกตัวเข้าไประหว่างชั้นในโครงสร้างแรดิดิน แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์ วิธีนี้จะทำได้นาโนคอมพอสิตแบบแยกจากกัน

3. Melt intercalation

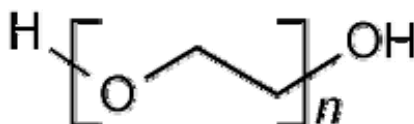
กระบวนการนี้เริ่มจากการผสมเทอร์โมพลาสติกหลอมเหลวแทรกเข้าไประหว่างชั้นออร์กาโนเคลย์ กระบวนการนี้จะต้องมีความเร็วอย่างเพียงพอในขณะที่ผสมอยู่ในเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์

ลักษณะสำคัญของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตจากนาโนเคลย์ [14, 15, 16]

1. มีความใส เนื่องจากอนุภาคขนาดนาโนเมตรจะเล็กกว่าความยาวคลื่นแสง UV-Vis มาก จึงไม่กระเจิงแสง ไม่เกิดความขุ่น ไม่ทึบแสง ให้ความโปร่งใส
2. มีความแข็งแรง มอดุลัสสูงขึ้น เนื่องจากความแข็งของชั้นซิลิเกต
3. มีสมบัติสกัดกั้นการซึมผ่านของแก๊ส เนื่องจากโครงสร้างผลึกที่หนาแน่น และมี aspect ratio สูงทั้งสองมิติ จึงเพิ่มเส้นทางการเคลื่อนที่ของแก๊ส
4. ทนความร้อนสูงได้ดี เนื่องจากซิลิเกตเป็นฉนวนที่ดี การเผาไหม้จะให้ถ่าน (char) ปกคลุมที่ผิวหน้าจึงไม่ลามไฟ และไฟดับได้รวดเร็ว
5. เมื่อผสมในพอลิเมอร์ที่นำไฟฟ้าได้ จะทำให้นำไฟฟ้าหรือนำอิเล็กตรอนได้ดีขึ้น เนื่องจากการจัดตัวของโมเลกุลให้อยู่ในภาวะที่เอื้อต่อการนำไฟฟ้า เช่น สายโซ่โมเลกุลจะถูกยึดออกมามากกว่าจะขดตัว ทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสะดวกขึ้น

2.1.9 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Poly(ethylene glycol), PEG)

จัดอยู่ในกลุ่ม Polyethers โครงสร้างของ PEG เป็นโพลิเมอร์ของ 1, 2-ethylene oxide ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของ PEG

มีความสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆได้ดี เช่น โทลูอีน อีกทั้งมีความสามารถที่ดีในการละลายน้ำ จึงจัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีความชอบน้ำ (Hydrophilicity) มีสมบัติเป็น non-volatile solvent ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากมีจุดเดือดสูงตามน้ำหนักโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น ง่ายต่อการควบคุมของ Degree of condensation มีความเป็นพิษต่ำและไม่ระคายเคืองต่อผิวหนังจึงไม่เป็นอันตรายเมื่อสัมผัสกับผิวหนังและริมฝีปาก เมื่อมวลโมเลกุลสูงขึ้น ความหนืด จุดเดือด และจุดเยือกแข็งก็จะเพิ่มขึ้นด้วย [17]

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kachondecha และ Netpradit [18] ศึกษาสมบัติของกระดาษชนิดต่างๆ ที่ทำการเคลือบด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยทำการเคลือบบนกระดาษสีขาว 4 ชนิดคือ ปอนด์ อาร์ตมัน การ์ด และอาร์ตการ์ด นำไปทดสอบด้วยเครื่องพิมพ์หมึกพิมพ์ฐานน้ำ พบว่ากระดาษเคลือบพอลิเมอร์ดูดซับน้ำหมึกได้ดี หมึกแห้งตัวง่ายขึ้น สีหมึกไม่จมน้ำในเนื้อกระดาษหรือแผ่ขยายมากเกินไป เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์สี พบว่า กระดาษทั้ง 4 ชนิดที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ ให้ความเข้มสีและความอิ่มตัวสีสูงขึ้น ขอบเขตการผลิตสีกว้างขึ้น ภาพคมชัดมากขึ้น และเม็ดสกรีนมีขนาดเล็กลง

Yong และคณะ [19] ได้เตรียมสารเคลือบกระดาษจาก PET ที่ผ่านการรีไซเคิลมาแล้ว โดยผสมร่วมกับเคลย์ และลาเทกซ์ นำมาเคลือบบนผิวหน้ากระดาษกล่องรีไซเคิล พบว่าปริมาณ PET ที่ 5 % ส่งผลให้กระดาษมีสมบัติที่ดีขึ้นมาก ด้านการขวางกั้นการซึมผ่านของไอน้ำ และการดูดซับน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพบว่าการเติมเคลย์ที่ปริมาณมากขึ้น จะส่งผลต่อสมบัติของกระดาษทางการขวางกั้นการซึมผ่านของไอน้ำที่ดีขึ้น

Kleebauer และคณะ [20] ศึกษาสมบัติการขวางกั้นของกระดาษหลังเคลือบด้วยนาโนคอมพอสิต เพื่อเป็นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากกระดาษ โดยทำการเคลือบผิวหน้ากระดาษด้วยชั้นบางๆ ของสารเคลือบ โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์ ร่วมกัน ผลการทดลองพบว่ากระดาษได้รับการปรับปรุงสมบัติที่ดีขึ้นในด้านการขวางกั้น การดูดซับน้ำ และการขวางกั้นออกซิเจน ซึ่งทำให้กระดาษมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานทางด้านบรรจุภัณฑ์

Qunhui และคณะ [21] ศึกษาสมบัติการขวางกั้นของกระดาษด้วยนาโนคอมพอสิตของ polystyrene-butadiene/montmorillonite และมี polyacrylate เป็นสารที่ช่วยในการกระจาย โดยการเคลือบลงบนผิวหน้ากระดาษ ผลการทดลองพบว่าสารเคลือบนาโนคอมพอสิตช่วยในการปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้านการขวางกั้น (barrier properties) ที่ดีขึ้น รวมทั้งมีสมบัติการย่อยสลายที่ดีขึ้น และยังได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

Malla และคณะ [22] เน้นเพื่อดูผลกระทบของการผสมสารสี 3 ชนิดคือ ดีลามิเนตเคลย์ แคลซินเคลย์และทัลค์ ในสารเคลือบกระดาษเคลือบผิวหน้าหนักเบา (LWC) ที่มีผลต่อสมบัติเชิงแสงและความสามารถในการพิมพ์ได้ของระบบโรโตกราฟัวร์ และการเกิดโครงสร้างรูพรุนของชั้นสารเคลือบ โดยใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติในการวิเคราะห์หาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารสี ผลการทดลองพบว่าดีลามิเนตเคลย์ในชั้นสารเคลือบ เพิ่มความมันวาว ความขาวสว่าง และความทึบแสง ส่วนแคลซินเคลย์มีส่วนช่วยปรับปรุง ความขาวสว่าง ความทึบแสง และสภาพการพิมพ์ได้ในระบบการพิมพ์โรโตกราฟัวร์ แต่ไปลดความมันวาวของกระดาษลง ส่วนทัลค์ช่วยในการปรับปรุงสภาพการพิมพ์ได้ในระบบการพิมพ์โรโตกราฟัวร์ แต่ลดความมันวาว ความขาวสว่าง และความทึบแสงลง จากรูปร่างของสารสีทั้ง 3 ชนิด พบว่าสารสีชนิดดีลามิเนตเคลย์และทัลค์ มีรูปร่างอนุภาคเป็นแผ่น แต่แคลซินเคลย์มีรูปร่างแบบเกาะเป็นกลุ่มเมื่อนำมาเคลือบบนกระดาษทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนที่มีขนาดและปริมาตรรูพรุนที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าถ้ามีปริมาณดีลามิเนตเคลย์สูงทำให้รูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่ปริมาตรรูพรุนลดลง และถ้ามีแคลซินเคลย์สูงมีผลเพิ่มทั้งขนาด และปริมาตรรูพรุน ดังนั้นสารสีทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อความเรียบ และการรับหมึกของชั้นเคลือบผิว โดยปริมาณสารสีที่เหมาะสมที่ระดับความมันวาวที่ 50 คือ ดีลามิเนตเคลย์ 60 – 80%, แคลซินเคลย์ 10 – 20% และทัลค์ 0 – 30% ทำให้สมบัติเชิงแสงที่ดีที่สุด

Lee และคณะ [23] ได้พบว่าสารเคลือบกระดาษสำหรับกระดาษระบบการพิมพ์อิงก์เจ็ตที่เตรียมจากสารสี 4 ชนิด ได้แก่ ฟุ่มซิลิกา 2 ชนิด อะลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกาชนิดตกตะกอน โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นสสารยึด นำมาผสมกันเพื่อเตรียมเป็นสารเคลือบกระดาษสำหรับการพิมพ์ระบบอิงก์เจ็ต ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของสารสี และพื้นที่ผิวของสารสี เมื่อนำมาผสมกันจนได้สารเคลือบจำนวน 4 สูตร โดยเคลือบด้วยเครื่องที่ใช้ใบมีดในการปาดบนกระดาษด้วยน้ำหนักสารเคลือบที่ต่างกัน คือ $6 \pm 1 \text{ g/m}^2$, $9 \pm 1 \text{ g/m}^2$, $12 \pm 1 \text{ g/m}^2$ และ $15 \pm 1 \text{ g/m}^2$ แล้วนำกระดาษที่เคลือบแล้วมาตรวจสอบสมบัติทางการมองเห็น สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางการพิมพ์ของระบบอิงก์เจ็ต ได้แก่ ความมันวาว ความหยาบ ค่าการซึมผ่าน มุมสัมผัส ค่าความดำ และการกระจายตัวของรูพรุนของกระดาษเคลือบ จากการทดลองพบว่า ความมันวาว

ขึ้นกับชนิดของสารสี น้ำหนักสารเคลือบ และขนาดของอนุภาคสารสี ความเรียบมีความสัมพันธ์กับความมันวาว ดังนั้นหากต้องการกระดาษเคลือบที่มีความมันวาว และความเรียบ ต้องใช้สารสีที่มีขนาดอนุภาคเล็ก เมื่อเพิ่มน้ำหนักสารเคลือบ ทำให้ความสามารถในการซึมผ่านมีค่าสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสารสีด้วย ด้านคุณภาพการพิมพ์พบว่าค่าความดำของหมึกขึ้นกับชนิดของสารสี และขนาดของการกระจายตัวของรูพรุนของกระดาษเคลือบ

บทที่ 3

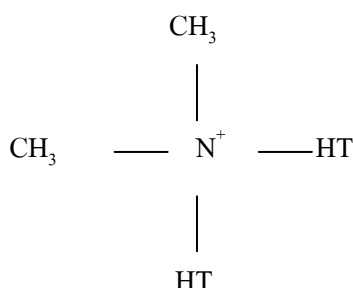
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

1. เยื่อกระดาษที่ผ่านการฟอก (Phoenix Pulp and Paper Public Company limited, Thailand)
2. สารกันซึม (Sizing agent) AKD
3. ไดคลอโรมีเทน (DCM) (Analytical grade, AJAX Finechem, Australia)
4. พอลิแลกไทด์ (PLA) (MW 74,000 กรัม/โมล, บริษัท Nature Works, USA)
5. พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) (MW 900-1000 g/mol, PANREAC SINTESIS, Bcelona) ความหนาแน่น 1.1 g/cm³ [24])
6. มอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite[®] 15A) (Southern Clay Products, USA)

Cloisite15A คือ มอนต์มอริลโลไนต์ที่ได้รับการดัดแปรด้วยเกลือควอเทอร์นารี-แอมโมเนียม ชนิด Dimethyl, dihydrogenated tallow, quaternary ammonium (2M2HT) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 3.1

Cloisite15A มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยที่ 6 ไมครอน ความหนาแน่น 1.66 g/cm³ ความเข้มข้นของการดัดแปร (Modifier Concentration) ที่ 125 meq/100 g Clay และ d_{001} เท่ากับ 31.75 Å [25]



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของ Dimethyl, dihydrogenated tallow, quaternary ammonium (HT คือ Hydrogenated Tallow (~65% C18; ~30% C16; ~5% C14)) และโมเลกุลของแอนไอออนคือ คลอไรด์ (Chloride)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แท่งขดลวดเคลือบผิว (K bar Coater, No. 4, 7 และ 9) (RK Print Coat Instruments Ltd, UK) ที่ให้ความหนาขณะเปียก 40, 80 และ 120 ไมครอน
2. เครื่องปั่นกวน (Homogenizer) (IKA[®] T10 Basic ULTRA-TURRAX[®], speed range 8,000-30,000 rpm, Germany)
3. เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) (Brookfield Model DV III, USA)
4. เครื่องวัดความมันวาว (Gloss meter, Micro-gloss 75^o) (BYK-Gardner, GMBH, Germany)
5. Paper Testing Waxes (Avery Dennison Manufacturing Co., Framingham, Massachusetts)
6. Cobb tester (OSASCO-SP, Regmed Industria Tecnica de Frecisao, Brazil)
7. เครื่องชั่งสาร (0.005-21 Kg) (GX-20K, Japan)
8. เครื่องชั่งสาร (0.01-4000 g) (TB-4002, Denver instrument, Japan)
9. ตู้อบ (Venticell, German)
10. กระดาษ Blotting paper
11. เครื่องวัดความชื้น (Moisture Determination Balance) (KettFD-600, Kett Electric Laboratory, Japan)
12. เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษ (Sheet former) (Rapid Kothen Blattbildner, PTI Laboratory Equipment, Austria)
13. เครื่องวัดสภาพกระดาษน้ำได้ (Freeness tester) (LTDA, Regmed Industria Tecnica de Frecisao, Brazil)
14. เครื่องวัดความหนา (Thickness tester) (Frank, Germany)

15. เครื่องวัดความขาวสว่างและความทึบแสง (Color Touch PC, Technidyne corporation, USA)
16. เครื่องปั่นผสมสาร (Mechanical stirrer) (RW 20, IKA Laboratory LABORTECHNIK)
17. เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile tester) (Stograph E-S, Toyoseiki, Seisaku-SHO, LTD, Japan)
18. เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst tester) (Lorentzen & Wettre No. 260, Stockholm, Sweden)
19. เครื่องวัดความสามารถในการผ่านของอากาศ (Air permeability) (Gurley type densometer model B, No. 158, Toyoseiki seisaku-SHO, LTD, Japan)
20. เครื่องทดสอบความเรียบของผิวกระดาษ (Bekk Smoothness tester) (0168, Toyoseiki Seisaku LTD, Japan)
21. เครื่องวัดมุมสัมผัสของของเหลว (Contact angle goniometer, PG-3, Fibro System AB, Sweden)
22. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) (JSM-5410LV, JEOL, Japan)
23. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (Thermogravimetric analyzer) (Mettler Toledo TGA/SDTA 851^o) ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน
24. เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างของผลึก (X-ray Diffractometer, XRD) (Bruker AXS Model D8 Discover)
25. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) (JEOL JEM-2010, JEOL, Japan)
26. เครื่องวัดความขุ่น (Haze meter) (BYK-Gardner model Haze-gard dual, Germany)

3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมกระดาษ

3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบกระดาษ

1. การเตรียมสารเคลือบกระดาษจากพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) (ไม่เติมพลาสติกไซเซออร์)

2. การเตรียมสารเคลือบกระดาษจากพอลิแลกไทด์และมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) (เติมพลาสติกไซเซออร์)

3.3.3 ขั้นตอนการเคลือบกระดาษและทดสอบสมบัติต่างๆ ของกระดาษหลังเคลือบผิว

3.3.4 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มของสารเคลือบผิวและการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

และเชิงความร้อนของแผ่นฟิล์ม

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมกระดาษ

แผ่นทดสอบมาตรฐานที่นำมาใช้ทดสอบสมบัติต่างๆ จะมีปริมาณเยื่อกระดาษ 120 กรัม ต่อตารางเมตร มีขั้นตอนในการเตรียม ดังนี้

1. หาปริมาณความชื้น (% Moisture content, MC) ในเยื่อคาลิปต์ส เพื่อปรับปริมาณของเยื่อให้มีค่าน้ำหนักแห้งที่ถูกต้อง หลังจากนั้นนำเยื่อทั้งหมดที่ได้ไปทำการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำเยื่อที่ได้มาทำการบดด้วยเครื่อง Valley beater ตามมาตรฐาน TAPPI จนมีค่าการระบายน้ำ (Freeness) ตามมาตรฐาน TAPPI T227 เป็น 350 ± 15 มิลลิเมตร

2. นำเยื่อที่เตรียมไว้ที่มีความเข้มข้นของเยื่อ 0.3% consistency ทำการผสมสารกันซึม AKD ลงไปปริมาณ 0.1 % โดยน้ำหนักลงในเยื่อ

3. นำเยื่อที่เตรียมมาทำการขึ้นแผ่นตามมาตรฐาน ISO 5269 ด้วยเครื่องขึ้นแผ่น (Sheet former) โดยการคำนวณให้ได้กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 120 กรัมต่อตารางเมตร

4. นำกระดาษซับมาวางบนเยื่อที่ขึ้นแผ่นแล้ว หลังจากนั้นทำการรีดน้ำด้วยลูกกลิ้ง แล้วนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 90 ° C เป็นเวลา 10 นาที

5. เมื่อแผ่นทดสอบแห้ง นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่แท้จริง

3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบกระดาษ

1. การเตรียมสารเคลือบผิวพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ไม่เติม PEG (พลาสติกไซเซอร์)

1.เตรียมสารเคลือบผิวกระดาษเตรียมขึ้นจาก พอลิแลกไทด์ (PLA) ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite15A) ที่ 10% โดยน้ำหนัก ด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน

2. กระจายมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ในอัตราส่วน 3, 6 และ 9% โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักของพอลิแลกไทด์) ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน ปั่นกวนด้วยเครื่อง Homogenizer เป็นเวลา 5 นาที

3. ผสมมอนต์มอริลโลไนต์จากข้อ 2 ร่วมกับพอลิแลกไทด์เรซินจากข้อ 1 ปั่นกวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 1200 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที

2. การเตรียมสารเคลือบผิวพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) เติม PEG (พลาสติกไซเซอร์)

1. กระจายมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่อัตราส่วน 3% ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน ด้วยเครื่อง Homogenizer เป็นเวลา 5 นาที

2. เติมมอนต์มอริลโลไนต์จากข้อ 1 ลงในพอลิแลกไทด์เรซิน (ที่ 10% โดยน้ำหนัก) ปั่นกวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 1200 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที

3. เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่อัตราส่วน 5, 10 และ 15% โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักของพอลิแลกไทด์) ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที

3.3.3 การเคลือบกระดาษและการทดสอบสมบัติต่างๆ ของกระดาษหลังเคลือบผิว

1. นำสารเคลือบผิวที่เตรียมได้ เคลือบกระดาษด้วย K bar Coater เบอร์ 4, 7 และ 9 ที่ระดับความหนาขณะเป็ยก 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยก)
2. นำกระดาษที่เคลือบไปอบที่อุณหภูมิ 80 ° C เป็นระยะเวลา 20 นาที
3. ทดสอบสมบัติต่างๆ ของกระดาษหลังเคลือบผิว
 - สภาพให้อากาศซึมผ่าน (Air permeability) ตามมาตรฐาน TAPPI T460 om-02
 - ความเรียบ (Smoothness) ตามมาตรฐาน TAPPI T479 cm-99
 - ความมันวาว (Gloss) ตามมาตรฐาน TAPPI T480 om-99
 - ความขาวสว่าง (Brightness) ตามมาตรฐาน TAPPI T525 om-02
 - ความทึบแสง (Opacity) ตามมาตรฐาน TAPPI T519 om-02
 - ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน ISO 1924-2
 - ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst strength) ตามมาตรฐาน ISO 2759
 - การดูดซึมน้ำ (Cobb Test) ตามมาตรฐาน TAPPI T441 om-98
 - ความแข็งแรงต่อการถอนผิวหน้ากระดาษ (Wax pick test) ตามมาตรฐาน TAPPI T459 om-99
 - มุมสัมผัสของน้ำบนกระดาษหลังเคลือบ (Contact angle) ตามมาตรฐาน TAPPI T458 cm-94
 - ลักษณะพื้นผิวและภาคตัดขวางของกระดาษด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

3.3.4 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มจากสารเคลือบและการทดสอบสมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์ม

1. เทสารเคลือบผิวที่เตรียมได้ ลงบนจานเพาะเชื้อ นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (ความหนาของแผ่นฟิล์มหลังอบ 300-400 ไมครอน)
2. ศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและเชิงความร้อนของแผ่นฟิล์ม

- การทนความร้อนของแผ่นฟิล์ม (TGA) ช่วงอุณหภูมิทดสอบ 30-600°C ที่อัตรา 20°C/min ภายใต้แก๊สไนโตรเจน
- ความเป็นผลึก (XRD) ช่วงมุมที่ทำการทดสอบ 3-35° อัตราการสแกนที่ 0.2 sec/step
- ลักษณะนาโนคอมโพสิตด้วยภาพถ่าย TEM
- ความขุ่นของแผ่นฟิล์ม (Haze)

3.4 วิธีการทดสอบกระดาษ

1. การทดสอบน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ (Basis weight)

น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ คือ น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ การหาน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะต้องมีการปรับสภาวะของกระดาษก่อน โดยการนำกระดาษมาเก็บในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (อุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ $65\pm 2\%$ สำหรับประเทศเขตร้อน) เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นจะมีผลทำให้น้ำหนักของกระดาษเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลจากการดูดหรือคายความชื้นของกระดาษตามสภาวะโดยรอบ ในการหาน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษนั้นสามารถหาได้จากน้ำหนักของกระดาษต่อ 1 หน่วยพื้นที่ ทำการชั่งหาน้ำหนักสารเคลือบ 5 แผ่น จดบันทึกค่าและหาค่าเฉลี่ย [26]

2. การทดสอบความหนาของกระดาษ (Thickness)

ความหนาของกระดาษ คือ ระยะห่างในแนวตั้งฉากระหว่างพื้นผิวทั้งสองด้านของกระดาษ หน่วยที่ใช้ในการวัดความหนาของกระดาษโดยทั่วไปคือ มิลลิเมตร (mm) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนา คือ น้ำหนัก (ในกรณีที่กระดาษมีความหนาแน่นเท่ากัน) ถ้าน้ำหนักมาก ความหนาก็จะมากด้วย และความชื้นของกระดาษที่เพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ความหนาเพิ่มมากขึ้นด้วย ทำการสุ่มวัด 5 แผ่น จดบันทึกค่าและหาค่าเฉลี่ย [26]

3. การทดสอบความขาวสว่าง (Brightness)

การกระเจิงของแสง (Light scattering) เป็นสมบัติของแสงที่สำคัญอันหนึ่งที่มีผลต่อความขาวสว่างของกระดาษ การกระเจิงของแสงที่เกิดขึ้นนี้ เป็นผลจากการสะท้อนและหักเหของแสงที่ตกกระทบบนเส้นใยเซลลูโลสและสารเติมแต่ง ความขาวสว่างของกระดาษวัดได้จากค่าการสะท้อนแสงโดยรวม (Total reflectance of light) ที่ตกลงบนกระดาษ ในอุตสาหกรรมกระดาษ

ตรวจค่าความสว่างจากการสะท้อนแสงแบบกระจายที่มุม 45 องศา ณ ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ความขาวสว่างของกระดาษสามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดความขาวสว่าง รุ่น Color Touch ที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ทำการสุ่มวัด 3 ตำแหน่ง จำนวนแผ่นทดสอบ 5 แผ่น จดบันทึกค่าและหาค่าเฉลี่ย [26]

4. การทดสอบความทึบแสง (Opacity)

เป็นสมบัติที่สำคัญสำหรับกระดาษพิมพ์และเขียน กระดาษจะต้องมีความทึบแสงพอที่จะบังภาพหรืออักษรที่อยู่ด้านหลังไม่ให้ปรากฏจนเกิดปัญหาในการอ่านและความชัดเจนของสิ่งพิมพ์ ความทึบแสงสามารถวัดได้โดยเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงสีเขียวที่ช่วงความยาวคลื่น 557 นาโนเมตร ความทึบแสงและความขาวสว่างต่างขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ การกระเจิงแสงและการดูดกลืนแสง การวัดค่าความทึบแสง ให้นำกระดาษที่ใช้วัดแผ่นแรกวางบนพื้นหลังสีดำ เพื่อทำการ Calibrate เครื่อง จากนั้นนำกระดาษแผ่นเดียวกันนี้วางบนแผ่นทดสอบทั้งหมดและวัดค่าอีกครั้ง ทำการสุ่มวัด 3 ตำแหน่ง จำนวนแผ่นทดสอบ 5 แผ่น จดบันทึกค่าและหาค่าเฉลี่ย [26]

5. การทดสอบความมันวาว (Gloss)

ความมันวาวของกระดาษ (Paper gloss) สามารถวัดได้จากสมบัติการสะท้อนแสงของพื้นผิวกระดาษ ซึ่งเกิดจากการสะท้อนแสงแบบกระจก (Specular reflection) และการสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse reflection) วัดดูใดที่มีการสะท้อนแสงแบบกระจกมาก วัดดูนั้นมีความมันวาวสูง ความมันวาวของกระดาษขึ้นอยู่กับความเรียบของพื้นผิว การขัดผิว และการเคลือบผิว การปิดผิวไม่สมบูรณ์ทำให้เห็นเส้นใยส่งผลให้ความมันวาวลดลงได้ ความมันวาวของกระดาษวัดด้วยเครื่องวัดความมันวาวที่มุม 75° ซึ่งเป็นมุมสำหรับวัดความมันวาวของกระดาษ ทำการสุ่มวัด 3 ตำแหน่ง จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 แผ่น จดบันทึกค่าและหาค่าเฉลี่ย [26]

6. การทดสอบความเรียบของกระดาษ (Smoothness)

กระดาษที่มีความเรียบมากจะส่งผลต่อความละเอียดของงานพิมพ์ที่สูงขึ้น ดังนั้นกระดาษชนิดความมันวาวสูงจะมีความเรียบสูง แต่กระดาษที่มีความเรียบสูงไม่จำเป็นต้องมีความมันวาวสูง ความเรียบของกระดาษสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดความเรียบ รุ่น Digi-bekk smoothness tester No. 168 โดยนำด้านที่เคลือบสารเคลือบคว่ำลง จากนั้นทำการจับเวลาให้

อากาศปริมาตร 10 ml ไหลผ่านผิวหน้ากระดาษ โดยให้ความดันจาก 380 จนถึง 360 mm Hg ทำการวัด 3 ตำแหน่งที่ต่างกันแล้วหาค่าเฉลี่ยแล้วทำการจับเวลาในการไหลผ่านของอากาศ โดยจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 แผ่น จดบันทึกค่าและหาค่าเฉลี่ย [26]

7. การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength)

ความแข็งแรงต่อแรงดึง คือ ค่าแรงดึงสูงสุดที่กระดาษสามารถทนได้ก่อนที่จะขาดออกจากกันภายใต้ภาวะในการทดสอบที่กำหนดไว้ ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของกระดาษที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของเส้นใย ความยาวของเส้นใย พันธะของเส้นใย ความชื้นของกระดาษและความมีทิศทางของกระดาษ (MD/CD) เป็นแรงต่อหน่วยความกว้างของแผ่นทดสอบ มีหน่วยคือ kN/m ดังแสดงในสมการที่ 1 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมีความสำคัญต่อการนำไปใช้งานที่ต้องทนทานต่อความเค้นดึง (Tensile stress) หรือต้องการความเหนียว เช่น การพิมพ์แบบป้อนม้วน (web press) และ การทำถุงกระดาษ กระดาษเทปกาว เป็นต้น ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสามารถคำนวณได้ดังนี้ [26]

$$T = \frac{\text{average breaking force (kN)}}{\text{Specimen width (m)}} \quad (1)$$

เมื่อต้องการเปรียบเทียบกับกระดาษที่มี basis weight ต่างกัน จึงควรใช้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Index)

ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Index) คือ ความแข็งแรงต่อแรงดึงในหน่วย N/m ต่อน้ำหนักของกระดาษ สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$TI \text{ (N.m/g)} = 1000T/R \quad (2)$$

เมื่อ T คือ Tensile strength (kN/m)
R คือ Basis weight หรือ Grammage (g/m^2)

8. การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength)

การวัดความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเป็นการวัดความสามารถของกระดาษที่จะทนแรงดันได้สูงสุด เมื่อมีแรงดันกระทำในทิศทางตั้งฉากกับผิวหน้ากระดาษ กระดาษที่จำเป็นต้องตรวจสอบความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุมักเกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ กระดาษทำกล่อง

กระดาษผิวกลอง หรือกล่องที่ใช้เพื่อการขนส่ง การวัดความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ กระดาษที่เตรียมมี basis weight ที่ต่างกัน จึงควรใช้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ [26] ในการคำนวณค่าดัชนีหักเหความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Index) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Burst Index (kPa m}^2\text{/g)} = \frac{\text{Bursting strength (kPa)}}{\text{Grammage (g/m}^2\text{)}} \quad (3)$$

9. การทดสอบสภาพให้อากาศซึมผ่านได้ (Air permeability)

สภาพให้อากาศซึมผ่านได้ของกระดาษ เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการต้านอากาศของกระดาษที่มีพื้นที่ในการวัดเป็นวงกลมขนาด 1 ตารางนิ้ว ซึ่งอากาศจะมีแรงดัน 1.22 kPa สามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดสภาพให้อากาศซึมผ่านได้ของกระดาษ รุ่น Gurley type densometer model B No. 158 โดยนำด้านที่เป็นชั้นสารเคลือบหงายขึ้นโดยอากาศที่ไหลผ่านนั้น อยู่ในภาชนะทรงกระบอกแล้วทำการจับเวลาตั้งแต่กระบอกวัดอ่านค่าได้ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร จนถึง 0 ลูกบาศก์เซนติเมตร วิธีนี้มีข้อจำกัดในการวัดที่กระดาษขอบไม่เรียบไม่สามารถวัดได้ เพราะจะทำให้อากาศรั่วออกทางด้านข้างของตัวจับกระดาษ ทำการสุ่มวัด 3 ตำแหน่ง

10. การทดสอบการดูดซึมน้ำของกระดาษ (Water absorptiveness)

การดูดซึมน้ำของกระดาษ เป็นค่าที่บอกความสามารถในการดูดซึมน้ำของกระดาษ (Water absorption) เป็นการหาปริมาณของน้ำเป็นกรัม ที่กระดาษดูดซึมน้ำไว้ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ภายในระยะเวลาที่กำหนด วัดการดูดซึมน้ำด้วยวิธี Cobb Test method โดยตัดชิ้นทดสอบให้มีขนาด 12.5 x 12.5 เซนติเมตร โดยเทน้ำปริมาณ 100 ml อย่างรวดเร็วในตัวอย่างที่จะทดสอบที่อยู่ในชุดทดสอบ เริ่มจับเวลาหลังจากเวลาที่ 10 ± 2 วินาที โดยเวลาที่ใช้ในการทดสอบ 120 วินาที เมื่อครบเวลารีบทำการเทน้ำออกและนำกระดาษตัวอย่างที่ทดสอบมาทำการซับน้ำส่วนเกินออกด้วยกระดาษ blotting paper ริดน้ำออกด้วยลูกกลิ้งเหล็กจำนวน 1 ครั้ง นำกระดาษตัวอย่างที่ซับน้ำแล้วไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล มีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร [26] สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Weight of water, g/m}^2 = [\text{Final weight, g} - \text{Conditioned weight, g}] \times 100 \quad (4)$$

11. การทดสอบมุมสัมผัสของน้ำบนกระดาษ (Water Contact Angle)

มุมสัมผัสของน้ำบนกระดาษ เป็นค่าที่บอกความสามารถในการเปียกผิวของกระดาษ และการซึมซับของกระดาษ (Surface wettability and absorptiveness) โดยทำการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ เป็นฟังก์ชันกับเวลา ซึ่งในมาตรฐานนี้สามารถวัดมุมสัมผัสได้จากของเหลวหลายชนิด [26]

12. การทดสอบความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ (Wax pick)

การทดสอบความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ (Wax pick test) โดยใช้ชุดทดสอบความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ ตามมาตรฐาน T459 om-03 วิธีนี้เป็นวิธีการในการใช้ทดสอบกระดาษเคลือบผิวและไม่เคลือบเพื่อทดสอบความแข็งแรงหรือความต้านทานต่อการถอนผิวหน้าของกระดาษ สำหรับกระดาษที่เคลือบผิวนั้นเป็นการทดสอบความสามารถในการยึดติดของสารเคลือบผิวกระดาษ [26]

3.5 วิธีการทดสอบแผ่นฟิล์ม

1. การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาลิซิส

(Thermogravimetric Analysis; TGA)

เทอร์โมกราวิเมตริกอะนาลิซิส เป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่าง เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิใน Scanning mode กับเวลาใน Isothermal mode เช่นในการเกิด Desorption, Sublimation, Vaporization, Oxidation และ Decomposition เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาทางความร้อนที่เกิดขึ้นในบางกรณีอาจไม่มีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลเสมอไป เช่น Melting, Crystallization หรือ Glass transition โดยการใช้งานส่วนใหญ่มักใช้ในงานวิเคราะห์ Decomposition และ Thermal stability ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน และใช้ในการตรวจสอบ kinetic ของ Physicochemical ที่เกิดขึ้นในตัวอย่าง

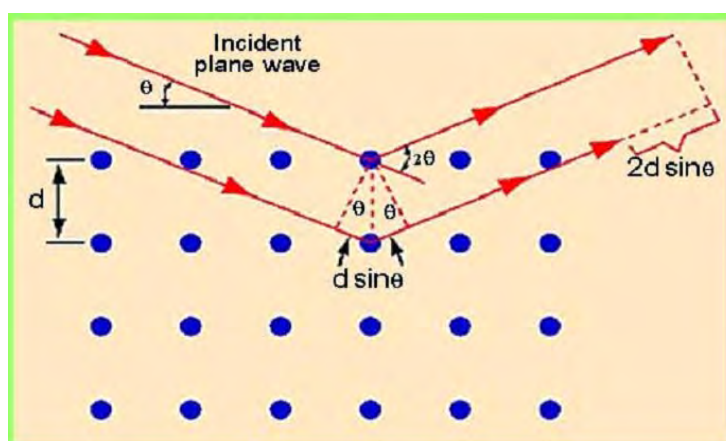
การแสดงผลการวิเคราะห์มักแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การเปลี่ยนแปลงของมวล (mass change; Δm) ในหน่วยของเปอร์เซ็นต์กับอุณหภูมิ (temperature; T) หรือ เวลา (time; t) โดยอุณหภูมิ T_d หรือที่เรียกว่า Procedural decomposition temperature จะแสดงอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็น onset ของการเกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลที่สามารถวัดได้ และ T_f หรือ final temperature เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลได้อย่าง

สมบรูณ์ reaction interval ที่ได้จะไม่ใช่ค่าเฉพาะตัวของวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ภาวะที่ใช้ในการทดสอบ [27]

2. การวิเคราะห์ระยะ d-spacing ในโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเทคนิค

X-ray diffraction (XRD)

การวิเคราะห์ระยะ d-spacing ในโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ภายในฟิล์มนาโนคอมพอสิต สามารถตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกจำเป็นต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกันหรือน้อยกว่าขนาดของอะตอม แสงที่มีความยาวคลื่นขนาดดังกล่าว ได้แก่ รังสีเอกซ์ ซึ่งได้จากการยิงอะตอมของธาตุ เช่น โคโรเนียม หรือ โมลิบดีนัม ด้วยลำอิเล็กตรอน นอกจากรังสีเอกซ์แล้ว รังสีอื่นๆ ที่ใช้ก็ได้แก่ รังสีนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู รังสีซิโครตรอน ซึ่งเป็นรังสีที่เปล่งออกมาโดยอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบอะตอมหรือไอออนภายในโครงสร้างของสารที่นำมาตรวจสอบ จะเกิดการกระเจิงประพัตติตัวคล้ายกับการสะท้อนออกจากระนาบของแลตติสผลึก ดังนั้นจึงสามารถใช้กฎการสะท้อนเช่นเดียวกับการสะท้อนจากกระจกเงา นั่นคือมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนของแสง คลื่นแสงที่จะเกิดการรวมตัวแบบเสริมกันจะต้องเป็นคลื่นที่มีเฟสเหมือนกัน นั่นคือความแตกต่างของระยะทางที่คลื่นเหล่านั้นเคลื่อนที่ที่ต้องเท่ากับเลขจำนวนเต็มคูณด้วยความยาวคลื่น ดังแสดงในสมการแบร็ก (Bragg Equation) (สมการที่ 5) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.2 ข้อควรสังเกต คือ สมการแบร็กจะระบุถึงเงื่อนไขการเกิดรังสีสะท้อน แต่ไม่ได้กล่าวถึงความเข้มแสง [27]



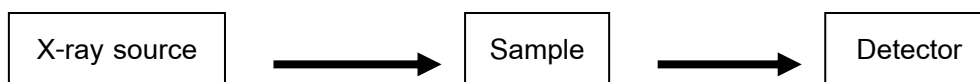
รูปที่ 3.2 รูปแบบการกระเจิงของแสงเอกซเรย์ในผลึก

$$\text{สมการแบร็ก} \quad n\lambda = 2d\sin\theta \quad (5)$$

โดยที่ λ แทนความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์
 n เป็นเลขจำนวนเต็ม
 d เป็นระยะห่างระหว่างระนาบผลึก
 θ เป็นมุมของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบผิวหน้าของผลึก

จากสมการที่ (2-4) สามารถอธิบายการสะท้อนรังสีเอกซ์จากระนาบของผลึก ซึ่งระยะทางที่แสงเดินทางจากระนาบทั้งสองหรือ $2d\sin\theta$ ต้องเท่ากับ $n\lambda$

เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบ ผลึกซึ่งประกอบด้วยอะตอมที่เรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ รังสีเอกซ์จะเกิดการสะท้อนจากอิเล็กตรอนด้วยมุมต่างๆกัน เข้าเครื่องตรวจวัด เครื่องตรวจวัดจะวัดความเข้มแสงที่มุมสะท้อนต่างๆ (ซึ่งมีค่าเท่ากับมุมตกกระทบ) และให้ผลออกมาเป็นแพทเทิร์นระหว่างมุมตกกระทบกับความเข้มแสง ดังแผนภาพในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของเครื่อง XRD

หน้าที่การทำงานของเครื่องมือ แต่ละส่วนมีดังนี้

- X-ray source เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ ภายในประกอบด้วยเป้าโลหะคอปเปอร์ ($K\alpha$ เท่ากับ 1.5406 อังสตรอม)
- Sample เป็นสารที่นำมาใช้ตรวจสอบประเภท crystalline material โดยอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์
- Detector ใช้ตรวจวัดการหักเหของรังสีเมื่อตกกระทบสาร

ดังนั้นสิ่งที่ได้จากการทดลองประกอบด้วย

1. มุมหรือทิศทางของแสงสะท้อน (2θ) สำหรับคำนวณหาขนาดหน่วยเซลล์ได้
 2. ความกว้างของผลึก (D) สำหรับคำนวณหาความเป็นผลึกของสารตัวอย่าง
 3. ความเข้มแสงสะท้อน (I) สำหรับคำนวณหาตำแหน่งของอะตอมภายในหน่วยเซลล์
- นอกจากนี้ยังมีค่าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น พารามิเตอร์การสั่น การกระจายของอิเล็กตรอน เป็นต้น

3. การทดสอบความหนืด

การทดสอบความหนืดของสารเคลือบผิวที่เตรียมได้ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield ซึ่งในงานวิจัยในครั้งนี้ทำการทดสอบความหนืดโดยใช้เข็มเบอร์ 16 ที่อุณหภูมิ 25 ° C การวัดความหนืดของสารเคลือบผิวด้วยวิธีนี้เป็นารวัดการต้านทานการไหลของสารเคลือบผิว เครื่องวัดความหนืดสามารถวัดค่าความหนืดได้โดยอาศัยการวัดค่าทอร์กที่ต้องการใช้ในการหมุน เข็มที่จุ่มอยู่ในของเหลว ซึ่งเข็มจะถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ผ่านสปริงที่ผ่านการปรับตั้งตำแหน่ง แล้วการม้วนตัวของสปริงจะแปรผันโดยตรงกับความเร็วในการหมุนเข็ม และมีความสัมพันธ์กับ ขนาดและรูปทรงของเข็ม โดยแรงต้านจะเพิ่มขึ้นถ้าใช้เข็มขนาดใหญ่ และใช้ความเร็วในการหมุน สูงขึ้น สำหรับเครื่องวัดความหนืดรุ่นหนึ่งๆ ช่วงความหนืดที่ต่ำที่สุดจะเกิดจากการใช้เข็มขนาดใหญ่ที่สุด และใช้ความเร็วในการหมุนสูงที่สุด และถ้าต้องการเลือกใช้ช่วงความหนืดที่สูงที่สุด จะต้องใช้เข็มขนาดเล็กที่สุด และความเร็วต่ำที่สุด การวัดค่าความหนืดของสารตัวอย่างโดยใช้เข็ม ที่เหมาะสม แล้วทำการวัดที่ความเร็วต่างๆนั้น จะมีประโยชน์ต่อการศึกษสมบัติทางด้าน พฤติกรรมการไหลของของเหลวชนิดนั้น โดยค่าความหนืดที่วัดได้มีหน่วยเป็น mPa s [27]

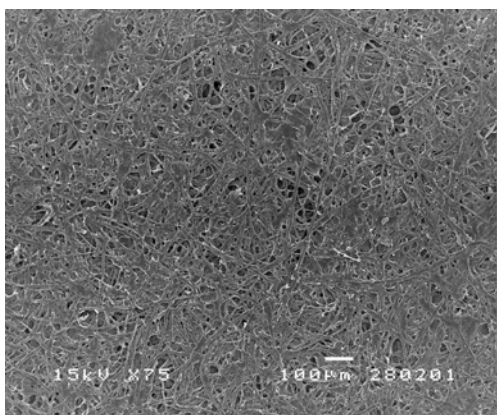
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

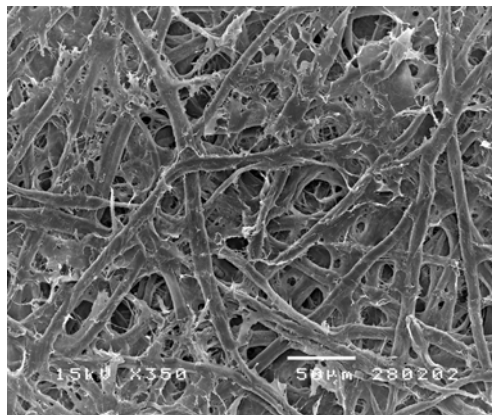
4.1 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว

เมื่อนำสารเคลือบที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยมาทำการเคลือบบนกระดาษที่น้ำหนักมาตรฐาน 120 กรัมต่อตารางเมตร แล้วนำกระดาษที่ได้ไปตรวจสอบลักษณะผิวหน้าของชั้นสารเคลือบและความหนาของชั้นสารเคลือบ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ด้วยการถ่ายภาพลักษณะพื้นผิวและภาพตัดขวางของกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบพอลิแล็กไทด์ สารเคลือบที่มีการเติมมอนต์มอริลไลไนต์ และที่มีการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ความหนาต่างกัน 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) ผลดังรูปที่ 4.1-4.8

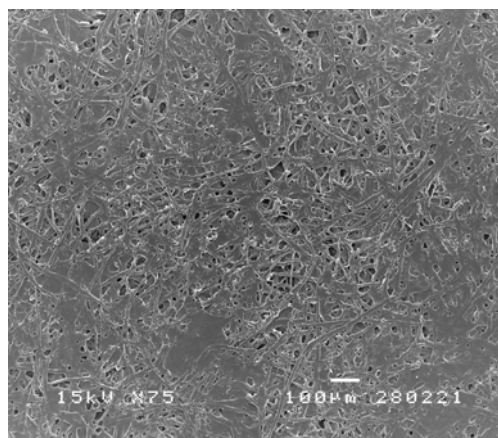


(1)

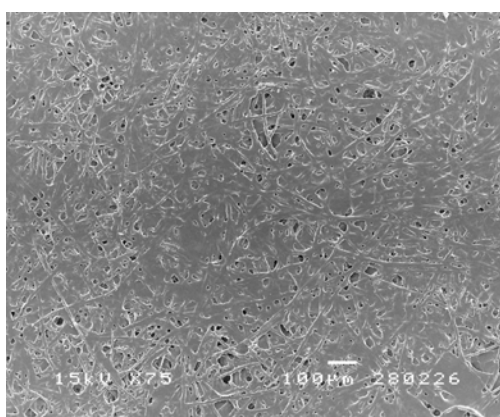


(2)

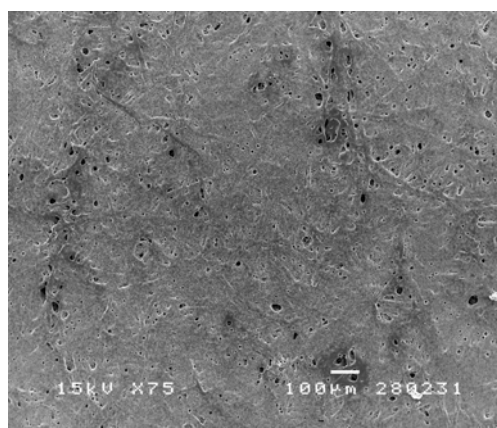
รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษก่อนเคลือบผิว (1) กำลังขยาย 75 เท่า และ (2) กำลังขยาย 350 เท่า



(1)

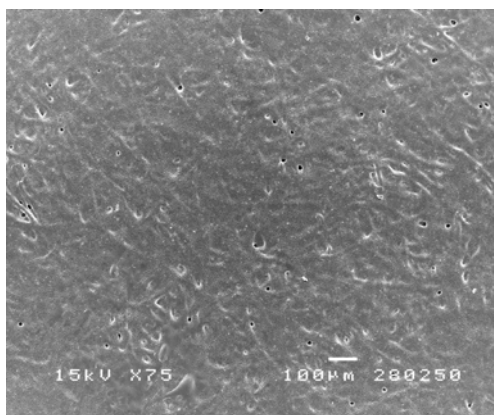


(2)

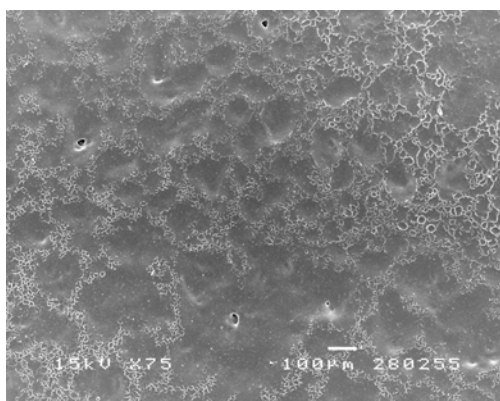


(3)

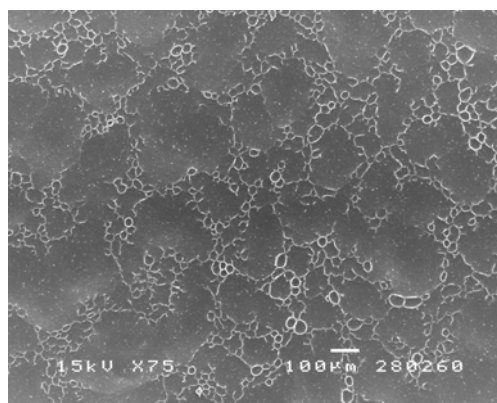
รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA ที่ 10% (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) กำลังขยาย 75 เท่า



(1)

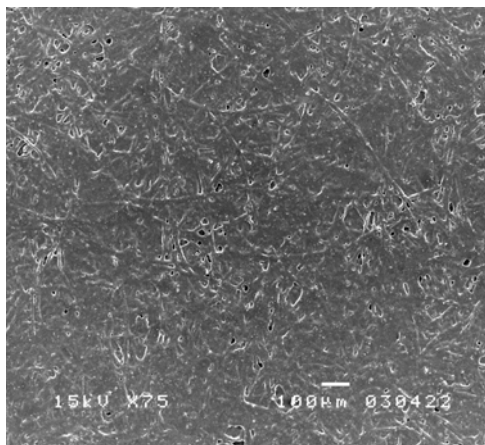


(2)

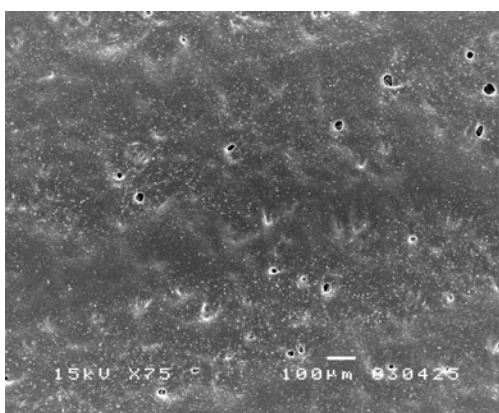


(3)

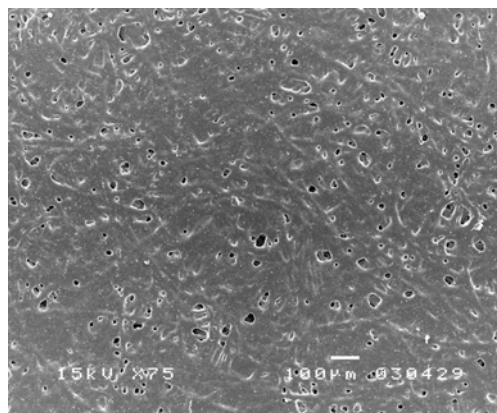
รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA + 3% MMT (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยก) กำลังขยาย 75 เท่า



(1)

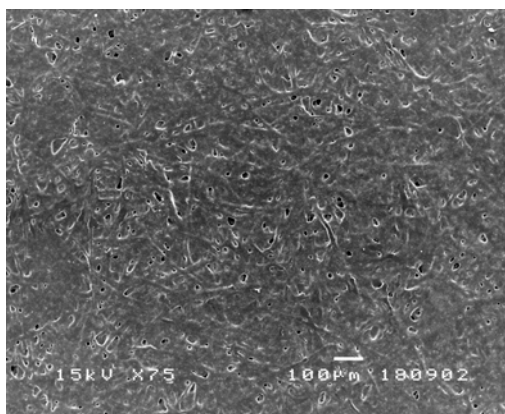


(2)

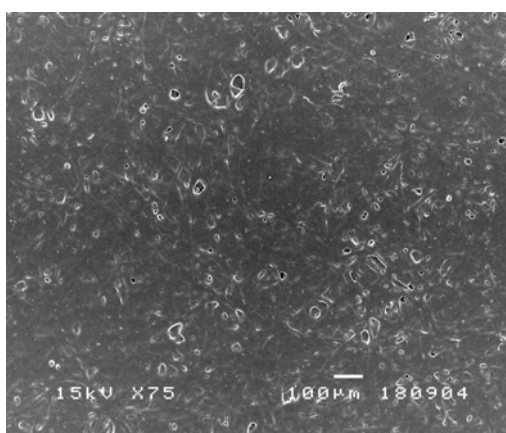


(3)

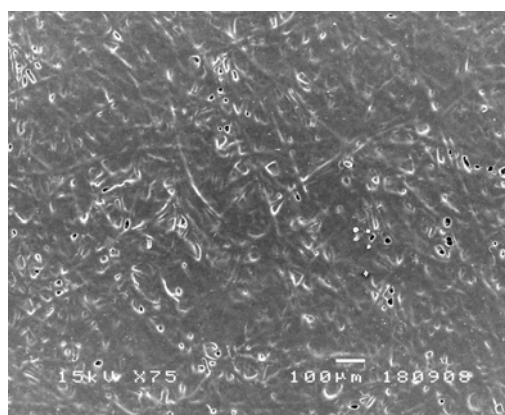
รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA + 9%MMT (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยกกำลังขยาย 75 เท่า



(1)

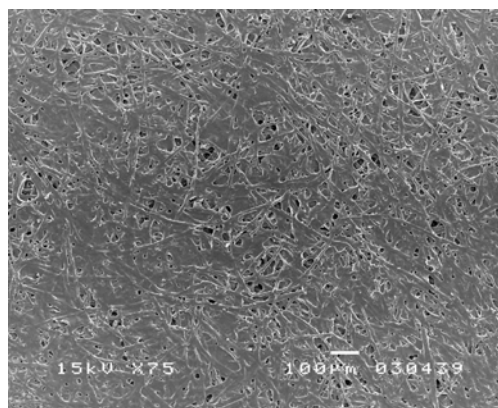


(2)

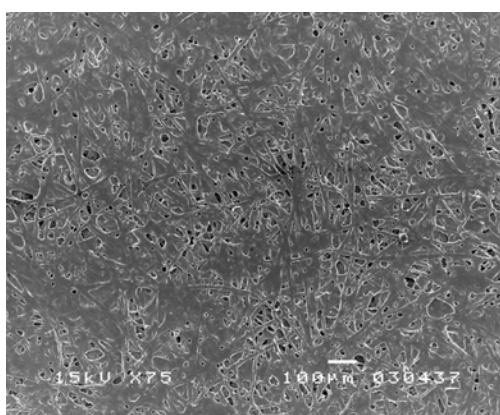


(3)

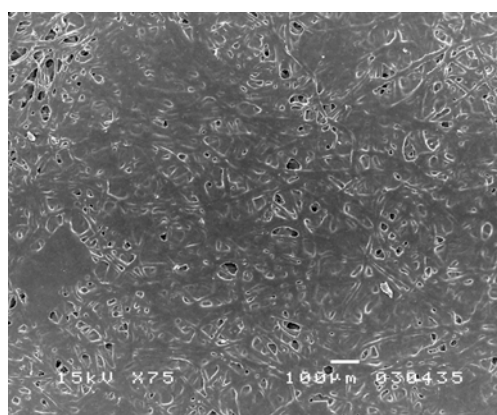
รูปที่ 4.5 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA+3%MMT+5%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยง) กำลังขยาย 75 เท่า



(1)

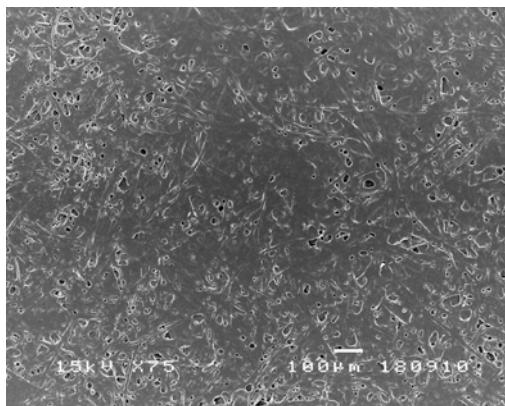


(2)

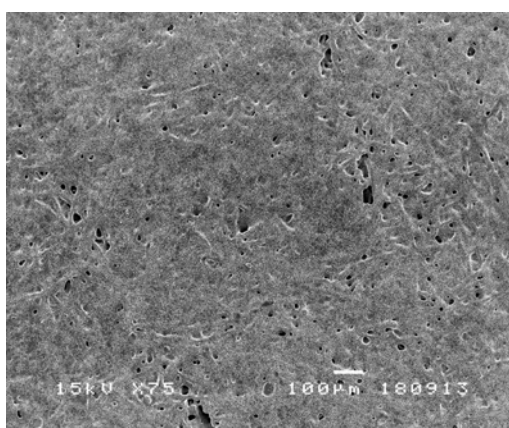


(3)

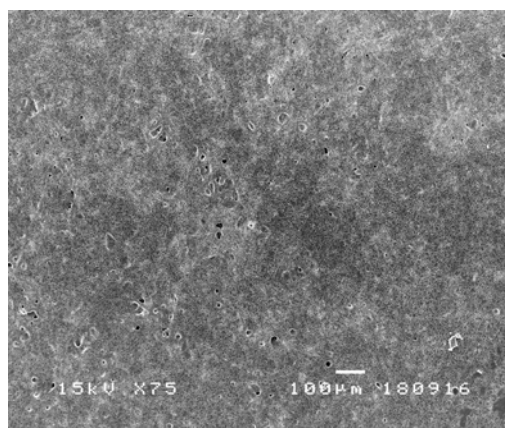
รูปที่ 4.6 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA+3%MMT+10%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยก) กำลังขยาย 75 เท่า



(1)

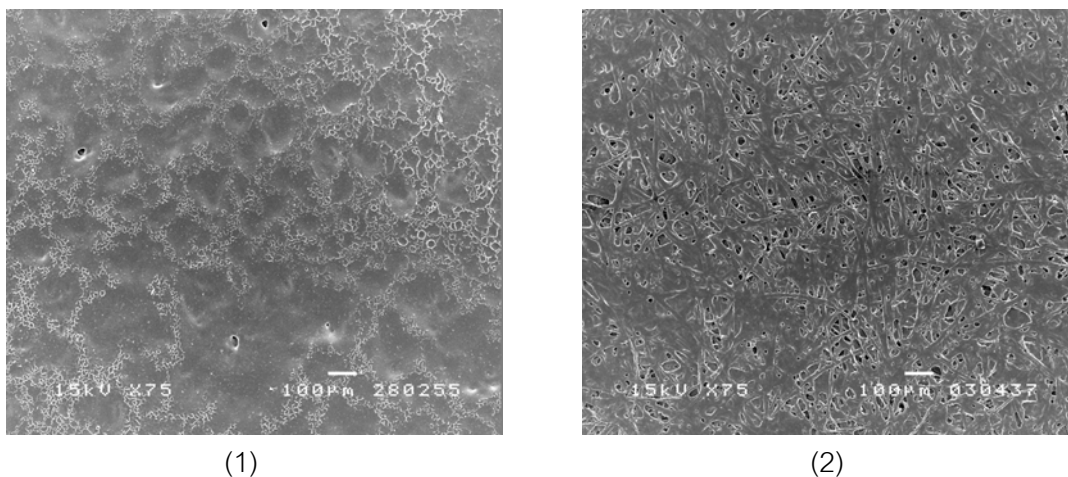


(2)



(3)

รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA+3%MMT+15%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยก) กำลังขยาย 75 เท่า

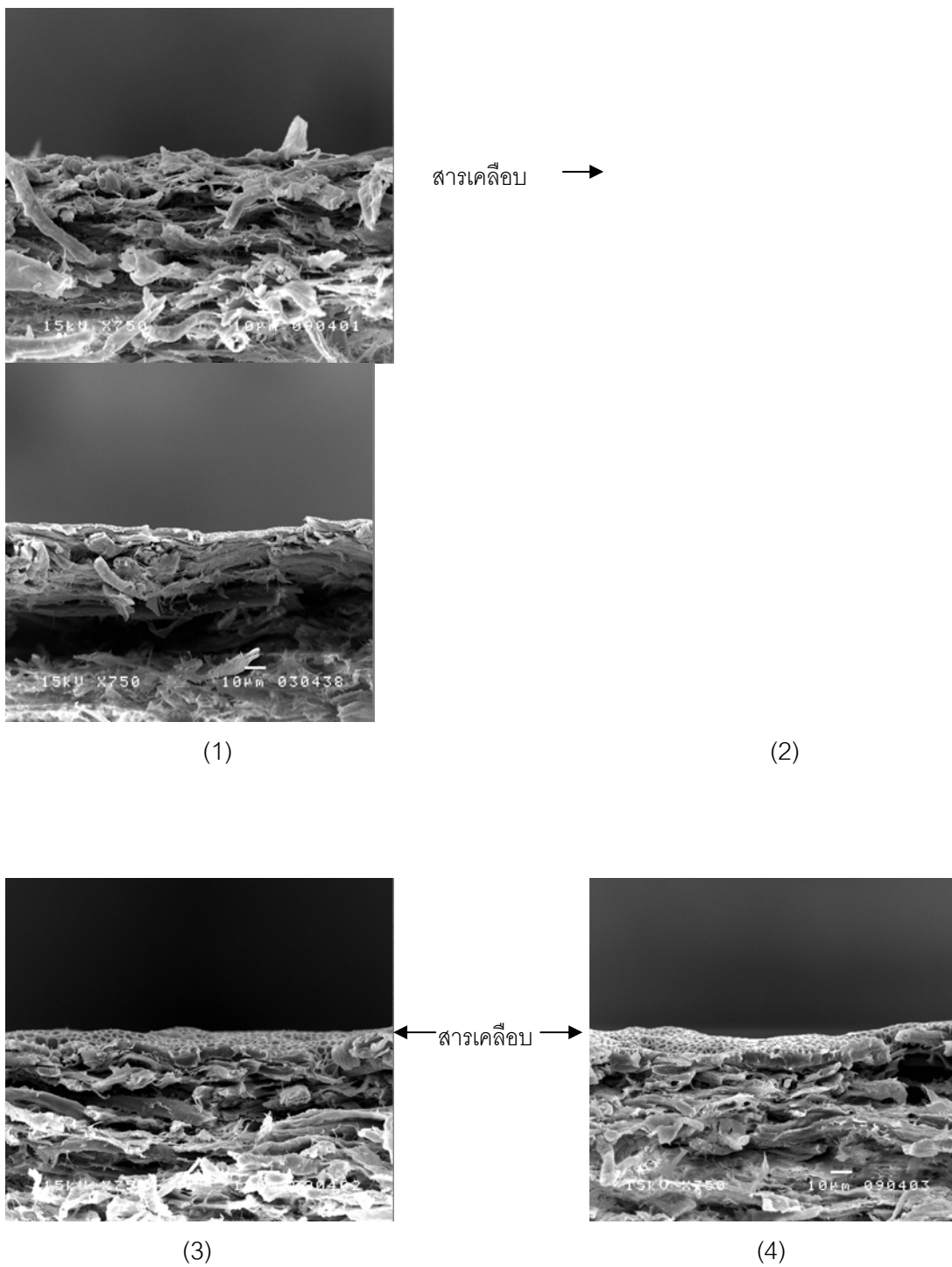


(1)

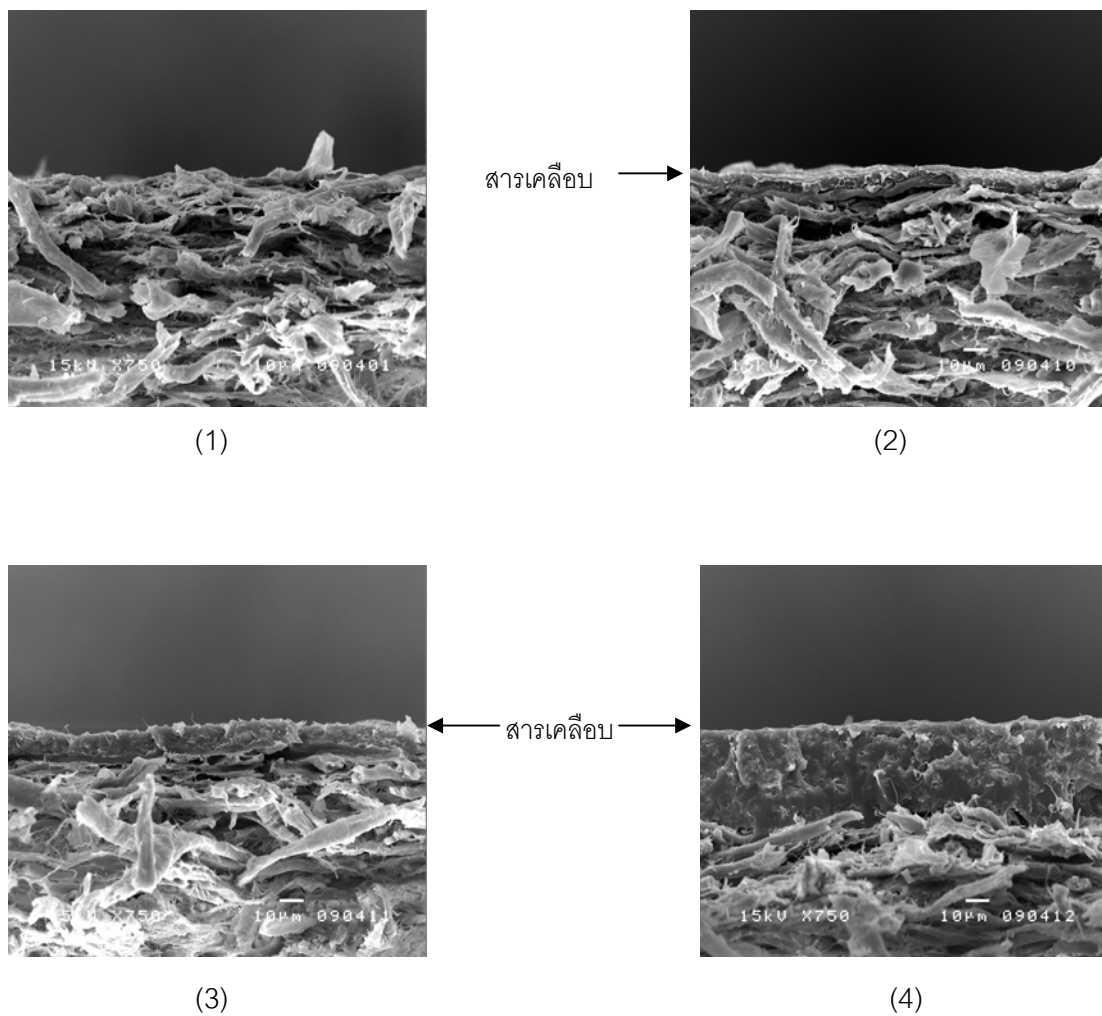
(2)

รูปที่ 4.8 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษหลังเคลือบด้วย (1) PLA+3%MMT (by wt) และ (2) PLA+3%MMT +5%PEG (by wt) ที่ความหนา 80 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) กำลังขยาย 75 เท่า

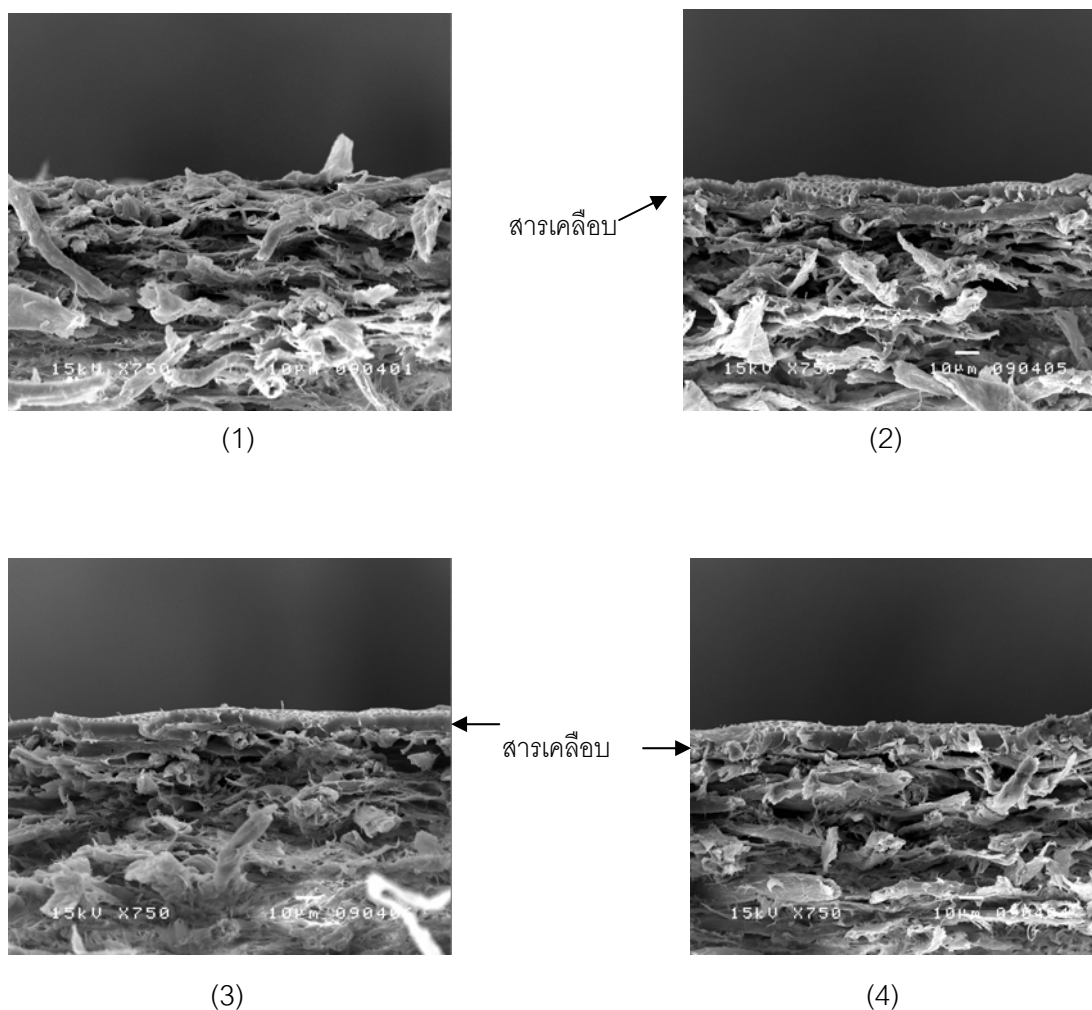
จากรูปที่ 4.1-4.8 ซึ่งเป็นภาพตัวอย่างบางส่วนของลักษณะพื้นผิวของกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิว (ภาพบางส่วนอยู่ในภาคผนวก) ที่ความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) จากรูปที่ 4.1 แสดงลักษณะกระดาษก่อนเคลือบผิวซึ่งผิวหน้ามีรูพรุน เมื่อทำการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA จะเห็นได้ว่าสารเคลือบ PLA สามารถปิดผิวกระดาษได้อย่างดีส่งผลให้รูพรุนของกระดาษลดลงดังรูปที่ 4.2 เมื่อความหนาของชั้นสารเคลือบเพิ่มขึ้นส่งผลให้สารเคลือบปิดผิวกระดาษได้ดีขึ้น การเติม MMT ในสารเคลือบส่งผลให้สารเคลือบสามารถปิดผิวได้ดีมากขึ้นดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 แม้ที่ความหนาต่ำ (40 ไมครอน) นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นถึงลักษณะผลึกของ PLA ที่ผิวของสารเคลือบที่ความหนา 80 และ 120 ไมครอน เนื่องมาจากการระเหยของตัวทำละลาย นอกจากนี้พบว่าสารเคลือบผสม PEG ที่อัตราส่วน 5% และ 15% โดยน้ำหนัก มีการปิดผิวกระดาษที่ดีกว่าที่ 10% ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของสารเคลือบที่มีค่าต่ำลงที่ 10% (หัวข้อ 4.2.1) ทำให้สารเคลือบบางส่วนซึมเข้าผิวกระดาษได้มากกว่า (รูปที่ 4.5 – 4.9) รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผิวหน้าสารเคลือบจะเห็นได้ว่าสารเคลือบผสม MMT สามารถปิดผิวได้ดีกว่าสารเคลือบ PLA ผสม PEG ที่ 3%MMT (ภาพของลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวที่กำลังขยาย 350 เท่าอยู่ในภาคผนวก)



รูปที่ 4.9 ภาพตัดขวางของกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วย PLA ที่ 10% (by wt) ที่ความหนาต่างกัน 40, 80 และ 120 ไมครอน (1) กระดาษก่อนเคลือบ (2) ความหนา 40 ไมครอน (3) ความหนา 80 ไมครอน และ (4) ความหนา 120 ไมครอน (กำลังขยาย 750 เท่า)



รูปที่ 4.10 ภาพตัดขวางของกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วย PLA+3%MMT (by wt) ที่ความหนาต่างกัน 40 80 และ 120 ไมครอน (1) กระดาษก่อนเคลือบ (2) ความหนา 40 ไมครอน (3) ความหนา 80 ไมครอน และ (4) ความหนา 120 ไมครอน (กำลังขยาย 750 เท่า)



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายตัดขวางของกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วย PLA+3%MMT+5%PEG (by wt) ที่ความหนาต่างกัน 40 80 และ 120 ไมครอน (1) กระดาษก่อนเคลือบ (2) ความหนา 40 ไมครอน (3) ความหนา 80 ไมครอน และ (4) ความหนา 120 ไมครอน (กำลังขยาย 750 เท่า)

รูปที่ 4.9 แสดงภาพตัดขวางของกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวด้วย PLA จากภาพจะเห็นได้ว่าการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA ทำให้ผิวหน้ากระดาษมีความเรียบที่ดีขึ้นและลดความพรุนที่ผิวหน้ากระดาษเมื่อมีการเติม MMT (รูปที่ 4.10) ส่งผลให้มีความหนาของชั้นสารเคลือบที่กองอยู่บนผิวหน้ากระดาษมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นนอกจากนี้ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบที่ใช้ในการเคลือบที่ต่างกัน ส่งผลให้ความหนาของชั้นฟิล์มของสารเคลือบขณะแห้งที่ต่างกัน โดยสังเกตได้ว่าที่ความหนาสารเคลือบ 40 ไมครอน มีความหนาขณะแห้งประมาณ 5 ไมครอน ความหนาที่ 80 ไมครอน มีความหนาขณะแห้งประมาณ 10 ไมครอน และที่ความหนา 120 ไมครอน มีความหนาขณะแห้งมากกว่า 30 ไมครอน เมื่อเติม PEG ที่ 5% จะสังเกตเห็นผล

ใกล้เคียงกับการเติม MMT คือ เมื่อเพิ่มความหนาของการเคลือบผิวส่งผลให้ได้ปริมาณของสารเคลือบที่มากขึ้นด้วย (รูปที่ 4.11)

4.1.2 น้ำหนักของสารเคลือบกระดาษ (Coating weight)

น้ำหนักของสารเคลือบแสดงในตารางที่ 4.1 ผลพบว่าที่ความหนาของชั้นสารเคลือบที่สูงขึ้นส่งผลให้น้ำหนักของสารเคลือบบนกระดาษที่สูงขึ้นด้วย เมื่อผสม MMT ลงในสารเคลือบส่งผลต่อน้ำหนักของสารเคลือบโดยรวมด้วย เนื่องจากมีน้ำหนักของ MMT ที่เพิ่มเติมเข้าไปกับสารเคลือบ เมื่อเติมในปริมาณที่สูงขึ้นจึงส่งผลให้น้ำหนักของสารเคลือบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย การเติม PEG ส่งผลในทิศทางเดียวกับการเติม MMT คือเมื่อร้อยละการเติมของ PEG เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักของสารเคลือบเพิ่มขึ้นด้วย แต่เนื่องจาก PEG มีความหนาแน่นต่ำกว่า MMT (ความหนาแน่นของ PEG มีค่ามีค่า 1.1 g/cm^3 [24] และความหนาแน่นของ MMT มีค่า 1.66 g/cm^3 [25]) จึงส่งผลให้น้ำหนักของสารเคลือบเพิ่มขึ้นในระดับที่ต่ำกว่าสารเคลือบผสม MMT การเติม PEG ที่ 5% ได้น้ำหนักสารเคลือบที่ลดลงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำหนักของกระดาษที่มีความแตกต่างกันอยู่บ้าง และการระเหยของตัวทำละลายในระหว่างการเคลือบผิวจึงส่งผลทำให้ได้น้ำหนักของสารเคลือบที่ต่ำลง

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของสารเคลือบกระดาษหลังเคลือบที่เตรียมจาก PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (by wt) ที่ความหนาขณะเปียกของชั้นสารเคลือบแตกต่างกัน

กระดาษเคลือบผิว	น้ำหนักของสารเคลือบ (กรัมต่อตารางเมตร)		
	40 ไมครอน	80 ไมครอน	120 ไมครอน
PLA	4.4 ± 0.01	11.4 ± 0.09	20.3 ± 0.07
PLA + 3%MMT	7.6 ± 0.04	12.7 ± 0.03	24.4 ± 0.09
PLA + 6%MMT	13.3 ± 0.02	17.5 ± 0.02	25.1 ± 0.01
PLA + 9%MMT	11.1 ± 0.02	15.6 ± 0.03	21.6 ± 0.18
PLA + 3%MMT+ 5%PEG	4.4 ± 0.08	12.1 ± 0.06	18.8 ± 0.02
PLA + 3%MMT + 10%PEG	7.0 ± 0.07	14.9 ± 0.13	21.3 ± 0.08
PLA + 3%MMT + 15%PEG	8.3 ± 0.04	13.0 ± 0.07	18.4 ± 0.02

4.1.3 ความขาวสว่างของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ (Brightness)

ความขาวสว่างของกระดาษ เป็นสมบัติที่ขึ้นกับ ดรรชนีหักเห รูปร่างและขนาดของอนุภาคของแข็งที่เป็นองค์ประกอบในสารเคลือบ ผลแสดงดังตารางที่ 4.2 ผลพบว่าค่าความขาวสว่างของกระดาษก่อนเคลือบมีค่าเท่ากับ $78.5 \pm 1.5\%$ ซึ่งเมื่อเทียบกับกระดาษหลังเคลือบผิวซึ่งเตรียมสารเคลือบได้จากของผสมระหว่าง PLA และ MMT ในอัตราส่วนต่างๆ มีค่าความขาวสว่างอยู่ในช่วง 75 - 76.9% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความขาวสว่างของกระดาษหลังเคลือบมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกระดาษก่อนเคลือบผิว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก MMT มีสีขาวนวล จึงส่งผลต่อความขาวสว่างของกระดาษได้ การเติม PEG ในสารเคลือบผิวส่งผลให้กระดาษหลังเคลือบมีค่าความขาวสว่างอยู่ในช่วง 76.2 - 80.8% แสดงให้เห็นว่า PEG ไม่ส่งผลมากต่อค่าความขาวสว่างของกระดาษก่อนเคลือบผิวเมื่อเติมในปริมาณสูงขึ้นและที่ความหนาของการเคลือบสูงขึ้นไม่ส่งผลต่อความขาวสว่างมากนัก

ตารางที่ 4.2 ความขาวสว่างของกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบ PLA ที่เตรียมจากอัตราส่วนของ MMT (Cloisite 15A) และ PEG ที่ต่างกัน ที่ความหนาขณะเปียกของชั้นสารเคลือบแตกต่างกัน

กระดาษเคลือบผิว	ความขาวสว่าง (%)			
	0 ไมครอน	40 ไมครอน	80 ไมครอน	120 ไมครอน
Uncoated	78.5 ± 1.5			
PLA		73.8 ± 1.9	75.3 ± 0.7	75.5 ± 1.2
PLA + 3%MMT		73.1 ± 0.8	76.9 ± 0.3	76.1 ± 0.2
PLA + 6%MMT		74.3 ± 0.6	75.6 ± 0.1	74.3 ± 0.8
PLA + 9%MMT		76.4 ± 1.1	75.8 ± 1.2	75.4 ± 0.6
PLA + 3%MMT+ 5%PEG		73.4 ± 0.5	75.0 ± 1.3	72.7 ± 1.4
PLA + 3%MMT + 10%PEG		80.8 ± 0.3	79.6 ± 0.8	79.1 ± 0.2
PLA + 3%MMT + 15%PEG		76.2 ± 0.3	76.3 ± 0.4	77.0 ± 0.4

4.1.4 ความทึบแสงของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ (Opacity)

ความทึบแสงของกระดาษ เป็นสมบัติที่ขึ้นกับ ธรรมชาติหักเห รูปร่างและขนาดของอนุภาคของของแข็งที่เป็นองค์ประกอบในสารเคลือบและการกระจายแสงและการดูดกลืนแสง ผลแสดงดังตารางที่ 4.3 จากตารางพบว่ากระดาษก่อนเคลือบมีค่าความทึบแสงเท่ากับ $74 \pm 0.45\%$ ซึ่งเมื่อสังเกตผลที่ได้จากตารางแสดงให้เห็นว่าค่าความทึบแสงของกระดาษหลังเคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมขึ้นจากของผสมระหว่าง PLA และ MMT ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น พบว่ามีค่าความทึบแสงเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 92.8 - 94.4% ทั้งนี้เนื่องจากความทึบแสงที่เพิ่มเติมจาก MMT การเติม PEG ในสารเคลือบก็ส่งผลให้ได้ความทึบแสงเพิ่มมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามความทึบแสงที่เพิ่มขึ้นจาก PEG มีค่าต่ำกว่าการเติม MMT อาจเนื่องมาจาก MMT มีความหนาแน่นที่สูงกว่าและเมื่อเติมในปริมาณสูงขึ้นไปส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความทึบแสง และความหนาที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อความทึบแสง

ตารางที่ 4.3 ความทึบแสงของกระดาษหลังเคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมขึ้นจากของผสมระหว่าง PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ที่อัตราส่วนต่างๆ

กระดาษเคลือบผิว	ความทึบแสง (%)			
	0 ไมครอน	40 ไมครอน	80 ไมครอน	120 ไมครอน
Uncoated	74.0 ± 0.5			
PLA		92.9 ± 0.5	92.9 ± 0.5	92.3 ± 0.8
PLA + 3%MMT		94.1 ± 0.9	92.2 ± 0.6	91.6 ± 1.0
PLA + 6%MMT		94.4 ± 0.2	91.1 ± 0.6	91.6 ± 0.9
PLA + 9%MMT		92.4 ± 1.4	92.2 ± 0.7	92.1 ± 0.2
PLA + 3%MMT+ 5%PEG		93.0 ± 0.6	91.1 ± 0.5	92.1 ± 0.7
PLA + 3%MMT + 10%PEG		91.1 ± 0.1	90.8 ± 0.8	91.3 ± 0.5
PLA + 3%MMT + 15%PEG		92.5 ± 1.4	93.6 ± 0.4	91.5 ± 0.5

4.1.5 ความเรียบของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ (Smoothness)

ความเรียบของกระดาษสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของการปิดผิวกระดาษของสารเคลือบ ผลแสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.12 – 4.15 พบว่าสารเคลือบมีแนวโน้มในการเพิ่มความเรียบให้กับกระดาษ [22, 23] โดยกระดาษที่เคลือบผิวด้วย PLA มีค่าความเรียบที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับกระดาษก่อนเคลือบ แสดงถึงความสม่ำเสมอของสารเคลือบที่เคลือบลงบนกระดาษและค่าความเรียบของกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมมาจากของผสมระหว่าง PLA และ MMT ในอัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่าการเติม MMT ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กระดาษหลังเคลือบมีค่าความเรียบที่ดีขึ้น โดยจะเห็นได้ว่า MMT ที่ 9% ส่งผลให้กระดาษมีค่าความเรียบที่ดีที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติม MMT ส่งผลให้สารเคลือบมีความหนืดสูงขึ้นจึงส่งผลให้สารเคลือบกองที่ผิวกระดาษได้ดีทำให้ได้ความเรียบที่ดี การเติม PEG ในอัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่าอัตราส่วนของ PEG ที่ 5% ส่งผลให้กระดาษมีค่าความเรียบที่ดีกว่าการเติมที่ 10% และ 15% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสม่ำเสมอของการปิดผิวของสารเคลือบที่ดีกว่า การเติม PEG ที่ 10% ส่งผลให้กระดาษมีความเรียบลดลง อาจเนื่องจาก PEG ส่งผลต่อความหนืดของสารเคลือบทำให้ความหนืดของสารเคลือบลดลง ส่งผลให้สารเคลือบบางส่วนซึมลงในเนื้อกระดาษและบางส่วนกองอยู่บนผิวหน้าของกระดาษทำให้การปิดผิวของสารเคลือบที่ไม่สม่ำเสมอความเรียบของกระดาษจึงลดลง นอกจากนี้การเคลือบที่ความหนาสูง (120 ไมครอน) ทำให้ได้ความเรียบที่ลดลง อาจเนื่องมาจากปัจจัยจากการระเหยของตัวทำละลายในสารเคลือบผิวที่ส่งผลต่อความเรียบของกระดาษหลังเคลือบ จากผลแสดงให้เห็นว่ากระดาษหลังเคลือบผิวมีความเรียบที่ดีขึ้นเนื่องจากสารเคลือบผิวมีความสามารถปิดผิวกระดาษและลดปริมาณรูพรุนในกระดาษลง

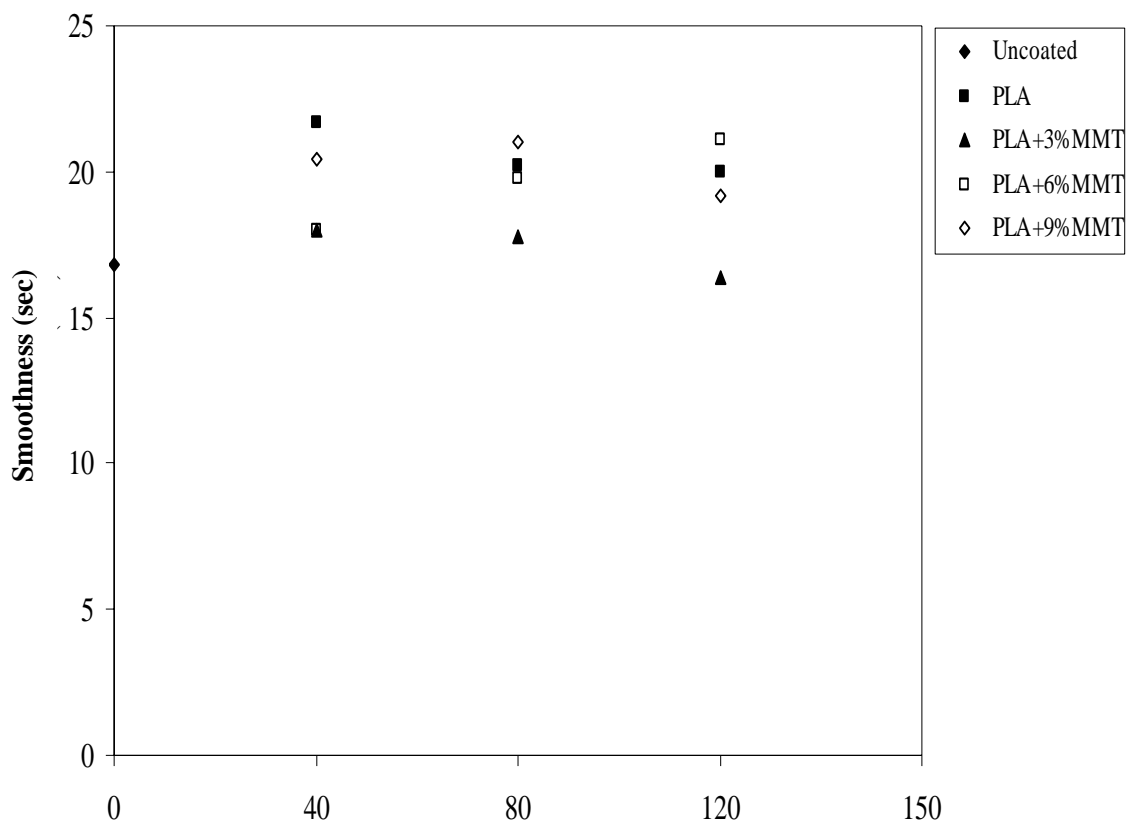
ตารางที่ 4.4 ความเรียบของกระดาษหลังเคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมจากอัตราส่วนของ PLA MMT (Cloisite 15A) และ PEG (by wt) ที่ต่างกัน ที่ความหนาขณะเปียกของชั้นสารเคลือบแตกต่างกัน

กระดาษเคลือบผิว	ความเรียบ (วินาที)			
	0 ไมครอน	40 ไมครอน	80 ไมครอน	120 ไมครอน
Uncoated	16.8 ± 1.2			
PLA		21.7 ± 0.8	20.2 ± 0.2	19.9 ± 1.6
PLA + 3%MMT		18.0 ± 0.8	17.8 ± 1.1	16.4 ± 0.9
PLA + 6%MMT		18.0 ± 1.4	19.8 ± 0.9	21.1 ± 0.9
PLA + 9%MMT		20.4 ± 1.6	21.0 ± 1.2	19.2 ± 1.1
PLA + 3%MMT+ 5%PEG		22.4 ± 1.5	24.7 ± 1.6	23.0 ± 1.2
PLA + 3%MMT + 10%PEG		17.4 ± 1.5	20.8 ± 1.4	18.5 ± 1.5
PLA + 3%MMT + 15%PEG		18.6 ± 1.5	20.0 ± 1.2	23.5 ± 2.0

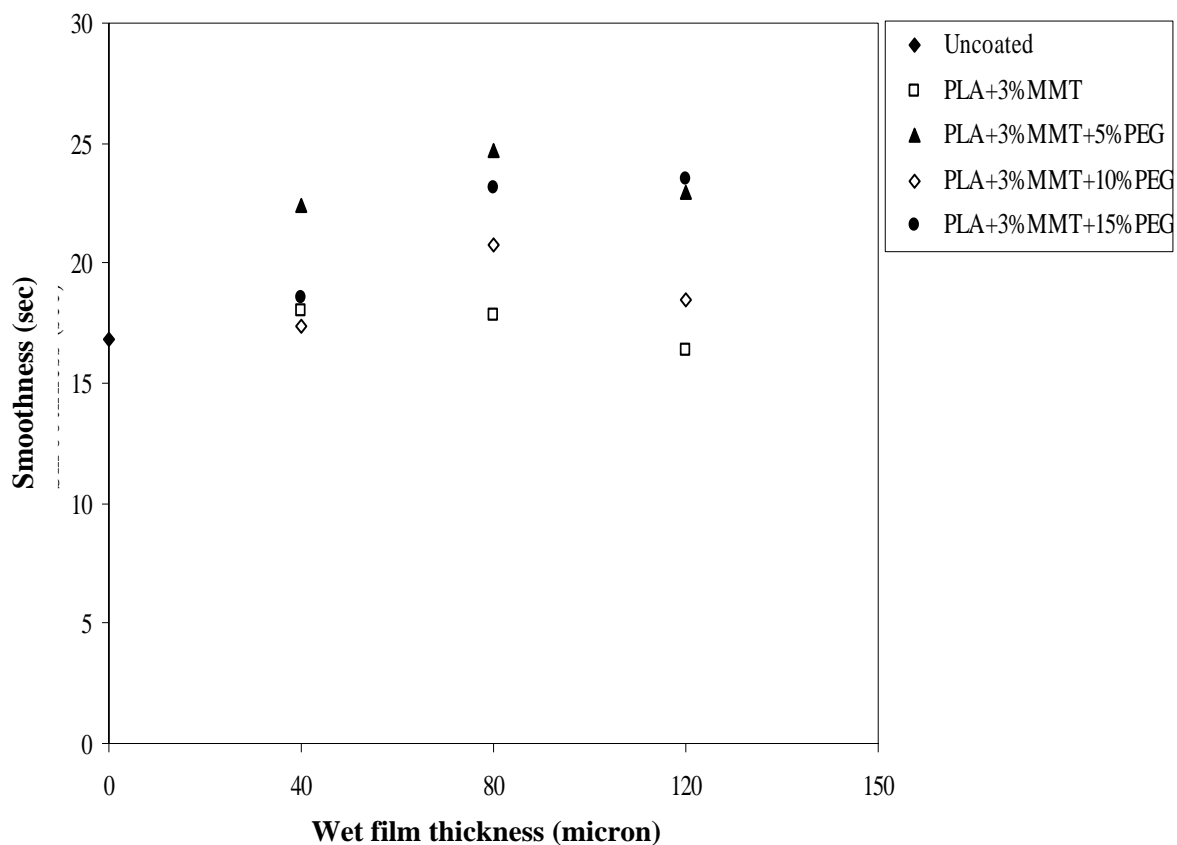
4.1.6 ความมันวาวของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ (Gloss)

การวัดความมันวาวของกระดาษตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความมันวาวที่มุม 75 ° ซึ่งเป็นมุมสำหรับวัดความมันวาวของกระดาษ ทำการวัด 3 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ย ผลดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 จากรูปพบว่าสารเคลือบกระดาษช่วยเพิ่มความมันวาวให้กับกระดาษ โดยกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบ PLA มีความมันวาวที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับกระดาษก่อนเคลือบผิว และการเติม MMT ในสารเคลือบในอัตราส่วนที่สูงขึ้นส่งผลให้กระดาษหลังเคลือบผิวมีแนวโน้มความมันวาวที่ดีขึ้น โดยจะเห็นได้ว่าที่ 3% 6% และ 9% ของ MMT มีความมันวาวที่ดีขึ้น อาจเนื่องมาจากความหนืดของสารเคลือบที่สูงขึ้นส่งผลให้ได้สารเคลือบกองที่ผิวที่สม่ำเสมอส่งผลให้ได้ความเรียบที่ดีทำให้มีความมันวาวที่ดี กระดาษหลังเคลือบด้วยสารเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PEG ที่ 5% ส่งผลให้กระดาษมีค่าความมันวาวที่ดีที่สุด แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ PEG ขึ้นในสารเคลือบจะส่งผลให้ความมันวาวลดต่ำลง อาจเนื่องจากความหนืดของสารเคลือบที่ลดลงที่ 10% PEG และจากความขุ่นจากลักษณะของ PEG นอกจากนี้ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบที่สูงขึ้นส่งผลให้

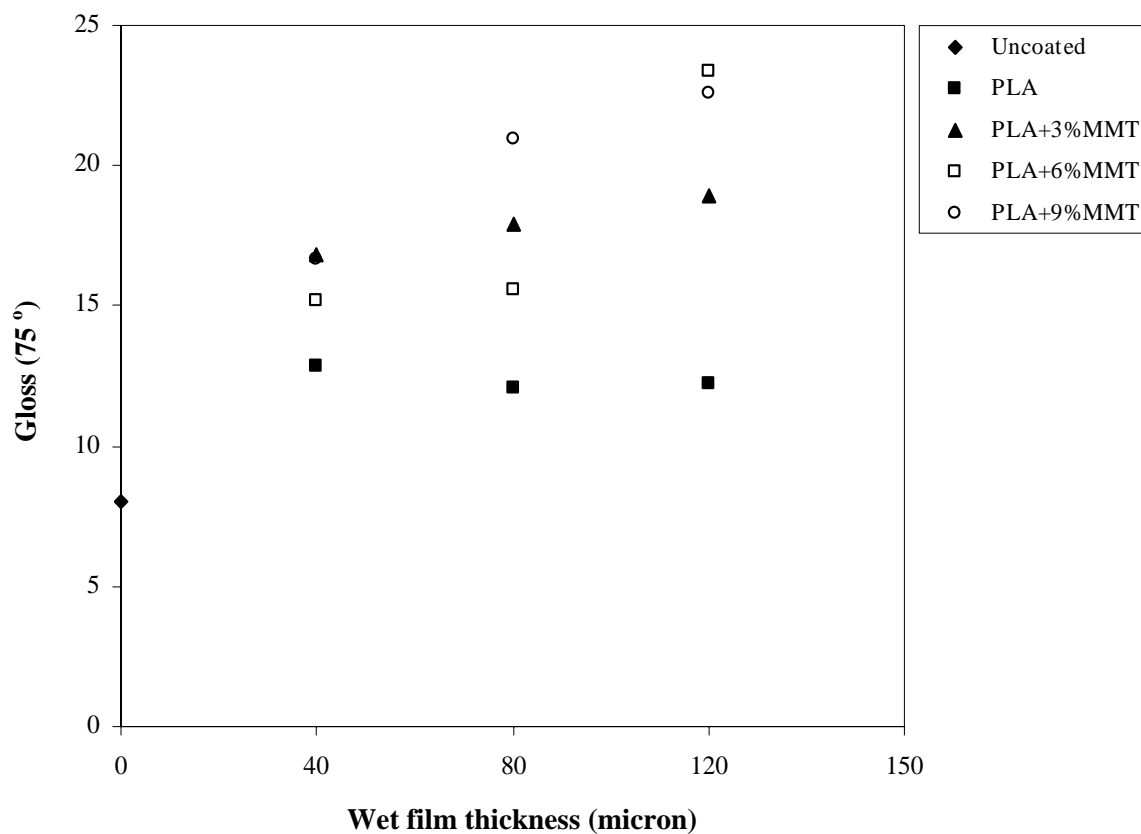
กระดาษมีค่าความมันวาวที่ดีขึ้นด้วย สารเคลือบช่วยเพิ่มความมันวาวให้กับกระดาษหลังเคลือบ [22, 23]



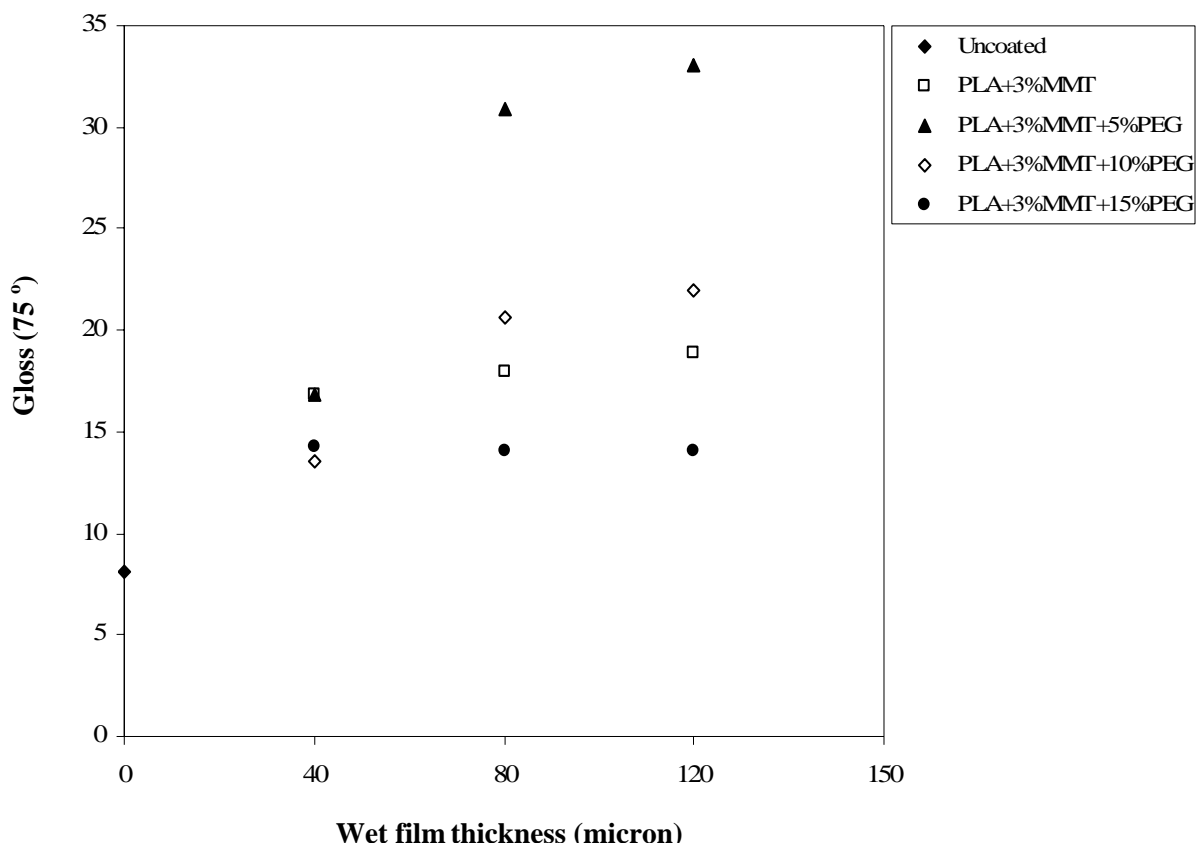
รูปที่ 4.12 ความเรียบของกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมจาก PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนที่ต่างกัน ที่ความหนาขณะเปียกของชั้นสารเคลือบแตกต่างกัน



รูปที่ 4.13 ความเรียบของกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมจาก PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนที่ต่างกัน (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป่า)



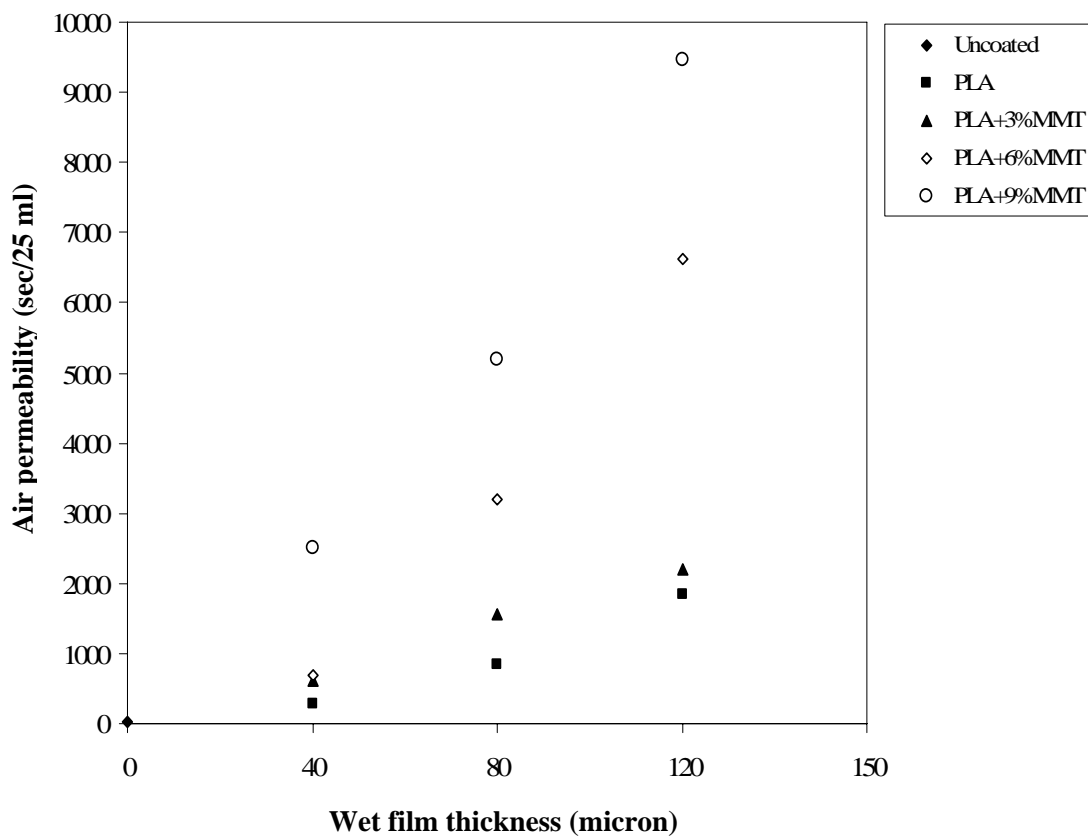
รูปที่ 4.14 ความมันวาวของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ (by wt) ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)



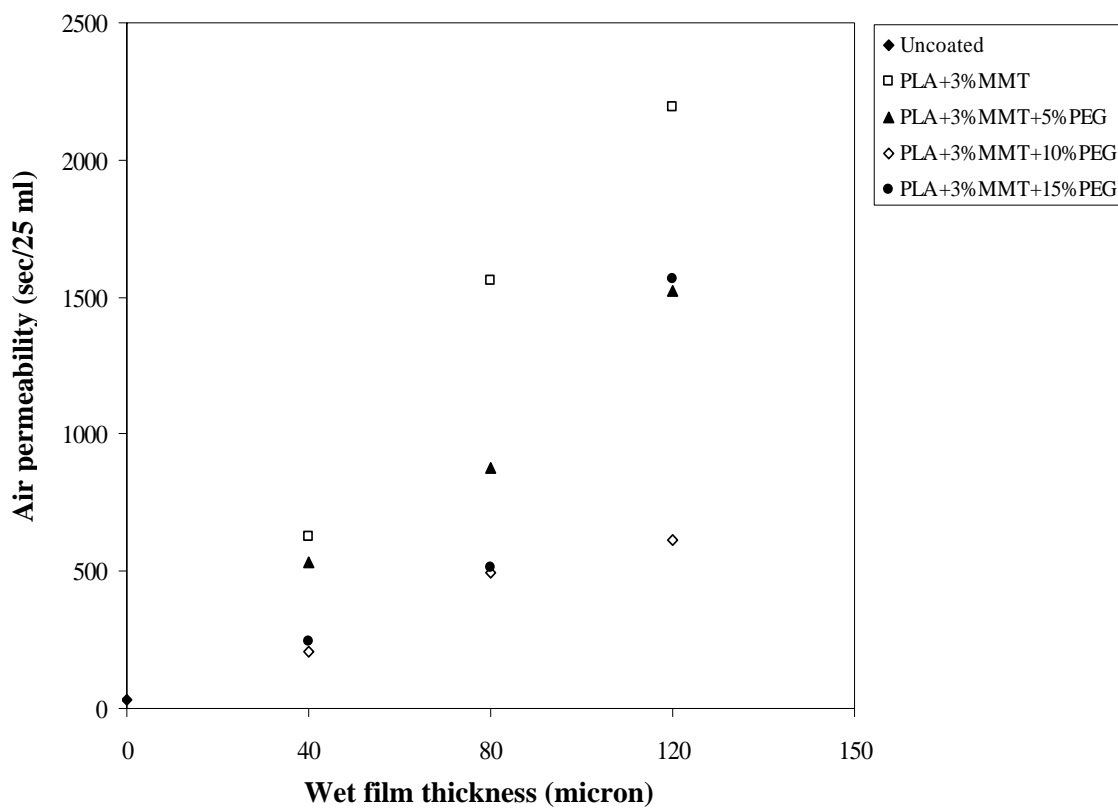
รูปที่ 4.15 ความมันวาวของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)

4.1.7 สภาพให้อากาศซึมผ่านได้ของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ (Air permeability)

การวัดสภาพให้อากาศซึมผ่านของกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิว ผลดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 จากรูปพบว่าสารเคลือบผิวกระดาษที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้ช่วยปรับปรุงสภาพให้อากาศซึมผ่านได้ของกระดาษ เนื่องจากสารเคลือบผิวช่วยลดความพรุนในกระดาษ กระดาษที่เคลือบด้วย PLA มีความสามารถในการให้อากาศซึมผ่านได้ลดลงและพบว่ากระดาษที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่มีการเติม MMT (Cloisite 15A) มีความสามารถในการให้อากาศซึมผ่านต่ำกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบ PLA จะเห็นได้ว่าสารเคลือบผิวที่มีอัตราส่วนของ MMT เพียงเล็กน้อยส่งผลให้อากาศมีความสามารถในการซึมผ่านต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด และที่อัตราส่วนของ MMT ที่สูงขึ้น ยิ่งส่งผลให้อากาศมีความสามารถซึมผ่านกระดาษได้อย่างน้อยลงยิ่งขึ้น [19, 20, 21] เนื่องจากการเกิดการแทรกสอดของโมเลกุลของ PLA เข้าสู่ซิติลิตเกตของ MMT ส่งผลให้สมบัติการกันขวางเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากภาพถ่าย TEM (หัวข้อ 4.2.2) อัตราส่วนของ MMT ที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้สมบัติทางกั้นขวางอากาศดีเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบที่เพิ่มขึ้นจะช่วยในการปกคลุมหรือปิดผิวหน้าหรือลดช่องว่างที่ผิวหน้ากระดาษได้ดีขึ้น ที่ความหนาของสารเคลือบที่ 120 ไมครอน ส่งผลให้ได้สมบัติการกั้นขวางสูงสุด กระดาษที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่มี PEG ที่ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซออร์เป็นองค์ประกอบมีความสามารถในการช่วยลดความพรุนให้กับกระดาษเช่นกัน แต่ปริมาณอัตราส่วนของ PEG ที่สูงขึ้นส่งผลให้อากาศมีความสามารถในการซึมผ่านได้มากขึ้น เนื่องจาก PEG ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซออร์ เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับแผ่นฟิล์ม ทำให้มีโครงสร้างแบบไม่เป็นระเบียบ (amorphous) มีมากขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น อากาศจึงไหลผ่านได้มากขึ้นตามอัตราส่วนของ PEG ที่เพิ่มขึ้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระดาษหลังเคลือบมีสมบัติในการขวางกั้นอากาศที่ดีขึ้นหลังการเคลือบผิว



รูปที่ 4.16 สภาพให้อากาศซึมผ่านได้ของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)

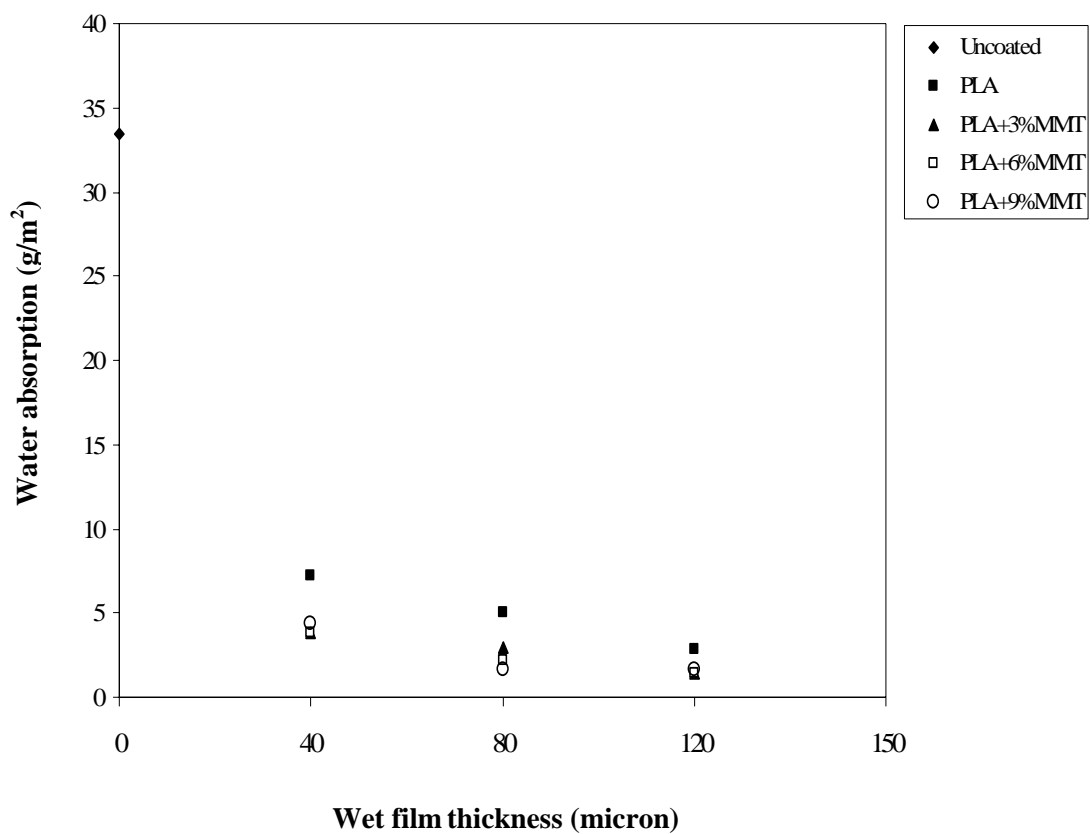


รูปที่ 4.17 สภาพให้อากาศซึมผ่านได้ของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)

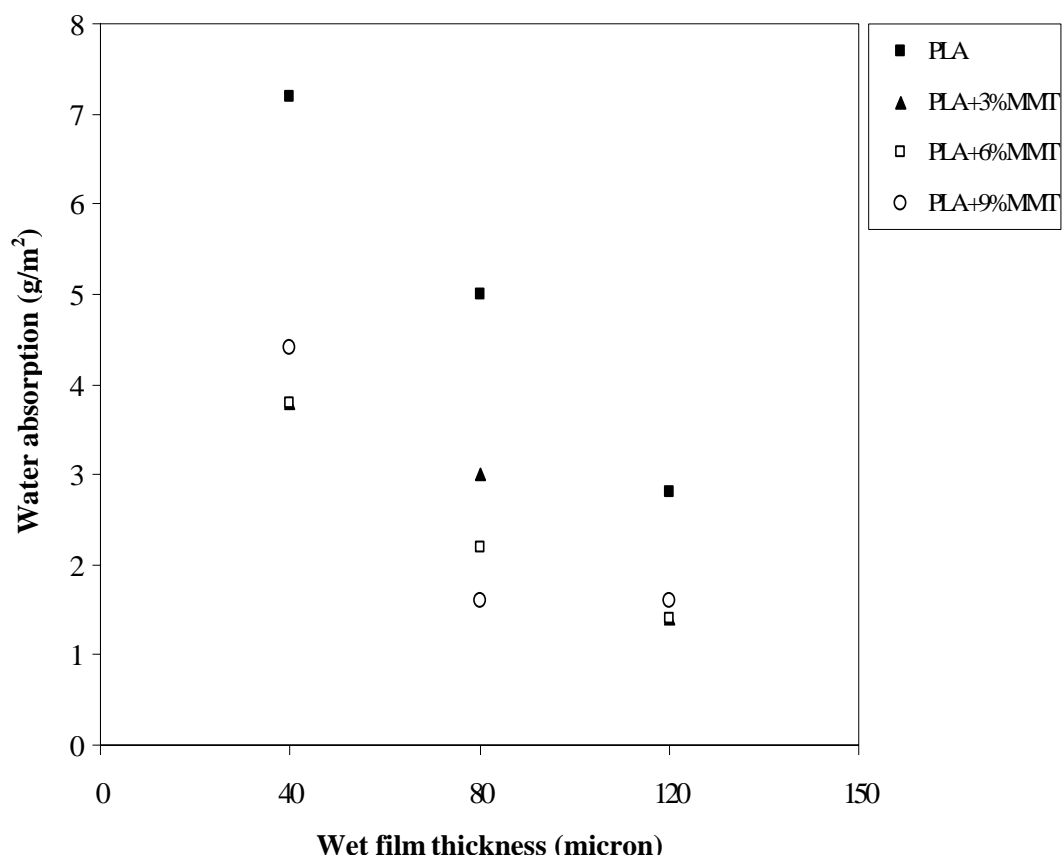
4.1.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ

(Water absorptiveness)

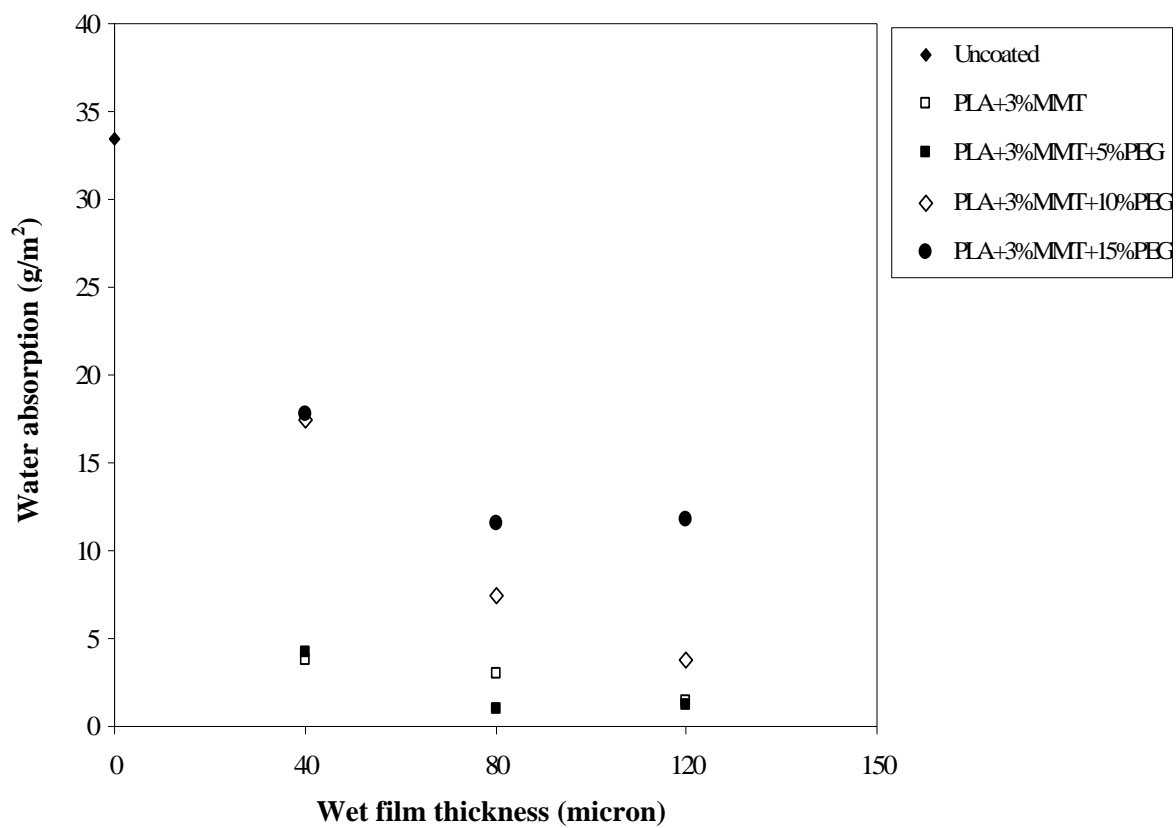
การหาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษสามารถหาได้โดยวิธีการวัดความสามารถในการดูดซับน้ำแบบคอบบ์ ผลดังรูปที่ 4.18 ถึง 4.21 พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษหลังเคลือบผิวมีค่าการดูดซับน้ำที่ต่ำลงอย่างมากเมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่เคลือบผิว โดยกระดาษที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมจากอัตราส่วนของ MMT (Cloisite 15A) ในปริมาณอัตราส่วนที่มากขึ้นส่งผลให้กระดาษมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง [19, 20] เช่นเดียวกับสมบัติการกั้นขวางของอากาศ และการเติม PEG ในสารเคลือบส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษหลังเคลือบผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนของ PEG เป็นการเพิ่มเนื้อสารที่มีความชอบน้ำ (จากหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของ PEG) ให้กับสารเคลือบกระดาษซึ่งสังเกตได้จากค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษที่ต่ำลง (ในหัวข้อ 4.1.9) นอกจากนี้ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบที่สูงขึ้นส่งผลให้กระดาษมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำลง โดยจะเห็นได้ว่าที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบที่ 40 ไมครอน กระดาษยังมีความสามารถในการดูดซับน้ำที่สูงกว่ากระดาษที่เคลือบผิวด้วยระดับความหนาของชั้นสารเคลือบที่ 80 และ 120 ไมครอน ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบที่สูงขึ้นสารเคลือบจะสามารถปกคลุมและปิดผิวหน้าได้อย่างทั่วถึงดีกว่าจึงช่วยในการปรับปรุงสมบัติการดูดซับน้ำให้กับกระดาษ



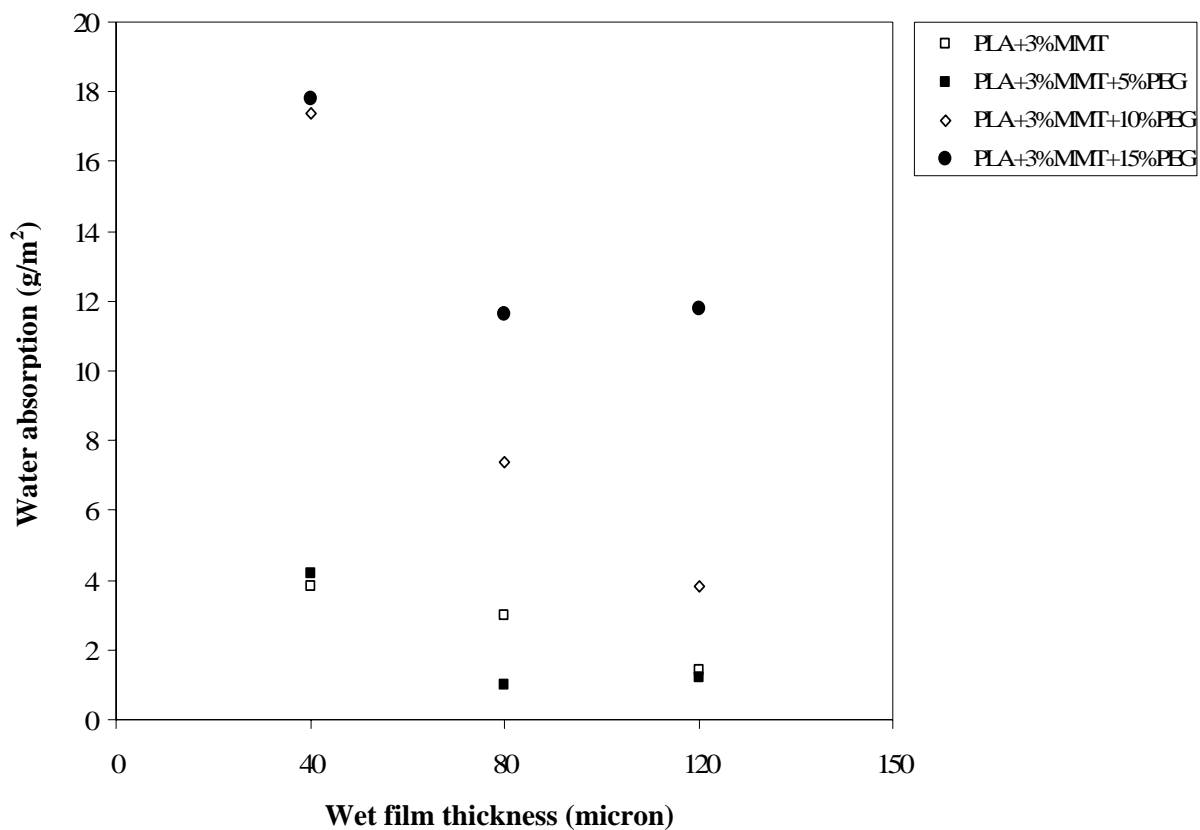
รูปที่ 4.18 ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)



รูปที่ 4.19 ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)



รูปที่ 4.20 ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)



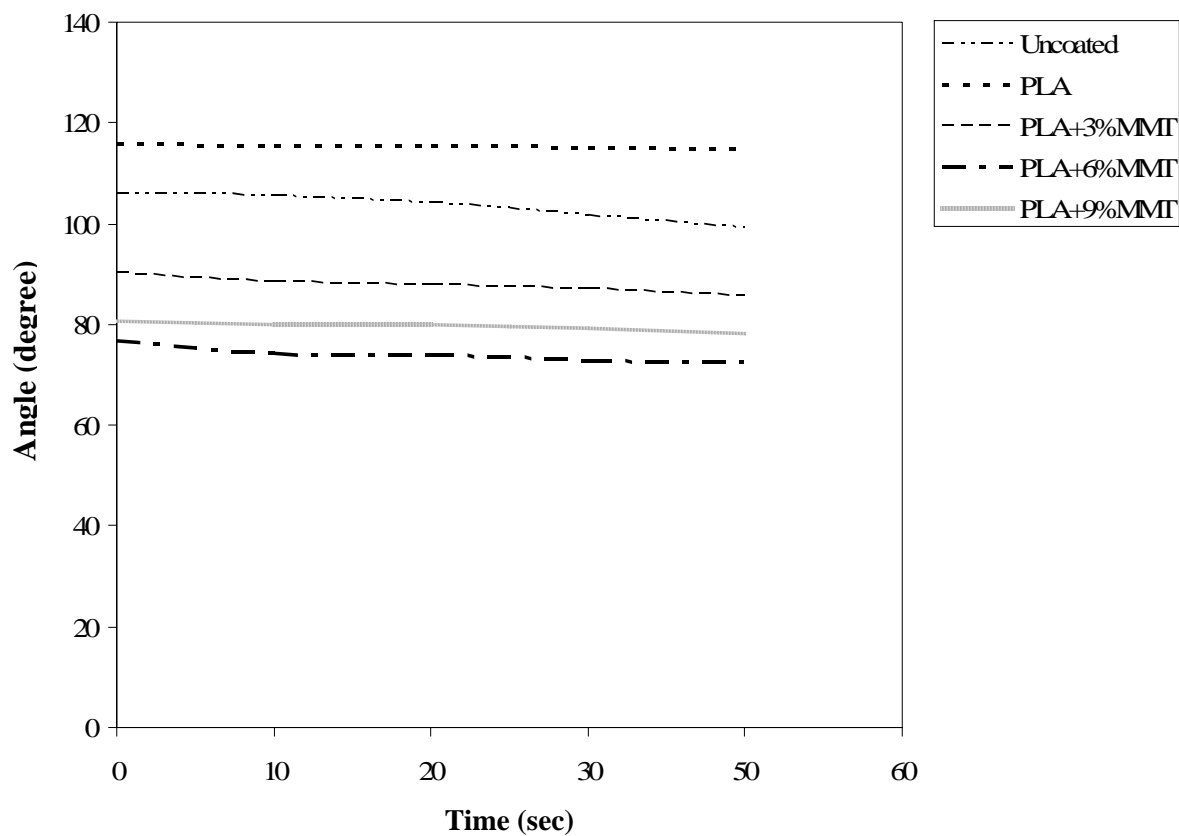
รูปที่ 4.21 ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)

4.1.9 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษ (Water Contact Angle)

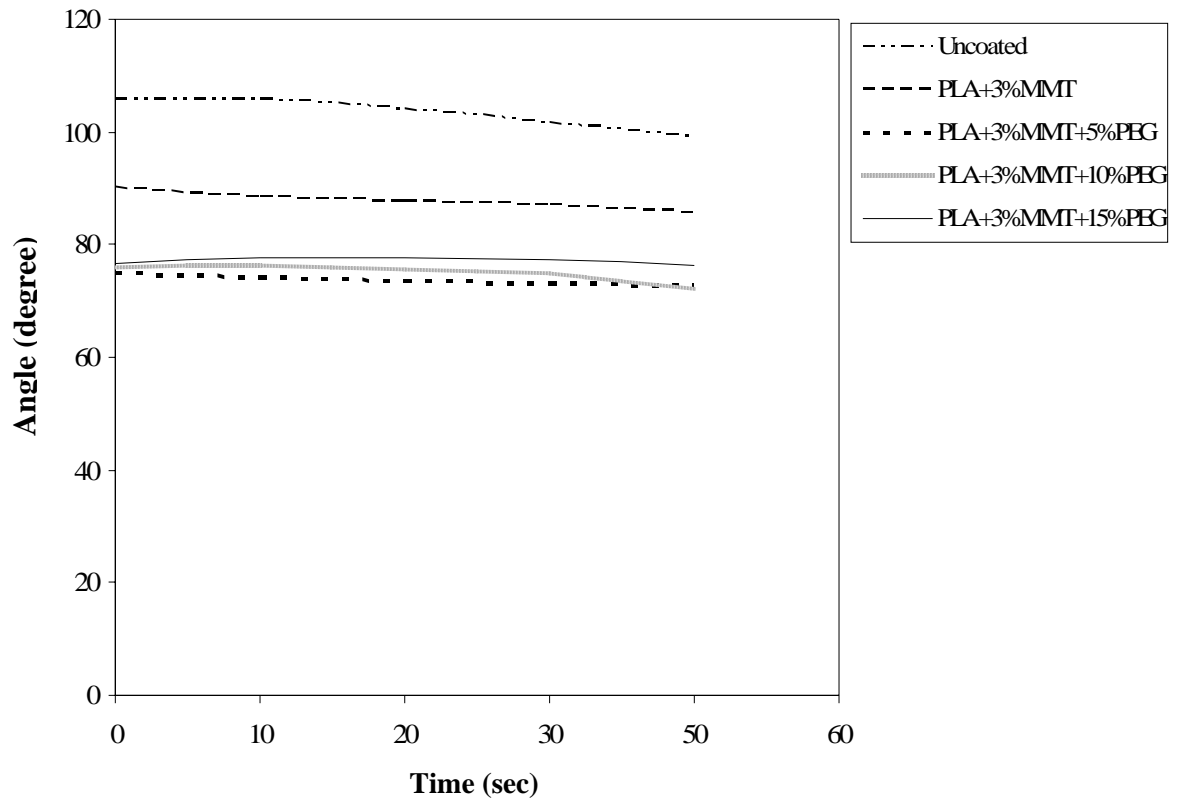
การวัดค่ามุมสัมผัสของของเหลวบนผิวหน้ากระดาษ เป็นการทดสอบความสามารถในการเปียกผิวของกระดาษ เพื่อทดสอบความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ หรือการเปียกผิวของกระดาษ ผลการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวดังตารางที่ 4.5 และจากรูปที่ 4.22 และ 4.23 พบว่าสารเคลือบผิวช่วยให้การซึมน้ำเข้าผิวกระดาษได้ช้าลง การเคลือบผิวด้วย PLA ส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำสูงกว่ากระดาษก่อนเคลือบ [20] แสดงให้เห็นถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำของ PLA และพบว่าการเติม MMT ส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษหลังเคลือบมีค่าต่ำลง เนื่องจาก MMT มีค่ามุมสัมผัสประมาณ 80° [28] จึงส่งผลให้แผ่นฟิล์มของสารเคลือบมีค่ามุมสัมผัสลดลง แต่อย่างไรก็ตามค่ามุมสัมผัสที่วัดได้แสดงให้เห็นว่าผิวหน้าไม่เกิดการเปียกผิวอย่างสมบูรณ์ การเติม PEG ที่ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซออร์ ในสารเคลือบส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษหลังเคลือบต่ำลงเช่นกัน เนื่องจาก PEG ที่ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซออร์ให้กับฟิล์มของสารเคลือบมีความชอบน้ำในโครงสร้าง (จากหมู่ไฮดรอกซิล) จึงส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสต่ำลง รูปถ่ายของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวจะแสดงในรูปที่ 4.24 (มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษที่ความหนาของชั้นสารเคลือบ 40 และ 120 ไมครอน รวมในภาคผนวก)

ตารางที่ 4.5 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิว ที่ความหนา 80 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) ณ เวลาการวัดที่ต่างกัน

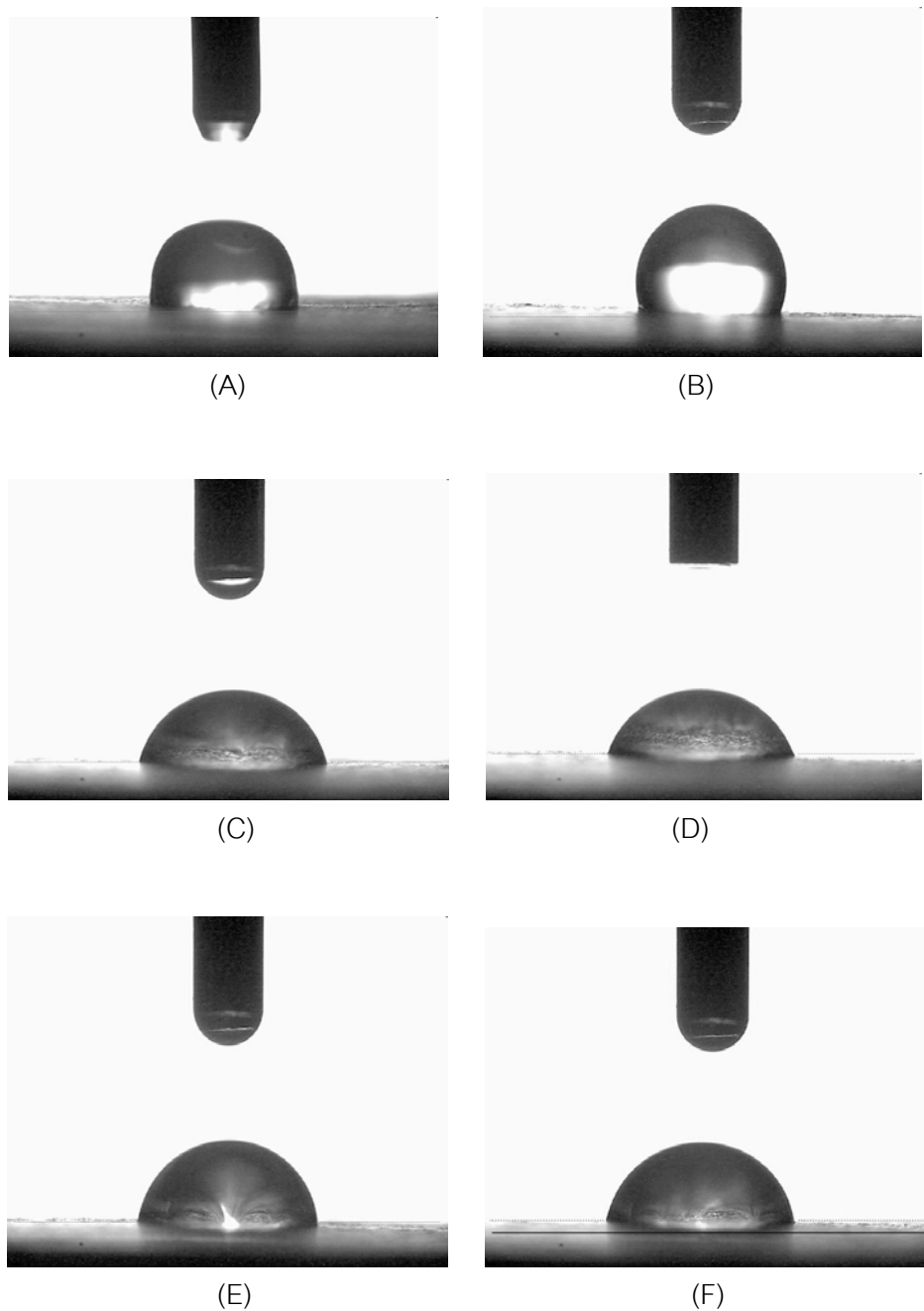
กระดาษเคลือบผิว	มุม (องศา)			
	เวลา (วินาที)			
	1	10	30	50
Uncoated	106.4	105.7	101.5	99.3
PLA	115.9	115.6	115.1	114.6
PLA+3%MMT	89.6	88.3	87.1	85.5
PLA+6%MMT	74.6	74.4	72.9	72.6
PLA+9%MMT	80.1	80.1	79.4	78.3
PLA+3%MMT+5%PEG	74.6	74.1	73.2	72.7
PLA+3%MMT+10%PEG	76.9	76.3	74.9	72.3
PLA+3%MMT+15%PEG	76.2	77.8	77.3	76.4



รูปที่ 4.22 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ที่ความหนา 80 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยก)



รูปที่ 4.23 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ที่ความหนา 80 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)



รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิว PLA (10% wt) ที่ความหนา 80 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) (A) กระดาษก่อนเคลือบผิว (B) PLA (C) 3%MMT (D) 6%MMT (E) 9%MMT (F) PLA+3%MMT+15%PEG (by wt) (ภาพถ่ายที่ 1 วินาที)

4.1.10 การถอนผิวกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยวิธี Wax pick

การทดสอบการถอนผิวของกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยวิธี Wax pick ทำโดยการแตะแท่งซีฟิ่งที่ได้รับความร้อนลงบนกระดาษ และออกแรงดึงแท่งซีฟิ่งนั้นจากกระดาษ แท่งซีฟิ่งมีตั้งแต่เบอร์ 1-26 แสดงถึงแรงยึดของสารเคลือบตั้งแต่ระดับต่ำไปสูง การทดสอบใช้เพื่อตรวจสอบการยึดติดของสารเคลือบผิวกับกระดาษ ผลการทดลองพบว่ากระดาษก่อนการเคลือบผิวมีค่าการถอนผิววิกฤตที่ แท่งซีฟิ่งเบอร์ 9 และเกิดการถอนผิวที่สมบูรณ์ที่แท่งซีฟิ่งเบอร์ 11 (ตารางที่ 4.6) หลังการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวพอลิแลกไทด์ทั้งที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์หรือ PEG พบว่าสารเคลือบสามารถยึดเกาะกับกระดาษได้ดีมากไม่เกิดการถอนผิวเมื่อใช้แท่งซีฟิ่งเบอร์สูงสุด (เบอร์ 26) ทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 การถอนผิวกระดาษก่อนเคลือบด้วยวิธี Wax pick

Paper	Critical wax strength (No.)	Partial fiber pick (No.)	Complete rupture (No.)
Uncoated	9	10	11

ตารางที่ 4.7 การถอนผิวกระดาษก่อนและหลังเคลือบด้วยวิธี Wax pick

Coated paper	Coating thickness (micron)	Complete rupture (No.)
Uncoated	-	11
PLA	40	ไม่ถอนผิว*
	120	ไม่ถอนผิว*
PLA+3%MMT	40	ไม่ถอนผิว*
	120	ไม่ถอนผิว*
PLA+3%MMT+5%PEG	40	ไม่ถอนผิว*
	120	ไม่ถอนผิว*

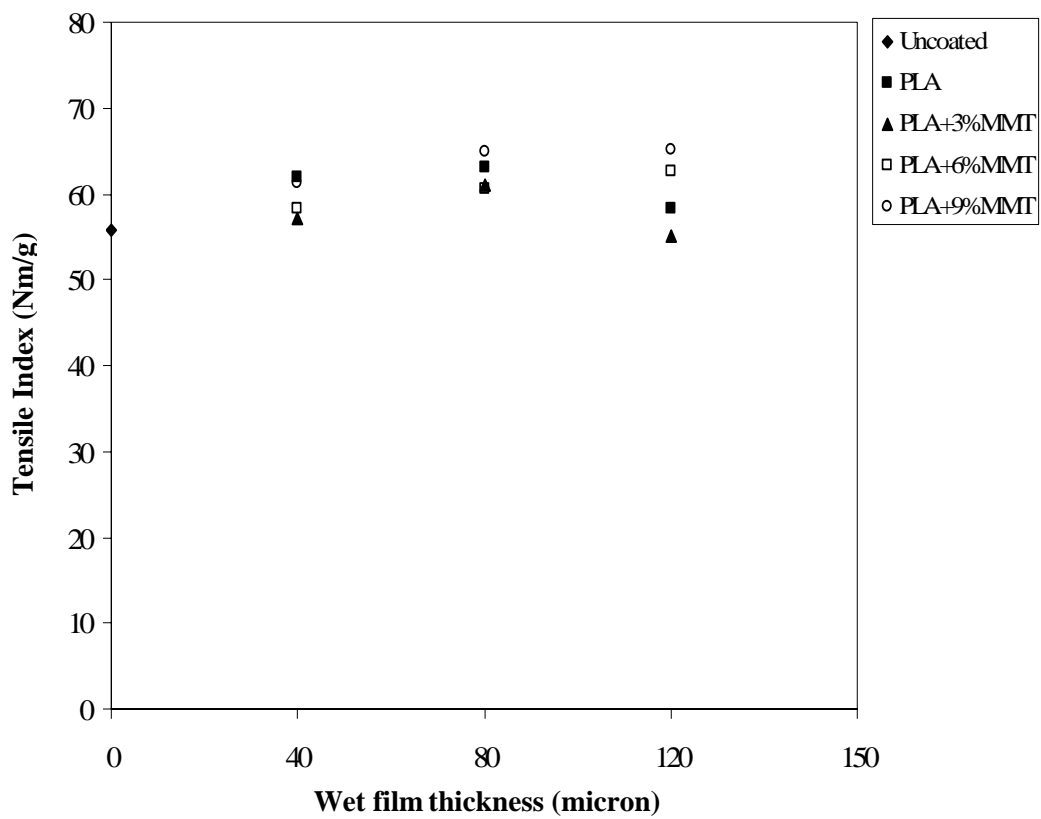
*กระดาษหลังการเคลือบไม่เกิดการถอนผิว เมื่อใช้แท่งซีฟิ่งเบอร์สูงสุด (เบอร์ 26)

4.1.11 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษ (Tensile Index)

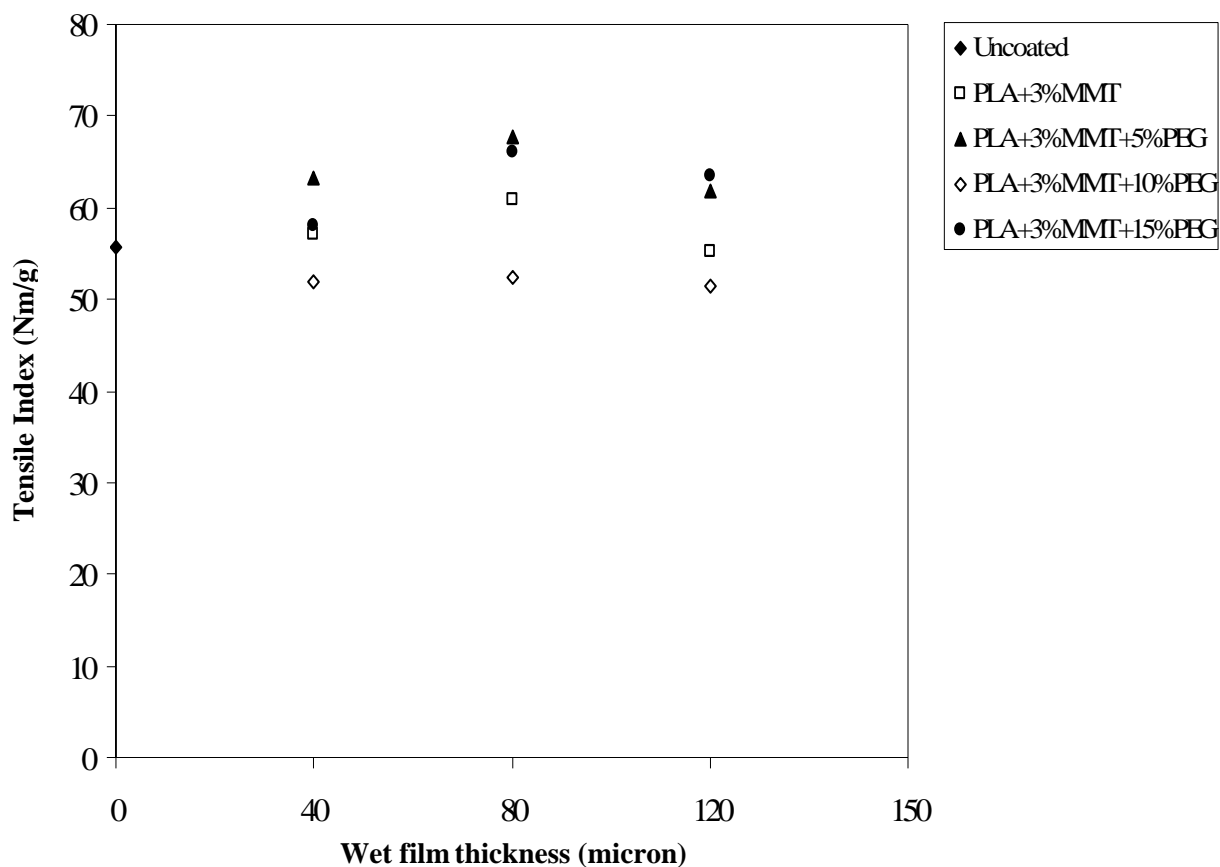
การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษ ผลดังรูปที่ 4.25 และ 4.26 พบว่าสารเคลือบกระดาษช่วยเพิ่มความแข็งแรงต่อแรงดึงให้กับกระดาษที่ดีขึ้น โดยสังเกตจากค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่สูงขึ้นหลังเคลือบผิว โดยกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบ PLA มีสมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ดีขึ้น และการเติม MMT ในอัตราส่วนที่สูงขึ้นส่งผลให้ฟิล์มของชั้นสารเคลือบมีความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ดีขึ้นเช่นกัน โดยจะเห็นได้ว่า MMT ที่ 9% มีดัชนีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงที่สูงที่สุด อย่างไรก็ตามสารเคลือบที่มีอัตราส่วนของ MMT ที่ 3% ที่ความหนา 120 ไมครอน ส่งผลให้กระดาษหลังเคลือบมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ลดลง สังเกตเห็นผลเช่นเดียวกับสารเคลือบสารเคลือบ PLA ที่ไม่มีการเติม MMT และการเติม PEG ในสารเคลือบอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับฟิล์มมากขึ้นและแผ่นฟิล์มสามารถยืดออกได้ดีขึ้นจากผลดังรูปที่ 4.26 การเติม PEG ที่ 5% และ 15% ส่งผลให้กระดาษทนต่อแรงดึงได้ดีขึ้นเนื่องจากมีความสม่ำเสมอของการเคลือบผิวที่ผิวกระดาษดีกว่าจึงส่งผลให้กระดาษทนต่อแรงดึงได้ดีขึ้นกว่าการเติม PEG ที่ 10% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารเคลือบผิวที่ 10% PEG มีความหนืดต่ำจึงมีการซึมเข้าผิวกระดาษและสารเคลือบที่ซึมเข้าผิวกระดาษบางส่วนมีความไม่เข้ากันกับเส้นใยทำให้ไปขัดขวางการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยของกระดาษและสารเคลือบบางส่วนที่กองอยู่บนผิวหน้ากระดาษมีการปิดผิวที่ไม่เพียงพอจึงส่งผลต่อความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ต่ำลง

4.1.12 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ

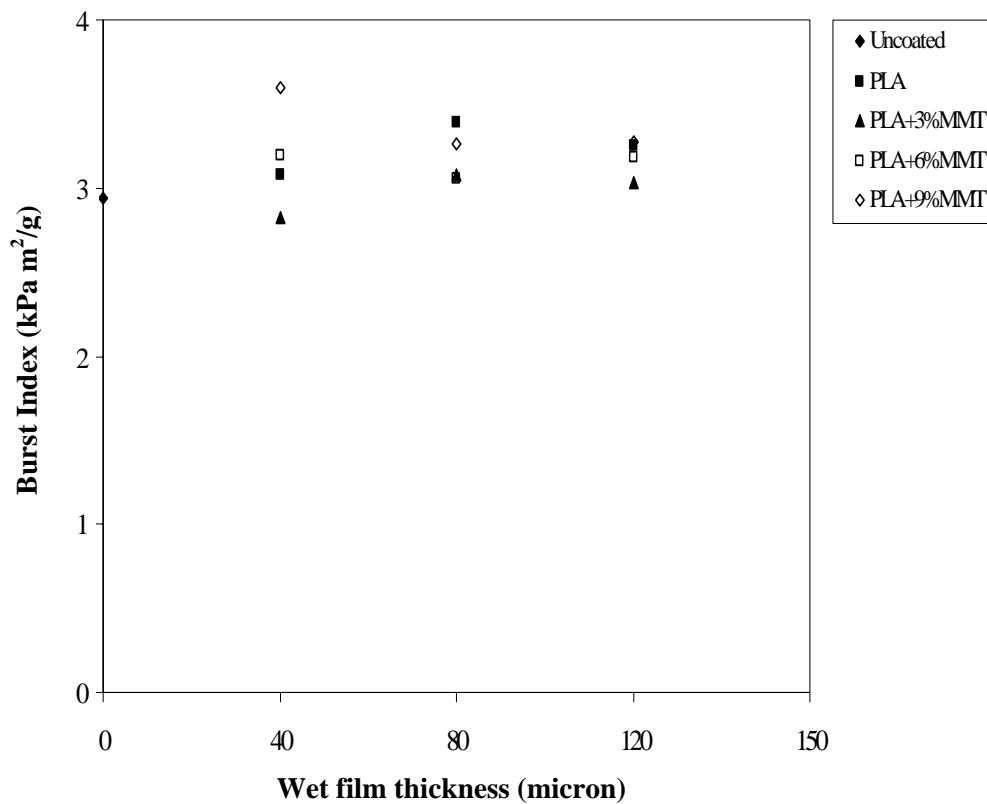
การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษก่อนและหลังเคลือบ ผลดังรูปที่ 4.27 และ 4.28 จากรูปพบว่าสารเคลือบกระดาษช่วยเพิ่มดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุให้กับกระดาษ โดยกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบ PLA มีดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุที่สูงขึ้น และกระดาษหลังเคลือบด้วยสารเคลือบที่มีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของ MMT ส่งผลให้กระดาษมีแนวโน้มของค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงที่สูงขึ้น โดยจะเห็นได้ว่า MMT ที่ 9% มีดัชนีค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุที่สูงที่สุด และการเติม PEG ในสารเคลือบอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับฟิล์มมากขึ้นและแผ่นฟิล์มสามารถยืดตัวออกได้ดีขึ้น เหตุผลเช่นเดียวกับที่กล่าวไปในหัวข้อ 4.1.11



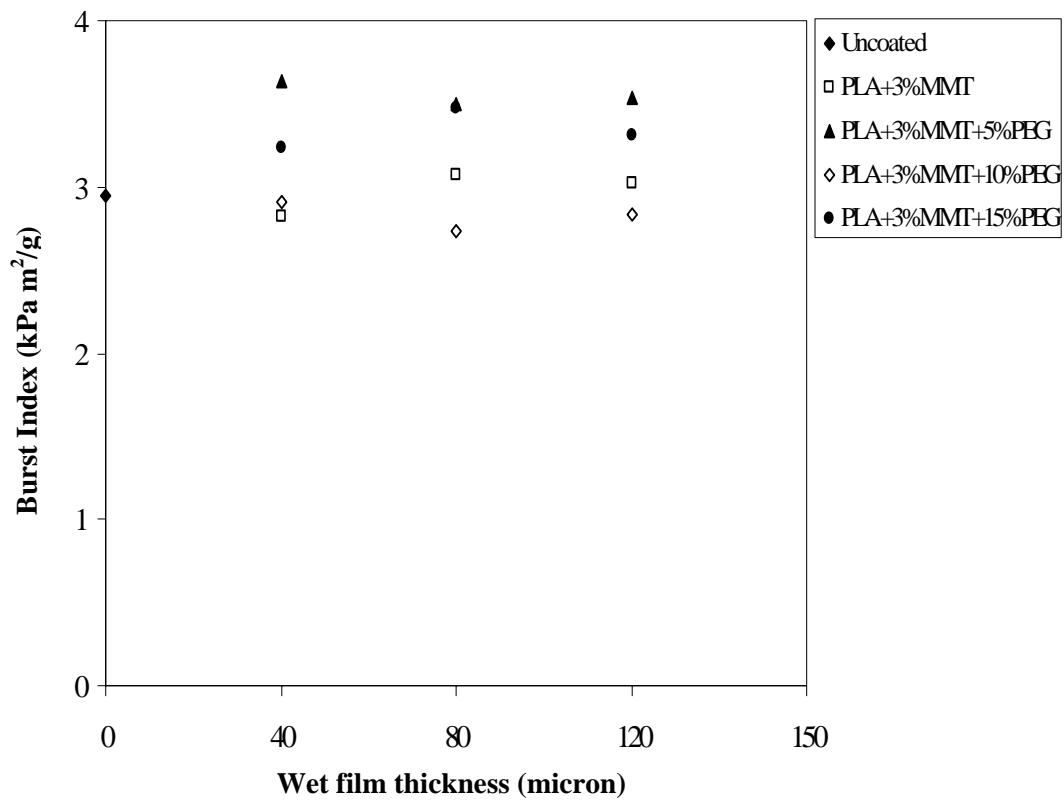
รูปที่ 4.25 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)



รูปที่ 4.26 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)



รูปที่ 4.27 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)

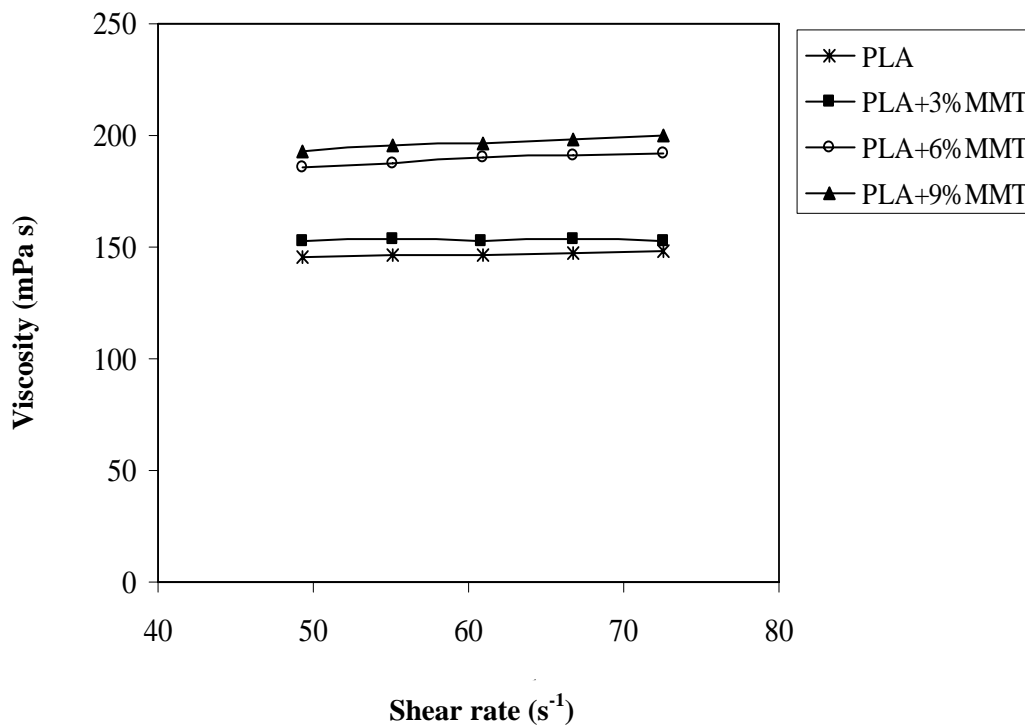


รูปที่ 4.28 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษก่อนและหลังเคลือบที่มีอัตราส่วนของ PLA, MMT (Cloisite 15A) และ PEG ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระดับความหนาของชั้นสารเคลือบ 40, 80 และ 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)

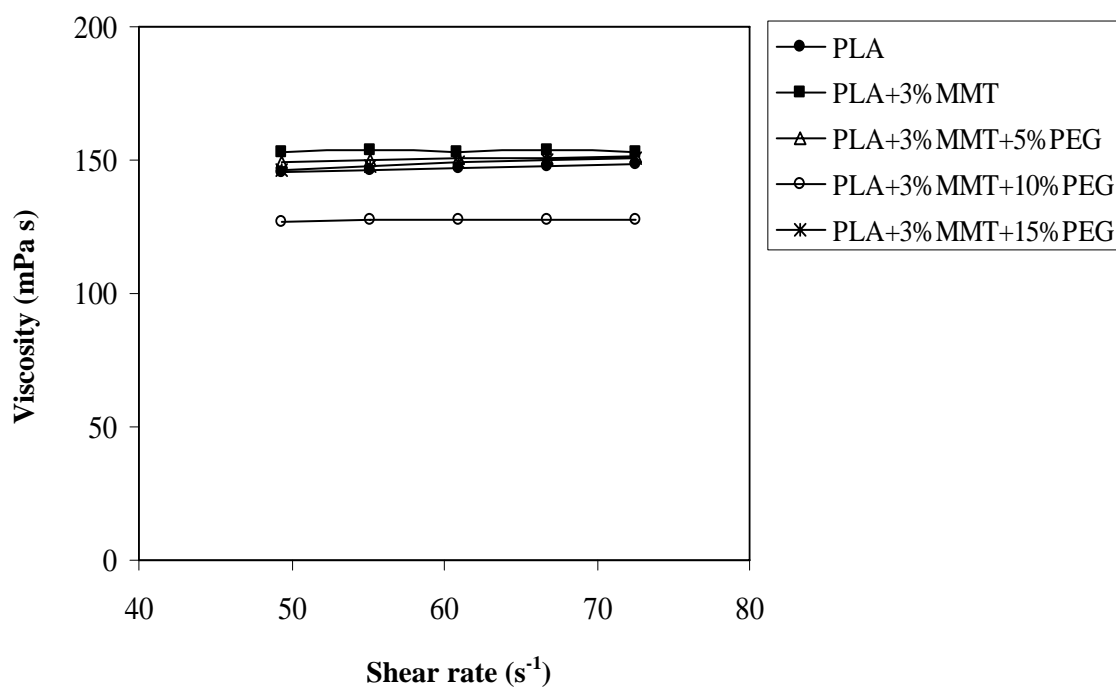
4.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงความร้อนของสารเคลือบผิวและแผ่นฟิล์มของสารเคลือบผิว

4.2.1 ความหนืดของสารเคลือบผิว (Viscosity)

การทดสอบความหนืดของสารเคลือบผิว จากรูปที่ 4.29 แสดงผลความหนืดของสารเคลือบผิวที่มีการเติม MMT (Cloisite 15A) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน เป็นฟังก์ชันกับอัตราเฉือน (Shear rate) ผลพบว่าการเติม MMT ส่งผลให้สารเคลือบมีความหนืดสูงขึ้น เมื่อปริมาณ MMT เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเติม MMT ส่งผลให้เกิดแรงต้านทานต่อการไหลมากขึ้น และการไหลของสารเคลือบที่ผสม MMT มีลักษณะการไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian) คือเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อความหนืด การเติม PEG ซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ในสารเคลือบผสม MMT ที่ 3% ส่งผลให้ความหนืดของสารเคลือบผิวลดลง โดยที่ความหนืดของสารเคลือบที่ผสม PEG ที่ 10% จะสังเกตเห็นค่าความหนืดที่ต่ำสุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณการเติมพลาสติกไซเซอร์เข้าใกล้ช่วงความเข้มข้นวิกฤต (Critical Plasticization) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Pan และคณะ [29] ที่ศึกษาถึงสมบัติการไหล ของพอลิเอทิลีนไกลคอลที่นำมาใช้เป็นสารยึด ผลพบว่าอัตราส่วนการเติมพลาสติกไซเซอร์ชนิดไนเตรทเอสเทอร์ในพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ต่ำกว่าช่วงความเข้มข้นวิกฤตส่งผลให้ความหนืดลดลงทันที เมื่อเติมปริมาณของพลาสติกไซเซอร์มากขึ้น นอกจากนี้การเติมพลาสติกไซเซอร์ที่มากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดการแยกเฟสของพลาสติกไซเซอร์ได้ [30]



รูปที่ 4.29 ความหนืดของสารเคลือบผิวที่เตรียมจาก PLA และ MMT ในอัตราส่วน 3%, 6% และ 9% (by wt) อุณหภูมิ 25 °C



รูปที่ 4.30 ความหนืดของสารเคลือบผิวที่เตรียมจาก PLA, MMT และ PEG ในอัตราส่วน 5%, 10% และ 15% (by wt) อุณหภูมิ 25 °C

4.2.2 ภาพถ่าย TEM ของแผ่นฟิล์ม

ภาพถ่ายตัดขวาง TEM ของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่ 3% ดังรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าเกิดการสอดแทรก (Intercalation) ของโมเลกุลพอลิแลกไทด์เข้าในชั้นซิลิเกตของมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) และเกิด Exfoliation บางส่วน ดังนั้นจึงเป็นเหตุสนับสนุนผลของการเพิ่มสมบัติการกันขวางของอากาศและการดูดซึมน้ำของกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งมีสมบัติที่ดีกว่าการเคลือบผิวด้วยพอลิแลกไทด์เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดการสอดแทรก (Intercalation) และ Exfoliation ในบางส่วนเป็นการเพิ่มทางเดินของแก๊สทำให้เกิดใช้เวลาานานมากขึ้นก่อนที่จะซึมผ่านทะลุออกมา ดังนั้นการเติมสารเติมแต่งกลุ่ม Nanoclay ชนิดนี้จึงสามารถปรับปรุงสมบัติการกันขวางได้ดีขึ้น ซึ่งจะเห็นผลสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นที่เตรียมแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมสารเติมแต่งกลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ ผลที่ได้คือพลาสติกมีสมบัติการกันขวางที่ดีขึ้น [31, 32, 33, 34] นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการผสมมอนต์มอริลโลไนต์โดยใช้ Homogenizer สามารถทำให้กระจายมอนต์มอริลโลไนต์ได้ดี และสามารถกระจายได้ในระดับ Exfoliation ได้ในบางส่วน



(1)

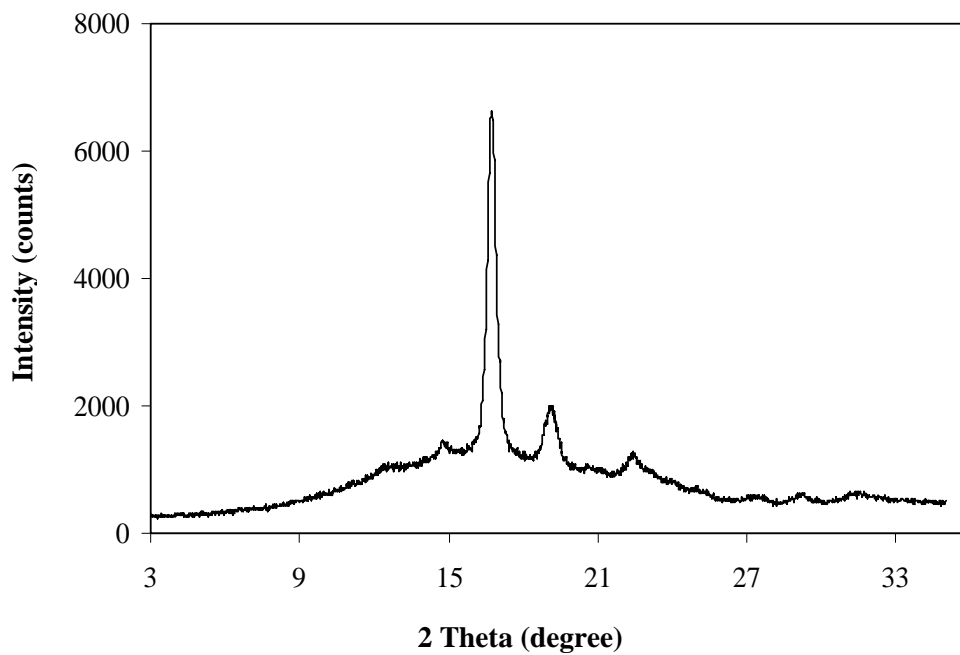


(2)

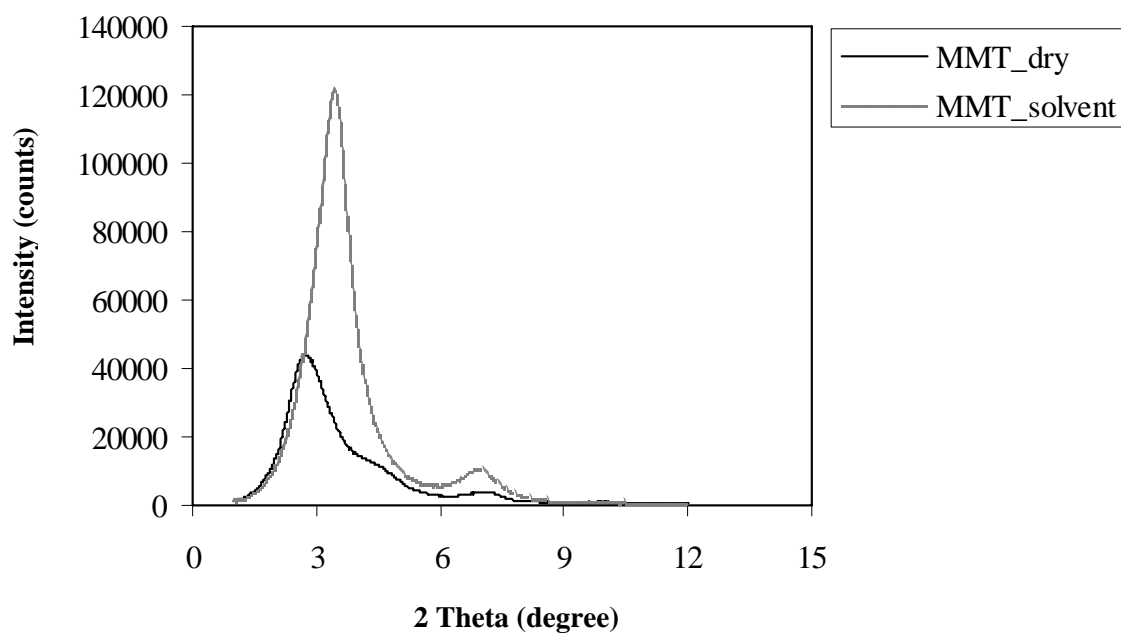
รูปที่ 4.31 ภาพถ่าย TEM ของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่ 3% (1) ลักษณะการเกิด Intercalation และ (2) ลักษณะการเกิด Exfoliation

4.2.3 ความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิค XRD

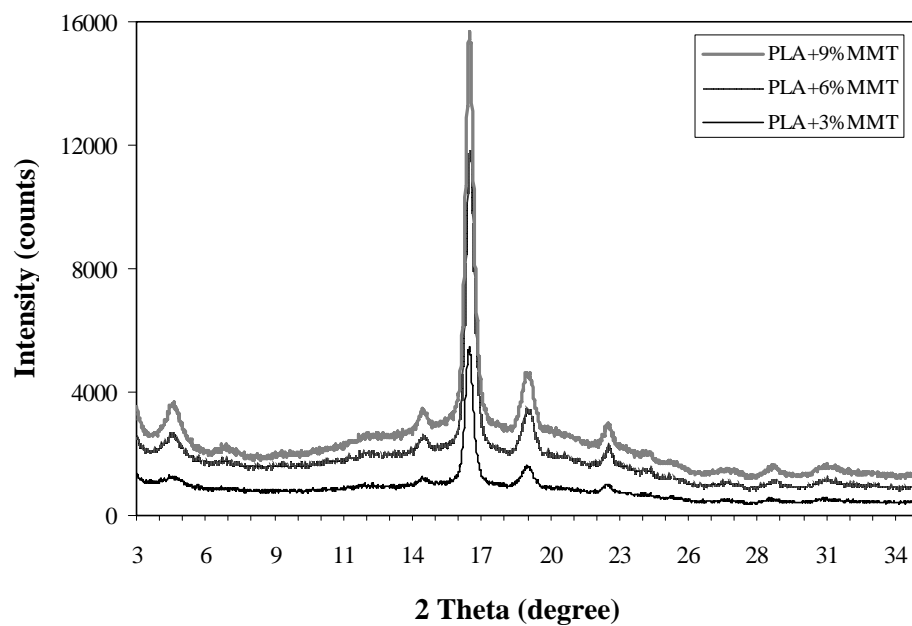
การเตรียมแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน ทำให้โมเลกุลพอลิแลกไทด์เกิดการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ และมีรูปแบบการจัดเรียงตัวเป็นแบบที่ใกล้เคียงกับโครงสร้างผลึกแบบอัลฟา (α structure) ดังรูปที่ 4.32 โดยมีตำแหน่งของ 2 θ ใกล้เคียงกับตำแหน่งของ 2 θ ของผลึกแบบอัลฟา ดังนี้คือ 14°, 16.8°, 18.6°, 21.2°, 21.9° [34, 35, 36] ดังแสดงในตารางที่ 4.8 เมื่อทดลองกระจายมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน และตรวจสอบระยะห่างระหว่างชั้นซิลิเกต (Interlayer spacing, d) ใน Cloisite 15A ผลพบว่าระยะห่างมีค่าลดลงจากประมาณ 32 Å เป็น 26 Å (ตารางที่ 4.9) โดยที่ตำแหน่งของ 2 θ มีการเปลี่ยนแปลงไปทิศทางที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.33) แสดงว่าชนิดของตัวทำละลายมีผลต่อการกระจายของมอนต์มอริลโลไนต์ เมื่อกระจายมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ผสมในพอลิแลกไทด์ที่ 3% 6% และ 9% ลักษณะผลึกในแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้แสดงถึงโครงสร้างผลึกใกล้เคียงกับผลึกแบบอัลฟาตามรูปแบบของผลึกในแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ทั่วไป (รูปที่ 4.34 และ ตารางที่ 4.8) ระยะห่างของชั้นซิลิเกตในมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) พบว่ามีระยะห่างลดลงเล็กน้อย อยู่ที่ประมาณ 20 Å (ตารางที่ 4.9) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) นั้นมีโมเลกุล Dimethyl, dihydrogenated tallow, quaternary ammonium แทรกอยู่ระหว่างของชั้นซิลิเกตซึ่งมีความไม่มีขั้วสูง (Hydrophobic) (และเนื่องจากมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ จึงทำให้ขยายชั้นของซิลิเกตได้กว้างถึง 32 Å) ดังนั้นการกระจายตัวในโมเลกุลพอลิแลกไทด์ซึ่งมีความมีขั้วอยู่บ้างจากกลุ่มหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลและหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้าง จึงทำให้เกิดการแทรกสอดของโมเลกุลพอลิแลกไทด์แต่ไม่อาจส่งเสริมให้เกิด Exfoliation ขึ้นมากนัก รวมทั้งมีผลของตัวทำละลายร่วมด้วย เมื่อทำการตรวจสอบผลึกของ PEG พบว่าโมเลกุลของ PEG สามารถจัดเรียงตัวเป็นระเบียบโดยพบตำแหน่งของผลึกอยู่ที่ 21° (รูปที่ 4.35 และ ตารางที่ 4.8) และเมื่อผสม PEG ในแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ จะเห็นได้ว่าพอลิแลกไทด์ยังคงมีโครงสร้างผลึกแบบอัลฟา และมีผลต่อระยะห่างของชั้นซิลิเกตเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 4.36 และ ตารางที่ 4.8 และ 4.9) เมื่อทำการตรวจสอบการเกิดผลึกในสารเคลือบผิวพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) หลังเคลือบผิวกระดาษ ผลพบว่าโครงสร้างของผลึกใกล้เคียงกับผลึกแบบอัลฟา ในชั้นสารเคลือบผิวพอลิแลกไทด์ (รูปที่ 4.37 และ ตารางที่ 4.10) สังเกตได้จากตำแหน่งของ 2 θ ที่ 19° ตำแหน่งอื่นที่ประมาณ 14° 16° และ 22° นั้นถูกบดบังจากโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสในเส้นใยกระดาษ ที่ตำแหน่ง 14.9° 16.6° และ 22.7° [37] และนอกจากนี้ยังพบโครงสร้างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่ 2 θ ประมาณ 4.54° และ 4.85°



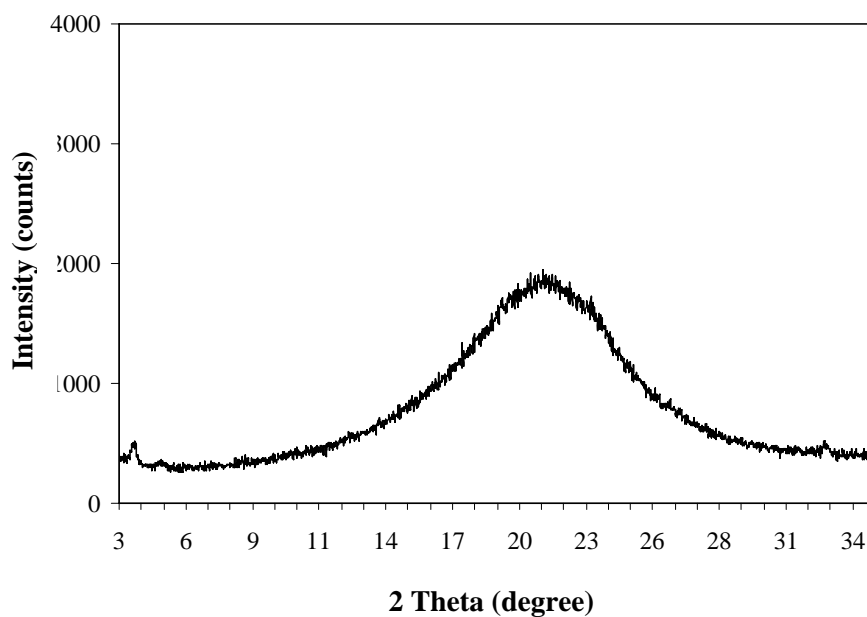
รูปที่ 4.32 รูปแบบ XRD ของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนไกลคอลเตรียมด้วยวิธี Solvent casting โดยใช้ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน



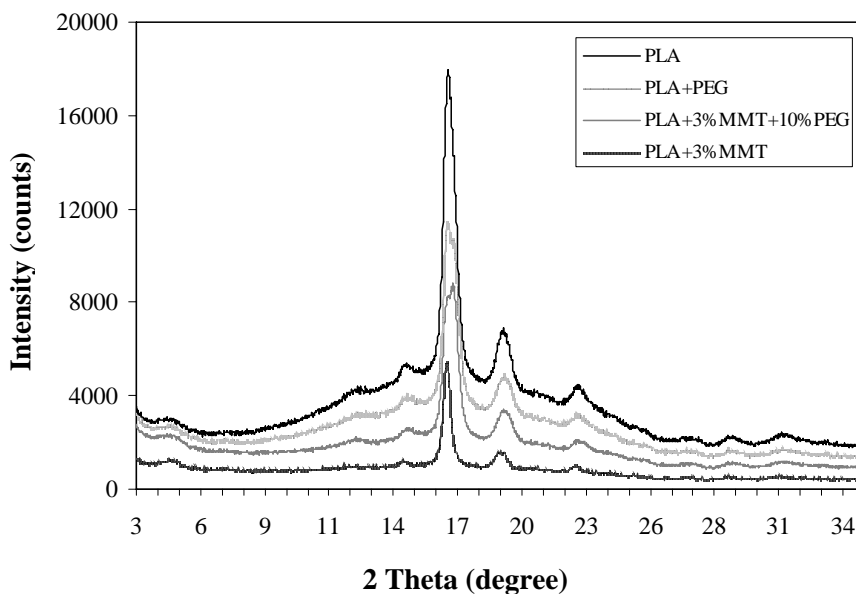
รูปที่ 4.33 รูปแบบ XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่ผ่านการอบ (MMT_dry) และที่กระจายในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (MMT_solvent)



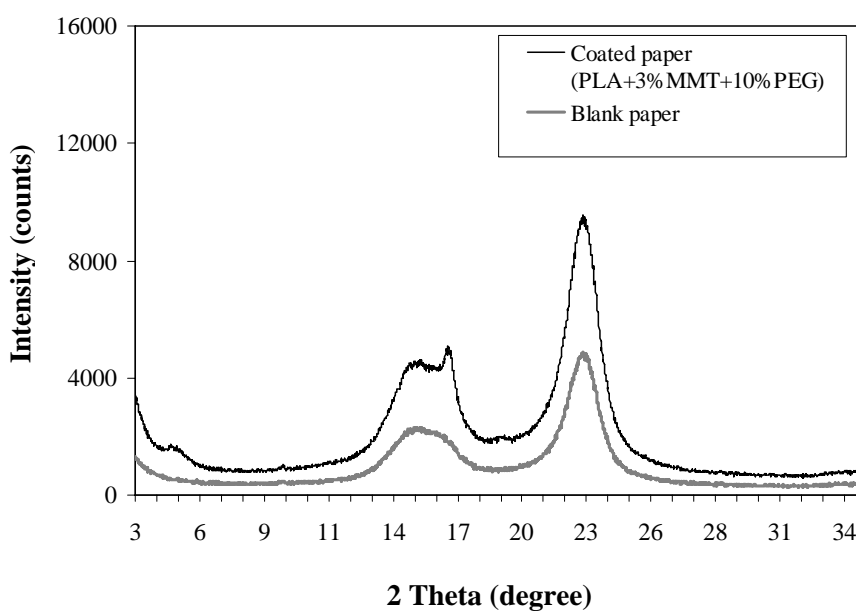
รูปที่ 4.34 รูปแบบ XRD ของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่อัตราส่วนต่างๆ เตรียมด้วยวิธี Solvent casting โดยใช้ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน



รูปที่ 4.35 รูปแบบ XRD ของแผ่นฟิล์ม PEG เตรียมด้วยวิธี Solvent casting โดยใช้ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน



รูปที่ 4.36 รูปแบบ XRD ของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) และ PEG เตรียมด้วยวิธี Solvent casting โดยใช้ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน



รูปที่ 4.37 รูปแบบ XRD ของเซลลูโลสในกระดาษและสารเคลือบผิวจากพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) และ PEG ที่ 10% (by wt)

ตารางที่ 4.8 2θ ของโครงสร้างผลึกในแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ชนิดต่างๆ

Sample	2 Theta (degree)	d-spacing
PLA film	14.78	5.99
	16.72	5.30
	19.14	4.63
	22.46	3.96
3%MMT in PLA film	14.70	6.02
	16.61	5.33
	18.98	4.67
	22.26	3.99
6%MMT in PLA film	14.74	6.00
	16.62	5.33
	19.07	4.65
	22.3	3.98
9%MMT in PLA film	14.74	6.00
	16.67	5.32
	19.08	4.65
	22.31	3.98
PEG film	21.01	4.22
PLA+PEG film	14.74	6.00
	16.62	5.33
	19.03	4.66
	22.26	3.99

ตารางที่ 4.9 2 θ และระยะห่างระหว่างชั้นของซิลิเกตในมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ชนิดอบแห้งและที่กระจายในตัวทำละลายได้คอลลอโรมีเทนและแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ที่อัตราส่วนต่างๆ

Sample	2 Theta (degree)	d-spacing
MMT (dry)	2.75	32.14
MMT (solvent)	3.42	25.78
3%MMT in PLA film	4.37	20.22
6%MMT in PLA film	4.38	20.18
9%MMT in PLA film	4.56	19.37
3%MMT+10%PEG in PLA film	4.66	18.94

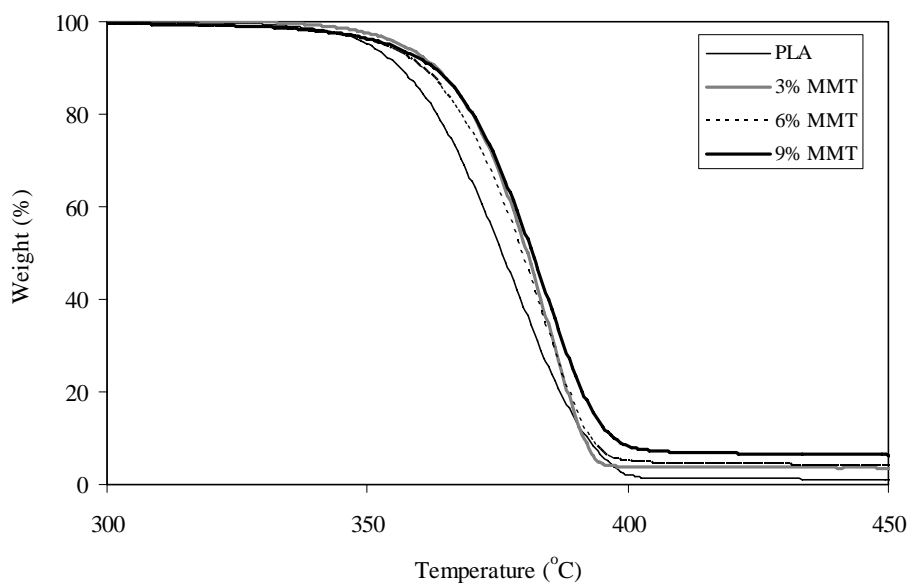
ตารางที่ 4.10 2 θ ของโครงสร้างผลึกเซลลูโลสในกระดาษก่อนเคลือบผิวและหลังเคลือบผิว

Sample	2 Theta (degree)	d-spacing
Blank paper	15.21	5.82
	16.19	5.47
	22.61	3.93
3%MMT+10%PEG+PLA coated paper	4.54	19.44
	4.85	18.20
	15.23	5.81
	16.73	5.30
	18.98	4.67
	22.68	3.92

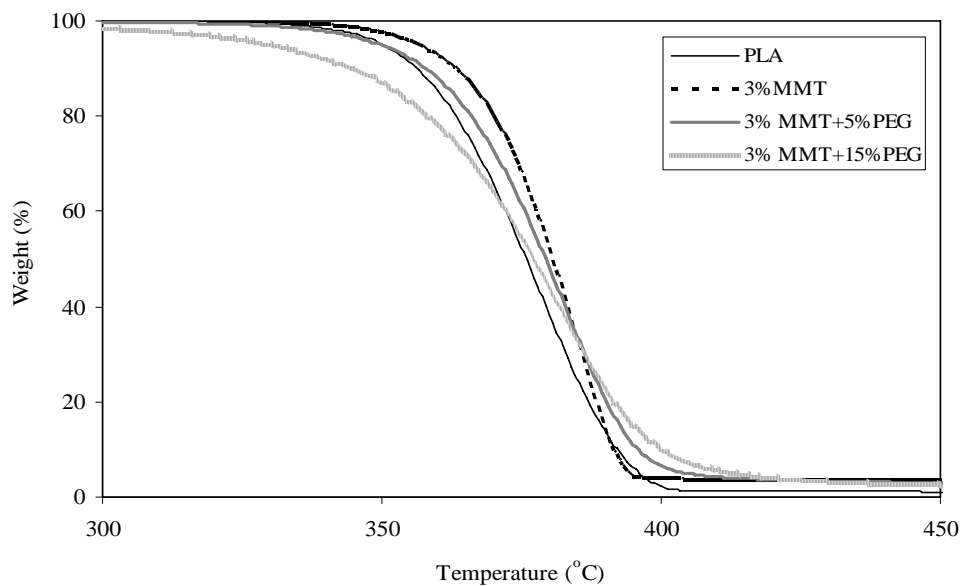
4.2.4 สมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิค TGA

จากการตรวจสอบสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ชนิดที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ผลพบว่ามีสมบัติทนต่อความร้อนได้ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ที่ไม่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ (รูปที่ 4.38) จากผลในตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ส่งผลให้แผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์มีสมบัติการทนต่อความร้อนได้สูงขึ้น โดยที่ Onset temperature เพิ่มขึ้นประมาณ 10°C และอุณหภูมิที่น้ำหนัก

ของตัวอย่างลดไป 50% (T_{50}) เพิ่มขึ้นประมาณ 5-6 °C เมื่อเติมมอนต์มอริลโลไนต์ในปริมาณที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์มีสมบัติในการทนความร้อนได้ดี ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นที่ศึกษาการทนความร้อนของพลาสติกพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ [36] จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสารเคลือบผิวกระดาษจากพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์สามารถทนความร้อนได้ดีขึ้น (Onset temperature ประมาณ 10 °C) เมื่อเติม PEG (ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซออร์) ในแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ ส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีสมบัติการทนความร้อนได้น้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุล PEG มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 37°C [37] ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับจุดหลอมเหลวของพอลิแลกไทด์ 130-200°C ดังนั้นจึงทำให้แผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสม PEG มีสมบัติการทนความร้อนได้ต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่เติม PEG (รูปที่ 4.39) เมื่อเติม PEG ในปริมาณสูงขึ้นไป 15% จะส่งผลให้สมบัติในการทนความร้อนของแผ่นฟิล์มลดลงอย่างมากในช่วงอุณหภูมิ 300-380°C



รูปที่ 4.38 การทนความร้อนของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ที่ไม่ผสมและที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน



รูปที่ 4.39 การทนความร้อนของแผ่นฟิล์มพอลิแล็กไทด์ที่ไม่ผสมและที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) และ PEG ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน

ตารางที่ 4.11 Onset temperature และอุณหภูมิที่น้ำหนักของตัวอย่างลดไป 50% (T_{50})

Film	Onset temperature (°C)	T_{50} (°C)
PLA film	356.06	375
3%MMT in PLA film	366.41	381
6%MMT in PLA film	363.12	380
9%MMT in PLA film	364.72	382
3%MMT+5%PEG in PLA film	360.46	380
3%MMT+10%PEG in PLA film	357.58	379
3%MMT+15%PEG in PLA film	354.45	379

4.2.5 ความขุ่นของแผ่นฟิล์ม (Haze)

เมื่อทำการตรวจสอบความขุ่นของแผ่นฟิล์ม (Haze) พบว่าแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์มีความขุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ (ตารางที่ 4.12) เมื่อปริมาณการเติมมอนต์มอริลโลไนต์สูงขึ้น ยังมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนนักทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของมอนต์มอริลโลไนต์ในเนื้อพอลิแลกไทด์ เมื่อเติม PEG มีแนวโน้มของการขุ่นของแผ่นฟิล์มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากความขุ่นที่มาจาก PEG ร่วมด้วย อย่างไรก็ตาม ค่าความขุ่นของแผ่นฟิล์มโดยรวมมีค่าสูงกว่า 50% ซึ่งจัดว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มมีความขุ่นอันเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบของโมเลกุลพอลิแลกไทด์

ตารางที่ 4.12 Haze ของแผ่นฟิล์มต่างๆ ที่ความหนา 50 ไมครอน

Coated Paper	Haze (%)
PLA	51
PLA+3%MMT	56
PLA+6%MMT	58
PLA+9%MMT	56
PLA+3%MMT+5%PEG	57
PLA+3%MMT+10%PEG	58
PLA+3%MMT+15%PEG	56

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

1. สมบัติทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่เตรียมจากพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ด้วยวิธีการเคลือบแบบ Solvent casting โดยใช้ไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลาย เป็นสารเคลือบผิวที่มีสมบัติการขวางกั้นอากาศและการกันการดูดซึมน้ำเข้าผิวกระดาษได้ดีมาก เมื่อผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น (3%, 6%, และ 9% โดยน้ำหนัก) ส่งผลให้สมบัติดังกล่าวดีขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเกิดการแทรกสอดของโมเลกุลของพอลิแลกไทด์เข้าในชั้นของซิลิเกตของมอนต์มอริลโลไนต์ และบางส่วนเกิด Exfoliation ด้วย ดังเห็นได้จากภาพถ่าย TEM ของแผ่นฟิล์ม นอกจากนี้ยังพบว่ากระดาษหลังเคลือบผิวมีความเรียบที่ดีขึ้นเนื่องจากสารเคลือบผิวปิดผิวกระดาษและลดปริมาณรูพรุนในกระดาษลง ทำให้ความมันวาวที่ผิวกระดาษหลังเคลือบผิวมีเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้สารเคลือบผิวมีผลกระทบต่อความขาวสว่างและความทึบแสงของกระดาษเพียงเล็กน้อย แต่ส่งเสริมให้กระดาษหลังเคลือบผิวมีความแข็งแรงต่อแรงดึงและความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเพิ่มมากขึ้น สารเคลือบผิวสามารถยึดกับกระดาษได้ดีมาก ไม่เกิดการถอนผิวของกระดาษ จากการตรวจวัดสมบัติของผิวหน้าสารเคลือบพบว่ามีความไม่ชอบน้ำ การเคลือบสารเคลือบที่ความหนา 80 และ 120 ไมครอน เป็นความหนาที่เหมาะสมส่งผลให้ได้สมบัติต่างๆ ของกระดาษหลังเคลือบผิวโดยรวมดีขึ้น และได้สมบัติการกั้นขวางอากาศและการกันการดูดซึมน้ำที่ดีที่สุดที่ความหนา 120 ไมครอน การเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ลงในสารเคลือบผิวผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (PEG ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ช่วยให้ฟิล์มของสารเคลือบผิวมีความยืดหยุ่นมากขึ้น) ผลพบว่าที่การเติม 5% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้สารเคลือบผิวผสมมอนต์มอริลโลไนต์มีความเงาสูงสุด นอกจากนี้การเติม PEG ช่วยปรับให้ผิวหน้าสารเคลือบมีความชอบน้ำเพิ่มขึ้นด้วย

2. สมบัติทางกายภาพและเชิงความร้อนของแผ่นฟิล์ม

จากการตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ที่ขึ้นรูปด้วยวิธี Solvent casting ผลพบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากวิธีนี้ ทำให้โมเลกุลพอลิแลกไทด์สามารถจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบได้ดีขึ้น เกิดความเป็นผลึก (Crystallinity) เกิดขึ้น

และรูปแบบโครงสร้างของผลึกใกล้เคียงกับรูปแบบอัลฟา นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดของตัวทำละลายที่เลือกใช้ (ไดคลอโรมีเทน) มีผลทำให้ระยะห่างของชั้นซิลิเกตในมอนต์มอริลโลไนต์ (Cloisite 15A) ลดลง ซึ่งส่งผลต่อการสอดแทรกของโมเลกุลพอลิแลกไทด์เข้าในชั้นซิลิเกตได้ การเลือกใช้มอนต์มอริลโลไนต์ ชนิด Cloisite 15A กระจายในเนื้อของพอลิแลกไทด์โดยมีตัวทำละลายร่วมด้วย พบว่ามีการเกิด Exfoliation ได้บางส่วน ผลการทดสอบการทนต่อความร้อนของแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ พบว่าแผ่นฟิล์มสามารถทนความร้อนได้สูงขึ้นประมาณ 10°C เมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์ที่ไม่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ การเติม PEG ผสมในสารเคลือบผิวส่งผลให้แผ่นฟิล์มทนความร้อนได้ลดลง การผสมมอนต์มอริลโลไนต์ส่งผลให้แผ่นฟิล์มพอลิแลกไทด์มีความขุ่น (Haze) เพิ่มขึ้น

ในงานวิจัยนี้เตรียมสารเคลือบกระดาษจากพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งเป็นวัสดุทางชีวภาพ ที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปเป็นสารเคลือบผิวสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

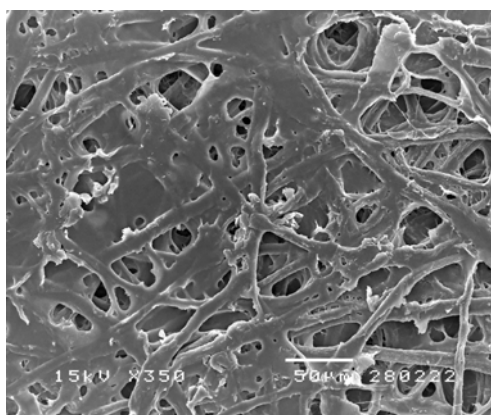
ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาสมบัติการกันขวางของชนิดของก๊าซที่ซึมผ่านแผ่นฟิล์ม
2. ตรวจสอบสมบัติการดูดซึมน้ำภายใต้สภาวะเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C องศาเซลเซียส

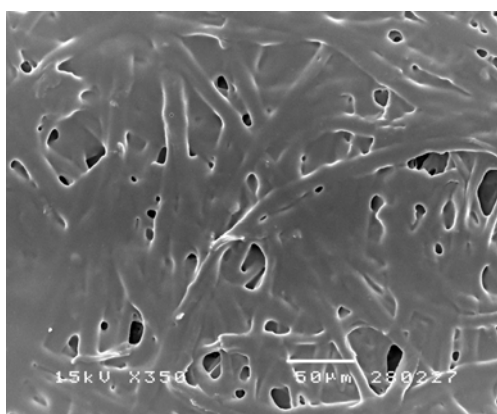
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ภาพถ่าย SEM

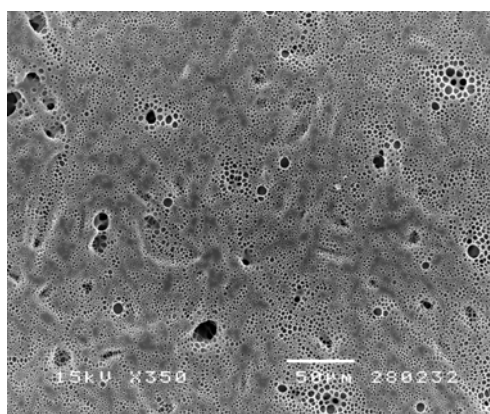
ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวและภาพตัดขวางของกระดาษหลังเคลือบ



(1)

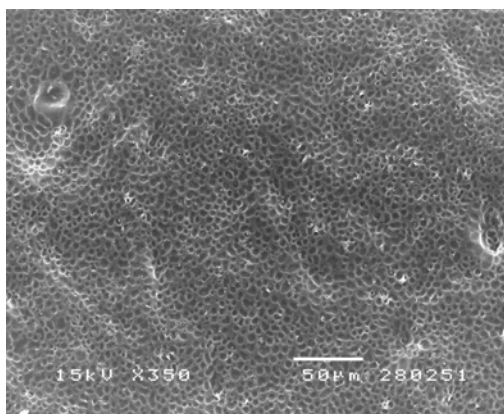


(2)

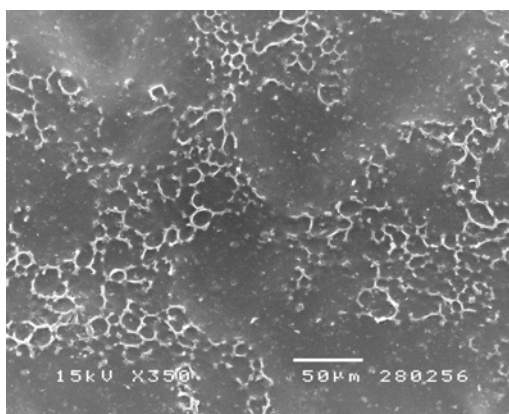


(3)

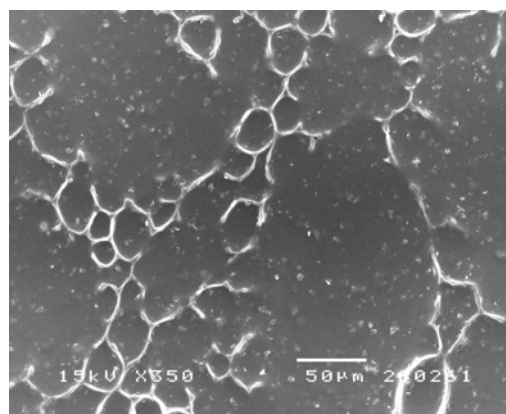
รูปที่ 1 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) กำลังขยาย 350 เท่า



(1)

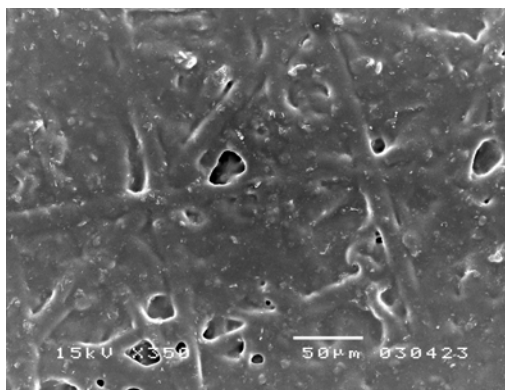


(2)



(3)

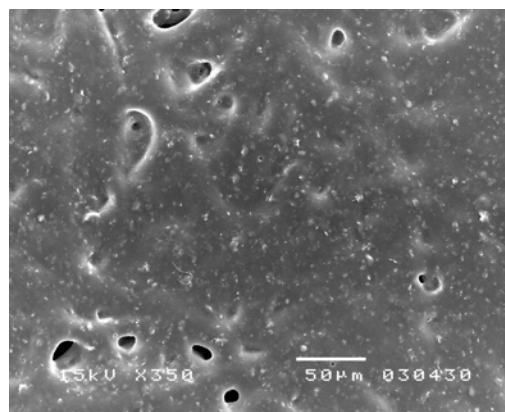
รูปที่ 2 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA + 3% MMT (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) กำลังขยาย 350 เท่า



(1)

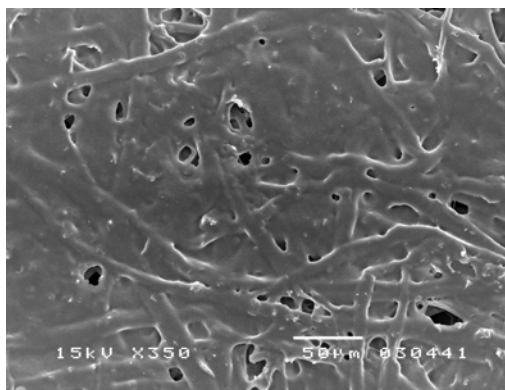


(2)

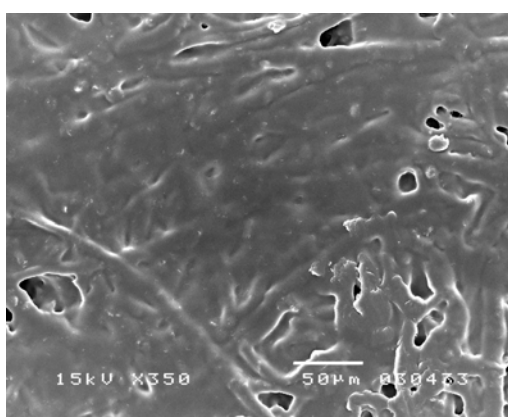


(3)

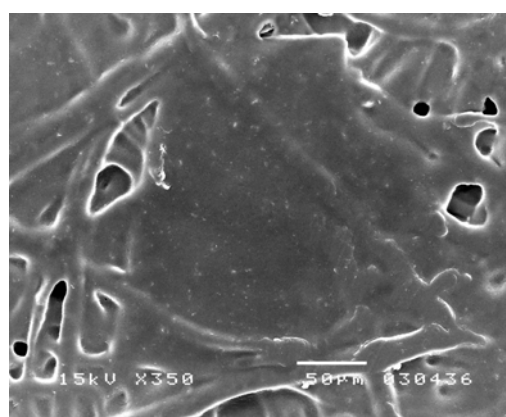
รูปที่ 3 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวด้วย PLA + 9%MMT (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยกกำลังขยาย 350 เท่า



(1)

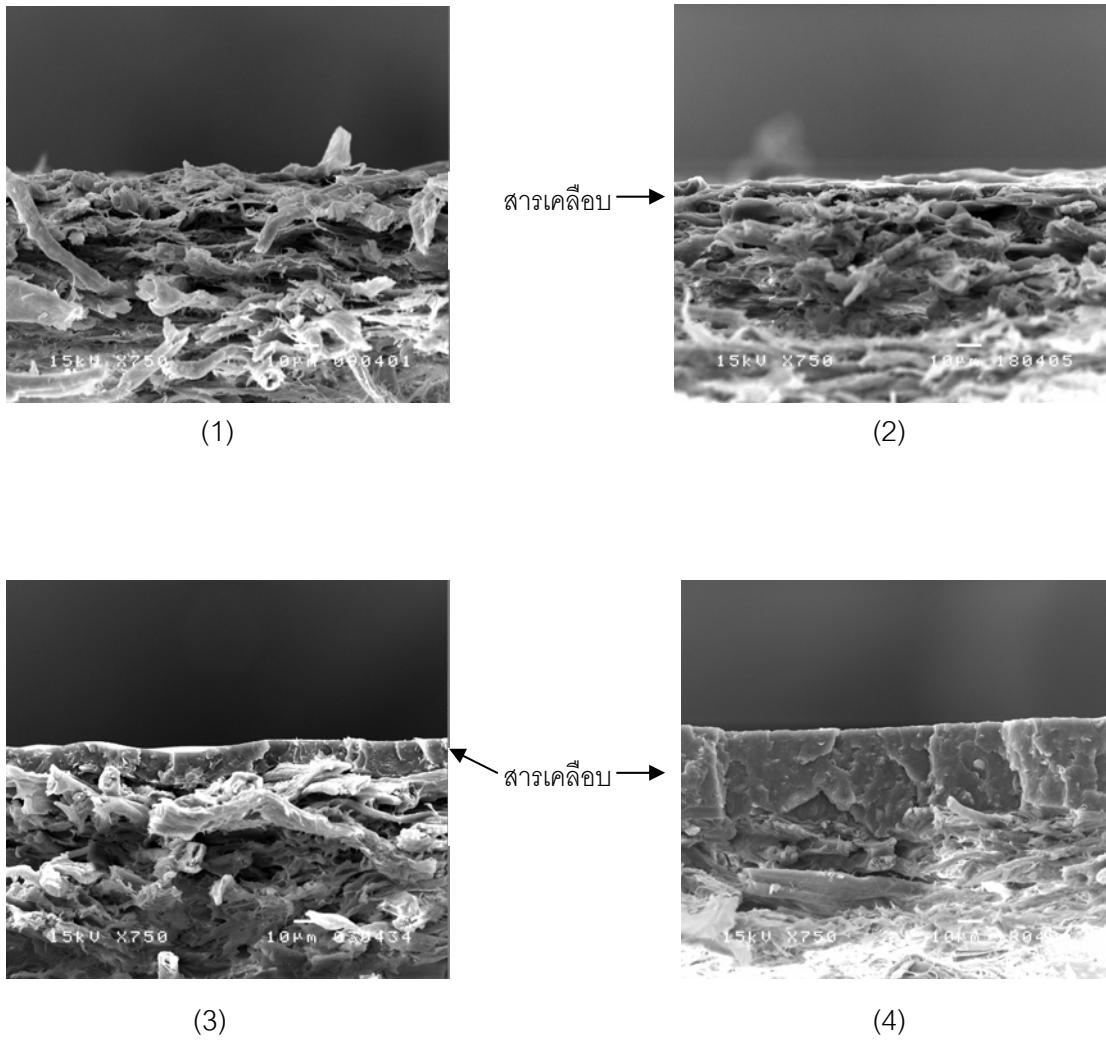


(2)

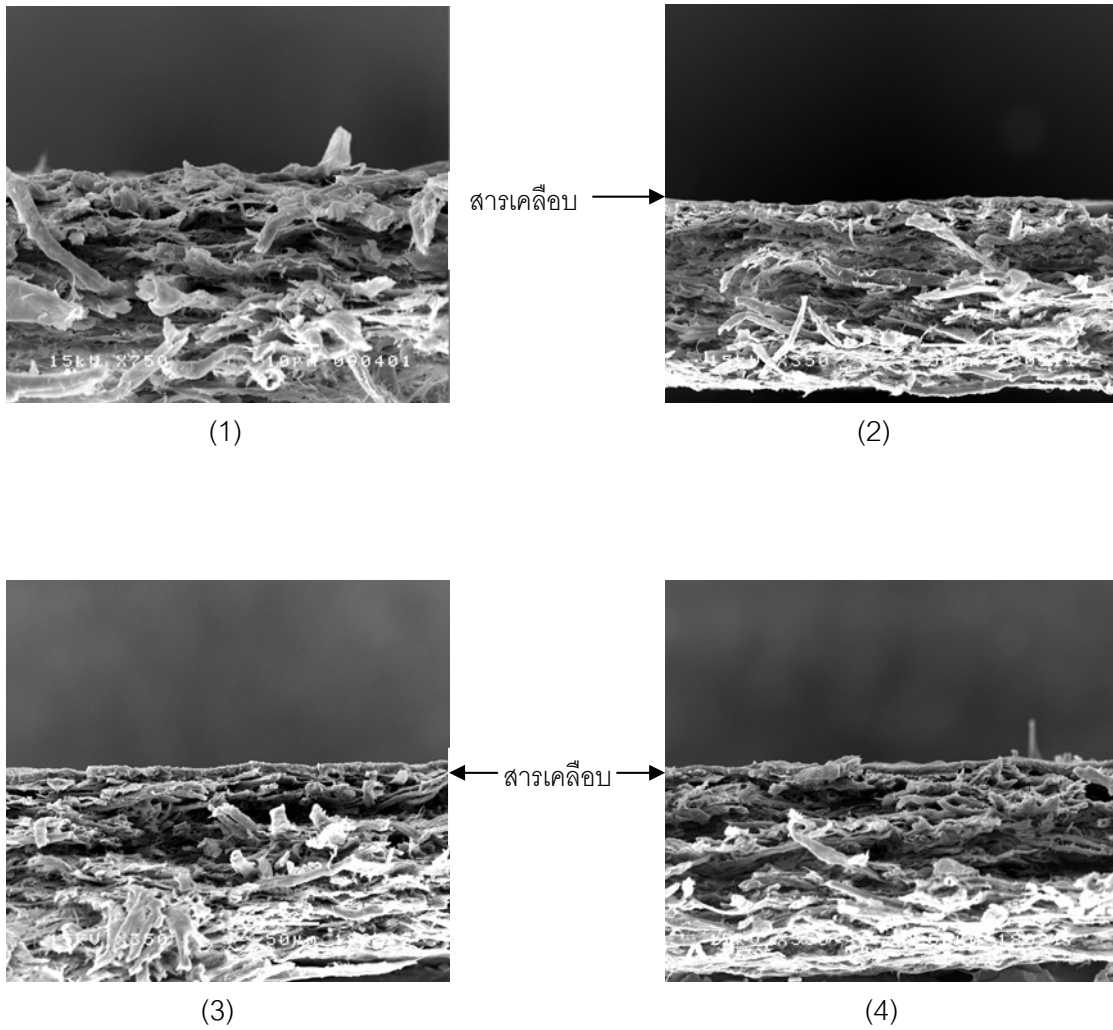


(3)

รูปที่ 4 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบด้วย PLA+3%MMT+10%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป่า) กำลังขยาย 350 เท่า



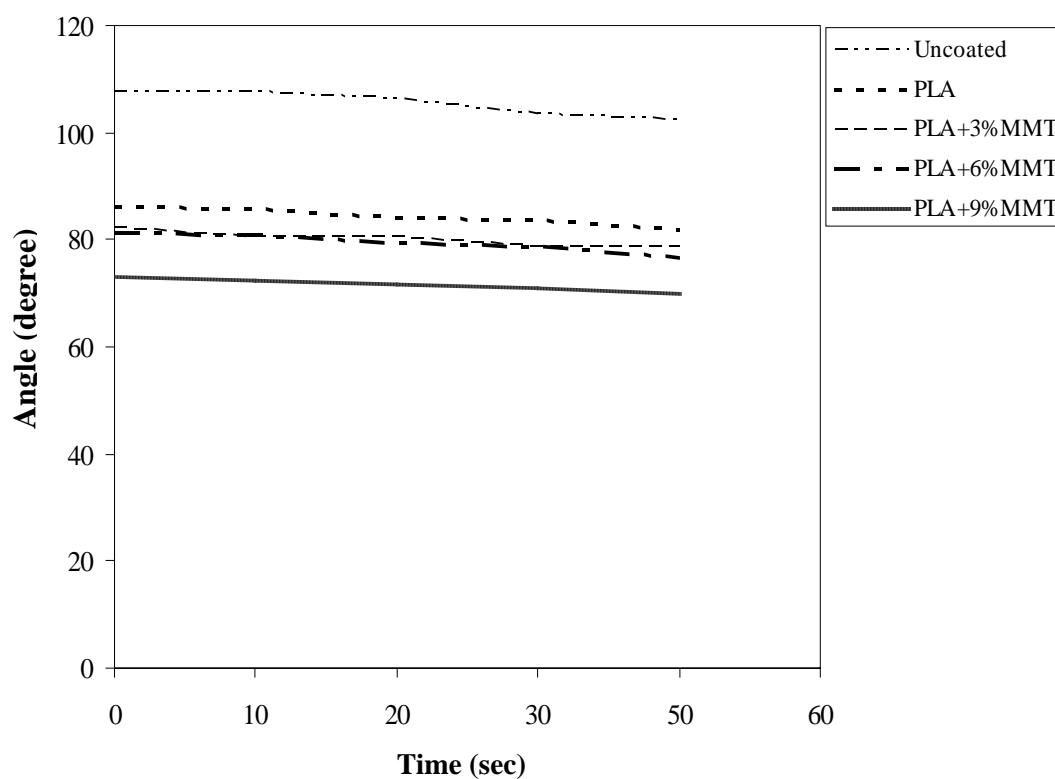
รูปที่ 5 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบด้วย PLA+3%MMT+10%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยก) กำลังขยาย 350 เท่า



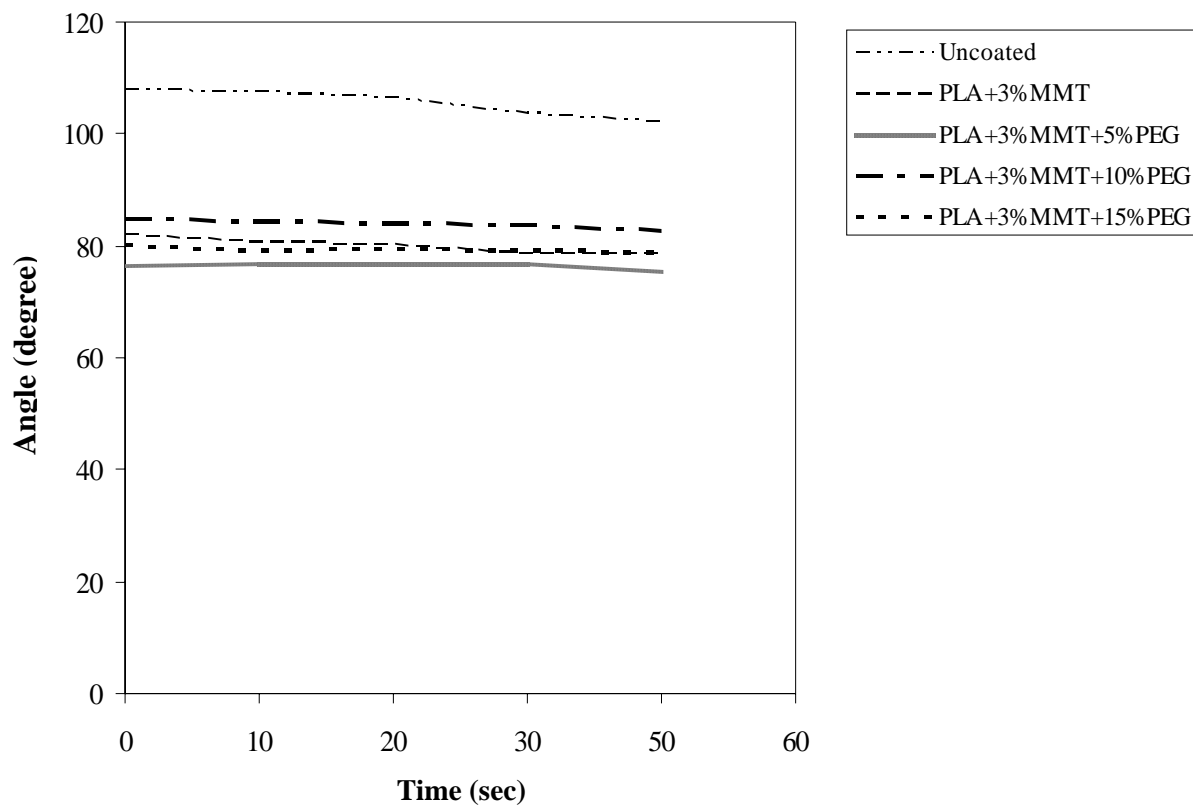
รูปที่ 6 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบด้วย PLA+3%MMT+15%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยก) กำลังขยาย 350 เท่า

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการทดลอง

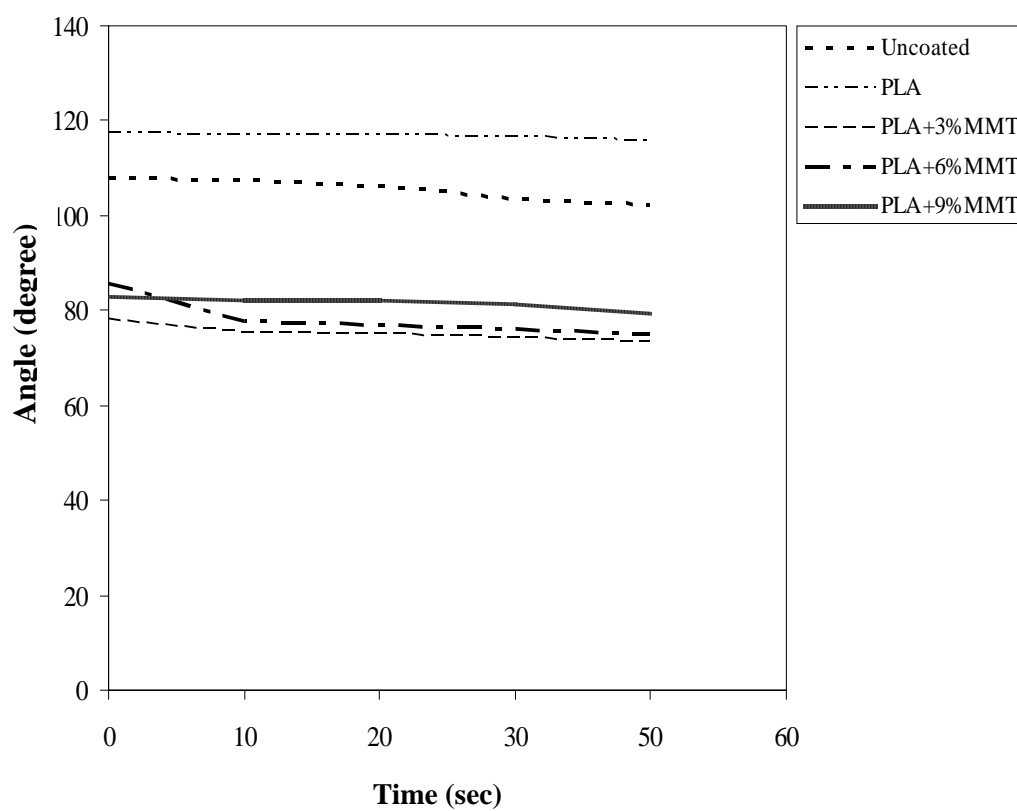
ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษ (Water Contact Angle)



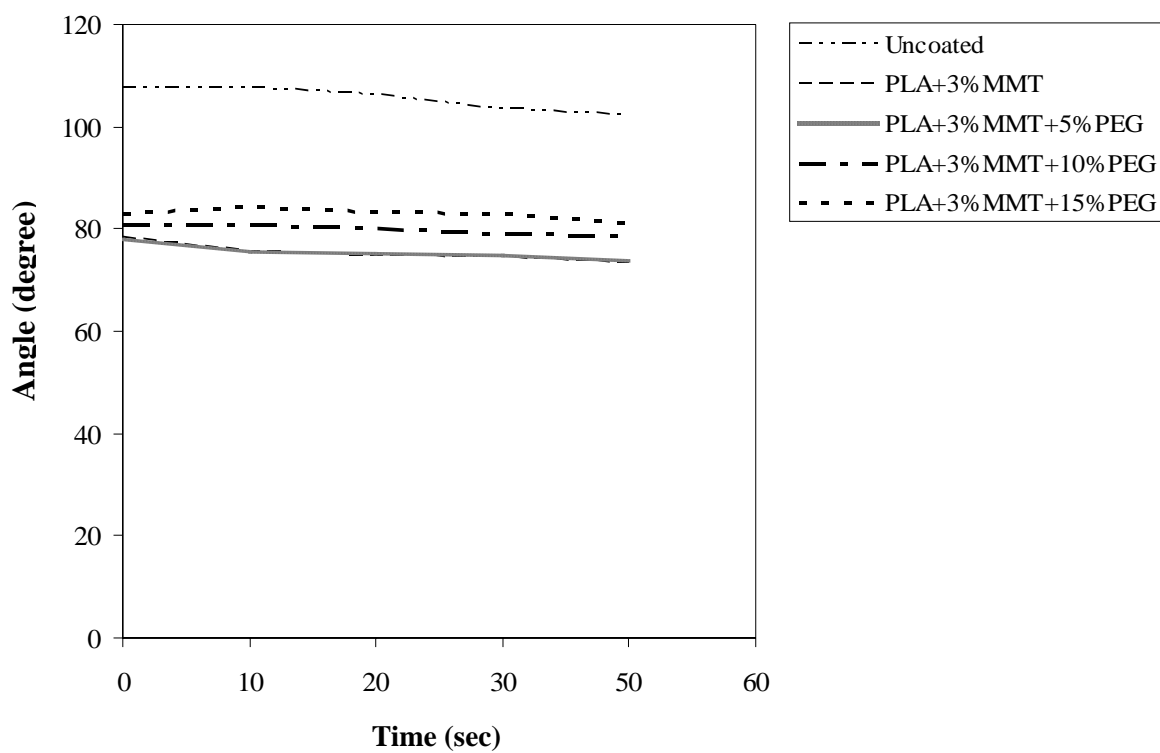
รูปที่ 1 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ที่ความหนา 40 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยก)



รูปที่ 2 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA, MMT (Cloisite15A) และ PEG ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ที่ความหนา 40 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยก)

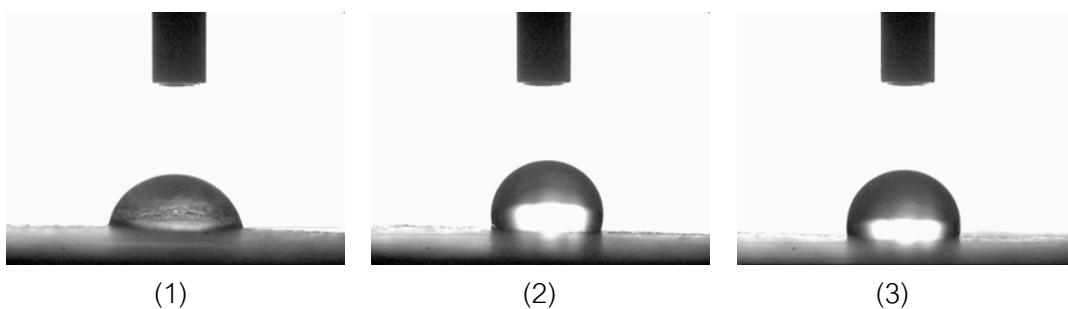


รูปที่ 3 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA และ MMT (Cloisite 15A) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ที่ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเป็ยก)

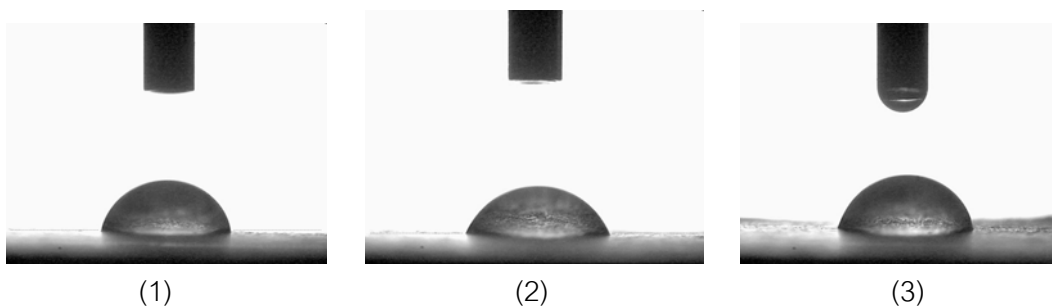


รูปที่ 4 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA, MMT (Cloisite15A) และ PEG ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ที่ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก)

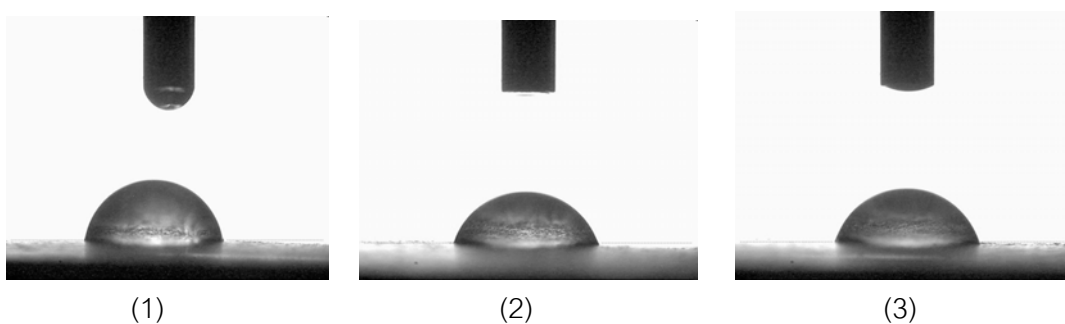
ภาพหยดน้ำบนกระดาษก่อนและหลังเคลือบ



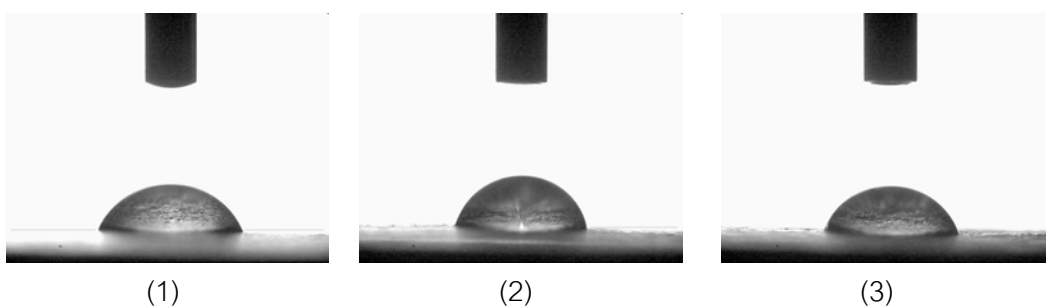
รูปที่ 5 ภาพถ่ายหยดน้ำบนกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) ณ เวลาที่ต่างกัน ที่ 1 วินาที



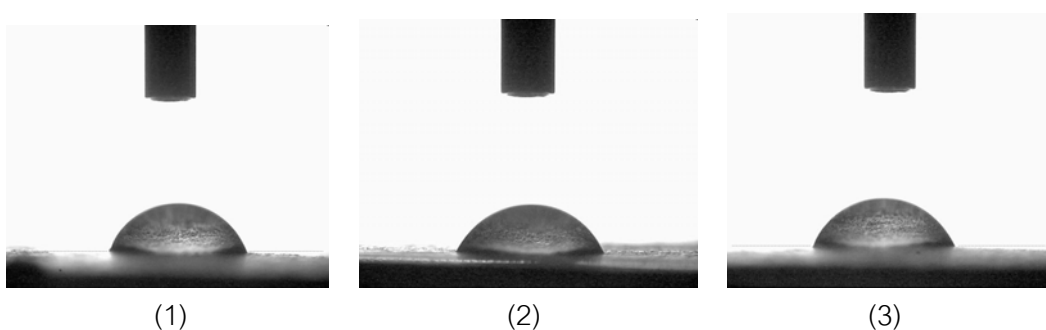
รูปที่ 6 ภาพถ่ายหยดน้ำบนกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA+3%MMT (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) ณ เวลาที่ต่างกัน ที่ 1 วินาที



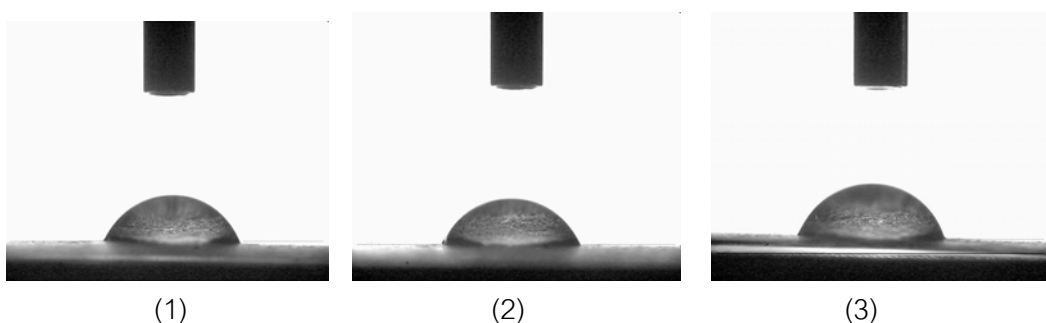
รูปที่ 7 ภาพถ่ายหยดน้ำบนกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA+6%MMT (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) ณ เวลาที่ต่างกัน ที่ 1 วินาที



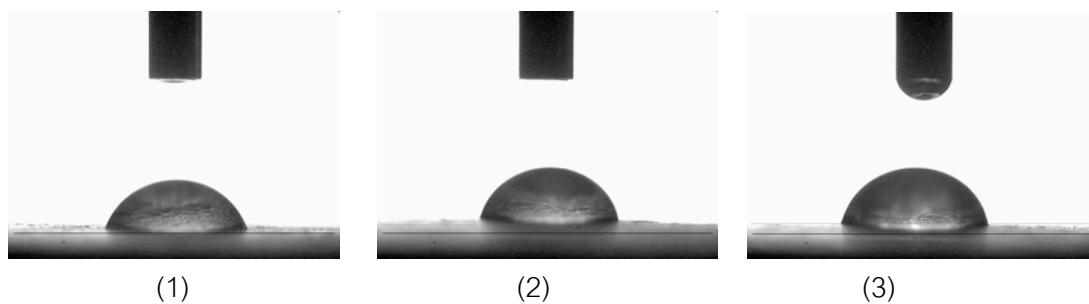
รูปที่ 8 ภาพหยดน้ำบนกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA+9%MMT (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) ณ เวลาที่ต่างกัน ที่ 1 วินาที



รูปที่ 9 ภาพหยดน้ำบนกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA+3%MMT+5%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) ณ เวลาที่ต่างกัน ที่ 1 วินาที

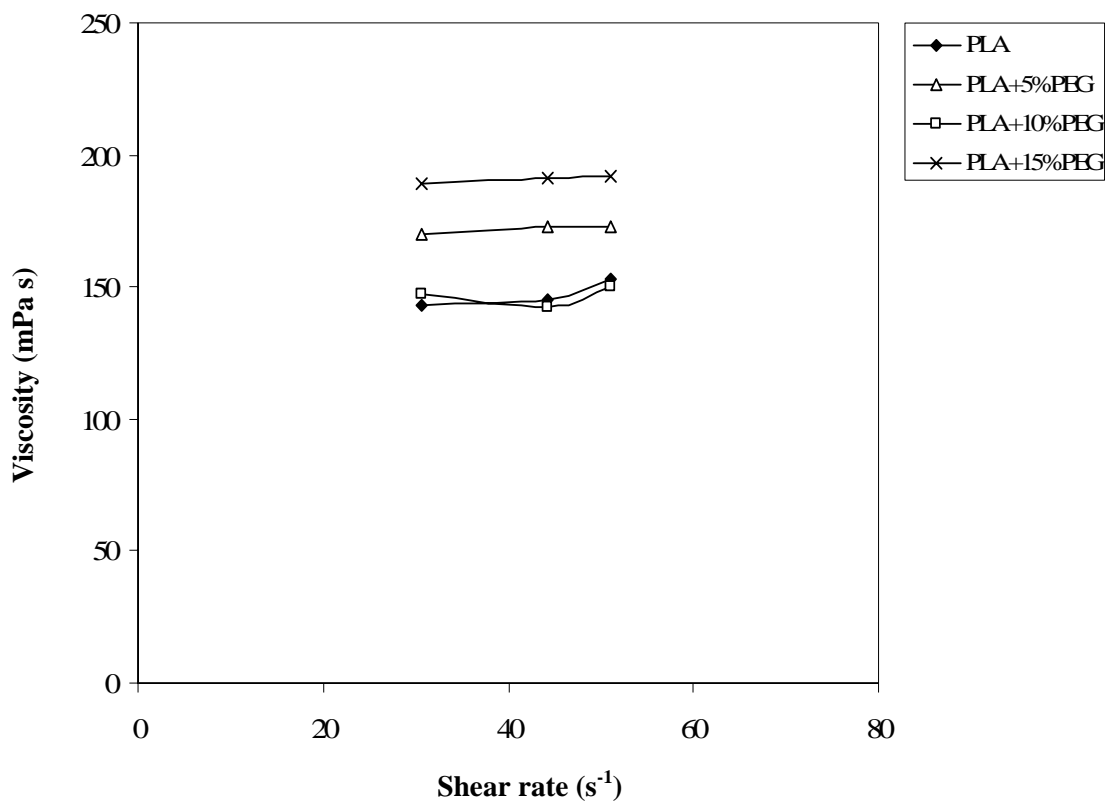


รูปที่ 10 ภาพหยดน้ำบนกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA+3%MMT+10%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) ณ เวลาที่ต่างกัน ที่ 1 วินาที



รูปที่ 11 ภาพหยดน้ำบนกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ PLA+3%MMT+15%PEG (by wt) (1) ความหนา 40 ไมครอน, (2) ความหนา 80 ไมครอน และ (3) ความหนา 120 ไมครอน (ความหนาขณะเปียก) ณ เวลาที่ต่างกัน ที่ 1 วินาที

ความหนืดของสารเคลือบผิว (Viscosity)



รูปที่ 12 ความหนืดของสารเคลือบผิวที่เตรียมจาก PLA และ PEG ในอัตราส่วน 5%, 10% และ 15% (by wt) อุณหภูมิ 25 °C

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภาสินี โนรีวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตกำแพงแสน) ปีการศึกษา 2548 หลังจากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นการศึกษา 2549 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้นของปีการศึกษา 2551 รวมระยะเวลาในการศึกษา 2 ปี

การเสนอผลงานวิจัยในการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ณ มหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน ในหัวข้องานวิจัย

“การเตรียมสารเคลือบผิวกระดาษระดับนาโนจากพอลิแล็กไทด์/มอนต์มอริลโลไนต์” วันที่ 14-15 มีนาคม 2551