

การเคลือบกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มสมบัติการกันที่ตี



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## **Coating Paper for Enhance Barrier Properties**



**A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Bachelor of Engineering (Chemical engineering)**

**Department of Chemical engineering, School of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**Academic Year 2023**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การเคลื่อนกระตาศสำหรับบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มสมบัติการกันที่ตี

โดย นายบารมี กลัดสำเนียง

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ธีรพร สุธีวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรม  
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

TEERAPORN

ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.ธีรพร สุธีวงศ์)

กรรมการ

(ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสสรณ์)

กรรมการ

(รศ.ดร.พรสวรรค์ อัครแสงรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การเคลือบกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มสมบัติการกันที่ดี
โดย	นายบารมี กัดสำเนียง
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ธีรพร สุธีวงศ์

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการนำบรรจุภัณฑ์กระดาษมาใช้เพื่อลดขยะพลาสติก แต่กระดาษมีความเป็นรูพรุนสูงและน้ำซึมผ่านได้ดี จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์โดยตรง ต้องทำการเคลือบผิวเพื่อเพิ่มสมบัติการกัน (physical barrier) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือการพัฒนาสารเคลือบจากธรรมชาติเพื่อเพิ่ม physical barrier ให้กระดาษแทนการเคลือบพอลิเมอร์ที่นิยมใช้ เพื่อให้บรรจุภัณฑ์กระดาษสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้น้ำยางธรรมชาติ (NRL) ยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) แป้งข้าวโพด (CS) และแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) มาใช้แล้วศึกษามุมสัมผัสของน้ำ การต้านแรงดันทะเลดู การทนต่อการซึมผ่านอากาศ และการยึดเกาะ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ SPNRL เพิ่มขึ้น กระดาษมีความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น โดยสารเคลือบที่มีมุมสัมผัสมากที่สุดคือ  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 6% มีค่ามุมสัมผัสที่ 0 วินาที เท่ากับ 137.95 °C ปริมาณยางที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อความต้านแรงดันทะเลดู โดยสารเคลือบที่มีความสามารถในการต้านแรงดันทะเลดูสูงที่สุดคือ  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 18% จะมีค่าอยู่ที่ 347 kPa และโมเลกุลยางช่วยลดการซึมผ่านของอากาศลง สารเคลือบที่มีค่าที่สามารถทนต่อการซึมผ่านอากาศได้ดีคือ  $\text{Ca}^{2+}$ +CS+SPNR 6% โดยมีค่าอยู่ที่ 2.97  $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$  นอกจากนี้พบว่าเมื่อความเข้มข้นของยางสูงขึ้นส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการยึดเกาะ ระหว่างยางกับกระดาษลดลง เมื่อทำการผสมยางกับแป้งข้าวโพด ตัวแป้งข้าวโพดทำให้ความสามารถในการยึดเกาะกับกระดาษเพิ่มสูงขึ้น

**คำสำคัญ:** การเคลือบผิว, กระดาษ, น้ำยางธรรมชาติ, แป้งข้าวโพด, สมบัติการกัน

**Thesis Title** Coating paper for enhance barrier properties  
**By** Mr. Baramee Klatsamniang  
**Degree** Bachelor of Engineering  
**Program** Chemical Engineering  
**Academic Year** 2023  
**Thesis Advisor** Assoc. Prof. Dr. Teeraporn Suteewong

### Abstract

Currently, paper packaging has been used to reduce plastic waste. However, paper is highly porous and poor water resistant, these physical barrier properties should be improved by means of coating. The objective of this research is the development of a bio-degradable coating that increases physical barriers from natural substances to replace the commonly used polymer coating. In this research, natural rubber latex (NRL), sulfur pre-vulcanized natural rubber latex (SPNRL), corn starch (CS), and calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ ) were selected. The water contact angle, bursting strength, air permeability and adhesion were studied. It was found that when the concentration of SPNRL increased, the hydrophobicity of the paper increased. The coating with the highest contact angle is the sample “ $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 6%” with a contact angle (at 0 second.) =  $137.95^\circ$ . The increased amount of rubber also affects the bursting strength. The coating with the highest ability to bursting strength is  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 18%, which has a value of 347 kPa. This is because rubber molecules reduce air permeability. The coating that can withstand good air permeability is  $\text{Ca}^{2+}$ +CS+SPNR 6% with a value of  $2.97 \mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$ . In addition, it was found that when the concentration of rubber increased, the adhesion between rubber and paper decreases. Mixing rubber with corn starch, increases the ability to adhere to paper.

**Keywords:** Coating, Paper, Natural rubber, Corn starch, Barrier property

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “การเคลือบกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการกันที่ตี” ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้คำแนะนำจาก รศ.ดร.ธีรพร สุธีวงศ์ ที่เป็นที่ปรึกษา ที่ให้คอยให้คำที่ปรึกษาตลอดจนคอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาในทุกขั้นตอนการทำวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกให้สถานที่ในการศึกษาและค้นคว้าทำการทดลอง ทั้งด้านอุปกรณ์การทดลอง สารเคมีและสาธารณูปโภคและขอขอบคุณแหล่งค้นคว้าข้อมูลสำคัญที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัย ตัวอย่างงานวิจัยต่างๆ เว็บไซต์ และบทความ ที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้ประกอบการทำเล่มวิจัยฉบับนี้

ทั้งนี้ทางผู้จัดทำวิจัย ขอขอบคุณผู้มีพระคุณที่ช่วยเหลือและสนับสนุนทุนการวิจัยอันมีค่าแก่งานวิจัยนี้ และหวังว่างานวิจัยเล่มนี้จะเป็นประโยชน์เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้ที่สนใจศึกษาและหากผิดพลาดประการใดทางผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วยพร้อมน้อมรับคำแก้ไขทุกประการ

บารมี กลัดสำเนียง

ผู้ทำวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	ก
Abstract .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ช
บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1.1 กระดาษ.....	3
2.1.2 บรรจุภัณฑ์ (Packaging).....	6
2.1.3 พอลิเมอร์ (Polymer).....	6
2.1.4 สมบัติการกั้น (Barrier properties) สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร.....	9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	13
3.1 วัสดุและสารเคมี.....	13
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	13
3.3 การปรับสภาพกระดาษกราฟต์ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ .....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4	การเคลือบกระดาษกราฟท์ด้วยน้ำยางธรรมชาติ (NRL) และน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNR) .....	14
3.5	การเคลือบกระดาษกราฟท์ด้วยน้ำยางธรรมชาติ (NRL) และน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNR) ผสมกับแป้งข้าวโพด.....	15
3.6	ตรวจวิเคราะห์สมบัติของกระดาษหลังเคลือบ.....	16
3.6.1	การวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle measurement).....	16
3.6.2	วิเคราะห์ความต้านทานของการยึดเกาะ (Adhesion strength analysis) .....	16
3.6.3	วิเคราะห์ความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength analysis).....	17
3.6.4	การวิเคราะห์การทนต่อการซึมผ่านของอากาศ (Air permeability analysis).....	17
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	19
4.1	ผลของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ต่อมุมสัมผัสของน้ำ .....	19
4.2	ผลของการปรับสภาพผิวกระดาษด้วย $\text{CaCl}_2$ ต่อมุมสัมผัสของน้ำบนชั้นเคลือบผิวกระดาษจาก NRL และ SPNR .....	20
4.3	การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength test) .....	22
4.4	การทดสอบการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ (Air permeability test) .....	25
4.5	การทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษ (Adhesion test) .....	28
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	31
5.1	สรุปผลการทดลอง .....	31
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	31
เอกสารอ้างอิง.....		32
ภาคผนวก ก.....		36
ภาคผนวก ข.....		41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างเซลลูโลส [6].....	4
2.2 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส [7].....	4
2.3 โครงสร้างแป้ง [17].....	8
2.4 โครงสร้างเซลลูโลส [6].....	8
2.5 โครงสร้างไคตินและไคโตซาน [20].....	9
2.6 โครงสร้างยางธรรมชาติ [21].....	9
3.1 เครื่องวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ.....	16
3.2 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ.....	17
3.3 เครื่องทดสอบการซึมผ่านของอากาศ.....	18
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle (°)) กับเวลา (Time, s) ที่แต่ละความเข้มข้นของยางธรรมชาติ (NRL).....	19
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle (°)) กับเวลา (Time, s) ที่แต่ละความเข้มข้นของยางธรรมชาติ (NRL).....	20
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle (°)) กับเวลา (Time, s) ที่แต่ละความเข้มข้นของยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL).....	21
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle (°)) กับเวลา (Time, s) ที่แต่ละความเข้มข้นของยางธรรมชาติ (NRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS).....	21
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle (°)) กับเวลา (Time, s) ที่แต่ละความเข้มข้นของยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS).....	22
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) กับความต้านแรงดันทะลุ Bursting strength (kPa).....	23
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) กับความต้านแรงดันทะลุ Bursting strength (kPa).....	23
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ผสมแป้งข้าวโพด Corn starch (CS) กับความต้านแรงดันทะลุ Bursting strength (kPa).....	24
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ผสมแป้งข้าวโพด Corn starch (CS) กับความต้านแรงดันทะลุ Bursting strength (kPa).....	25

4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) กับการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ( $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$ ).....	26
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) กับการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ( $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$ ).....	26
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ผสมแป้ง Corn starch (CS) กับการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ( $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$ ).....	27
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ผสมแป้ง Corn starch (CS) กับการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ( $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$ ).....	28
ข.1.1 เครื่องสำหรับทดสอบการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ .....	42
ข.1.2 แสดงพฤติกรรมของการไม่ชอบน้ำ (Superhydrophilic) และ การชอบน้ำ (Superhydrophobic) ...	42
ข.1.3 เครื่องสำหรับการทดสอบการวัดความต้านทานแรงดันทะเล .....	43
ข.1.4 เครื่องสำหรับการทดสอบการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ.....	44
ข.1.5 ตารางที่ทำการกริด .....	45
ข.1.6 ระดับมาตรฐาน ASTM D3359 ที่บอกความสามารถในการยึดเกาะของกระดาษ.....	46

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษแต่ละความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6, 12, 18 และ 24 .....	28
4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษแต่ละความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6, 12, 18 และ 24 .....	29
4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษแต่ละความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6, 12, 18 และ 24	30
4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษแต่ละความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6, 12, 18 และ 24.....	30
ก.1.1 ส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบกระดาษด้วยยางธรรมชาติ (NRL).....	37
ก.1.2 ส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบกระดาษด้วยยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) .....	37
ก.2.1 ส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบกระดาษด้วยยางธรรมชาติ (NRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS) .....	37
ก.2.2 ส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบกระดาษด้วยยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS) .....	38
ก.3.1 ผลการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM D3359 .....	38

## บทที่ 1

### ที่มาและความสำคัญ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุภัณฑ์ของเหลว จำเป็นต้องมีสมบัติเชิงกล(physical properties) ทนต่อสารเคมีที่ดี และมีสมบัติการกั้นทางกายภาพที่ดี (Physical barriers) เช่น ทนต่อการซึมผ่านน้ำ น้ำมันและออกซิเจน [1] ทำให้นิยมใช้ เช่น polyethylene terephthalate (PET) polyethylene (PE) และ polybutylene terephthalate (PBT) เป็นต้น [2] ซึ่งเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในครัวเรือน เช่น น้ำยาล้างจานและผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดร่างกาย เช่น ครีมอาบน้ำและแชมพู ถึงแม้พลาสติกเหล่านี้มีสมบัติที่ดี แต่ใช้เวลานานในการย่อยสลายตามธรรมชาติ และยากต่อการรีไซเคิล ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและกลายเป็นขยะพลาสติก จึงนำไปสู่การใช้วัสดุรีไซเคิล การนำกลับมาใช้ใหม่ และการใช้วัสดุที่ย่อยสลายได้เร็วตามธรรมชาติ ปัจจุบันมีการใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษแทนที่บรรจุภัณฑ์พลาสติก เพราะย่อยสลายและรีไซเคิลได้ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่กระดาษมีความเป็นรูพรุนสูงและน้ำซึมผ่านได้ดี จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์โดยตรง ต้องทำการเคลือบผิวเพื่อเพิ่ม physical barrier เช่น เพิ่มการทนต่อการซึมผ่านของน้ำ น้ำมันและอากาศให้กับตัวกระดาษ สารหรือวัสดุเคลือบผิวควรเป็นวัสดุธรรมชาติ เช่น พอลิเมอร์ชีวภาพ เนื่องจากย่อยสลายได้ และไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ที่เพิ่มทั้ง physical barrier และสมบัติเชิงกลไปพร้อมกัน พอลิเมอร์ชีวภาพ มีหลายประเภท เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) เรซิน (resin) ขี้ผึ้ง (wax) โปรตีนถั่วเหลือง และซีน (zein) เป็นต้น

พอลิแซ็กคาไรด์ เช่น แป้ง (starch) ไคโตซาน (chitosan) และเซลลูโลส (cellulose) นิยมนำมาใช้ในการเคลือบกระดาษ เนื่องจากมีราคาที่ถูก หาได้ง่าย และย่อยสลายได้ มีงานวิจัยที่พัฒนาสารเคลือบผิวจากพอลิแซ็กคาไรด์และพอลิเมอร์ตัดแปรต่างๆ ทาง Fei-jie Wang และคณะ [1] เปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสโดยเติมหมู่ -COOH เกิดเป็น Carboxymethyl cellulose (CMC) ที่มีสมบัติการขึ้นรูปฟิล์มที่ดี เมื่อนำมาเคลือบกระดาษพบว่าสมบัติการกั้นน้ำมันและออกซิเจนดีขึ้น และช่วยเพิ่มสมบัติทางกลให้กับตัวกระดาษให้มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น เนื่องจากเมื่อเติมหมู่ของ -COOH ทำให้ตัวของ CMC มีพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นทำให้ชอบน้ำมากขึ้นและไม่ชอบน้ำมันมากขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันของไคโตซานจาก -NH เป็น -COOH ได้เป็น Carboxymethyl chitosan (CMCS) เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านแบคทีเรีย พบว่ากระดาษที่เคลือบด้วย CMCS มีสมบัติยับยั้งแบคทีเรียที่ดีขึ้น โดย CMCS สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่า ถ้านำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polylactic acid (PLA) มาเคลือบกระดาษจะช่วยเพิ่มความสามารถทนการซึมผ่านของน้ำได้ และเมื่อเคลือบทั้ง CMC CMCS และ PLA แยกกันทีละชั้น กระดาษหลังเคลือบได้รวมสมบัติข้างต้นเข้าไว้ด้วยกัน

อย่างไรก็ดีไคโตซานและเซลลูโลสมีข้อเสียหลัก คือ มีความชอบน้ำ ทำให้ไม่ทนต่อความชื้น [1] ไม่เหมาะกับบรรจุภัณฑ์ที่มีชีว ปริญญานิพนธ์นี้จึงสนใจที่จะพัฒนาสารเคลือบผิวที่ไม่ชอบน้ำ จากพอลิเมอร์ชีวภาพที่กันน้ำได้ดี คือ น้ำยางธรรมชาติ [2] (cis-1,4-Polyisoprene) ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลพอลิเมอร์ที่มีไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก [3] เป็นอีลาสโตเมอร์ ย่อยสลายได้ และมีความยืดหยุ่นสูง รวมถึงการทนต่อการซึมผ่านน้ำอีกด้วย ซึ่งทำให้ตัวอย่างธรรมชาติเหมาะสมที่ยอดเยียมในการเป็นสารเคลือบบรรจุภัณฑ์ โดยในงานวิจัยจะพิจารณาสารเคลือบผสมที่มีวัสดุจากธรรมชาติเป็นหลัก แล้วทำการศึกษาสมบัติของกระดาษหลังเคลือบ เช่น ศึกษาคุณสมบัติของน้ำบนกระดาษที่ผ่านการเคลือบสารธรรมชาติ รวมถึงความสามารถในการยึดเกาะของสารธรรมชาติกับตัวกระดาษ และศึกษาสมบัติทางกายภาพอื่น เช่น ความต้านแรงดันทะลุและการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ [1], [2]

## 1.2 วัตถุประสงค์

พัฒนาสารเคลือบผิวกระดาษจากธรรมชาติสำหรับบรรจุภัณฑ์ของเหลว

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลของสัดส่วนความเข้มข้นของตัวอย่างธรรมชาติต่อแป้งข้าวโพดต่อแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride,  $\text{CaCl}_2$ ) ต่อสมบัติการซึมผ่านของน้ำ สมบัติทางกล สมบัติทางกายภาพ

1.3.2 ศึกษาผลของความหนาของชั้นเคลือบต่อสมบัติการซึมผ่านของน้ำ

1.3.3 ศึกษาสมบัติของกระดาษหลังการเคลือบ เช่น ความเป็นรูพรุนของกระดาษ มุมสัมผัสของน้ำ ความต้านแรงดันทะลุ การทนต่อการซึมผ่านอากาศ ความสามารถในการยึดเกาะของกระดาษกับสารเคลือบ ความเข้ากันได้ของสารเคลือบกับกระดาษ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

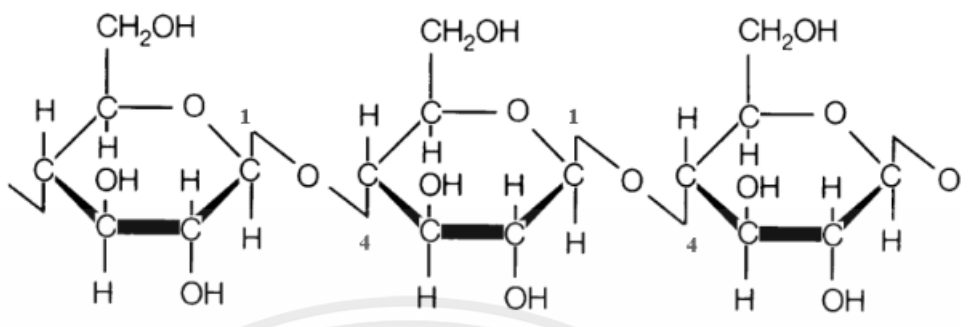
##### 2.1.1 กระดาษ

กระดาษได้จากการนำเส้นใยที่ได้มาจากเยื่อไม้มาทำการบด โดยขั้นตอนการผลิตกระดาษจะนำเส้นใยชนิดเดียวหรือนำมาใส่สารเติมแต่ง (Additive) ชนิดต่างๆลงไปในกระบวนการเพิ่มคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งาน [4]

##### องค์ประกอบของกระดาษที่มีเส้นใย

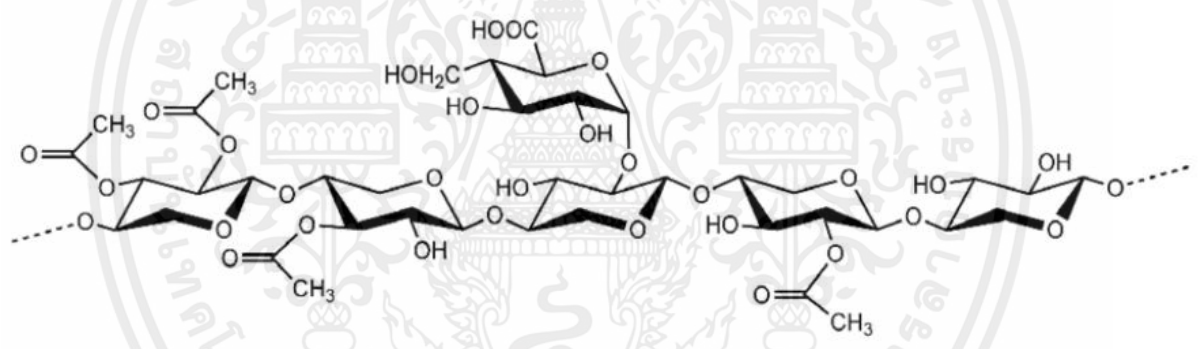
กระดาษถูกนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น บรรจุภัณฑ์อาหาร บรรจุภัณฑ์สำหรับของเหลว บรรจุภัณฑ์สำหรับขนส่ง เป็นต้น ซึ่งตัวกระดาษมีโครงสร้างความเป็นรูพรุนสูงและองค์ประกอบหลักๆของกระดาษ [5] คือ องค์ประกอบที่เป็นเส้นใยและไม่เป็นเส้นใย ซึ่งการยึดติดกันของกระดาษเกิดจากเส้นใยผสมสานกันด้วยความไม่เป็นระเบียบ โดยเส้นใยทั่วไปได้มาจากธรรมชาติ เช่น พืชและสัตว์ โดยโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยประกอบไปด้วย เซลลูโลส (cellulose) มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 1 เป็นคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ที่เกิดจากน้ำตาลกลูโคส (glucose) หลายหน่วยมาเรียงต่อกัน เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2 เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากน้ำตาลกลูโคสต่อกับน้ำตาลโมเลกุลโครงสร้างอื่นๆ เช่น น้ำตาลไซโลส (xylose) เป็นต้น และลิกนิน (lignin) เป็นหลัก ซึ่งในกระบวนการผลิตกระดาษจะสกัดตัวของลิกนินออกไป เนื่องจากเมื่อโดนแสงจะทำให้กระดาษเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เซลลูโลส มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่มาก ทำให้กระดาษมีความชอบน้ำ (hydrophilicity) มาก ทำให้ดูดซับน้ำและน้ำซึมผ่านได้ ทำให้กระดาษสูญเสีย

สมบัติการเป็นบรรจุภัณฑ์ นำไปสู่การเคลือบผิวเพื่อสารเคลือบผิวต่างๆ ที่ช่วยให้กระดาษทนต่อการซึมผ่านน้ำได้ [1]



cellulose (เซลลูโลส)

รูปที่ 2.1 โครงสร้างเซลลูโลส [6]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส [7]

**องค์ประกอบของกระดาษที่ไม่มีเส้นใย**

องค์ประกอบที่ใช้ในการผลิตกระดาษที่ไม่มีเส้นใยจะเป็นการเพิ่มคุณสมบัติของตัวกระดาษ ด้วยสารต่างๆ เช่น สารเติมแต่ง (Additives) สารตัวเติม (Filler) สารยึดติด (Adhesive) สารกันซึม (Sizing agent) และสารเพิ่มความแข็งแรงของผิว (Surface sizing) โดยการเติมเข้าไประหว่างการผลิตกระดาษเพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้เหมาะกับการใช้งาน [5]

**สารยึดติด (Adhesive)** เป็นสารทำให้เส้นใยหรือสิ่งต่างๆภายในกระดาษมีการยึดติดกันที่ดียิ่งขึ้น ช่วยทำให้ผิวหน้าของโครงสร้างกระดาษหลายๆชั้นยึดติดกัน สารที่ใช้ในการเป็น

สารยึดติด เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น และสารยึดติดยังได้มาจากการสังเคราะห์ เช่น สารจำพวกพอลิไวนิล (polyvinyl) เป็นต้น

**สารตัวเติม (Filler)** เป็นสารทำให้กระดาษมีความขาว และมีความเรียบขึ้น ช่วยลดการซึมผ่านของน้ำหมึกได้ และสามารถเพิ่มน้ำหนักของตัวกระดาษ เพื่อลดต้นทุนในการเติมเนื้อเยื่อกระดาษได้ สารที่ใช้ในการเป็นตัวเติม เช่น ปูนขาว ดินเหนียว เป็นต้น

**สารกันซึม (Sizing agent)** เป็นสารที่ใส่ลงไปใต้น้ำเยื่อของกระดาษเพื่อช่วยลดการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในตัวกระดาษ กระดาษที่ใช้สารกันซึมเป็นกระดาษที่ใช้การพิมพ์ด้วยระบบออฟเซต สารกันซึมจะมีทั้งที่ได้จากธรรมชาติและการสังเคราะห์

**สารเพิ่มความแข็งแรงของผิว (Surface sizing)** เป็นสารที่ใช้การเคลือบกระดาษที่ผลิตขึ้นมาเป็นแผ่นแล้ว ทำให้เส้นใยที่อยู่ภายในกระดาษมีการยึดเกาะกับเส้นใยที่อยู่บนชั้นถัดไป และช่วยเพิ่มความแข็งแรงบนผิวของกระดาษทนต่อการขีด การดึงและการฉีก เป็นต้น สารเพิ่มความแข็งแรงของผิว เช่น แป้ง

#### การจัดกลุ่มอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ

โครงสร้างในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษแบ่งได้ 3 ระดับ คือ อุตสาหกรรมกระดาษขั้นต้น อุตสาหกรรมกระดาษชั้นกลาง และอุตสาหกรรมกระดาษชั้นปลาย

**อุตสาหกรรมกระดาษขั้นต้น** เป็นอุตสาหกรรมในการผลิตเยื่อกระดาษ (เยื่อบริสุทธิ์) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตกระดาษให้กับอุตสาหกรรมกระดาษชั้นกลาง

**อุตสาหกรรมกระดาษชั้นกลาง** จะเป็นการผลิตกระดาษในรูปแบบต่างๆที่ได้มาจากอุตสาหกรรมกระดาษขั้นต้นมาผลิตเป็นกระดาษ เช่น กระดาษคราฟท์ (kraft paper) กระดาษพิมพ์เขียน (Printing and Writing paper) เป็นต้น โดยจะนำมาผสมกับเยื่อกระดาษที่ได้มาจากกระดาษรีไซเคิล

**กระดาษคราฟท์ (kraft paper)** เป็นกระดาษที่มีความหยาบ มีสีเฉพาะคือสีน้ำตาลที่เป็นสีตามเนื้อไม้จะไม่ผ่านการฟอกกระดาษ มีคุณสมบัติเหนียวและแข็งแรงกว่ากระดาษประเภทอื่นๆ เป็นกระดาษที่รองรับการกระแทกได้เป็นอย่างดีจากแรงภายนอก มีความเรียบสม่ำเสมอ สามารถรีไซเคิลได้

**กระดาษพิมพ์เขียน** (Printing and Writing paper) เป็นการนำกระดาษที่ผ่านการฟอกขาวแล้ว มาเติมสารเคมีและน้ำให้แตกตัวเป็นเส้นใย น้ำเยื่อจะถูกปล่อยผ่านหัวปล่อย ให้มาผ่านตะแกรงลวดเดินแผ่น เกิดเป็นแผ่นกระดาษ ทำการรีดน้ำออกจากกระดาษ แล้วทำการอบแห้ง จากนั้นนำไปฉาบผิวกระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับตัวกระดาษ นำไปอบอีกครั้งแล้วเข้าสู่กระบวนการตัดผิวให้กระดาษมีความบางลง และมีความเรียบมากขึ้น

**อุตสาหกรรมกระดาษชั้นปลาย** จะเป็นการนำกระดาษในอุตสาหกรรมกระดาษชั้นกลาง เช่น กระดาษกราฟท์ มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องต่างๆ

### 2.1.2 บรรจุภัณฑ์ (Packaging)

เป็นหีบห่อที่ใช้สำหรับบรรจุสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่ดีจะต้องรักษาคุณภาพและป้องกันสินค้า ไม่ให้เกิดความเสียหาย ป้องกันความชื้น ฝุ่นละออง แบคทีเรีย เป็นต้น บรรจุภัณฑ์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ [8]

**บรรจุภัณฑ์เฉพาะหน่วย** เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ห่อหุ้มสินค้าจากภายในโดยตรง เพื่อป้องกันความชื้นในอากาศ ป้องกันคุณภาพสินค้าภายใน ไม่ให้เกิดความเสียหาย ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้ เช่น กล่อง ขวด กระจ่าง เป็นต้น

**บรรจุภัณฑ์ชั้นใน** เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ห่อหุ้มสินค้าป้องกันสินค้าไม่ได้รับแรงกระแทก ป้องกันการความชื้น เป็นการรวมบรรจุภัณฑ์ชั้นแรกเข้าไว้ด้วยกันเป็นบรรจุภัณฑ์เดียว

**บรรจุภัณฑ์ชั้นนอก** เป็นบรรจุภัณฑ์ที่รวมบรรจุภัณฑ์หลายชั้นเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อป้องกันการกระแทกของสินค้า ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้ เช่น ไม้ หีบ กล่องขนาดใหญ่เพื่อบรรจุสินค้าได้จำนวนมาก

### 2.1.3 พอลิเมอร์ (Polymer)

พอลิเมอร์เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ โดย Poly แปลว่ามากและ Meros แปลว่าส่วนหรือหน่วย พอลิเมอร์ประกอบไปด้วยโมเลกุลขนาดเล็กๆ (monomer) มาทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) กัน โดยพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย monomer ชนิดเดียวกันจะเรียกว่า โฮโมพอลิเมอร์ Homopolymer แต่ถ้ามี monomer ต่างกันตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไปจะจัดเป็นโคพอลิเมอร์ (Copolymer) แบ่งชนิดของพอลิเมอร์ตามลักษณะการเกิดได้ดังนี้ [9], [10]

### 2.1.3.1 พอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymers) ที่ใช้เคลือบกระดาษ

พอลิเมอร์สังเคราะห์เป็นสารประกอบที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยมนุษย์ ด้วยวิธีการนำสารมอนอเมอร์จำนวนมากมาทำปฏิกิริยากันภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พอลิเมอร์สังเคราะห์สามารถเกิดได้จากปฏิกิริยาหลายชนิด ซึ่งพอลิเมอร์สังเคราะห์ส่วนใหญ่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียมและพอลิเมอร์สังเคราะห์ยังสามารถแบ่งได้เป็นพอลิเมอร์อินทรีย์หรือพอลิเมอร์อนินทรีย์ พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบจากปิโตรเคมี เช่น polyethylene terephthalate (PET) polypropylene (PP) และ polyethylene (PE) ซึ่งวัสดุพลาสติกสังเคราะห์มีลักษณะไม่ชอบน้ำ จึงเหมาะสำหรับการนำมาเคลือบบรรจุภัณฑ์ [11], [12]

การเคลือบกระดาษด้วย polyethylene (PE) เป็นการเคลือบด้วยพลาสติกชนิดนี้ทำให้บรรจุภัณฑ์มีความเหนียว และยืดหยุ่นสูง ช่วยป้องกันการซึมผ่านหรือการรั่วของน้ำได้ และยังสามารถสัมผัสอาหารได้โดยตรงอย่างปลอดภัย [13]

การเคลือบกระดาษด้วย polypropylene (PP) ส่วนใหญ่นิยมนำมาขึ้นเป็นรูปเป็นฟิล์มพลาสติก เช่น ถุงพลาสติก ทำให้ตัวถุงพลาสติกมีความทนต่อการซึมผ่านของน้ำได้ดี ยืดอายุการเก็บรักษาได้ และยังป้องกันการเปราะเปื้อนของอาหารได้ [14]

### 2.1.3.2 พอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural Polymers) ที่ใช้เคลือบกระดาษ

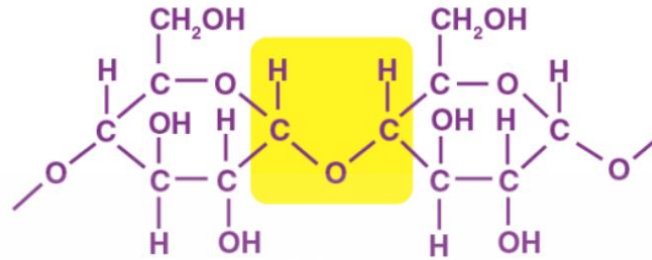
พอลิเมอร์ธรรมชาติเป็นสารประกอบที่สามารถพบได้ตามธรรมชาติ สามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยพอลิเมอร์ธรรมชาตินี้เป็นสิ่งที่สิ่งมีชีวิตสร้างขึ้นโดยอาศัยกระบวนการเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ทำให้พอลิเมอร์ธรรมชาติแตกต่างกันไปตามสิ่งมีชีวิตนั้นๆ พอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน และน้ำยางธรรมชาติ [11], [12]

**พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides)** เป็นกลุ่มคาร์โบไฮเดรตซึ่งในโมเลกุลประกอบไปด้วยโมโนแซ็กคาไรด์ที่เป็นชนิดเดียวกัน (homopolysaccharide) เรียงต่อกัน เช่น แป้ง (starch) เซลลูโลส (cellulose) และไคติน (chitin) เป็นต้น หรือต่างชนิดกัน (heteropolysaccharide) ที่มีโมโนแซ็กคาไรด์มากกว่า 1 ชนิดเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) เช่น ที่สกัดได้จากสาหร่าย เช่น คาร์ราจีแนน (carrageenan) แอลจีเนต (alginate) [15]

**แป้ง (starch)** มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 3 เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบได้

ใน พืช เมล็ดพืชและถั่วเป็นต้น โดยมีน้ำตาลกลูโคสเป็นมอนอเมอร์ที่เชื่อมต่อกันด้วย

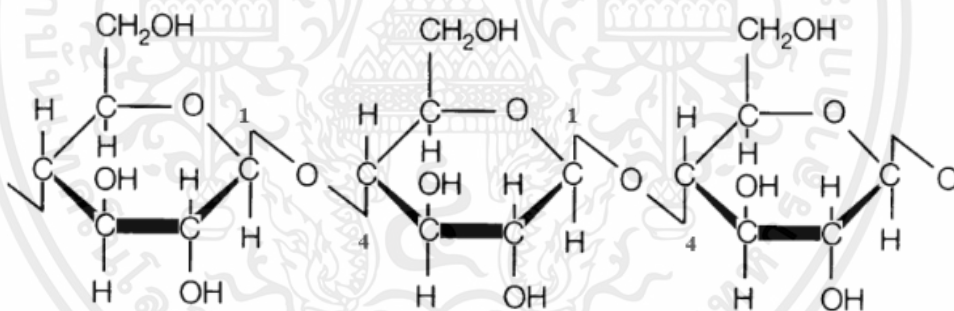
พันธะไกลโคไซด์ ที่ตำแหน่ง  $\alpha$ -1,4 ได้เป็นโครงสร้างแบบอะไมโลส (amylose) และ ส่วนที่ตำแหน่ง  $\alpha$  1,4 และ  $\alpha$  -1,6 ได้เป็นแอมิโลเพกทิน (amylopectin) [16]



Simple starch

รูปที่ 2.3 โครงสร้างแป้ง [17]

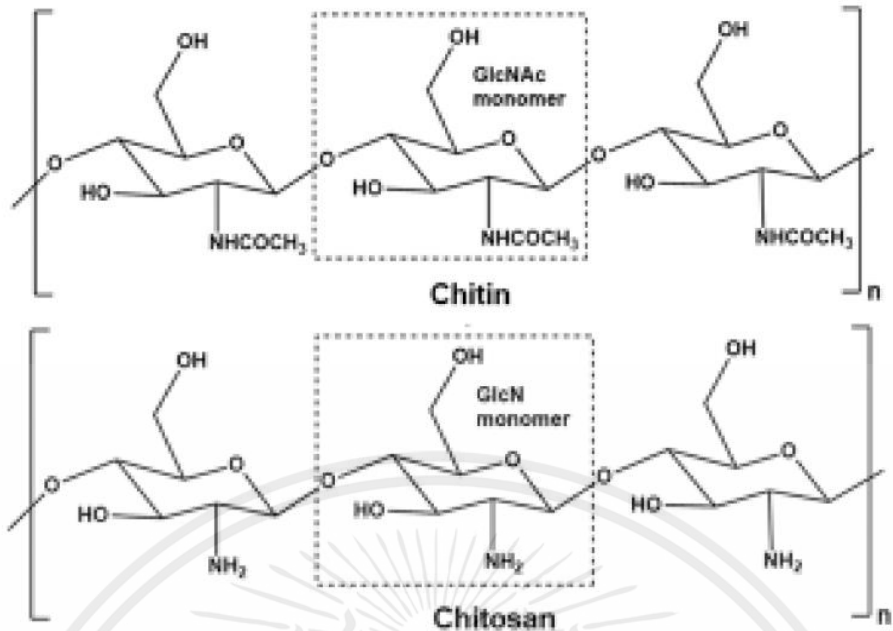
**เซลลูโลส (cellulose)** มีโครงสร้างโมเลกุลตั้งรูปที่ 4 เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีมากที่สุดในประเทศไทย ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคสมาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ที่ตำแหน่ง  $\beta$ -1,4 เป็นสายยาวต่อกันมากกว่า 2000 โมเลกุล [6]



cellulose (เซลลูโลส)

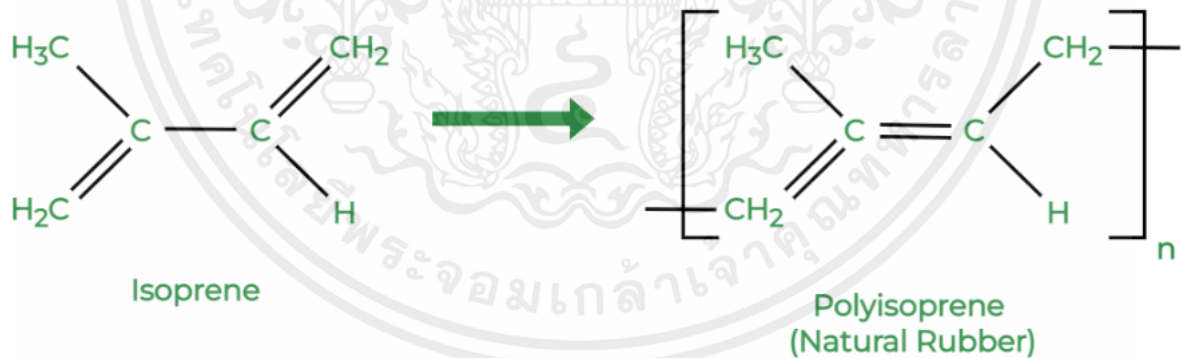
รูปที่ 2.4 โครงสร้างเซลลูโลส [6]

**ไคทิน (chitin)** มีโครงสร้างโมเลกุลตั้งรูปที่ 5 เป็นพอลิแซ็กคาไรด์พบมากในเปลือกหรือกระดองของสัตว์น้ำ เช่น เปลือกกุ้ง กระดองปู กระดองปลาหมึก โมเลกุลของไคทินประกอบด้วยพอลิเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ที่ตำแหน่ง  $\beta$ -1,4 แบบเดียวกับเซลลูโลส แต่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C2 จะถูกแทนที่ด้วยหมู่ acetyl amino(-NHCOCH<sub>3</sub>) ไคทินสามารถสกัดได้เป็นไคโตซาน มีโครงสร้างโมเลกุลตั้งรูปที่ 6 โดยทำปฏิกิริยาดีแอซีไทเลชัน (deacetylation) ด้วยด่าง [18], [19]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างไคตินและไคโตซาน [20]

น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber) ที่ได้มาจากต้นยางธรรมชาติ มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 7 ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลพอลิเมอร์ที่มีไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก โครงสร้างโมเลกุลของน้ำยางธรรมชาติมีลักษณะเป็นไอโซเมอร์ชนิด cis-Isomer (cis-1,4-Polyisoprene) [3]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างยางธรรมชาติ [21]

#### 2.1.4 สมบัติการกั้น (Barrier properties) สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร

สมบัติการกั้นของบรรจุภัณฑ์อาหารในอุตสาหกรรมที่ใช้ในการตรวจสอบสมบัติของตัวบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ การส่งผ่านไอน้ำในเวลาที่กำหนดโดยการวัดอัตราการส่งผ่านไอน้ำหรือความชื้น Water vapor transmission rate (WVTR or MVTR) การกั้นน้ำ การดูดซับน้ำวัดได้จากการ Cobb test ความต้านทานต่อน้ำมันและจาระบีวัดได้จากการ Kit test [22], [23]

อัตราการส่งผ่านไอน้ำหรือความชื้น ใช้มาตรฐานสำหรับการวัดกำหนดโดย ASTM International และ TAPPI มีหน่วยเป็น grams/100 in<sup>2</sup>/day หรือ grams/m<sup>2</sup>/day โดยอัตราการส่งผ่านไอน้ำยิ่งต่ำมากเท่าไร ยิ่งมีสมบัติการกั้นที่ดีขึ้นเท่านั้น ซึ่งการเคลือบกระดาษ สูตรที่เหมาะสมของ WVTR or MVTR คือ < 10 grams/100 in<sup>2</sup>/day or < 150 grams/m<sup>2</sup>/day

$$WVTR = \frac{\Delta G}{t \cdot A} \quad (1)$$

t = เวลา (ชม.)

A = พื้นที่หน้าตัดของปากถ้วย (ตารางเมตร)

ΔG = ผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลัง (กรัม)

การกั้นน้ำหรือการดูดซับน้ำ ใช้การ Cobb test การทดสอบดำเนินการตามวิธีทดสอบ ISO 535 เพื่อดูปริมาณน้ำที่ตัวกระดาษถูกดูดซับจากการสัมผัสของน้ำต่อพื้นที่กระดาษในเวลาที่กำหนด หน่วยของค่า Cobb แสดงในรูป grams/m<sup>2</sup> ยิ่งค่า Cobb ต่ำ ตัวกระดาษก็จะยิ่งทนทานต่อการกั้นน้ำ ซึ่งค่า Cobb ที่เหมาะสมคือ <1 grams/m<sup>2</sup>

$$Cobb \text{ value} \left( \frac{\text{กรัม}}{\text{ตารางเมตร}} \right) = \frac{(m_2 - m_1)}{\text{Area} (\text{ตารางเซนติเมตร})} \times 10000 \quad (2)$$

m<sub>1</sub> = น้ำหนักสารตัวอย่างของสารหลังการเคลือบ

m<sub>2</sub> = น้ำหนักสารตัวอย่างของสารหลังการเคลือบ

Area = พื้นที่ของกระดาษเคลือบ

ความต้านทานต่อน้ำมันและจาระบี วัดได้จากการ Kit test การทดสอบดำเนินการตามวิธีทดสอบ TAPPI T559 โดยจะมีการให้คะแนนเป็นตัวเลขตั้งแต่ 0-12 (0 คือมีความรุนแรงน้อยไปยัง 12 ที่มีความรุนแรงมาก) [24]

## 2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fei-jie Wang [1] และคณะได้นำเซลลูโลสมาทำการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันโดยการเติมหมู่ -COOH เข้าไปในตัวของเซลลูโลสทำให้เป็น Carboxymethyl cellulose (CMC) ที่มีสมบัติการขึ้นรูปฟิล์มที่ดี เมื่อนำมาเคลือบกระดาษพบว่าสมบัติการกั้นน้ำมันและอากาศดีขึ้น และช่วยเพิ่มสมบัติทางกลให้กับตัวกระดาษให้มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น และทางคณะได้นำไคโตซานมาเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันโดยการเติมหมู่ -COOH เข้าไปในหมู่ -NH ของไคโตซานได้เป็น Carboxymethyl chitosan (CMCS) เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านแบคทีเรีย พบว่า มีสมบัติการกั้นแบคทีเรียที่ดีขึ้น โดยตัวของ CMCS ยังมีสมบัติการขึ้นฟิล์มที่ดี นอกจากนี้ยังพบว่าถ้านำ Polylactic acid (PLA) มาเคลือบกระดาษจะช่วยเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของน้ำได้ โดยทางคณะใช้การเคลือบที่ละชั้นบนกระดาษ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกั้นของกระดาษ ซึ่งผลที่ทางคณะได้ทำการวิเคราะห์ออกมาในด้านการทนต่อการซึมผ่านของน้ำยังต้องได้รับการแก้ไข เนื่องจาก PLA นั้นเป็นความจริงที่ว่าสามารถช่วยในเรื่องกั้นน้ำได้แต่ได้แค่ในระดับหนึ่ง แต่ต้องเพิ่มความหยาบของพื้นผิวกระดาษเพื่อเพิ่มความไม่ชอบน้ำ

Azin Adibi [2] และคณะ ได้นำตัวของยางธรรมชาติที่มีความสามารถในการทนการซึมผ่านของน้ำได้ดีมาใช้กับ  $\alpha$ -1,3 glucan ซึ่งเป็น Polysaccharide ชนิดหนึ่งคือตัวที่ได้มาจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของกลูโคส โดยใช้ตัวเร่งด้วยเอนไซม์ทำให้ได้ตัวของ Microcrystalline  $\alpha$ -1,3 Glucan (MCG) มาช่วยในเรื่องของการทนต่อการซึมผ่านของออกซิเจนและน้ำมัน โดยแบ่งอัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อ MCG ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ผลวิเคราะห์ที่ดี ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกั้นของตัวบรรจุภัณฑ์ แต่นำมาใช้ค่อนข้างยาก เนื่องจาก MCG เตรียมยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง

Yunqing He [25] และคณะ ได้นำ Carboxymethyl cellulose (CMC) มาใช้ในการเคลือบกระดาษ เนื่องจากสามารถทนต่อการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนได้ดี และการขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่ดี แต่ CMC นั้นมีความชอบน้ำสูง ทำให้ทางผู้วิจัยได้นำตัวของนาโนเซลลูโลสผสมลงใน matrix ของ CMC เพื่อพัฒนาคอมโพสิต CMC/nanofillers เพราะ nanofillers กระจายตัวใน matrix CMC ทำให้เกิดเส้นทางขดเคี้ยวในพอลิเมอร์ ส่งผลให้ออน้ำผ่านได้ช้าลง nanofillers ที่นิยมนำมาใช้ คือ cellulose nanocrystals (CNC) และบรรจุภัณฑ์ควรสามารถต้านเชื้อแบคทีเรีย ทางผู้วิจัยจึงนำอนุภาคของโลหะเงินนาโน (silver nanoparticles, AgNPs) เพราะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ และสามารถดูดซับและสลายเอทิลีนที่เกิดขึ้นระหว่างการสุกของผักและผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารสด แต่ AgNPs มีข้อจำกัดในการใช้งาน ความเป็นพิษของ AgNPs ส่งผลเสียต่อร่างกายและรวมตัวกันได้ง่าย เนื่องจากพลังงานพื้นผิวที่สูงขึ้น ทำให้การต้านเชื้อแบคทีเรียลดลง โดยตัวของ CNC ช่วยสังเคราะห์ AgNPs เพราะมีพื้นที่ผิวจำเพาะและหมู่ไฮดรอกซิลสูงจำนวนมาก ทำให้เกิดการ

กระจายตัวได้ดีบนพื้นที่ผิวของ CNC จากที่กล่าวไปข้างต้นตัวของ CMC/CNC@AgNPs ไม่ได้ช่วยทำให้ทนต่อการซึมผ่านน้ำได้ดีขนาดที่เหมาะสม และต้องมีการใช้ AgNPs อย่างระมัดระวัง

Ruifeng Zhu [26] และคณะ ได้นำของ Collagen fibers มาใช้ในการเคลือบกระดาษ เพราะมีการทนต่อการซึมผ่านของน้ำมันได้ดี และทางคณะนำตัวของ Carboxymethyl cellulose (CMC) มาใช้ในการเคลือบซึ่งทั้งสองชนิดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทนซึมผ่านของน้ำมันได้ดี และทางผู้วิจัยได้มีการดัดแปลง polyvinyl alcohol (PVA) โดยใช้ sodium tetraborate decahydrate ซึ่งทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ใน PVA ทำให้ได้ modified polyvinyl alcohol (MPVA) ทำให้ตัวของ MPVA สามารถทนต่อการซึมผ่านน้ำได้และก่อรูปเป็นฟิล์มได้ดีขึ้น ใช้การเคลือบแบบลูกกลิ้ง ซึ่ง Collagen fiber ในปัจจุบันค่อนข้างมีราคาที่สูงและการใช้ PVA ที่มีกระบวนการดัดแปลงและเตรียมค่อนข้างยาก

Dongyang Liu [27] และคณะ ได้นำขี้ผึ้งมาใช้ในการเคลือบกระดาษ เพราะมีการทนต่อการซึมผ่านน้ำได้ดี ซึ่งนำขี้ผึ้งมาทำให้ให้เป็น microcrystalline wax โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ ทำให้เป็นอิมัลชันด้วยวิธีการกวนเชิงกล และใช้แรงดันสูง เกิดเป็นอิมัลชัน microcrystalline wax ที่เสถียร ใช้การเคลือบด้วยมือ การเตรียมขี้ผึ้งนั้นทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูงต่อการทำการทดลอง

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาสารเคลือบผิวกระดาษจากสารธรรมชาติ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่างๆ ให้กระดาษ โดยศึกษาผลของยาง NR SPNR แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride,  $\text{CaCl}_2$ ) และแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS) ต่อมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle measurement) สมบัติความต้านแรงดันทะลุ (Bursting strength) การซึมผ่านของอากาศ (Air permeability) และความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบกับกระดาษ (Adhesion test)

#### 3.1 วัสดุและสารเคมี

1. น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex (NRL), 60%DRC (High ammonia), ยี่ห้อ THAITEX)
2. น้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (Sulfur-pretreated natural rubber latex (SPNR), 60%DRC, บริษัท Chemical and materials company limited)
3. แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride,  $\text{CaCl}_2$ , เกรด AR, ยี่ห้อ KEMAUS)
4. แป้งข้าวโพด (Corn starch (CS), ยี่ห้อ เจริญทองคูล)
5. น้ำปราศจากไอออน (DI water)
6. เอทานอล (Ethanol)
7. กระดาษคราฟท์ (Kraft paper)

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. แอร์บรัชปากกาพ่นสี (Airbrush), ยี่ห้อ HD-130
2. ปัมลม (Airbrush compressor, pressure)
3. แท่นตัดกระดาษ (Paper cutting plate)
4. พู่กัน (Paintbrush)
5. ปีกเกอร์ (Beaker)
6. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
7. เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กแบบควบคุมอุณหภูมิ (Temperature-controlled hotplate stirrer)
8. เทปกระดาษ (Masking tape)
9. กระบอกตวง (Cylinder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ถาดสแตนเลส (Stainless steel tray)
11. ช้อนตักสารเคมีสแตนเลส (Stainless spatula)
12. หลอดหยดพลาสติก (Dropper)
13. กระบอกฉีดยา (Syringe)
14. ตู้อบ (Oven)
15. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Analytical balance)
16. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
17. ขวดเก็บสารเคมี (Reagent bottle)
18. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
19. แผ่นพลาสติกใส (Plastic sheet)
20. พาราฟิล์ม (Parafilm)

### 3.3 การปรับสภาพกระดาษกราฟด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

1. ทำการตัดกระดาษกราฟที่ขนาด 15\*15 เซนติเมตร นำกระดาษที่ตัดได้มาติดเทปบริเวณขอบกระดาษนาบบนบนแผ่นพลาสติกใส
2. ทำการเตรียมแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลาร์ โดยผสมแคลเซียมคลอไรด์ 14.7 กรัมและเติมน้ำปราศจากไอออนให้ครบ 100 มล. ในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. คนสารให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 5 นาที รอให้เย็นตัวลง ก่อนใช้งาน
3. เตรียมแอร์บรัชปากกาฟอสไฟและปั๊มลม โดยใช้กระบอกฉีดยาดูดสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2 มล. ต่อการพ่นกระดาษ 1 แผ่นใส่ลงไปในช่องใส่สารของแอร์บรัช ก่อนทำการพ่นลงบนกระดาษ โดยให้แอร์บรัชทำมุม 45 องศาทำการฉีดจากซ้ายไปขวาและลากลงจากขวาไปซ้ายทำซ้ำจนสิ้นสุดกระดาษ
4. นำกระดาษที่พ่นได้ในข้อที่ 3 ใส่ในถาดสแตนเลสแล้วติดเทปโดยรอบและให้กระดาษมีความตึงที่สุด
5. ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาเก็บในกล่องที่บรรจุสารดูดความชื้น

### 3.4 การเคลือบกระดาษกราฟด้วยน้ำยางธรรมชาติ (NRL) และน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNR)

1. เตรียม NRL และ SPNR ที่ความเข้มข้นเนื้อยางต่าง (6, 12, 18 และ 24 %DRC) โดยใช้ น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลาย ทำการชั่งน้ำยางหนัก 2, 4, 6 และ 8 กรัม ลงไปในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. ตามลำดับด้วยหลอดหยดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เติมน้ำปราศจากไอออนลงไปในแต่ละบีกเกอร์จนน้ำหนัก 20 กรัม และทำการปั่นกวนสารละลายด้วยความเร็วรอบที่ 400 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปพ่น
3. ทำการติดกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ด้วยเทปบริเวณขอบกระดาษไว้กับแผ่นพลาสติกใส
4. เตรียมแอร์บรัชปากกาพ่นสีและปั๊มลม
5. ใช้กระบอกฉีดยาตูดน้ำยางที่มีความเข้มข้นที่ต้องการ 2 มล. ต่อการพ่นกระดาษ 1 แผ่นใส่ลงไปในช่องใส่สารของแอร์บรัช ทำการพ่นลงบนกระดาษ โดยจับแอร์บรัชทำมุม 45 องศาทำการฉีดจากซ้ายไปขวาและลากลงจากขวาไปซ้ายทำซ้ำจนสิ้นสุดกระดาษ (เมื่อพ่นเสร็จแต่ละแผ่นทำความสะอาดแอร์บรัชก่อนทุกครั้ง ด้วยน้ำปราศจากไอออนและเอทานอล)
6. นำกระดาษที่พ่นได้ในข้อที่ 5 มาติดบนถาดสแตนเลสให้เทปกั้นกระดาษมีความตึงที่สุด ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาเก็บในกล่องที่บรรจุสารดูดความชื้น
7. ทำซ้ำตั้งแต่ ข้อ 5-6 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นและประเภทของน้ำยาง

### 3.5 การเคลือบกระดาษกราฟท์ด้วยน้ำยางธรรมชาติ (NRL) และน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNR) ผสมกับแป้งข้าวโพด

1. เตรียม NRL และ SPNR ที่ความเข้มข้นเนื้อยางต่าง (6, 12, 18 และ 24 %DRC) โดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลาย ทำการชั่งน้ำยางหนัก 2, 4, 6 และ 8 กรัม ลงไปในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. ตามลำดับด้วยหลอดหยดพลาสติก
2. เติมน้ำปราศจากไอออนลงไปในแต่ละบีกเกอร์จนน้ำหนัก 20 กรัม และทำการปั่นกวนสารละลายด้วยความเร็วรอบที่ 400 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 10 นาที
3. เตรียมสารละลายแป้งข้าวโพด (5%w/w) โดยชั่งแป้งจำนวน 1 กรัม ในขวดลูกชมฟู่ จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปขวดลูกชมฟู่อย่างละ 17, 15, 13 และ 11 กรัม สำหรับผสมกับน้ำยางเข้มข้น 6, 12, 18 และ 24%DRC ตามลำดับ ทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบที่ 400 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที และนำออกมาพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง
4. จากนั้นนำที่เตรียมได้ในข้อที่ 3 มาใส่ลงไปในบีกเกอร์ที่เตรียมวางไว้ในข้อที่ 2 ตามลำดับ
5. ทำการกวนต่อที่อุณหภูมิห้องที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปพ่น
6. ทำการติดกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ด้วยเทปบริเวณขอบกระดาษไว้กับแผ่นพลาสติกใส
7. เตรียมแอร์บรัชปากกาพ่นสีและปั๊มลม

8. ใช้กระบอกฉีดยาตุน้ำยาที่ผสมกับแป้งข้าวโพดที่มีความเข้มข้นที่ต้องการ 2 มล. ต่อการพ่นกระดาษ 1 แผ่นใส่ลงไปในห้องใส่สารของแอร์บริช ทำการพ่นลงบนกระดาษ โดยจับแอร์บริชทำมุม 45 องศา ทำการฉีดจากซ้ายไปขวาและลากลงจากขวาไปซ้ายทำซ้ำจนสิ้นสุดกระดาษ (เมื่อพ่นเสร็จแต่ละแผ่น ทำความสะอาดแอร์บริชก่อนทุกครั้ง ด้วยน้ำปราศจากไอออน เอทานอลและฟู่กัน)
9. นำกระดาษที่พ่นได้ในข้อที่ 7 มาติดบนกระดาษเคลือบให้เทปกกับกระดาษมีความตึงที่สุด ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาเก็บในกล่องที่บรรจุสารดูดความชื้น
10. ทำซ้ำตั้งแต่ ข้อ 8-9 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นและประเภทของน้ำยาที่ผสมกับแป้งข้าวโพด

### 3.6 ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระดาษหลังเคลือบ

กระดาษที่ผ่านการเคลือบผิวถูกวิเคราะห์สมบัติต่างๆ เช่น มุมสัมผัสของน้ำ ความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบกระดาษ ความต้านแรงดันทะลุ และการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ

#### 3.6.1 การวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle measurement)

ทำการวัดมุมสัมผัสของน้ำโดยการใช้การหยดน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 1  $\mu\text{L}$  หยดลงบนกระดาษ ระหว่างการหยด ถ่ายรูปด้านข้างให้เห็นมุมสัมผัสของน้ำบนผิวของกระดาษตามเวลาที่กำหนด เช่น 0, 60 และ 120 วินาที เป็นต้น รูปหยดน้ำที่ได้ทำการวัดมุมสัมผัสในโปรแกรม Cast3



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ

#### 3.6.2 วิเคราะห์ความต้านทานของการยึดเกาะ (Adhesion strength analysis)

ใช้ทดสอบแรงเฉือน เพื่อศึกษาความต้านทานของการยึดเกาะระหว่างตัวสารเคลือบกับกระดาษโดยใช้อุปกรณ์ ตามมาตรฐาน ASTM D3359 โดยการทดสอบการยึดติดหลังจากกระบวนการเคลือบจะทำการวัดความแข็งแรงของพันธะระหว่างสารตั้งต้นและสารเคลือบผิวหรือระหว่างชั้นเคลือบที่แตกต่างกันหรือความแข็งแรงที่ยึดเกาะของพื้นผิวบางชนิด วิธีทดสอบการยึดเกาะของสีโดย

ใช้ใบมีดหรือ cutter กรีดลงบนชิ้นงาน เป็นตาราง 10x10 ช่อง แต่ละช่องห่างกัน 1 mm กรีดไว้ด้วยกัน แล้วใช้เทปกาวใสแปะ กัด รีด แล้วดึงกระดาษเข้าหาตัว ทำมุม 45 องศา

### 3.6.3 วิเคราะห์ความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength analysis)

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 2759:2014 โดยทดสอบความสามารถของกระดาษหรือแผ่นกระดาษลูกฟูกที่จะต้านแรงดันที่กระทำบนแผ่นทดสอบด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนทำให้แผ่นทดสอบนั้นขาดภายใต้สภาวะที่กำหนด มีหน่วยเป็น กิโลปาสกาล (kPa) หรือกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (kgf/cm<sup>2</sup>) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานแรงดันทะลุจะขึ้นอยู่กับ ชนิด สัตส่วน การเตรียมเส้นใยและปริมาณเส้นใยรวมทั้งสารในแผ่นกระดาษ มีความสัมพันธ์กับความต้านแรงดึงขาดและความต้านแรงฉีกขาดและจะขึ้นอยู่กับความเหนียว หรือคุณภาพของ กระดาษที่ใช้ทำผิวกล่องและสัมพันธ์โดยตรงกับการใช้งาน



รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ

### 3.6.4 การวิเคราะห์การทนต่อการซึมผ่านของอากาศ (Air permeability analysis)

ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทนต่อการซึมผ่านของอากาศของกระดาษเคลือบตามมาตรฐาน ISO 5636-5:2013 ในการพิจารณาการซึมผ่านของอากาศของกระดาษและกระดาษโดยใช้เครื่องมือ Gurley ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบความต้านทานอากาศ โดยจะทำการให้อากาศถูกบีบอัดด้วยน้ำหนักของทรงกระบอกแนวตั้งที่ลอยอยู่ในช่องเหลว ชั้นทดสอบสัมผัสกับอากาศอัดและกระบอกสูบจะลดระดับลงเรื่อยๆ เมื่ออากาศผ่านชั้นทดสอบ เวลาที่ใช้สำหรับปริมาตรอากาศที่กำหนดเพื่อผ่านชั้นทดสอบ เช่น แรงต้านอากาศ จะถูกวัดและคำนวณการซึมผ่านของอากาศจากที่นั่น ทำการตัดชิ้นทดสอบอย่างน้อย 10 ชิ้นและระบุทั้งสองด้าน เช่น ด้าน 1 และด้าน 2 พื้นที่ทดสอบควรปราศจากรอย

พื้บ รอยย่น รุ่ ลายน้้า หรือข้อบกพร่องที่ไม่เฉพาะเจาะจงกับชิ้นงานทดสอบ อย่าสัมผัสส่วนของชิ้นทดสอบที่จะเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ทดสอบ ขนาดชิ้นทดสอบที่เพียงพอคือ 100 มม. x 100 มม.



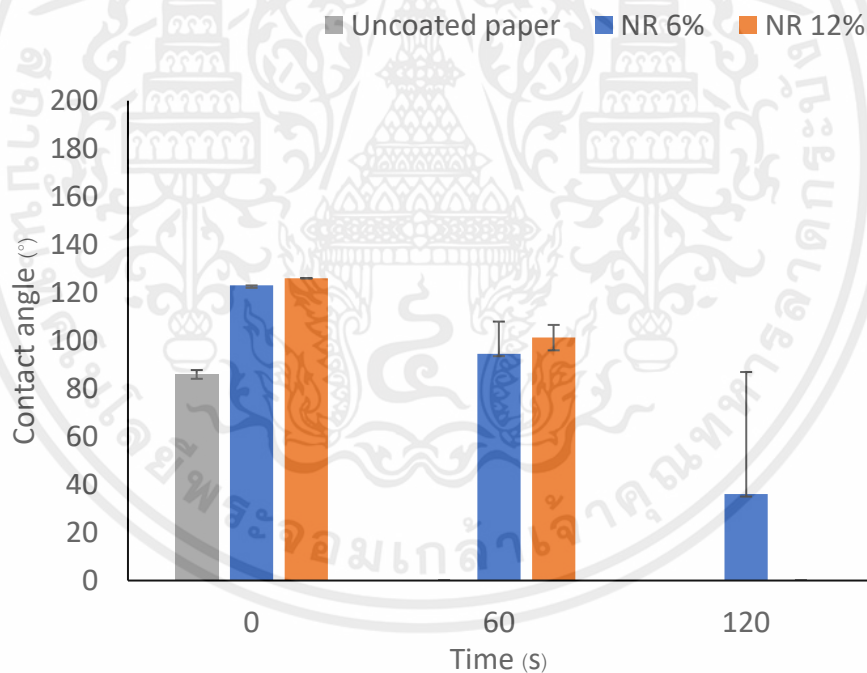
รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบการซึมผ่านของอากาศ

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ต่อมุมสัมผัสของน้ำ

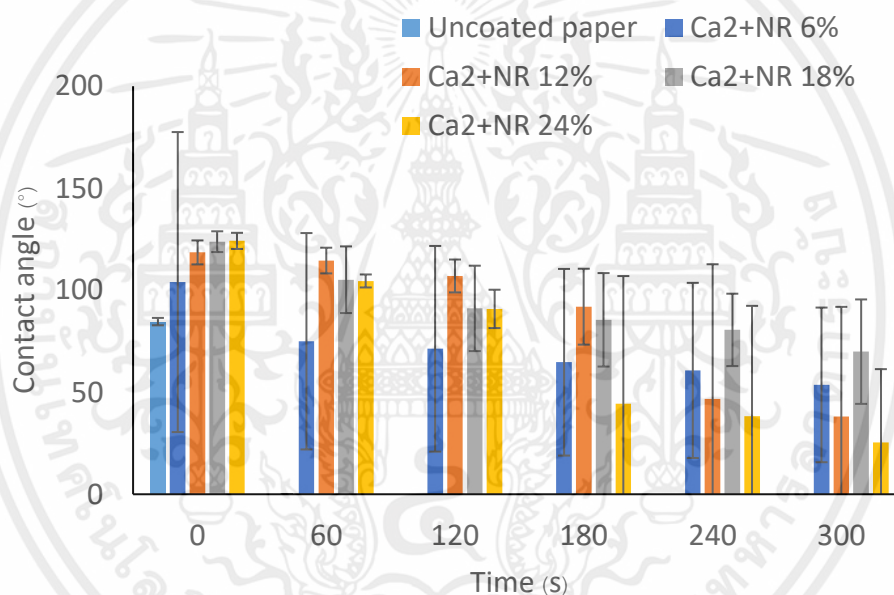
รูปที่ 4.1 แสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำที่วัดจากการเคลือบกระดาษที่เคลือบด้วยสารที่มีน้ำยางความเข้มข้น 6 และ 12% ตามลำดับ พบว่าตัวกระดาษหลังเคลือบด้วย NRL เพียงอย่างเดียว ให้มุมสัมผัสของน้ำกับกระดาษและระยะเวลาของมุมสัมผัสของกระดาษน้อยลง จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปมุมสัมผัสของน้ำลดลงจนเกือบจะเป็น  $0^\circ$  อาจเกิดจากปริมาณ NRL น้อยเกินไปหรือ NRL กับตัวกระดาษที่มีความเป็น + หรือ - ไม่มีการยึดเกาะกัน ทำให้อาจจะไม่มีค่ามุมสัมผัสของ NRL กับกระดาษ เพื่อเพิ่มการยึดเกาะจึงปรับสภาพผิวกระดาษโดยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride,  $\text{CaCl}_2$ ) ซึ่งเป็นสารที่ใช้ตกตะกอนยางธรรมชาติได้ ให้เข้ามามีบทบาทในการเป็นตัวเชื่อมกันระหว่างตัว NRL กับกระดาษ



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle ( $^\circ$ )) กับเวลา (Time, s) ที่แต่ละความเข้มข้นของยางธรรมชาติ (NRL)

#### 4.2 ผลของการปรับสภาพผิวกระดาษด้วย $\text{CaCl}_2$ ต่อมุมสัมผัสของน้ำบนชั้นเคลือบผิวกระดาษจาก NRL และ SPNRL

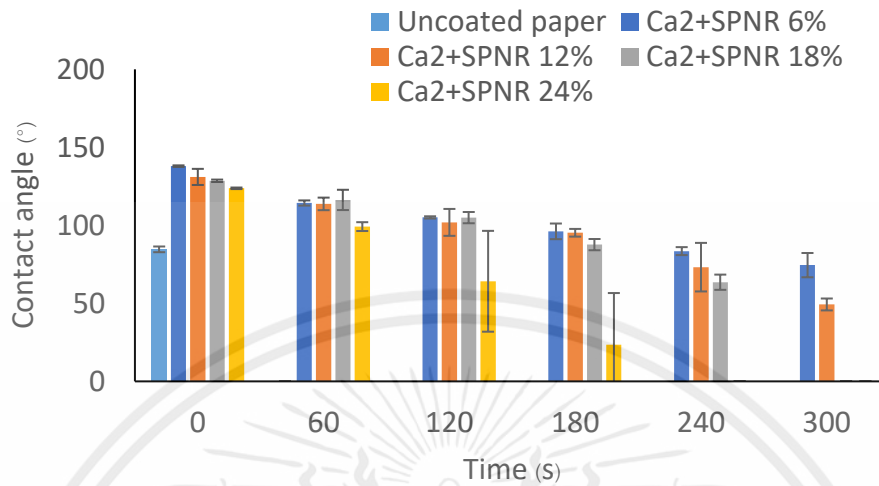
การทดสอบการวัดมุมสัมผัสของน้ำโดยเปรียบเทียบตัวอย่างที่เคลือบด้วย  $\text{CaCl}_2$  กับ NRL ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่  $\text{Ca}^{2+}$ +NR 6%,  $\text{Ca}^{2+}$ +NR 12%,  $\text{Ca}^{2+}$ +NR 18% และ  $\text{Ca}^{2+}$ +NR 24% จากรูปที่ 4.2 จะพบว่าการเคลือบผิวกระดาษด้วยยาง NRL แต่ละความเข้มข้นทำให้ผิวของกระดาษมีความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สูงขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่าง NRL จะช่วยเพิ่มมุมสัมผัสของน้ำเฉลี่ยของหยดน้ำบนกระดาษเคลือบ และมุมสัมผัสของน้ำจะค่อยๆ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญไปตามเวลา ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่าง NRL ทำให้ตัวหยดน้ำสามารถอยู่ได้นานขึ้น ถ้าดูจากกราฟจะเห็นได้ว่าอยู่ได้มากกว่า 300 วินาที ถึงแม้ว่าตัวกระดาษจะค่อยๆ ลดของมุมสัมผัสของน้ำ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle (°)) กับเวลา (Time, s) ที่แต่ละความเข้มข้นของยางธรรมชาติ (NRL)

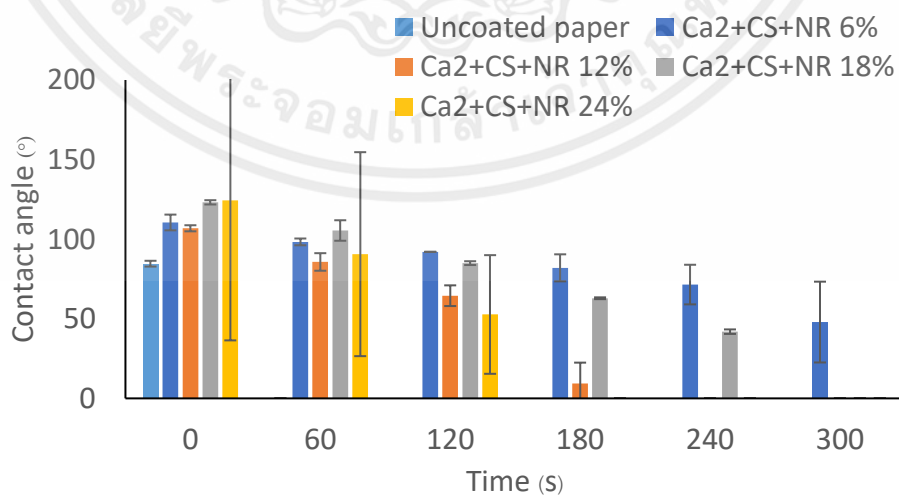
เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่เคลือบด้วย  $\text{CaCl}_2$  กับน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 6%,  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 12%,  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 18% และ  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 24% จากรูปที่ 4.3 พบว่าการเคลือบผิวกระดาษด้วยยาง SPNRL แต่ละความเข้มข้นทำให้ผิวของกระดาษมีความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สูงขึ้น แต่จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่าง SPNRL นั้นไม่ได้ทำให้มุมสัมผัสของน้ำสูงกว่าความเข้มข้นย่ำต่ำ ( $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 6%) อาจจะเป็นเนื่องจากการกระจายตัวของตัวอย่าง SPNRL ที่ไม่สม่ำเสมอ หรือเป็นผลจากส่วนประกอบที่ใช้ในการพรีวัลคาไนซ์ย่ำ คือ ZnO ที่ส่งผลต่อความชอบน้ำของผิวกระดาษ แต่ก็ยังมีมุมสัมผัสที่สูง (hydrophobic) จากนั้นมุมสัมผัสจะค่อยๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 20

ลดลงซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าตัวที่มีความเข้มข้นยาง SPNRL สูง มุมสัมผัสกับน้ำจะลดลงจนไม่สามารถวัดค่าได้เร็วกว่าตัวอื่นๆ อย่างที่กล่าวไปในข้างต้นอาจจะมีผลมาจากการกระจายตัวของยาง SPNRL



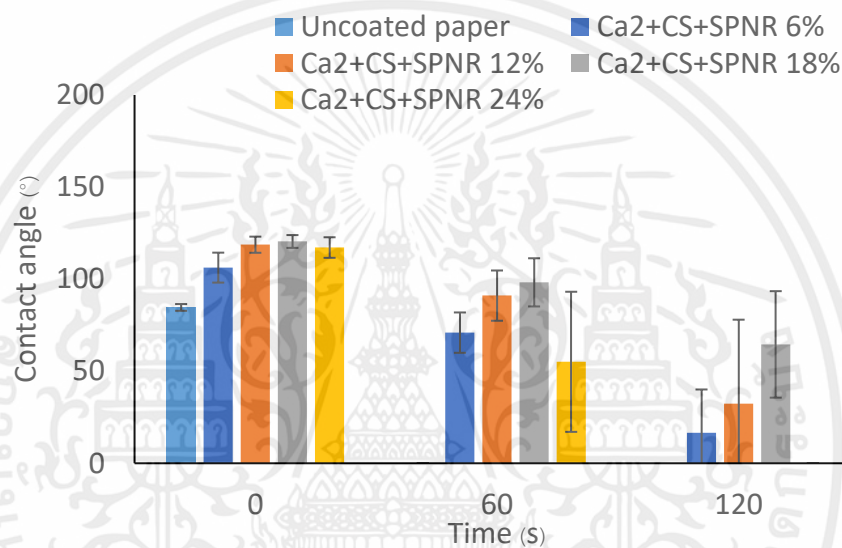
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle (°)) กับเวลา (Time, s) ที่แต่ละความเข้มข้นของยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL)

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่เคลือบด้วย CaCl<sub>2</sub> กับ (NRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ Ca<sup>2+</sup>+NR+CS 6%, Ca<sup>2+</sup>+NR+CS 12%, Ca<sup>2+</sup>+NR+CS 18% และ Ca<sup>2+</sup>+NR+CS 24% จากรูปที่ 4.4 พบว่าความเข้มข้นของ NRL เพิ่มขึ้น จะทำให้มุมสัมผัสของน้ำสูงขึ้น แต่การผสม CS กับตัวอย่าง NRL ส่งผลทำให้กระดาษมีความชอบน้ำ (Hydrophilic) เพิ่มขึ้น จากแป้งข้าวโพดทำให้มุมสัมผัสของน้ำน้อยอยู่ได้ไม่นานเท่ากับตัวที่มีเพียงยาง NRL



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle (°)) กับเวลา (Time, s) ที่แต่ละความเข้มข้นของยางธรรมชาติ (NRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS)

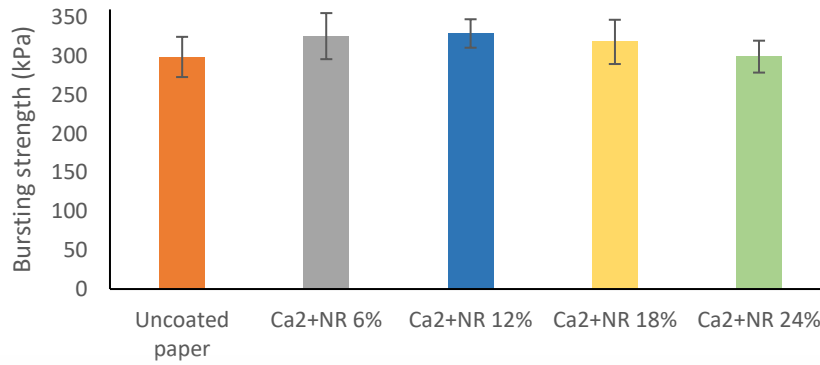
เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่เคลือบด้วย  $\text{CaCl}_2$  กับ SPNRL ผสมกับ CS ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR+CS 6%,  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR+CS 12%,  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR+CS 18% และ  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR+CS 24% จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่าง SPNRL จะทำให้มุมสัมผัสของน้ำสูงขึ้น แต่เมื่อดูจากกราฟจะเห็นว่าเมื่อทำการผสม CS กับยาง SPNRL:ทำให้มุมสัมผัสของน้ำลดลงอย่างรวดเร็วและอยู่ได้ไม่นาน อาจจะเป็นเนื่องจากแป้งข้าวโพดที่มีความชอบน้ำ (Hydrophilic) รวมกับความไม่เข้ากันระหว่างแป้งข้าวโพดกับตัวอย่าง SPNRL ส่งผลทำให้มุมสัมผัสของน้ำลดลง แต่เมื่อเทียบกับ  $\text{Ca}^{2+}$ +NR+CS แล้วมีมุมสัมผัสที่ต่ำกว่าและระยะเวลาในที่มีมุมสัมผัสคงตัวอยู่ต่ำกว่า



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle (°)) กับเวลา (Time, s) ที่แต่ละความเข้มข้นของยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS)

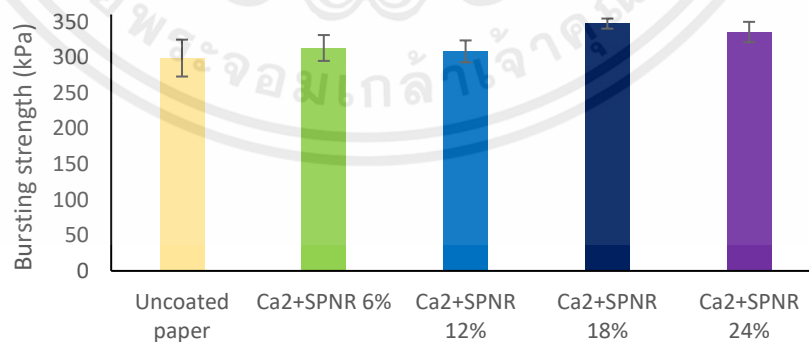
#### 4.3 การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength test)

การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength test) อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 2759 : 2014 ของสารเคลือบผิวกระดาษ ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ  $27 \pm 1$  องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 2$  โดยเปรียบเทียบตัวอย่างที่เคลือบด้วย  $\text{CaCl}_2$  กับ NRL ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่  $\text{Ca}^{2+}$ +NR 6%,  $\text{Ca}^{2+}$ +NR 12%,  $\text{Ca}^{2+}$ +NR 18% และ  $\text{Ca}^{2+}$ +NR 24% จากรูปที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) กับความต้านทานแรงดันทะลุ Bursting strength (kPa) จะเห็นได้เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติเพิ่มสูงขึ้น ( $\text{Ca}^{2+}$ +NR 12 %) ส่งผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุสูงขึ้นก่อนที่จะค่อยๆ ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากตัวเนื้อเยื่อที่มีความเข้มข้นสูงจนเกินไปอาจจะไปเกาะกับตัว  $\text{CaCl}_2$  เยอะมากกว่าที่จะเกาะกับกระดาษทำให้ความต้านทานแรงดันทะลุต่ำลง



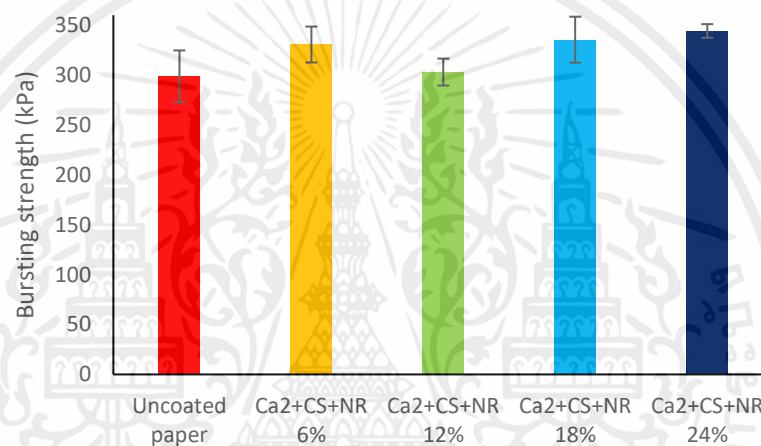
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) กับความต้านแรงดันทะลุ Bursting strength (kPa)

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดันทะลุของตัวอย่างที่เคลือบด้วย  $\text{CaCl}_2$  กับ SPNRL ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 6%,  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 12%,  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 18% และ  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 24% ดังรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ SPNRL เพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้ค่าความต้านแรงดันทะลุสูงขึ้น แต่เมื่อถึงความเข้มข้นของ SPNRL ณ จุด ๆ หนึ่ง ( $\text{Ca}^{2+}$ +NR 18 %) ค่าความต้านแรงดันทะลุจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจจะเกิดจากความเข้มข้นของตัวอย่าง SPNRL ที่สูงขึ้น ภายในองค์ประกอบของตัว SPNRL อาจมีบางตัวมีความไม่เข้ากับตัว  $\text{CaCl}_2$  หรือเข้ากับตัวกระดาษ ส่งผลทำให้ค่าความต้านแรงดันทะลุลดต่ำลง ซึ่งจะเห็นได้ว่า SPNRL จะมีค่าความต้านแรงดันทะลุสูงกว่าตัวที่มี NRL เนื่องจากอาจจะมีการกระจายของตัวอย่างได้ดีกว่าตัว NRL ในการเคลือบด้วย NRL สามารถทำให้กระดาษเพิ่มเกรดของกระดาษจากเกรด B มีประสิทธิภาพเพิ่มเป็นกระดาษกราฟท์ KI125 โดยเทียบกับช่วงของค่าความต้านแรงดันทะลุของกระดาษกราฟท์เกรด KI125 จะอยู่ในช่วง 300-350 kPa



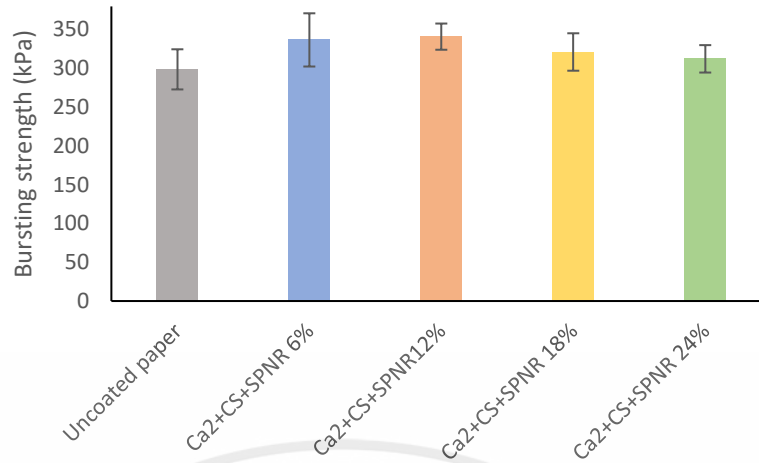
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) กับความต้านแรงดันทะลุ Bursting strength (kPa)

จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ผสมแป้งข้าวโพด Corn starch (CS) โดยปรับสัดส่วนของ NRL ที่ใช้กับความต้านแรงดันทะลุ Bursting strength (kPa) จากกราฟพบว่า เมื่อผสมแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS) เข้ากับตัวอย่างธรรมชาติ เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความต้านแรงดันทะลุสูงขึ้น จนถึงความเข้มข้น (Ca<sup>2+</sup>+NR+CS 12%) ที่มีค่าความต้านแรงดันทะลุลดต่ำลง อาจเกิดจากการกระจายตัวของตัวอย่างธรรมชาติกับแป้งข้าวโพดมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมออย่างมีนัยสำคัญ แล้วหลังจากความเข้มข้นของตัวอย่างนั้นค่าความต้านแรงดันทะลุค่อยๆสูงขึ้น ดังนั้นตัวแป้งข้าวโพดเข้ามาช่วยเสริมค่าความต้านแรงดันทะลุให้กับตัวอย่างธรรมชาติ โดยตัวอย่างธรรมชาติกับแป้งอาจมีความเข้ากันได้ทำให้ค่าความต้านแรงดันทะลุสูงขึ้น



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ผสมแป้งข้าวโพด Corn starch (CS) กับความต้านแรงดันทะลุ Bursting strength (kPa)

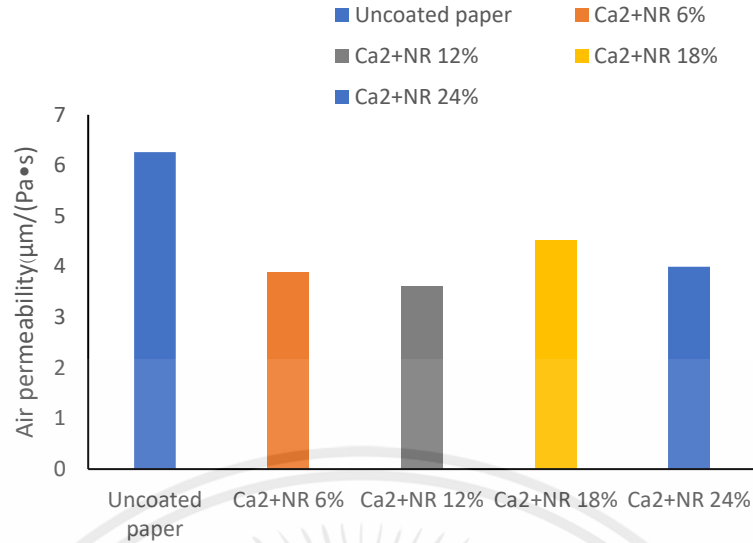
จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พีวีแอลไนซ์ ด้วยกัมมันต์ (SPNRL) ผสมแป้ง Corn starch (CS) กับความต้านแรงดันทะลุ Bursting strength (kPa) จากกราฟจะเห็นเช่นเดียวกันว่า เมื่อความเข้มข้นของตัวอย่าง SPNRL เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความต้านแรงดันทะลุสูงขึ้น ณ จุดๆ หนึ่ง ซึ่งถึงแม้จะมีแป้งเข้ามาผสมกับตัวอย่าง SPNRL แล้วก็ตาม แต่ก็ยังทำให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุลดต่ำลง ซึ่งอาจเกิดจากตัวอย่าง SPNRL กับตัวแป้งข้าวโพดเกิดการกระจายตัวกันได้ไม่ค่อยดี หรืออาจเกิดจากความไม่เข้ากันของตัวอย่าง SPNRL กับแป้งข้าวโพด การเพิ่มขึ้นของความต้านแรงดันทะลุถือว่ามีนัยสำคัญ ซึ่งค่าที่แรงดันทะลุสูงที่สุดคือ Ca<sup>2+</sup>+SPNR 18%



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ผสมแป้งข้าวโพด Corn starch (CS) กับความต้านแรงดันทะลุ Bursting strength (kPa)

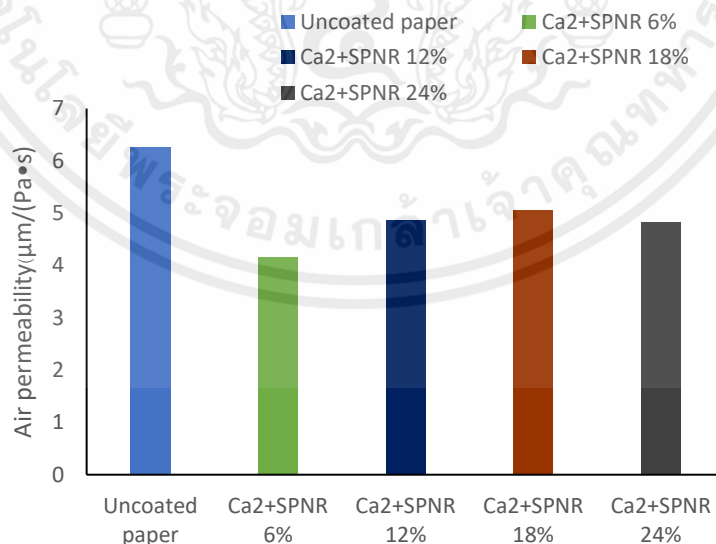
#### 4.4 การทดสอบการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ (Air permeability test)

การทดสอบการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ (วิธี Gurley) อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 5636-5 : 2013 ของสารเคลือบผิวกระดาษ ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ  $27 \pm 1$  องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ  $65 \pm 2$  โดยเปรียบเทียบตัวอย่างที่เคลือบด้วย  $\text{CaCl}_2$  กับ NRL ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่  $\text{Ca}^{2+} + \text{NR}$  6%,  $\text{Ca}^{2+} + \text{NR}$  12%,  $\text{Ca}^{2+} + \text{NR}$  18% และ  $\text{Ca}^{2+} + \text{NR}$  24% จากรูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) กับการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ( $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของตัวอย่างธรรมชาติสูงขึ้นทำให้ค่าการทนต่อการซึมผ่านของอากาศลดลง ซึ่งเป็นมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้จะมีช่วงที่สูงขึ้นมา ( $\text{Ca} + \text{NR}$  18%) อาจเกิดจากการกระจายตัวของยางธรรมชาติที่ไม่สม่ำเสมอกับตัวกระดาษทำให้อาจจะมีรูพรุนทำให้อากาศสามารถผ่านได้ แต่ถือว่ามีแนวโน้มที่การทนต่อการซึมผ่านอากาศลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น



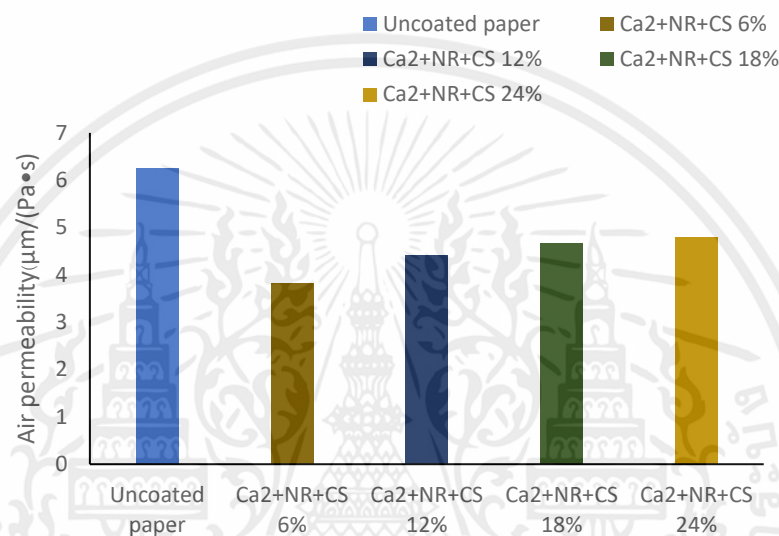
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) กับการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ (µm/Pa·s)

จากรูปที่ 4.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) กับการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ (µm/Pa·s) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของตัวอย่าง SPNRL สูงขึ้น ทำให้ค่าการทนต่อการซึมผ่านอากาศลดลง แต่เมื่อเทียบกับตัวที่มี NRL นั้นถือว่าลดลงน้อยกว่า เนื่องจากการกระจายตัวของตัวอย่าง SPNRL อาจจะมีการกระจายตัวที่ไม่ค่อยดีหรืออาจจะเกิดจากความไม่เข้ากันของตัวอย่าง SPNRL กับ CaCl<sub>2</sub> ส่งผลทำให้การทนต่อการซึมผ่านอากาศลดลง



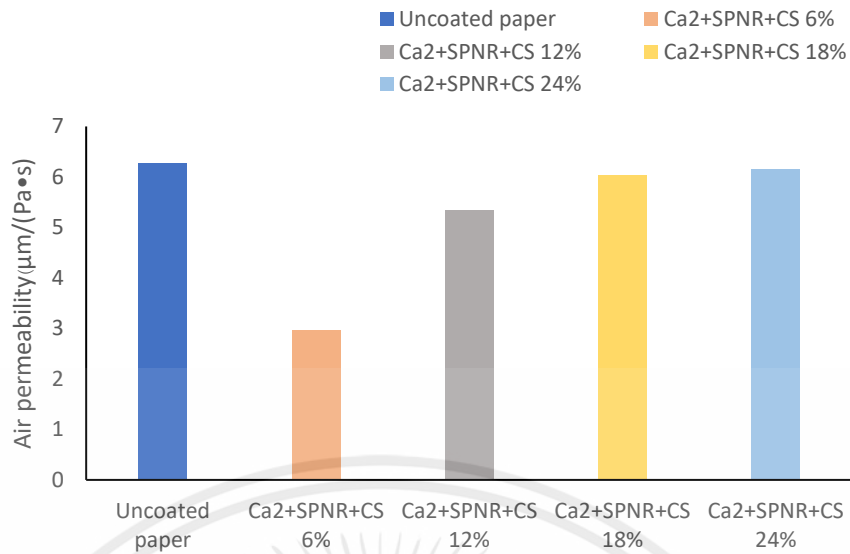
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) กับการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ (µm/Pa·s)

จากรูปที่ 4.12 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ผสมแป้ง Corn starch (CS) กับการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ( $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) พบว่าเมื่อมีแป้งเข้ามาผสมกับตัวยาง NRL ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นไปส่งผลทำให้การทนต่อการซึมผ่านอากาศลดลง แต่จากกราฟจะลดลงถึง ณ จุดๆ หนึ่ง ( $\text{Ca}^{2+}+\text{NR}+\text{CS}$  6%) หลังจากนั้นค่าการทนต่อการซึมผ่านอากาศจะค่อยๆ สูงขึ้น อาจเนื่องจากแป้งข้าวโพดกับตัวยาง NRL นั้นไม่ได้มีผลทำให้ประสิทธิภาพการทนต่อการซึมผ่านของอากาศลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจจะมิรู้ทำให้อากาศยังมีการที่ซึมผ่านได้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ผสมแป้ง Corn starch (CS) กับการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ( $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$ )

จากรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ผสมแป้ง Corn starch (CS) กับการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ( $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) พบว่าตัวยาง SPNRL กับตัวแป้งข้าวโพดนั้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวยาง SPNRL นั้นส่งผลทำให้ค่าการทนต่อการซึมผ่านอากาศลดลง ( $\text{Ca}^{2+}+\text{SPNR}+\text{CS}$  6%) ซึ่งจะเห็นหลังจากนั้นค่าการทนต่อการซึมผ่านอากาศจะค่อยๆ สูงขึ้นจนเกือบเท่ากระดาษที่ยังไม่ได้ผ่านการเคลือบ เนื่องจากกระจายตัวของยาง SPNRL กับแป้งข้าวโพดนั้นอาจมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอหรือความไม่เข้ากันของตัวยาง SPNRL กับแป้งข้าวโพด ทำให้เกิดรูพรุนและอากาศสามารถซึมผ่านได้ ซึ่งค่าที่การซึมผ่านอากาศลดลงมากที่สุดคือ  $\text{Ca}^{2+}+\text{CS}+\text{SPNR}$  6%



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ผสมแป้ง Corn starch (CS) กับการทนต่อซึมผ่านของอากาศ ( $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$ )

#### 4.5 การทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษ (Adhesion test)

การทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษตามมาตรฐาน ASTM D3359 ของสารเคลือบผิว โดยเปรียบเทียบตัวอย่างที่เคลือบด้วย  $\text{CaCl}_2$  กับ NRL ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่  $\text{Ca}^{2+}+\text{NR}$  6%,  $\text{Ca}^{2+}+\text{NR}$  12%,  $\text{Ca}^{2+}+\text{NR}$  18% และ  $\text{Ca}^{2+}+\text{NR}$  24% ดังตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของตัวอย่างธรรมชาติเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของตัวสารเคลือบกระดาษลดต่ำลงจากระดับ 4B เป็น 3B แต่อาจจะไม่ได้ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นอาจส่งผลทำให้การกระจายตัวของตัวอย่างลดต่ำลงทำให้ไม่ยึดเกาะกับตัวกระดาษ

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษแต่ละความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6, 12, 18 และ 24

ตัวอย่าง (Sample)	ร้อยละของพื้นที่เคลือบผิวที่หลุดออก (Percentage of coated area removed)	ระดับในการยึดเกาะ (Classification)
$\text{Ca}^{2+}+\text{NR}$ 6%	น้อยกว่า 5%	4B
$\text{Ca}^{2+}+\text{NR}$ 12%	น้อยกว่า 5%	4B
$\text{Ca}^{2+}+\text{NR}$ 18%	5% ถึง 15%	3B
$\text{Ca}^{2+}+\text{NR}$ 24%	5% ถึง 15%	3B

จากตารางที่ 4.2 แสดงความสามารถในการยึดเกาะของ SPNRL พบว่าเมื่อความเข้มข้นของตัวอย่าง SPNRL เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของตัวสารเคลือบกระดาษลดต่ำลง จาก 1B เป็น 0B ซึ่งเมื่อดูจากตารางจะเห็นได้ว่าความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษกับกระดาษแทบจะไม่ยึดเกาะกันเลย ซึ่งอาจจะเป็นที่ตัวอย่าง SPNR:มีความไม่เข้ากันกับตัว  $\text{CaCl}_2$  และตัวกระดาษ ทำให้กระดาษมีความสามารถในการยึดเกาะต่ำ ซึ่งค่าการยึดเกาะที่หลุดออกไปจะอยู่ในช่วง มากกว่า 65%

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษแต่ละความเข้มข้นของน้ำยารธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6, 12, 18 และ 24

ตัวอย่าง (Sample)	ร้อยละของพื้นที่เคลือบผิวที่หลุดออก (Percentage of coated area removed)	ระดับในการยึดเกาะ (Classification)
$\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 6%	35% ถึง 65%	1B
$\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 12%	35% ถึง 65%	1B
$\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 18%	มากกว่า 65%	0B
$\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 24%	มากกว่า 65%	0B

จากตารางที่ 4.3 แสดงความสามารถในการยึดเกาะของ NRL กับ CS พบว่าเมื่อมีแป้งข้าวโพดเข้ามาผสมกับตัวอย่าง NRL ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะสูงขึ้นเมื่อเทียบกับตัวที่ไม่แป้งข้าวโพด จากระดับ 3B เป็น 4B อาจจะเป็นเนื่องจากแป้งข้าวโพดกับตัวอย่าง NRL มีความเข้ากันได้และแป้งยังเข้ามาช่วยในเรื่องความเหนียวที่ลดลง ทำให้เกิดการยึดเกาะที่ดีขึ้น ซึ่งค่าที่ยึดเกาะของสารเคลือบกระดาษกับตัวกระดาษจะในช่วงน้อยกว่า 5% หรือแทบจะไม่มีการหลุดออกจากกัน

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษแต่ละความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6, 12, 18 และ 24

ตัวอย่าง (Sample)	ร้อยละของพื้นที่เคลือบผิวที่หลุดออก (Percentage of coated area removed)	ระดับในการยึดเกาะ (Classification)
Ca <sup>2+</sup> +NR+CS 6%	น้อยกว่า 5%	4B
Ca <sup>2+</sup> +NR+CS 12%	น้อยกว่า 5%	4B
Ca <sup>2+</sup> +NR+CS 18%	น้อยกว่า 5%	4B
Ca <sup>2+</sup> +NR+CS 24%	5% ถึง 15%	3B

จากตารางที่ 4.4 แสดงความสามารถในการยึดเกาะของ SPNRL กับ CS พบว่า เช่นเดียวกับ NRL เมื่อมีแป้งข้าวโพดเข้ามาผสมกับตัวอย่าง SPNL ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะของตัวอย่าง SPNL นั้นยึดเกาะกันได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับตัวที่ไม่มีแป้งและยังลดความเหนียวของตัวอย่าง ซึ่งแป้งข้าวโพดอาจจะเป็นตัวที่ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะสูงขึ้น เนื่องจากความเข้ากันได้ระหว่างตัวอย่าง SPNRL กับแป้งข้าวโพด แต่ก็ยังมีการหลุดของสารเคลือบอยู่ 15% ถึง 35% ค่าความสามารถในการยึดเกาะที่ดีที่สุด คือ Ca+NR+CS 6%

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกระดาษแต่ละความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6, 12, 18 และ 24

ตัวอย่าง (Sample)	ร้อยละของพื้นที่เคลือบผิวที่หลุดออก (Percentage of coated area removed)	ระดับในการยึดเกาะ (Classification)
Ca <sup>2+</sup> +SPNR+CS 6%	5% ถึง 15%	3B
Ca <sup>2+</sup> +SPNR+CS 12%	15% ถึง 35%	2B
Ca <sup>2+</sup> +SPNR+CS 18%	15% ถึง 35%	2B
Ca <sup>2+</sup> +SPNR+CS 24%	15% ถึง 35%	2B

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาสารเคลือบผิวกระดาษ เพื่อเพิ่มความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ความสามารถในการต้านแรงดันทะเล การทนต่อการซึมผ่านของอากาศกับกระดาษและการยึดเกาะ โดยจากการทำการตรวจสอบวิเคราะห์สมบัติของกระดาษหลังเคลือบ จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำ ตามลำดับพบว่า เมื่อความเข้มข้นของตัวยางธรรมชาติ (NRL) หรือยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติของน้ำให้กับตัวกระดาษ ทำให้ตัวกระดาษมีความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งตัวที่มีคุณสมบัติมากที่สุดคือ  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 6% มีคุณสมบัติที่ 0 วินาที คือ  $137.95^\circ$  และเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาทียังคงเหลือคุณสมบัติของน้ำสุทธิ คือ  $74.5^\circ$  ทำการศึกษาการเพิ่มความสามารถในการต้านแรงดันทะเลกับตัวกระดาษ ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นของยางส่งผลต่อความต้านแรงดันทะเล ซึ่งตัวที่มีความสามารถในการต้านแรงดันทะเลสูงที่สุดคือ  $\text{Ca}^{2+}$ +SPNR 18% จะมีค่าอยู่ที่ 347 kPa ทำการศึกษาการทนต่อการซึมผ่านของอากาศกับกระดาษ เช่นเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวยางจะทำให้ค่าการทนต่อการซึมผ่านของอากาศกับกระดาษต่ำลง ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่าสามารถทนต่อการซึมอากาศได้สูง ซึ่งตัวที่มีค่าที่สามารถทนต่อการซึมผ่านอากาศได้ดีคือ  $\text{Ca}^{2+}$ +CS+SPNR 6% จะมีค่าอยู่ที่  $2.97 \mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$  และศึกษาความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกับตัวกระดาษ โดยเมื่อความเข้มข้นของยางสูงขึ้นส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการยึดเกาะ ระหว่างสารเคลือบกับกระดาษลดลง และตัวยางไม่มีการยึดเกาะเลย เมื่อทำการผสมยางกับแป้งข้าวโพด ตัวแป้งข้าวโพด ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะเพิ่มสูงขึ้นและยังทำให้ความเหนียวของตัวยางลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งตัวที่ยึดเกาะกับกระดาษได้ดีที่สุดคือ  $\text{Ca}^{2+}$ +NR+CS 6% ซึ่งมีร้อยละผิวที่หลุดออกน้อยกว่า 5%

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาผลของน้ำหนักของการเคลือบกระดาษแต่ละความเข้มข้นของตัวยาง
2. ศึกษาผลของความเข้มข้นของแป้งข้าวโพดต่อการเคลือบกระดาษ
3. ศึกษาวิธีการควบคุมสเปรย์
4. ศึกษาชนิดกระดาษที่นำมาใช้สำหรับการเคลือบ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Wang, L. Wang, X. Zhang, S. Ma, and Z. Zhao, “Study on the barrier properties and antibacterial properties of cellulose-based multilayer coated paperboard used for fast food packaging,” *Food Biosci*, vol. 46, p. 101398, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.fbio.2021.101398.
- [2] A. Adibi, D. Valdesueiro, L. Simon, C. P. Lenges, and T. H. Mekonnen, “High barrier sustainable paper coating based on engineered polysaccharides and natural rubber,” *ACS Sustain Chem Eng*, vol. 10, no. 32, pp. 10718–10732, Aug. 2022, doi: 10.1021/acssuschemeng.2c03466.
- [3] “ยางNR หรือยางธรรมชาติ -polytechindustry.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.polytechindustry.co.th/content/5418/%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%87nr-%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%98%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%B4>
- [4] “Chiangmai rajabhat university intellectual repository: การใช้ประโยชน์จากเส้นใยของเปลือกและลำต้นหอมแดงเพื่อผลิตกระดาษและบรรจุภัณฑ์.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <http://cmruir.cmru.ac.th/handle/123456789/2203>
- [5] “กระดาษ”, Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <http://www.supremeprint.net/index.php?lay=show&ac=article&id=538770933>
- [6] “Cellulose / เซลลูโลส - Food Wiki | Food Network Solution.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0612/cellulose>
- [7] “Structure of hemicellulose. | Download scientific diagram.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-hemicellulose\\_fig3\\_347828066](https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-hemicellulose_fig3_347828066)
- [8] “บรรจุภัณฑ์ มีกี่ประเภท ทำไมการออกแบบบรรจุภัณฑ์ถึงสำคัญกับธุรกิจ.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://packhai.com/benefits-of-product-packaging/>

- [9] “พอลิเมอร์.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7095-2017-06-04-02-45-14>
- [10] “Polymer(พอลิเมอร์) | POLYMER.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://enchemcom1po.wordpress.com/polymer%E0%B8%9E%E0%B8%AD%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C/>
- [11] “พอลิเมอร์ธรรมชาติ ( Natural polymers) – Tuemaster เรียนออนไลน์ ม.ปลาย.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://tuemaster.com/blog/%E0%B8%9E%E0%B8%AD%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%98%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%B4-natural-polymers/>
- [12] “Synthetic Polymers | Types and Examples | Polymer Uses| Chemistry| BYJU’S.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://byjus.com/chemistry/synthetic-polymers/>
- [13] “กล่องกระดาษเคลือบ PE บรรจุภัณฑ์ที่ปลอดภัยกับอาหาร.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://thaifoodpackaging.com/blog/coating-pe-food-paper-box/>
- [14] “กระบวนการเคลือบ PP ในบรรจุภัณฑ์และการพิมพ์ - ความรู้อุตสาหกรรม - ข่าว - กวางโจวมหิงไฮบรรจุภัณฑ์จำกัด.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://th.mlcustomcardboardbox.com/news/pp-lamination-process-in-packaging-and-printin-20836579.html>
- [15] “Polysaccharide / พอลิแซ็กคาไรด์ - Food Wiki | Food Network Solution.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1101/poly-saccharide%E0%B8%9E%E0%B8%AD%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B9%81%E0%B8%8B%E0%B8%84%E0%B8%84%E0%B8%B2%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B8%94%E0%B9%8C>
- [16] “Starch / สตาร์ช - Food Wiki | Food Network Solution.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0501/starch%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%8B>

- [17] “Starch: Diagram, Structure and Features.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://byjus.com/biology/starch-diagram/>
- [18] “Chitin / ไคติน - Food Wiki | Food Network Solution.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1188/chitin-%E0%B9%84%E0%B8%84%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%99>
- [19] “Chitosan / ไคโทซาน - Food Wiki | Food Network Solution.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4667/chitosan-%E0%B9%84%E0%B8%84%E0%B9%82%E0%B8%97%E0%B8%8B%E0%B8%B2%E0%B8%99>
- [20] D. Debnath, I. Samal, C. Mohapatra, S. Routray, M. S. Kesawat, and R. Labanya, “Chitosan: An Autocidal Molecule of Plant Pathogenic Fungus,” *Life*, vol. 12, no. 11. MDPI, Nov. 01, 2022. doi: 10.3390/life12111908.
- [21] “Rubber - Structure, Types, Preparation, Vulcanization, and FAQs.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/rubber/>
- [22] “Barrier Coatings for Food Packaging | Food Manufacturer’s Guide.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.mcpolymers.com/library/barrier-coatings-food-packaging/>
- [23] “Barrier properties of paper coating.” Accessed: Nov.09,2023.[Online]. Available: <https://www.webctp.com/en/barrier-properties>
- [24] “Grease Resistance – Kit Test (TAPPI T559) – Applied Paper Technology.” Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://appliedpapertech.com/test-methods/grease-resistance/>
- [25] Y. He, H. Li, X. Fei, and L. Peng, “Carboxymethyl cellulose/cellulose nanocrystals immobilized silver nanoparticles as an effective coating to improve barrier and antibacterial properties of paper for food packaging applications,” *Carbohydr Polym*, vol. 252, p. 117156, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.carbpol.2020.117156.

- [26] R. Zhu, W. Lv, C. Sun, C. Qin, D. Zhang, and Z. Long, “A facile strategy to fabricate high-barrier, water- and oil-repellent paper with carboxymethyl cellulose/collagen fiber/modified polyvinyl alcohol,” *Carbohydr Polym*, vol. 314, p. 120933, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.carbpol.2023.120933.
- [27] D. Liu, Y. Duan, S. Wang, M. Gong, and H. Dai, “Improvement of Oil and Water Barrier Properties of Food Packaging Paper by Coating with Microcrystalline Wax Emulsion,” *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 9, p. 1786, Apr. 2022, doi: 10.3390/polym14091786.
- [28] D. Kansal, S. S. Hamdani, R. Ping, and M. Rabnawaz, “Starch and Zein Biopolymers as a Sustainable Replacement for PFAS, Silicone Oil, and Plastic-Coated Paper,” *Ind Eng Chem Res*, vol. 59, no. 26, pp. 12075–12084, Jul. 2020, doi: 10.1021/acs.iecr.0c01291.
- [29] “เครื่องทดสอบแรงดึง - การทดสอบคุณภาพกระดาษ - เครื่องมือ IDM - เครื่องมือ IDM.” Accessed: Nov.09,2023.[Online].Available:<https://idminstruments.com.au/th/%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%97%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%AD%E0%B8%9A/%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%A0%E0%B8%B1%E0%B8%93%E0%B8%91%E0%B9%8C/%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%94-technidyne-%E0%B8%9A%E0%B8%A7%E0%B8%81%E0%B9%81%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%94%E0%B8%B6%E0%B8%87.html>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 การเตรียมยางธรรมชาติ (NRL) และยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) สำหรับการเคลือบกระดาษ

ตารางที่ ก.1.1 ส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบกระดาษด้วยยางธรรมชาติ (NRL)

ความเข้มข้นของ NRL (%)	ปริมาณเนื้อยางของ NRL (g)	ปริมาณน้ำปราศจากไอออน (g)
6	2	18
12	4	16
18	6	14
24	8	12

ตารางที่ ก.1.2 ส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบกระดาษด้วยยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL)

ความเข้มข้นของ SPNRL (%)	ปริมาณของเนื้อยาง SPNRL (g)	ปริมาณน้ำปราศจากไอออน (g)
6	2	18
12	4	16
18	6	14
24	8	12

ก.2 การเตรียมยางธรรมชาติ (NRL) และยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ที่ผสมแป้งข้าวโพดสำหรับการเคลือบกระดาษ





ตารางที่ ก.2.1 ส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบกระดาษด้วยยางธรรมชาติ (NRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS)

ความเข้มข้นของ NRL (%)	ปริมาณเนื้อยางของ NRL (g)	ปริมาณแป้งข้าวโพด (g)	ปริมาณน้ำปราศจากไอออน (g)
6	2	1	17
12	4	1	15
18	6	1	13
24	8	1	11

ตารางที่ ก.2.2 ส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบกระดาษด้วยยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (SPNRL) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS)

ความเข้มข้นของ NRL (%)	ปริมาณเนื้อยางของ SPNRL (g)	ปริมาณแป้งข้าวโพด (g)	ปริมาณน้ำปราศจากไอออน (g)
6	2	1	17
12	4	1	15
18	6	1	13
24	8	1	11










ก.3 ตัวอย่างรูปการวัดมุมสัมผัสของน้ำ

Sample	0 second	60 second	120 second
Uncoated paper	85.91° 	0° 	
NR 6%	123.42° 	85.95° 	0° 
NR 12%	126.22° 	105.43° 	0° 








ก.4 การทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบบนกระดาษ

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM D3359

ตัวอย่าง (Sample)	ร้อยละของพื้นที่เคลือบผิวที่หลุดออก (Percentage of coated area removed)	ระดับในการยึดเกาะ (Classification)	ตัวอย่าง (Example)

Ca <sup>2+</sup> +NR 6%	น้อยกว่า 5%	4B	
Ca <sup>2+</sup> +NR 12%	น้อยกว่า 5%	4B	
Ca <sup>2+</sup> +NR 18%	5% ถึง 15%	3B	
Ca <sup>2+</sup> +NR 24%	5% ถึง 15%	3B	
Ca <sup>2+</sup> +SPNR 6%	35% ถึง 65%	1B	
Ca <sup>2+</sup> +SPNR 12%	35% ถึง 65%	1B	
Ca <sup>2+</sup> +SPNR 18%	มากกว่า 65%	0B	
Ca <sup>2+</sup> +SPNR 24%	มากกว่า 65%	0B	
Ca <sup>2+</sup> +NR+CS 6%	น้อยกว่า 5%	4B	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ca <sup>2+</sup> +NR+CS 12%	น้อยกว่า 5%	4B	
Ca <sup>2+</sup> +NR+CS 18%	น้อยกว่า 5%	4B	
Ca <sup>2+</sup> +NR+CS 24%	5% ถึง 15%	3B	
Ca <sup>2+</sup> +SPNR+CS 6%	5% ถึง 15%	3B	
Ca <sup>2+</sup> +SPNR+CS 12%	15% ถึง 35%	2B	
Ca <sup>2+</sup> +SPNR+CS 18%	15% ถึง 35%	2B	
Ca <sup>2+</sup> +SPNR+CS 24%	15% ถึง 35%	2B	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

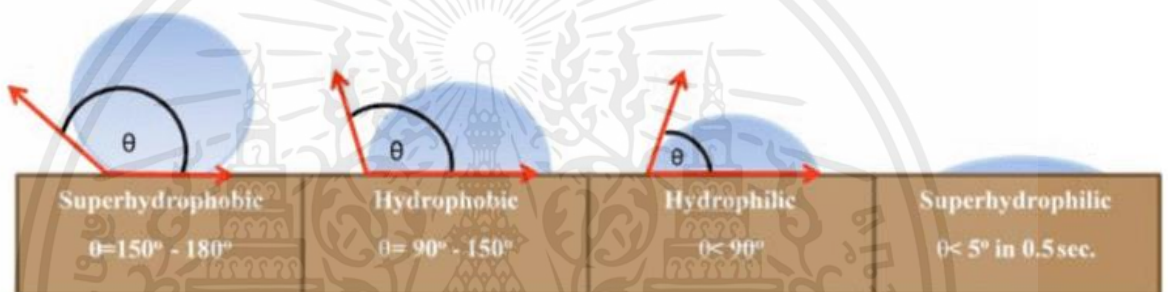


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข.1 เครื่องทดสอบการวัดมุมสัมผัสของน้ำ



รูปที่ ข.1.1 เครื่องสำหรับทดสอบการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ



รูปที่ ข.1.2 แสดงพฤติกรรมของการไม่ชอบน้ำ (Superhydrophobic) และการชอบน้ำ (Superhydrophilic)

น้ำเป็นของเหลวชนิดหนึ่งที่หยดน้ำมีแนวโน้มที่จะมีรูปร่างแบนและกระจายตัวเป็นพื้นผิวที่เรียกว่า พื้นผิวเปียกน้ำ (Hydrophilic Surfaces) โดยรูปร่างของหยดน้ำนี้จะแสดงให้เห็นว่าน้ำหรือของเหลวมีการยึดเกาะกับพื้นผิวมากน้อยเพียงใดโดยสามารถวัดได้จากมุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวกับของเหลวมุมสัมผัสดังกล่าว สามารถนำมาอธิบายเกี่ยวกับหลักการความเปียกน้ำและไม่เปียกน้ำของพื้นผิวเรียบเรียงให้หน่อย

## ข.2 เครื่องทดสอบการวัดความต้านทานแรงดันทะลุ

การวัดความแข็งแรง (bursting strength) ของกระดาษเป็นการวัดความสามารถในการรับแรงที่กระดาษสามารถรับได้ก่อนที่จะแตกหรือพังขาด ความแข็งแรงนี้สำคัญในการประกอบกับความแข็งแรงของวัสดุและความเหมาะสมในการใช้งานต่าง ๆ ดังนั้นการวัดความแข็งแรงของกระดาษจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

วิธีการวัดความแข็งแรง (bursting strength) ของกระดาษด้วยเครื่องมือ Bursting Strength Tester ทำตามขั้นตอนดังนี้:

1. ตัดกระดาษให้เป็นรูปทรงแผ่น และทำการปรับขนาดตามข้อกำหนดของเครื่องมือที่ใช้วัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วางกระดาษที่เตรียมไว้ลงในช่องสอดที่เหมาะสมของเครื่อง Bursting Strength Tester
3. ตรวจสอบและปรับค่าเครื่องมือให้เหมาะสมกับรูปแบบและปริมาณของตัวอย่างกระดาษ
4. เปิดเครื่องมือให้ทำการส่งแรงมากที่สุดในการยืดกระดาษ จนกระดาษแตกหรือพังขาด
5. บันทึกค่าแรงที่เครื่องส่งมาและแสดงบนหน้าจอ หรือบันทึกลงในรูปแบบอื่น ๆ ตามที่เครื่องมือรองรับ
6. ค่าที่ได้จากการทดสอบเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการใช้งานกระดาษ

การวัดความแข็งแรงของกระดาษนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ อาทิ เช่น ประเภทและคุณภาพของกระดาษ, ความชื้น, การจัดเตรียมตัวอย่าง และการตั้งค่าของเครื่องมือ ดังนั้นการทำการทดสอบควรจะเป็นไปในสภาวะที่สอดคล้องกับการใช้งานจริงและความต้องการของผู้ใช้งาน



รูปที่ ข.1.3 เครื่องสำหรับการทดสอบการวัดความต้านทานแรงดันทะลุ

### ข.3 เครื่องทดสอบการวัดการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ

การวัดการต้านทานการซึมผ่านอากาศของกระดาษเป็นการทดสอบที่ใช้เพื่อวัดความสามารถของกระดาษในการป้องกันการซึมผ่านของอากาศ หรือความหนาแน่นที่ทำให้กระดาษมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของอากาศ

วิธีการทดสอบการต้านทานการซึมผ่านอากาศของกระดาษมักใช้เครื่องมือที่เรียกว่า "Bendtsen air resistance tester" หรือ "Gurley air resistance tester" โดยทำตามขั้นตอนดังนี้:

1. ตัดกระดาษให้เป็นชิ้นส่วนที่มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ
2. ตั้งค่าและเตรียมเครื่องมือ Bendtsen air resistance tester หรือ Gurley air resistance tester ให้พร้อมทำการทดสอบ

3. วางกระดาษที่เตรียมไว้บนแผ่นทดสอบหรือส่วนที่ใช้สำหรับวัดการต้านทานการซึมผ่านอากาศ
4. เปิดเครื่องมือและใช้แรงที่กำหนดในการทดสอบ เพื่อวัดค่าการต้านทานการซึมผ่านอากาศของกระดาษ
5. วิเคราะห์ค่าการต้านทานการซึมผ่านอากาศเพื่อปรับปรุงคุณภาพและสมบัติของกระดาษ

การวัดการต้านทานการซึมผ่านอากาศของกระดาษเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพของกระดาษ และสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงกระดาษให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของอากาศในงานต่าง ๆ



รูปที่ ข.1.4 เครื่องสำหรับการทดสอบการทนต่อการซึมผ่านของอากาศ

การคำนวณค่าการซึมผ่านของอากาศ  $P$  เป็นไมโครเมตรต่อวินาทีปาสคาล จนถึงตัวเลขนัยสำคัญ 3 ตัว จากสมการ (1)

$$P = \frac{135.3}{t} \quad (1)$$

โดยที่  $t$  คือเวลาเฉลี่ยเป็นวินาทีสำหรับการผ่านของอากาศ 100 มิลลิลิตร (วัดจากเครื่องหมายปริมาตรบนกระบอกสูบ)

สมการ (1) ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันเฉลี่ย 1.22 กิโลปาสคาล และพื้นที่ทดสอบ 642 มิลลิเมตร 2 และปริมาตรอากาศ 100 มิลลิลิตรที่ไหลผ่านขึ้นทดสอบที่วัดที่ความดันห้อง

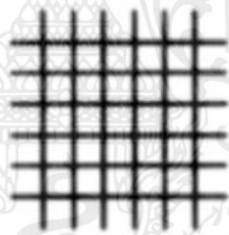
หมายเหตุ เนื่องจากหลักการทดสอบของวิธีนี้ ความดันจริงในเครื่องมือจะลดลงเมื่อกระบอกสูบลดระดับลงในน้ำมัน และปริมาตรจริงที่ผ่านขึ้นทดสอบจะมากกว่าปริมาตรสเกลเล็กน้อย ในทางปฏิบัติ เนื่องจากข้อผิดพลาดเหล่านี้มีความสม่ำเสมอและพบได้ทั่วไปในเครื่องมือทุกประเภท จึงละเลยข้อผิดพลาดเหล่านี้

#### ข.4 วิธีการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบ

ทำการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบกับกระดาษตามมาตรฐาน ASTM D3359

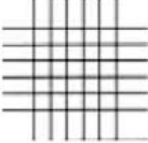
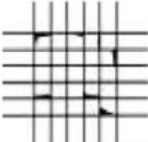
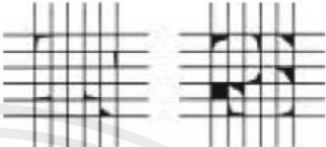
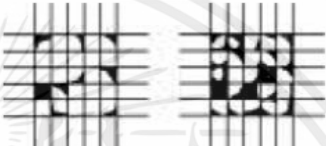


##### วิธีการทดสอบ

1. วางแผ่นตัวอย่างบนพื้นผิวที่เรียบและแข็ง ตรวจสอบพื้นผิวที่จะทำการทดสอบทุกครั้ง เพื่อป้องกันการเสียรูปของแผ่นทดสอบ
2. ตรวจสอบความคมของใบมีดก่อนทำการทดสอบและกรีดทำมุม 45 องศากับทิศทางของกระดาษ
3. กรีดลงบนผิวเคลือบด้วยแรงกดและอัตราเร็วสม่ำเสมอจำนวน 6 เส้น ทุกเส้นที่กรีดต้องทะลุผิวเคลือบจนถึงพื้นผิวแผ่นทดสอบ
4. ให้กรีดเส้นเช่นเดียวกันกับข้อ 3 อีกครั้งและให้ทำมุม 90 องศากับข้อ 3 จะได้เป็นตาราง ดังรูป



รูปที่ ข.1.5 ตารางที่ทำการกรีด

5. ใช้แปรงขนอ่อนปัดเบาๆ เพื่อกำจัดผิวเคลือบที่หลุดล่อนออกจากบริเวณที่กรีด
6. ใช้เทปกาว/แถบกาว แปะกดติดทับตารางที่กรีดไว้โดยให้แถบกาวติดสนิท สังเกตดูสีของผิวเคลือบ เวลาดึงแถบกาวออก ให้ดึงออกจังหวะเดียวภายในเวลา 0.5 วินาที ถึง 1 วินาที โดยให้ทำมุมใกล้เคียง 60 องศา
7. ใช้แว่นขยายหรือกล้องไมโครสโคปส่องเพื่อดูพื้นผิวว่าอยู่ในระดับใด ตามมาตรฐาน ASTM D3359

<p><b>ISO Class: 0/ASTM Class: 5B</b> The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.</p>	
<p><b>ISO Class: 1/ASTM Class: 4B</b> Detachment of small flakes of the coating at the intersections of the cuts. A cross-cut area not significantly greater than 5% is affected.</p>	
<p><b>ISO Class: 2/ASTM Class: 3B</b> The coating has flaked along the edges and/or at the intersections of the cuts. A cross-cut area significantly greater than 5%, but not significantly greater than 15%, is affected.</p>	
<p><b>ISO Class: 3/ASTM Class: 2B</b> The coating has flaked along the edges of the cuts partly or wholly in large ribbons, and/or it has flaked partly or wholly on different parts of the squares. A cross-cut area significantly greater than 15%, but not significantly greater than 35%, is affected.</p>	
<p><b>ISO Class: 4/ASTM Class: 1B</b> The coating has flaked along the edges of the cuts in large ribbons, and/or some squares have detached partly or wholly. A cross-cut area significantly greater than 35%, but not significantly greater than 65%, is affected.</p>	
<p><b>ISO Class: 5/ASTM Class: 0B</b> Any degree of flaking that cannot even be classified by classification 4.</p>	

ASTM Adhesion Standards

รูปที่ ข.1.6 ระดับมาตรฐาน ASTM D3359 ที่บอกความสามารถในการยึดเกาะของกระดาษ