

การใช้โคโทซานและแป้งเป็นสารเติมแต่งในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปจากลำต้นข้าวโพด

นายวีรยุทธ เจริญปัญญาปราชญ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UTILIZATION OF CHITOSAN AND STARCH AS ADDITIVES FOR MOLDED PULP FROM
CORN STALK

Mr. Weerayuth Jaroenpanyaprat

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 2010
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้โคโทซานและแป้งเป็นสารเติมแต่งในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปจากลำต้นข้าวโพด
โดย	นายวีรยุทธ เจริญปัญญาปราชญ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. กุณทีนี สุวรรณกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปติ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หารสืบสาย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร. กุณทีนี สุวรรณกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปติ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สีนาท ประสงค์สุข)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. เลอพงศ์ จารุพันธ์)

วีรยุทธ เจริญปัญญาปราชญ์ : การใช้ไคโทซานและแป้งเป็นสารเติมแต่งในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปจากลำต้นข้าวโพด. (UTILIZATION OF CHITOSAN AND STARCH AS ADDITIVES FOR MOLDED PULP FROM CORN STALK) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก : อาจารย์ ดร. กุณทีณี สุวรรณกิจ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปดี, 81 หน้า.

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่มีการปลูกกันมากในประเทศไทย ซึ่งภายหลังจากการเก็บเกี่ยวฝักแล้ว เกษตรกรมักจะทำการไถกลบต้นข้าวโพดหรือเผาทิ้งซึ่งก่อให้เกิดมลพิษ ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะใช้ต้นข้าวโพดมาทดลองผลิตเป็นเยื่อกระดาษขึ้นรูปและศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไคโทซานมาเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปจากลำต้นข้าวโพด ในการวิจัยได้นำต้นข้าวโพดมาต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเยื่อที่ได้มาขึ้นแผ่นกระดาษโดยเติมสารกันซึม (Alkyl Ketene Dimer) และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก (Polyamidoamine-epichlorohydrin) นอกจากนั้นยังได้มีการเปรียบเทียบการเติมแป้งและไคโทซานในปริมาณที่ต่างกันเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสม โดยหลังขึ้นแผ่นกระดาษมีการใช้แรงกดทับที่ 20 บาร์ และความร้อน 125 องศาเซลเซียส ในการขึ้นรูปและทำให้กระดาษแห้งเพื่อจำลองการขึ้นรูปเยื่อกระดาษโดยมีการขึ้นรูปกระดาษด้วยเยื่อคุณภาพดีทั้งทางการค้าด้วยวิธีเดียวกันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสมบัติเชิงโครงสร้าง เชิงกล และสมบัติด้านการกันขวางจากการทดลองพบว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดมีความแข็งแรง ความสามารถในการต้านอากาศไหลผ่านและน้ำมันสูงกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยสั้นแต่มีความต้านทานน้ำต่ำกว่า ในขณะที่แป้งสามารถเพิ่มความแข็งแรงต่อแรงฉีกและความเรียบให้กับกระดาษที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดได้เล็กน้อย ไคโทซานสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดและเยื่อทางการค้าได้และลดความสามารถในการดูดซึมน้ำของกระดาษที่ผลิตจากข้าวโพดได้อย่างมาก

สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 ปีการศึกษา 2553..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

##5172460323 : MAJOR PULP AND PAPER TECHNOLOGY

KEYWORDS : molded pulp / corn stalk / chitosan / starch

WEERAYUTH JAROENPANYAPRAT : UTILIZATION OF CHITOSAN AND STARCH AS ADDITIVES FOR MOLDED PULP FROM CORN STALK. ADVISOR : KUNTINEE SUVARNAKICH, Ph.D., COADVISOR : ASSOC. PROF. SANGOBTIP PONGSTABODEE, Ph.D., 81 p.

Cornstalk is one of the most abundant agricultural wastes in Thailand. It is usually plowed over or burnt down after corn harvestation. In this study, we aimed to use cornstalk as an alternative fiber source for molded pulp and to investigate the potential use of chitosan as an additive for molded pulp from cornstalk. Cornstalk was pulped by cooking with NaOH at 120 °C for 2 hr. then formed into a test sheet with sizing agent (AKD) and wet strength agent (Polyamidoamine-epichlorohydrin) added. Starch and chitosan were also added in various amount to find the optimum dosage. The test sheets were dried under 20-bar pressure at 125 °C. to imitate the procedure used in pulp molding. Commercial hardwood pulp was also prepared and formed into a test sheet in a similar fashion. The sheets were tested for structural, mechanical and barrier properties. We found that the cornstalk sheets gave better mechanical properties, air and oil resistance but poorer water resistance when compared with commercial hardwood sheets, while starch gave a slight increase in tear resistance and smoothness properties of cornstalk test sheets. Chitosan gave a slight increase in strength properties in test sheets which were made from both cornstalk and commercial hardwood pulp and can greatly decrease water absorption in cornstalk test sheets.

Field of Study : Pulp and Paper Technology..... Student's Signature.....

Academic Year : 2010..... Advisor's Signature.....

Co advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. กุณิณี สุวรรณกิจ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการทดลอง และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปดี อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการทดลอง และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สีนานา ประสงค์สุข กรรมการสอบที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการทดลอง และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร. เลอพงศ์ จารุพันธ์ กรรมการสอบภายนอก ที่ช่วยเสนอแนะข้อคิดเห็นและให้คำปรึกษา และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สมพร ชัยอารีย์กิจ ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับวิธีการทดลองในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท เยนรัลสตาร์ช จำกัด ที่สนับสนุนแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการกระดาษ ในการทำวิจัย และให้คำแนะนำตลอดการวิจัยจนสำเร็จ

ขอขอบคุณ ทูนอุตหนูนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาคณะศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา

และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนทางการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ข้อจำกัด.....	2
1.5 คำจำกัดความ.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.7 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	3
1.8 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระดาษและเยื่อกระดาษ.....	4
2.1.1 ส่วนประกอบของแผ่นกระดาษ.....	4
2.1.2 แหล่งที่มาของเส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาษ.....	5
2.1.3 โครงสร้างของเส้นใย.....	6
2.1.4 การผลิตเยื่อกระดาษ.....	8
2.1.5 การผลิตกระดาษ.....	11
2.1.6 การขึ้นแผ่นกระดาษ.....	12

	หน้า
2.2 ข้าวโพด.....	13
2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวโพด.....	13
2.2.2 การใช้ประโยชน์จากข้าวโพด.....	14
2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทั่วไปของเส้นใยในต้นข้าวโพด.....	14
2.3 เยื่อกระดาษขึ้นรูป.....	15
2.3.1 ชนิดของเยื่อกระดาษขึ้นรูป.....	16
2.3.2 สารเติมแต่งที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูป.....	17
2.4 ไคตินและไคโตซาน.....	17
2.4.1 การเตรียมไคตินและไคโทซาน.....	18
2.4.2 ไคตินและไคโทซานในเชิงอุตสาหกรรม.....	19
2.4.3 สมบัติของไคตินและไคโทซาน.....	19
2.4.4 การใช้ประโยชน์จากไคโทซาน.....	20
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	22
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	22
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	22
3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	23
3.3.1 การเตรียมเยื่อกระดาษ.....	23
3.3.2 การเตรียมสารละลาย.....	24
3.3.3 การเตรียมน้ำเยื่อ.....	24
3.3.4 การขึ้นแผ่นกระดาษ.....	26
3.3.5 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของกระดาษ.....	26
3.3.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	26
3.3.7 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิจัย.....	27

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
4.1 ผลของการใช้โคโทซานและแป้งที่มีต่อสมบัติเชิงโครงสร้างของเยื่อกระดาษขึ้นรูป ที่ผลิตจากเยื่อเยื่อคาลิปต์สและเยื่อข้าวโพด.....	31
4.1.1 ความหนาแน่น.....	31
4.1.2 ความเรียบ.....	32
4.2 ผลของการใช้โคโทซานและแป้งที่มีต่อสมบัติเชิงกลของเยื่อกระดาษขึ้นรูป ที่ผลิตจากเยื่อเยื่อคาลิปต์สและเยื่อข้าวโพด.....	34
4.2.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง.....	34
4.2.2 ความแข็งแรงต่อแรงด้นทะลุ.....	36
4.2.3 ความแข็งแรงต่อแรงฉีก.....	37
4.2.4 ความแกร่ง.....	39
4.3 ผลของการใช้โคโทซานและแป้งที่มีต่อสมบัติด้านการกั้นขวางของเยื่อกระดาษขึ้นรูป ที่ผลิตจากเยื่อเยื่อคาลิปต์สและเยื่อข้าวโพด.....	40
4.3.1 ความต้านทานอากาศไหลผ่าน.....	40
4.3.2 การดูดซึมน้ำและมุ่มสัมพัทธ์ของน้ำ.....	41
4.3.3 การดูดซึมน้ำมันและมุ่มสัมพัทธ์ของน้ำมัน.....	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	46
5.1.1 การเปรียบเทียบสมบัติเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์สและ เยื่อข้าวโพด.....	46
5.1.2 การใช้แป้งเป็นสารเติมแต่งในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูป.....	46
5.1.3 การใช้โคโทซานเป็นสารเติมแต่งในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูป.....	46
5.2. ข้อเสนอแนะ.....	47
รายการอ้างอิง.....	48
ภาคผนวก.....	51
ภาคผนวก ก. การคำนวณสารเคมีในการผลิตเยื่อและการเตรียมเยื่อ.....	52
ภาคผนวก ข. ข้อมูลดิบในการทดลอง.....	57
ภาคผนวก ค. ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	63
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	81

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1	15
ตารางที่ 2-2	15
ตารางที่ 4-1	29
ตารางที่ 4-2	29
ตารางที่ 4-3	30

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2-1 ขั้นตอนการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษ.....	4
ภาพที่ 2-2 ชนิดของเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง.....	6
ภาพที่ 2-3 โครงสร้างของเส้นใย.....	7
ภาพที่ 2-4 หินบดเยื่อ.....	9
ภาพที่ 2-5 เครื่องบดเยื่อ (ก) และเครื่องตีเยื่อ (ข)	11
ภาพที่ 2-6 โครงสร้างโมเลกุลของ เซลลูโลส ไคติน และ ไคโทซาน.....	18
ภาพที่ 2-7 กระบวนการ deacylation ของไคติน.....	18
ภาพที่ 3-1 การเตรียมน้ำเยื่อ การขึ้นแผ่นทดสอบและการทดสอบสมบัติกระดาษ ตามหัวข้อ 3.3.3, 3.3.4 และ 3.3.5.....	27
ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อ ความหนาแน่นของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน.....	31
ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อ ความเร็วของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน.....	32
ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อ ความแข็งแรงต่อแรงดึงของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน.....	34
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อ ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน.....	36
ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อ ความแข็งแรงต่อแรงฉีกของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน.....	37
ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อ ความแกร่งของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน.....	39
ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อ ความต้านทานอากาศไหลผ่านของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน.....	40
ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อ ค่าการดูดซึมน้ำของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน.....	41
ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อ ค่ามัมส์สัมผัสของหยดน้ำของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน.....	42

ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อ	
ค่าการดูดซึมน้ำมันของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน.....	43
ภาพที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อ	
ค่ามอดุลัสของหยดน้ำมันของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน.....	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อกล่าวถึงกระดาษโดยทั่วไปแล้วผู้คนจะนึกถึงกระดาษที่อยู่ในรูปของกระดาษที่ใช้สำหรับพิมพ์หรือเขียนเป็นส่วนมาก แต่ในความเป็นจริงแล้วกระดาษสามารถอยู่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดโดยไม่ได้จำกัดอยู่ในรูปของสิ่งพิมพ์เพียงอย่างเดียว กระดาษสามารถใช้เป็นวัสดุกันกระแทกให้กับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งใช้เป็นวัสดุในการดูดซับของเหลวต่าง ๆ ได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้กระดาษที่สูงทำให้วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นกระดาษต้องมีปริมาณสูงตามไปด้วย วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตกระดาษภายในประเทศคือต้นยูคาลิปตัสซึ่งต้องมีการปลูกขึ้นเพื่อผลิตกระดาษโดยเฉพาะ ทางผู้วิจัยจึงเห็นว่าหากมีวัสดุทางเลือกที่สามารถนำมาผลิตเยื่อกระดาษได้โดยเป็นวัสดุที่เหลือใช้ก็จะเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนในการผลิตได้

เยื่อกระดาษขึ้นรูปเป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ในการเป็นวัสดุกันกระแทกให้กับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หรือ ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ วัตถุดิบที่นำมาผลิตสามารถใช้ได้ทั้งเยื่อกระดาษรีไซเคิลหรือเยื่อกระดาษบริสุทธิ์ก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดและสมบัติของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ต้องการ

ต้นข้าวโพดเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีการศึกษาและค้นคว้าวิจัยว่าเป็นวัสดุที่มีสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นกระดาษได้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำต้นข้าวโพดมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปเนื่องจากประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดกันอย่างมากมายทำให้ต้นข้าวโพดเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีมากมายในประเทศไทย

ไคโทซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติมีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส ทั้งยังสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ในหลายงานวิจัยได้นำเอาไคโทซานมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติกระดาษทั้งที่อยู่ในรูปสารเคลือบผิวกระดาษหรือสารเติมแต่งซึ่งล้วนส่งผลให้กระดาษมีสมบัติที่เปลี่ยนไป เช่น สามารถเพิ่มความแข็งแรงต่อแรงดึง แรงฉีก แรงดันทะลุ งานวิจัยนี้จึงเห็นว่าไคโทซานเป็นสารอีกชนิดที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาเป็นสารเติมแต่งในเยื่อกระดาษขึ้นรูปแทนที่แป้งซึ่งเป็นสารเติมแต่งที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

งานวิจัยนี้จึงได้นำลำต้นข้าวโพดมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปโดยใช้ไคโทซานเป็นสารเติมแต่งโดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้แป้งเป็นสารเติมแต่ง เนื่องจากสาร

ทั้งสองทำหน้าที่ในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับเยื่อกระดาษขึ้นรูป เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ และมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสมบัติของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากลำต้นข้าวโพดเปรียบเทียบกับเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อเยื่อคาลิปต์ส

1.2.2 ศึกษาผลของการใช้โคโทซานและแป้งเป็นสารเติมแต่งในเยื่อกระดาษขึ้นรูป

1.3 ขอบเขต

ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการใช้โคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 500 kDa. และแป้งเป็นสารเติมแต่งในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อลำต้นข้าวโพดและเยื่อเยื่อคาลิปต์ส โดยใช้โคโทซานและแป้งเป็นสารเติมแต่งในปริมาณที่ต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 0.5, 1, 2, 4 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับน้ำหนักเยื่อแห้ง และทำการเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตได้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โคโทซานเป็นสารเติมแต่งและการใช้เยื่อจากลำต้นข้าวโพดในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูป

1.4 ข้อยกเว้น

การทดลองนี้ไม่สามารถนำเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตได้เทียบสมบัติโดยตรงกับเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่มีการผลิตอยู่ในท้องตลาดเนื่องจากไม่สามารถทราบถึงปริมาณและสารเติมแต่งที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปในท้องตลาดได้ รวมถึงวิธีการขึ้นแผ่นกระดาษที่ใช้วิธีเลียนแบบการขึ้นรูปเยื่อกระดาษที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยการใช้แผ่นโลหะประกบกับเยื่อกระดาษและใช้แรงกดและความร้อนจากเครื่อง **compression mold**

1.5 คำจำกัดความ

เยื่อกระดาษขึ้นรูป คือวัสดุที่ผลิตจากเยื่อกระดาษโดยการนำเยื่อกระดาษกระจายในน้ำ จากนั้นเติมสารเติมแต่งต่าง ๆ และนำไปขึ้นรูปด้วยตะแกรงสามมิติทำให้เกิดรูปทรง สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุกันกระแทกหรือบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อจากลำต้นข้าวโพดและเยื่อเยื่อคาลิปต์ส

1.6.2 ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้แป้งเป็นสารเติมแต่งในการผลิตเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากลำต้นข้าวโพดและเยื่อคาลิปต์

1.6.3 ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้โคโทซานเป็นสารเติมแต่งในการผลิตเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากลำต้นข้าวโพดและเยื่อคาลิปต์

1.7 วิธีดำเนินงานวิจัย

1.7.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ

1.7.2 เตรียมเครื่องมือ สารเคมี และอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทดลอง

1.7.3 ศึกษาเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองและทดสอบสมบัติของกระดาษ

1.7.4 วางแผนการทดลองและทำการทดลอง

1.7.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

1.8 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

ผลการทดลองของการใช้โคโทซานและแป้งเป็นสารเติมแต่งในเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์และเยื่อข้าวโพดได้ถูกนำเสนอโดยแบ่งตามตามหัวข้อดังนี้

1.8.1 สมบัติเชิงโครงสร้าง

1.8.1.1 ความหนาแน่น (density)

1.8.1.2 ความเรียบ (smoothness)

1.8.2 สมบัติเชิงกล

1.8.2.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

1.8.2.2 ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength)

1.8.2.3 ความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength)

1.8.2.4 ความแกร่ง (bending stiffness)

1.8.3 สมบัติการกั้นขวาง

1.8.3.1 ความต้านทานอากาศไหลผ่าน (air resistance)

1.8.3.2 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (water absorption)

1.8.3.3 มุมสัมผัสของหยดน้ำ (water contact angle)

1.8.3.4 ความสามารถในการดูดซึมน้ำมัน (oil absorption)

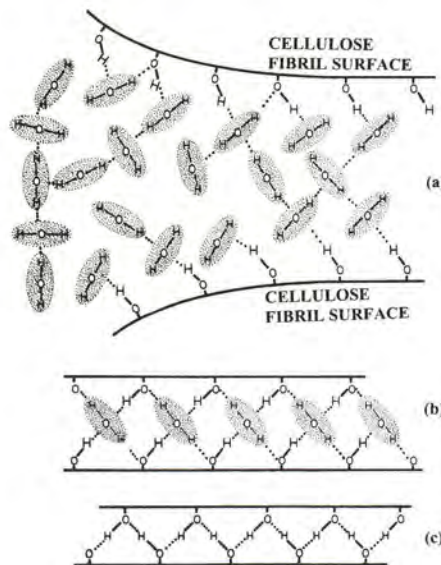
1.8.3.5 มุมสัมผัสของหยดน้ำมัน (oil contact angle)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระดาษและเยื่อกระดาษ

กระดาษโดยทั่วไปหมายถึง วัสดุแผ่นบางที่ถูกขึ้นเป็นรูปร่างโดยการนำแผ่นตะแกรงซ้อนลงไปใต้น้ำที่มีเยื่อกระดาษกระจายตัวอยู่ เมื่อปล่อยให้แห้งน้ำไหลผ่านรูตะแกรง เยื่อกระดาษที่อยู่ด้านบนเมื่อแห้งตัวก็จะกลายเป็นกระดาษ กระบวนการที่เส้นใยสามารถเกาะกันและเกิดเป็นแผ่นกระดาษได้เริ่มจาก เมื่อเส้นใยกระจายตัวอยู่ในน้ำ (ภาพที่ 2-1 (a)) น้ำจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับผิวหน้าของเส้นใยซึ่งเป็นหมู่ไฮดรอกซิล และเมื่อน้ำถูกดึงออกจะทำให้เส้นใยเคลื่อนตัวเข้าหากัน (ภาพที่ 2-1 (b)) จนกระทั่งเมื่อน้ำออกไปหมด ผิวหน้าของเส้นใยจะสร้างพันธะไฮโดรเจนด้วยตัวเองระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (ภาพที่ 2-1 (c))



ภาพที่ 2-1 ขั้นตอนการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษ [1]

2.1.1 ส่วนประกอบของแผ่นกระดาษ

กระดาษโดยทั่วไปมีองค์ประกอบหลักอยู่ 2 ประเภท คือ

2.1.1.1 เส้นใย คือวัสดุที่เป็นองค์ประกอบหลักในเนื้อกระดาษ สามารถผลิตได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น พืช สัตว์ แร่ธาตุ หรือเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งโดยปกติแล้ววัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษเป็นหลักในปัจจุบันคือ พืช

2.1.1.2 วัสดุที่ไม่ใช่เส้นใย ได้แก่ สารเติมแต่งต่าง ๆ สารให้สี สารเติมเต็ม สารกันชื้น สารเพิ่มความแข็งแรง เป็นต้น วัสดุในกลุ่มนี้มีหน้าที่ในการปรับปรุงสมบัติของกระดาษให้ เป็นไปตามต้องการ เช่น ความเรียบ ความต้านทานการซึมของของเหลวและอากาศ สี รวมไปถึง การเพิ่มความแข็งแรงให้กับตัวกระดาษด้วย [1]

2.1.2 แหล่งที่มาของเส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาษ

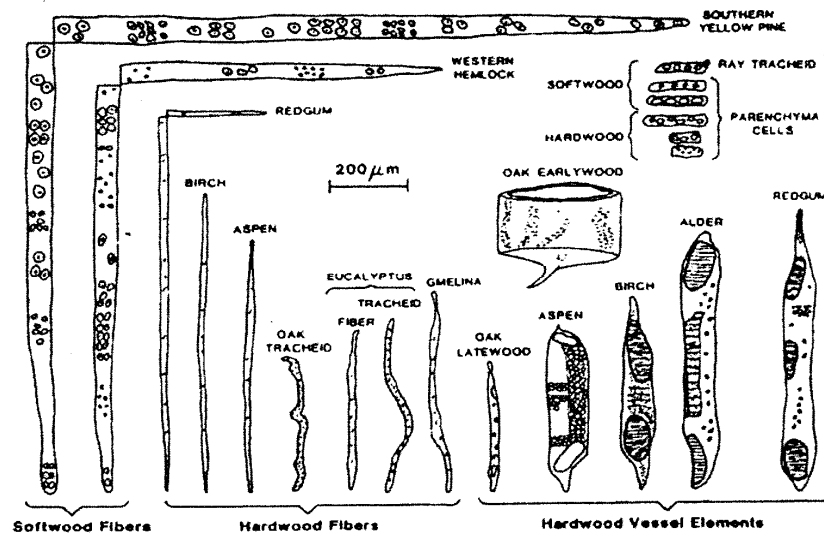
วัตถุดิบประเภทเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษนั้นสามารถนำมาได้จากหลาย แหล่ง เช่น พืช ขนสัตว์ ใยสังเคราะห์ แต่ปัจจุบันวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตกระดาษในระดับ อุตสาหกรรมมักจะได้จากพืชยืนต้น เช่น ยูคาลิปตัส สน ทั้งนี้เส้นใยสามารถผลิตจากพืชล้มลุกได้ เช่น ต้นกล้วย สับปะรด อ้อย โดยส่วนมากเส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาษมักได้จากส่วนที่เป็น ลำต้น ใบ หรือแม้แต่ผล ซึ่งสามารถจำแนกเส้นใยที่ได้จากพืชออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.2.1 เส้นใยที่ได้มาจากเนื้อไม้ (wood fiber)

เป็นเส้นใยที่ผลิตจากเนื้อไม้ที่ได้จากพืชเมล็ดเปลือยในกลุ่มของสนและ พืชใบเลี้ยงคู่ ซึ่งไม้ยืนต้นทุกชนิดสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษได้ โดยสามารถ จำแนกประเภทของไม้ยืนต้นได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือ

ก) พืชในตระกูลไม้เนื้อแข็ง (hardwood) หรือ angiosperm เป็นพืชที่มี ใบกว้าง เป็นได้ทั้งพืชผลัดใบและไม่ผลัดใบ โดยมีเซลล์ประเภทลิบริฟอร์มไฟเบอร์ (libriform fiber) และ ไฟเบอร์เทรคีด (fiber tracheid) ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับลำต้น และจะมีเซลล์ประเภท เวสเซล (vessel element) เป็นเซลล์ที่มีขนาดกว้าง หัวท้ายเปิดทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำ ซึ่งเซลล์ ทั้งสองชนิดมีขนาดสั้นเมื่อเทียบกับเซลล์ในไม้เนื้ออ่อน (ภาพที่ 2-2) พืชในตระกูลนี้ได้แก่ ไม้ ยูคา ลิปตัส โดยเมื่อนำไม้จำพวกนี้มาผลิตเป็นกระดาษจะได้กระดาษที่มีผิวหน้าเรียบ เส้นใยกระจายตัว ในแผ่นกระดาษได้สม่ำเสมอ แต่มีความแข็งแรงต่ำเมื่อเทียบกับกระดาษที่ผลิตจากไม้เนื้ออ่อน ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการนำมาผลิตเป็นกระดาษพิมพ์เขียน

ข) พืชตระกูลไม้เนื้ออ่อน (softwood) หรือ gymnosperm เป็นพืชที่มี ลักษณะใบเรียวยาวเล็กเป็นเข็ม อยู่ในภูมิภาคหนาว เป็นพืชที่ไม่ผลัดใบ โดยเซลล์ลำเลียงน้ำและ ให้ความแข็งแรงแก่ลำต้นคือ เทรคีด (tracheid) มีลักษณะเป็นเซลล์ยาวหัวท้ายปิดมีรูรอบๆผนัง เซลล์ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง พืชจำพวกนี้ได้แก่ สน เมื่อนำไปผลิต กระดาษจะให้กระดาษที่มีแข็งแรงสูง [2]



ภาพที่ 2-2 ชนิดของเซลล์ในไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง [3]

2.1.2.2 เส้นใยที่ไม่ได้มาจากเนื้อไม้ (non-wood fiber)

เป็นเส้นใยที่ได้มาจากคือพืชที่มีลักษณะเป็นไม้ล้มลุก มีอายุสั้น สามารถปลูกหมุนเวียนได้ โดยแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

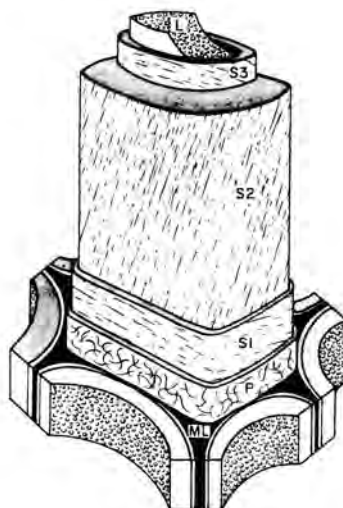
ก) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรมทางการเกษตร (agricultural and agro-industrial wasted) เกิดจากการทำการเกษตร เมื่อผ่านการเก็บเกี่ยวแล้ว ผลผลิตก็จะเหลือส่วนที่เป็นวัสดุเหลือใช้ เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด เป็นต้น หรืออาจเกิดจากการแปรรูปจากอุตสาหกรรมทางการเกษตรแล้วเหลือส่วนที่เป็นวัสดุเหลือใช้ เช่น ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง เป็นต้น

ข) พืชล้มลุกที่อยู่ตามธรรมชาติ ได้แก่ หญ้าต่างๆ ต้นกก ต้นอ้อ ต้นไผ่ เป็นต้น

ค) พืชเส้นใย (bast fiber plant) เป็นพืชที่ประกอบด้วยเส้นใยยาวที่เปลือกของลำต้น เช่น ป่าน ปอกระเจา ปอแก้ว เป็นต้น นอกจากนี้ยังมี ฝ้าย หนุ่น ซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบที่ให้เส้นใยยาวด้วย

2.1.3 โครงสร้างของเส้นใย (fiber structure)

โครงสร้างของเส้นใยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชั้นหลัก ๆ ได้แก่ ชั้นมิดเดิลลามেলা (middle lamella) ชั้นผนังเซลล์ (cell wall) และ ลูเมน (lumen) (ภาพที่ 2-3)



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างของเส้นใย [1]

2.1.3.1 ชั้นมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella (ML)) เป็นชั้นที่มีลิกนิน อยู่ในปริมาณสูง อยู่ชั้นนอกสุดทำหน้าที่เชื่อมเส้นใยต่างๆ เข้าด้วยกัน

2.1.3.2 ชั้นผนังของเส้นใย (cell wall) ชั้นของผนังเซลล์ประกอบด้วย 2 ชั้นหลักๆ คือ ผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ (primary cell wall) และผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ (secondary cell wall)

ก) ผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ (primary cell wall (P)) เป็นผนังเซลล์ชั้นที่มีลักษณะบางมาก สร้างขึ้นตั้งแต่ระยะกำลังเติบโตจนถึงโตเต็มที่ประกอบด้วยเส้นใยขนาดเล็ก (microfibril) เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ

ข) ผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ (secondary cell wall (S)) เป็นชั้นที่ประกอบด้วยเส้นใยขนาดเล็ก (microfibril) เป็นหลัก โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นสามชั้นย่อยคือ ชั้น S_1 , S_2 และ S_3 โดยชั้น S_1 จะเป็นชั้นที่อยู่ด้านนอกสุดมีความหนาประมาณ 0.1-0.2 มิลลิเมตร ชั้น S_2 เป็นชั้นที่อยู่ตรงกลางระหว่างชั้น S_1 และ S_3 เป็นส่วนประกอบหลักของเส้นใยมีความหนามาก ชั้น S_3 เป็นชั้นที่อยู่ในสุดมีความหนาประมาณ 0.1 มิลลิเมตร

2.1.3.3 ชั้นลูเมน (lumen) เป็นที่อกกลางที่อยู่ใจกลางของเส้นใยถัดจากผนังเส้นใย ชั้นที่ 2 ทำหน้าที่ในการส่งผ่านน้ำ อาหาร และ สารเคมี [1]

2.1.4 การผลิตเยื่อกระดาษ

การผลิตเยื่อกระดาษ คือกระบวนการในการแปรสภาพจากวัตถุดิบประเภทเส้นใยไปเป็นเยื่อกระดาษ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.1.4.1 การผลิตเยื่อแบบเชิงกล คือ การผลิตเยื่อโดยการใช้แรงกลเป็นหลักโดยอาจเพิ่มความร้อน แรงดัน หรือ สารเคมีเข้ามาในกระบวนการผลิตด้วย การผลิตนี้จะกระทำโดยการนำท่อนไม้ไปเสียดสีกับหินบด (grinding stone) ดังแสดงในภาพที่ 2-4 หรือฟันทบ (refiner) เพื่อที่จะทำให้เส้นใยในเนื้อไม้แบกสลายตัวออกจากกัน เยื่อกระดาษที่ได้จากการผลิตด้วยกระบวนการนี้จะมีลักษณะเส้นใยที่เล็กและสั้นเนื่องจากเส้นใยได้รับความเสียหายมากจากแรงกลที่ใช้ในการผลิต แต่มีข้อดีคือ ได้ผลผลิต (yield) สูง การเพิ่มความร้อนและแรงดันในกระบวนการผลิตจะทำให้เนื้อไม้อ่อนตัวลง ซึ่งส่งผลให้ใช้แรงน้อยลงในการผลิตเยื่อ และเส้นใยที่ผลิตได้จะมีความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้แรงกลในการผลิตเพียงอย่างเดียว และหากมีการเพิ่มขึ้นตอนการแช่ไม้ในสารเคมีก่อนการผลิตเยื่อจะส่งผลให้การใช้พลังงานในการผลิตเยื่อลดลงและความยาวของเส้นใยเยื่อที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นเช่นกันเนื่องจากสารเคมีจะเข้าไปละลายลิกนินที่ทำหน้าที่ในการยึดเส้นใยไว้ด้วยกันเส้นใยจึงหลุดออกจากกันง่ายขึ้น วิธีการผลิตเยื่อแบบเชิงกลสามารถแยกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้ [1]

- **SGW (Stone Groundwood)** การผลิตเยื่อเชิงกลโดยใช้หินบดเพียงอย่างเดียวที่ความดันบรรยากาศ
- **PGW (Pressurized Groundwood)** การผลิตเยื่อที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียสภายใต้แรงดัน
- **RMP (Refiner Mechanical Pulp)** การผลิตเยื่อโดยใช้ฟันทบเพียงอย่างเดียว
- **TRMP (Thermo-Refiner Mechanical Pulp)** การผลิตเยื่อโดยใช้ฟันทบและมีการอบชื้นไม้ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ
- **PRMP (Pressure Refined Mechanical Pulp)** การผลิตเยื่อโดยใช้ฟันทบที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการอบไอน้ำก่อนการผลิตเยื่อ
- **TMP (Thermo-Mechanical Pulp)** การผลิตเยื่อโดยฟันทบโดยมีการอบไอน้ำกับชิ้นไม้ที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส และทำการผลิตเยื่อชิ้นแรกด้วย

คุณภาพมากกว่า 100 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการผลิตเยื่อชั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิปกติ

- **PPTMP (Pressure/Pressure Thermo-Mechanical Pulp)** การผลิตเยื่อด้วยการอบไอน้ำให้กับชิ้นไม้ที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส และผลิตเยื่อทั้งของชั้นตอนด้วยฟันบดที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส
- **CRMP (Chemi-Refiner- Mechanical Pulp)** การผลิตเยื่อด้วยฟันบดที่แรงดันบรรยากาศโดยมีการแช่ชิ้นไม้ลงในสารเคมีก่อนการผลิตเยื่อ
- **CTMP (Chemi-Thermo-Mechanical Pulp)** การผลิตเยื่อโดยใช้ฟันบดที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนแรก และ ที่ความดันบรรยากาศ ในขั้นตอนที่ 2 โดยมีการแช่ชิ้นไม้ลงในสารเคมีและอบด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียสก่อนการผลิตเยื่อ
- **TCMP (Thermo-Chemi-Mechanical Pulp)** การผลิตเยื่อโดยใช้ฟันบดที่ความดันบรรยากาศ 2 โดยมีการแช่ชิ้นไม้ลงในสารเคมีและอบด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียสก่อนการผลิตเยื่อ
- **TMCP (Thermo-Mechanical-Chemi Pulp)** การผลิตเยื่อด้วยฟันบดในขั้นตอนแรกที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส จากนั้นแช่ลงในสารเคมีที่ความดันบรรยากาศ และจึงนำไปผลิตเยื่อในชั้นที่ 2 ที่ความดันบรรยากาศ
- **LFCMP (Long Fiber Chemi-Mechanical Pulp)** หรือ **CTLF (Chemically Treated Long Fiber)** การแยกเส้นใยยาวออกจากเยื่อเชิงกลจากนั้นผ่านกระบวนการผลิตด้วยสารเคมีและฟันบด



ภาพที่ 2-4 หินบดเยื่อ (grinding stone) [1]

2.1.4.2 การผลิตเยื่อแบบเคมี คือ การใช้สารเคมีในการผลิตเยื่อกระดาษ โดยสารเคมีทำหน้าที่หลักในการละลายลิกนินซึ่งทำหน้าที่เหมือนกาวประสานเส้นใยเข้าไว้ด้วยกัน เมื่อสารเคมีเข้าไปละลายลิกนินแล้วเส้นใยในเนื้อไม้ก็จะแยกตัวออกจากกันเกิดเป็นเยื่อกระดาษ วิธีการผลิตเยื่อแบบเคมีสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

ก) การต้มเยื่อแบบกรด (**acid pulping**) หรือ ซัลไฟท์ (**sulfite pulping**) คือการใช้กรดซัลฟิวรัส (**sulfurous acid**) ในการทำปฏิกิริยากับเส้นใยไม้ดังนี้

- กรดซัลฟิวรัสที่อยู่ในรูปอิสระทำปฏิกิริยากับลิกนินทำให้เกิดสารประกอบ กรดลิกโนซัลโฟนิก (**lignosulfonic acid**) ที่มีสมบัติละลายน้ำได้น้อย
- จากการที่มีแคลเซียมอยู่ในระบบทำให้เกิดเกลือลิกโนซัลโฟนิกที่มีสมบัติในการละลายน้ำมากขึ้น
- สารประกอบระหว่างลิกนินและซัลโฟนิก จะค่อยๆแตกตัวเป็นโมเลกุลย่อยๆจากกระบวนการไฮโดรไลซิสทำให้ละลายน้ำได้มากขึ้น
- เฮมิเซลลูโลส (**hemicellulose**) จะถูกไฮโดรไลสไปเป็นน้ำตาลที่สามารถละลายน้ำได้

ผลผลิตเยื่อที่ได้จากการผลิตแบบกรดจะอยู่ที่ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ เยื่อที่ได้จะมีความขาวสว่างสูงจึงง่ายในการนำไปฟอกเยื่อต่อ และเนื่องด้วยการผลิตเยื่อวิธีนี้มีการทำลายเฮมิเซลลูโลสมาก ทำให้เยื่อที่ผลิตได้มีอัตราส่วนของเซลลูโลสสูง [3, 4]

ข) การต้มเยื่อแบบด่าง (**alkaline pulping**) คือการใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (**sodium hydroxide**) เป็นสารเคมีหลักในการทำปฏิกิริยากับเส้นใยไม้โดยแยกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ข-1) การต้มเยื่อแบบโซดา (**soda process**) เป็นการต้มเยื่อโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (**NaOH**) ทำปฏิกิริยากับลิกนิน ให้เส้นใยเกิดการบวมตัวและลิกนินแตกตัวออกจากเส้นใย เส้นใยจึงแยกออกจากกันเป็นสายเดี่ยว

ข-2) การต้มเยื่อแบบคราฟท์ (**kraft process**) เป็นการต้มเยื่อที่ถูกพัฒนามาจากการต้มเยื่อแบบโซดา กล่าวคือมีการใช้ โซเดียมซัลไฟด์ (**Na₂S**) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อ โดยโซเดียมซัลไฟด์จะช่วยในการเร่งปฏิกิริยากำจัดลิกนินทำให้เยื่อที่ผลิตได้จากวิธีนี้มีความแข็งแรงสูง โดยปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดการเกิดปฏิกิริยาของการต้มเยื่อคือ

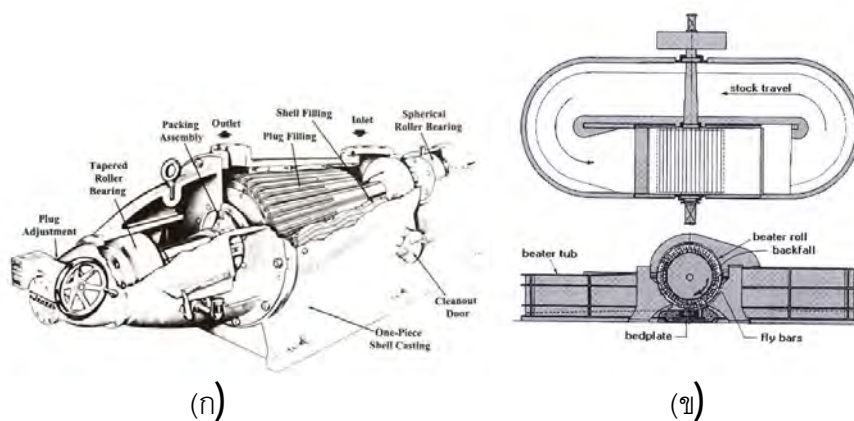
อุณหภูมิและความเข้มข้นของต่าง โดยทุกๆ 10 องศาเซลเซียส ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการสลายลิกนินเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 เท่าตัว [5,6]

2.1.5 การผลิตกระดาษ

2.1.5.1 การเตรียมน้ำเยื่อ (stock preparation) คือการนำเยื่อกระดาษมาปรับสภาพเพื่อให้เหมาะสมในการนำไปขึ้นแผ่นกระดาษมีขั้นตอนดังนี้

ก) การกระจายเยื่อ (dispersion) คือการนำเยื่อมากระจายตัวเพื่อให้กลุ่มเส้นใยแยกออกจากกันเป็นเส้นใยเดี่ยว โดยใช้แรงกลเป็นหลัก เครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้แก่ **pulper** หรือ/และ **deflaker**

ข) การบดหรือตีเยื่อ (**beater or refiner**) คือการนำเยื่อที่ผ่านการกระจายแล้วมาตีหรือบด (ภาพที่ 2-5) ทำให้เส้นใยเกิดการแตกแขนง พื้นผิวของเส้นใยเกิดการปริแตก ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านและทำให้เส้นใยเกิดการบวมพองและอ่อนนุ่ม จึงส่งผลให้เส้นใยสามารถสร้างพันธะต่อกันได้มากขึ้น ส่งผลให้กระดาษที่ผลิตได้มีความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้ปริมาณของการบดเยื่อแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป การบดเยื่อที่มากจนเกินไปจะทำให้เส้นใยมีขนาดเล็ก และส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงน้อยลง



ภาพที่ 2-5 เครื่องบดเยื่อ (ก) และเครื่องตีเยื่อ (ข) [1]

หลังจากขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อแล้ว น้ำเยื่อจะถูกปรับความเข้มข้นและเติมสารเคมีต่างๆ เพื่อนำไปขึ้นเป็นแผ่นกระดาษต่อไป

2.1.6 การขึ้นแผ่นกระดาษ (sheet forming)

เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องชนิด **Fourdrinier** ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ

2.1.6.1 ส่วนเปียก (wet end) ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนน้ำเยื่อให้กลายเป็นแผ่นเยื่อหมาด โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

ก) ส่วนขึ้นแผ่น (**forming section**) ส่วนที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยน น้ำเยื่อให้กลายเป็นแผ่นเยื่อ โดยเมื่อน้ำเยื่อถูกฉีดออกจาก **Head box** ลงบนตะแกรง (**wire**) น้ำจะไหลผ่านตะแกรงตกลงสู่ด้านล่างส่วนเยื่อจะติดอยู่ด้านบน ตะแกรงทำให้เกิดแผ่นเยื่อขึ้นมาด้านบน

ข) ส่วนกดรีด (**press section**) เป็นส่วนที่ต่อจากส่วนขึ้นแผ่น ประกอบด้วยลูกกลิ้งและผ้าสักหลาด (**felt**) ที่ทำหน้าที่หลักในการกดรีดเพื่อกำจัดน้ำส่วนเกินออกจากแผ่นเยื่อ

2.1.6.2 ส่วนแห้ง (dry end) คือส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนจากแผ่นเยื่อไปเป็นแผ่นกระดาษ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

ก) ส่วนทำแห้ง (**drying section**) เป็นส่วนที่ประกอบด้วยลูกกลิ้งหลายๆ ลูกทำหน้าที่ในการให้ความร้อนกับแผ่นเยื่อเพื่อให้น้ำระเหยออกจากแผ่นเยื่อและกลายเป็นแผ่นกระดาษในที่สุด

ข) ส่วนขัด (**calendering**) เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากส่วนทำแห้ง มีหน้าที่หลักในการควบคุมความหนาและสมบัติผิวหน้าของกระดาษ ทำได้โดยการผ่านแผ่นกระดาษไประหว่างลูกกลิ้ง (**nip**) ซึ่งจำนวนและลักษณะผิวหน้าของลูกกลิ้งที่ใช้จะขึ้นอยู่กับการสมบัติของกระดาษที่ต้องการ

ค) ส่วนเข้าม้วน (**winding**) เป็นส่วนที่ต่อจากส่วนขัด ทำหน้าที่ในการเก็บกระดาษที่ผลิตได้ให้อยู่ในรูปม้วนกระดาษ [1]

2.2 ข้าวโพด

ข้าวโพด (*Zea mays L.*) เป็นธัญพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย นิยมปลูกกันมากในภาคเหนือ กลาง และ ตะวันออกเฉียงเหนือ ถูกนำเข้ามายังประเทศไทยโดยพ่อค้าชาวโปรตุเกสเมื่อประมาณ 400 ปีมาแล้ว และเนื่องด้วยประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงทำให้สามารถปลูกข้าวโพดได้ตลอดทั้งปีเนื่องจากมีแสงแดดในปริมาณที่มากพอ มูลค่าการส่งออกของข้าวโพดสำหรับประเทศไทยนั้นมีปริมาณสูงใกล้เคียงกับข้าวเจ้าและยางพารา ดังนั้นข้าวโพดจึงจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยอีกชนิดหนึ่ง โดยในปี 2550 มีผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายในประเทศถึง 3.9 ล้านตัน [7]

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นพืชที่อยู่ใน วงศ์ (family) Poaceae ซึ่งอยู่ในวงศ์เดียวกับหญ้าและธัญพืชชนิดต่าง ๆ เมื่อนำเมล็ดข้าวโพดไปเพาะจะพบว่ารากจะงอกออกมาจากเมล็ดก่อนส่วนอื่นๆ จากนั้นหน่อหรือลำต้นจะงอกออกมาจากฝั่งตรงข้าม รากที่งอกออกมานี้จะเป็นรากชั้นต้น (primary root) หลังจากข้าวโพดเจริญเติบโตเป็นเวลา 7-10 วัน รากถาวรจะงอกออกมาและเมื่อข้าวโพดเจริญเติบโตเต็มที่รากที่เจริญจะแผ่ออกไปโดยรอบประมาณ 100 เซนติเมตร และฝังลึกลงไปใต้ดินถึง 300 เซนติเมตร โดยความสามารถในการแผ่กระจายของรากจะขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ความชื้น และปริมาณน้ำในดินเป็นหลัก [8]

ลำต้นของข้าวโพดมีลักษณะเป็นแท่งตั้งตรงแข็งแรง ใต้น้ำหนักมีลักษณะคล้ายฟองน้ำสีขาว มีเซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและอาหารกระจายอยู่ทั่วไป มีความสูงตั้งแต่ 60 เซนติเมตร ไปจนถึงกว่า 6 เมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของข้าวโพด ข้อของข้าวโพดเป็นที่กำเนิด ราก ลำต้นใหม่ และฝัก [8]

ใบของข้าวโพดมีส่วนประกอบคือ ตัวใบ กาบใบ และหูใบ มีลักษณะคล้ายกับใบของพืชในตระกูลหญ้า ใบของข้าวโพดมีหน้าที่ในการระบายน้ำและสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อผลิตอาหาร เมื่อต้นข้าวโพดขาดน้ำ ใบของต้นข้าวโพดจะมีการม้วนตัวขึ้นด้านบนเพื่อลดการคายน้ำ [8]

ดอกข้าวโพดมีลักษณะแยกกันของดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแต่อยู่ภายในต้นเดียวกัน ดอกตัวผู้จะมีลักษณะเป็นช่ออยู่ด้านบนของลำต้นมีละอองเรณูทำหน้าที่ในการสืบพันธุ์ ดอกตัวเมียของต้นข้าวโพดจะรวมตัวกันเป็นช่ออยู่บริเวณกลางลำต้นประกอบด้วยรังไข่และเส้นไหมโดยเส้นไหมจะมีลักษณะเป็นยางเหนียวๆ ทำหน้าที่ในการดักจับละอองเรณูจากเกสรตัวผู้ที่ปลิวมา

ตามลมเพื่อจะไปสัมผัสและผสมกับไข่ เมื่อไข่ได้รับการผสมก็จะกลายเป็นเมล็ดและซ่อ ดอกตัวเมียก็จะกลายเป็นฝักข้าวโพด [8]

2.2.2 การใช้ประโยชน์จากข้าวโพด

2.2.2.1 ใช้เป็นอาหารมนุษย์ ในอเมริกาและยุโรปนิยมการบริโภคข้าวโพดแบบแปรรูปเป็นอาหารหลัก แต่ในประเทศไทยนิยมการบริโภคฝักสดโดยนำมาต้มหรือย่าง ทั้งนี้ยังมีการนำฝักอ่อนของข้าวโพดมาประกอบอาหารอีกด้วย

2.2.2.2 ใช้เป็นอาหารสัตว์ โดยใช้เมล็ด หรือต้นสดที่ผ่านการหมักกับน้ำตาล ซึ่งในประเทศไทยข้าวโพดชนิดนี้มีปริมาณในการปลูกมากเมื่อเทียบกับข้าวโพดที่ใช้เป็นอาหารมนุษย์

2.2.2.3 ใช้ในอุตสาหกรรม โดยใช้เมล็ดข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ เช่น การผลิตแป้ง น้ำตาล อาหารกระป๋อง น้ำมัน เป็นต้น ส่วนลำต้นสามารถนำไปผลิตเป็น กระดาษ หรือ วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ด้วย [8]

2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทั่วไปของเส้นใยในต้นข้าวโพด

องค์ประกอบทางเคมีของต้นข้าวโพดมีปริมาณเซลลูโลส (cellulose) และเพนโทซาน (pentosan) มาก ส่วนลิกนิน (lignin) นั้นมีปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งดังแสดงในตารางที่ 2-1 ลักษณะของเส้นใยของต้นข้าวโพดนั้นมีความยาวใกล้เคียงกับเส้นใยในไม้เนื้อแข็งแต่มีขนาดสั้นกว่าเส้นใยในไม้เนื้ออ่อน และมีความกว้างของเส้นใยน้อยกว่าเส้นใยในไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน ดังแสดงในตารางที่ 2-2 ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าลำต้นข้าวโพดเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ

ในการทดลองนี้ใช้ต้นข้าวโพดไร่ชนิดหัวแข็งมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ เนื่องจากข้าวโพดชนิดนี้นิยมปลูกกันมากในประเทศไทยเพื่อนำไปเป็นอาหารสัตว์ทำให้มีต้นข้าวโพดชนิดนี้เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก และลักษณะเส้นใยของข้าวโพดชนิดนี้ยังมีความยาวใกล้เคียงกับเส้นใยชนิดสั้นซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษอีกด้วย [7,8]

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากแหล่งต่างๆ [9]

แหล่งที่มาของเส้นใย	ปริมาณเซลลูโลส (%)	ปริมาณลิกนิน (%)	ปริมาณเพนโทซาน (%)
ไม้เนื้ออ่อน (softwood)	40-52	26-32	18-12
ไม้เนื้อแข็ง (hardwood)	38-50	18-28	15-25
ต้นข้าวโพด (cornstalk)	46-50	16-17	27-28

ตารางที่ 2-2 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใยจากแหล่งต่างๆ [9]

แหล่งที่มาของเส้นใย	ความยาวเฉลี่ยของเส้นใย (มิลลิเมตร)	ความกว้างของเส้นใย (ไมโครเมตร)
ไม้เนื้ออ่อน (softwood)	2.7-4.6	32-43
ไม้เนื้อแข็ง (hardwood)	0.7-1.6	20-40
ต้นข้าวโพด (cornstalk)	1.0-1.5	18-22

2.3 เยื่อกระดาษขึ้นรูป

เยื่อกระดาษขึ้นรูปคือ เยื่อกระดาษที่นำมาขึ้นรูปทรงที่มีมิติเพื่อนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ หรือวัสดุกันกระแทก เยื่อกระดาษที่นำมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษขึ้นรูปนั้นอาจมาจากเยื่อกระดาษบริสุทธิ์ (virgin pulp) หรือเป็นเยื่อรีไซเคิล (recycle pulp) ก็ได้ ทั้งนี้ชนิดของเยื่อกระดาษที่ใช้จะขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการเมื่อผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ [10]

2.3.1 วิธีการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูป

ขั้นตอนการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปนั้นเรียบง่ายและมีความคล้ายคลึงกับการผลิตกระดาษแบบโบราณโดยแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

2.3.1.1 Plain molding เป็นการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์และตะแกรงประกบกัน โดยน้ำเยื่อจะถูกป้อนเข้าตะแกรงโดยท่อส่งหรืออาจเป็นการตักจากบ่อจ่ายน้ำเยื่อก็ได้ หลังจากขึ้นรูปแล้วเยื่อกระดาษจะถูกลำเลียงลงสายพานไปยังหน่วยทำแห้งต่อไป

2.3.1.2 Precision molding เป็นการขึ้นรูปโดยการใช้น้ำเยื่อแม่พิมพ์และตะแกรงประกบกัน โดยเมื่อน้ำเยื่อถูกป้อนเข้าตะแกรงแล้วจะมีแม่พิมพ์ตามมาประกบและมีการใช้ระบบสูญญากาศในการดึงน้ำออกในการขึ้นรูป จากนั้นเยื่อกระดาษจะยังไม่ถูกนำออกจากแม่พิมพ์และจะมีแม่พิมพ์อีกชุดตามมาประกบและใช้ความร้อนในการทำแห้ง ทำให้การขึ้นรูปด้วยวิธีการนี้ได้ผิวหน้าเรียบ มีความหนาแน่นสูง

2.3.2 ชนิดของเยื่อกระดาษขึ้นรูป

2.3.2.1 Thick wall เป็นเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่มีความหนาตั้งแต่ $3/16$ นิ้ว ถึง $1/2$ นิ้ว มีหน้าที่หลักในการเป็นวัสดุกันกระแทกในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักมาก ด้านหนึ่งมีผิวหน้าขรุขระ ส่วนอีกด้านมีผิวหน้าค่อนข้างเรียบ ใช้เยื่อกระดาษรีไซเคิลเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต

2.3.2.2 Transfer mold เป็นเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่มีความหนาตั้งแต่ $1/16$ นิ้ว ถึง $3/16$ นิ้ว เป็นเยื่อกระดาษขึ้นรูปชนิดที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบัน มักใช้เป็นวัสดุกันกระแทกในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น โทรศัพท่มือถือ ลังไข่ เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยมีกระบวนการผลิตคือ เมื่อน้ำเยื่อถูกจ่ายมาที่ตะแกรงขึ้นรูป (mold) จะมีการใช้แรงสูญญากาศในการดูดน้ำออกและดึงเยื่อกระดาษที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วออกจากตะแกรงขึ้นรูป โดยตะแกรงขึ้นรูปในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปชนิดนี้จะผลิตจากตะแกรงที่มีความละเอียดสูงทำให้ได้ผิวหน้าของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่มีผิวค่อนข้างเรียบ วัสดุที่ใช้ในการผลิตมักเป็นหนังสือพิมพ์ที่ใช้แล้ว

2.3.2.3 Thermoformed fiber เป็นเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่มีความบางที่สุดมีผิวหน้าเรียบเหมือนพลาสติก มีคุณภาพสูง มีวิธีการผลิตคือ เมื่อเยื่อกระดาษถูกขึ้นรูปในตะแกรงขึ้นรูปแล้วเยื่อกระดาษจะถูกทำให้แห้งภายในตัวตะแกรงขึ้นรูปทันทีโดยการใช้น้ำแม่พิมพ์ตัวผู้มากดทับด้วยแรงดันและความร้อนทำให้ผิวหน้าของเยื่อกระดาษเกิดเป็นผิวเรียบขึ้นมา

ในประเทศไทยได้มีการใช้เยื่อกระดาษจากขานอ้อยมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษขึ้นรูปเพื่อใช้เป็นภาชนะใส่อาหารแบบชั่วคราว รวมถึงมีการใช้เยื่อกระดาษรีไซเคิลในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ไป ดังนั้นจึงเห็นว่าเยื่อจากลำต้นข้าวโพดน่าจะเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูป [11, 12]

2.3.3 สารเติมแต่งที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูป

ในเยื่อกระดาษขึ้นรูปนอกจากจะประกอบด้วยเส้นใยแล้วยังมีส่วนที่เป็นสารเติมแต่งที่เพิ่มเข้ามาเพื่อทำให้เยื่อกระดาษขึ้นรูปมีสมบัติเป็นไปตามต้องการ โดยมีการใช้สารเติมแต่งดังนี้

2.3.3.1 สารเพิ่มความแข็งแรง (binding agent) สารที่อยู่ในกลุ่มนี้ เช่น แป้ง ทำหน้าที่เสมือนกาวเพิ่มความแข็งแรงให้เยื่อกระดาษขึ้นรูป

2.3.3.2 สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก (wet strength agent) สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ในการเพิ่มความแข็งแรงของเยื่อกระดาษขึ้นรูปในขณะเปียกสารในกลุ่มนี้ได้แก่ **polyamidoamine-epichlorohydrin (PAE)**

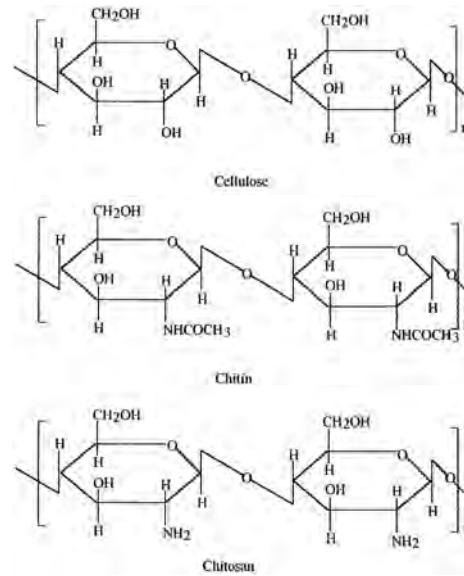
2.3.3.3 สารกั้นซีม (sizing agent) ทำหน้าที่ในการเพิ่มความสามารถในการต้านการซีมน้ำของเยื่อกระดาษขึ้นรูป สารในกลุ่มนี้ได้แก่ **Alkyl Ketene Dimer (AKD)**

2.4 ไคตินและไคโทซาน

ไคติน (**chitin**) และ ไคโทซาน (**chitosan**) เป็นพอลิเมอร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส เนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักของสิ่งมีชีวิตที่มีกระดูกหุ้มลำตัว (**exoskeleton**) เช่น กุ้ง ปู แมลง แคนปลาหมึก ทั้งนี้ยังพบในผนังเซลล์ของเห็ด รา และสาหร่ายบางชนิดด้วย

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบไปด้วยหน่วย **2-acetamido-2deoxy- β -D-glucose** ต่อกันด้วยพันธะ β (1 \rightarrow 4) ไคตินสามารถย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ไคตินเนส มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่ำและละลายได้ยาก โดยทั่วไปแล้วมีลักษณะโครงสร้างเหมือนเซลลูโลส ยกเว้นตำแหน่งคาร์บอนตัวที่สองที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่ **acetamido** ดังแสดงในภาพที่ 2-6 ไคตินมีลักษณะโดยทั่วไปคือ เป็นของแข็งสีขาว ไม่ยืดหยุ่น

ไคโทซานคือไคตินที่ผ่านการกำจัดหมู่อะซิติลออกจากโมเลกุล ไคตินและไคโทซานเป็นสารที่มีไนโตรเจนอยู่ในปริมาณที่สูง จึงเหมาะที่นำไปใช้เป็นสารคีเลต (**chelating agent**) เพื่อทำหน้ารวมตัวกับโลหะและเนื่องด้วยเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติจึงสามารถย่อยสลายได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกสังเคราะห์ทั่วไป [13]

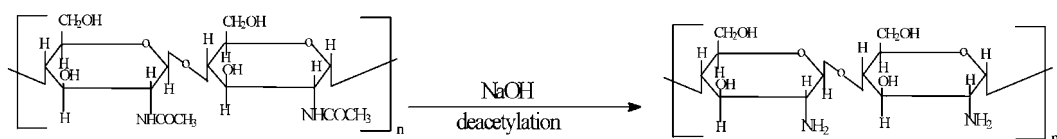


ภาพที่ 2-6 โครงสร้างโมเลกุลของ เซลลูโลส ไคติน และ ไคโทซาน [14]

เนื่องด้วยไคตินและไคโทซานเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติจึงไม่เป็นพิษและสามารถใช้งานกับสิ่งมีชีวิตได้ดี แต่มีข้อจำกัดในด้านความสามารถในการทำปฏิกิริยาและการนำไปผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อให้ได้สมบัติที่เปลี่ยนไป ดังนั้นไคตินและไคโทซานจึงเหมาะสมกับงานที่นำไปใช้โดยไม่ผ่านกระบวนการเป็นจำนวนมาก

2.4.1 การเตรียมไคตินและไคโทซาน

ไคตินที่อยู่ในรูปของเปลือกกุ้ง ปู สามารถเปลี่ยนรูปเป็นไคโทซานด้วยกระบวนการกำจัดหมู่อะซิทิล (**deacetylation**) ซึ่งทำได้โดยการนำไคตินไปทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 กระบวนการ deacetylation ของไคติน [14]

2.4.2 ไคตินและไคโทซานในเชิงอุตสาหกรรม

โดยทั่วไปแล้วในอุตสาหกรรมไคตินและไคโทซานจะถูกผลิตจาก กุ้ง และ ปู เป็นหลักซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อาหารกระป๋อง อาหารแช่แข็ง การผลิตไคโทซาน 1 กิโลกรัม ที่มีเปอร์เซ็นต์ **deacetylation** เท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์จากเปลือกกุ้ง ต้องใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 6.3 กิโลกรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1.8 กิโลกรัม น้ำ 1.4 ตัน [14]

2.4.3 สมบัติของไคตินและไคโทซาน

ไคโทซานสามารถละลายได้ในกรดเจือจางเช่น กรดแอซติก (**acetic acid**) กรดฟอร์มิก (**formic acid**) และสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับกรดเข้มข้นได้ ไคตินมีสัดส่วนของไนโตรเจนอยู่ประมาณร้อยละ 5-8 เมื่อพิจารณาที่โครงสร้างของโมเลกุลไคโทซานจะเห็นว่า มีประจุบวกอยู่ที่หมู่อะมิโน ดังนั้นไคโทซานจึงจัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก (**cationic polymer**) สายโซ่พอลิเมอร์ของไคโทซานนั้นมีการจัดเรียงตัวแตกต่างกันโดยแบ่งได้ดังนี้

2.4.3.1 แบบแอลฟา คือการเรียงตัวของสายพอลิเมอร์ไปในทิศทางสวนทางกัน สลับไปมาทำให้มีความสมมาตร มีความเสถียรทางเคมีสูง มีความแข็งแรงสูง พบได้ในเปลือกกุ้ง ปู

2.4.3.2 แบบเบต้า คือการเรียงตัวของสายพอลิเมอร์แบบเป็นไปในทางเดียวกัน ทำให้สายพอลิเมอร์ไม่ค่อยแข็งแรง มีความไวต่อการทำปฏิกิริยามากกว่าแบบอัลฟา พบได้ในแกนปลาหมึก

2.4.3.3 แบบแกมมา คือการเรียงตัวของสายพอลิเมอร์แบบไม่เป็นทิศทางที่แน่นอน พบได้ใน เห็ด รา และพืชชั้นต่ำ

ไคโทซานเมื่อนำมาละลายด้วยกรดอ่อนแล้วปล่อยให้แห้งจะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มได้ ซึ่งสมบัติของแผ่นฟิล์มที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและระดับขั้นการกำจัดหมู่อะซิทิล (**degree of N-acetylation**) ของไคโทซานที่นำมาละลาย โดยการหาน้ำหนักโมเลกุลของไคโทซานนั้นจะอาศัยเทคนิคการกระเจิงแสง ส่วนการกระจายตัวของน้ำหนักจะใช้เทคนิค **high performance liquid chromatography** ทั้งนี้ยังอาจใช้ความหนืดเพื่อวัดน้ำหนักโมเลกุลได้ด้วย ค่าปริมาณการกำจัดหมู่อะซิทิล คือค่าที่เป็นอัตราส่วนระหว่างหมู่ **2-acetamido-2-deoxy-D-glucose** กับ **2-amino-2-deoxy-D-glucose** ในสายพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นค่าที่ส่งผลถึงความสามารถในการละลายของสายพอลิเมอร์ โดยเมื่อค่ามากไคโทซานจะมีความสามารถในการละลายเพิ่มมากขึ้น เทคนิคในการหาค่าการกำจัดหมู่อะซิทิลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น **ultra violet**

spectrophotometry, infra red spectroscopy, high performance liquid chromatography, gel permeation chromatography [13,15,16]

2.4.4 การใช้ประโยชน์จากโคโทซาน

เนื่องจากโคโทซานเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติมีจำนวนมากจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานที่หลากหลาย

2.4.4.1 ใช้โคโทซานผสมกับสารไวแสงในงานภาพถ่าย เนื่องด้วยโคโทซานสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่สามารถทนต่อแรงขีดข่วน [17]

2.4.4.2 ใช้ในอุตสาหกรรมความงาม เนื่องด้วยโคโทซานมีความสามารถในการต่อต้านเชื้อราและเป็นพอลิเมอร์ประจุบวกที่ได้จากธรรมชาติชนิดเดียวที่เมื่อทำให้เป็นกลางด้วยกรดแล้วจะเกิดความเหนียวขึ้น ซึ่งสมบัตินี้ทำให้นำไปใช้เป็นส่วนผสมใน ครีม โลชั่น และ น้ำยาทาเล็บ [18]

2.4.4.3 ใช้ในการแพทย์โดยใช้แผ่นฟิล์มสำหรับรักษาผู้ที่ผิวหนังโดนไฟไหม้ น้ำร้อนลวก ซึ่งมีงานวิจัยพบว่าสามารถทำให้แผลหายเร็วขึ้น [19]

2.4.4.4 ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้โคโทซานในการดักจับโลหะหนักและสารพิษให้เกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อนและตกตะกอน

2.4.4.5 ใช้เป็นสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมกระดาษโดยมีการรายงานว่โคโทซานสามารถเพิ่มความสามารถในการทนต่อแรงดึงขณะเปียกได้ [20]

2.4.4.6 ใช้เป็นสารควบคุมการย่อยยา โดยโคโทซานจะทำหน้าที่ในการค่อย ๆ สลายตัวและปล่อยยาออกไปอย่างคงที่

2.4.4.7 ใช้เป็นสารบำรุงดินเนื่องจากโคโทซานมีไนโตรเจนอยู่มาก จึงสามารถเพิ่มธาตุไนโตรเจนให้กับดินได้โดยการสลายตัวอย่างช้า ๆ

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุพิตา สุขจำเริญ [21] ได้ศึกษาเปรียบเทียบกระดาษที่ผลิตจากส่วนต่าง ๆ ของลำต้นข้าวโพดต่างสายพันธุ์ (ข้าวโพดข้าวเหนียวและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์) โดยนำส่วนต่าง ๆ จากลำต้น

ข้าวโพด ได้แก่ เปลือกนอกของลำต้น ส่วนแกนกลางของลำต้นข้าวโพด และลำต้นข้าวโพดทั้งหมด มาผลิตเยื่อกระดาษด้วยวิธีโซดา โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่าง ๆ กัน พบว่าที่ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับลำต้นข้าวโพดแห้งและใช้ลำต้นทั้งลำต้นเป็นสภาวะที่เมื่อนำมาผลิต กระดาษแล้วให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึงและแรงดันทะลุมากที่สุด

ปฏิมา พูลผล [13] ได้ศึกษาการใช้ไคโทซานเป็นสารเติมแต่งในกระดาษ โดยพบว่าไคโทซานสามารถเพิ่มความฟามให้กระดาษได้ โดยที่ไม่ทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลงและในบางกรณียังเพิ่มค่าความต้านทานแรงดึงฉีกของกระดาษได้ดี

ฉัตร ทองสัมฤทธิ์ [22] ได้ศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษขึ้นรูปจากไบโอรูปร่าง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตคือ การต้มเยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งของไบโอรูปร่าง โดยใช้ สารเติมเต็ม (CaCO₃) สารเพิ่มความแข็งแรง (cationic starch) และสารต้านการซึมน้ำ (AKD) 0.1, 0.06 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

วัชร บัญเสริมศักดิ์ และ สุทินา ทรงโยทิน [23] ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดและเยื่อทางการค้าพบว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดมีความแข็งแรงไม่ด้อยกว่าเยื่อทางการค้า

Henrik และ คณะ [24] พบว่าเมื่อนำสารละลายไคโทซานเคลือบลงบนกระดาษในปริมาณที่มากพอจะทำให้กระดาษที่ผ่านการเคลือบมีสมบัติด้านการซึมผ่านของออกซิเจน โดยมีความสามารถในการต้านระดับเดียวกับพลาสติก PET แต่ยังไม่สามารถนำไปใช้กับอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากปัญหาในการที่ต้องเคลือบสารเคลือบความหนาสูงเกินกว่าระบบการเคลือบในอุตสาหกรรมทั่วไปจะรับได้

Houbin และคณะ [25] พบว่าไคโตซานดัดแปรประจุบวก (cationized chitosan) สามารถใช้เป็นสารเติมแต่งในกระดาษได้ โดยใช้เติมลงไปใต้น้ำเยื่อในส่วน wet-end ในขั้นตอนการผลิตกระดาษ ไคโทซานสามารถที่จะสร้างพันธะกับผิวเส้นใยของเยื่อกระดาษได้ดีกว่าแป้งดัดแปรและ carboxymethyl chitosan

Kuusipalo และคณะ [26] พบว่าเมื่อใช้ไคโทซานเป็นส่วนประกอบในสารเคลือบกระดาษ จะส่งผลให้กระดาษที่ผ่านการเคลือบมีสมบัติด้านการต้านน้ำมากขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. เยื่อคัลลัสปดัสที่ผ่านการฟอกแล้วจาก บจม. ฟินิกซ์ พัลป์ แอนด์ เพเพอร์, ประเทศไทย
2. ต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แห้งจากจังหวัดนครปฐม
3. โคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 500 kDa 90 %DD จาก บ.ซีเฟรช, ประเทศไทย
4. กรดแอสติค (CH_3COOH) จาก Merck, Germany
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ชนิดเกล็ด เกรดห้องปฏิบัติการ จาก Merck, Germany
6. Alkyl Ketene Dimer (AKD) จาก บ.เอ็ก้า เคมีคอล, ประเทศไทย
7. Polyamidoamine-epichlorohydrin (PAE) จาก Buckman laboratories, Singapore
8. แป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) จาก บ.เยเนรัลสตาร์ช, ประเทศไทย
9. น้ำมันดอกทานตะวัน จาก ธนาคารผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด ประเทศไทย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ตู้อบ; Venticell, Germany
2. เครื่องวัดความหนา (thickness tester); Frank, Germany
3. เครื่องวัดความต้านอากาศ (gurley air resistance tester); รุ่น A-291800602, Toyoseiki Seisaku, Japan
4. เครื่องวัดความเรียบชนิดเบคค์ (Bekk smoothness tester); รุ่น 0168, Toyoseiki Seisaku, Japan
5. เครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear resistance tester); รุ่น Protear, Thwing-Albert Instrument, USA
6. เครื่องบดเยื่อ (valley beater); รุ่น UEC-2018A, Universal engineering corporation, India
7. เครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength tester); รุ่น Strograph E-S, Toyoseiki Seisaku-SHO LTD., Japan
8. เครื่องขึ้นแผ่น (sheet former); รุ่น Rapid Kothen Blattbilder, PTI laboratory Equipment, Austria

9. เครื่องวัดมุมสัมผัสแบบพกพา (pocket goniometer); รุ่น PG-3, Fibro System AB, Sweden
10. เครื่องวัด pH (pH meter); Denver instrument, Japan
11. เครื่องวัดการระคายน้ำ (freeness tester); รุ่น LTDA, Regmed Industria Tecnica Frecisao, Brazil
12. เครื่องปั่นผสมสาร (magnetic strrer); รุ่น TTS, Denver instrument, Japan
13. เครื่องวัดความแกร่ง (stiffness tester); รุ่น Taber V-5, Taber Industry, USA
14. เครื่องตัดกระดาษเพื่อทดสอบการต้านแรงฉีก; รุ่น Saitaranpur, Gurmany
15. เครื่องชั่งสาร (0.005-21Kg); รุ่น AND GX-27, Japan
16. เครื่องชั่งสาร (0.01-4000); รุ่น TB-4002, Denver instrument, Japan
17. เครื่องวัดความชื้น (moisture determination balance); รุ่น KettFD-600, Kett Electric Laboratory, Japan
18. เครื่องกดรีด (compression mold); รุ่น LP 20, Lab Tech engineering company ltd, Germany
19. แผ่นเหล็กเคลือบเทฟลอนวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม.
20. เครื่องสกรีนเยื่อ (pulp screener)
21. เครื่องวัดค่าความต้านทานการซึมน้ำ (Cobb tester); รุ่น Cobb, Regmed, Brazil
22. เครื่องต้มเยื่อ (rotating digester); Universal engineering, India

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมเยื่อกระดาษ

3.3.1.1 การเตรียมเยื่อคาลิปต์ส

นำเยื่อคาลิปต์สแผ่นอัดแห้งไปหาความชื้นโดยใช้เครื่องวัดความชื้น (moisture determination balance) จากนั้นนำเยื่อปริมาณ 360 กรัมแห้ง ไปแช่ในน้ำปริมาตร 4 ลิตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดเยื่อ (Valley beater) ตามมาตรฐาน TAPPI T200 sp-01 เพื่อให้มีค่าการระคายน้ำของเยื่อที่ 370 ± 15 มิลลิลิตร ตามมาตรฐาน TAPPI T227 om-94

3.3.1.2 การเตรียมเยื่อจากต้นข้าวโพด

นำต้นข้าวโพดมาตัดเป็นท่อนๆ ยาวประมาณ 5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปตากแดดจนมีความชื้นคงที่ นำขึ้นข้าวโพดไปหาความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นจากนั้นนำไปต้มด้วยเครื่องต้มเยื่อ (rotating digester) โดยใช้สภาวะในการต้มดังนี้

- 1) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของน้ำหนักต้นข้าวโพดแห้ง
- 2) อัตราส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำหนักต้นข้าวโพดแห้งเท่ากับ 9:1
- 3) อุณหภูมิที่ใช้ในการต้มเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส
- 4) เวลาที่ใช้ในการต้มเท่ากับ 2 ชั่วโมง

จากนั้นนำเยื่อข้าวโพดที่ได้มาล้างด้วยน้ำจนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำล้างเท่ากับ 7 แล้วนำไปสกรีนและตีกระจายเยื่อด้วยเครื่องตีกระจายเยื่อเป็นจำนวน 5000 รอบ จากนั้นวัดและบันทึกค่าการระบายน้ำของเยื่อ

3.3.2 การเตรียมสารละลาย

3.3.2.1 การเตรียมสารละลายโคโทซาน

ซึ่งน้ำหนักผงโคโทซานแล้วนำไปละลายด้วยกรดแอสติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราส่วน โคโทซาน 1 กรัม ต่อ กรดแอสติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นผสมสาร (magnetic stirrer) ที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.3.2.2 การเตรียมสารละลายแป้ง

ซึ่งน้ำหนักแป้งแล้วนำไปละลายด้วยน้ำโดยใช้อัตราส่วนแป้ง 2 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร โดยใช้เครื่องปั่นผสมสารที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที จากนั้นให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิเหลือ 60 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที โดยกวนตลอดเวลา

3.3.3 การเตรียมน้ำเยื่อ

3.3.3.1 การเตรียมน้ำเยื่อยุคาลิปตัสที่มีส่วนผสมของโคโทซาน

นำเยื่อคาลิปต์สที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.1 เติมสารละลายโคโทซานที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2.1 โดยเติมในปริมาณที่ต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 0.5, 1, 2 และ 4 โดยเทียบจากน้ำหนักของโคโทซานต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง จากนั้นเติม **alkyl ketene dimer** และ **polyamidoamine-epichlorohydrin** ปริมาณร้อยละ 0.4 และ 1 ตามลำดับ โดยเทียบจากน้ำหนักของเนื้อสารต่อน้ำหนักเยื่อแห้งเช่นกัน จากนั้นเติมน้ำให้มีความเข้มข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 0.3 และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้เท่ากับ 6 ด้วยกรดแอสติก (**acetic acid**) หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (**sodium hydroxide**) จากนั้นปั่นกวนด้วยเครื่องผสมสาร (**mixer**) ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

3.3.3.2 การเตรียมน้ำเยื่อคาลิปต์สที่มีส่วนผสมของแป้ง

นำเยื่อคาลิปต์สที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.1 เติมสารละลายแป้งที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2.2 โดยเติมในปริมาณที่ต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 0.5, 1, 2 และ 4 โดยเทียบจากน้ำหนักของแป้งต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง จากนั้นเติม **alkyl ketene dimer** และ **polyamidoamine-epichlorohydrin** ปริมาณร้อยละ 0.4 และ 1 ตามลำดับ โดยเทียบจากน้ำหนักของเนื้อสารต่อน้ำหนักเยื่อแห้งเช่นกัน จากนั้นเติมน้ำให้มีความเข้มข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 0.3 และปรับค่า pH ให้เท่ากับ 6 ด้วยกรดแอสติก หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นปั่นกวนด้วยเครื่องผสมสารที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

3.3.3.3 การเตรียมน้ำเยื่อต้นข้าวโพดที่มีส่วนผสมของโคโทซาน

นำเยื่อข้าวโพดที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.2 เติมสารละลายโคโทซานที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2.1 โดยเติมในปริมาณที่ต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 0.5, 1, 2 และ 4 โดยเทียบจากน้ำหนักของโคโทซานต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง จากนั้นเติม **alkyl ketene dimer** และ **polyamidoamine-epichlorohydrin** ปริมาณร้อยละ 0.4 และ 1 ตามลำดับ โดยเทียบจากน้ำหนักของเนื้อสารต่อน้ำหนักเยื่อแห้งเช่นกัน จากนั้นเติมน้ำให้มีความเข้มข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 0.3 และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้เท่ากับ 6 ด้วยกรดแอสติกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นปั่นกวนด้วยเครื่องผสมสารที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

3.3.3.4 การเตรียมน้ำเยื่อต้นข้าวโพดที่มีส่วนผสมของแป้ง

นำเยื่อข้าวโพดที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.2 เติมสารละลายแป้งที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2.2 โดยเติมในปริมาณที่ต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 0.5, 1, 2 และ 4 โดยเทียบจากน้ำหนักของแป้งต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง จากนั้นเติม **alkyl ketene dimer** และ **polyamidoamine-**

epichlorohydrin ปริมาณร้อยละ 0.4 และ 1 ตามลำดับ โดยเทียบจากน้ำหนักของเนื้อสารต่อ น้ำหนักเยื่อแห้งเช่นกัน จากนั้นเติมน้ำให้มีความเข้มข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 0.3 และปรับค่า pH ให้ เท่ากับ 6 ด้วยกรดแอสซิติคหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากนั้นปั่นกวนด้วยเครื่องผสมสารที่ ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

3.3.4 การขึ้นแผ่นกระดาษ

นำน้ำเยื่อที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.3.1, 3.3.3.2, 3.3.3.3 และ 3.3.3.4 มาขึ้นเป็น แผ่นกระดาษน้ำหนักมาตรฐาน 100 ± 3 กรัมต่อตารางเมตร จำนวน 10 แผ่นด้วยเครื่องขึ้น แผ่นกระดาษตามมาตรฐาน ISO 5269/2 แต่ไม่นำไปอบแห้ง จากนั้นนำแผ่นเยื่อเปียกที่ได้ไป ประคบกับแผ่นโลหะเคลือบเทฟลอน แล้วนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องกดรีด (compression mold) ที่แรงกด 20 บาร์ อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

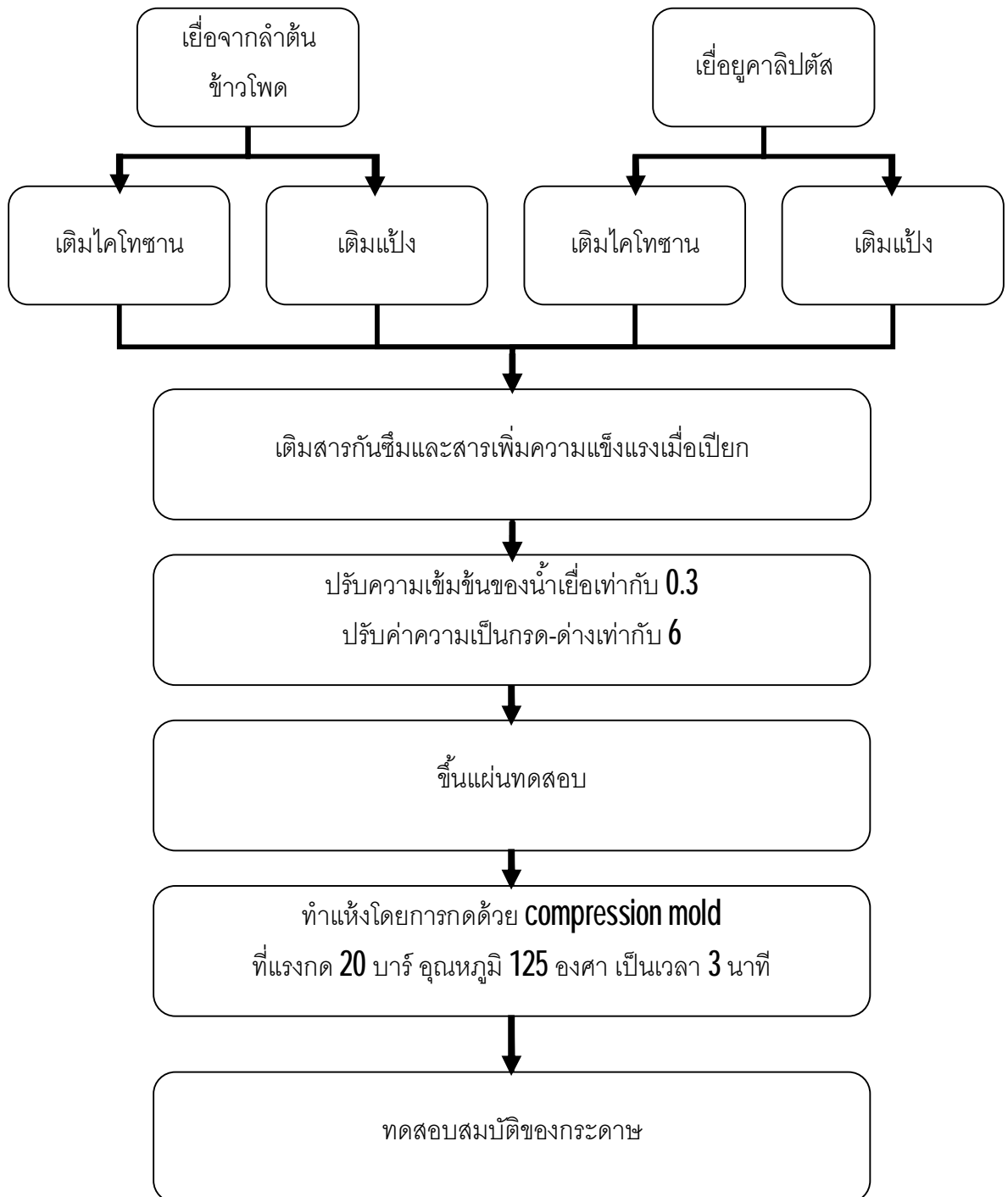
3.3.5 การทดสอบสมบัติต่างๆของกระดาษ

นำแผ่นกระดาษที่ได้จากข้อ 3.3.4 ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน TAPPI ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนาแน่น ความแข็งแรงต่อแรงฉีก ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ ความแกร่ง ความต้านอากาศไหลผ่าน ความเรียบ ความแข็งแรงต่อแรงดึง ความสามารถในการ ดูดซึมน้ำ ความสามารถในการดูดซึมน้ำมัน มุมสัมผัสของน้ำ และมุมสัมผัสของน้ำมัน โดยวิธีการ วัดความสามารถในการดูดซึมน้ำมันจะทำโดยการตัดตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 เซนติเมตร นำไปชั่งน้ำหนักและจุ่มลงในน้ำมันเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นซับน้ำมันส่วนที่เหลื้อออกแล้วนำไปชั่ง น้ำหนักอีกครั้งเพื่อคำนวณค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำมันโดยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนัก แผ่นกระดาษ

3.3.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบจากข้อ 3.3.5 ไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบ ผลทางสถิติด้วยเทคนิค ANOVA

แผนผังการทดลองได้แสดงในภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 การเตรียมน้ำเยื่อ การขึ้นแผ่นทดสอบและการทดสอบสมบัติกระดาษ ตามหัวข้อ

3.3.3, 3.3.4 และ 3.3.5

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดลองผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปด้วยวัตถุดิบต่างชนิดกันและใช้สารเพิ่มความแข็งแรงต่างกัน กล่าวคือการใช้ต้นข้าวโพดและเยื่อคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตและใช้ไคโทซานและแป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง พบว่าการใช้เยื่อต่างชนิดกันในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปส่งผลให้เยื่อกระดาษขึ้นรูปมีสมบัติที่ต่างกันทั้งในด้านสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติเชิงกลและสมบัติการกั้นขวาง ในขณะที่เดียวกันการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงต่างชนิดกันก็ส่งผลต่อสมบัติของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตได้เช่นกันดังแสดงในภาพที่ 4-1 ถึง 4-11

ในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ผลของปริมาณสารเพิ่มความแข็งแรงที่ใช้ต่อสมบัติของเยื่อกระดาษขึ้นรูป โดยได้แสดงค่าทางสถิติไว้ในตารางที่ 4-1 และ 4-2 ทั้งยังมีการเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกันดังแสดงค่าทางสถิติไว้ในตารางที่ 4-3 โดยค่าทางสถิติที่น้อยกว่า **0.05** แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น **95** เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ สมบัติของแผ่นกระดาษเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะในการทดลอง

ตารางที่ 4-1 ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (P-value) ของการเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์สโดยใช้แป้งและโคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

สมบัติของเยื่อกระดาษขึ้นรูป	แป้ง	โคโทซาน
ความหนาแน่น (g/cm ³)	3.45E-08*	1.26E-13*
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Nm/g)	3.62E-05*	6.46E-08*
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (kPa m ² /g)	2.20E-08*	8.97E-08*
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (mN m ² /g)	1.36E-04*	6.59E-10*
ความเร็ว (sec.)	5.82E-03*	5.56E-03*
ความต้านทานอากาศไหลผ่าน (sec.)	6.28E-05*	1.50E-05*
ดัชนีความแกร่ง (taber unit m ² /g)	2.94E-03*	0.123
ค่าการดูดซึมน้ำ (g/m ²)	2.01E-04*	1.27E-05*
ค่าการดูดซึมน้ำมัน (percent)	1.32E-05*	0.161

* แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4-2 ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (P-value) ของการเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้แป้งและโคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

สมบัติของเยื่อกระดาษขึ้นรูป	แป้ง	โคโทซาน
ความหนาแน่น (g/cm ³)	6.37E-04*	1.48E-13*
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Nm/g)	4.61E-03*	2.74E-09*
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (kPa m ² /g)	0.392	2.14E-09*
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (mN m ² /g)	0.101	2.01E-05*
ความเร็ว (sec.)	0.942	7.57E-04*
ความต้านทานอากาศไหลผ่าน (sec.)	n/a	n/a
ดัชนีความแกร่ง (taber unit m ² /g)	2.37E-02*	1.22E-04*
ค่าการดูดซึมน้ำ (g/m ²)	2.39E-04*	5.40E-13*
ค่าการดูดซึมน้ำมัน (percent)	5.27E-03*	4.24E-07*

* แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

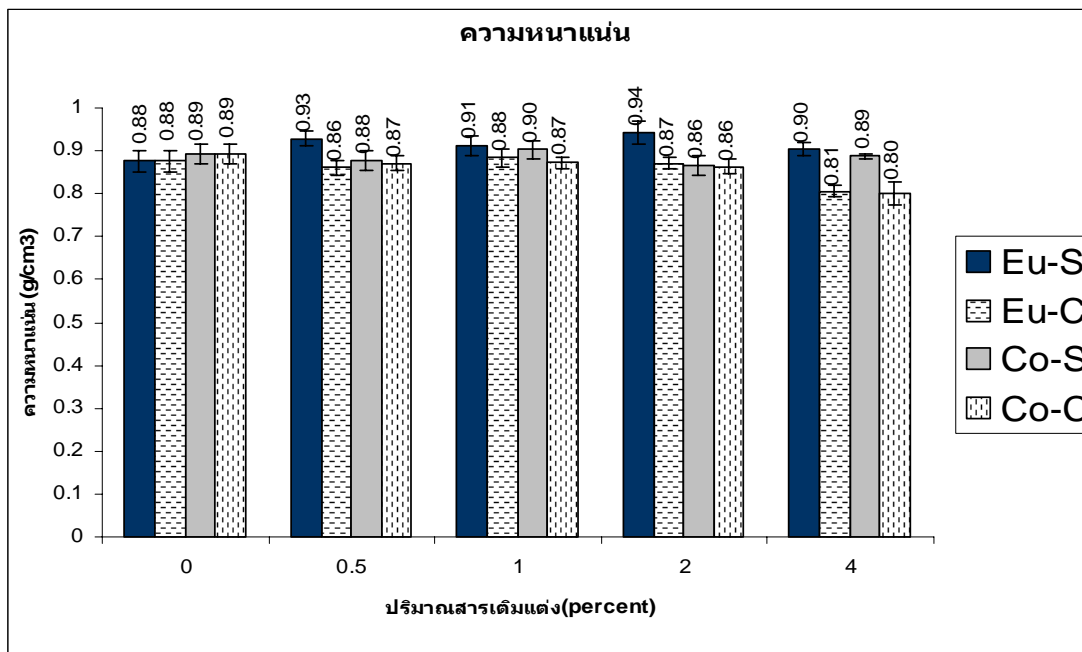
ตารางที่ 4-3 ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (P-value) ของการเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดและเยื่อคาลิปต์สโดยไม่มีการเติมสารเพิ่มความแข็งแรง

สมบัติของเยื่อกระดาษชั้นรูป	P-value
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.0923
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Nm/g)	1.82E-06*
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Kpa m ² /g)	9.80E-05*
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (mN m ² /g)	7.72E-04*
ความเร็วบ (sec.)	3.44E-03*
ดัชนีความแกร่ง (taber unit m ² /g)	4.88E-03*
ค่าการดูดซึมน้ำ (g/m ²)	3.22E-05*
ค่าการดูดซึมน้ำมัน (percent)	4.48E-05*

* แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.1 ผลของการใช้โคโทซานและแป้งที่มีต่อสมบัติเชิงโครงสร้างของเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์สและเยื่อข้าวโพด

4.1.1 ความหนาแน่น



ภาพที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อความหนาแน่นของเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน

Eu-S = เยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์สโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Eu-C = เยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์สโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-S = เยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-C = เยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

จากการทดลองพบว่าเมื่อไม่ได้ใส่สารเพิ่มความแข็งแรงเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากข้าวโพดจะมีความหนาแน่นมากกว่าเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์สเล็กน้อย ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากลักษณะของเส้นใยข้าวโพดที่มีขนาดเล็กกว่า [9] จึงทำให้เมื่อมีการจัดเรียงตัวกันเป็นแผ่นกระดาษทำให้มีช่องว่างน้อยส่งผลให้ความหนาแน่นสูงกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์ส อย่างไรก็ตามความแตกต่างนั้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4-5

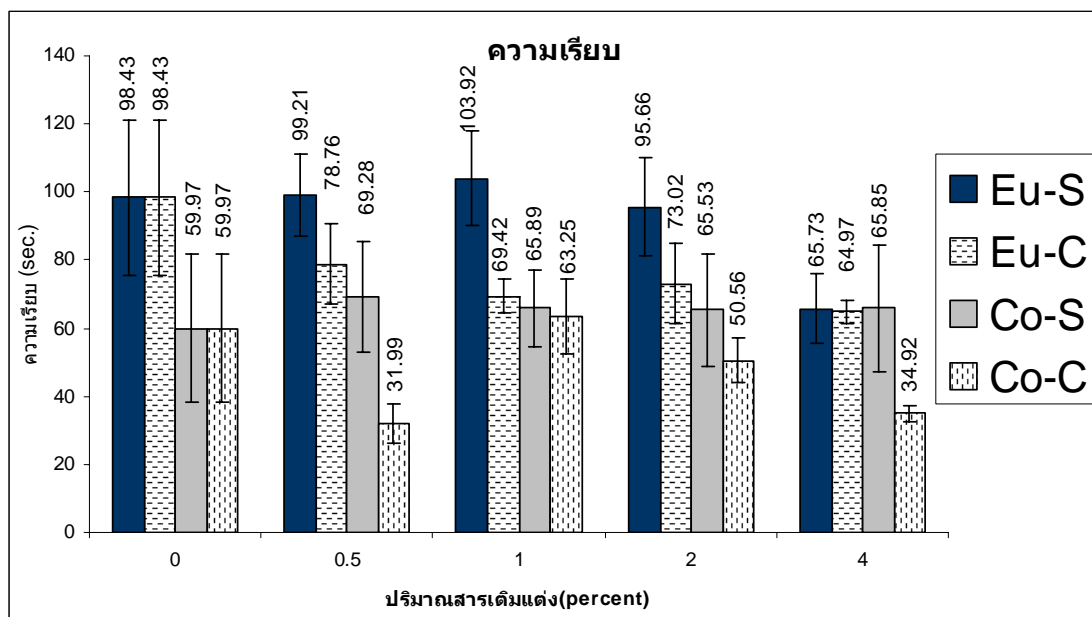
เมื่อพิจารณาสมบัติที่เปลี่ยนไปเมื่อเติมแป้งในเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์สพบว่ามีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากแป้งอาจเข้าไปแทนที่ส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างเส้นใยทำให้ปริมาณช่องว่างในแผ่นกระดาษลดลงความหนาแน่นจึงเพิ่มขึ้น [27] ส่วนการเติมแป้งในเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดพบว่ามีความเปลี่ยนแปลงไม่มากนักโดยมีความ

หนาแน่นลดลงเล็กน้อย โดยอาจเกิดจากเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากข้าวโพดมีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อยอยู่แล้วเมื่อเติมแป้งเข้าไปความหนาแน่นจึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์สเมื่อเติมโคโทซานพบว่า ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงไม่มากนักที่ปริมาณ 0.5, 1, 2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อเติมโคโทซานปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความหนาแน่นตกลงมากซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของโคโทซานที่สามารถเพิ่มความฟามให้กระดาษได้ [13] ซึ่งเมื่อใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดก็ส่งผลในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากโคโทซานทำให้เกิดการรวมกลุ่มของเส้นใยทำให้วัดค่าความหนาแน่นสูงขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง

โดยสรุปแล้วเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดมีความหนาแน่นสูงกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์สแต่เมื่อมีการใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงจะทำให้ความหนาแน่นของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตได้ลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกัน

4.1.2 ความเรียบ



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อความเรียบของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน

Eu-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์สโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Eu-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์สโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

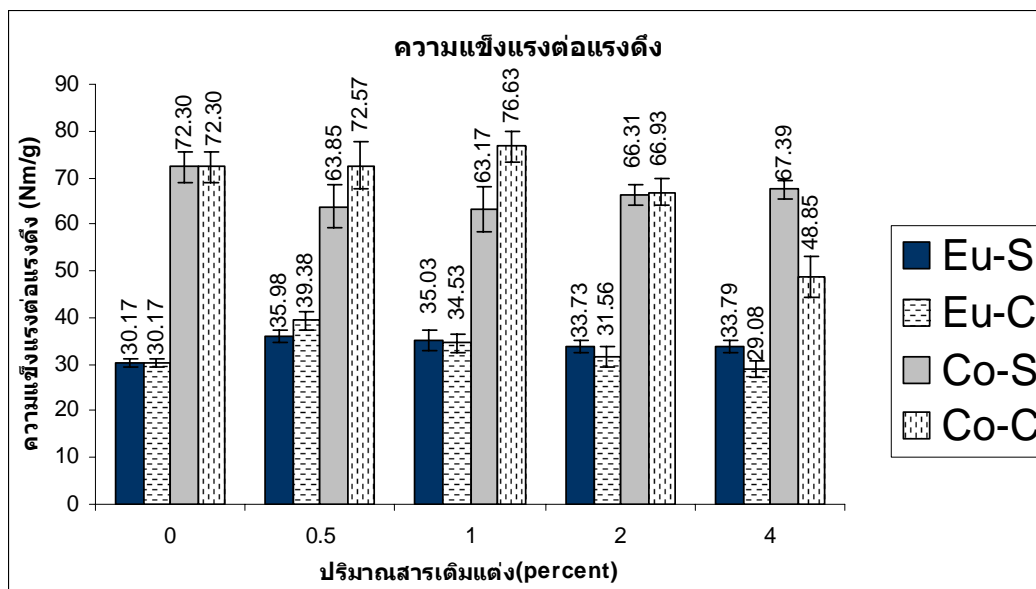
ในด้านความเรียบพบว่า เยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อเยื่อคาลิปต์มีความเรียบมากกว่าเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากข้าวโพดซึ่งอาจเนื่องมาจากเยื่อเยื่อคาลิปต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเยื่อทางการค้าที่ผ่านกระบวนการผลิตโดยเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมจึงมีความสม่ำเสมอของเส้นใยมากกว่าเยื่อข้าวโพดที่ผลิตในห้องปฏิบัติการซึ่งอาจมีกระจกของเส้นใยที่เกิดจากการต้มเยื่อหรือการสกรีนเยื่อจึงส่งผลให้ความเรียบต่ำ

การใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อเยื่อคาลิปต์พบว่าความเรียบไม่เปลี่ยนแปลงมากนักที่ปริมาณการเติม 0.5, 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่ปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความเรียบของเยื่อกระดาษชั้นรูปลดลง อาจเป็นสาเหตุมาจากเมื่อเติมแป้งในปริมาณมากอาจเกิดการรวมตัวของเส้นใยทำให้ความเรียบลดลงในที่สุด ส่วนในการเติมแป้งลงในเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดพบว่าไม่เกิดความเปลี่ยนแปลงในด้านความเรียบมากนัก

การใช้ไคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อเยื่อคาลิปต์และข้าวโพดพบว่าไคโทซานทำให้ความเรียบของกระดาษลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องมาจากไคโทซานทำให้เกิดการรวมกลุ่มก้อนของเส้นใยส่งผลให้เส้นใยกระจายตัวได้ไม่ดีและทำให้ความเรียบลดลงในที่สุด [13]

4.2 ผลของการใช้โคโทซานและแป้งที่มีต่อสมบัติเชิงกลของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อข้าวโพด

4.2.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อความแข็งแรงต่อแรงดึงของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน

Eu-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Eu-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

จากการทดลองพบว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากข้าวโพดมีความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสอย่างมาก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากเส้นใยของลำต้นข้าวโพดมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่มาก (ตารางที่ 2-1) จึงทำให้เกิดการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยได้มากและอาจเป็นไปได้ที่เส้นใยสามารถแนบตัวกันได้ดีกว่าเยื่อยูคาลิปตัส [28]

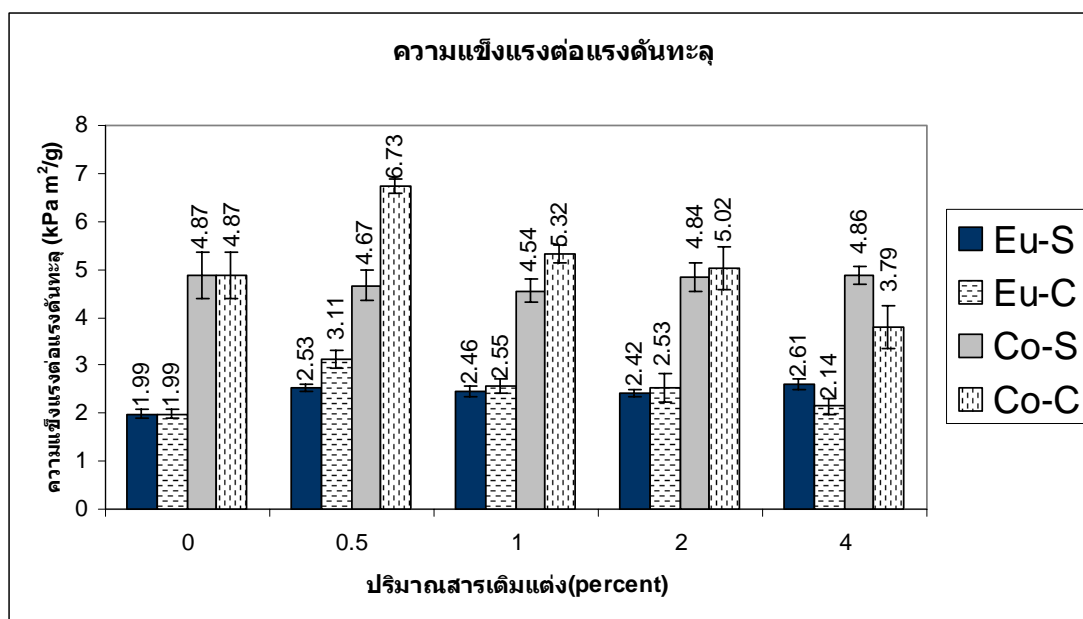
เมื่อเติมแป้งลงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสพบว่ามีความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากแป้งทำหน้าที่เป็นตัวช่วยเชื่อมพันธะระหว่างเส้นใยทำให้ปริมาณพันธะโดยรวมมากขึ้น [27] ในการเติมแป้งลงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดจะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานแรงดึงของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตได้ลดลง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากเยื่อข้าวโพดสามารถสร้างพันธะด้วยกันได้ดีอยู่แล้วโดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงที่

สูง ดังนั้นการใส่แปรงลงไปเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดจึงอาจเป็นการขัดขวางการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยมากกว่าการส่งเสริมการสร้างพันธะ อีกทั้งแปรงที่ใช้ในการทดลองเป็นแปรงที่ไม่ผ่านการตัดแปรงและผิวหน้าของเส้นใยมีประจุลบจึงอาจทำให้การกักเก็บแปรงในเส้นใยต่ำและสร้างพันธะกับเส้นใยได้น้อยกว่าแปรงตัดแปรงประจุบวก

เมื่อเติมโคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงพบว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมากขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าสูงสุดที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และลดลงเมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากโคโทซานสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษได้โดยทำหน้าที่เป็นพอลิเมอร์สร้างพันธะและเชื่อมระหว่างเส้นใย [13] แต่เมื่อมีการเติมในปริมาณที่มากจะเกิดการรวมกลุ่มก้อน ทำให้เยื่อกระดาษกระจายตัวไม่สม่ำเสมอซึ่งส่งผลให้เกิดจุดที่กระดาษบางและทำให้มีความต้านแข็งแรงต่อแรงดึงลดลงในที่สุด ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปได้ในลักษณะเดียวกับเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยเยื่อข้าวโพดมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงสุดที่ 1 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณโคโทซานที่เติมลงไป

โดยสรุปแปรงสามารถใช้เป็นตัวเพิ่มความแข็งแรงต่อแรงดึงให้กับเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสได้ ในขณะที่โคโทซานสามารถเพิ่มความแข็งแรงต่อแรงดึงได้ทั้งในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อข้าวโพด โดยทั้งแปรงและโคโทซานจะมีปริมาณการเติมที่เหมาะสมต่างกันไป อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าชนิดของเยื่อกระดาษส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่าชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรง

4.2.2 ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ



ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน

Eu-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

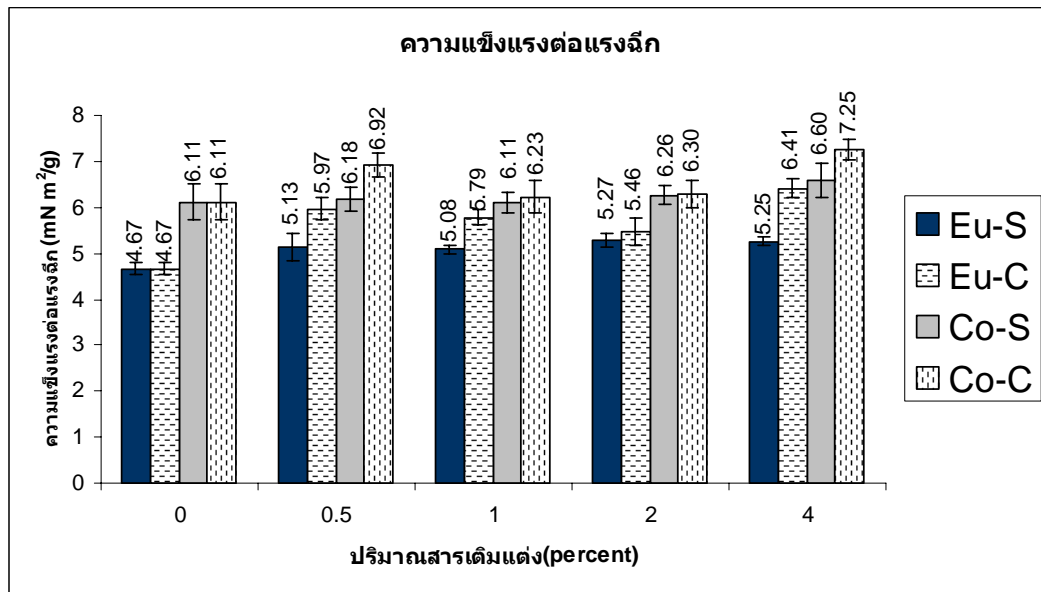
Eu-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเป็นสมบัติที่ขึ้นกับพันธะระหว่างเส้นใยภายในกระดาษ เช่นเดียวกับความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุจึงมีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง กล่าวคือ เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดจะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุมากกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัส และการใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อยูคาลิปตัสก็จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุมากขึ้น ในขณะที่เมื่อเติมแป้งลงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดจะมีความเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ($P \text{ value} = 0.392$) และการเติมโคโทซานในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดและเยื่อยูคาลิปตัสก็จะทำให้มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุมากขึ้นเมื่อเติมในปริมาณที่เหมาะสมและลดลงเมื่อเติมในปริมาณที่มากเกินไป [13]

4.2.3 ความแข็งแรงต่อแรงฉีก



ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อความแข็งแรงต่อแรงฉีกของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน

Eu-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Eu-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

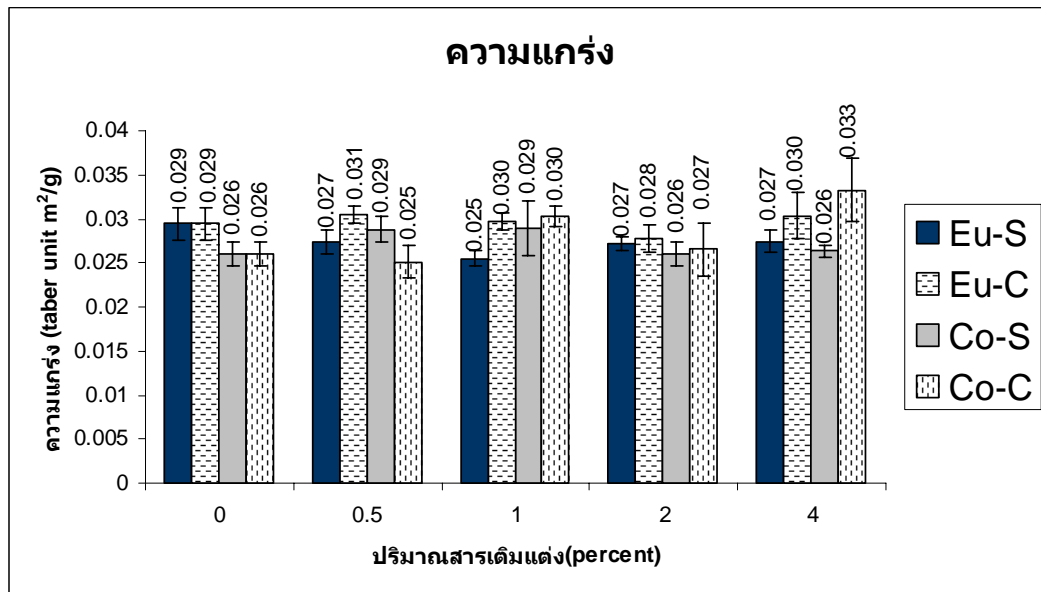
Co-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสน้อยกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพด อาจเนื่องมาจากพันธะระหว่างเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดแข็งแรงกว่าโดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงตึงและแรงดันทะลุจึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงไปด้วย และจากงานวิจัยเรื่องการใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งของเส้นใยและพลังงานโดย Ahmed และ Zhu [9] พบว่าเส้นใยของเยื่อที่ได้จากต้นข้าวโพดและเยื่อยูคาลิปตัสมีความยาวใกล้เคียงกันแต่เยื่อที่ได้จากต้นข้าวโพดมีความกว้างน้อยกว่า ซึ่งโดยหลักการแล้วค่าความแข็งแรงตึงของกระดาษจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใยเป็นหลัก ในกรณีนี้เส้นใยที่ได้จากต้นข้าวโพดมีความกว้างน้อยกว่า (ตารางที่ 2-1) แต่ไม่ได้หมายความว่าจำเป็นต้องมีความแข็งแรงน้อยกว่าเสมอไป เนื่องจากความแข็งแรงของเส้นใยประกอบจากหลายปัจจัย เช่น ความหนาของผนังเซลล์ การเรียงตัวของสายเซลลูโลสในเส้นใย เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจทำให้เส้นใยจากต้นข้าวโพดที่มีความกว้างน้อยกว่าอาจมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยของเยื่อยูคาลิปตัสได้

การใช้แบริ่งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์พบว่า มีค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงขึ้นเล็กน้อย อาจมีสาเหตุมาจากแบริ่งทำหน้าที่ช่วยเสริมสร้างพันธะระหว่างเส้นใย ในขณะที่เมื่อเติมแบริ่งลงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากข้าวโพดพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากเยื่อข้าวโพดมีการสร้างพันธะที่ดีอยู่แล้วโดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงและแรงดันทะลุ ดังนั้นเมื่อเติมแบริ่งที่ทำหน้าที่ช่วยในการเสริมสร้างพันธะจึงไม่ส่งผลมาก

การใช้ไคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์ส และข้าวโพดพบว่า เมื่อเติมไคโทซานที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกเพิ่มขึ้นและเมื่อเติมไคโทซานที่ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้มีค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกลดลง และเมื่อเติมไคโทซานถึง 4 เปอร์เซ็นต์จะพบว่าค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะเดียวกับการเติมไคโทซานลงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพด อาจมีสาเหตุมาจากเมื่อเติมไคโทซานในปริมาณน้อยไคโทซานจะช่วยเสริมความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใย แต่เมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้น อาจทำให้เกิดกลุ่มก้อนของเส้นใย เมื่อนำไปทดสอบความแข็งแรงต่อแรงฉีกทำให้มีค่าต่ำลงเนื่องจากเกิดการฉีกผ่านแนวที่มีเส้นใยน้อย แต่เมื่อเติมไคโทซานในปริมาณที่สูงมากทำให้เกิดการรวมกลุ่มขนาดใหญ่ของเส้นใยเมื่อนำไปทดสอบความแข็งแรงต่อแรงฉีกทำให้ต้องฉีกผ่านกระดูกของเส้นใยค่าในการทดสอบจึงสูง

4.2.4 ความแกร่ง



ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อความแกร่งของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน

Eu-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Eu-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

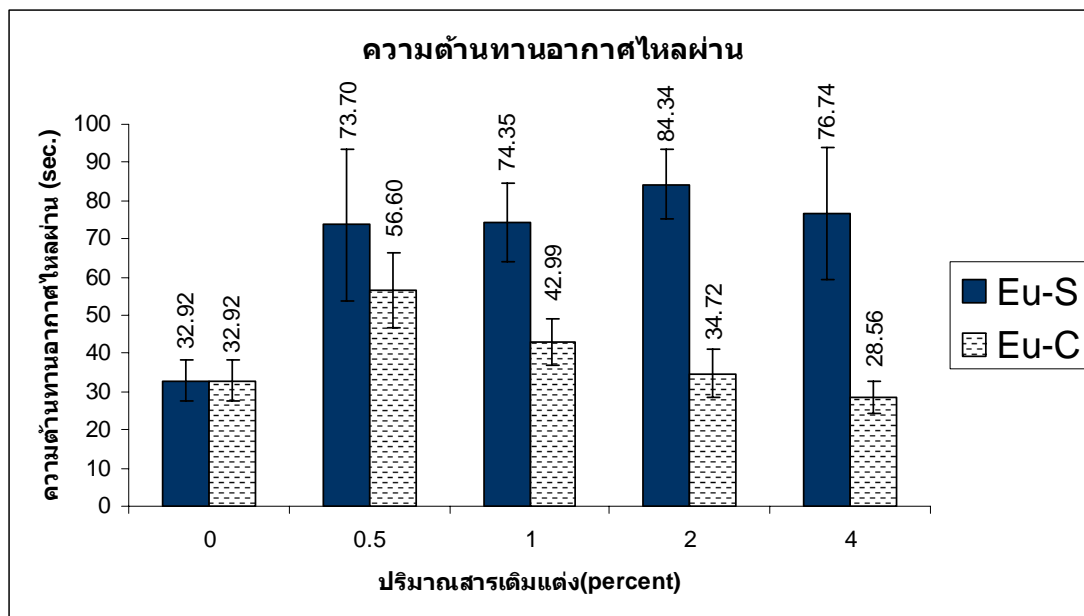
เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสมีค่าความแกร่งมากกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพด อาจมีสาเหตุมาจากเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสมีความหนาแน่นน้อยกว่าส่งผลให้กระดาษมีความหนาแน่นมากกว่าจึงมีความแกร่งสูงกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพด [29]

การใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสพบว่ามีความแกร่งลดลงเล็กน้อยเนื่องจากกระดาษมีความหนาแน่นมากขึ้น ในขณะที่การใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดพบว่าความแกร่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอันเนื่องมาจากกระดาษมีความหนาแน่นลดลง

การใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อข้าวโพดพบว่าค่าความแกร่งมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักอันเนื่องมาจากความหนาแน่นของแผ่นกระดาษเปลี่ยนแปลงไม่มาก ยกเว้นกรณีการเติมโคโทซาน 4 เปอร์เซ็นต์จะเห็นว่ามีความแกร่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอันเนื่องมาจากกระดาษมีความหนาแน่นลดลง

4.3 ผลของการใช้โคโทซานและแป้งที่มีต่อสมบัติด้านการกันขวางของเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์สและเยื่อข้าวโพด

4.3.1 ความต้านทานอากาศไหลผ่าน



ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อความต้านทานอากาศไหลผ่านของเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน

Eu-S = เยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์สโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

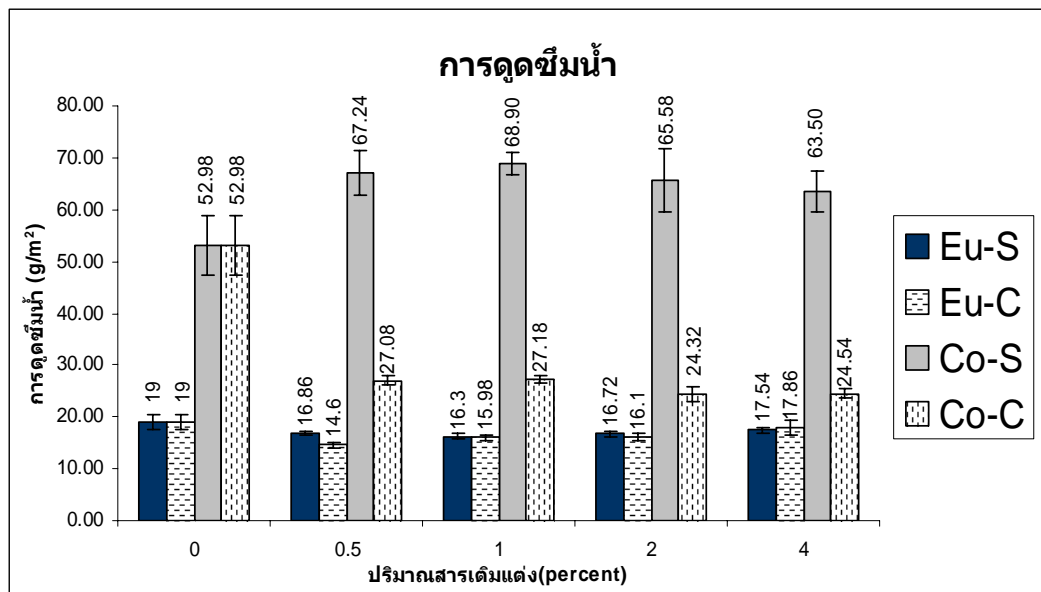
Eu-C = เยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์สโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

จากการทดลองพบว่าค่าการต้านทานอากาศไหลผ่านของเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากข้าวโพดมีค่าสูงจนมากไม่สามารถวัดได้กล่าวคือมีค่าสูงกว่า 1800 วินาที ตามมาตรฐาน Tappi T-460 om-02 การที่เยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดมีความสามารถในการต้านทานอากาศไหลผ่านที่สูงมากนั้นอาจมีสาเหตุมาจาก เส้นใยจากลำต้นข้าวโพดมีความกว้างน้อยกว่าเยื่อคาลิปต์ส [9] จึงทำให้สามารถเรียงตัวกันเป็นแผ่นกระดาษแล้วเกิดช่องว่างน้อยกว่าเยื่อคาลิปต์สอย่างมาก โดยเมื่อพิจารณาจากค่าความหนาแน่นดังแสดงในภาพที่ 4-1 เยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดก็มีความหนาแน่นสูงกว่า สะท้อนให้เห็นว่ามีช่องว่างภายในที่น้อยกว่าเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์ส ส่งผลให้มีความต้านทานอากาศไหลผ่านที่สูงมากในที่สุด

การใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษชั้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์สพบว่าสามารถเพิ่มความสามารถในการต้านทานอากาศไหลผ่านได้ อาจมีสาเหตุมาจากแป้งทำหน้าที่เติมเต็มช่องว่างระหว่างเส้นใยทำให้ค่าความต้านทานอากาศไหลผ่านเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงพบว่า ที่การเติม 0.5 เปอร์เซ็นต์ จะให้ค่าความต้านทานอากาศ

ไหลผ่านมากที่สุดและเมื่อเติมโคโทซานมากขึ้นค่าจะลดลงตามลำดับ อาจมีสาเหตุมาจากเมื่อเติมโคโทซานในปริมาณน้อยโคโทซานจะเข้าไปเติมเต็มช่องว่างระหว่างเส้นใยทำให้มีค่าความต้านทานอากาศไหลผ่านมากขึ้น ในขณะที่เมื่อเติมโคโทซานมากขึ้นโคโทซานจะทำให้เส้นใยเกิดการรวมกลุ่มกันจึงเกิดบริเวณที่กระตาศมีความบางและหนาสลับกันไป เมื่อนำไปวัดความค่าการต้านอากาศไหลผ่าน ซึ่งการวัดจะครอบคลุมในส่วนที่หนาและบางพร้อม ๆ กันอากาศจึงผ่านส่วนของกระตาศที่บางได้ดีจึงทำให้ค่าความต้านทานอากาศไหลผ่านลดลง

4.3.2 ค่าการดูดซึมน้ำและมูมสัมผัสน้ำ



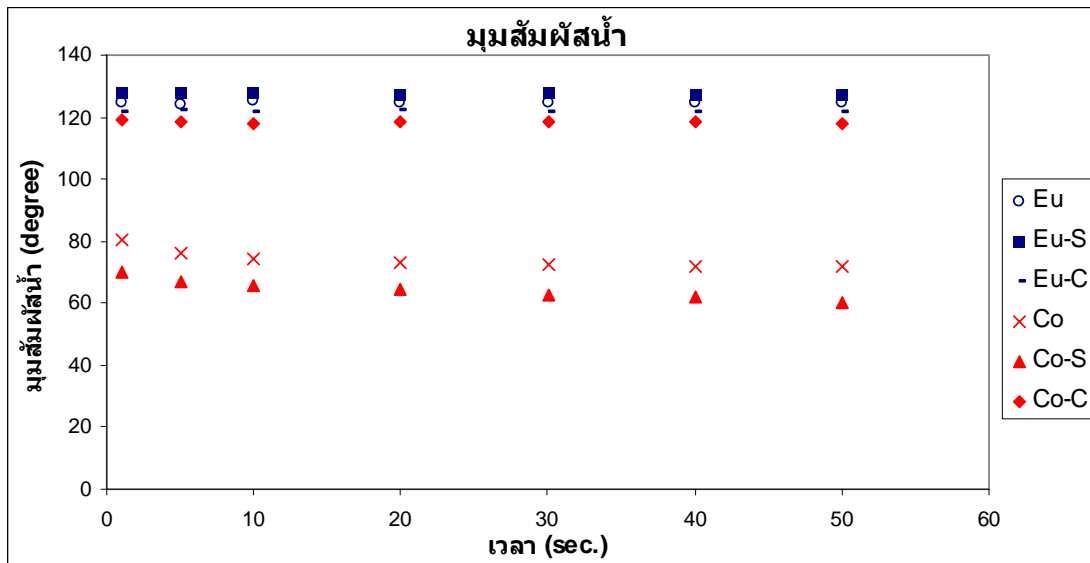
ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อค่าการดูดซึมน้ำของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน

Eu-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Eu-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง



ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อค่ามุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน

Eu = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัส

Eu-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง 4 เปอร์เซ็นต์

Eu-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้ไคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง 4 เปอร์เซ็นต์

Co = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพด

Co-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง 4 เปอร์เซ็นต์

Co-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้ไคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง 4 เปอร์เซ็นต์

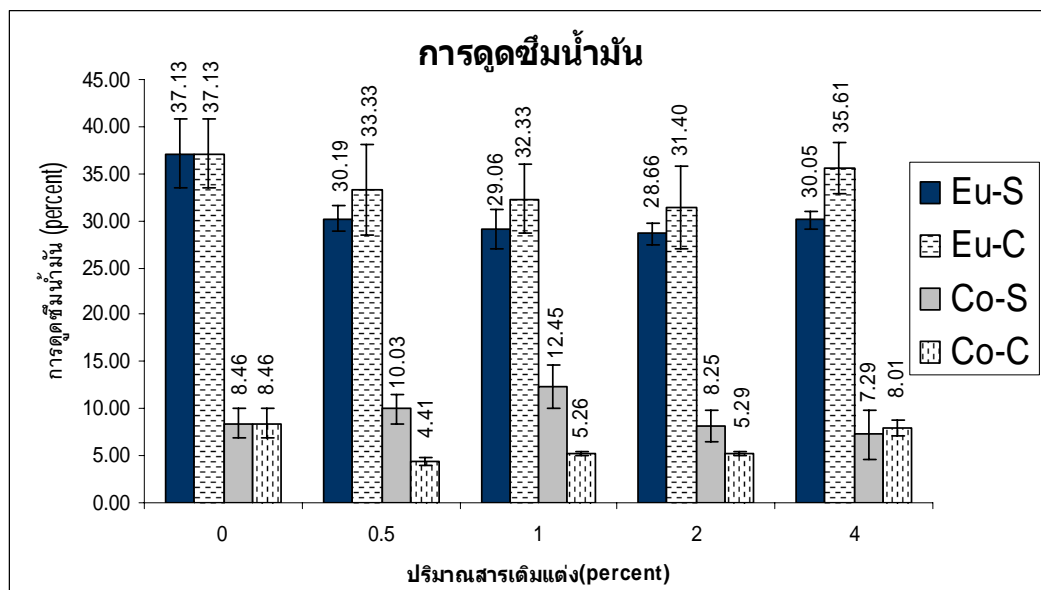
จากการทดลองการหาค่าการดูดซึมน้ำพบว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพด อาจมีสาเหตุมาจากลักษณะของเส้นใยข้าวโพดที่สามารถดูดซึมน้ำได้ดีกว่า อันเนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยข้าวโพดที่มีเฮมิเซลลูโลสอยู่มาก [9] ซึ่งเฮมิเซลลูโลสสามารถเปียกผิวและสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดี สอดคล้องกับค่ามุมสัมพัทธ์ที่เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดมีมุมสัมพัทธ์น้อยกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัส [30]

เมื่อเติมแป้งลงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสพบว่าค่าการดูดซึมน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในขณะที่เมื่อเติมแป้งลงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดพบว่าค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากแป้งทำให้ความสามารถในการเปียกผิวของเส้น

ใยเพิ่มขึ้นในเยื่อข้าวโพดจึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำที่ต่ำลงเล็กน้อย แต่ในกรณีของเยื่อยูคาลิปตัสอาจเป็นผลมาจากแป้งได้เข้าไปแทนที่ช่องว่างระหว่างเส้นใยจึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นเมื่อเติมแป้งลงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัส

การใช้ไคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปจากเยื่อยูคาลิปตัสพบว่าเมื่อเติมไคโทซาน ค่าการดูดซึมน้ำจะลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เมื่อเติมไคโทซานลงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดพบว่าค่าการดูดซึมน้ำลดลงอย่างมาก อาจมีสาเหตุมาจากเยื่อกระดาษยูคาลิปตัสมีสมบัติพื้นผิวเส้นใยที่สามารถต้านน้ำได้ดีอยู่แล้วเมื่อเติมไคโทซานจึงไม่ส่งผลมากนัก ในขณะที่เส้นใยจากต้นข้าวโพดมีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงเมื่อเติมไคโทซานอาจทำให้เกิดลักษณะของชั้นฟิล์มเคลือบที่ผิวของเส้นใย ทำให้สมบัติเชิงพื้นผิวของเส้นใยเปลี่ยนไปส่งผลให้ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง ซึ่งในงานวิจัยของ Kuusupalo และคณะ [26] ก็ได้เคยรายงานความสามารถในการเพิ่มความต้านทานน้ำของไคโทซานเมื่อนำมาเคลือบผิวกระดาษมาก่อน

4.3.3 การดูดซึมน้ำมันและมูมสัมพัทธ์ของน้ำมัน



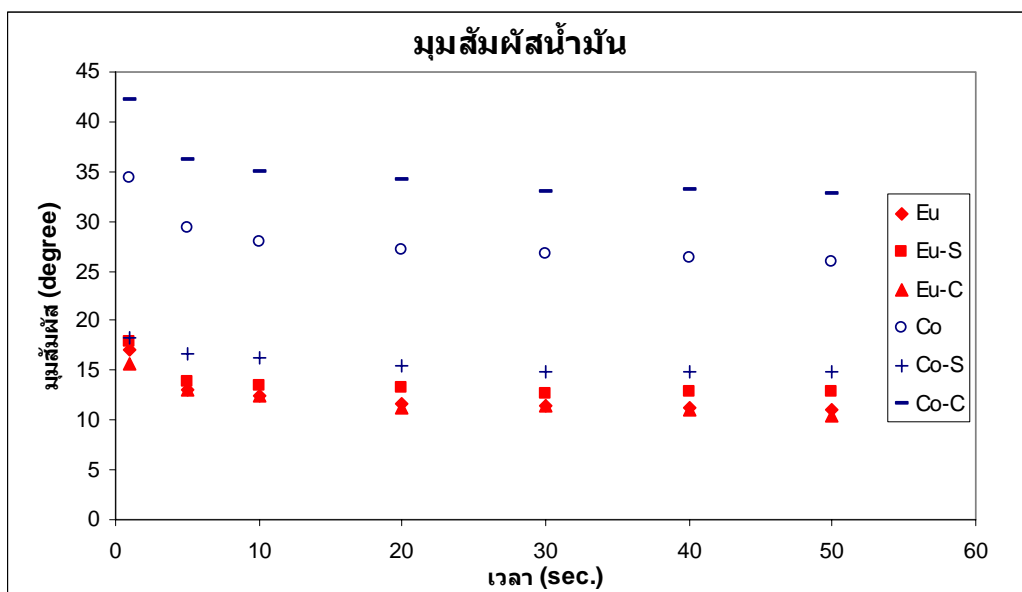
ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อค่าการดูดซึมน้ำมันของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน

Eu-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Eu-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้ไคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

Co-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้ไคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง



ภาพที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงต่อค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อต่างชนิดกัน

Eu = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัส

Eu-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง 4 เปอร์เซ็นต์

Eu-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง 4 เปอร์เซ็นต์

Co = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพด

Co-S = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง 4 เปอร์เซ็นต์

Co-C = เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดโดยใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง 4 เปอร์เซ็นต์

การดูดซึมน้ำมันของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสพบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำมันมากกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพด โดยปกติแล้วน้ำมันสามารถซึมผ่านกระดาษด้วยการเคลื่อนตัวผ่านช่องว่างภายในแผ่นกระดาษเพียงอย่างเดียวโดยไม่สามารถแพร่ผ่านทางผนังของเส้นใยได้ และเนื่องจากเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดมีรูพรุนต่ำจึงส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมันต่ำเมื่อเทียบกับเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัส ซึ่งสอดคล้องกับค่าการต้านอากาศไหลผ่านและค่าความหนาแน่น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ค่ามุมสัมผัสจะพบว่าที่การเติมแป้ง 4 เปอร์เซ็นต์ในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดมีมุมสัมผัสต่อหยดน้ำมันต่ำนั้นอาจเป็นเพราะแป้งได้เปลี่ยนสมบัติพื้นผิวของเส้นใยข้าวโพดให้เปียก

น้ำมันได้ดี แต่การดูดซับน้ำมันอาศัยการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างเส้นใยเท่านั้น การที่น้ำมันสามารถเปียกผิวเส้นใยได้ดีนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องทำให้การดูดซึมน้ำมันเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

เมื่อใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำมันลดลง อาจมีสาเหตุมาจากแป้งเข้าไปแทนที่ช่องว่างระหว่างเส้นใยทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมันลดลงซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นและค่าการต้านทานอากาศไหลผ่านที่เพิ่มขึ้น เมื่อใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดพบว่ามีการดูดซึมน้ำมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากแป้งอาจไปขัดขวางการสร้างพันธะระหว่างเส้นใย ข้าวโพดทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมันเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่ามูสสัมผัสของหยดน้ำมันที่ลดลง

เมื่อใช้ไคโทซานเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อคาลิปต์ และเยื่อข้าวโพดพบว่าค่าการดูดซึมน้ำมันลดลงเล็กน้อยด้วยกันทั้งคู่ อาจเนื่องจากไคโทซานสามารถเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในระหว่างเส้นใยได้เล็กน้อยค่าการดูดซึมน้ำมันจึงลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการใช้ไคโทซานและแป้งเป็นสารเติมแต่งในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์และเยื่อข้าวโพดได้ผลการทดลองดังสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การเปรียบเทียบสมบัติเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์และเยื่อข้าวโพด

เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดมีความหนาแน่น ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง แรงดันทะลุ และแรงฉีกสูงกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์ แต่มีความเรียบและความแกร่งต่ำกว่า ในขณะที่สมบัติด้านการต้านทานอากาศไหลผ่านพบว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดสามารถต้านอากาศไหลผ่านได้มากกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์มาก ในด้านการดูดซึมน้ำพบว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์ ในด้านการซึมน้ำมันเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์มีค่าการดูดซึมน้ำมันมากกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพด

5.1.2 การใช้แป้งเป็นสารเติมแต่งในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูป

การใช้แป้งเป็นสารเติมแต่งในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์มีแนวโน้มที่สามารถเพิ่มสมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึง แรงฉีก แรงดันทะลุ ความต้านทานอากาศไหลผ่าน และความเรียบได้เมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ส่วนสมบัติในการดูดซึมน้ำพบว่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำมันมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมแป้ง

การใช้แป้งเป็นสารเติมแต่งในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดพบว่าค่าความเรียบและความแกร่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงปริมาณการใส่แป้งไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความแข็งแรงต่อแรงดึงลดลง ในด้านการดูดซึมน้ำและน้ำมันเมื่อมีการเติมแป้งเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำและดูดซึมน้ำมันมากขึ้น

5.1.3 การใช้ไคโทซานเป็นสารเติมแต่งในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูป

การใช้ไคโทซานเป็นสารเติมแต่งในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคัลิปต์พบว่าทำให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง แรงดันทะลุ และค่าการต้านทานอากาศไหลผ่านมีค่าเพิ่มขึ้น ใน

ด้านความหนาแน่น ค่าความเรียบ มีแนวโน้มลดลง ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกและค่าความแกร่งเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ส่วนสมบัติด้านการดูดซึมน้ำและดูดซึมน้ำมันพบว่ามีค่าลดลงเล็กน้อย

การใช้ไคโทซานเป็นสารเติมแต่งในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดพบว่าค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง แรงดันทะลุ แรงฉีก และความแกร่งมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความเรียบและความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง ในด้านการดูดซึมน้ำและดูดซึมน้ำมันพบว่ามีค่าลดลงโดยเฉพาะค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลงอย่างมาก

โดยสรุปแล้วการใช้แป้งเป็นสารเติมแต่งในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัสพบว่าสามารถเพิ่มความแข็งแรงได้เล็กน้อย ในขณะที่การใช้แป้งเป็นสารเติมแต่งในเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดส่งผลทั้งเพิ่มและลดลงในด้านความแข็งแรง การใช้ไคโทซานเป็นสารเติมแต่งในเยื่อข้าวโพดและเยื่อยูคาลิปตัสมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความแข็งแรงและลดความหนาแน่นของกระดาษได้ ในด้านการดูดซึมน้ำไคโทซานสามารถลดการดูดซึมน้ำของเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดได้อย่างมาก

เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อข้าวโพดมีสมบัติโดยรวมดีกว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อยูคาลิปตัส โดยเฉพาะสมบัติด้านการต้านอากาศไหลผ่านและมีค่าการดูดซึมน้ำมันที่ต่ำ แต่ในด้านการดูดซึมน้ำจะพบว่าเยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตจากข้าวโพดมีค่าการดูดซึมน้ำมากซึ่งสามารถทำให้ลดลงได้ด้วยการใช้ไคโทซานเป็นสารเติมแต่ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพิ่มตัวแปรในการทดลอง เช่น ระดับของสารกันซึม สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก เพื่อหาสูตรที่ดีที่สุดในการผลิตเยื่อกระดาษขึ้นรูป รวมถึงใช้เครื่องขึ้นรูปเยื่อกระดาษที่เหมือนในอุตสาหกรรมในการขึ้นแผ่นทดสอบ

รายการอ้างอิง

- [1] Smook, G.A. Handbook for Pulp & Paper technologists. 3rd edition. Vancouver: Angus Wilde, 2002.
- [2] Kocurek, J.M. and Stevens, F. Properties of Fibrous Raw Materials and Their Preparation for Pulping: Trees and Their Production of Wood: Pulp and Paper Manufacture: Volume 3. 3rd ed. Montreal: The Joint Textbook Committee of Paper Industry, 1987.
- [3] Casey, J.P. Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology. 3rd ed. Vol I. New York : John Wiley & Sons, 1980.
- [4] Biermann, C.J. Essential of Pulping and Papermaking. San Diego: Academic Press, 1993.
- [5] Mimms, A. Kraft Pulping a Complilation of Notes. Atlanta: TAPPI Press, 1989.
- [6] Gullichsen, J. and Paulapuro, H. Papermaking Science and Technology : Chemical Pulping Book 6A. Jyväskylä: Gummerus Printing, 2000.
- [7] อัมพล เสนาณรงค์. การปลูกข้าวโพดในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมการเกษตร, 2515.
- [8] กรมวิชาการเกษตร, ข้าวโพด. กรุงเทพฯ: ธนประดิษฐ์การพิมพ์, 2524.
- [9] Ahmed A. and Zhu, J.Y. Cornstalk as a Source of Fiber and Energy. 3rd International Symposium on Emerging Technology of Pulping and Papermaking, Guangzhou, 2006, pp 1-4. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2006.
- [10] Cho, B.U. and Ryu, J.Y. Factors influencing deflaking kinetics in repulping to produce molded pulp, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 15(1), 2009, p.119-123.
- [11] Edwin, H. Wiley Encyclopedia of Packaging Technology, Aaron, L.B., Kenneth, S.M. (editor), New York, John wiley & sons Inc., 1997.
- [12] Moldedpulp [Online], Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Molded_pulp, [2011 April 4]
- [13] ปฎิมา พูลผล, การใช้โคโทซานเป็นสารเพิ่มความฟุ้งในกระดาษ, วิทยานิพนธ์, สาขาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

- [14] Majeti, N.V. and Kumar, R. A Review of Chitin and Chitosan Applications, Reactive & Functional Polymers, 46, 2000, p.1-27.
- [15] กาวดี เมธะคานนท์, อศิรา เฟื่องฟูชาติ และ ก้องเกียรติ คงสุวรรณ, 2543, ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไคติน-ไคโทซาน, จุลสารสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 19, 69-75, 2543.
- [16] กุลวรา เหล่ากาวิ, การพัฒนาแผ่นซับน้ำมันจากไคโทซาน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548.
- [17] Muzzarelli, R.A.A. Human enzymatic activities related to the therapeutical administration of chitin derivatives, Cell Mol. Biol. Life Sci., 53, 1997, p131.
- [18] Mark, H.F., Bikales, N.M. and Overberger, C.G. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Vol. 1, New York, Wiley, 1985.
- [19] Yannas, I.V., Burke, H.F., Orgill, D.P. and Skrabut, E.M. Wound tissue can utilise a polymeric template to synthesise a functional extension of skin, Science, 215, 1982, p.174.
- [20] Allan, G., Crospy, J.H., Lee, G.D., Miller, M.L. and Reif, W.M. Proceedings of a Symposium on Man-made Polymers in Paper Making, Helsinki, Finland, 1972.
- [21] สุพิทา สุขจำเริญ. การเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อและกระดาษจากส่วนต่างๆของต้นข้าวโพดต่างพันธุ์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551
- [22] ธนธร ทองสัมฤทธิ์. การผลิตเยื่อและกระดาษจากใบธูปฤๅษีเพื่อนวัตกรรมสิ่งพิมพ์บรรจุภัณฑ์, งานวิจัยพระจอมเกล้าธนบุรี, ภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.
- [23] วัชรระ บุญเสริมศักดิ์ และ สุธินา ทรงโยทิน. การผลิตเยื่อข้าวโพดและเยื่อปอสาสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. งานวิจัยปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [24] Kjellgren, H., Gallstedt, M., and Engstorm, G. Barrier and Surface Properties of Chitosan-coated Greaseproof Paper, Carbohydrate Polymer, 65, 2006, p.453-460.

- [25] Li, H., Du, Y., Xu, Y., Zhan, H., and Kennedy, J.F. Interaction of Cationized Chitosan with Components in a Chemical Pulp Suspension, Carbohydrate polymer, 58, 2004, p.205-214.
- [26] Kuusipalo, J., Kaunisto, M., Laine, A. and Kellomäki, M. Chitosan as a coating additive in paper and paperboard, Tappi journal, 4(8), 2005, p17-21.
- [27] Hans, W.M. Starch. 3rd ed. Chemistry and Technology, Elsevier, 2009, P. 657-713.
- [28] Wan, J., Wang, Y. and Xiao, Q., Effects of hemicellulose removal on cellulose fiber structure and recycling characteristics of eucalyptus pulp, Bioresource Technology, 101, 2010, P. 4577-4583.
- [29] Bending Stiffness [Online], Available from <http://cnr.ncsu.edu/fb/industrypros/industryservices/pttats/paper.html>, [2011, May 3]
- [30] Olsson, A.M. and Salmén L. The association of water to cellulose and hemicellulose in paper examined by FTIR spectroscopy, Carbohydrate Research, 339, 2004, P. 813-818.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณสารเคมีในการผลิตเชื้อและการเตรียมเชื้อ

1. วิธีการหาความชื้นของลำต้นข้าวโพดแห้ง

นำลำต้นข้าวโพดที่ตัดเป็นท่อนมาทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบ หลังจากนั้นทำการอบที่อุณหภูมิ 106 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้เย็นในภาชนะดูความชื้นหลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักหลังอบและนำมาคำนวณหาปริมาณความชื้นของต้นข้าวโพด ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{ความชื้นของต้นข้าวโพด (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักลำต้นข้าวโพดก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักลำต้นข้าวโพดก่อนอบ}}$$

2. วิธีการคำนวณสารเคมีที่ใช้ในการต้มเชื้อ

ยกตัวอย่างของภาวะที่มีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักต้นข้าวโพดแห้ง กำหนดให้น้ำหนักลำต้นข้าวโพดมีน้ำหนัก 200 กรัม มีความชื้นร้อยละ 10 และในการต้มเชื้อกำหนดให้มีค่าของเหลวต่อน้ำหนักขึ้นไม้แห้ง (L: W) เป็น 9 ต่อ 1

- หาน้ำหนักข้าวโพดแห้ง จากความชื้นร้อยละ 10

น้ำหนักต้นข้าวโพด 100 กรัมจะมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ $100 - 10 = 90$ กรัม

ถ้าน้ำหนักต้นข้าวโพดแห้ง 200 กรัมจะมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ $(200 \times 90) / 100 = 180$ กรัม

- หาอัตราส่วนปริมาณของเหลวทั้งหมด จากค่า L: W = 9:1

น้ำหนักลำต้นข้าวโพดแห้งที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 180 กรัม ดังนั้นปริมาตรของเหลวทั้งหมดที่ใช้ในการต้มเชื้อคือ $9 \times 180 = 1620$ กรัม

- หาปริมาณสารเคมีที่ต้องเติม

โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักข้าวโพดแห้ง

น้ำหนักข้าวโพดแห้ง 100 กรัมจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 กรัม

ถ้าน้ำหนักข้าวโพดแห้ง 180 กรัมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ $(180 \times 20) / 100 = 36$ กรัม

แต่เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีการเตรียมไว้ที่ความเข้มข้น 180 กรัมต่อลิตร ดังนั้นจะต้องตวงปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ดังนี้

ไซเดียมไฮดรอกไซด์ 180 กรัมจาก สารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ถ้าต้องการไซเดียมไฮดรอกไซด์ 36 กรัม ดังนั้นต้องตวงสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ $(36 \times 1000) / 180 = 200$ มิลลิลิตร

ดังนั้นปริมาณน้ำที่ต้องเติมเพิ่ม = ปริมาตรของเหลวทั้งหมด - ปริมาตรไซเดียม

ไฮดรอกไซด์ - ปริมาตรความชื้นในข้าวโพด

ปริมาณน้ำที่ต้องเติมเพิ่ม = $1620 - 200 - 20 = 1400$ มิลลิลิตร

3. วิธีการคำนวณเยื่อในการบดเยื่อ

เนื่องจากตามมาตรฐาน TAPPI T 200 sp-01 กำหนดให้ใช้น้ำหนักเยื่อแห้งในการบดเยื่อ 360 กรัม น้ำหนักแห้ง ในน้ำปริมาตร 23 ลิตร ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของเยื่อ (% consistency) มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.56 กำหนดให้เยื่อมีความชื้นร้อยละ 75 ดังนั้นถ้าต้องการเยื่อแห้ง 360 กรัม คำนวณได้ดังนี้

ที่ความชื้นร้อยละ 75 เมื่อชั่งน้ำหนักเยื่อที่มีความชื้น 100 กรัม จะมีเยื่อแห้งอยู่ 25 กรัม

ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 25 กรัม ต้องชั่งน้ำหนักเยื่อที่มีความชื้น 100 กรัม

ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 360 กรัม ต้องชั่งน้ำหนักเยื่อที่มีความชื้นเท่ากับ $(360 \times 100) / 25$

= 1440 กรัม

ดังนั้นต้องชั่งเยื่อที่มีความชื้นร้อยละ 75 มา 1440 กรัมถึงจะได้เยื่อแห้ง 360 กรัม น้ำหนักแห้ง และพบว่า มีน้ำอยู่ในเยื่อแล้ว $1440 - 360 = 1080$ กรัม ดังนั้นจะต้องเติมน้ำเพิ่มลงไปอีก 21920 กรัม เพื่อที่จะทำให้น้ำเยื่อที่พร้อมก่อนการบดมีความเข้มข้นร้อยละ 1.56

4. วิธีการคำนวณหาปริมาณน้ำเยื่อสำหรับการหาค่าความเป็นอิสระของเยื่อ (freeness)

เนื่องจากตามมาตรฐาน TAPPI T 227 om-94 กำหนดให้ใช้ความเข้มข้นของเยื่อเท่ากับ ร้อยละ 0.3 ในปริมาตรทั้งหมด 1000 มิลลิลิตร ในการหาค่าความเป็นอิสระของเยื่อ และในการหา จะตวงน้ำเยื่อมาจากเครื่องบดเยื่อซึ่งมีความเข้มข้นของน้ำเยื่อเท่ากับ 1.56 ดังนั้นจะใช้สูตร ดังต่อไปนี้ในการตวงปริมาณน้ำเยื่อเพื่อมาทำการปรับความเข้มข้นของน้ำเยื่อให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.3 ในปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นของน้ำเยื่อตามมาตรฐานที่ต้องการคือ ร้อยละ 0.3

C_2 = ความเข้มข้นของน้ำเยื่อในเครื่องบดเยื่อคือ ร้อยละ 1.56

V_1 = ปริมาณน้ำเยื่อที่ใช้ในการวัดค่าความเป็นอิสระของเยื่อ คือ 1000 มิลลิลิตร

V_2 = ปริมาณน้ำเยื่อที่ต้องตวงจากเครื่องบดเยื่อ

$$0.3 \times 1000 = 1.56 \times V_2$$

$$V_2 = (0.3 \times 1000) / 1.56$$

$$V_2 = 192 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้นต้องตวงน้ำเยื่อในเครื่องบดเยื่อที่ความเข้มข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 1.56 มา 192 มิลลิลิตร แล้วทำการเติมน้ำจนมีปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร แล้วนำไปหาค่าความเป็นอิสระของเยื่อ

5. วิธีการคำนวณน้ำเยื่อไว้ใช้สำหรับการขึ้นแผ่นขึ้นทดสอบ

กำหนดให้น้ำหนักของแผ่นขึ้นทดสอบมีน้ำหนักเท่ากับ 100 กรัมต่อตารางเมตร และเครื่องขึ้นแผ่นมีรัศมีเท่ากับ 10.02 เซนติเมตร ดังนั้นพื้นที่ของเครื่องขึ้นแผ่นขึ้นทดสอบจะมีพื้นที่เท่ากับ 0.0315 ตารางเมตร ดังนั้นถ้าจะทำการขึ้นแผ่นขึ้นทดสอบให้มีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 100 กรัมต่อตารางเมตรจะต้องใช้เยื่อแห้งเท่ากับดังนี้

แผ่นขึ้นทดสอบ 1 ตารางเมตร จะต้องใช้เยื่อแห้งในการขึ้นแผ่น 100 กรัม

ถ้าแผ่นขึ้นทดสอบมีขนาด 0.0315 ตารางเมตร จะต้องใช้เยื่อแห้งในการขึ้นแผ่นเท่ากับ $100 \times 0.0315 = 3.15$ กรัม

ดังนั้นจะต้องใช้เยื่อแห้ง 3.15 กรัมในการขึ้นแผ่นเพื่อทำให้แผ่นขึ้นทดสอบมีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 100 กรัมต่อตารางเมตร แต่สถานะจะทำการขึ้นแผ่นขึ้นทดสอบ 20 แผ่น ดังนั้นจะต้องใช้เยื่อทั้งหมดในการขึ้นแผ่นเท่ากับ $3.15 \times 20 = 63$ กรัม เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำเยื่อในเครื่องบดเยื่อมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.56 ดังนั้นเราจะต้องตวงน้ำเยื่อออกมาปริมาตรเท่าไรให้มีเยื่อหนักเท่ากับ 63 กรัม โดยวิธีการเทียบดังนี้

น้ำหนักเยื่อ 1.56 กรัม ตวงมาจากน้ำเยื่อในเครื่องบดเยื่อ 100 มิลลิลิตร

ถ้าต้องการน้ำหนักเยื่อ 63 กรัม ต้องตวงน้ำเยื่อมาจากในเครื่องบดเยื่อเท่ากับ $(63 \times 100) / 1.56 = 4038.46$ มิลลิลิตร

นำปริมาตรน้ำเยื่อที่คำนวณได้จากเครื่องบดเยื่อมาทำการปรับความเข้มข้นของน้ำเยื่อให้มีความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 0.3 เพื่อใช้ในการขึ้นแผ่นขึ้นทดสอบ หลังจากนั้นทำการคำนวณ

ปริมาณน้ำเยื่อเพื่อใช้ในการขึ้นแผ่น เนื่องจากแผ่นขึ้นทดสอบขนาด 100 กรัมต่อตารางเมตร จะต้องใช้เยื่อ 3.15 กรัม ดังนั้นจะต้องทำการตวงน้ำเยื่อที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ให้มีน้ำหนักเยื่อ 3.15 โดยการเทียบดังนี้

น้ำหนักเยื่อ 0.3 กรัม ตวงมาจากน้ำเยื่อ 100 มิลลิลิตร

ถ้าต้องการน้ำหนักเยื่อ 3.15 ต้องตวงมาจากน้ำเยื่อเท่ากับ $(3.15 \times 100) / 0.3 = 1050$

มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบในการทดลอง

1. ความหนาแน่น

Eu	Eu-S0.5	Eu-S1	Eu-S2	Eu-S4	Eu-C0.5	Eu-C1	Eu-C2	Eu-C4
0.83995	0.91882	0.852676	0.924345	0.892735	0.864568	0.86217	0.860374	0.816503
0.832741	0.904075	0.921904	0.890127	0.890387	0.850623	0.888523	0.869167	0.816993
0.916693	0.916308	0.90627	0.917334	0.896908	0.833688	0.889318	0.880393	0.789043
0.870306	0.90547	0.920807	0.93123	0.889083	0.873652	0.887462	0.901058	0.80124
0.88152	0.912959	0.907897	0.967562	0.904167	0.864307	0.8614	0.862273	0.803168
0.882689	0.934876	0.943264	0.93445	0.904432	0.871023	0.91329	0.861699	0.829013
0.872653	0.951074	0.918143	0.973636	0.886034	0.854053	0.908436	0.860917	0.791655
0.87553	0.942045	0.899538	0.942686	0.893256	0.858048	0.878977	0.873921	0.815769
0.883359	0.948182	0.911481	0.971875	0.923806	0.87161	0.882563	0.863003	0.799793
0.87161	0.946736	0.925518	0.942614	0.911856	0.895763	0.849963	0.866133	0.804614
0.903313	0.934876	0.929984	0.970739	0.934248	0.838707	0.900985	0.88375	0.791893

Co	Co-S0.5	Co-S1	Co-S2	Co-S4	Co-C0.5	Co-C1	Co-C2	Co-C4
0.929261	0.87473	0.858048	0.834714	0.891174	0.828516	0.880568	0.848485	0.811605
0.909888	0.839076	0.887943	0.846833	0.889053	0.872392	0.87161	0.868741	0.812551
0.90933	0.862273	0.909561	0.855755	0.893517	0.884545	0.863525	0.854216	0.824621
0.905702	0.859091	0.880833	0.861438	0.873435	0.87187	0.870827	0.858834	0.778182
0.875	0.864129	0.925797	0.85011	0.877347	0.853189	0.866133	0.870125	0.7401
0.899961	0.857526	0.906544	0.841162	0.884811	0.866133	0.89037	0.83821	0.805337
0.895846	0.899961	0.903252	0.862742	0.889605	0.877917	0.864568	0.846518	0.828443
0.887069	0.899807	0.914912	0.893652	0.889318	0.89303	0.851402	0.891692	0.824139
0.880212	0.903902	0.912578	0.880663	0.898459	0.874478	0.865611	0.850505	0.813051
0.887404	0.901058	0.911207	0.905447	0.887992	0.877608	0.872131	0.888523	0.766634
0.843695	0.89765	0.924123	0.881894	0.883085	0.879173	0.892235	0.868842	0.802063

2. ความแข็งแรงต่อแรงดึง

Eu	Eu-S0.5	Eu-S1	Eu-S2	Eu-S4	Eu-C0.5	Eu-C1	Eu-C2	Eu-C4
28.77154	35.76925	34.17451	32.76102	33.5434	41.0831	34.20351	31.11925	28.95398
30.8344	35.02658	34.97258	32.59805	33.87731	40.32464	36.45252	34.19623	29.50155
30.28127	34.71854	38.55644	33.19616	31.98604	35.92021	36.35744	28.55684	27.39636
31.20567	37.25006	32.89218	34.31377	34.23431	40.2234	33.55386	31.89099	27.9239
29.75486	37.15188	34.53689	35.76625	35.33026	39.32523	32.0808	32.02132	31.62979

Co	Co-S0.5	Co-S1	Co-S2	Co-S4	Co-C0.5	Co-C1	Co-C2	Co-C4
67.19366	66.52575	58.46287	66.4061	67.26456	65.69228	77.97995	65.97506	49.72068
73.07625	56.48172	69.6716	66.7224	70.17454	74.47648	78.86923	65.48012	54.24842
75.95077	62.6252	66.28181	69.04548	65.31565	70.1553	71.19127	66.27473	43.48492
72.51009	67.5779	62.8193	62.86349	67.75583	73.64358	79.75584	71.99055	51.64664
72.76836	66.02668	58.61866	66.53156	66.45717	78.86287	75.33015	64.93941	45.16238

3. ความเรียบ

Eu	Eu-S0.5	Eu-S1	Eu-S2	Eu-S4	Eu-C0.5	Eu-C1	Eu-C2	Eu-C4
71.86667	115.6667	110.3	114.8667	82.03333	72.5	63.83333	71.6	61.2
76.96667	100.6667	115.8667	100.8667	63.96667	96.46667	69.4	73.2	65.83333
124.2	87.76667	113.4	99.5	63.26667	84.16667	74.63333	92.6	67
107.2333	104.6667	82.6	77.83333	65.13333	65.7	65.53333	66.53333	69.13333
111.8667	87.3	97.43333	85.23333	54.26667	74.96667	73.7	61.16667	61.66667

Co	Co-S0.5	Co-S1	Co-S2	Co-S4	Co-C0.5	Co-C1	Co-C2	Co-C4
38	48.46667	54	55.96667	71.83333	32.53333	76.26667	53.2	35.6
45.66667	73.33333	64.13333	82.36667	79.63333	24.4	47.5	52.9	33.73333
75.2	92.5	83.23333	74.36667	37.63333	37.3	57.8	38.63333	31.8
89.9	60.13333	58.03333	41.5	82.8	37.16667	65.13333	53.63333	38.63333
51.1	71.96667	70.03333	73.43333	57.36667	28.56667	69.53333	54.43333	34.83333

4. ความแข็งแรงต่อแรงฉีก

Eu	Eu-S0.5	Eu-S1	Eu-S2	Eu-S4	Eu-C0.5	Eu-C1	Eu-C2	Eu-C4
4.505926	5.24292	5.175462	5.250703	5.276378	6.117484	5.870651	5.607141	6.337874
4.747337	5.068243	5.006905	5.400208	5.362512	6.043103	5.831233	5.79185	6.130944
4.684926	5.557712	5.074625	5.163995	5.287722	5.558954	5.568714	5.173003	6.473964
4.544169	5.04809	5.178131	5.102019	5.117183	6.107105	5.690863	5.122742	6.676004
4.851102	4.730082	4.961369	5.436274	5.224189	6.00794	5.967707	5.591734	6.419479

Co	Co-S0.5	Co-S1	Co-S2	Co-S4	Co-C0.5	Co-C1	Co-C2	Co-C4
6.143455	6.099575	6.37028	6.499579	6.565836	7.348436	5.989088	6.15195	7.567157
6.617985	6.088781	5.877778	6.131911	6.52635	6.658667	6.406422	6.106814	7.193344
6.319323	6.084569	6.153029	5.989291	6.621186	6.812133	5.858238	6.110483	7.291551
5.831753	5.954899	5.882138	6.233229	6.110802	6.883916	6.190644	6.323181	7.273159
5.641792	6.657842	6.262671	6.437687	7.164668	6.908825	6.706787	6.810713	6.945896

5. ความแข็งแรงต่อแรงด้นทะลุ

Eu	Eu-S0.5	Eu-S1	Eu-S2	Eu-S4	Eu-C0.5	Eu-C1	Eu-C2	Eu-C4
1.950853	2.623726	2.302082	2.309102	2.646929	3.364895	2.606139	2.567901	2.115839
2.11347	2.464161	2.592429	2.352646	2.564918	3.124307	2.783115	3.005657	2.130828
2.011385	2.449125	2.477885	2.44001	2.735568	2.835407	2.550924	2.213348	1.910242
1.936384	2.507516	2.359561	2.505769	2.462074	3.086111	2.392559	2.358434	2.327517
1.932609	2.61735	2.553988	2.497812	2.652258	3.162899	2.438765	2.527526	2.232353

Co	Co-S0.5	Co-S1	Co-S2	Co-S4	Co-C0.5	Co-C1	Co-C2	Co-C4
5.607853	4.806582	4.881204	4.849996	4.636049	6.74556	5.093776	4.929702	3.34678
4.638221	4.237475	4.333064	4.576582	4.92056	6.718104	5.165684	4.44488	3.602132
4.839241	4.464429	4.384804	4.577828	5.084928	6.669527	5.4729	5.717124	4.399326
4.92381	4.909647	4.416115	5.246342	4.727174	6.587402	5.362027	5.010417	4.119737
4.340307	4.929306	4.707369	4.937407	4.94318	6.949416	5.489101	4.985412	3.492341

6. ความต้านทานอากาศไหลผ่าน

Eu	Eu-S0.5	Eu-S1	Eu-S2	Eu-S4	Eu-C0.5	Eu-C1	Eu-C2	Eu-C4
26.505	55.405	72.455	70.195	72.62	55.065	44.155	32.195	27.15
35.55	49.61	57.67	93.085	72.6	47.55	48.46	28.77	26.445
28.545	85.95	84.165	89.755	67.66	61.405	48.085	29.94	34.995
40.47	94.295	79.715	79.895	107.14	48.23	41.19	41.3	23.72
33.545	83.245	77.745	88.765	63.675	70.76	33.06	41.39	30.51

7. ความแกร่ง

Eu	Eu-S0.5	Eu-S1	Eu-S2	Eu-S4	Eu-C0.5	Eu-C1	Eu-C2	Eu-C4
0.02785	0.0282	0.026022	0.028162	0.026029	0.031572	0.029693	0.026159	0.027565
0.029588	0.028437	0.025383	0.026377	0.02685	0.031468	0.028219	0.027135	0.028751
0.029506	0.028671	0.026143	0.026761	0.027299	0.029852	0.030575	0.02691	0.034418
0.027821	0.026127	0.024118	0.02802	0.027521	0.029858	0.030416	0.028256	0.030074
0.032444	0.025686	0.025827	0.026996	0.029473	0.029801	0.029413	0.030283	0.031071

Co	Co-S0.5	Co-S1	Co-S2	Co-S4	Co-C0.5	Co-C1	Co-C2	Co-C4
0.027061	0.027242	0.030906	0.025711	0.026136	0.022239	0.03141	0.026563	0.032924
0.024779	0.027779	0.030302	0.026365	0.025338	0.024917	0.031523	0.023579	0.031065
0.02551	0.030609	0.025887	0.025322	0.026706	0.025662	0.029363	0.031484	0.032173
0.024974	0.028349	0.025506	0.024779	0.026411	0.025308	0.028881	0.026362	0.030515
0.027933	0.029898	0.032167	0.028325	0.02698	0.027319	0.03031	0.02462	0.039463

8. ค่าความสามารถในการซึมน้ำ

Eu	Eu-S0.5	Eu-S1	Eu-S2	Eu-S4	Eu-C0.5	Eu-C1	Eu-C2	Eu-C4
20.8	16.6	16	17.2	17.9	14.8	16.8	16.5	17.5
17.2	16.7	17	16.6	16.8	14.6	16.3	16.3	17.2
19.5	17.6	16.2	16.2	17.1	14.6	16	16	20
19.6	17	15.9	17.2	17.9	13.7	14.9	15	16.3
17.9	16.4	16.4	16.4	18	15.3	15.9	16.7	18.3

Co	Co-S0.5	Co-S1	Co-S2	Co-S4	Co-C0.5	Co-C1	Co-C2	Co-C4
58.6	62.3	71.6	62.3	59.3	26.8	26.5	22.3	25.7
47.2	72.6	65.8	60.4	61.2	28.1	27.5	24.9	24.9
55.3	68.7	68.7	64.9	62	27.2	28.3	24.9	24.3
57.3	69.2	69.8	75.9	65.3	27.2	26.9	23.4	23.2
46.5	63.4	68.6	64.4	69.7	26.1	26.7	26.1	24.6

9. ค่าความสามารถในการซึมน้ำมัน

Eu	Eu-S0.5	Eu-S1	Eu-S2	Eu-S4	Eu-C0.5	Eu-C1	Eu-C2	Eu-C4
36.04651	29.07609	28.98936	28.77493	29.60289	29.81132	30.22113	27.83172	35
42.75093	28.42105	26.08696	28.43823	30.42071	32.46269	37.1134	38.57143	39.23611
33.45455	31.34796	30.90452	30.13245	30.19802	37.78626	28.57143	32.05128	36.36364
38.36066	31.57895	28.08717	28.96725	28.75	38.75	35.06944	27.57475	31.68605
35.04902	30.50193	31.21387	26.97674	31.26338	27.85924	30.66667	30.95238	35.76389

Co	Co-S0.5	Co-S1	Co-S2	Co-S4	Co-C0.5	Co-C1	Co-C2	Co-C4
9.776536	8.955224	16.51917	6.609195	8.547009	4.109589	5.247813	5.128205	8.761329
7.926829	7.945205	11.79941	8.615385	3.601108	4.032258	4.885057	5.292479	8.579088
6.287425	11.41975	11.5942	6.685237	8.215297	4.043127	5.45977	4.972376	7.341772
7.977208	11.49425	11.0119	8.645533	10.27778	5.039788	5.202312	5.479452	8.563536
10.32448	10.34483	11.30952	10.67073	5.797101	4.83871	5.491329	5.555556	6.784661

ภาคผนวก ค

ตารางวิเคราะห์ทางสถิติ

1. ความหนาแน่น

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	11	9.630364	0.875488	0.000576
Eu-S0.5	11	10.21542	0.928675	0.00031
Eu-S1	11	10.03748	0.912498	0.000542
Eu-S2	11	10.3666	0.942418	0.000716
Eu-S4	11	9.926911	0.902446	0.000237

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.028903	4	0.007226	15.17515	3.45E-08	2.557179
Within Groups	0.023807	50	0.000476			
Total	0.05271	54				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	11	9.630364	0.875488	0.000576
Eu-C0.5	11	9.476041	0.861458	0.000301
Eu-C1	11	9.723087	0.883917	0.000398
Eu-C2	11	9.582687	0.871153	0.000163
Eu-C4	11	8.859686	0.805426	0.000162

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.04307	4	0.010767	33.6547	1.26E-13	2.557179
Within Groups	0.015997	50	0.00032			
Total	0.059067	54				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	11	9.823368	0.893033	0.000507
Co-S0.5	11	9.659203	0.878109	0.000529
Co-S1	11	9.934799	0.903164	0.000406
Co-S2	11	9.514409	0.864946	0.000513
Co-S4	11	9.757797	0.887072	5.06E-05

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.009328	4	0.002332	5.814698	0.000637	2.557179
Within Groups	0.020053	50	0.000401			
Total	0.029382	54				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	11	9.823368	0.893033	0.000507
Co-C0.5	11	9.578851	0.870805	0.000299
Co-C1	11	9.588978	0.871725	0.000145
Co-C2	11	9.484689	0.862244	0.000293
Co-C4	11	8.806725	0.800611	0.000767

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.053647	4	0.013412	33.3545	1.48E-13	2.557179
Within Groups	0.020105	50	0.000402			
Total	0.073752	54				

2.ความแข็งแรงต่อแรงดึง

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	150.8477	30.16955	0.913612
Eu-S0.5	5	179.9163	35.98326	1.382757
Eu-S1	5	175.1326	35.02652	4.496075
Eu-S2	5	168.6352	33.72705	1.748067
Eu-S4	5	168.9713	33.79426	1.473106

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	97.193	4	24.29825	12.1326	3.62E-05	2.866081
Within Groups	40.05447	20	2.002723			
Total	137.2475	24				

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	150.8477	30.16955	0.913612
Eu-C0.5	5	196.8766	39.37532	4.119314
Eu-C1	5	172.6481	34.52963	3.523411
Eu-C2	5	157.7846	31.55693	4.121308
Eu-C4	5	145.4056	29.08112	2.716564

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	342.0971	4	85.52429	27.77807	6.46E-08	2.866081
Within Groups	61.57683	20	3.078842			
Total	403.674	24				

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	361.4991	72.29983	10.06722
Co-S0.5	5	319.2372	63.84745	20.39659
Co-S1	5	315.8542	63.17085	23.73721
Co-S2	5	331.569	66.3138	4.897403
Co-S4	5	336.9678	67.39355	3.269068

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	262.6758	4	65.66894	5.264677	0.004609	2.866081
Within Groups	249.47	20	12.4735			
Total	512.1457	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	361.4991	72.29983	10.06722
Co-C0.5	5	362.8305	72.5661	24.38028
Co-C1	5	383.1264	76.62529	11.96918
Co-C2	5	334.6599	66.93197	8.253772
Co-C4	5	244.263	48.85261	20.02622

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	2400.063	4	600.0156	40.16348	2.74E-09	2.866081
Within Groups	298.7866	20	14.93933			
Total	2698.849	24				

3. ความเรียบ

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	492.1333	98.42667	522.1052
Eu-S0.5	5	496.0667	99.21333	143.8792
Eu-S1	5	519.6	103.92	192.4792
Eu-S2	5	478.3	95.66	209.3141
Eu-S4	5	328.6667	65.73333	101.685

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4685.048	4	1171.262	5.007692	0.005818	2.866081
Within Groups	4677.851	20	233.8926			
Total	9362.899	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	492.1333	98.42667	522.1052
Eu-C0.5	5	393.8	78.76	141.7247
Eu-C1	5	347.1	69.42	22.95367
Eu-C2	5	365.1	73.02	142.0009
Eu-C4	5	324.8333	64.96667	11.83111

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	3401.322	4	850.3306	5.057785	0.005558	2.866081
Within Groups	3362.462	20	168.1231			
Total	6763.785	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	299.8667	59.97333	473.4252
Co-S0.5	5	346.4	69.28	269.9181
Co-S1	5	329.4333	65.88667	131.0359
Co-S2	5	327.6333	65.52667	273.2302
Co-S4	5	329.2667	65.85333	345.3076

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	224.5772	4	56.14429	0.188036	0.941864	2.866081
Within Groups	5971.668	20	298.5834			
Total	6196.245	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	299.8667	59.97333	473.4252
Co-C0.5	5	159.9667	31.99333	31.15411
Co-C1	5	316.2333	63.24667	122.5564
Co-C2	5	252.8	50.56	44.78467
Co-C4	5	174.6	34.92	6.350333

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4047.894	4	1011.973	7.459952	0.000757	2.866081
Within Groups	2713.083	20	135.6542			
Total	6760.977	24				

4. ความแข็งแกร่งต่อแรงฉีก

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	23.33346	4.666692	0.020425
Eu-S0.5	5	25.64705	5.129409	0.091536
Eu-S1	5	25.39649	5.079298	0.009546
Eu-S2	5	26.3532	5.27064	0.021106
Eu-S4	5	26.26798	5.253597	0.008255

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1.198722	4	0.29968	9.931817	0.000136	2.866081
Within Groups	0.603476	20	0.030174			
Total	1.802198	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	23.33346	4.666692	0.020425
Eu-C0.5	5	29.83459	5.966917	0.054061
Eu-C1	5	28.92917	5.785834	0.024623
Eu-C2	5	27.28647	5.457294	0.086301
Eu-C4	5	32.03827	6.407653	0.039497

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	8.483593	4	2.120898	47.1506	6.59E-10	2.866081
Within Groups	0.899627	20	0.044981			
Total	9.383221	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	30.55431	6.110861	0.149905
Co-S0.5	5	30.88567	6.177133	0.075715
Co-S1	5	30.5459	6.109179	0.049688
Co-S2	5	31.2917	6.258339	0.044841
Co-S4	5	32.98884	6.597768	0.141295

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.827549	4	0.206887	2.241741	0.100829	2.866081
Within Groups	1.845774	20	0.092289			
Total	2.673323	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	30.55431	6.110861	0.149905
Co-C0.5	5	34.61198	6.922396	0.066222
Co-C1	5	31.15118	6.230236	0.114061
Co-C2	5	31.50314	6.300628	0.08913
Co-C4	5	36.27111	7.254222	0.049613

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4.954753	4	1.238688	13.20758	2.01E-05	2.866081
Within Groups	1.875724	20	0.093786			
Total	6.830477	24				

5. ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	9.944701	1.98894	0.005849
Eu-S0.5	5	12.66188	2.532376	0.006942
Eu-S1	5	12.28595	2.457189	0.015419
Eu-S2	5	12.10534	2.421068	0.00766
Eu-S4	5	13.06175	2.612349	0.010701

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1.176358	4	0.29409	31.57388	2.2E-08	2.866081
Within Groups	0.186287	20	0.009314			
Total	1.362645	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	9.944701	1.98894	0.005849
Eu-C0.5	5	15.57362	3.114724	0.035959
Eu-C1	5	12.7715	2.554301	0.023641
Eu-C2	5	12.67287	2.534573	0.089323
Eu-C4	5	10.71678	2.143356	0.024273

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	3.825102	4	0.956275	26.70494	8.97E-08	2.866081
Within Groups	0.716179	20	0.035809			
Total	4.54128	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	24.34943	4.869886	0.220641
Co-S0.5	5	23.34744	4.669488	0.093165
Co-S1	5	22.72256	4.544511	0.056647
Co-S2	5	24.18816	4.837631	0.078199
Co-S4	5	24.31189	4.862378	0.032237

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.415794	4	0.103948	1.080795	0.392404	2.866081
Within Groups	1.923556	20	0.096178			
Total	2.33935	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	24.34943	4.869886	0.220641
Co-C0.5	5	33.67001	6.734002	0.01811
Co-C1	5	26.58349	5.316697	0.032169
Co-C2	5	25.08754	5.017507	0.206539
Co-C4	5	18.96032	3.792063	0.200081

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	22.38391	4	5.595977	41.29633	2.14E-09	2.866081
Within Groups	2.710157	20	0.135508			
Total	25.09406	24				

6. ค่าด้านทานอากาศไหลผ่าน

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	164.615	32.923	31.15071
Eu-S0.5	5	368.505	73.701	395.0897
Eu-S1	5	371.75	74.35	104.6142
Eu-S2	5	421.695	84.339	86.30423
Eu-S4	5	383.695	76.739	302.8537

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	8228.554	4	2057.138	11.17995	6.28E-05	2.866081
Within Groups	3680.05	20	184.0025			
Total	11908.6	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	164.615	32.923	31.15071
Eu-C0.5	5	283.01	56.602	94.47731
Eu-C1	5	214.95	42.99	39.77051
Eu-C2	5	173.595	34.719	38.10296
Eu-C4	5	142.82	28.564	18.77464

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	2448.951	4	612.2377	13.77201	1.5E-05	2.866081
Within Groups	889.1045	20	44.45523			
Total	3338.055	24				

7. ค่าความแปรปรวน

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	0.14721	0.029442	3.55E-06
Eu-S0.5	5	0.13712	0.027424	1.97E-06
Eu-S1	5	0.127493	0.025499	6.79E-07
Eu-S2	5	0.136316	0.027263	6.22E-07
Eu-S4	5	0.137172	0.027434	1.62E-06

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	3.9E-05	4	9.76E-06	5.774983	0.002944	2.866081
Within Groups	3.38E-05	20	1.69E-06			
Total	7.28E-05	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	0.14721	0.029442	3.55E-06
Eu-C0.5	5	0.152551	0.03051	8.51E-07
Eu-C1	5	0.148317	0.029663	8.87E-07
Eu-C2	5	0.138743	0.027749	2.57E-06
Eu-C4	5	0.151879	0.030376	6.86E-06

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	2.44E-05	4	6.09E-06	2.068898	0.123088	2.866081
Within Groups	5.89E-05	20	2.94E-06			
Total	8.33E-05	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	0.130258	0.026052	1.91E-06
Co-S0.5	5	0.143877	0.028775	2.04E-06
Co-S1	5	0.144767	0.028953	9.31E-06
Co-S2	5	0.130502	0.0261	1.88E-06
Co-S4	5	0.13157	0.026314	3.98E-07

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4.43E-05	4	1.11E-05	3.565448	0.023717	2.866081
Within Groups	6.21E-05	20	3.11E-06			
Total	0.000106	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	0.130258	0.026052	1.91E-06
Co-C0.5	5	0.125445	0.025089	3.37E-06
Co-C1	5	0.151488	0.030298	1.4E-06
Co-C2	5	0.132607	0.026521	9.23E-06
Co-C4	5	0.16614	0.033228	1.3E-05

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.000234	4	5.85E-05	10.10122	0.000122	2.866081
Within Groups	0.000116	20	5.79E-06			
Total	0.00035	24				

8. ค่า cobb

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	95	19	2.075
Eu-S0.5	5	84.3	16.86	0.218
Eu-S1	5	81.5	16.3	0.19
Eu-S2	5	83.6	16.72	0.212
Eu-S4	5	87.7	17.54	0.303

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	22.3816	4	5.5954	9.331888	0.000201	2.866081
Within Groups	11.992	20	0.5996			
Total	34.3736	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	95	19	2.075
Eu-C0.5	5	73	14.6	0.335
Eu-C1	5	79.9	15.98	0.487
Eu-C2	5	80.5	16.1	0.445
Eu-C4	5	89.3	17.86	1.943

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	59.6184	4	14.9046	14.10085	1.27E-05	2.866081
Within Groups	21.14	20	1.057			
Total	80.7584	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	264.9	52.98	32.757
Co-S0.5	5	336.2	67.24	18.463
Co-S1	5	344.5	68.9	4.46
Co-S2	5	327.9	65.58	36.487
Co-S4	5	317.5	63.5	16.715

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	790.232	4	197.558	9.072115	0.000239	2.866081
Within Groups	435.528	20	21.7764			
Total	1225.76	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	264.9	52.98	32.757
Co-C0.5	5	135.4	27.08	0.527
Co-C1	5	135.9	27.18	0.532
Co-C2	5	121.6	24.32	2.192
Co-C4	5	122.7	24.54	0.833

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	2995.956	4	748.989	101.6516	5.4E-13	2.866081
Within Groups	147.364	20	7.3682			
Total	3143.32	24				

9. ค่าการซึมน้ำมัน

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	185.6617	37.13233	13.03068
Eu-S0.5	5	150.926	30.1852	1.934303
Eu-S1	5	145.2819	29.05638	4.457937
Eu-S2	5	143.2896	28.65792	1.289559
Eu-S4	5	150.235	30.047	0.880375

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	242.1969	4	60.54922	14.02066	1.32E-05	2.866081
Within Groups	86.37142	20	4.318571			
Total	328.5683	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Eu	5	185.6617	37.13233	13.03068
Eu-C0.5	5	166.6695	33.3339	23.07429
Eu-C1	5	161.6421	32.32841	12.93159
Eu-C2	5	156.9816	31.39631	19.85476
Eu-C4	5	178.0497	35.60994	7.377461

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	112.0628	4	28.01569	1.836642	0.161392	2.866081
Within Groups	305.0751	20	15.25376			
Total	417.1379	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	42.29248	8.458496	2.611749
Co-S0.5	5	50.15926	10.03185	2.419015
Co-S1	5	62.23422	12.44684	5.270647
Co-S2	5	41.22608	8.245216	2.822626
Co-S4	5	36.43829	7.287659	6.799926

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	81.54132	4	20.38533	5.115782	0.005272	2.866081
Within Groups	79.69585	20	3.984793			
Total	161.2372	24				

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Co	5	42.29248	8.458496	2.611749
Co-C0.5	5	22.06347	4.412694	0.23698
Co-C1	5	26.28628	5.257257	0.059361
Co-C2	5	26.42807	5.285614	0.058346
Co-C4	5	40.03039	8.006077	0.785667

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	66.23374	4	16.55844	22.06554	4.24E-07	2.866081
Within Groups	15.00841	20	0.750421			
Total	81.24215	24				

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวีรยุทธ เจริญปัญญาปราชญ์ เกิดเมื่อวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษา ที่โรงเรียนเศรษฐบุตธำเพ็ญ สำเร็จ การศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการ พิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2549 เข้าศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใน ปีการศึกษา 2550

ผลงานทางวิชาการ : เข้าร่วมการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ/นานาชาติ ครั้งที่ 1 ณ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ในหัวข้อ : CORNSTALK AS AN ALTERNATIVE FIBER SOURCE FOR MOLDED PULP