

การใช้โคโดซานเป็นตัวดูดซับสีย้อมในกระบวนการย้อมสีเส้นใยชานอ้อยเพื่องานบรรจุภัณฑ์



นางสาวสุดารัตน์ ผึ้งผาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USE OF CHITOSAN AS DYE ABSORBER IN DYEING BAGASSE FIBER PROCESS FOR
PACKAGING APPLICATION

Miss Sudarat Phungphay



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้โคโคซานเป็นตัวดูดซับสีย้อมในกระบวนการย้อมสีเส้นใยชานอ้อยเพื่องานบรรจุภัณฑ์
โดย	นางสาวสุภารัตน์ ผึ้งผาย
สาขาวิชา	ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ ทารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรินทร์ ขวศิริ)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกุล)
.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราวุฒิ ตั้งพสุธาตล)
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชลธิชา นุ่มหอม)

สุดารัตน์ ผึ้งผาย : การใช้ไคโตซานเป็นตัวดูดซับสีย้อมในกระบวนการย้อมสีเส้นใยชานอ้อย
 เพื่องานบรรจุภัณฑ์ (USE OF CHITOSAN AS DYE ABSORBER IN DYEING BAGASSE
 FIBER PROCESS FOR PACKAGING APPLICATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.
 ดร. นันทนา จิรธรรมนุกุล, หน้า.

ปัจจุบันผู้บริโภคใส่ใจต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากขึ้นจึงหันมาเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อย
 สลายได้ทางชีวภาพซึ่งเยื่อชานอ้อยในประเทศไทยเป็นผลพลอยได้ที่พบมากจากอุตสาหกรรมผลิต
 น้ำตาล จากสมบัติของเส้นใยและปริมาณเส้นใยที่สูงทำให้เยื่อชานอ้อยได้รับความสนใจนำมาผลิตเป็น
 บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากเส้นใยชานอ้อยติดสีได้น้อยจึงทำให้มีกระบวนการ
 ย้อมที่ยากขึ้น ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินจัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีความสามารถในการดูดซับสี
 ย้อมได้สูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซาน
 อิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมในกระบวนการย้อมสีเส้นใยชานอ้อย การเตรียมสูตรย้อมสีเยื่อชาน
 อ้อยทำได้โดย นำน้ำเยื่อชานอ้อยบริสุทธิ์ผสมกับ 1. ตัวช่วยดูดซับสี (ในงานวิจัยนี้ใช้สารละลายไคโต
 ซานและไมโครไคโตซานอิมัลชัน) 2. สีย้อม (ในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับสีย้อม 2 ชนิด คือ สีเหลือง
 (tartrazine) และ สีแดง (ponceau 4R) 3. สารกันซึมร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก (alkyl ketone dimer,
 AKD) ตามลำดับ โดยมีการแปรเปลี่ยนปริมาณไคโตซานที่ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก
 และปริมาณผงสีที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำของผสมนี้ไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ
 ตามมาตรฐาน TAPPI T 250 และทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล ผลการทดสอบการ
 วัดค่าสีตามระบบ (CIELab) พบว่าให้ค่าความสว่างลดลง (L^*) ให้ค่า a^* เป็นบวก (ค่าความเป็นสีแดง)
 ให้ค่า b^* เป็นบวก (ค่าความเป็นสีเหลือง) และค่าความเข้มสี K/S เพิ่มขึ้น ตามปริมาณของไคโตซาน
 การทดลองของสีย้อมทั้ง 2 ชนิดให้ผลในทิศทางเดียวกัน สมบัติการทนต่อแรงดึง การต้านทาน
 อากาศ การทนต่อแรงดันทะเลของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของไคโตซานเพิ่มขึ้น ที่ปริมาณสี
 ย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในขณะที่สมบัติการทนต่อแรงฉีกและการต้านน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อ
 ปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันเพิ่มขึ้น

สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ปลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2557

ปลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5572251923 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORDS: CHITOSAN / BAGASSE FIBER / DYE ADSORPTION / PAPER SHEET

SUDARAT PHUNGPHAY: USE OF CHITOSAN AS DYE ABSORBER IN DYEING BAGASSE FIBER PROCESS FOR PACKAGING APPLICATION. ADVISOR: ASST. PROF. NANTANA JIRATUMNUKUL, Ph.D., pp.

In recent years, the development of biodegradable materials from renewable natural resources has received increasing attention. In Thailand, bagasse fiber is an extremely abundance waste product from sugar production. Bagasse fiber has increased interest due to environmentally friendly and high fiber content. However, bagasse fiber is colorless and difficult to dye. Chitosan, derived from chitin, is a biopolymer that performed higher adsorption capacity of dye. This research aimed to study the effect of dye adsorption on bagasse fiber with chitosan solution and microchitosan emulsion as a dye absorber. The dyeing formulations of bagasse fiber were prepared by mixing bagasse pulp dispersion in water with chitosan solution or microchitosan emulsion. Two types of food grade dyes with various amounts were used in this study (tartrazine and ponceau 4R), at 1% by wt sizing agent (alkyl ketone dimer, AKD) were also added. The experiments were carried out at different chitosan dosages of 5, 10, 15, 20 and 25% by wt. Various dye dosages of 5, 10, and 20% by wt were used in bagasse pulp formulation. After that, each formulation was processed into paper sheet according to TAPPI T250 standard. Physical and mechanical properties of the obtained paper sheets were investigated. The results from color measurement (CIELab) indicated that the brightness (L^*) of the paper sheets decreased, a^* had positive value (red color), b^* had positive value (yellow color) and color strength (K/S) increased when the amount of chitosan solution and microchitosan emulsion increased. Paper sheets prepared with both dyes showed physical properties in the same fashion. The tensile strength, tear strength, air resistance and burst strength increased when the amount of the chitosan increased at 20% by wt of dye contents. However, the tear resistance and water resistance decreased as the chitosan solution and microchitosan emulsion used in formula increased.

Field of Study: Petrochemistry and Polymer Student's Signature

Science Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เพราะได้รับความเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ วัสดุ และสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความช่วยเหลือและคำแนะนำทางวิชาการ อย่างดียิ่งจากผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดัง รายนาม ต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้ คำปรึกษาแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ การแก้ไขปัญหา การสนับสนุนทุนในการวิจัย รวมทั้งการ จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

อ.ดร.กุนทีนิ สุวรรณกิจ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาแนวทางการแก้ปัญหา และ อำนวยความสะดวกด้านต่างๆ ระหว่างดำเนินการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ชวศิริ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ ตั้งพสุชาติ และรอง ศาสตราจารย์ ดร.ชลธิชา นุ่มหอม (กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก) ที่สละเวลาสำหรับการ สอบและให้คำแนะนำทางด้านวิชาการ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ อาจารย์ใน ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านที่อบรมให้ความรู้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับการดำเนิน งานวิจัย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาเทคโนโลยี เยื่อและกระดาษ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้คำปรึกษา ให้การสนับสนุนในการวิจัย ด้านวัสดุ อุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบต่างๆ ระหว่างดำเนินการวิจัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่น้อง และครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และให้ ช่วยเหลือด้านต่างๆ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูปภาพ.....	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เยื่อชานอ้อย.....	3
2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย.....	4
2.1.1.1 เซลลูโลส (cellulose).....	4
2.1.1.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose).....	4
2.1.1.3 ลิกนิน (lignin).....	5
2.1.1.4 สารแทรก (extractive).....	5
2.2 ไคติน-ไคโตซาน.....	5
2.2.1 ไคติน (chitin).....	5
2.2.2 ไคโตซาน (chitosan)	6
2.2.2.1 สมบัติของไคโตซาน.....	7

2.2.3 การประยุกต์ใช้โคโตนานในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ	10
2.2.3.1 ด้านการเกษตร	10
2.2.3.2 ด้านการแพทย์.....	10
2.2.3.3 เทคโนโลยีทางด้านอาหาร	10
2.2.3.4 เทคโนโลยีชีวภาพ.....	10
2.2.3.5 การบำบัดน้ำเสีย	11
2.2.3.6 อุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ	11
2.3 สีย้อม (Dyes).....	11
2.3.1 สารสี	12
2.3.2 กลไกการย้อมสี	13
2.3.3. ชนิดของสีย้อมและสมบัติต่อการนำไปใช้งาน	13
2.3.3.1 สีแอซิด (acid dye).....	13
2.3.3.2 สีย้อมรีแอกทีฟ (reactive dye).....	14
2.3.3.3 สีย้อมไคเร็กต์ (direct dye).....	14
2.3.3.4 สีย้อมเบสิก (basic dye).....	14
2.3.3.5 สีย้อมดิสเพิร์ส (disperse dye).....	14
2.3.3.6 สีย้อมแวต (vat dyes)	14
2.4.1 ความสามารถในการดูดซับสีย้อม	15
2.4.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption)	15
2.4.1.2 การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)	15
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	15
2.4.1 พื้นที่ผิว (surface area).....	15
2.4.2 โครงสร้างของรูพรุน (pore structure) ของตัวดูดซับ	15

2.4.3	ความสามารถในการละลายน้ำ (solubility) ของสารที่ถูกดูดซับ.....	16
2.4.4	น้ำหนักและขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (weight and molecular weight).....	16
2.4.5	อุณหภูมิของสารละลาย (temperature).....	16
2.4.6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH).....	16
2.4.7	ระยะเวลาในการดูดซับ.....	17
2.4.8	อัตราส่วนของตัวดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม.....	17
2.5	การผลิตกระดาษ (paper making process).....	17
2.5.1	การผลิตเยื่อ (pulping).....	18
2.5.2	การเตรียมน้ำเยื่อ (stock preparation).....	18
2.5.3	การขึ้นแผ่น (sheet forming).....	19
2.5.4	ขั้นตอนการรีดน้ำ (pressing) และการทำแห้ง (drying).....	19
2.5.5	ขั้นตอนหลังการผลิตอาจมีส่วนประกอบเสริมอื่นๆ.....	20
2.5.6	สมบัติของกระดาษ.....	21
2.5.6.1	น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight/grammage).....	21
2.5.6.2	ความหนา (thickness).....	22
2.5.6.3	ความพรุน (porosity).....	22
2.5.6.4	ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength).....	22
2.5.6.5	ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength).....	23
2.5.6.6	ความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength).....	23
2.6	การเตรียมนาโนไคโตซาน.....	24
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
2.7.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับสีย้อมโดยใช้ไคโตซาน.....	26
2.7.2	การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไคโตซานเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของกระดาษ.....	28

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	31
3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	31
3.1.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี	31
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	32
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	33
3.2.1 การเตรียมนาโนไคโตซานอิมัลชัน.....	33
3.2.2 การเตรียมสารละลายไคโตซาน	34
3.2.3 การเตรียมน้ำเยื่อชานอ้อยบริสุทธิ์.....	34
3.2.4 การขึ้นรูปแผ่นกระดาษ.....	35
3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล	37
3.3.1 การทดสอบความสามารถในการดูดซับสี้อมโดยการวัดค่าสีในระบบ CIELab.....	37
3.3.2 การทดสอบหาขนาดอนุภาคของไมโครไคโตซานอิมัลชันด้วยเครื่อง Laser Diffraction Particle Size Analyzers	38
3.3.3 การทดสอบความต้านทานน้ำของกระดาษด้วยวิธี cobb test	38
3.3.4 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength).....	39
3.3.7 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (bursting strength).....	41
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล	43
4.1 การทดสอบหาขนาดอนุภาคนาโนไคโตซานด้วยเทคนิค Laser diffraction particle size .. analyzer.....	43
4.2 ผลการวิเคราะห์การย้อมติดสีแดง (ponceua 4R) ของกระดาษชานอ้อย โดยการวัดค่า CIE L*a*b* และค่า K/S ด้วยตัวดูดซับสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชัน	44
4.2.1. ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L*) จากการย้อมสีแดง (ponceua 4R).....	44
4.2.2. ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (ค่า a*) จากการย้อมติดสีแดง (ponceau 4R)	46

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) จากการย้อมติดสีแดง (ponceua 4R).....	48
4.2.3.1 ผลของการใช้สารละลายโคโคซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม.....	48
4.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มสี (ค่า K/S) จากการย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)	50
4.3 ผลการวิเคราะห์การย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)ของกระดาษเยื่อชานอ้อย โดยการวัดค่า CIE $L^*a^*b^*$ และ ค่า K/S ด้วยตัวดูดซับสารละลายโคโคซานและไมโครโคโคซานอิมัลชัน	54
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (ค่า L^*) จากการย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) ของกระดาษเยื่อชานอ้อย	54
4.3.2. ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (ค่า a^*) จากการย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) ของกระดาษเยื่อชานอ้อย	56
4.3.1.1 ผลของการใช้สารละลายโคโคซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม.....	56
4.3.3. ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) จากการย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) ของกระดาษเยื่อชานอ้อย	58
4.3.4. ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มสี (ค่า K/S) ของกระดาษเยื่อชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	60
4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลเชิงกล	63
4.4.1 สมบัติเชิงกลของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	63
4.4.1.1 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength).....	63
4.4.1.2 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength)	64
4.4.1.3 สมบัติการต้านทานอากาศ (air resistance).....	65
4.4.1.4 สมบัติการต้านทานต่อแรงดันทะลุ (bursting strength).....	67
4.4.2 สมบัติเชิงกลของกระดาษชานอ้อยย้อมสีแดง (ponceua 4R)	68
4.4.2.1 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength).....	68
4.4.2.2 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength)	69

4.4.2.3 สมบัติการต้านทานอากาศ (air resistance).....	69
4.4.2.4 สมบัติการต้านทานต่อแรงดันทะลุ (bursting strength).....	70
4.5 สมบัติความต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสี.....	71
4.5.1 สมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	71
4.5.2 สมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R).....	72
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	74
5.1สรุปผลการทดลอง	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	75
.....	76
รายการอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก ก.....	82
ภาคผนวก ข.....	94
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	99

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2. 1 ความเข้มข้นของกรดชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการละลายของโคโตซาน	9
ตารางที่ 3. 1 สูตรการย้อมสีเยื่อชานอ้อย	36
ตารางที่ 4. 1 ความเข้มสีของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่เตรียมได้โดยมีสารละลายโคโตซานเป็นตัวช่วย ดูดซับสีแดง (ponceua 4R)	50
ตารางที่ 4. 2 ความเข้มสีของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่เตรียมได้โดยมีไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีแดง (ponceua 4R)	51
ตารางที่ 4. 3 ภาพความเข้มสี (K/S) ของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่เตรียมได้โดยมีสารละลายโคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีเหลือง (tartrazine)	60
ตารางที่ 4. 4 ภาพความเข้มสี (K/S) ของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่เตรียมได้ จากการใช้ไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีเหลือง (tartrazine)	61

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2. 1 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	4
รูปที่ 2. 2 โครงสร้างเคมีของไคติน (a) และไคโตซาน (b).....	7
รูปที่ 2. 3 การเตรียมนาโนไคโตซานด้วยไตรพอลิฟอสเฟตในสภาวะกรด	25
รูปที่ 2. 4 ส่วนพื้นที่ของนาโนไคซาน (ซ้าย) และภาพ TEM ของอนุภาคนาโนไคโตซาน(ขวา).....	25
รูปที่ 3. 1 โครงสร้างเคมีของสีแดง (ponceua 4R).....	32
รูปที่ 3. 2 โครงสร้างเคมีของสีเหลือง (tartrazine)	32
รูปที่ 3. 3 การเตรียมนาโนไคโตซานอิมัลชัน	34
รูปที่ 3. 4 การเตรียมน้ำเยื่อชานอ้อยบริสุทธิ์.....	35
รูปที่ 3. 5 การเตรียมสูตรเพื่อขึ้นรูปกระดาษชานอ้อยย้อมติดสี.....	35
รูปที่ 3. 6 ลักษณะการตัดแผ่นทดสอบเพื่อนำไปทดสอบสมบัติความแข็งแรงต่างๆ	37
รูปที่ 3. 7 เครื่องวัดสี Macbeth Color-Eye 7000.....	37
รูปที่ 3. 8 เครื่อง Laser Diffraction Particle Size Analyzers และหน่วยการกระจาย Hydro 2000SM รุ่น Mastersizer 2000 ของบริษัท Malvern	38
รูปที่ 3. 9 ชุดทดสอบ cobb test.....	39
รูปที่ 3. 10 Tensile tester Strograph E-S, Toyoseiki Seisaku-SHO LTD, Japan	40
รูปที่ 3. 11 Tear tester protear, Thwing-Albert Instrument, USA.....	40
รูปที่ 3. 12 porosity tester A-291800602, Tokyo Seisaku-SHO LTD, Japan.....	41
รูปที่ 3. 13 Burst tester, 150,80-326 Instruction, USA	42
รูปที่ 4. 1 การกระจายของขนาดไมโครอนุภาคไคโตซานอิมัลชัน	43
รูปที่ 4. 2 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อค่าความสว่าง (L*) ของกระดาษชานอ้อย ย้อมติดสีแดง (ponceua 4R).....	44

รูปที่ 4. 3 ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความสว่าง (L^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceau 4R).....	45
รูปที่ 4. 4 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและสีต่อค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R).....	46
รูปที่ 4. 5 ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R).....	47
รูปที่ 4. 6 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและสีต่อค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R).....	48
รูปที่ 4. 7 ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceu 4R).....	49
รูปที่ 4. 8 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและสีต่อค่าความเข้มสี (K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R).....	51
รูปที่ 4. 9 ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความเข้มสี (K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R).....	53
รูปที่ 4. 10 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและสีต่อค่าความสว่าง (ค่า L^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	54
รูปที่ 4. 11 ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความสว่าง (ค่า L^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	55
รูปที่ 4. 12 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและสีต่อค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)	56
รูปที่ 4. 13 ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)	57
รูปที่ 4. 14 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและสีต่อค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	58
รูปที่ 4. 15 ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	59

รูปที่ 4. 16 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและสีต่อค่าความเข้มสี (K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	62
รูปที่ 4. 17 ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความเข้มสี (K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	62
รูปที่ 4. 18 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	63
รูปที่ 4. 19 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันต่อค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	65
รูปที่ 4. 20 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติความต้านทานอากาศของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	66
รูปที่ 4. 21 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติความต้านทานแรงดันทะลุกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	67
รูปที่ 4. 22 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษชานอ้อยที่ย้อมติดสีแดง (ponceau 4 R).....	68
รูปที่ 4. 23 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันต่อค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4 R).....	69
รูปที่ 4. 24 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติความต้านทานการซึมผ่านอากาศของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceau 4 R).....	70
รูปที่ 4. 25 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติความต้านทานแรงดันทะลุกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceau 4R).....	71
รูปที่ 4. 26 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine).....	71
รูปที่ 4. 27 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R).....	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจกับเรื่องสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากขึ้นจึงหันมาเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งเยื่อกระดาษชานอ้อยกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาผลิตเพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากมีสมบัติเด่นหลายประการตั้งแต่กระบวนการผลิตที่เรียบง่าย ประหยัดพลังงานมากกว่าการผลิตบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกและโฟม สามารถเข้าเตาอบและไมโครเวฟได้ ไม่มีสารปนเปื้อนก่อมะเร็ง อีกทั้งยังสามารถย่อยสลายได้เองเมื่อทิ้งไว้ในสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยนี้ยังมีสีที่ไม่เป็นที่น่าดึงดูดใจของผู้บริโภคมากนัก การเคลือบสีบรรจุภัณฑ์เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เพื่อเพิ่มสีสันและเพื่อความดึงดูดใจกับผู้ใช้และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ซึ่งขั้นตอนการเคลือบสีทำให้กระบวนการผลิตมีขั้นตอนมากขึ้น จากการค้นคว้าพบว่าไคโตซานซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากเปลือกกุ้ง กระดองปูที่เหลือทิ้ง จัดว่าเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถดูดซับสีย้อมได้ เช่น สีดิสเพิร์ส (disperse dye), สีไดเรกต์ (direct dye), สีรีแอกทีฟ (reactive dye), และสีแอซิด (acid dye) [1] เนื่องจากแรงไฟฟ้าสถิตดึงดูดกันระหว่างประจุลบของสีย้อมกับประจุบวกของหมู่แอมิโนบนไคโตซานและเมื่อทำให้เป็นขนาดไมโครนั้นยังเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวการดูดซับสีย้อมให้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ไคโตซานยังมีสมบัติที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม สามารถต้านการเกิดเชื้อรา ไวรัส และแบคทีเรียบางชนิดได้ [2] ซึ่งในงานวิจัยนี้มีความสนใจในการเตรียมกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีย้อม โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารละลายไคโตซานกับไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมบนเยื่อชานอ้อยและเพื่อเป็นการลดขั้นตอนในการย้อมติดสี งานวิจัยนี้มีแนวคิดเติมสีย้อมลงในสูตรการย้อมสีเยื่อชานอ้อยก่อนกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์และทำการศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับไคโตซานในการดูดซับสีย้อมบนเยื่อชานอ้อย และทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล ของกระดาษชานอ้อยที่ย้อมสีต่างๆ ที่เตรียมได้

1.2 วัตถุประสงค์ในงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมสีแดงและสีเหลืองบนเยื่อชานอ้อยด้วยไคโตซาน
2. ทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษชานอ้อยที่ย้อมติดสีต่างๆ ที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เตรียมกระดาดชาชานอ้อยติดสีโดยการใส่ตัวดูดซับสีไคโตซานเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการดูดซับและการทดสอบสมบัติของตัวดูดซับไคโตซานและสมบัติทางกายภาพของกระดาดชาชานอ้อยจากการย้อมติดสีต่างๆ ที่เตรียมได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้กระดาดชาชานอ้อยที่ย้อมติดสีต่างๆ ได้โดยมีไคโตซานเป็นตัวช่วยย้อมติดสีเพื่อใช้ในการบรรจุภัณฑ์



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

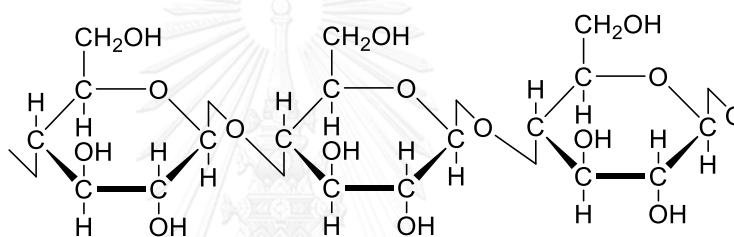
2.1 เยื่อชานอ้อย

เยื่อชานอ้อยเป็นเศษของเสียเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการที่บ่น้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกแล้ว ปัจจุบันชานอ้อยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างทั้งในด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมกระดาษ อีกทั้งในประเทศเขตร้อน เช่น จีน ไทย อิหร่าน อาร์เจนตินา โคลัมเบีย นิยมนำมาใช้แทนไม้เพื่อนำมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษสำหรับการทำกล่องและหนังสือพิมพ์ เยื่อชานอ้อยเป็นวัสดุที่จัดว่าเป็น inhomogeneous ซึ่งประมาณร้อยละ 30-40 ของเยื่อได้จากส่วนของแกน เปลือก และลำต้น องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอ้อยประกอบด้วย เซลลูโลสร้อยละ 45-55 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 20-25 ลิกนิน ร้อยละ 18-24 เถ้าถ่านร้อยละ 1-4 และไขมัน <1 โดยน้ำหนักของเยื่อแห้ง [3, 4] การนำเส้นใยชานอ้อยมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษมีความจำเป็นต้องแยกเส้นใยให้ได้เส้นใยละเอียดโดยใช้สารละลายต่างที่ความเข้มข้น 0.1-1 โมล เพื่อให้ได้เป็นเส้นใยที่มีความละเอียดต่างกันเฉลี่ย 35-49 tex ตามความเข้มข้นของสารละลายต่าง ค่าการยืดตัวก่อนจุดขาดเฉลี่ยร้อยละ 3.24-4.20 โดยที่ความละเอียดและการยืดตัวจะเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายต่าง เส้นใยชานอ้อยจัดเป็นเส้นใยสั้นที่มีความยาวประมาณ 2-4 มิลลิเมตร ค่าความยืดหยุ่นและความแข็งแรงเมื่อเทียบกับเส้นใยอื่นมีค่าต่ำกว่าและไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอเพื่อการตัดเย็บเสื้อผ้า ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากเส้นใยชานอ้อยจึงมีความจำเป็นต้องใช้ในลักษณะของการมัดเส้นใยมากกว่าเซลล์เส้นใย ถึงแม้ว่าจะมีการกำจัดลิกนินและผ่านกระบวนการทำความสะอาดเส้นใยแล้วก็ตาม เส้นใยชานอ้อยก็ยังมีลักษณะที่หยابไม่เหมาะต่อการนำไปตัดเย็บเสื้อผ้าเพื่อการสวมใส่ แต่ถูกนำไปในงานสิ่งทอสำหรับยานยนต์ สิ่งทอสำหรับงานดิน ซึ่งมีสมบัติการหน่วงไฟและการป้องกันแสงที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์จากเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ นอกจากนี้เยื่อชานอ้อยจัดเป็นแหล่งเซลลูโลสที่ดีเพื่อนำไปผลิตเป็นเส้นใยเซลลูโลสประดิษฐ์ เนื่องจากปริมาณอัลฟาเซลลูโลสที่มีมากกว่าร้อยละ 40 แต่ค่า tensile strength มีค่าต่ำกว่าเส้นใยเซลลูโลสประดิษฐ์จากไม้ ค่าความสามารถในการยืดตัวและค่าความละเอียดมีค่าใกล้เคียงกันกับเส้นใยเซลลูโลสจากไม้ อีกทั้งยังถูกนำไปใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติกอีกหลายชนิด เช่น โพลีเอทิลีน โพลีเอสเตอร์ และยังสามารถใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงใน poly (ethylene-co-vinyl acetate) ซึ่งเป็นพลาสติกชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [3, 4]

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

2.1.1.1 เซลลูโลส (cellulose)

สูตรเคมีของเซลลูโลส ($C_6H_{10}O_5$)_n คือจำนวนหน่วยซ้ำของน้ำตาลหรือระดับของพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) ดังรูปที่ 2.1 DP ของเซลลูโลสเฉลี่ยเท่ากับ 9000-10,000 หน่วย หรืออาจถึง 15,000 หน่วย โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีการจัดเรียงตัวแบบผลึก (crystalline region) ในส่วนนี้โมเลกุลของเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบโดยการสร้างพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) เป็นพันธะที่แข็งแรงและมีความต้านทานตัวทำละลายเคมีที่ดี ส่วนที่มีการจัดเรียงแบบอสัณฐาน (amorphous region) โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบในส่วนนี้เป็นบริเวณที่สามารถถูกทำลายได้โดยกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ได้ง่ายกว่า



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

2.1.1.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

จัดเป็นพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่เกิดจากน้ำตาล 5 ชนิด ได้แก่ กลูโคส (glucose) แมนโนส (mannose) กาแล็คโตส (galactose) ไชโลส (xylose) และอะราบินโนส (arabinose) หลากๆ ยูนิตมาเรียงตัวกัน โครงสร้างไม่มีส่วนที่จัดเรียงตัวแบบสัณฐานจึงง่ายต่อการถูกทำลายโดยกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ในกระบวนการผลิตเยื่อซึ่งเป็นการเตรียมเส้นใยเพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นกระดาษนั้น บางส่วนของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะหายไป ทำให้ผลผลิตเยื่อที่ได้ลดลง โดยทั่วไปส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตของเส้นใย คือ เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งถูกเรียกรวมกันเป็นโฮโมเซลลูโลส (homocellulose) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- แอลฟา-เซลลูโลส (α -cellulose) เป็นส่วนที่เรียกว่าเซลลูโลสที่แท้จริงมีความสำคัญในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ไม่ละลายในสารละลายต่างความเข้มข้น ร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งในกระบวนการผลิตเยื่อไม่สามารถแยกส่วนของแอลฟาเซลลูโลสออกให้บริสุทธิ์ได้ มักมีน้ำตาลแมนแนน (mannan) และกลูโคแมนแนน (glucomannan) ปนอยู่ด้วยเสมอ

- เบต้า-เซลลูโลส (β -cellulose) เซลลูโลสชนิดนี้สามารถละลายได้ในสารละลายต่าง ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้อง และสามารถตกตะกอนได้ในสารละลายกรด ในกระบวนการผลิตเยื่อจึงสามารถแยกออกได้
- แกมมา-เซลลูโลส (γ -cellulose) เซลลูโลสชนิดนี้สามารถละลายได้ในสารละลายต่าง ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้อง อีกทั้งยังสามารถละลายได้ในสารละลายกรด แต่จะตกตะกอนในแอลกอฮอล์ ในกระบวนการผลิตเยื่อจึงสามารถแยกออกได้

2.1.1.3 ลิกนิน (lignin)

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่โครงสร้างที่ซับซ้อนโมเลกุลมีขนาดใหญ่และการจัดเรียงตัวเป็นแบบอสัณฐาน เกิดจากฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) หลากหลาย หน่วยมาต่อกันเป็นโครงสร้าง 3 มิติ พบมากในบริเวณมิดเดิลลาและกระจายตัวอยู่ในเส้นใย ในกระบวนการผลิตเยื่อลิกนินจะถูกกำจัดออกเพื่อให้ได้เส้นใยเดี่ยวๆ และถูกกำจัดออกอีกครั้งในขั้นตอนการฟอกเยื่อ (bleaching) เนื่องจากลิกนินมีองค์ประกอบทางเคมีที่เรียกว่า โครโมฟอร์ (chromophore) หากในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษมีลิกนินหลงเหลืออยู่โครโมฟอร์ของลิกนินจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแสงและความชื้นในอากาศ มีผลทำให้กระดาษกลายเป็นสีเหลืองได้

2.1.1.4 สารแทรก (extractive)

สารแทรกเป็นกลุ่มสารเคมีในไม้หรือเส้นใยสามารถสกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายและแยกออกตามตัวทำละลายที่ใช้สกัด เช่นการละลายน้ำหรือละลายในเอทานอล โดยส่วนใหญ่เป็นสารจำพวก เรซิน กรดไขมัน และแอลกอฮอล์ สามารถละลายได้ในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพเป็นกรด องค์ประกอบของสารแทรกแตกต่างกันตามชนิดของไม้ ส่วนปริมาณของสารแทรกจะขึ้นอยู่กับชนิดของไม้และสภาพการเจริญเติบโต

2.2 ไคติน-ไคโตซาน

2.2.1 ไคติน (chitin)

เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่พบมากในโลกเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (cellulose) พอลิเมอร์ชนิดนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง ป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งพบในสัตว์จำพวกกุ้ง ปู และแกนปลาหมึก เปลือกของแมลงบางชนิด สาหร่ายทะเลโปรโตซัว นอกจากนี้ยังพบในผนังเซลล์ของเห็ดราและสาหร่ายบางสายพันธุ์ มีชื่อทางเคมีคือ poly β (1,4-2 acetamido-2-deoxy-D-glucose) มีโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของไคตินคล้ายโครงสร้างของเซลลูโลสแต่แตกต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของไคตินจะมีหมู่แอะเซทาไมด์ (acetamide group,

-NH-CO-CH₃) เกาะอยู่ แต่เซลลูโลสจะเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, -OH) โคตินจัดอยู่ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตผสม ประกอบด้วยมอนอเมอร์ คือ 2-acetamido-2-deoxy-D-glucose หรือเรียกว่า N-acetylglucosamine ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลูโคส การจัดเรียงตัวของรูปแบบสายโซ่พอลิเมอร์มี 3 ลักษณะ คือ แอลฟา-เซลลูโลส (มีความแข็งแรงมากที่สุด) แบบเบตา-เซลลูโลส (ความแข็งแรงน้อยสุด) แบบแกมมา-เซลลูโลส (ความแข็งแรงรองจากแอลฟา) [2, 4]

โคตินไม่ละลายน้ำ กรดเจือจาง ต่างทั้งเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่สามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) เข้มข้น ซัลฟิวริก (sulfuric acid) เข้มข้น กรดฟอสฟอริกร้อยละ 78-97 โดยปริมาตร (phosphoric acid) กรดฟอร์มิก (anhydrous formic acid) และ DMac-LiCl (N, N-Dimethylacetamide-Lithium chloride) ความยากในการละลายของโคตินในตัวทำละลายต่างๆ เนื่องจากสายโซ่ที่อยู่กันอย่างหนาแน่นมีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล และหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของโคตินพบว่าโคตินเป็นพอลิเมอร์โมเลกุลยาวที่ไม่มีประจุ (non-electrolytic polymer) ซึ่งทำให้โคตินไม่สามารถละลายในสารละลายทั่วไปได้ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากโคตินยังมีน้อย จึงมีการดัดแปลงโครงสร้างของโคตินโดยวิธีทางเคมีเพื่อเป็นการเพิ่มประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานให้ได้มากขึ้น โดยการเตรียมเป็นโคโตซาน

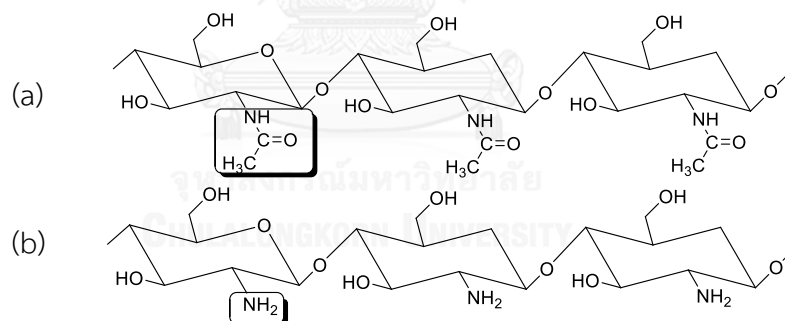
2.2.2 โคโตซาน (chitosan)

โคโตซานจัดเป็นอนุพันธ์ของโคตินเตรียมได้จากปฏิกิริยากำจัดหมู่แอซิติล (deacetylation) ของโคตินด้วยสารละลายต่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีของโคตินเปลี่ยนไป โดยที่หมู่แอซิติล (NHCOCH₃) กลายเป็นหมู่เอมิโนอิสระ (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ได้เป็นมอนอเมอร์ใหม่ที่ชื่อว่า 2-amino-2-deoxy D-glucose หรือเรียกว่า glucosamine ดังนั้นโคโตซานจึงเป็นพอลิเมอร์ของหน่วยย่อย glucosamine ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ glucose [4, 5] ดังรูปที่ 2.2

ในกระบวนการ deacetylation ไม่สามารถกำจัดหมู่ acetyl ออกจากสายโซ่โมเลกุลของโคตินได้หมด ดังนั้นในสายโซ่ของโคโตซานจึงเป็นสัดส่วนระหว่าง N-acetylglucosamine (หน่วยย่อยของโคติน) และ glucosamine (หน่วยย่อยของโคโตซาน) ต่างๆกัน ปริมาณของสัดส่วนขึ้นอยู่กับสถานะของกระบวนการ deacetylation มีค่าร้อยละ เรียกว่า degree of deacetylation, %DD ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกความเป็นโคติน-โคโตซาน โดยที่โคตินที่ผ่านกระบวนการ deacetylation มี %DD มากกว่าร้อยละ 60 จึงเรียกว่าโคโตซาน [6] กล่าวคือ ถ้าโคโตซานมีค่า %DD เท่ากับ 80% ในสายพอลิเมอร์นั้นจะประกอบด้วย glucosamine 80% และ N-acetylglucosamine 20%

การเพิ่มขึ้นของปริมาณ glucosamine ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของไคโตซานมีประจุบวกเพิ่มขึ้น ไคโตซานจึงมีความสามารถในการละลายกรดได้ดีกว่าไคติน เพราะความสามารถในการจับโปรตรอนจากตัวทำละลายกรดมีมากขึ้น ดังนั้นไคโตซานจึงสามารถละลายได้ในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจางที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 เช่น กรดแอสติค กรดฟอร์มิก กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก ก็สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกันแต่ต้องปฏิบัติภายใต้การคนที่อุณหภูมิสูงปานกลางซึ่งในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น [7]

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตกตะกอน (flocculant and coagulation agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่แอมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวก (cationic polyelectrolyte) และจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์อื่น จากงานวิจัยประสิทธิภาพของไคโตซานในการแยก เวย์โปรตีน พบว่าความสามารถในการจับโปรตีนเป็นสัดส่วนผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานและนอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถจับไอออนโลหะหนักได้ โดยที่ไนโตรเจนในหมู่แอมิโนของไคโตซานทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อน (coordinate) กับหมู่แอมิโนได้ และยังพบว่าไคโตซานที่มีระดับ %DD สูงมีอัตราการการดูดซับหรือความสามารถในการจับกับไอออนได้สูง และยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการดูดซับอีกเช่น ความเป็นผลึก ความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซาน [6]



รูปที่ 2. 2 โครงสร้างเคมีของไคติน (a) และไคโตซาน (b)

2.2.2.1 สมบัติของไคโตซาน

1. น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) และความหนืด (viscometry)

ไคโตซานเป็นจัดเป็นพอลิเมอร์สายโซ่โมเลกุลยาวน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง (1×10^5 - 1.2×10^6) ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการเตรียมและการนำไปใช้งาน ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของไคโตซานได้แก่น้ำหนักโมเลกุล อุณหภูมิ ร้อยละของการกำจัดหมู่แอสติล ความหนาแน่นของประจุ สภาพความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้ [2, 8]

2. การละลาย (solubility)

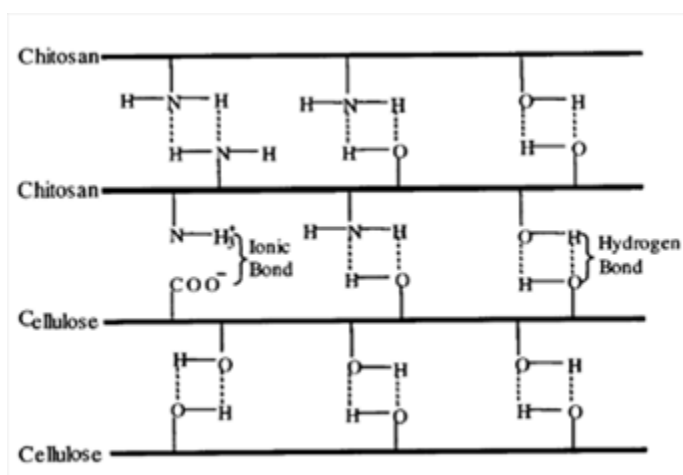
สารละลายไคโตซานมีลักษณะใส เหนียว มีพฤติกรรมการไหลแบบ นอน-นิวโตเนียน (non-newtonian) หมู่แอมิโนของไคโตซานจะแตกตัวในสารละลาย ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว pK_a ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์โดยที่ค่า pK_a ของไคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง 6.2-6.8 การละลายของไคโตซานในสารละลายกรดอินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังตาราง 2.1

3. ระดับการกำจัดหมู่แอสिटิล (degree of deacetylation : DD)

ระดับการกำจัดหมู่แอสिटิลมีประโยชน์ต่อการนำไคโตซานเนื่องจากสามารถบ่งบอกปริมาณของหมู่แอมิโน (amino) ซึ่งมีผลต่อสมบัติการละลาย สมบัติทางชีวภาพ และความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับกับหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารชนิดอื่นได้ โดยมีเทคนิคเพื่อหาร้อยละของการกำจัดหมู่แอสिटิล (degree of deacetylation ,%DD) ได้แก่ เซอร์คูลาร์ไดโครริซึม (circular dichroism, CD) อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (infrared spectroscopy) วิธีการไทเทรชัน (titration) และการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (elemental analysis) เป็นต้น

4. ความแข็งแรง (strength)

ลักษณะทางโครงสร้างเคมีทำให้ทราบว่าไคโตซานสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของสารโมเลกุลอื่นทั้งภายนอกโมเลกุลคือระหว่างสายโซ่ (intermolecular hydrogen bonding) และภายในสายโซ่สายโซ่เดียวกัน (intramolecular hydrogen bonding) โดยที่ภายในสายโซ่เดียวกันจะเกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 กับออกซิเจนอะตอม และระหว่างหมู่แอมิโนกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ส่วนพันธะไฮดรอกซิลแบบระหว่างสายโซ่ เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกันและกันจึงส่งผลให้ไคโตซานมีโครงสร้างที่แข็งแรง ดังภาพที่ 2.3



รูปที่ 2. 3 แสดงการเกิดพันธะระหว่างสายโซ่สายโซ่และภายในสายโซ่ของไคโตซาน

5. ความสามารถในการทำปฏิกิริยา (reaction)

โครงสร้างภายในโมเลกุลของโคโตซานมีความว่องไวและสามารถเกิดปฏิกิริยาอยู่ 3 หมู่ฟังก์ชันได้แก่ หมู่แอมิโน (NH_2) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (C-2) หมู่ไพรมารีแอลกอฮอล์ (primary alcohol, $-\text{CH}_2\text{OH}$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 และหมู่เซคันดารีแอลกอฮอล์ (secondary alcohol, $-\text{CHOH}$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 (C-3) การปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของทั้งสามหมู่ฟังก์ชันสามารถก่อให้เกิดวัสดุต่างๆในการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น เมื่อโคโตซานถูกละลายในสารละลายแอซิดิก หมู่แอมิโน (NH_2) ของโคโตซานถูกเปลี่ยนเป็น ($-\text{NH}_3^+$) พร้อมทั้งจะเป็นหมู่เกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium salt)

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นของกรดชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการละลายของโคโตซาน

ชนิดของกรด	ความเข้มข้นของสารละลายกรด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
	1	5	10	50	>50
Formic acid	+	+	+	+	+
Acetic acid	+	+	+	+	
Lactic Acid	+	+	+		
Citric Acid	+	+	+		
Tataric acid	+	+	+		
Malic acid	+	+	+		
Oxalic Acid	+	+	+		
Hydrochloric acid	+				
Adipic acid	+				
Nitric acid	+				
Malonic acid	+				
Propionic acid	+				
Pyruvic acid	+				

หมายเหตุ: + หมายถึงละลายได้ [9]

2.2.3 การประยุกต์ใช้ไคโตซานในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ

เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ แต่มีความโดดเด่นและหลากหลายในทางเคมี โดยเฉพาะประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ ปัจจุบันจึงมีการประยุกต์นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์และอุตสาหกรรมต่างๆ อาจแบ่งได้ดังนี้ [2, 11-13]

2.2.3.1 ด้านการเกษตร

ได้มีการพัฒนาและนำไปใช้ทางด้านเกษตรกรรมอย่างมากมาย เนื่องจากสมบัติที่เป็น เจลใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา จึงถูกนำมาฉีดพ่นเคลือบเมล็ดพันธุ์ ผิวนอกของผลไม้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลผลิตทำการเกษตร และนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ ยาฆ่าแมลง ประยุกต์ใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ สารช่วยในการเจริญเติบโตของพืชได้

2.2.3.2 ด้านการแพทย์

ไคโตซานเป็นสารธรรมชาติจึงมีความเข้ากันได้และไม่เกิดการต่อต้านเมื่อนำไปใช้ในร่างกายมนุษย์ มีงานวิจัยได้กล่าวถึงถึงสมบัติในการลดไขมันบางชนิดได้ เช่น คอลเลสเตอรอล ดังนั้นจึงมีการนำไคโตซานนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ช่วยลดน้ำหนัก ลดไขมันในเส้นเลือด โดยไคโตซานจะเข้าไปจับกับคอเลสเตอรอล ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้ได้ แต่ข้อเสียของไคโตซานคือสามารถเข้าจับ วิตามิน A D E K มีผลให้ร่างกายขาดวิตามินเหล่านี้ อีกทั้งยังสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มต้านเชื้อแบคทีเรียเพื่อใช้เป็นผิวหนังเทียมรักษาแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวก โดยการป้องกันการติดเชื้อ และกระตุ้นให้สร้างเซลล์ใหม่ และมีประโยชน์ในการห้ามเลือดจากบาดแผลผู้ป่วย

2.2.3.3 เทคโนโลยีทางด้านอาหาร

ในอุตสาหกรรมอาหารจึงมีการนำไคโตซานไปใช้เพื่อเป็นสารกันบูด สารให้ความคงตัวกับอาหารช่วยรักษากลิ่นและรส ขึ้นรูปฟิล์มที่รับประทานได้ (edible film) อีกทั้งยังถูกนำไปเป็นวัสดุคอมโพสิตขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหารที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ

2.2.3.4 เทคโนโลยีชีวภาพ

จากสมบัติต่างๆ ของไคโตซานความสามารถในการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ ไคโตซานถูกนำมาใช้เป็นตัวหุ้มเอนไซม์และเซลล์ต่างๆ ด้วยกระบวนการ Immobilization technique และการนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นเยื่อบางๆ เพื่อใช้ในการกรองแยกในเทคนิคไดอะไลซิส (dialysis) และเทคนิคอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration)

2.2.3.5 การบำบัดน้ำเสีย

จากสมบัติความเป็น polyelectrolyte และการดูดซับโลหะหนักในโมเลกุลของของสีย้อมได้ โดยการเกิดเป็นสารประกอบระหว่างสีย้อมกับไอออนของโลหะหนัก ไคโตซานจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำดื่ม โดยการผ่านเทคนิคต่างๆ ด้วยการ recoveries ของโลหะ การบำบัดน้ำเสียในสระว่ายน้ำ โรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากในสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานประกอบด้วยหมู่แอมิโนที่อยู่ในรูปประจุบวกสามารถจับกับสารที่มีประจุลบ เช่น โปรตีน สีย้อม พอลิเมอร์ประจุลบในน้ำเสียได้ ถือว่าเป็นการแก้ปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อมที่ดี เช่น สีสีย้อมที่ฟุ้งกระจายทำให้ยากต่อการย่อยสลาย สีแอมิดที่ไม่สามารถถูกดูดซับด้วย activated sludge ได้หมด

2.2.3.6 อุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ

จากสมบัติของเส้นใยไคโตซานเมื่อเทียบกับเส้นใยจากเซลลูโลสชนิดอื่น เช่น เส้นใยฝ้ายพบว่า มีสมบัติการทนทานต่อความร้อน ไขมัน สารเคมี และการติดสี ที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า มีหลายบริษัทได้ทำการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยอะคริลิก เส้นใยพอลิยูรีเทน ที่ถูกเคลือบด้วยไคโตซาน ให้มีสมบัติการควบคุมความชื้น การซับเหงื่อได้ดี ทำให้รู้สึกสวมใส่สบายทนต่อการซักล้าง สีติดทนนาน และยังสามารถป้องกันเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้อีกด้วย ในส่วนของเส้นใยธรรมชาติ ไคโตซานยังถูกนำมาปรับปรุงสมบัติของผ้าฝ้าย เพื่อให้มีสมบัติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ การดูแลรักษา และการติดสีที่สม่ำเสมอ [14]

ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษไคโตซานถูกนำไปใช้เป็นตัวเชื่อม (binder) ในหมึกพิมพ์ (anionic ink) สีย้อม เพื่อให้สียึดติดดี แข็งแรง ทนต่อน้ำและตัวทำละลาย สามารถเป็น thickener agent และ dispersing agent ที่สามารถใช้ร่วมกับสารอื่นได้ และยังมีส่วนเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ ส่งผลให้ได้งานพิมพ์ที่คมชัดสวยงาม [14]

2.3 สีย้อม (Dyes)

สีย้อมเป็นสารสารไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัวที่สกัดได้จากน้ำมันปิโตรเลียม เช่น เบนซิน โทลูอิน แอนทราซีน ไซลีน สารไฮโดรคาร์บอนจำพวกนี้ถูกนำไปสังเคราะห์โดยวิธีการและเทคนิคต่างๆ ได้เป็นสีย้อม ที่มีสมบัติที่เสถียรมากกว่าสีย้อมจากธรรมชาติ [15] ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอสีสังเคราะห์จะถูกนำมาใช้มากกว่าสีย้อมจากธรรมชาติ [16]

โดยทั่วไปแล้วสีย้อม (dye) ถูกนำไปประยุกต์ให้ติดแน่นกับสับสเตรต (substrate) ที่เป็นเส้นใยในรูปของสารละลาย ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้สารช่วยยึดติดสีให้ติดแน่นกับเส้นใยได้เรียกว่ามอร์

แดนท์ (mordant) อีกทั้งปัจจัยที่มีผลกับการละลายของสีย้อมยังเป็นส่วนที่ควรคำนึงเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้การย้อมเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ เช่น

1. สารช่วยย้อม (auxiliary) เป็นเกลืออิเล็กโทรไลต์ที่ถูกใช้ในสีย้อมรีแอกทีฟ และสีย้อมไดเรกต์ ซึ่งเมื่อหากมีปริมาณมากเกินไป มีผลให้สีย้อมนั้นเกิดตกตะกอนได้
2. สารละลายกรด ที่ถูกใช้ในการย้อมสีแอซิดซึ่งหากมีการเติมมากเกินไปมีผลให้สีย้อมนั้นตกตะกอนได้เช่นกัน แต่ในทางกลับกันเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิหรือมีการปรับสภาพความเป็นกรดต่าง (pH) สีย้อมที่ตะกอนแล้วสามารถถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการนำมาละลายในน้ำได้อีก

2.3.1 สารสี

ในโมเลกุลของสีประกอบด้วยสารอินทรีย์ชนิดไม่ไอมิตัวเป็นองค์ประกอบซึ่งมีสมบัติเป็นสารให้สี เมื่อมีแสงไปตกกระทบกับโมเลกุลของสารสีเหล่านี้จะดูดกลืนคลื่นแสงไว้บางส่วน และปล่อยแสงที่เหลือออกมาเป็นสเปกตรัมต่างๆ ที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ สารสีเหล่านี้ถูกเรียกรวมกันว่าโครโมฟอร์ (chromophore) สามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ในช่วง 200-800 nm [17] เช่น

สีแอโซ (azo) ในโมเลกุลอย่างน้อยต้องมีหมู่ (-N=N-) 1 หมู่เป็นองค์ประกอบ สีชนิดสีถูกนำมาใช้เป็นจำนวนมากเนื่องจากสามารถสังเคราะห์ได้ง่ายและมีหลากหลายสี เช่น สีมอนอเอโซ

สีไธอะโซล (thiazole) ในโครงสร้างต้องประกอบด้วยวงแหวนไธอะโซลทำหน้าที่ช่วยยึดเกาะให้สีติดกับเส้นใยผ้าได้ดี สารสีชนิดนี้ให้เฉดสีเหลือง จัดอยู่ในประเภทสีไดเรกต์และสีเบสิก

สีแอนทราควิโนน (anthraquinone) โครโมฟอร์แอนทราควิโนนปกติแล้วเป็นสารที่ไม่มีสี ต้องอาศัย side group เช่น (-NH₂) หรือ (-OH) สารสีชนิดสีให้ให้เฉดสีน้ำเงินและน้ำเงิน หรือเรียกว่าสีแหวด

อีกทั้งยังพบว่าการมีหมู่ข้างเคียง (side group) ไปเกาะบนโมเลกุลของโครโมฟอร์ ส่งผลให้โครโมฟอร์นั้นมีเฉดสีที่เปลี่ยนไป เช่น จากสีเหลืองไปเป็นสีแดง จากเข้มไปอ่อน และจากสีแดงเข้มเข้มกลายเป็นสีเหลืองสว่าง สามารถเรียกหมู่ side group นั้นได้ว่า auxochrome ได้แก่ หมู่อัลคิล alkyl หมู่อะมิโน (-NH₂) หมู่อัลคอกซี (alkoxy) หมู่แอมไนด์ (amide) และหมู่ซัลโฟเนต (-SO₃⁻) ช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะกับเส้นใย (fiber affinity) และความสดใสของสีที่ได้จาก หมู่ไตรฟลูออโรคาร์บอน (trifluoro carbon) เป็นต้น

2.3.2 กลไกการย้อมสี

กลไกการย้อมติดสีแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

ขั้นที่ 1 โมเลกุลของสีย้อมแพร่ออกจากน้ำย้อมไปยังผิวของเส้นใย เรียกว่า diffusion

ขั้นที่ 2 โมเลกุลของสีย้อมถูกดูดซับเข้าไปที่ผิวของเส้นใย เรียกว่า adsorption

ขั้นที่ 3 โมเลกุลของสีย้อมเคลื่อนที่ไปมาภายในเส้นใย เรียกว่า migration

ในขั้นตอนที่ 3 จะเกิดขึ้นในอัตราช้าสุด เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมจะเคลื่อนที่และกระจายตัวเข้าไปภายในเส้นใยทำให้เกิดการดูดซึมของโมเลกุลสีย้อมจากภายนอกสู่ภายในของเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ

2.3.3. ชนิดของสีย้อมและสมบัติต่อการนำไปใช้งาน

2.3.3.1 สีแอซิด (acid dye)

ในโมเลกุลของสีย้อมแอซิดเป็นสารประกอบที่มีประจุลบสามารถละลายน้ำ เนื่องจากมีหมู่ sulphonic acid ($-SO_3H$) อยู่ในรูปของเกลือซัลโฟเนต ($-SO_3Na$) ในโครงสร้างโมเลกุล มีลักษณะคล้ายกับสีไตรรงค์แต่มีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่า โดยมีกลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ส่วนมากใช้ในการย้อมเส้นใยโปรตีน มีเฉดสีตั้งแต่เฉดเหลือง แดง ม่วง น้ำเงิน น้ำตาล เป็นต้น

สีแอซิดแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามพฤติกรรมกรรมการย้อมและความคงทน

1. Acid leveling dye สารสีกลุ่มนี้มีโมเลกุลมีขนาดเล็กละลายน้ำได้ดี จึงถูกนำมาใช้ในการย้อมมากที่สุด เนื่องจากคุณภาพหลังการย้อมสีที่ได้สม่ำเสมอ สถานะการย้อมที่ดีอยู่ในช่วงความเป็นกรดแก่ที่ pH 2-3 โดยอาศัยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (HCL) เป็นสารช่วยย้อมเท่านั้น เนื่องจากหากถ้าใช้สารละลายกรดชนิดอื่นอาจมีผลให้โครงสร้างของสีถูกทำลายจนทำให้ได้เฉดสีไม่คงเดิม นอกจากนี้ยังพบว่าหมู่ซัลโฟเนตที่พบในโครงสร้างของสารสีกลุ่มนี้ ทำหน้าที่ช่วยให้สีละลายน้ำได้ดีแล้ว ยังคงเป็นหมู่ที่ให้การยึดเกาะที่ดีกับเส้นใยได้เหนียวแน่นอีกด้วย
2. Acid Milling dye สารสีกลุ่มนี้มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าสารสีในกลุ่มที่หนึ่ง แต่มีอัตราเร็วในการดูดซึมรวดเร็วกว่า อัตราไม่เกรงชันช้า สถานะการย้อมที่เหมาะสมคือในสารละลายกรดแอซิดิก pH 3.2-5.5
3. Neutral dyeing acid dye สารสีกลุ่มนี้เป็นสารโมเลกุลใหญ่ ย้อมยาก แต่มีความคงทนต่อการซักล้างที่ดีที่สุด สถานะในการย้อมที่เหมาะสมต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิที่ละลายๆ และใช้สารช่วยกระจายสีย้อม

กลไกในการย้อมสีแอซิดสียูได้ว่าควรย้อมในสภาวะกรด ในกระบวนการนี้เมื่อมีการเติมกรดลงไป สารละลายย้อม โปรตอนที่ได้จากกรดไปจับประจุลบของหมู่คาร์บอกซิล ($-COOH$) ทำให้สภาพของเส้นใยมีสภาพเป็นประจุบวกจึงสามารถเกิด interaction กับหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของสีย้อมแอซิดได้

2.3.3.2 สีย้อมรีแอกทีฟ (reactive dye)

สีรีแอกทีฟเป็นสารที่มีโครงสร้างทางเคมีขนาดเล็กกว่าสีไดเรกต์ มีหมู่ซัลโฟเนตอยู่ในโมเลกุล ทำให้ละลายน้ำได้ มีสีสันทึกลากหลาย สดใส สามารถทำปฏิกิริยากับเส้นใยแล้วเกิดพันธะโคเวเลนต์ ระหว่างโมเลกุลของสีกับเส้นใยจึงเป็นสีย้อมที่มีสมบัติคงทนต่อการซักล้างได้สูง ถือว่าเป็นสีย้อมที่มีมลพิษมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมชนิดอื่น

2.3.3.3 สีย้อมไดเรกต์ (direct dye)

สีย้อมไดเรกต์เป็นสารสีที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีรูปร่างเป็นเส้นตรง ทำให้สามารถยึดเกาะกับเส้นใยได้ดีขึ้น มีหมู่ซัลโฟเนต ($-SO_3-Na^+$) จึงทำให้สามารถละลายน้ำได้เช่นกัน มีหลายหลายเฉดสี แต่สีสันทึกลดใส ใช้สำหรับการย้อมเส้นใยเซลลูโลส โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der wals) สมบัติการคงทนต่อการซักล้างจึงค่อนข้างต่ำ

2.3.3.4 สีย้อมเบสิก (basic dye)

โครงสร้างโมเลกุลของสีเป็นประจุบวก สามารถละลายน้ำได้ เกิดพันธะกับเส้นใยด้วยพันธะไอออนิกระหว่างประจุบวกของสีกับประจุลบของเส้นใย แต่ประสิทธิภาพการย้อมต่ำมาก แต่เมื่อนำไปย้อมเส้นใยอะคริลิกกลับมีประสิทธิภาพการย้อมที่ดีเยี่ยม มีความคงทนต่อแสง และนอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้สำหรับ ในหมึกพิมพ์ สีทาไม้ พอลิเอสเทอร์ที่มีซัลโฟเนตอยู่ในโครงสร้าง

2.3.3.5 สีย้อมดิสเพิร์ส (disperse dye)

สีย้อมชนิดนี้เป็นสีที่ไม่มีประจุ ถูกนำไปใช้ในรูปแบบสารแขวนลอยไม่สามารถละลายน้ำได้ นิยมนำไปใช้ย้อมเส้นใยพอลิเอสเทอร์ ให้สีสดใส สมบัติความคงทนต่อการซักล้างค่อนข้างดีเยี่ยม โครงสร้างที่มีรูปแบบเป็นแอนทราควิโนนมีความคงทนต่อแสงมากกว่ารูปแบบโครงสร้างแบบเอโซ

2.3.3.6 สีย้อมแวต (vat dyes)

สีแวตไม่สามารถละลายน้ำได้ ถูกนำไปในรูปแบบสารแขวนลอยเช่นเดียวกับสีดิสเพิร์ส มีสมบัติความคงทนของสีที่ดีที่สุด เนื่องจากสีแวตเป็นสีไม่สามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นเพื่อให้สีย้อมสามารถเกาะติดกับเส้นใยได้จำเป็นต้องทำให้สามารถละลายน้ำก่อนโดยปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) สีย้อม

จึงสามารถเกิดการดูดซึมเข้าสู่เส้นใยได้ สีย้อมที่เหลือในน้ำย้อมสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่โดยการทำปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ (oxidize)

2.4.1 ความสามารถในการดูดซับสีย้อมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท [18, 19]

2.4.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption)

การดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับโดยการทำปฏิกิริยาภายในโมเลกุลหรือแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der wals) ปฏิกิริยาการแพร่ (dispersing interaction) และปฏิกิริยาไดโพล-ไดโพล (dipole-dipole interactions) การดูดซับแบบนี้เป็นแบบหลายชั้น (multilayers) อุณหภูมิต่ำ เกิดการคายการดูดซับ (desorp) ขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ

2.4.1.2 การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

การดูดซับทางเคมีมีความแข็งแรงมากกว่าการดูดซับทางกายภาพ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่พื้นผิวของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียวจัดเป็น (monolayer) และมีความจำเพาะเจาะจงต่อบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาสูง ที่อุณหภูมิสูงการดูดซับทางเคมีสามารถเกิดได้เร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ พันธะทางเคมีที่เกิดขึ้นในการะบวนดูดซับชนิดนี้ จัดเป็นพันธะไอออนิก (ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (covalent bond)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

2.4.1 พื้นที่ผิว (surface area)

พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) และอัตราเร็วในการดูดซับ ตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าขนาดใหญ่ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสเพื่อให้เกิดการดูดซับได้มากกว่า เว้นแต่ในกรณีที่ไม่เลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของตัวดูดซับ [19]

2.4.2 โครงสร้างของรูพรุน (pore structure) ของตัวดูดซับ

ลักษณะของรูพรุนมีส่วนช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น แต่ในกรณีของตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับขนาดของตัวดูดซับวัตถุ คือตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กพื้นที่ผิวในการดูดซับมีมากขึ้นมีผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่หากตัวดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวในการดูดซับนั้นจะอยู่ในรูพรุน ซึ่งกรณีนี้ความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดของตัวดูดซับ

2.4.3 ความสามารถในการละลายน้ำ (solubility) ของสารที่ถูกดูดซับ

สารที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้มากกว่าสารที่ละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลาย ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเกิดขึ้นได้ยากกว่าสารละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลาย เนื่องจากการดูดซับเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับถูกดึงออกจากน้ำก่อน แล้วไปเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับ

2.4.4 น้ำหนักและขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (weight and molecular weight)

มีงานวิจัยทดลองใช้เก้าแถบเพื่อดูดซับสีย้อม 3 ชนิด (reactive orange 12, reactive red 2 และ reactive blue 4) พบว่าปริมาณการดูดซับเฉพาะของแต่ละสีย้อมมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่ปริมาณดูดซับจำเพาะที่ได้จากการดูดซับสีย้อม Reactive orange 12 มีค่าสูงสุด และสีย้อม Reactive blue 4 มีค่าต่ำสุด สาเหตุที่ทำให้ปริมาณการดูดซับจำเพาะไม่เท่ากัน เนื่องจากสีย้อม Reactive blue 4 มีโครงสร้างของโมเลกุลที่ซับซ้อนมีผลให้โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการดูดซับต่อโมเลกุลมาก ดังนั้นจำนวนโมเลกุลต่อหน่วยพื้นที่ตัวดูดซับจึงมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น มีผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลทำให้ความสามารถในการละลายของสารที่ถูกดูดซับลดลง [20, 21]

2.4.5 อุณหภูมิของสารละลาย (temperature)

กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน (exothermic process) การเพิ่มอุณหภูมิทำให้การดูดซับมีแนวโน้มเกิดได้น้อยลง ในกรณีการดูดซับในของเหลวการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิมีค่าน้อยมากเนื่องจากของเหลวมีค่าความจุความร้อนสูง แต่ในงานวิจัยของ Dogan และคณะ การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้เกิดการกระตุ้นหมู่ฟังก์ชัน เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) คาร์บอนิล (carbonyl) และฟีนอลิก (phenolic) ที่อยู่บนพื้นผิวของการดูดซับทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ คือ ประจุลบของตัวดูดซับกับประจุบวกของสีย้อม นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิยังส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (mass transfer coefficient) มีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น [22, 23]

2.4.6 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างจะมีผลต่อการดูดซับขึ้นอยู่กับสภาวะการย้อมของตัวถูกดูดซับ เช่น ในงานวิจัยของ Bestani ได้ทำการทดลองการดูดซับบนตัวซับ Salsola vermiclora ด้วยสีย้อมเม

ทิลลินบลู ซึ่งเป็นสีย้อมเบส ในสภาวะสารละลายที่มี pH 6-8 พบว่าการเพิ่มขึ้นของ pH ส่งผลให้ปริมาณการดูดซับจำเพาะเพิ่มขึ้น แต่ในสภาวะของการดูดซับสีย้อมกรด เช่น yellow 36 ด้วยตัวดูดซับแกลบและซีลื้อยเบส ในสภาวะสารละลายที่มี pH 3-9 พบว่าการเพิ่มขึ้นของ pH ส่งผลให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าลดลง จากการทดลองทั้งสองสามารถสรุปผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ได้ว่า ปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งมีผลต่อการดูดซับโดยตรง เนื่องจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ มีปริมาณไฮโดรเนียมไอออนมากกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง เช่น หากตัวดูดซับที่มีประจุบวกบนพื้นผิวและตัวถูกดูดซับมีประจุลบ ในสภาวะสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ การดูดซับเกิดได้มากขึ้น เนื่องจากปริมาณประจุบวกของไฮโดรเนียมไอออนมีมากขึ้น ทำให้เกิดแรงดึงดูดกับประจุลบของตัวถูกดูดซับได้มากขึ้น [24, 25]

2.4.7 ระยะเวลาในการดูดซับ

ระยะเวลาในการดูดซับที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการดูดซับ ณ เวลาใดๆ มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากแรงขับเคลื่อนที่มีมากอันเนื่องมาจากผลต่างของความเข้มข้นของสีย้อมในสารละลายกับปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณดูดซับจำเพาะจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ซึ่งหลังสมดุลแล้วระยะเวลาไม่ส่งผลต่อการดูดซับในระบบ [23, 26-28]

2.4.8 อัตราส่วนของตัวดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม

เมื่อปริมาณของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ปริมาตรของสารละลายคงที่ ส่งผลให้ร้อยละของการกำจัดสีย้อมมีค่าเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองของ Namasivayam และคณะ พบว่าปริมาณตัวดูดซับมากกว่า 800 มิลลิกรัม สามารถกำจัดสีย้อมในสารละลายได้ทั้งหมดในสารละลายสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมีผลต่อการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลายเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของปริมาณตัวดูดซับมีผลให้ค่าปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าลดลง เนื่องจากน้ำหนักของสีย้อมต่อน้ำหนักของตัวดูดซับมีค่าลดลง [27, 29, 30]

2.5 การผลิตกระดาษ (paper making process)

การผลิตกระดาษประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ต่อไปนี้ [31, 32]

1. การผลิตเยื่อ
2. การเตรียมน้ำเยื่อ
3. การขึ้นแผ่น

4. การรีดน้ำและการทำให้แห้ง
5. ขั้นตอนหลังการผลิตอื่นๆ การเคลือบผิว การขัดผิว

2.5.1 การผลิตเยื่อ (pulping)

การผลิตเยื่อ คือ การผลิตเส้นใยเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการผลิตกระดาษ ซึ่งเป็นขั้นตอนในการสกัดและทำการแยกเส้นใยออกมาเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ โดยใช้วิธีเชิงกลหรือกระบวนการทางเคมีในการนำลิกนิน (lignin) ออก

2.5.2 การเตรียมน้ำเยื่อ (stock preparation)

การเตรียมน้ำเยื่อเป็นการผสมกันระหว่าง เยื่อ สารเคมี และน้ำ กลายเป็นของเหลวผสมที่ประกอบด้วย การกระจายเยื่อ การปรับความเข้มข้น การตีเยื่อ การบดเยื่อ การผสมเยื่อกับสารเคมี การกำจัดสิ่งแปลกปลอม และอากาศ ลำดับต่อไปนี้สามารถสลับลำดับได้ตามความเหมาะสม

2.5.2.1 การกระจายเยื่อ

ขั้นตอนนี้เป็นการแยกเส้นใยออกจากกัน (pulping or defibering) ในกรณีนี้ถูกทำเมื่อมีการนำเยื่อแห้งมาใช้ หรือ waste paper โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้กระจายเยื่อคือ pulper (hydrapulper) ซึ่งมีลักษณะเป็นถังขนาดใหญ่ ภายในถังมีใบพัด (rotating disc) ทำหน้าที่ตีกระจายเยื่อให้แยกออกจากกัน หลังจากนั้นได้เยื่อที่อยู่รูป slurry ก่อนนำไปปรับความเข้มข้น

2.5.2.2 การปรับความเข้มข้น (concentration)

วิธีการปรับความเข้มข้นสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความเข้มข้น} = \frac{\text{น้ำหนักเส้นใย}}{\text{น้ำหนักเส้นใย} + \text{น้ำหนักน้ำ}} \times 100 \quad \%$$

ในขั้นตอนนี้ส่งผลต่อคุณภาพของการบดเยื่อ การกำจัดสิ่งแปลกปลอม และการขึ้นแผ่น ดังนั้นในขั้นตอนนี้ควรปฏิบัติอย่างเหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วควรปรับความเข้มข้นของน้ำเยื่อไว้ประมาณร้อยละ 3-4 ของเยื่อแห้ง

2.5.2.3 การตีเยื่อ (beating)/บดเยื่อ (refining)

การตีและการบดเยื่อเป็นการใช้แรงกลเพื่อปรับสภาพผนังเส้นใย (cell wall) ทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างผนังเส้นใย และเส้นใยกับลูกกลิ้ง มีผลให้ผนังเส้นใยเกิดการฉีกขาด น้ำสามารถแทรกซึมเข้าสู่เส้นใย เส้นใยมีการบวมตัว (swell) มีความยืดหยุ่น (flexible) และการแนบตัวกับเส้น

ใยอื่นได้ดีขึ้น (comformable) ส่งผลให้เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยและพื้นผิวของเส้นใยแต่ละเส้น ซึ่งเป็นผลให้มีพันธะระหว่างเส้นใยเพิ่มขึ้น กระดาษจึงมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในขั้นตอนนี้ยังส่งผลให้เส้นใยถูกทำให้สั้นลง ซึ่งมีผลดีในแง่ของการขึ้นรูป กระดาษสามารถฟอร์มตัวเป็นแผ่นได้ดี เรียบขึ้น แต่ความแข็งแรงของกระดาษที่ได้นั้นลดลง ทั้งนี้เนื่องจากถ้าความเข้มข้นของน้ำเยื่อน้อย เส้นใยจะถูก refiner ตัดให้สั้นลงได้ง่าย แต่ถ้าความเข้มข้นของน้ำเยื่อมาก เส้นใยก็สามารถถูกตัดได้น้อยลง

2.5.2.4 สมบัติการระบายน้ำของเยื่อ (drainage/freeness)

ค่าการระบายน้ำของกระดาษสามารถลดลงได้เมื่อเยื่อถูกตีและบดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยสามารถกักเก็บน้ำได้มากขึ้น พื้นที่ผิวของเส้นใยและปริมาณ fine (เส้นใยเล็กๆที่แตกออกมา) ที่มีมากขึ้นมีผลให้การระบายน้ำลดลง การตีและการบดเยื่อมีผลต่อสมบัติของกระดาษทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงลดลง ดังนั้นสมบัติของกระดาษที่ขึ้นกับความแข็งแรงของเส้นใย เช่น สมบัติการต้านทานแรงฉีก (tearing strength) จึงลดลงด้วย แต่ในทางกลับกันส่งผลปริมาณพันธะระหว่างเส้นใยมีมากขึ้น ดังนั้นสมบัติของกระดาษที่ขึ้นกับพันธะระหว่างเส้นใย เช่น ค่าความต้านทานต่อแรงดึง (tensile strength) และความต้านทานแรงดันทะลุ (bursting strength) จึงมีค่าเพิ่มขึ้น

2.5.2.5 การผสมเยื่อกับสารเคมี

ในขั้นตอนนี้ต้องมีการควบคุมความเข้มข้นและอัตราการไหลให้เหมาะสม สามารถควบคุมได้โดยเริ่มต้นจากการชั่ง ตวง วิธีการเขย่า หรือกวนให้สารผสมเข้ากันได้ดี

2.5.2.6 การกำจัดสิ่งแปลกปลอม (contaminants) และอากาศ

น้ำเยื่อที่ผ่านการควบคุมปริมาณ basis weight valve การนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษจำเป็นต้องปรับความเข้มข้นอีกครั้งให้ความเข้มข้นลดลงจากร้อยละ 3-4 เป็นร้อยละ 0.5-1.0 โดยน้ำหนักของเยื่อแห้ง

2.5.3 การขึ้นแผ่น (sheet forming)

การนำน้ำเยื่อที่ผ่านการผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษด้วยเครื่องผลิตกระดาษ โดยใช้เครื่องขึ้นรูปแบบ hand sheet

2.5.4 ขั้นตอนการรีดน้ำ (pressing) และการทำแห้ง (drying)

กระดาษที่ขึ้นแผ่นด้วยระบบตะแกรงนั้นมีน้ำอยู่มาก จำเป็นต้องมีการกำจัดน้ำออก โดยกระดาษใช้กระดาษซับจำนวน 2 แผ่น วางทับเยื่อกระดาษที่ค้ำบนตะแกรงจากนั้นใช้ลูกกลิ้ง

stainless น้ำหนัก 20 กิโลกรัม กลิ้งไปมา 5 รอบ หลังจากนั้นส่งเข้าเครื่องรีดน้ำโดยใช้ปั๊มลมเป็นตัวขับเคลื่อนเพื่อบีบอัดแผ่นกระดาษเพื่อรีดน้ำออก ในขั้นตอนนี้ปฏิบัติ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใช้เวลา 5 นาที ครั้งที่ 2 ใช้เวลา 3 นาที โดยที่ในแต่ละครั้งต้องมีการเปลี่ยนกระดาษซับน้ำแผ่นใหม่อีกครั้ง เมื่อครบกำหนดเวลาให้นำแผ่นกระดาษจากแม่พิมพ์ที่ได้ลงเข้าตริงกระดาษเพื่อให้กระดาษที่ได้ตั้งเรียบแล้วปล่อยแห้งที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง ในขั้นตอนนี้ยังมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 80 เมื่อครบกำหนดเวลาให้นำกระดาษออกจากเข้าตริงแล้วนำไปอบที่ อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที การอบแห้งปกติแล้วต้องควบคุมให้กระดาษมีความชื้นให้เหลืออยู่ประมาณร้อยละ 5 ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน

2.5.5 ขั้นตอนหลังการผลิตอาจมีส่วนประกอบเสริมอื่นๆ

2.5.5.1 size press

เป็นการเคลือบสารกันซึม หลังจากขั้นตอนการทำแห้ง กระดาษที่สามารถรับสารกันซึมได้ดี หากสารกันซึมที่ใช้มีความหนืดต่ำ ความชื้นกระดาษสูง ความพรุนสูง และมีสารกันซึมชนิด internal sizing อยู่่น้อย กระดาษที่มีผิวหยาบส่งผลให้ชั้นฟิล์มของสารเคลือบหนามากขึ้น

sizing agent เป็นสารเคมีที่ทำหน้าที่เพิ่มสมบัติการต้านทานของเหลวของกระดาษ (liquid resistance) แต่ไม่สามารถป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของเหลวเข้ามาได้เลย (water preventing) ขั้นตอนนี้เรียกว่ากระบวนการ sizing ได้แก่

1. internal sizing ถูกเติมลงไปใยน้ำเยื่อในขั้นตอนเตรียมน้ำเยื่อ และสามารถเกิดปฏิกิริยากับผิวหน้าเส้นใย เพื่อลดแรงดึงผิวของเส้นใย ส่งผลให้เส้นใยทำปฏิกิริยากับน้ำได้น้อยลง สมบัติของ internal sizing ที่ดีคือควรถูกกักเก็บไว้ในโครงข่ายของเส้นใยได้ดี (high retention) โดยไม่สูญเสียไปกับน้ำในขั้นตอนการผลิตกระดาษ ต้องมีการกระจายตัวที่ดี ทำให้ผิวหน้าของเส้นใยไม่ชอบน้ำ ยึดติดกับผิวหน้าเส้นใยได้ดี ไม่ทำปฏิกิริยากับของเหลว เนื่องจากอาจทำให้สูญเสียสมบัติกันซึมได้ ตัวอย่าง internal sizing ได้แก่ alum-rosin, AKD (alkyl ketone dimer) เป็นต้น

- alum-rosin เป็นการใช้ rosin เพื่อปกปิดผิวหน้าของเส้นใยเพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยไม่ทำปฏิกิริยาใดๆกับเส้นใย rosin สามารถยึดติดกับเส้นใยได้ด้วยตัวเอง เนื่องจากมีประจุเป็นลบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ alum ซึ่งมีประจุบวก ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมให้ rosin สามารถยึดติดกับเส้นใยได้ โดยที่ลักษณะโมเลกุลของ rosin เป็นแบบ amphipathic คือ มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (ด้านที่มีขี้) และไม่ชอบน้ำ (ด้านที่ไม่มีขี้) ซึ่งด้านที่ชอบน้ำ COO^- จะติดกับเส้นใยโดยอาศัย alum เป็นตัวช่วยเพราะ alum เป็นประจุบวก ในขณะที่ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะหันออกข้างนอก ในส่วนของ alum สามารถแตกตัวออกมาได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับค่า pH รูปแบบของ alum ที่สามารถติดกับเส้นใยได้ดีที่สุด

คือ Al^{3+} ซึ่งมี pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4.0-4.5 เนื่องจาก alum rosin นี้เป็นกระบวนการที่เป็นกรด ทำให้กระบวนการผลิตกระดาษโดยใช้ alum rosin เรียกว่า acid papermaking กระดาษที่ผลิตในสภาวะเป็นกรดนี้ จะไม่คงทนเมื่อถูกเก็บไปนานๆ ทำให้เกิดการเหลืองกรอบได้

- ASA (alkyl succinic anhydride) และ AKD (alkyl ketone dimer) เป็นสารกันซึมที่ทำให้ปฏิกิริยากับเซลลูโลส เนื่องจากทั้ง ASA และ AKD สามารถทำปฏิกิริยากับ hydroxyl group (OH) ของเส้นใยได้ โดยการเกิดพันธะโคเวเลนต์ กระดาษที่ผลิตด้วยสารกันซึมชนิดนี้ สามารถเก็บไว้ได้นานกว่า และมีความคงทนกว่าการใช้ alum rosin เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นไม่จำเป็นต้องอยู่ในสภาพกรด สามารถเรียกกระดาษที่ผลิตด้วย ASA และ AKD ว่า neutral papermaking หรือ alkaline papermaking

ข้อเสีย ของ ASA และ AKD คือมีราคาแพงกว่าเมื่อเทียบกับ alum rosin และทำให้ผิวหน้าของกระดาษลื่นเนื่องจากหมู่ไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาว

2. Surface sizing เป็นการเคลือบผิวด้วยสารกันซึมหลังจากกระบวนการขึ้นแผ่น

สามารถทำได้ทั้งบนเครื่องผลิตกระดาษและนอกเครื่องผลิตกระดาษ ตัวอย่างสารกันซึมที่ใช้ในระบบนี้ร้อยละ 90 ใช้เป็นการน้ำแบ่งชนิดต่างๆ เช่น oxidized starch, enzyme converted starch โดยที่อนุภาคของแป้งเหล่านี้ จะช่วยอุดรูพรุนของกระดาษให้ลดลง ทำให้น้ำสามารถไหลผ่านเข้าไปในโครงสร้างรูพรุนของกระดาษได้ลดลงและยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวหน้าของกระดาษอีกด้วย เนื่องจากน้ำแบ่งทำหน้าที่เหมือนกาวเชื่อมเส้นใยที่ผิวหน้าเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ยังมีการใช้สารชนิดอื่นๆ เช่น latex หรือ PVA, CMC (carboxymethyl cellulose), animal protein

2.5.6 สมบัติของกระดาษ

สมบัติของกระดาษมีความสำคัญต่อการเลือกกระดาษเพื่อนำไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม สมบัติทางกายภาพของกระดาษ เช่น น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) ความหนา (thickness) ความพรุน (porosity) ในส่วนของสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength) ความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength) และสมบัติอื่นที่ผู้ใช้งานต้องการเช่น สมบัติการต้านน้ำ (water resistance)

2.5.6.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight/grammage)

การซื้อขายกระดาษเพื่อกำหนดราคาและมาตรฐานของกระดาษ ให้เป็นไปตามน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ (basis weight) มีหน่วยเป็นกรัม/ตารางเมตร หรือ ปอนด์/รีม หรือ grammage (น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่) : มีหน่วยเป็นกรัม/ตารางเมตร (GSM หรือ แกรม) น้ำหนักของกระดาษขึ้นกับปริมาณ

เส้นใยและสารเติมแต่งในเนื้อกระดาษ น้ำหนักของสารเคลือบผิว ทั้งจาก surface sizing และ coating และปริมาณความชื้นภายในกระดาษ

2.5.6.2 ความหนา (thickness)

คือระยะทางในแนวตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้งสองด้านของกระดาษ สามารถวัดโดยใช้ micrometer รายงานผลเป็น ไมโครเมตร (ระบบ SI) มิลลิเมตร นิ้ว อาจทำการวัดทีละแผ่นหรือวัดเป็นปึก แล้วหาค่าเฉลี่ย การวัดเป็นปึกให้ค่าต่ำกว่าการวัดทีละแผ่นเนื่องจากกระดาษถูกบีบอัด (compressed) มากกว่า

2.5.6.3 ความพรุน (porosity)

กระดาษโดยทั่วไปยอมให้อากาศผ่านร้อยละ 50 โดยปริมาตร อากาศบางส่วนอยู่ภายในเส้นใยแต่ส่วนใหญ่อยู่ระหว่างเส้นใย (รูพรุนในเนื้อกระดาษ) กระดาษที่มีความพรุนมาก สมบัติความแข็งแรง เช่น ความต้านทานแรงดึง (tensile resistance) ความต้านทานแรงดันทะลุ (burst resistance) และความต้านการพับ (fold) จะลดลง ส่วนความทึบแสงจะมากขึ้น ความพรุนของกระดาษเป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการดูดซับของเหลว ดังนั้นจึงมีความสำคัญเมื่อเวลานำกระดาษไปเคลือบผิวหรือพิมพ์ และยังส่งผลต่อการนำกระดาษไปใช้งาน เช่น กระดาษซับ กระดาษทิชชู กระดาษกรอง หรือกระดาษบรรจุภัณฑ์

$$\text{ความพรุนของกระดาษ} = \frac{\text{ปริมาตรของรูพรุนในเนื้อกระดาษ}}{\text{ปริมาตรกระดาษ}}$$

โดยทั่วไปแล้วจะไม่ทำการวัดความพรุนโดยตรง แต่จะวัดเป็นความสารถของกระดาษในการให้อากาศไหลผ่าน (air permeability) หรือการต้านอากาศ (air resistance)

Air permeability ขึ้นกับจำนวน ขนาด รูปร่าง และการกระจายของรูพรุนในกระดาษ ดังนั้นจึงไม่เหมือนกับความพรุน (porosity) แผ่นกระดาษที่มีขนาดรูพรุนเล็กจำนวนมากๆ เทียบกับอีกแผ่นที่มีรูพรุนขนาดใหญ่กว่า แต่มีจำนวนน้อยกว่า อาจมีความพรุนเท่ากัน แต่ air permeability ไม่เท่ากัน

2.5.6.4 ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

เมื่อวัสดุถูกแรงดึงมากกระทำ (tensile stress) วัสดุจะยืดออกไประยะหนึ่ง แล้วขาดออก tensile strength คือ ค่าแรงสูงสุดที่กระดาษทนได้ก่อนขาดออกจากกัน

$$\text{ความเค้น(stress)} = \frac{\text{แรง (force)}}{\text{พื้นที่}} \text{ หน่วย N/m}^2$$

$$\text{ความเครียด (strain)} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป}}{\text{ความยาวเริ่มต้น}}$$

เมื่อทำการพล็อตกราฟระหว่างความเค้นและความเครียดของกระดาษพบว่า ความสัมพันธ์ในช่วงแรกเป็นเส้นตรง ความชัน (slope) ของกราฟในช่วงต้นเรียกว่า Young's modulus หรือ modulus of elasticity ในช่วงแรกนี้ ความสัมพันธ์ของกราฟยังเป็นเส้นตรงนี้ หากหยุดให้แรงกระดาษสามารถหดตัวกลับสู่สภาพเดิมได้เรียกว่ากระดาษมีสมบัติ elastic แต่เมื่อผ่านช่วงแรกแล้ว ความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้ง ความชันลดลง เรียกช่วงที่สองนี้ว่า plastic flow ภายใต้แรงกระทำเรียกว่า viscoelastic

การทดสอบ tensile strength มีการกำหนดความกว้างของแถบกระดาษทดสอบและระยะห่างระหว่างตัวหนีบที่ทำหน้าที่ดึงกระดาษที่ปลายทั้งสอง จากสมการความเค้น “พื้นที่” ควรหมายถึงความกว้าง × ความหนาของกระดาษ ในการทดสอบนั้นจะกำหนดความกว้างเพียงอย่างเดียว (หน่วย tensile strength คือ kNm) ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่า tensile strength ระหว่างกระดาษ ควรทดสอบกับกระดาษที่มีความหนาเท่ากัน แต่เมื่อต้องการเปรียบเทียบกระดาษที่มีความหนาต่างกัน (basis weight ต่างกัน) ควรใช้ค่า tensile index ในการเปรียบเทียบ

$$\text{Tensile index} = \frac{\text{Tensile strength}}{\text{Basis weight}} \text{ มีหน่วยเป็น Nm/g}$$

ความแข็งแรงต่อแรงดึงขึ้นกับ พันธะระหว่างเส้นใย (พันธะมาก tensile สูง) ความแข็งแรงของเส้นใย (เส้นใยที่มีความแข็งแรงมาก tensile สูง) ความชื้นของกระดาษ (ความชื้นสูง tensile ลด elongation เพิ่ม)

2.5.6.5 ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength)

ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเป็นการวัดแรงดันสูงสุดที่กระทำต่อผิวหน้ากระดาษในแนวตั้งฉากที่กระดาษทนได้ก่อนที่แตกออก มีหน่วยเป็น kPa ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุขึ้นกับ น้ำหนักมาตรฐาน เช่นกระดาษที่มีปริมาณเส้นใยมากกว่า (พันธะมากกว่า) ย่อมแข็งแรงกว่ากระดาษที่มีเส้นใยน้อยกว่า ดังนั้นจึงสามารถรายงานผลเป็นแรงดันทะลุ

$$\text{Burst index} = \frac{\text{bursting strength}}{\text{basis weight}} \text{ มีหน่วยเป็น kPa} \times \text{m}^2/\text{g}$$

2.5.6.6 ความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength)

ความแข็งแรงต่อแรงฉีกเป็นการวัดแรงเฉลี่ยที่ใช้ในการฉีกกระดาษต่อจากแนวตัดเริ่มต้นมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ มิลลินิวตัน (mN)

$$\text{Tear index} = \frac{\text{tearing strength}}{\text{basis weight}} \text{ มีหน่วยเป็น } \text{mN} \times \text{m}^2/\text{g}$$

ความแข็งแรงต่อแรงฉีกไม่สัมพันธ์กับความแข็งแรงตึงหรือความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุโดยตรง โดยปกติเวลา/บดเยื่อ ค่าความแข็งแรงตึงและความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณการตี/บดเยื่อ (เนื่องจากพันธะระหว่างเส้นใยเพิ่มมากขึ้น) แต่ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกที่มีการตี/บดเยื่อเท่านั้น เมื่อมีค่าสูงถึงจุดหนึ่งแล้วความแข็งแรงต่อแรงฉีกจะลดลง และเมื่อตี/บดเยื่อต่อ ค่าก็จะลดลงเรื่อยๆ

ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขึ้นกับ ความยาวของเส้นใย ความแข็งแรงของเส้นใย ปริมาณพันธะระหว่างเส้นใย (ในกรณีที่พันธะไม่มาก ความแข็งแรงขึ้นกับปริมาณพันธะ ในกรณีที่พันธะมากพอ ความแข็งแรงจะแปรตามความแข็งแรงของเส้นใย)

2.6 การเตรียมนาโนไคโตซาน

การพัฒนาทางด้านนาโนเป็นแนวทางที่จะเพิ่มขีดสมรรถนะของประเทศในการแข่งขันในระดับสากล ปัจจุบันมีแนวโน้มของการนำวัสดุอุปกรณ์ที่ประยุกต์จากงานด้านนาโนมาใช้ทดแทนวัสดุเดิมในอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งด้านชีวภาพ ภายภาพ “นาโนเทคโนโลยี” คือการสังเคราะห์วัสดุ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด 0.1-100 นาโนเมตร ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุหรือสารต่างๆ มีสมบัติที่พิเศษขึ้นทางด้านกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ เช่น สมบัติการนำไฟฟ้า ความร้อน และแสงได้ดีกว่าวัสดุเดิม สมบัติทางแม่เหล็ก และการเร่งปฏิกิริยาดีขึ้น ซึ่งมีประโยชน์ต่อผู้ใช้และเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ [32]

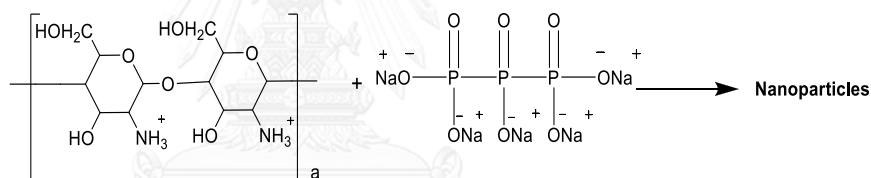
วัสดุนาโนประกอบด้วยอนุภาคนาโน (nanoparticle) เส้นใยนาโน(nanofibers) นาโนเคลย์ (nanoclays) และนาโนคอมโพสิต (nanocomposites) ท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotube) โพรงนาโน(nanopores) และฟิล์มบางนาโน (nano-thin film)

อนุภาคนาโนมีคุณสมบัติพิเศษ ได้แก่ พื้นผิวต่อปริมาตรสูง เพิ่มขึ้นตามขนาดที่เล็กลง มีความหนาแน่นต่อหน่วยบรรจุสูง ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี โปร่งแสง มีผิวสัมผัสระหว่างหน่วยย่อยสูงทำให้ความแข็งแรง ทนทานของวัสดุผสม และสามารถเกิดปรากฏการณ์ทางควอนตัมเด่นชัด ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่นำอนุภาคนาโนไปใช้ ประโยชน์ด้านต่างๆ เช่น ด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม การแพทย์และสาธารณสุข วิศวกรรม อิเล็กทรอนิกส์ และสินค้าอุปโภคบริโภค [33]

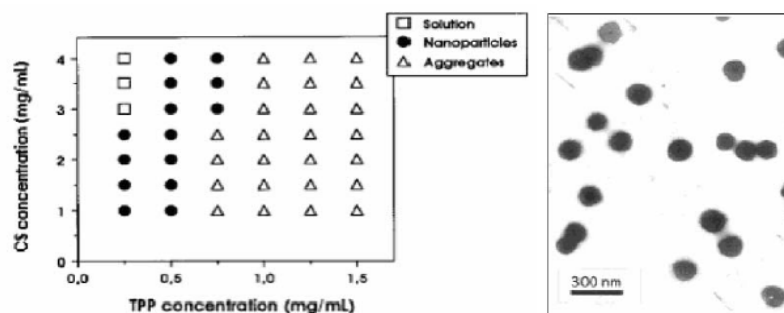
อนุภาคนาโนไคโตซานสามารถเตรียมได้โดยวิธีแตกต่างกัน วิธีแรกเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด คือ วิธี inotropic gelation โดยการทำให้ปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานซึ่งเป็นตัวพวที่มีประจุบวกกับสารเชื่อมขวาง (cross-link agent) หรือการเติมเคมีประจุลบ เช่น ไตรฟอสเฟต (tripolyphosphate, TPP) หรือ calcium salt [34, 35]

วิธีที่ 2 water-oil-reversed phase micro emulsion วิธีนี้มีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และสารเชื่อมขวาง (cross-link agent) โดยที่นำสารละลายผสมลงในตัวทำละลายอินทรีย์ในรูปแบบของน้ำในน้ำมัน (water-in oil micro emulsion) จากนั้นทำการเติมสารละลาย polyanion ลงใน micro-emulsion ภายใต้อุณหภูมิที่ควบคุมด้วยความเร็วสูง ได้เป็นอนุภาคไมโครใน mico-droplet โดยผ่านกระบวนการ ionotropic gelation ซึ่งในบางกรณี cross-link agent จะถูกนำมาใช้แทน polyanion

Calvo และคณะ [34] ได้เตรียมนาโนไคโตซานโดยการชักนำให้เกิด gelation ของสารละลายไคโตซานโดยใช้ TPP ในสภาวะกรด ดังรูป 2.3 และได้ศึกษาความสัมพันธ์ของอนุภาคนาโนกับความเข้มข้นของไคโตซานและ TPP ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ผลพบว่าสังเกตเห็นลักษณะของเหลว 3 รูปแบบ สารละลายใส (clear solution) สารแขวนลอยสะท้อนแสง (opalescent suspension) กลุ่มก้อน (aggregate) หลังจากการวิเคราะห์พบว่าขนาดอนุภาคพบว่าในส่วนของวิภาค สารแขวนลอยใส (opalescent suspension) ให้อนุภาคเล็กสุด ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 การเตรียมนาโนไคโตซานด้วยไตรพอลิฟอสเฟตในสภาวะกรด



รูปที่ 2.5 ส่วนพื้นที่ของนาโนไคโตซาน (ซ้าย) และภาพ TEM ของอนุภาคนาโนไคโตซาน(ขวา)

Chang และคณะ [35] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของ Chitosan-poly (acrylic acid) โดยวิธี dropping โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานกับ poly(acrylic acid, PAA) ซึ่งสารละลายไคโตซานจะถูกเติมลงในสารละลาย PAA และได้เป็นอนุภาคนาโนไคโตซานหลังจากการบ่มใน Freeze-dried ในการศึกษาครั้งนี้พวกเขาได้อนุภาคเล็กที่สุด 30 ไมโครเมตร

Liwei [36] ได้เตรียมนาโนไคโตซานโดยนำ 1.5 กรัม ของไคโตซานละลายในสารละลายกรดแอซิติก (acetic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ปั่นกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก เพื่อให้ไคโตซานละลายได้อย่างสมบูรณ์ แล้วหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH ความเข้มข้น (3 โมล/ลิตร) ลงในสารละลายไคโตซาน เพื่อตกตะกอนไคโตซาน (ตะกอนที่ได้ลักษณะคล้ายเจล)จากก้นทำการล้างตะกอนโดยการกระจายอนุภาคตะกอนในน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร หลังจากล้างตะกอนจนมีภาวะเป็นกลางแล้ว ทำการแบ่งสารแขวนลอยลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และนำไปผ่านการสั่นโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasonic) โดยใช้โพรบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จุ่มลึก 20 มิลลิเมตร ด้วยกำลังไฟฟ้า 40 W ภายใต้อ่างน้ำแข็ง เมื่อครบกำหนดได้เป็นสารแขวนลอยลักษณะเป็นน้ำนม

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับสีย้อมโดยการใช้นาโนไคโตซาน

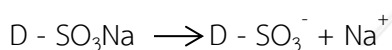
Salehi และคณะ [38] ได้เตรียมและพิสูจน์เอกลักษณ์และคุณสมบัติการดูดซับของวัสดุเชิงประกอบ (Chitosan-zinc oxide nanoparticle, CS/n-ZnO) โดยที่อนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์จะถูกตรึงอยู่บนโมเลกุลของไคโตซาน จากนั้นถูกนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์โดย FT-IR XRD SEM และ WDX การทดลองนี้ได้ใช้สีย้อม 2 ชนิดคือ Direct Blue78 (DB78) และ Acid Black26 (AB26) เป็นแบบจำลองการดูดซับซึ่งสามารถทำการตรวจสอบการกำจัดสีโดยใช้ CS/n-ZnO (0.25-1g/L) ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 200 rpm ในสภาวะ $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ในสารละลายสีย้อม 200 ml (50mg/L) พบว่าที่ CS/nZnO 0.5 g/L สามารถกำจัดสีย้อม AB26 ได้ร้อยละ 91 และ DB78 ได้ร้อยละ 96 และที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่สูงให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสีต่ำ สภาวะที่ให้การดูดซับที่ดีที่สุดมีค่า pH เท่ากับ 2 และพบว่าเมื่อ pH เพิ่มขึ้นการดูดซับจะลดลง จากผลต่างๆแสดงให้เห็นว่าวัสดุเชิงประกอบนี้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นตัวดูดซับที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับความสามารถในการดูดซับที่ค่อนข้างสูงซึ่งอาจเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการนำไปกำจัดสีในสารละลาย

Hu และคณะ [1] ได้ทำเตรียมนาโนไคโตซานด้วยวิธีอิมัลชันและทำการสำรวจศักยภาพของนาโนไคโตซานที่มีขนาดอนุภาค 180 nm (degree of deacetylation, 74%) ในการเป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัด Acid Green 27 (AG27) ในสารละลาย พบว่ามีกลไกการดูดซับของไคโตซานกับสีย้อมเป็นแบบแรงไฟฟ้าสถิตระหว่างประจุลบของสีย้อมดึงดูดกับประจุบวกของหมู่แอมิโนบนไคโตซานทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคสีย้อมกับอนุภาคของนาโนไคโตซาน และพบว่าสีย้อมอาจจะถูกคายออกมา (desorption) ในสภาวะที่ตัวกลางเป็นต่าง ไอโซเทอมของการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลอง

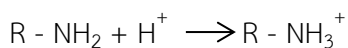
ของแลงก์เมียร์ (Langmuir) เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวซึ่งความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อขนาดของโคโตซานเล็กลง

Cheung W.H. และคณะ [39] ได้เตรียมอิมัลชันนาโนโคโตซาน ซึ่งมีขนาดอนุภาค 0.0663 - 1.763 nm โดยการเติมสารละลาย tripolyphosphate ลงในสารละลายโคโตซานด้วยวิธีการหยด และทำการเปรียบเทียบความสามารถ ในการดูดซับของนาโนโคโตซานกับโคโตซานแบบธรรมดาเพื่อเป็นตัวดูดซับสีย้อม 4 ชนิดคือ acid orange 10, acid-orange 12, acid red 18 และ acid red 73 เพื่อเป็นแบบจำลองสีย้อมที่ละลายอยู่ในน้ำเสียในอุตสาหกรรมสิ่งทอพบว่าการใช้นาโนโคโตซานมีความสามารถในการดูดซับที่สูงกว่าโคโตซานแบบธรรมดา โดยที่กลไกของการดูดซับเกิดจาก acid dye จะถูกดูดซับบนนาโนโคโตซานได้ด้วยแรงไฟฟ้าสถิตของประจุลบในสีย้อมกับประจุบวกบนหมู่แอมิโนของโคโตซาน ดังนี้

ในเริ่มแรกสีย้อมที่ละลายน้ำมีหมู่ซัลโฟเนต ($-SO_3^-$) ที่สามารถแตกตัวออกมาอยู่ในรูปของประจุลบ ดังสมการ



จากนั้นหมู่แอมิโนของโคโตซาน ($R-NH_2$) จะถูกโปรตอนเตในสารละลายที่มี pH ต่ำ ดังสมการ



ซึ่งจะทำให้เกิดการดึงดูดระหว่างหมู่ ($-SO_3^-$) ของสีย้อมและหมู่ ($-NH_3^+$) ของโคโตซาน ส่งผลให้มีการดูดซับของสีย้อมบนโคโตซานได้มากขึ้นและพบว่าผลของความเป็นกรดต่างในสารละลายที่ pH เท่ากับ 6 เกิดการดูดซับที่ต่ำกว่า pH เท่ากับ 4 ซึ่งอาจสรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับที่แตกต่างกันของแต่ละสี อันเนื่องมาจากความแตกต่างในขนาดของอนุภาคของโมเลกุลสีและจำนวนของหมู่ซัลโฟเนตบนแต่ละโมเลกุลของสีย้อม แสดงให้เห็นว่าไอออนประจุเดียวกับโมเลกุลของสีย้อมที่เล็กมีความสามารถในการดูดซับที่มากกว่า เนื่องจากการเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนพื้นที่ผิว/โคโตซานในระบบและความสามารถในการเจาะลึกของโมเลกุลของสีย้อมลงไปในรูพรุนภายในโครงสร้างของนาโนโคโตซาน ไอโซเทอมของการดูดซับที่มีความสอดคล้องกับสมการของแลงก์เมียร์ (Langmuir) เป็นการดูดซับของสี AO10, AO12 และ AR18 ส่วนการดูดซับของสีย้อม AR73 สอดคล้องกับสมการของเรดลิค เพเทอร์สัน (Redlich-Peterson)

Zhou และคณะ[40] ได้เตรียม glutaraldehyde cross-link magnetic chitosan nanoparticle (GMCN) เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพทางเคมีของโคโตซานในสารละลายกรด ให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมอาหารได้มากขึ้น พบว่าขนาดของอนุภาค (GMCN) อยู่ในช่วง 60-95 nm สีย้อมอาหารที่ใช้เป็นแบบจำลองการดูดซับในการทดลองนี้คือ FD&C Blue1 และ FD&C

Yellow5 และผลจากการศึกษาในสภาวะ pH 3-11 พบว่าปริมาณการดูดซับสีจะลดลงเมื่อ pH เริ่มต้นเพิ่มขึ้นจาก 3 ถึง 6 เนื่องจากในสภาวะที่ pH สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณโปรตรอน (H^+) ลดลงทำให้สามารถโปรโตเนตหมู่แอมิโนของไคโตซานได้น้อยและจะลดลงอีกเพียงเล็กน้อยเมื่อ pH เกิน 6 เนื่องจากเมื่อ pH เพิ่มขึ้นความเป็นเบสมากขึ้นปริมาณของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการผลักกันของประจุลบของ (OH^-) ที่พื้นผิวของอนุภาค (GMCN) กับประจุลบของสีย้อม โดยที่ปริมาณการดูดซับของสีฟ้าจะลดลงจาก 375-53.56 mg/g สีเหลืองลดลงจาก 247.87-38.26 mg/g

จากงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการเตรียมเยื่อกระดาษชานอ้อยให้ติดสีโดยการใช้ไคโตซาน เป็นตัวช่วยในการติดสีให้ติดกับเยื่อกระดาษชานอ้อยซึ่งสีย้อมที่เราเลือกใช้เป็นสีผสมอาหารและศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมบนเยื่อชานอ้อยด้วยตัวดูดซับไคโตซาน รวมถึงทดสอบสมบัติของตัวดูดซับไคโตซานและสมบัติทางกายภาพของกระดาษชานอ้อยจากการย้อมติดสีต่างๆ ที่เตรียมได้เพื่อนำไปใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ต่อไป

2.7.2 การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไคโตซานเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของกระดาษ

Asholi และคณะ [41] ได้เตรียมเยื่อกระดาษชานอ้อยโดยวิธีการสกัดแบบ hot water pre-extracted และ un-extracted โดยศึกษาผลของการใช้ไคโตซานและแป้งประจุบวกซึ่งถูกนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงขณะแห้ง (dry-strength agent) ในกระดาษชานอ้อย ด้วยเทคนิค Inverse gas chromatography เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีพื้นผิวของกระดาษ เช่น พลังงานพื้นผิว ตำแหน่งจำเพาะ (active site) พื้นผิวในสภาวะ กรด-เบส ผลจากการทดลองพบว่ากระบวนการทำกระดาษเป็นสาเหตุของการจัดเรียงตำแหน่งหมู่ทางเคมีบนพื้นผิวกระดาษ ซึ่งชักนำให้เกิดสมบัติการไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) บนพื้นผิวกระดาษ และให้ผลการวิเคราะห์พื้นผิวในสภาวะกรด-เบส หลังจากเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะแห้งพบว่ากระดาษที่ถูกเตรียมโดยวิธีการสกัดแบบ pre-extraction และ un-extraction ให้ผลการทดลองในทิศทางเดียวกัน จากผลการศึกษาพวกเขาได้สรุปว่าการใช้ไคโตซานและแป้งประจุบวกเป็นเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงทำหน้าที่เป็นฟิล์มเคลือบผิวของกระดาษชานอ้อยที่ดี

Diab และคณะ [42] ได้ทำการเตรียมและพิสูจน์เอกลักษณ์ไคโตซานประจุบวกที่สามารถละลายน้ำได้ (cationic chitosan, C-CH) และเส้นใยเซลลูโลสตัดแปรพื้นผิว (microfibrillated cellulose, C-MFC) โดยที่ C-MFC สามารถเตรียมโดยการปฏิกิริยาของ C-MFC กับ β -chloroethyldiethylamine และการทำให้เกิด quaternization โดยใช้ methyl iodide ขณะที่ C-CH ถูกเตรียมโดยปฏิกิริยาของไคโตซานเชิงการค้ากับ 2,3-epoxypropyltrimethyl ammonium

chloride ซึ่ง C-CH และ C-MFC ที่เตรียมได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ธาตุเคมี (เพื่อดูปริมาณไนโตรเจน) FTIR และคำนวณหาปริมาณประจุที่พื้นผิว

หลังจากนั้น C-CH และ C-MFC ที่เตรียมได้ถูกนำมาปรับปรุงสมบัติการคงสภาพและการระบายน้ำในกระบวนการผลิตกระดาษจากเยื่อชานอ้อยและไม้เนื้ออ่อนด้วยเบนโทไนท์ (bentonite) ในอัตราส่วนร้อยละ 0.05-0.2 โดยน้ำหนักของ C-CH และร้อยละ 0.05-1 โดยน้ำหนักของ C-MFC พวกเขาพบว่าการนำ C-CH หรือ C-MFC มาใช้โดยไม่มีเบนโทไนท์ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบใดๆต่อการระบายน้ำที่ดีขึ้น

ผลของ C-MCF/bentonite และ C-CH/bentonite เป็นสาเหตุให้กระดาษจากเยื่อชานอ้อยมีความคงสภาพมากกว่ากระดาษจากไม้เนื้ออ่อน และยังพบว่าการใช้ C-CH เป็นสารตัวเติมความคงสภาพที่ดีกว่าการใช้ C-MFC เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติความคงสภาพและการระบายน้ำกับสารประจุบวกทางการค้า cationic polyacrylamide (CPAM) แสดงให้เห็นว่า CPAM ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด รองลงมาคือ C-CH และ C-MFC ตามลำดับ

Asholi และคณะ [28] ได้ใช้โคโตซานเป็นสารช่วยเพิ่มสมบัติความแข็งแรงขณะแห้งของกระดาษจากเส้นใยปอแก้ว (*Hibiscus cannabinus*) โดยศึกษาเทคนิคการนำโคโตซาน treat เข้าแผ่นกระดาษ ด้วยวิธีแตกต่างกัน 3 เทคนิค คือ การพ่นสเปรย์ การดูดซับที่สภาวะสมดุล (pH 5) และการตกตะกอน (pH-10) โดยมีปริมาณโคโตซานที่ใช้ในการทดลองร้อยละ 0.5 1 1.5 และ 2 ต่อน้ำหนักของเยื่อแห้ง ผลพบว่าโคโตซานช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของแผ่นกระดาษ โดยการเพิ่มสมบัติความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength) ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) และความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength) ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0-0.5 โดยน้ำหนักมากกว่าร้อยละ 1-1.5 โดยน้ำหนัก และยังพบว่าประสิทธิภาพของความแข็งแรงนั้นยังขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ โดยที่เทคนิคการสเปรย์ให้ความแข็งแรงสูงสุด รองลงมาคือ การดูดซับในสภาวะสมดุล และในสภาวะต่างให้ความแข็งแรงต่ำสุด

Suteera และคณะ [43] ศึกษาและปรับปรุงสมบัติเชิงกลของกระดาษรีไซเคิลจากกล่องลูกฟูกด้วยวิธีการผสมกับเยื่อใหม่ที่ได้จากเยื่อฟางข้าว เยื่อชานอ้อย และเยื่อปอสา ด้วยวิธีการเติมสารเคมี และด้วยวิธีการเคลือบกระดาษด้วยสารละลายโคโตซาน จากผลการทดลองปรากฏว่ากระดาษรีไซเคิลที่เตรียมจากการผสมของเยื่อปอสาร้อยละ 30 โดยน้ำหนักเยื่ออบแห้ง และเยื่อรีไซเคิลจากกล่องลูกฟูกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักเยื่ออบแห้ง สามารถเพิ่มสมบัติเชิงกลของกระดาษรีไซเคิลได้ และพบว่าสมบัติเชิงกลของกระดาษรีไซเคิลที่ได้จากการผสมของเยื่อปอสาและเยื่อกล่องลูกฟูกนี้ดีขึ้นหลังจากเติมสารเติมเต็ม

ผลของปริมาณ dry strength resin ต่อคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษรีไซเคิล ผลปรากฏว่าสมบัติเชิงกลของกระดาษรีไซเคิลไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณของ dry strength resin มากกว่า ร้อยละ 0.45 โดยน้ำหนักเยื่ออบแห้ง จากนั้นได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของกระดาษรีไซเคิลโดยวิธีการเคลือบด้วยไคโตซาน จากผลการทดลองปรากฏว่าความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานที่เหมาะสมคือร้อยละ 0.3 โดยปริมาตร ซึ่งทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงและความต้านทานน้ำ ของกระดาษรีไซเคิลเพิ่มขึ้นร้อยละ 22 และร้อยละ 69 ตามลำดับ



บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1.1 ไคโตซานที่มีร้อยละการกำจัดหมู่แอสทิล (%DD) มากกว่า 85 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 100,000 กิโลดาลตัน จากบริษัท ต้าหมิง เอนเตอร์ไพรส์ จำกัด

3.1.1.2 เยื่อชานอ้อยได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เอ็นไวรอนเมนท์พัลฟ์ แอนด์ เปเปอร์ จำกัด

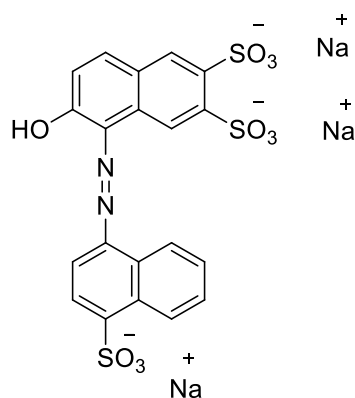
3.1.1.3 สีย้อมแอสิด 2 ชนิด ชื่อทางการค้า Tartrazine และ Ponceua 4R จากบริษัท อติณพ จำกัด

3.1.1.4 กระดาษช้บขนาด 20x20 ซม., 250 ± กรัม/ตารางเมตร จาก ซี แอล ซี คอร์เปอร์เรชั่น (ประเทศไทย)

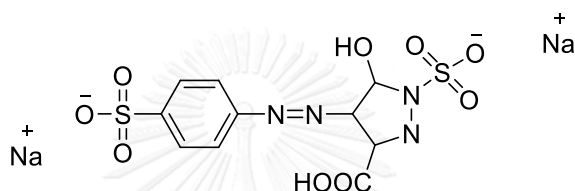
3.1.1.5 แอลคิล คีโตน ไดเมอร์ (alkyl ketone dimer, AKD) ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาเทคโนโลยีเยื่อกระดาษและสิ่งพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.1.6 กรดแอสติค (glacial acetic acid, CH₃COOH) เป็นเกรดวิเคราะห์ (AR-grade) ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.1.7 โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (sodiumtripolyphosphate, STPP) จากบริษัท เอส.เอ็ม. เคมีคอลส์พหลาย จำกัด



รูปที่ 3. 1 โครงสร้างเคมีของสีแดง (ponceau 4R)



รูปที่ 3. 2 โครงสร้างเคมีของสีเหลือง (tartrazine)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.1 เครื่องปั่นกวนผสมแบบ Homogenizer T18 basic/Ultra Turrax IKA/Malaysia

3.1.2.2 เตาให้ความร้อนที่สามารถปั่นผสมสาร (Hot Plate Stirrer) MS300HS/Favorit®/South Korea

3.1.2.3 เครื่องวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคแบบเลเซอร์ (Laser Particle Size Distribution Analyzer, LPSDA) Mastersizer 2000/ Malvern/ United Kingdom

3.1.2.3 เครื่องตีกระจายเยื่อ (disintegrator) Formex T-100, Adirondack Machine Corporation, USA

3.1.2.4 เครื่องชั่ง (analytical balance) 4 ตำแหน่ง METTLER TOLEDO AB204-2, switzerland

3.1.2.5 เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษ (TAPPI sheet machine manual) PTI รุ่น RK-2A KWT, Australia

3.1.2.6 ตู้อบให้ความร้อน (oven) Venticell, Germany

3.1.2.7 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile tester) Stograph E-S, Toyoseiki Seisaku-SHO LTD, Japan

3.1.2.8 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด (tear tester) Protear, Thwing-Albert Instrument, USA

3.1.2.9 กระดาษวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-paper)

3.1.2.10 เครื่องวัดค่าความต้านทานน้ำ (cobb test)

3.1.2.11 เครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อการต้านทานแรงดันทะลุ (bursting strength)

3.1.2.12 เครื่องทดสอบความต้านทานการซึมผ่านอากาศ (air resistance) Toyoseiki, Japan

3.1.2.13 เครื่องวัดสี (reflectance Spectrophotometer) Macbeth color-eye 700/X-Rite incorporated, USA.

3.1.2.14 บีกเกอร์ ขนาด 25 50 250 600 1000 และ 2000 มิลลิลิตร

3.1.2.15 กระจกตวง ขนาด 25 100 500 และ 1000 มิลลิลิตร

3.1.2.16 บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

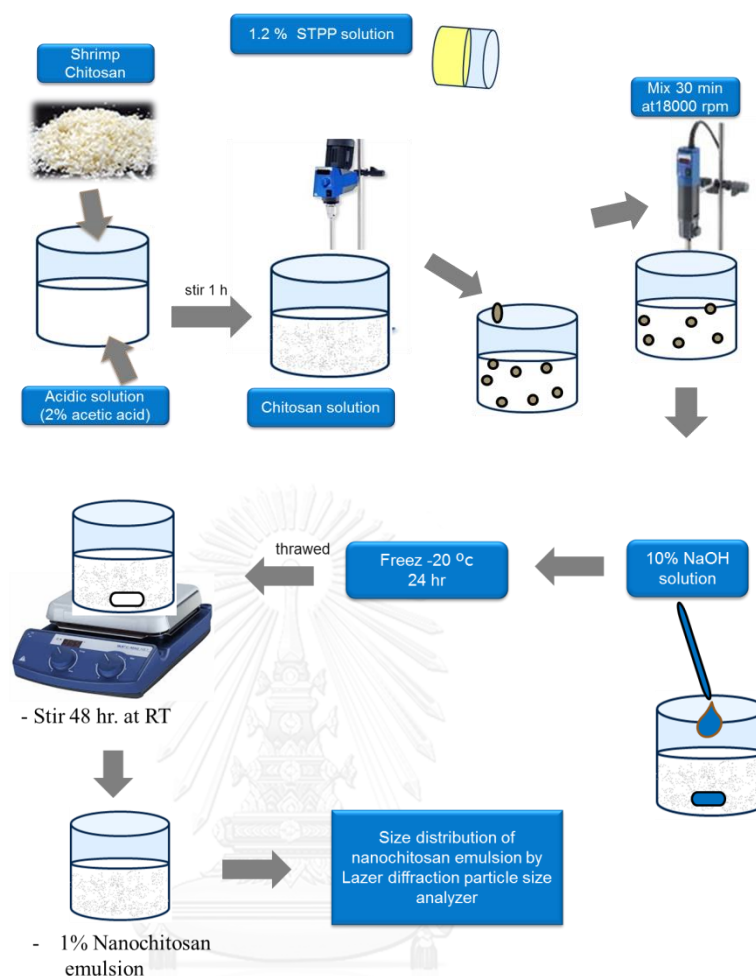
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมนาโนโคโตซานอิมัลชัน

3.2.1.1 เตรียมสารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในสารละลายกรดอะซิติก (acetic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ปั่นกวนด้วย mechanical stirrer ด้วยความเร็ว 1,200 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 เพื่อกำจัดส่วนที่ไม่ละลายที่มีลักษณะเป็นวุ้นใส

3.2.1.2 จากนั้นนำ STTP solution ที่เตรียมไว้ร้อยละ 1.2 โดยปริมาตร หยดลงในสารละลายโคโตซาน ปริมาตร 95.4 ml โดยใช้เครื่องผสมสาร homogenizer ได้สารละลายอิมัลชันลักษณะขาวขุ่น (ขั้นตอนนี้เป็นที่เกิดระบบอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ) ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่ pH 5 (ที่ pH 5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้อนุภาคขนาดนาโน) [36] จากนั้นนำไป Freeze ต่อที่อุณหภูมิ -20°C

3.2.1.3 นำสารละลายที่นำไป Freeze ไว้มาละลายที่อุณหภูมิห้อง แล้วปั่นกวนด้วยเตาแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ขั้นตอนนี้ได้อนุภาคนาโนโคโตซานเป็นสารแขวนลอยในสารละลาย) ขั้นตอนการเตรียมแสดงดังรูปที่ 3.3



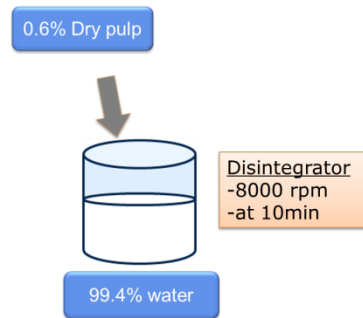
รูปที่ 3.3 การเตรียมนานโคโตซานอิมัลชัน

3.2.2 การเตรียมสารละลายโคโตซาน

เตรียมสารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในสารละลายกรดอะซิติก (acetic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยปริมาตร ปั่นกวนด้วย mechanical stirrer ด้วยความเร็ว 1,200 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนออก

3.2.3 การเตรียมน้ำเยื่อชานอ้อยบริสุทธิ์

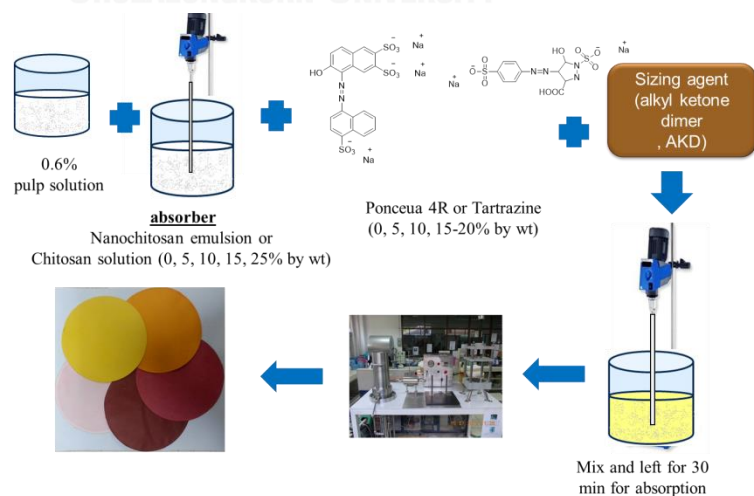
เตรียมน้ำเยื่อชานอ้อยบริสุทธิ์ 0.6% โดยน้ำหนัก โดยนำเยื่อแห้งของกะดาษชานอ้อยกระจายในน้ำกลั่น ด้วยเครื่อง Disintegrator ที่ความเร็ว 8000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การเตรียมน้ำเยื่อชานอ้อยบริสุทธิ์

3.2.4 การขึ้นรูปแผ่นกระดาษ

ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 200 แกรมต่อตารางเมตร ด้วยเครื่องขึ้นรูป TAPPI sheet machine manual ดังรูป 3.1 จำนวนสูตรละ 5 แผ่น ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการใส่สารละลายไคโตซานและอนุภาคไมโครไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมสีเหลือง (tartrazine) และสีแดง (ponceu 4R) ซึ่งมีตัวอย่างการเตรียมสูตรกระดาษชานอ้อยย้อมติดสี B1 ดังนี้ นำน้ำเยื่อชานอ้อยบริสุทธิ์ละ 0.6 โดยน้ำหนักของเยื่อแห้ง เตรียมผสมกับสารละลายไคโตซานร้อยละ 5 ปั่นกวน 5 นาที แล้วเติมผงสีร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเยื่อแห้ง และสารกันซึม (AKD) ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักเยื่อแห้ง ลงในสารละลายตามลำดับ แล้วปั่นกวนเพื่อให้เข้ากันอย่างสมบูรณ์ จากนั้นให้ปล่อยของผสมทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้เกิดการดูดซับระหว่างเยื่อชานอ้อยไคโตซานและสี ก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นกระดาษตามมาตรฐาน TAPPI T250 รูปภาพแสดงขั้นตอนการย้อมสีดังรูปที่ 3.5 และสูตรการย้อมสีเยื่อชานอ้อยแสดงใน ตารางที่ 3.1

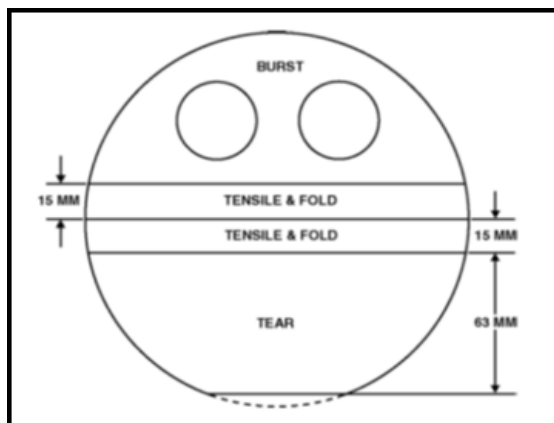


รูปที่ 3.5 การเตรียมสูตรเพื่อขึ้นรูปกระดาษชานอ้อยย้อมติดสี

นำแผ่นกระดาษที่ได้ในแต่ละสูตรมาปรับสภาพในห้องควบคุมภาวะเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง เพื่อให้แผ่นทดสอบมีค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกัน (อุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ ร้อยละ (65-75) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพด้วยการวัดค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ และค่าความเข้มสี (K/S) เพื่อหาปริมาณสีที่เหมาะสมและให้ค่าความเข้มสีสูงสุด ก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษเพื่อทดสอบสมบัติการต้านทานน้ำและสมบัติเชิงกลต่างๆ โดยมีวิธีการเตรียมกระดาษ ดังรูป 3.2

ตารางที่ 3. 1 สูตรการย้อมสีเยื่อชานอ้อย

สัญลักษณ์	น้ำเยื่อ (%) โดยน้ำหนัก	% โดยน้ำหนัก ของเยื่อแห้ง		
		สารละลายโคโคโต ชาน/ไมโครโคโคโตชาน	สีย้อม	สารกันซึม
A0	0.6	0	5	0.1
A1	0.6	0	10	0.1
A2	0.6	0	15	0.1
B1	0.6	5	5	0.1
B2	0.6	5	10	0.1
B3	0.6	5	20	0.1
C1	0.6	10	5	0.1
C2	0.6	10	10	0.1
C3	0.6	10	20	0.1
D1	0.6	15	5	0.1
D2	0.6	15	10	0.1
D3	0.6	15	20	0.1
E1	0.6	20	5	0.1
E2	0.6	20	10	0.1
E3	0.6	20	20	0.1
F1	0.6	25	5	0.1
F2	0.6	25	10	0.1
F3	0.6	25	20	0.1



รูปที่ 3. 6 ลักษณะการตัดแผ่นทดสอบเพื่อนำไปทดสอบสมบัติความแข็งแรงต่างๆ

3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

3.3.1 การทดสอบความสามารถในการดูดซับสีย้อมโดยการวัดค่าสีในระบบ CIELab

การทดสอบความสามารถในการดูดซับสีย้อมด้วยเครื่องวัดสี Macbeth Color-Eye 7000 รูปที่ 3.7 โดยใช้โหมดการวัดค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ค่าความเข้มสี (K/S) ตามมาตรฐานของ ISO 187 ด้วยจำนวนชิ้นงานละ 3 ตำแหน่ง ซึ่งค่าความเข้มสีของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสี สามารถคำนวณได้จากสมการ 1 (5)

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

เมื่อ R (Reflectance) หมายถึง การสะท้อนแสงของสี (20%R = 0.20R)



รูปที่ 3. 7 เครื่องวัดสี Macbeth Color-Eye 7000

3.3.2 การทดสอบหาขนาดอนุภาคของไมโครไคโตซานอิมัลชันด้วยเครื่อง Laser

Diffraction Particle Size Analyzers

การวิเคราะห์เพื่อหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครไคโตซาน โดยอาศัยเครื่อง Laser Particle Size Diffraction Analyzers ของ Malvern รุ่น Mastersizer 2000 ดังรูปที่ 3.8 ก่อนทำการทดสอบต้องนำไมโครไคโตซานอิมัลชันที่เตรียมได้ไปผ่านการสั่นโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (sonicate) นาน 1 นาที เพื่อให้อนุภาคของไมโครไคโตซานอิมัลชันการกระจายตัวที่ดี จากนั้นจึงนำไมโครไคโตซานอิมัลชันที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Diffraction Particle Size Analyzers ใช้หน่วยกระจายตัว Hydro 2000SM ซึ่งเป็นหน่วยการกระจายตัวที่เหมาะสมกับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กหรือใช้ตัวทำลายน้อย เพียงปริมาตร 50 มิลลิลิตร ถึง 120 มิลลิลิตร ภายใต้ภาวะค่า Particle refractive index เท่ากับ 1 และค่า Absorption เท่ากับ 0.458 มีน้ำเป็นตัวกลาง ขั้นตอนการวิเคราะห์ทำได้โดยหยดไมโครไคโตซานอิมัลชันลงในหน่วยกระจาย หลังจากนั้นเครื่องจะทำการวัดขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดอนุภาค สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ ค่า D [4,3] สำหรับอ่านค่าขนาดอนุภาคของไมโครไคโตซาน



รูปที่ 3. 8 เครื่อง Laser Diffraction Particle Size Analyzers และหน่วยการกระจาย Hydro 2000SM รุ่น Mastersizer 2000 ของบริษัท Malvern

3.3.3 การทดสอบความต้านทานน้ำของกระดาษด้วยวิธี cobb test

การทดสอบสมบัติความต้านทานน้ำด้วยชุดทดสอบ cobb test ตามมาตรฐาน TAPPI T441 om-09 เป็นวิธีที่มีความนิยม เนื่องจากมีความยืดหยุ่นต่อชนิดของของเหลวที่ใช้ในการทดสอบ อุปกรณ์ของ cobb test แสดงดังรูป 3.9 ประกอบด้วยฐานที่ทำจากโลหะมีแผ่นรองพื้นเป็นยางป้องกันของเหลวรั่วไหลของออกจากวงแหวนโลหะ ก่อนทำการทดสอบต้องชั่งน้ำหนักกระดาษของตัวอย่างไว้ โดยต้องตัดกระดาษให้มีขนาดใหญ่กว่าวงแหวนเล็กน้อย นำตัวอย่างวางบนฐานแผ่นยาง

แล้วทับด้วยวงแหวนโลหะ จากนั้นเทน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบริเวณวงแหวนที่พื้นที่ 100 ตารางเซนติเมตร ระวังไม่ให้มีหยดน้ำหกออกนอกวงแหวน จับเวลา 120 วินาที ก่อนครบเวลา 10 ± 2 วินาที ให้เทน้ำออกอย่างรวดเร็ว โดยไม่ให้หยดน้ำหยดออกนอกพื้นที่วงแหวน จากนั้นซับของเหลวส่วนเกินออกจากผิวตัวอย่างด้วยกระดาษซับขนาด 20×20 ซม., $250 \pm$ กรัม/ตารางเมตร กอนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และรายงานผลเป็นน้ำหนักของของเหลวที่ถูกกระดาษตัวอย่างดูดซับไว้ต่อพื้นที่กระดาษ (กรัมต่อตารางเมตร)



รูปที่ 3. 9 ชุดทดสอบ cobb test

3.3.4 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

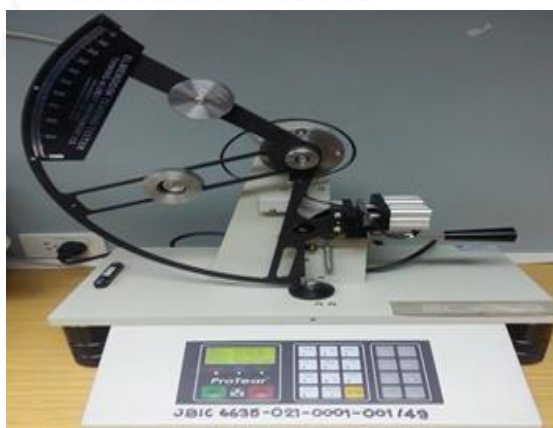
การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงเป็นการทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาษชานอ้อยที่ขึ้นรูปได้ โดยการวัดค่าดัชนีต้านทานแรงดึง (tensile index) ตามมาตรฐานของ TAPPI T 494 om-01 ดังรูปที่ 3.10 โดยการตัดชิ้นงานขนาด 1.5×10 ซม. ระยะห่างระหว่างที่ยึดตัวอย่างเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. โดยใช้ Load cell 500 นิวตัน จากนั้นนำค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ได้มาคำนวณหาค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง โดยนำค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงหารด้วยน้ำหนักมาตรฐาน มีหน่วยเป็น Nm/g



รูปที่ 3. 10 Tensile tester Strograph E-S, Toyoseiki Seisaku-SHO LTD, Japan

3.3.5 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด (tearing strength)

เป็นการทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาษชานอ้อยที่ขึ้นรูปได้ ด้วยการวัดค่าดัชนีความทนต่อแรงฉีกขาด ด้วยเครื่องวัดความต้านทานแรงฉีก แบบ Elmendorf internal tearing resistance test ตามมาตรฐาน TAPPI T 414 om-98 แสดงในรูปที่ 3.11 โดยตัดชิ้นทดสอบให้มีความกว้าง 6.3 เซนติเมตร นำค่าความต้านทานแรงฉีกที่ได้มาคำนวณหาค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีก (tear index) โดยนำค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกหารด้วยน้ำหนักมาตรฐาน มีหน่วยเป็น $\text{mN} \times \text{m}^2/\text{g}$



รูปที่ 3. 11 Tear tester protear, Thwing-Albert Instrument, USA

3.3.6 การทดสอบความพรุนโดยการวัดค่าความต้านทานอากาศ (air resistance)

การทดสอบความพรุนของกระดาษปกติแล้วจะไม่ถูกวัดโดยตรง แต่เป็นการวัดความสามารถของกระดาษในการให้อากาศไหลผ่าน (air permeability) หรือการต้านอากาศ ด้วยเครื่อง Air leak tester ตามมาตรฐาน TAPPI T460 om-11 แสดงในรูปที่ 3.12 โดยให้แรงดันอากาศ 1.22 kPa ไหลผ่านพื้นที่วงกลมของชิ้นงานตัวอย่างขนาด 6.45 ตารางเซนติเมตร ต่อ 100 มิลลิลิตรของปรอท รายงานผลเป็นเวลาให้อากาศไหลผ่านชิ้นงาน



รูปที่ 3. 12 porosity tester A-291800602, Tokyo Seisaku-SHO LTD, Japan

3.3.7 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (bursting strength)

ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเป็นการวัดแรงดันสูงสุดที่กระทำต่อผิวหน้ากระดาษในแนวตั้งฉากที่กระดาษทนได้ก่อนที่จะแตกออก สามารถวัดได้จากเครื่อง Burst tester แสดงดังรูปที่ 3.13 ตามมาตรฐาน TAPPI T403 มีหน่วยเป็น kPa เป็นตัวบ่งบอกความทนทานต่อแรงดันทะลุ ส่วนใหญ่ใช้เป็นตัวบอกความแข็งแรงกับความทนทานของกระดาษโดยรวม สามารถวัดได้โดยนำกระดาษไปยึดกับตัวหนีบรูปวงแหวน แล้วใช้แรงดันกระดาษจากด้านหนึ่งจนกระดาษทะลุ สามารถรายงานผลเป็นค่าดัชนีความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (burst index) โดยนำค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุหารด้วยน้ำหนักมาตรฐาน มีหน่วยเป็น $\text{kPa} \times \text{m}^2/\text{g}$



รูปที่ 3. 13 Burst tester, 150,80-326 Instruction, USA

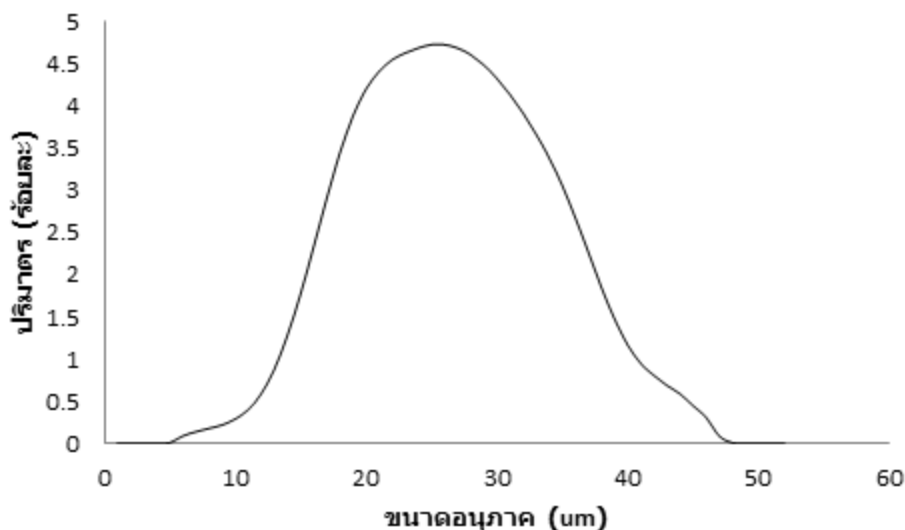


บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผล

4.1 การทดสอบหาขนาดอนุภาคนาโนไคโตซานด้วยเทคนิค Laser diffraction particle size analyzer

การวิเคราะห์เพื่อหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายขนาดอนุภาคของนาโนไคโตซานอิมัลชัน โดยอาศัยเครื่อง LPSDA ของ Malvern รุ่น Mastersizer 2000 ก่อนทำการทดสอบต้องนำนาโนไคโตซานอิมัลชันที่เตรียมได้ทำให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasonic) นาน 1 นาที เพื่อให้อนุภาคของนาโนไคโตซานอิมัลชันการกระจายตัวที่ดี จากนั้นจึงนำนาโนไคโตซานอิมัลชันที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ ผลการกระจายตัวของอนุภาคแสดงดังภาพ 4.1 พบว่าอนุภาคนาโนไคโตซานอิมัลชันที่เตรียมได้โดยวิธีอิมัลชันมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 26 ไมโครเมตร และ ค่า span มีค่า 3.905 um ซึ่งค่า span ที่มีค่ามากกว่า 2 แสดงให้เห็นถึงค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคไคโตซานที่กว้าง จากขนาดของอนุภาคพบว่ามีความใหญ่ คือ 26 um ดังนั้นเราจึงเรียกอิมัลชันที่เตรียมได้ว่าไมโครอิมัลชันแทนการเรียกว่านาโนอิมัลชันและค่าการกระจายตัวอนุภาคไมโครไคโตซานอิมัลชันที่เตรียมได้จากการทดลองนี้มีการกระจายตัวขนาดอนุภาคที่กว้าง



ภาพที่ 4. 1 การกระจายของขนาดไมโครอนุภาคไคโตซานอิมัลชัน

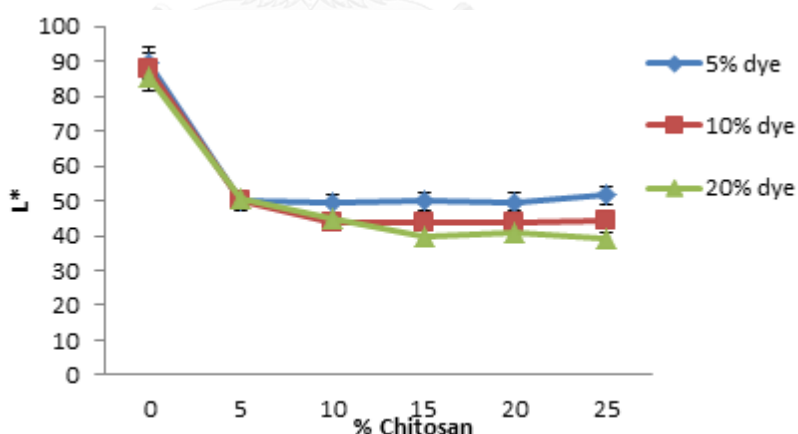
4.2 ผลการวิเคราะห์การย้อมติดสีแดง (ponceua 4R) ของกระดาษชานอ้อย โดยการวัดค่า CIE $L^*a^*b^*$ และค่า K/S ด้วยตัวดูดซับสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชัน

กระดาษเยื่อชานอ้อยย้อมติดสีที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยการขึ้นรูปกระดาษสูตรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ถูกลำนำวัดค่า $L^*a^*b^*$ และ K/S ด้วยเครื่องเครื่องวัดสี Macbeth Color-Eye 7000 เพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างผลของปริมาณสารละลายไคโตซานกับไมโครไคโตซานอิมัลชัน ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นตัวช่วยย้อมติดสี 2 ชนิด คือ 1.สีเหลือง (tartrazine) 2. สีแดง (ponceau 4R) ซึ่งถูกใช้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการย้อมติดสีด้วยไคโตซาน โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณของไคโตซานร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีผลดังต่อไปนี้

4.2.1. ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L^*) จากการย้อมสีแดง (ponceua 4R)

4.2.1.1 ผลของการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

จากการทดสอบเพื่อศึกษาผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีย้อมสีแดง (ponceua 4R) ที่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) พบว่าการย้อมสีกระดาษชานอ้อยในสูตรที่ใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวดูดซับสีมีผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลงแตกต่างจากสูตรที่ไม่ใช้ตัวดูดซับสีซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระดาษสามารถดูดซับสีย้อมได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่มีการใช้ไคโตซาน แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4. 2 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อค่าความสว่าง (L^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

เมื่อใช้ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยแปรเปลี่ยนปริมาณสารละลายไคโตซานในสูตรการขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าความสว่าง (L^*) มีค่าไม่แตกต่างกัน ถึงแม้ปริมาณของไคโตซานเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณสีย้อมที่ใช้ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของสีย้อม ($-SO_3^-$) จำกัดต่อการเกิดอันตรกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของสารละลายไคโต

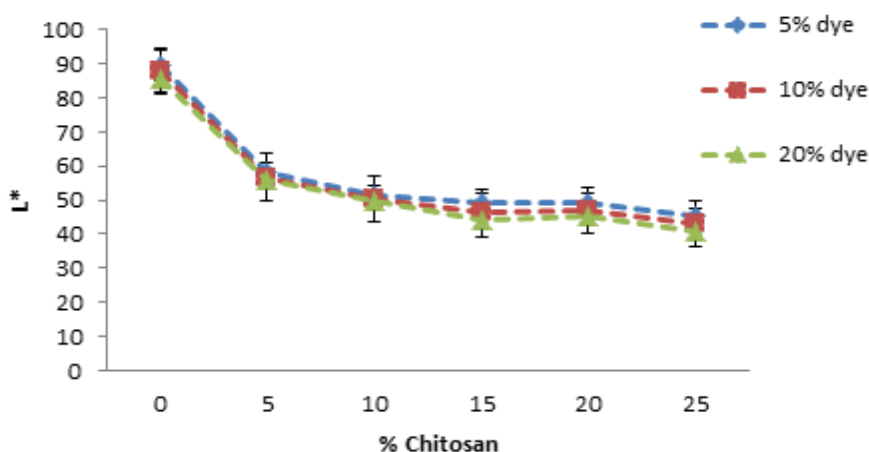
ซาน ($-NH_3^+$) ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นได้ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสีย้อมเป็นร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความสว่างต่ำสุดที่ปริมาณสารละลายโคโตซานร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ หลังจากนั้นพบว่าค่าความสว่าง (L^*) คงที่เมื่อปริมาณโคโตซานเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

เมื่อศึกษาผลของปริมาณสีย้อมที่มีผลกระทบต่อค่าความสว่าง (L^*) ที่ปริมาณสารละลายโคโตซานคงที่ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ปริมาณสีย้อมที่เพิ่มขึ้นพบว่าให้ค่าความสว่าง (L^*) ต่ำสุด (ค่าความสว่างต่ำสุดแสดงถึงกระดาษสามารถติดสีย้อมได้มากขึ้น) ที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

4.2.1.2 ผลของการใช้ไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

ผลกระทบของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีย้อม (ponceau 4R) ที่มีผลต่อค่าความสว่าง L^* เมื่อปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก โดยแปรเปลี่ยนปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันในสูตรขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า (L^*) มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เพราะว่าการเพิ่มปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับโคโตซานและตัวถูกดูดซับช่วยให้สามารถดูดซับสีย้อมได้มากขึ้น

ผลกระทบของการดูดซับสีย้อมเมื่อใช้ปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันคงที่ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ให้ค่า (L^*) แตกต่างกันเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ ผลดังกล่าวแสดงในภาพที่ 4.3



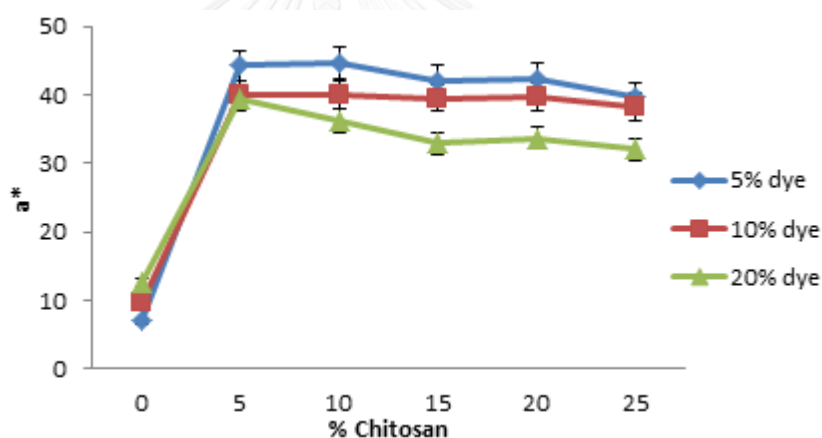
ภาพที่ 4. 3 ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความสว่าง (L^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceau 4R)

ดังนั้นผลจากการศึกษาปริมาณไมโครโคโคซานอิมัลชันและสีแดง (ponceau 4R) พบว่า ปริมาณของไมโครโคโคโคซานอิมัลชันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง แต่เมื่อปริมาณสีย้อม เพิ่มขึ้นค่าความสว่าง L^* มีค่าไม่ต่างกัน กรณีของการใช้สารละลายโคโคซานเป็นตัวช่วยในการดูดซับสี ย้อมให้ค่าความสว่าง L^* ลดลง (กระดาษสามารถติดสีย้อมได้มากขึ้น) ตามปริมาณสีย้อมที่เพิ่มมากขึ้น

4.2.2. ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (ค่า a^*) จากการย้อมติดสีแดง (ponceau 4R)

4.2.1.1 ผลของการใช้สารละลายโคโคซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

การใช้สารละลายโคโคซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมสีแดง (ponceau 4R) ในการย้อมสี กระดาษชานอ้อย ผลแสดงดังภาพที่ 4.4 ให้ค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (ค่า a^*) มีค่าเป็นบวก แสดงถึง ความเป็นสีแดงของกระดาษเยื่อชานอ้อย



ภาพที่ 4. 4 ผลของปริมาณสารละลายโคโคซานและสีต่อค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceau 4R)

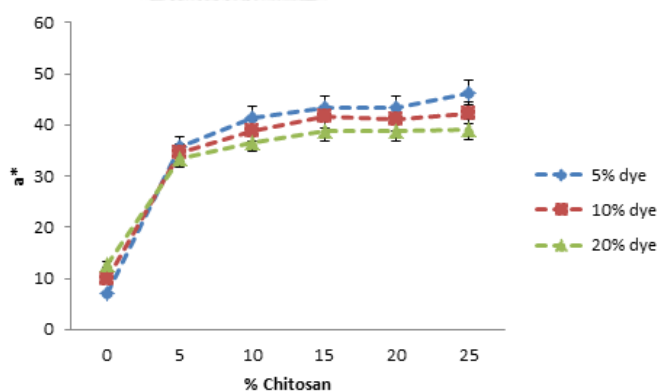
ศึกษาผลกระทบของการดูดซับสีย้อมเมื่อใช้ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดย น้ำหนัก โดยแปรเปลี่ยนปริมาณสารละลายโคโคซานในสูตรการขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-25 โดย น้ำหนัก ให้ค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) สูงสุดที่ปริมาณสารละลายโคโคซานร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณสารละลายโคโคซานเพิ่มขึ้นค่า a^* มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของสารละลายโคโคซาน เนื่องจากปริมาณสารละลายโคโคซานที่มากเกินไป ทำให้เกิดการรวมกลุ่มกัน ซึ่งทำให้การกระจายตัวของโคโคซานบนเส้นใยชานอ้อยลดลงจึงมีผลให้การดูดซับสีลดลงด้วย [44]

ผลของปริมาณสีย้อมที่ปริมาณสารละลายไคโตซานคงที่ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อปริมาณสีย้อมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ลดลงตามปริมาณของสีย้อม

4.2.1.2 ผลของการใช้ไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

จากการศึกษาผลของปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันที่มีผลต่อค่า a^* ที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันที่ใช้แปรเปลี่ยนจากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก แสดงผลดังภาพ 4.5 พบว่าค่า a^* มีค่าเป็นบวกเช่นเดียวกับการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวดูดซับสีย้อมสีแดง (ponceua 4R) และค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นการเพิ่มปริมาณหมู่ฟังก์ชันแอมิโน ($-NH_3^+$) และหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ของไมโครไคโตซานอิมัลชันส่งผลให้สามารถเกิดแรงดึงดูดกัน ระหว่างประจุลบของสีย้อม ($-SO_3^-$) กับประจุบวกของไคโตซาน ($-NH_3^+$) และการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ ($-OH$) ของไคโตซานกับซันอ้อย ได้จึงทำให้เกิดการดูดซับสีย้อมบนเยื่อซันอ้อยได้มากขึ้น [45]

ผลของปริมาณสีย้อม ponceua 4R ที่มีผลต่อค่าความสีเขียว-แดง (ค่า a^*) ที่ปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันคงที่ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า a^* มีค่าลดลงตามปริมาณของสีย้อมที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4. 5 ผลของปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) ของกระดาษซันอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

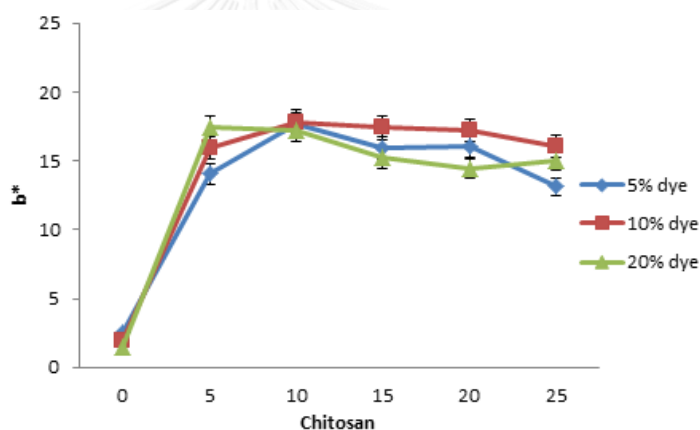
ดังนั้นจากการวิเคราะห์ผลค่าความสีเขียว-สีแดง (ค่า a^*) เพื่อศึกษาผลของปริมาณไคโตซานและปริมาณสีย้อมที่มีผลต่อการดูดซับสีแดง (ponceua 4R) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่สารละลายไคโตซานกับไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยในการดูดซับสีย้อม การใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมให้ค่าการดูดซับสีแดงสูงสุดที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และปริมาณสีย้อมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ในกรณีของการใช้ไมโครโคโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยในการดูดซับสีเยี่ยมพบว่าสามารถดูดซับสีแดงได้มากขึ้นตามปริมาณของไมโครโคโคโตซานอิมัลชัน

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) จากการย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

4.2.3.1 ผลของการใช้สารละลายโคโคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีเยี่ยม

จากการทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณตัวดูดซับสีและสีแดง (ponceua 4R) ที่มีผลต่อค่า b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน) การใช้สารละลายโคโคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีเยี่ยม ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่าค่า b^* มีค่าเป็นบวกคือสามารถดูดซับสีเหลืองได้ จากกราฟชี้ให้เห็นว่าการย้อมสีกระดาษเยื่อชานอ้อยในสูตรที่มีการใช้ตัวดูดซับสีสามารถดูดซับสีเหลืองในสีแดง (ponceua 4R) ได้มากกว่าสูตรที่ไม่มีการใช้ตัวดูดซับอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4. 6 ผลของปริมาณสารละลายโคโคโตซานและสีต่อค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

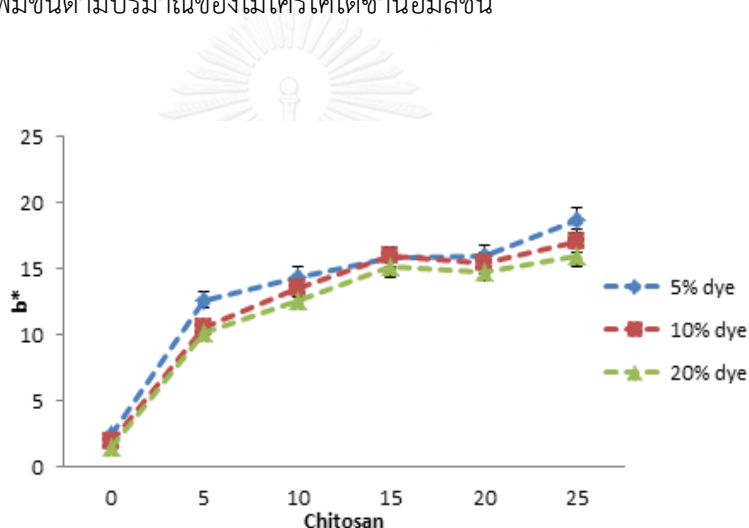
เมื่อศึกษาผลกระทบของการดูดซับสีเยี่ยมที่มีต่อค่า b^* ในปริมาณสีเยี่ยมคงที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถดูดซับสีเหลือง (ค่า b^* เป็นบวก) ได้สูงสุดที่ปริมาณสารละลายโคโคโตซานร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นเมื่อปริมาณสารละลายโคโคโตซานมากขึ้นถึงร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก แนวโน้มของความสามารถในการการดูดซับสีเหลืองลดลง (ค่า b^* ลดลง) เนื่องจากปริมาณสารละลายโคโคโตซานที่มากเกินไปทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันซึ่งทำให้การกระจายตัวของสารละลายโคโคโตซานบนเส้นใยชานอ้อยลดลงจึงมีผลให้การดูดซับสีลดลงด้วย [46]

จากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณสีเยี่ยมที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณโคโคโตซานคงที่ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก พบว่าให้ค่า b^* สูงสุดที่ปริมาณสีเยี่ยมร้อยละ 5

โดยน้ำหนักเท่านั้น เนื่องจากสีที่ใช้ในการทดสอบการดูดซับเป็นสีแดง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณสีย้อมจึงไม่ส่งผลต่อการดูดซับสีเหลืองให้เพิ่มขึ้นได้

4.2.3.2 ผลของการใช้ไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

จากการศึกษาผลกระทบของปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันและปริมาณสีย้อม (ponceau 4R) ต่อค่า b^* ผลแสดงดังภาพที่ 4.7 พบว่าค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b^*) มีค่าเป็นบวก เช่นเดียวกับการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวดูดซับสี ในสูตรย้อมสีที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก เมื่อมีการแปรเปลี่ยนปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันที่ใช้จากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก ให้ค่า b^* เพิ่มขึ้นตามปริมาณของไมโครไคโตซานอิมัลชัน



ภาพที่ 4.7 ผลของปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) ของกระดาษซาอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceau 4R)

พิจารณาที่ปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันคงที่ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณสีย้อมที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า b^* มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยในทุกปริมาณของไมโครไคโตซานอิมัลชันที่ใช้ในสูตรการเตรียมกระดาษ

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ผลเพื่อศึกษาผลของปริมาณไคโตซานและสีย้อม ponceau 4R พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายไคโตซานกับไมโครไคโตซานอิมัลชัน การใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีให้ค่าการดูดซับสีเหลืองสูงสุดที่ปริมาณสารละลายไคโตซานร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก กับปริมาณสีย้อมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

กรณีของการใช้ไมโครไคโตซานอิมัลชันพบว่าความสามารถในการดูดซับสีเหลืองเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไมโครไคโตซานอิมัลชัน

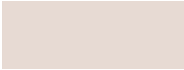
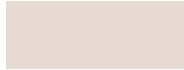
















4.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้น (ค่า K/S) จากการย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

จากการทดสอบเพื่อศึกษาผลของปริมาณตัวช่วยดูดซับสีและสีแดง (ponceau 4R) ที่มีผลต่อค่าความเข้มข้น (K/S) ที่กระดาษสามารถดูดซับสีแดง (ponceu 4R) ได้ ภาพแสดงความเข้มข้นของการใช้สารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยในการดูดซับสี ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 พบว่าสูตรการย้อมสีกระดาษเยื่อชานอ้อยที่ใช้ตัวดูดซับสีทั้งสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานให้ค่าความเข้มข้นมากกว่าสูตรที่ไม่มีไคโตซาน เนื่องจากโครงสร้างของ ไคโตซานมีหมู่แอมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ทำให้สามารถเกิดแรงดึงดูดกันระหว่างประจุลบของสีย้อมกับประจุบวกของไคโตซานและการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ ($-OH$) ของไคโตซานกับชานอ้อยทำให้เกิดการดูดซับสีย้อมบนเยื่อชานอ้อยได้มากขึ้น [46,47] นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาวะการย้อมที่เป็นกรด (H^+) ส่งผลให้หมู่แอมิโนของไคโตซานถูกโปรตอนเตจจาก ($-NH_2$) เป็น ($-NH_3^+$) ซึ่งเป็นการเพิ่มแรงไฟฟ้าสถิตระหว่างโมเลกุลของไคโตซานกับโมเลกุลของสีทำให้เกิดการดูดซับได้มากขึ้น [48]

ตารางที่ 4. 1 ความเข้มข้นของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่เตรียมได้โดยมีสารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีแดง (ponceua 4R)

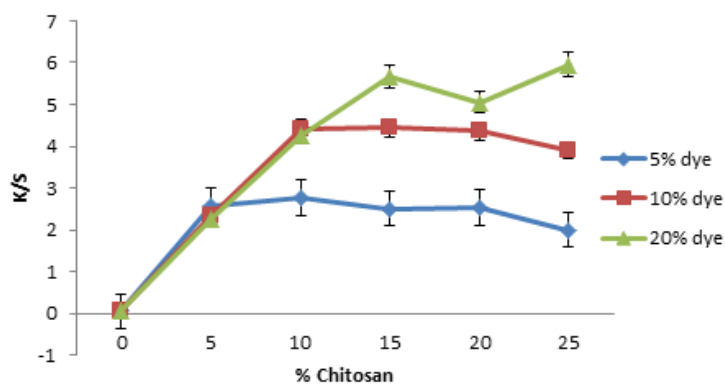
Chitosan (%wt)	Dye (%wt)		
	5	10	20
0			
5			
10			
15			
20			
25			

ตารางที่ 4. 2 ความเข้มสีของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่เตรียมได้โดยมีไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีแดง (ponceua 4R)

Chitosan (%wt)	Dye (%wt)		
	5	10	20
0			
5			
10			
15			
20			
25			

4.2.4.1 ผลของการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

ศึกษาผลกระทบของการดูดซับสีย้อมที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก โดยแปรเปลี่ยนปริมาณสารละลายไคโตซานจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ผลแสดงดังภาพที่ 4.8 ที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความเข้มสีสูงสุดที่ปริมาณสารละลายไคโตซานร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากนั้นค่าความเข้มสี K/S เริ่มลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณ



ภาพที่ 4. 8 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อค่าความเข้มสี (K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

ไคโตซานเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณสารละลายไคโตซานที่มากเกินไปส่งผลต่อการกระจายตัวของเส้นใยกระดาษชานอ้อยลดลงทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันรวมตัวกัน [46] ซึ่งทำให้การดูดซับสียบนเส้นใยลดลงได้

เมื่อเพิ่มปริมาณสีย้อมถึงร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ปริมาณสารละลายไคโตซานร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณไคโตซานร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ค่าความเข้มข้น K/S มีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อปริมาณสารละลายไคโตซานเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากส่วนหนึ่งเป็นผลปริมาณสารละลายไคโตซานที่มากขึ้นส่งผลต่อการกระจายตัวของเส้นใยกระดาษชานอ้อยทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันรวมตัวกัน [46] ซึ่งส่งผลให้การดูดซับสียบนเส้นใยลดลงได้หรือเนื่องจากบางสัดส่วนของปริมาณสารละลายไคโตซานกับสีย้อมและลำดับของการเติมพอลิเมอร์ที่มีประจุตรงกันข้ามกันลงในสูตรการย้อมสียเยื่อชานอ้อยก่อให้เกิดสารโมเลกุลใหญ่ที่เรียกว่า polyelectrolyte multilayer (PEM) ที่มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันตามอัตราส่วนของปริมาณสารละลายไคโตซานกับสีย้อม มีผลให้ค่าความหนาแน่น และสมบัติการกระเจิงแสงของกระดาษลดลงได้ [45] ซึ่งมีผลให้ค่าความเข้มข้นลดลงได้

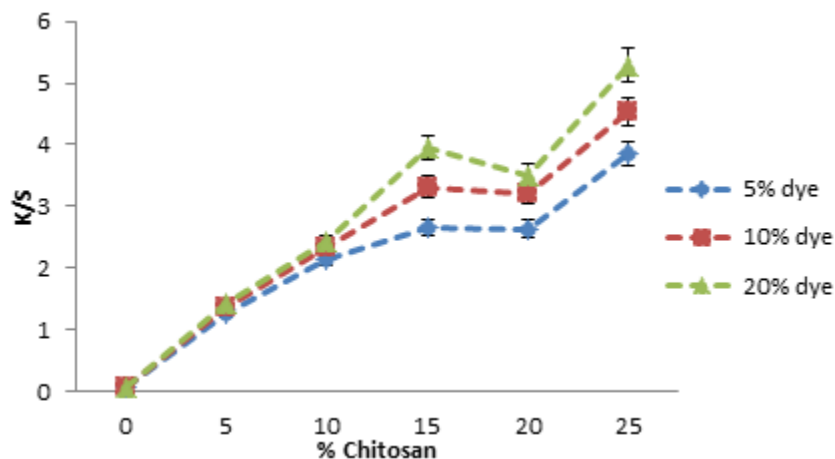
พิจารณาปริมาณสีย้อมเพิ่มขึ้นร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสีย้อม ในทุกๆปริมาณของไคโตซานที่ใช้ในสูตรการย้อมสีกระดาษ โดยที่ให้ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

ดังนั้นผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีแดง (ponceua 4R) ที่มีผลต่อค่าความเข้มข้น (K/S) พบว่าปริมาณสีย้อมที่เพิ่มขึ้นให้ค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสีย้อม และสูตรที่ให้ค่าความเข้มข้น (K/S) สูงสุด คือ ที่ปริมาณสารละลายไคโตซานร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

4.2.4.2 ผลของการใช้ไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

จากการศึกษาผลของการใช้ไมโครไคโตซานเพื่อช่วยดูดซับสีแดง (ponceua 4R) ต่อค่าความเข้มข้น (K/S) ที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก ค่าความเข้มข้น (K/S) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไมโครไคโตซานอิมัลชัน ในทุกปริมาณของสีย้อมที่ใช้ในการเตรียมสูตรย้อมสีกระดาษแต่จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ค่าความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงในทุกปริมาณสีย้อมเช่นกัน เนื่องจากบางสัดส่วนของปริมาณสารละลายไคโตซานกับสีย้อมและลำดับของการเติมพอลิเมอร์ที่มีประจุตรงกันข้ามกันลงในสูตรการย้อมสียเยื่อชานอ้อยก่อให้เกิดสารโมเลกุลใหญ่ที่เรียกว่า polyelectrolyte multilayer (PEM) ที่มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันตามอัตราส่วนของปริมาณ

สารละลายไคโตซานกับสีย้อม มีผลให้ค่าความหนาแน่น และสมบัติการกระเจิงแสงของกระดาษลดลง [45] ดังนั้นจึงมีผลทำให้ค่าความเข้มสีลดลงได้ ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับในกรณีใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวดูดซับสี ผลดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 4.9



ภาพที่ 4. 9 ผลของปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความเข้มสี (K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

เมื่อศึกษาผลของปริมาณสีย้อมต่อการดูดซับสีแดง (ponceua 4R) ที่ปริมาณไคโตซานคงที่ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ค่าความเข้มสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสีย้อม

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ค่า K/S เพื่อศึกษาผลของปริมาณไคโตซานและปริมาณสีแดง (ponceua 4R) ที่มีผลต่อค่าความเข้มสี พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายไคโตซานกับไมโครไคโตซานอิมัลชัน การใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมให้ค่าความเข้มสีสูงสุดที่ปริมาณไคโตซานร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

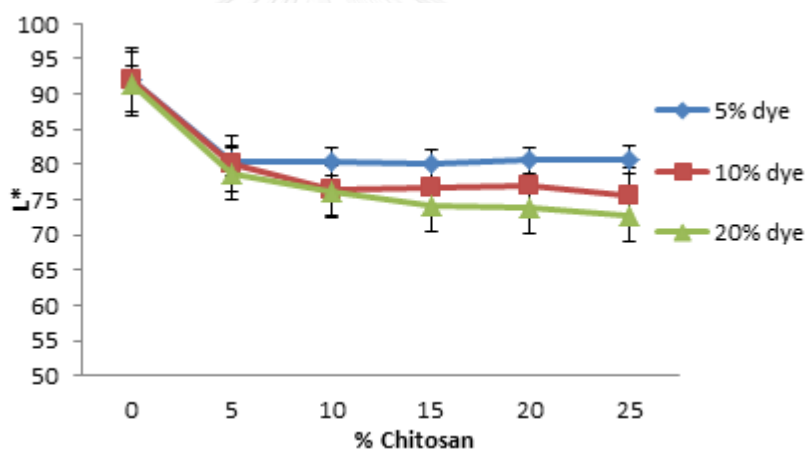
กรณีของการใช้ไมโครไคโตซานอิมัลชันพบว่าอัตราส่วนที่สามารถให้ค่าความเข้มสีสูงสุดที่ปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

4.3 ผลการวิเคราะห์การย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) ของกระดาษเยื่อชานอ้อย โดยการวัดค่า CIE L*a*b* และ ค่าK/S ด้วยตัวดูดซับสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชัน

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (ค่า L*) จากการย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) ของกระดาษเยื่อชานอ้อย

4.3.1.1 ผลของการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

จากการทดสอบเพื่อศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับสีและสีเหลือง tartrazine ต่อค่าความสว่างของสี (L*) การใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม แสดงดังภาพที่ 4.10 พบว่าการย้อมสีกระดาษชานอ้อยโดยสูตรที่มีตัวดูดซับให้ค่าความสว่าง (L*) ลดลง แสดงให้เห็นได้ว่าการกระดาษสามารถดูดซับสีย้อมได้มากขึ้น ซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยในการดูดซับสีแดง (ponceua 4R)



ภาพที่ 4. 10 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อค่าความสว่าง (ค่า L*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

การศึกษาผลกระทบของการดูดซับสีย้อมเมื่อใช้ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยแปรเปลี่ยนปริมาณสารละลายไคโตซานในสูตรการขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าความสว่าง L* มีค่าไม่แตกต่างกันถึงแม้ปริมาณของไคโตซานเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณสีย้อมที่ใช้ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก หมูฟังก์ชันมีจำกัดไม่เพียงพอต่อการเกิดอันตรกิริยากับหมูฟังก์ชันของสารละลายไคโตซานที่มีปริมาณมากขึ้นได้

เมื่อเพิ่มปริมาณสีย้อมเป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความสว่างต่ำสุดที่ปริมาณสารละลายไคโตซานร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก แต่ที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ค่าความสว่าง L* ลดลงตามปริมาณของสารละลายไคโตซาน

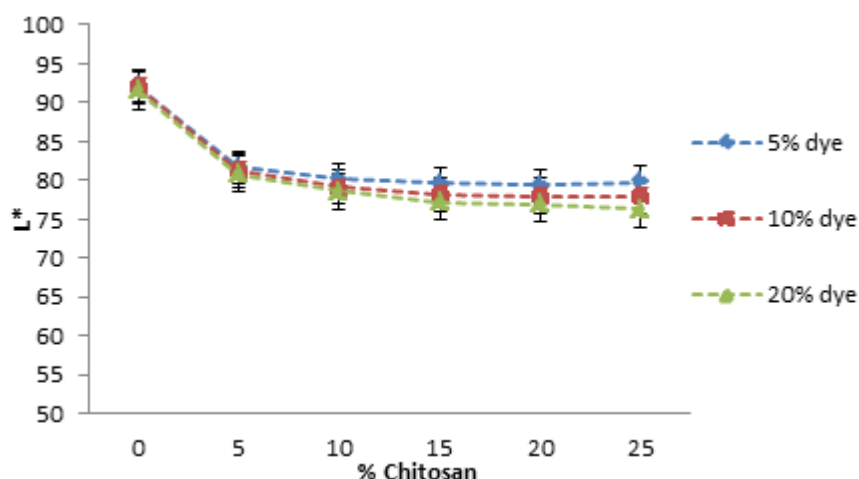
ผลของปริมาณสี้อมที่มีผลกระทบต่อค่าความสว่าง (L^*) ที่ปริมาณสารละลายไคโตซานคงที่ ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าความสว่างลดลงตามปริมาณของสี้อมที่เพิ่มขึ้น จากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก

ดังนั้นผลจากการศึกษาปริมาณสารละลายไคโตซานและสีเหลือง (tartrazine) ที่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) พบว่าปริมาณสี้อมที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง L^* ลดลง และอัตราส่วนของปริมาณสี้อมที่ให้ค่าความสว่างต่ำสุดคือ ที่ปริมาณไคโตซานร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และปริมาณสี้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

4.3.1.2 ผลของการใช้ไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสี้อม

จากการศึกษาผลการทดสอบของปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันและสี้อม (tartrazine) ที่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) พิจารณาที่ปริมาณสี้อมคงที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ปริมาณไมโครไคโตซานร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ให้ค่า L^* มีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับไมโครไคโตซานถึงร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า L^* มีค่าไม่แตกต่างกันในทุกปริมาณสี้อมที่ใช้ในการเตรียมสูตรย้อมสีกระดาษ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณไมโครไคโตซานจากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก ไม่ส่งผลให้ค่ากระดาษขานอ้อยสามารถติดสี้อมได้เพิ่มขึ้นมากนัก

ผลกระทบของการดูดซับสี้อมสีเหลือง (tartrazine) ที่ปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันคงที่ ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก โดยแปรเปลี่ยนปริมาณสี้อมจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า L^* ลดลงเพียงเล็กน้อย ผลแสดงดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ผลของปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความสว่าง (ค่า L^*) ของกระดาษขานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

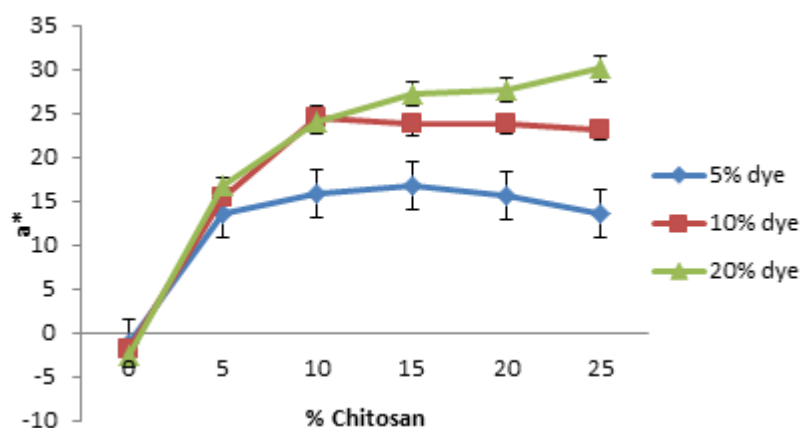
ดังนั้นจากวิเคราะห์ผลค่าความสว่าง (ค่า L^*) เพื่อศึกษาผลของปริมาณไคโตซานและปริมาณสีเหลือง (tartrazine) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่สารละลายไคโตซานและไม่โครโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมในกระบวนการย้อมสีกระดาษเยื่อชานอ้อยพบว่าอัตราส่วนที่ให้ค่าความสว่าง (ค่า L^*) ต่ำสุด คือที่ปริมาณสารละลายไคโตซานและไม่โครโคโตซานอิมัลชันร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

4.3.2. ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (ค่า a^*) จากการย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) ของกระดาษเยื่อชานอ้อย

4.3.1.1 ผลของการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

กระดาษชานอ้อยที่ถูกย้อมสีด้วยสีเหลือง (tartrazine) โดยมีสารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีพบว่าให้ค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) มีค่าเป็นบวก แสดงดังภาพที่ 4.12 แสดงถึงความสามารถในการดูดซับสีแดงได้ในสีเหลือง (tartrazine) ได้

ศึกษาผลกระทบของการดูดซับสีย้อมที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า a^* มีค่าสูงสุดที่ปริมาณสารละลายไคโตซานร้อยละ 15 และ 10 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากนั้น ค่า a^* คงที่ เมื่อปริมาณของสารละลายไคโตซานเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันของสีย้อม ($-SO_3^-$) ที่ปริมาณร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก มีจำกัดต่อการเกิดอันตรกิริยากับหมู่ฟังก์ชัน ($-NH_3^+$) ของสารละลายไคโตซานที่มีปริมาณระดับหนึ่งดังนั้นแม้เพิ่มปริมาณสารละลายไคโตซานการดูดซับยังคงเท่าเดิม แต่ที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า a^* เพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารละลายไคโตซาน ผลดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 4.12



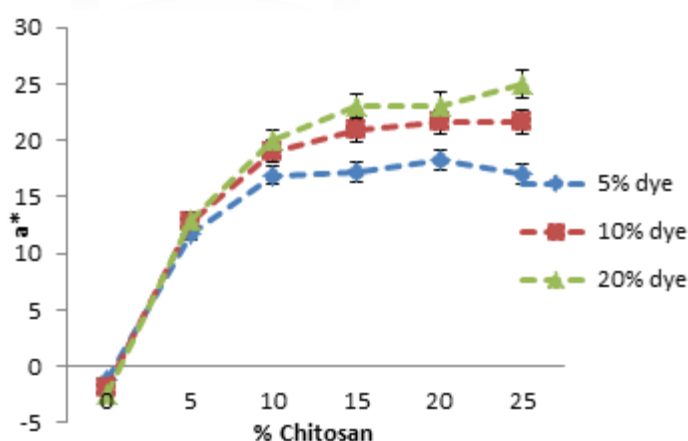
ภาพที่ 4. 12 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

เมื่อปริมาณสีย้อมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้น (กระดาษสามารถดูดซับสีแดงได้มากขึ้น) ตามปริมาณของสีย้อม ในทุกๆ ปริมาณของตัวดูดซับสารละลายโคโตซาน โดยที่ ค่า a^* มีค่ามากที่สุดที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

4.3.1.1 ผลของการใช้ไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

จากการวิเคราะห์ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีเหลือง (tartrazine) ต่อค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) แสดงผลดังรูปที่ 4.13 จากกราฟสังเกตเห็นได้ว่าที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 5 โดยน้ำหนักให้ค่า (a^*) สูงสุดที่ปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และมีแนวโน้มคงที่เมื่อปริมาณไมโครโคโตซานเพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากปริมาณหมู่ฟังก์ชันของสีย้อมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่จำกัดต่อเกิดอันตรกริยากับหมู่ฟังก์ชันของไมโครโคโตซานอิมัลชันที่ระดับหนึ่งเท่านั้น ที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณที่แปรเปลี่ยนไปของไมโครโคโตซานอิมัลชันในสูตรการย้อมสีกระดาษจากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นการเพิ่มปริมาณหมู่ฟังก์ชัน ($-NH_3^+$) ของไมโครโคโตซานอิมัลชันให้สามารถเกิดอันตรกริยากับหมู่ฟังก์ชันของสีย้อม ($-SO_3^-$) ได้มากขึ้น [37, 48]

ปริมาณสีย้อมที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความสามารถในการดูดซับสีแดง (a^* เพิ่มขึ้น) เพิ่มขึ้นตามปริมาณของสีย้อม ในทุกความเข้มข้นของไมโครโคโตซานอิมัลชันที่ใช้เตรียมสูตรย้อมสีกระดาษเชื้อซานอ้อย โดยที่ค่า a^* มีค่าสูงสุดที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4.13 ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง (a^*) ของกระดาษซานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

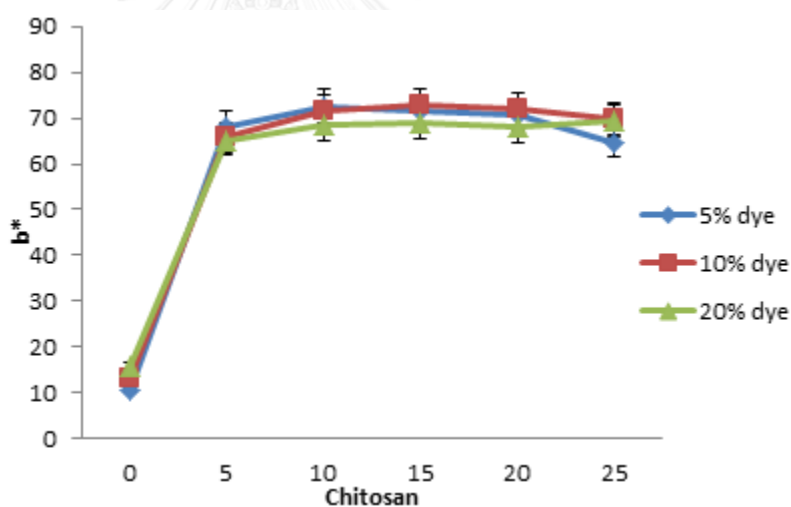
ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ a^* เพื่อศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับและปริมาณสีเหลือง (tartrazine) ที่มีผลต่อค่าความเป็นสีเขียว-สีแดง พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารละลายโค

โตะซานกับไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม อัตราส่วนที่ทำให้การดูดซับสีแดงมากที่สุด (a^* สูงสุด) คือที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณโคโตซานร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ของการใช้ตัวช่วยดูดซับสีทั้ง 2 ชนิด

4.3.3. ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) จากการย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) ของกระดาษเยื่อชานอ้อย

4.3.1.1 ผลของการใช้สารละลายโคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

จากการทดสอบเพื่อศึกษาผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและสีเหลือง (tartrazine) ที่มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) ผลการทดลองพบว่าค่า b^* มีค่าเป็นบวกคือค่าความเป็นสีเหลือง และยังพบว่าเมื่อใช้สารละลายโคโตซานที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ในทุกปริมาณสีย้อม ให้ค่า b^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญแตกต่างจากสูตรที่ไม่มีการใช้สารละลายโคโตซานอย่างเห็นได้ชัด ผลแสดงภาพรูป 4.14 แต่เมื่อปริมาณของตัวดูดซับสารละลายโคโตซานเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย



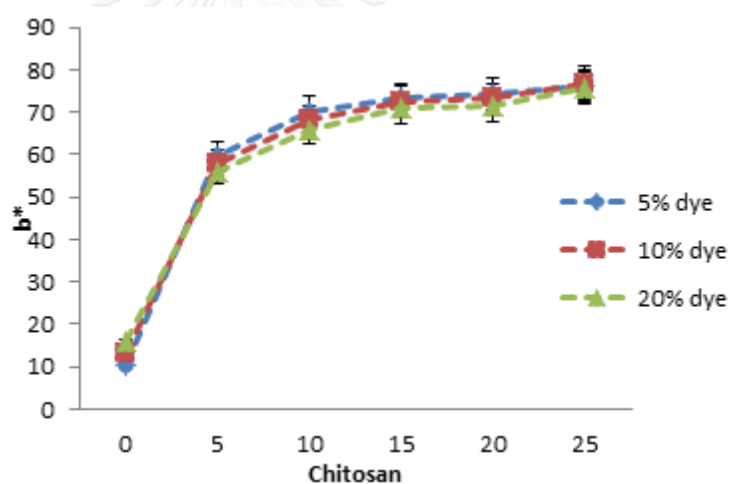
ภาพที่ 4.14 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและสีต่อค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

ปริมาณสีย้อมที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ในทุกๆ ปริมาณของตัวดูดซับร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความสามารถในการดูดซับสีเหลืองในสีเหลือง (tartrazine) มีค่าไม่แตกต่างกัน (ค่า a^* ไม่แตกต่างกัน) เนื่องจากสีที่ใช้ในการทดสอบการจับเป็นสีเหลือง (tartrazine) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณสีย้อมจึงไม่มีผลต่อการดูดซับสีเหลืองให้เพิ่มขึ้นได้

4.3.1.2 ผลของการใช้ไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

จากการวิเคราะห์ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและปริมาณสีเหลือง (tartrazine) ต่อค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) ที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันจากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า b^* มีค่าเป็นบวก เช่นเดียวกับการใช้สารละลายโคโตซานเป็นตัวดูดซับสีเหลือง (tartrazine) และมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไมโครโคโตซานอิมัลชัน

ผลกระทบของปริมาณสีย้อมที่เพิ่มขึ้นต่อการดูดซับสีเหลือง (tartrazine) ที่ปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันคงที่ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า b^* ไม่แตกต่างกันแม้ว่าปริมาณสีย้อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากสีย้อมที่ใช้ในการศึกษาเป็นสีเหลืองจึงไม่มีผลให้เพิ่มความสามารถในการดูดซับสีเหลืองได้มากขึ้น ซึ่งเป็นผลทิศทางเดียวกันกับการใช้สารละลายโคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม




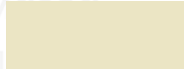
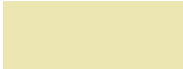















ภาพที่ 4. 15 ผลของปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันและสีย้อมต่อค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ผลค่า b^* เพื่อศึกษาผลของปริมาณโคโตซานและปริมาณสีที่มีผลต่อการดูดซับสีเหลือง-น้ำเงิน (ค่า b^*) ในสีเหลือง (tartrazine) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชัน พบว่าการเพิ่มปริมาณของไมโครโคโตซานอิมัลชันช่วยให้สามารถดูดซับสีเหลืองได้มากขึ้น (b^* เพิ่มขึ้น) ตามปริมาณของไมโครโคโตซานอิมัลชัน แต่การใช้สารละลายโคโตซานเป็นตัวดูดซับสีเมื่อเพิ่มปริมาณให้ค่า b^* เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่และสูตรที่ให้ค่าความสามารถในการดูดซับสีเหลืองสูงสุดที่ b^* ที่อัตราส่วนปริมาณสีย้อมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และปริมาณสารละลายโคโตซานร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

4.3.4. ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มสี (ค่า K/S) ของกระดาษเยื่อชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

จากการทดสอบเพื่อศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับและสีย้อมที่มีผลต่อภาพแสดงความเข้มสี (ค่า K/S) ของกระดาษชานอ้อยที่ถูกย้อมด้วยสีเหลือง (tartrazine) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชัน ดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 พบว่าสูตรการย้อมสีกระดาษเยื่อชานอ้อยที่ใช้สารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันให้ค่าความเข้มสี (K/S) สูงกว่าสูตรที่ไม่ใช้ไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม เนื่องจากโครงสร้างของไคโตซานมีหมู่แอมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ทำให้สามารถเกิดแรงดึงดูดกันระหว่างประจุลบของสีย้อมกับประจุบวกของไคโตซานและการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ ($-OH$) ของไคโตซานกับชานอ้อย ทำให้เกิดการดูดซับสีย้อมบนเยื่อชานอ้อยได้มากขึ้น [46, 47] นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาวะการย้อมที่เป็นกรด (H^+) ส่งผลให้หมู่แอมิโนของไคโตซานถูกโปรตอนเตดจาก ($-NH_2$) เป็น ($-NH_3^+$) ซึ่งเป็นการเพิ่มแรงไฟฟ้าสถิตระหว่างโมเลกุลของไคโตซานกับโมเลกุลของสีทำให้เกิดการดูดซับได้มากขึ้น [48] ผลการทดลองมีทิศทางเดียวกับการย้อมสีแดง (ponceua 4R)

ตารางที่ 4.3 ภาพความเข้มสี (K/S) ของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่เตรียมได้โดยมีสารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีเหลือง (tartrazine)

Chitosan (%wt)	Dye (%wt)		
	5	10	20
0			
5			
10			
15			
20			
25			

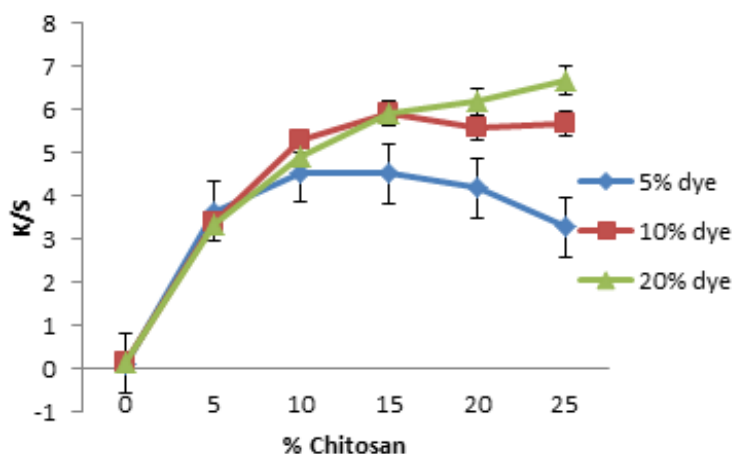
ตารางที่ 4. 4 ภาพความเข้มสี (K/S) ของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่เตรียมได้ จากการใช้ไมโครไคโตซาน อิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีเหลือง (tartrazine)

	Chitosan (%wt)		
	5	10	20
0			
5			
10			
15			
20			
25			

4.3.4.1 ผลของการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ค่าความเข้มสี K/S สูงสุดที่ปริมาณสารละลายไคโตซานร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากนั้นค่าความเข้มสี K/S มีแนวโน้มลดลงถึงแม้ว่าปริมาณไคโตซานจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณไคโตซานที่มีปริมาณมากเกินไปทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันความสามารถในการกระจายตัวบนเส้นใยกระดาษชานอ้อยลดลง มีผลให้การดูดซับสีบนเส้นใยลดลงได้ แต่ที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มสี K/S ยังเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารละลายไคโตซาน ผลแสดงดังภาพที่ 4.16

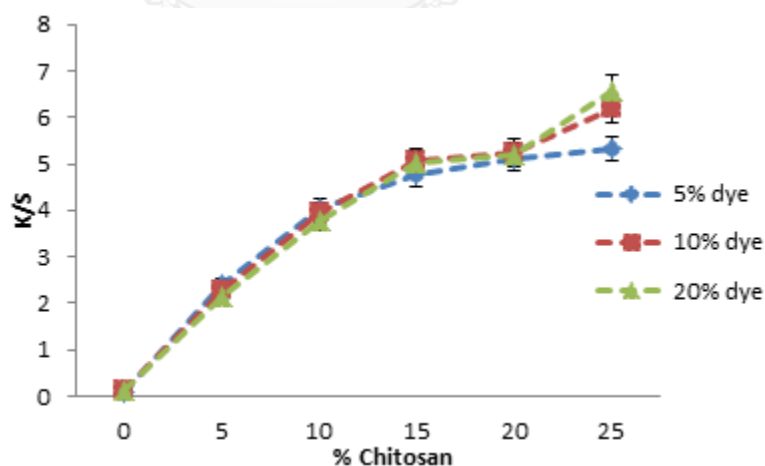
เมื่อพิจารณาปริมาณสีย้อมที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ค่าความเข้มสี (K/S) เพิ่มขึ้นตามปริมาณสีย้อม และให้ค่าความเข้มสีสูงสุดที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4. 16 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อค่าความเข้มข้น (K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

4.3.1.2 ผลของการใช้ไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม

จากการวิเคราะห์ผลของปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันและปริมาณสีเหลือง (tartrazine) ต่อค่าความเข้มข้น (K/S) แสดงดังภาพ 4.17 พบว่าที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันจากร้อยละ 5-25 โดยน้ำหนัก ให้ค่า K/S เพิ่มขึ้นตามปริมาณของไมโครไคโตซานอิมัลชัน



ภาพที่ 4. 17 ผลของปริมาณไมโครไคโตซานอิมัลชันและสีต่อค่าความเข้มข้น (K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

ผลของปริมาณสีย้อมสีเหลือง (tartrazine) ที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก มีผลให้ค่าความเข้มข้น (K/S) ของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่ถูกย้อมสีมีค่าไม่แตกต่างกันที่ปริมาณไมโครไคโตซาน

อิมัลชันคงที่ร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก แต่พบว่าเมื่อปริมาณไมโครโคโตซานอิมัลชันเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ค่า K/S เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตามปริมาณของสีย้อม

ดังนั้นผลของปริมาณโคโตซานและสีเหลือง (tartrazine) ที่มีผลต่อค่าความเข้มสี K/S กระดาษชานอ้อยที่เตรียมได้ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายโคโตซานกับไมโครโคโตซานอิมัลชัน การใช้สารละลายโคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมให้ค่าความเข้มสีสูงสุดที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และร้อยละ 25 โดยน้ำหนักของสารละลายโคโตซาน กรณีของการใช้การไมโครโคโตซานอิมัลชันพบว่าค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไมโครโคโตซานอิมัลชัน

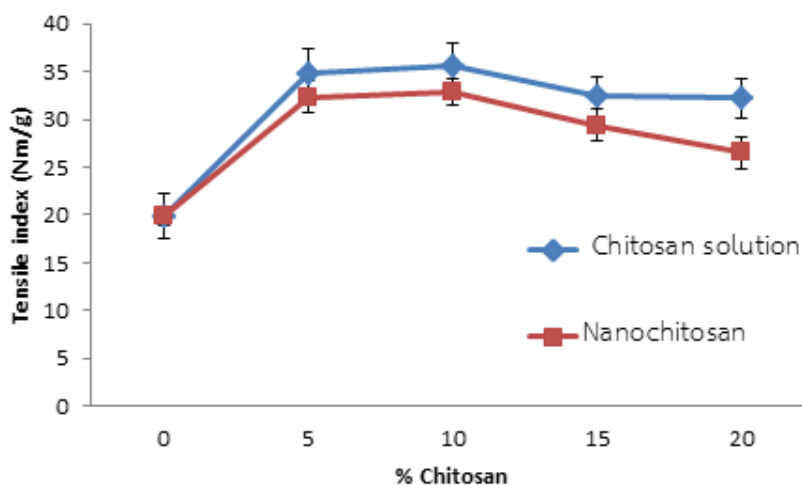
4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) และสีแดง (ponceua 4R) เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้สารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมสามารถทำได้โดยแปรเปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับสีย้อมจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เนื่องจากที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่ให้ค่าความเข้มสี (K/S) สูงสุด

4.4.1 สมบัติเชิงกลของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

4.4.1.1 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงเป็นการทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาษ เพื่อแสดงถึงความแข็งแรงและความทนทานของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) ที่ขึ้นรูปได้ โดยการวัดค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index) ผลแสดงในรูปที่ 4.18



ภาพที่ 4. 18 ผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเพื่อศึกษาผลของปริมาณสารละลายโคโตนและไมโครโคโตนอิมัลชันที่ถูกใช้เป็นตัวช่วยในการดูดซับสีย้อมในสูตรการย้อมสีกระดาษ ต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณสารละลายโคโตนและไมโครโคโตนอิมัลชันในสูตรขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงให้ผลการทดลองในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ในการใช้โคโตนทั้ง 2 ชนิด เป็นตัวดูดซับสีย้อมมีผลให้ ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น ให้ค่าค่าสูงสุดที่ปริมาณโคโตนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโคโตนถึงร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเกิดพันธะระหว่างโคโตนกับเส้นใยเซลลูโลสทำให้เกิดพันธะที่แข็งแรงระหว่างเส้นใย [46] และลำดับการเติมพอลิเมอร์ที่มีประจุตรงกันข้ามลงในสูตรการย้อมสีกระดาษชานอ้อย ก่อให้เกิดสารโมเลกุลใหญ่ที่เรียกว่า polyelectrolyte multilayers (PEM) เป็นการเพิ่มพื้นที่ของจุดสัมผัสระหว่างเส้นใยกับเส้นใยซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของกระดาษ นอกจากนี้ยังพบว่า PEM มีผลให้ความหนาแน่นและสมบัติการกระเจิงแสงของกระดาษลดลง [45] ทำให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโคโตนมากเกินไป

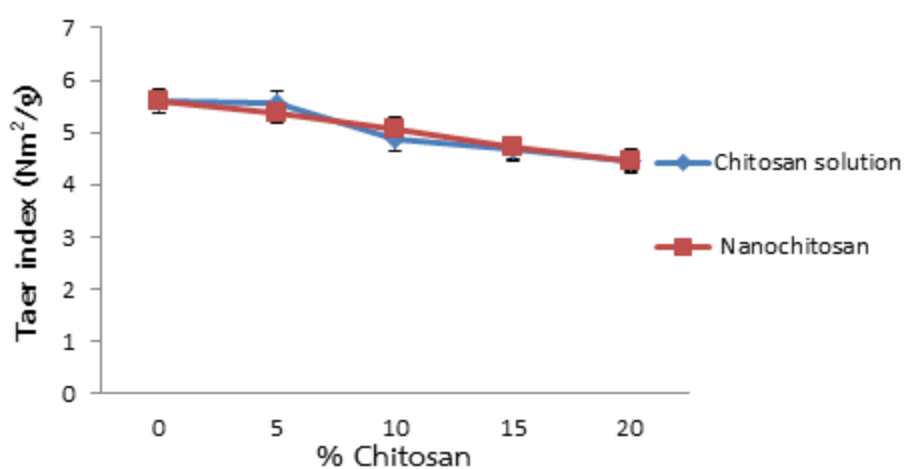
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารละลายโคโตนกับไมโครโคโตนอิมัลชันเป็นตัวดูดซับสีย้อมในกระบวนการย้อมสีเยื่อชานอ้อย พบว่าการใช้สารละลายโคโตนให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงมากกว่า เนื่องจากสายโซ่ของสารละลายโคโตนมีความเข้ากันได้กับเส้นใยเซลลูโลสของเส้นใยชานอ้อยมากกว่าไมโครโคโตนอิมัลชัน ส่งผลให้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับเส้นใยเซลลูโลสของกระดาษชานอ้อยได้ดีกว่า เส้นใยของกระดาษจึงมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นดังนั้นค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงจึงสูงกว่าการใช้ไมโครโคโตนอิมัลชัน

4.4.1.2 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength)

การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงฉีกเป็นการทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีที่ขึ้นรูปได้ เพื่อแสดงถึงความแข็งแรงและความทนทานของกระดาษ โดยการวัดค่าดัชนีต้านทานแรงฉีก (tear index) ซึ่งในการทดลองนี้ทำการศึกษาผลของปริมาณสารละลายและไมโครโคโตนอิมัลชันที่ถูกนำมาใช้เป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อม ผลแสดงให้เห็นว่าเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณโคโตนในสูตรขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ผลแสดงในรูปที่ 4.19 การใช้สารละลายโคโตนและไมโครโคโตนอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดลดลงและให้ค่าไม่ต่างกัน โดยปกติแล้วค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขึ้นกับ[31]

- ความยาวของเส้นใย (ยิ่งเส้นใยยาวความแข็งแรงต่อแรงฉีกยิ่งสูง)

- ความแข็งแรงของเส้นใย (เส้นใยที่มีความแข็งแรงมาก ความแข็งแรงต่อแรงฉีกยิ่งสูง)
- ปริมาณพันธะระหว่างเส้นใย (ในกรณีที่พันธะไม่มาก ความแข็งแรงต่อแรงฉีกจะขึ้นกับปริมาณพันธะ ในกรณีที่พันธะมีมากพอ ความแข็งแรงต่อแรงฉีกจะแปรตามความแข็งแรงของเส้นใยมากกว่า)

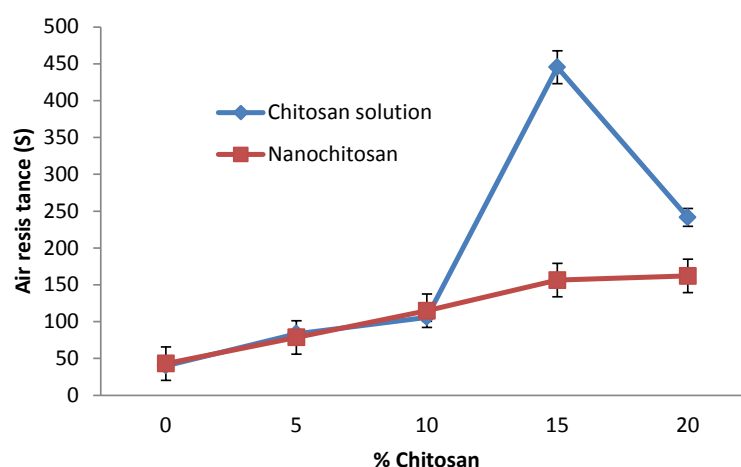


ภาพที่ 4. 19 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

แต่เนื่องจากไคโตซานที่ถูกใส่ลงในสูตรการย้อมสีมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 100,000 กิโลดาลตัน ดังนั้นความยาวของสายโซ่ไคโตซานที่มีในสูตรการย้อมสีอาจมีความยาวไม่เท่ากัน จึงมีผลให้หลังเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับเส้นใยชานอ้อยแล้วให้ค่าความแข็งแรงของเส้นใยลดลง จึงมีผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกลดลงตามปริมาณของไคโตซาน

4.4.1.3 สมบัติการต้านทานอากาศ (air resistance)

การทดสอบความพรุนของกระดาษปกติแล้วไม่ถูกวัดโดยตรง แต่เป็นการวัดความสามารถของกระดาษในการให้อากาศไหลผ่านได้ (air permeability) หรือเรียกว่าสมบัติการต้านอากาศ



ภาพที่ 4. 20 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติความต้านทานอากาศของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

จากการทดสอบสมบัติการต้านทานอากาศของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อการต้านทานอากาศ โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณไคโตซานในสูตรขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.20 การใช้สารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมในสูตรการย้อมสีกระดาษ ให้สมบัติความต้านทานการไหลผ่านอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันสามารถช่วยเพิ่มการปกปิดพื้นผิวและลดขนาดรูพรุนของเส้นใยกระดาษได้มากขึ้น ซึ่งจากกราฟสังเกตเห็นได้ว่าสูตรการย้อมสีที่ให้สมบัติการต้านทานอากาศสูงสุดคือ ที่ปริมาณสารละลายไคโตซานร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก กับปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

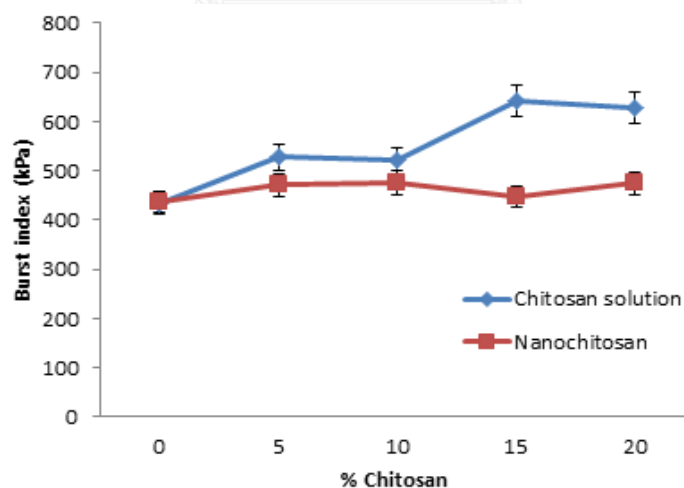
ผลจากกราฟแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีเหลือง (tartrazine) ให้ค่าความต้านทานการไหลผ่านอากาศสูงกว่าการใช้ไมโครไคโตซานอิมัลชันมากที่ระดับปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เนื่องจากปริมาณสารละลายไคโตซานที่เพิ่มขึ้นทำหน้าที่เป็นสารเคลือบผิวเส้นใย จึงสามารถปกปิดพื้นผิวและลดขนาดรูพรุนของเส้นใยได้มากกว่าการใช้ไมโครไคโตซานอิมัลชันซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคที่มีขนาดต่างๆกัน แทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเส้นใยเกิดเป็นช่องว่างทำให้อากาศสามารถไหลผ่านได้มากกว่า [49] แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายไคโตซานถึงร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวดูดซับสีย้อมค่าความต้านทานอากาศลดลง เนื่องจากปริมาณสารละลายไคโตซานร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อาจเป็นปริมาณที่มากเกินไป

พอส่งผลให้การกระจายตัวบนเสี้ยวใต้อยลง [44] และค่าความหนาแน่นของกระดาษอาจลดลงได้ที่สูตรนี้ตามรายงานของ Kataja-aho และคณะ [45]

4.4.1.4 สมบัติการต้านทานต่อแรงดันทะลุ (bursting strength)

ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเป็นการวัดแรงดันสูงสุดที่กระทำต่อผิวหน้ากระดาษในแนวตั้งฉากที่กระดาษสามารถทนแรงดันได้ก่อนที่จะแตกออก ซึ่งบ่งบอกถึงความทนทานต่อแรงดันทะลุ โดยส่วนใหญ่ใช้เป็นตัวบอกความแข็งแรงกับความทนทานของกระดาษโดยรวมซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่อง Burst tester

จากการทดสอบสมบัติการต้านทานต่อแรงดันทะลุของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณไคโตซานในสูตรขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนักที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติการต้านทานต่อแรงดันทะลุ ผลแสดงดังภาพที่ 4.21 พบว่าเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานต่อแรงดันทะลุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรการย้อมสีเยื่อกระดาษที่ไม่ใช่ไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสี เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเพิ่มขึ้น คือปริมาณพันธะดั่งนั้นปริมาณไคโตซานที่เพิ่มขึ้นสามารถเกิดพันธะไอออนิกระหว่าง ($-NH_3^+$) กับ ($-COO^-$) และการเกิดพันธะไฮโดรเจนของไคโตซานกับเซลลูโลสได้มากขึ้น [46]

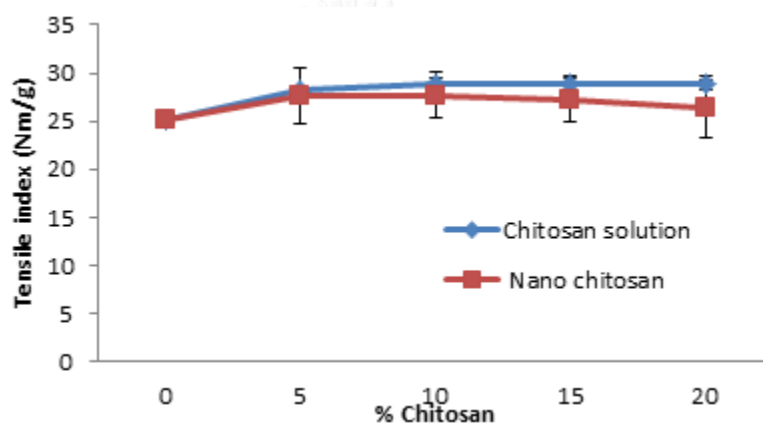


ภาพที่ 4. 21 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติความต้านทานแรงดันทะลุกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

4.4.2 สมบัติเชิงกลของกระดาษชานอ้อยย้อมสีแดง (ponceua 4R)

4.4.2.1 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

การทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่ถูกย้อมด้วยสีแดง (ponceua 4R) เพื่อบ่งบอกถึงความแข็งแรงและความทนทานต่อการใช้งานของกระดาษในการต้านทานแรงกระทำจากแรงดึง โดยการวัดค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index) ของกระดาษที่เตรียมได้ โดยใช้ไคโตซาน 2 ชนิด เป็นตัวช่วยในการดูดซับสีย้อมซึ่งมีการแปรเปลี่ยนปริมาณของไคโตซานในสูตรขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อม (ponceau 4 R) ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก



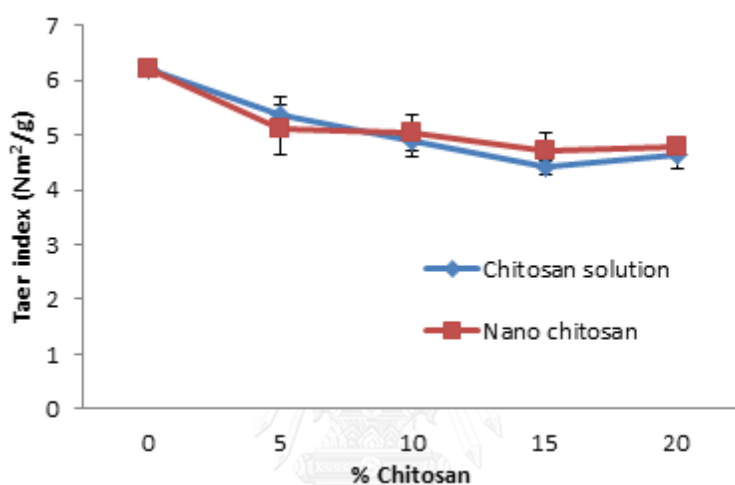
ภาพที่ 4.22 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษชานอ้อยที่ย้อมติดสีแดง (ponceau 4 R)

จากการทดสอบพบว่าการใช้สารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษชานอ้อยได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่ใช้ตัวดูดซับสี แสดงดังภาพที่ 4.22 เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งผลจากการทดลองแตกต่างจากการย้อมสีกระดาษด้วยสีเหลือง (tartrazine) โดยใช้สารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสี แสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิดนี้ มีผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงในการย้อมสีกระดาษเยื่อชานอ้อยสีแดงมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารละลายไคโตซานกับไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมพบว่าสารละลายไคโตซานให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่าค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของการใช้ไมโครไคโตซานอิมัลชันเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีผลเช่นเดียวกับกรณีของการย้อมสีเหลือง

4.4.2.2 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength)

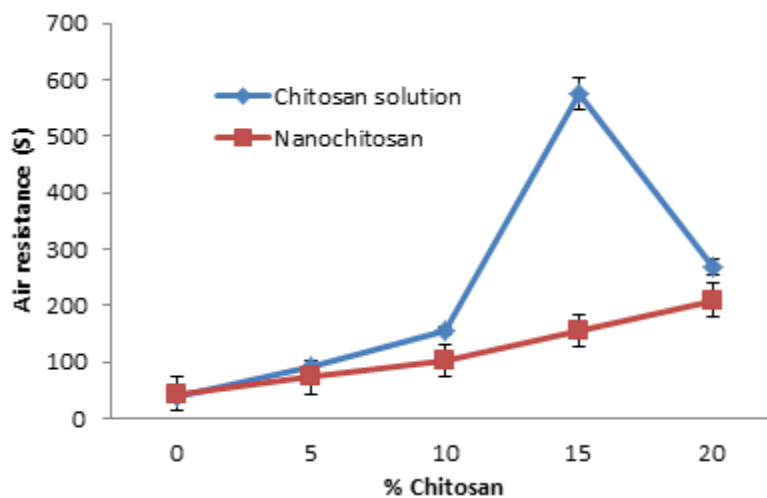
การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษชานอ้อยที่ถูกย้อมด้วยสีแดง (ponceua 4R) โดยมีการเปรียบเทียบใช้สารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยในการดูดซับสี ย้อมผลพบว่า เมื่อมีการแปรเปลี่ยนปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันในสูตรขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกมีแนวโน้มลดลง ผลแสดงในภาพที่ 4.23 ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของการย้อมสีเหลือง



ภาพที่ 4. 23 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4 R)

4.4.2.3 สมบัติการต้านทานอากาศ (air resistance)

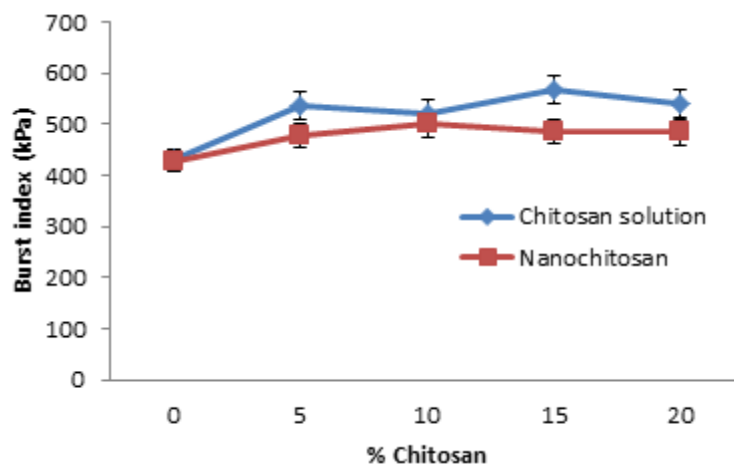
สมบัติการต้านทานการไหลผ่านอากาศเป็นการวัดความสามารถของกระดาษที่ย้อมให้อากาศไหลผ่านได้ สามารถบอกความพรุนของกระดาษได้ การทดสอบสมบัติการต้านทานอากาศของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R) ที่ถูกเตรียมโดยการแปรเปลี่ยนปริมาณไคโตซานในสูตรขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้สารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมในสูตรการย้อมสีกระดาษชานอ้อย ให้ค่าความต้านทานการไหลผ่านอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผลแสดงดังภาพที่ 4.24 ซึ่งมีแนวโน้มทิศทางเดียวกันกับกรณีของการดูดซับสีเหลืองเช่นกัน



ภาพที่ 4. 24 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติความต้านทานการซึมผ่านอากาศของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceau 4 R)

4.4.2.4 สมบัติการต้านทานต่อแรงดันทะลุ (bursting strength)

จากการทดสอบสมบัติการต้านทานต่อแรงดันทะลุของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceau 4R) โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณไคโตซานในสูตรขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติการต้านทานต่อแรงดันทะลุ ผลแสดงดังรูปที่ 4.25 พบว่าปริมาณไคโตซานที่เพิ่มขึ้น ให้ค่าการต้านทานต่อแรงดันทะลุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรการย้อมสีเยื่อกระดาษที่ไม่ใช่ไคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสี เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเพิ่มขึ้น คือปริมาณพันธะดั่งนั้นปริมาณไคโตซานที่เพิ่มขึ้นสามารถเกิดพันธะไอออนิกระหว่าง ($-NH_3^+$) กับ ($-COO^-$) และการเกิดพันธะไฮโดรเจนของไคโตซานกับเซลลูโลส [46] และจากกราฟสังเกตเห็นได้ว่าที่ปริมาณสารละลายไคโตซานร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่ให้สมบัติการต้านต่อแรงดันทะลุสูงสุด แตกต่างจากสูตรอื่นอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งผลการทดลองมีทิศทางเดียวกับการย้อมสีกระดาษชานอ้อยด้วยสีเหลือง (tartrazine)

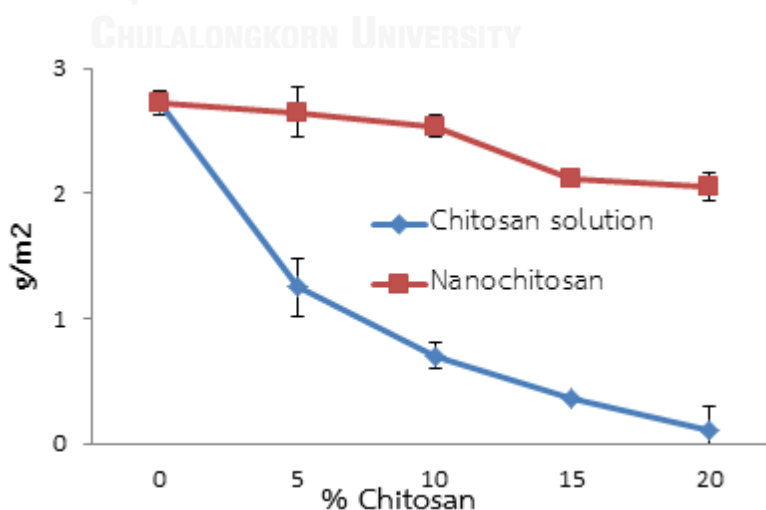


ภาพที่ 4. 25 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติความต้านทานแรงดันทะลุกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceau 4R)

4.5 สมบัติความต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสี

4.5.1 สมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

สมบัติการต้านทานน้ำถูกนำมาทดสอบเพื่อศึกษาผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันที่ถูกใช้เป็นตัวช่วยดูดซับสีในสูตรการย้อมสีกระดาษชานอ้อยต่อสมบัติการต้านทานน้ำ โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณไคโตซานในสูตรขึ้นรูปกระดาษจากร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณสารกั้นซึม (AKD) คงที่ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ผลแสดงใน ภาพที่ 4.26



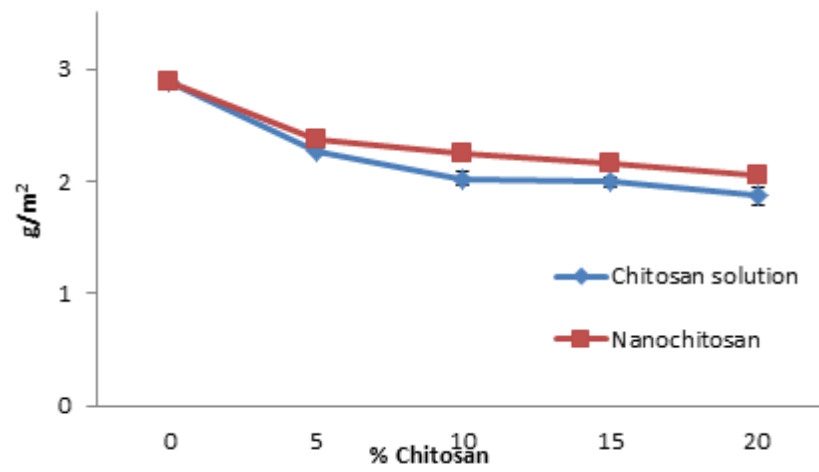
ภาพที่ 4. 26 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine)

พบว่าสมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีเหลือง (tartrazine) มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการใช้ปริมาณตัวดูดซับสีทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณโคโตซานอาจส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันสามารถสร้างพันธะกับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสได้มากขึ้น [46] ดังนั้นจึงส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสสามารถสร้างพันธะกับสารกันซึม AKD ได้ลดลง กระดาษจึงมีสมบัติความต้านทานน้ำลดลง เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านทานน้ำระหว่างการใส่สารละลายโคโตซานกับอนุภาคไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมพบว่า การใช้สารละลายโคโตซานให้ค่าการต้านทานน้ำได้ดีกว่าการใช้อนุภาคไมโครโคโตซานอิมัลชัน ทั้งนี้เนื่องจากการขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษโดยปกติทั่วไปนั้น ในขั้นตอนการขึ้นรูปเมื่อน้ำได้ถูกแยกออกจากเยื่อแล้ว ในการใส่สารละลายโคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสี สายโซ่ยาวของโคโตซานกับเส้นใยเยื่อกระดาษชานอ้อยมีความเข้ากันได้มากกว่าอนุภาคไมโครโคโตซานอิมัลชันจึงสามารถเกิดพันธะระหว่างเส้นใยเซลลูโลสได้มากกว่า ทำให้สามารถปกปิดพื้นผิวความเป็นรูพรุนของกระดาษชานอ้อยได้มากกว่า ซึ่งในส่วนของการใช้อนุภาคไมโครโคโตซานอิมัลชันเมื่อเติมลงไปในสูตรในขั้นตอนการย้อมสี อนุภาคของไมโครโคโตซานอิมัลชันที่มีขนาดต่างกัน จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและขัดขวางการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยเซลลูโลส [49] ส่งผลให้กระดาษมีความเป็นรูพรุนมากกว่าการใช้สารละลายโคโตซาน ดังนั้นค่าความต้านทานน้ำของการใส่สารละลายโคโตซานเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมในการย้อมเยื่อกระดาษชานอ้อยจึงมากกว่าการใช้อนุภาคไมโครโคโตซานอิมัลชัน

4.5.2 สมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

จากการทดสอบสมบัติการต้านทานน้ำ ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดงเพื่อศึกษาผลของปริมาณสารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันในสูตรการขึ้นรูปกระดาษโดยการแปรเปลี่ยนปริมาณโคโตซานจากร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณสารกันซึมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก แสดงใน ภาพที่ 4.27 การใช้สารละลายโคโตซานและไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมพบว่าทั้งคู่สมบัติการต้านทานลดลง ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับสมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยที่ย้อมสีเหลือง แต่แนวโน้มลดลงน้อยกว่าของสมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยที่ถูกย้อมด้วยสีเหลือง (tartrazine)

เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านทานน้ำระหว่างการใส่สารละลายโคโตซานกับอนุภาคไมโครโคโตซานอิมัลชันเป็นตัวช่วยดูดซับสีย้อมพบว่า การใช้สารละลายโคโตซานให้ค่าการต้านทานน้ำได้ดีกว่าการใช้อนุภาคไมโครโคโตซานอิมัลชันเช่นเดียวกับการย้อมสีเหลือง



ภาพที่ 4. 27 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันต่อสมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการเตรียมกระดาษชานอ้อยย้อมติดสี โดยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของเยื่อชานอ้อยด้วยสารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชัน ซึ่งมีวิธีการเตรียมอนุภาคไมโครไคโตซานแบบอิมัลชัน ได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 26 μm โดยมีขั้นตอนการย้อมได้แก่ การนำน้ำเยื่อชานอ้อยบริสุทธิ์ผสมกับสารละลายไคโตซานหรือไมโครไคโตซานอิมัลชัน ใช้สีย้อมแอซิด 2 ชนิด ได้แก่ สีเหลือง (tartrazine) หรือ สีแดง (ponceau 4R) และสารกันซึม (alkyl ketone dimer, AKD) โดยมีการแปรเปลี่ยนปริมาณไคโตซานที่ร้อยละ 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก และปริมาณผงสีที่ร้อยละ 5 10 และ 20 โดยน้ำหนัก นำของผสมนี้ไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษตามมาตรฐาน TAPPI T 250 จากนั้นนำแผ่นกระดาษที่ได้ไปทำการวัดค่าสี L^* a^* b^* และค่าความเข้มสี (K/S) ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของเยื่อชานอ้อยด้วยการใช้สารละลายไคโตซานและไมโครไคโตซานอิมัลชันให้ผลการทดลองในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือปริมาณการดูดซับสีทั้ง 2 ชนิดของเส้นใยชานอ้อยเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของไคโตซานมีหมู่แอมิโน ($-\text{NH}_2$) ส่งผลให้สามารถเกิดแรงดึงดูดกันระหว่างประจุลบของสีย้อม ($-\text{SO}_3^-$) กับประจุบวกของไคโตซาน ($-\text{NH}_3^+$) ได้มากขึ้นตามปริมาณของไคโตซานที่เพิ่มขึ้น ผลการทดสอบวัดค่าสีของกระดาษพบว่ากระดาษที่ย้อมด้วยสีเหลือง (tartrazine) และสีแดง (ponceau 4R) ให้ค่าความสว่าง L^* ลดลง ค่า a^* เป็นบวก (ค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น) ให้ค่า b^* เป็นบวก (ค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น) ค่าความเข้มสี K/S เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกลของกระดาษชานอ้อยที่มีการแปรเปลี่ยนปริมาณไคโตซานจากร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณสีย้อมคงที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าสมบัติการทนต่อแรงดึง การต้านทานอากาศ การทนต่อแรงดันทะเลของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไคโตซานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากไคโตซานสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ ($-\text{NH}_3^+$) กับหมู่ ($-\text{COO}^-$) และพันธะไฮโดรเจนกับเส้นใยชานอ้อยได้จึงทำให้ความแข็งแรงภายในเส้นใยเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวช่วยเพิ่มการดูดซับสีย้อมให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงกว่าการใช้ไมโครไคโตซานอิมัลชัน ในขณะที่สมบัติการทนต่อแรงฉีกและการต้านทานน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. ควรทำการขึ้นรูปกระดาษด้วยเครื่องมาตรฐาน ISO เพื่อให้ได้กระดาษที่มีพื้นผิวสม่ำเสมอ และผลการทดลองที่แม่นยำและรวดเร็ว กว่าวิธีการขึ้นรูปแบบ Manual ด้วยระบบ TAPPI
2. ควรทำการศึกษาสภาวะการย้อมและปัจจัยอื่นๆ มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเพิ่มเติม เช่น อุณหภูมิ เวลาในการดูดซับ เป็นต้น
3. ควรทำการศึกษาผลของการดูดซับสีย้อมชนิดอื่นๆ บนเส้นใยชานอ้อย โดยใช้ไมโครโคโตซาน อิมัลชันที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้
4. ควรศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของสูตรกระดาษเยื่อชานอ้อยที่ผสมกับตัวดูดซับโคโตซาน โดยไม่มีการเติมสีย้อมเพิ่มเติม

รายการอ้างอิง

- [1] Hu, Z.G., Zhang, J., Chan, W.L., and Szeto, Y.S. The sorption of acid dye onto chitosan nanoparticles. Polymer 47(16) (2006): 5838-5842.
- [2] ประภัสสร สุรวัฒนวรรณ. ไคติน-ไคโตซาน. ปทุมธานี: กลุ่มวิจัยอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2554.
- [3] ัญญารัตน์ คงขุนเทียน. สมบัติของเส้นใยชานอ้อยและการใช้ประโยชน์ Available from: <http://www.thaitextile.org/fibers/content.php?id=ARC140917123515&content=article>
- [4] Chandkrachang, S. The applications of chitin and chitosan in agriculture in Thailand. Advances in Chitin Science 5 (2002): 458-462.
- [5] Win, N.K.K., Jitareerat, P, Kanlayanarat, S, and Sangchote, S. Effects of cinnamon extract, chitosan coating, hot water treatment and their combinations on crown rot disease and quality of banana fruit. Postharvest Biology and Technology 45 (2007): 333-340.
- [6] Li, Q., Dunn, E.T., Grandmason, E.W., and Goosen, M.F.A. Applications and properties of chitosan. Technomic Publishing Co (1997): 3-29.
- [7] Ravindra, R., Kameswara, R., K and Khan, A. A. . Solubility parameter of chitin and chitosan. Carbohydrate polymers 36 (1998): 121-127.
- [8] Chen R.H., Tsaih M.L. Effect of temperature on the intrinsic viscosity and conformation of chitosan in dilute HCL solution. International Journal of Biological Macromolecules, 23 (1998): 135-141.
- [9] รามนรี เนตรวิเชียร. การกำจัดสารหนูในรูปอาร์ซีนิตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เกลือไคโตซานแบบเม็ด. วิทยานพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ แวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
- [10] Lim, L.Y., E.K.C.-E.L. Effect of dry heat and saturated steam on the physical properties of chitosan. Journal of Biomedical material research 48(2) (1999): 111-116.

- [11] ไคติน-ไคโตซาน. เรื่องน่ารู้. 2544, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดลอม: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 1-44.
- [12] ชัยรัตน์ นันทภักดิ์, ดวงพร สาระมาศ และอนรรดี วิทยาปัญญาพันธ์. การเคลือบผิวผนังด้วยไคโตซาน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543
- [13] Foster A. and Weber J.M. Chitin. Advances in carbohydrate chemistry 15 (1960): 371-393.
- [14] Hirano S. Chitin biotechnology applications. Biotechnolgy Annual Review 2 (1996): 237-258.
- [15] รัชนิย์ รุกขชาติ. สีย้อมและการบำบัดสีในน้ำทิ้ง. 2556. Available from: http://www.navy.mi.th/science/BrithDay46/Brithday_data/biology.htm
- [16] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. การย้อมสีธรรมชาติ. 2556. Available from: http://www.ist.cmu.ac.th/cotton/naturalColor_AdvRestrict.php?subnav=3
- [17] ณัฐยา พรรณรัตน์ศิลป์. ตารางการย้อมสีสิ่งทอ Textile Dyeing. ปริญญาพจนมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์., 2549.
- [18] Alley, E.R. Water Quality Control Handbook. 2000: New York.
- [19] Noll, K.E., Gounaris, V., and Hou, W. S. Adsorption technology for air and water pollution control. 1992., Mich:Lewis Publishers.
- [20] Santhy, K., and Selvapathy, P. Bioresour. Vol.97,1329-1336, (2005).
- [21] Radhika, M., and Palanivelu, K. Adsorptive removal of chlorophenols from aqueous solution by low cost adsorbent—Kinetics and isotherm analysis. J Hazard Mater 138 (2006): 116-124.
- [22] เตชา ฉัตรศิริเวช กระบวนการดูดซับ. คณะวิศวกรรมศาสตร์เคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552.
- [23] Lili, L., Liping, G., and Chunjing, G. Adsorption of congo red from aqueous solution onto Ca-betonite. Journal of Hazardous Materails 161 (2009): 126-131.
- [24] Norzilah, A.H., Fakhru'l-Razi, A., Choong, T.S.Y., and Chuah, A.L. Surface Modification Effects on CNTs Adsorption of Methylene Blue and Phenol. Journal of Nanomaterials 2011 (2011): 1-18.

- [25] Malik, P.K. Use of activated carbon prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of Acid yellow 36. Dyes and pigments 56 (2003): 239-249.
- [26] Acemioglu, B. Adsorption of Congo red from aqueous solution onto calcium-rich fly ash. J Colloid Interface Sci 274(2) (2004): 371-379.
- [27] Namasivayam, C. and Kavitha, D. Removal of Congo Red from water by adsorption onto activated carbon prepared from coir pith, an agricultural solid waste. Dyes and pigments 54(1) (2002): 47-58.
- [28] Ashori, A., Harun, J., Zin, W.M., and Mohd. Yusoff, M.N. Enhancing Dry-Strength Properties of Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) Paper Through Chitosan. Polymer-Plastics Technology and Engineering 45(1) (2006): 125-129.
- [29] Pavan, F.A., Dias, S.L.P., Lima, E.C., and Benvenuti, E.V. Removal of Congo red from aqueous solution by anilinepropylsilica xerogel. Dyes and pigments 76(1) (2008): 64-69.
- [30] Ali. T., and Yunus, C. Removal of congo red from aqueous solution by adsorption onto acid activated red mud. J Hazard Mater 138(2) (2006): 409-15.
- [31] กุณทีนี สุวรรณกิจ. เอกสารประกอบการเรียนวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ. คณะวิทยาศาสตร์: ภาควิชาเทคโนโลยีและกระดาษ, 2555.
- [32] Scherer, C.J.B.A.G.W. sol-gel Science. Newyork: Academic press, 1990.
- [33] สุคนธ์ พานิชย์. การสังเคราะห์วัสดุขนาดต่ำกว่าไมครอนและวัสดุไมโครด้วยกระบวนการทางเคมี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549.
- [34] Calvo, P. Remunan-Lopez, C. Viila-jato J.L. and Alonso, M.J. Novel hydrophilic chitosan-Polyethylene oxide nanoparticles as protein carriers. Journal of Applied polymer science 63 (1997): 125-132.
- [35] Chang, T.C., Wang, J.W., and Hon, M.H. Synthesis of nanosized chitosan-poly(acrylic acid) particles by a dropping method. Macromol Biosci 4(4) (2004): 416-420.
- [36] Liwei, L. A study of nanochitosan and their applications. doctor of philosophy, of textiles and clothing The Hong Kong polytechnique university, 2011.

- [37] Annadurai, G., Ling, L.Y., and Lee, J.F. Adsorption of reactive dye from an aqueous solution by chitosan: isotherm, kinetic and thermodynamic analysis. J Hazard Mater 152(1) (2008): 337-346.
- [38] Salehi, R., Arami, M., Mahmoodi, N.M., Bahrami, H., and Khorramfar, S. Novel biocompatible composite (Chitosan–zinc oxide nanoparticle): Preparation, characterization and dye adsorption properties. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 80(1) (2010): 86-93.
- [39] Cheung, W.H., Szeto, Y.S., and McKay, G. Enhancing the adsorption capacities of acid dyes by chitosan nano particles. Bioresour Technol 100(3) (2009): 1143-1151.
- [40] Zhou, Z., Lin, S., Yue, T., and Lee, T.-C. Adsorption of food dyes from aqueous solution by glutaraldehyde cross-linked magnetic chitosan nanoparticles. Journal of Food Engineering 126 (2014): 133-141.
- [41] Ashori, A., Cordeiro, N., Faria, M., and Hamzeh, Y. Effect of chitosan and cationic starch on the surface chemistry properties of bagasse paper. Int J Bio Macromol 58 (2013): 343-348.
- [42] Diab, M., Curtil, D., El-Shinnawy, N., Hassan, M.L., Zeid, I.F., and Mauret, E. Biobased polymers and cationic microfibrillated cellulose as retention and drainage aids in papermaking: Comparison between softwood and bagasse pulps. Industrial Crops and Products 72 (2015): 34-45.
- [43] Suteera Witayakran, W.K., Chaiyaporn Sampoompuang, and Warunee Thanapase. Property Enhancement for OCC Paper by Virgin Pulps and Chitosan Coating. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 2554
- [44] ปนัดดา กลิ่นบัว. การใช้ไคโตซานและเซลลูโลสในการกำจัดหมึกจากกระดาษที่พิมพ์ด้วยโทนเนอร์ด้วยวิธีลอยฟองอากาศ. มหาคณิศ, เทคโนโลยีเยื่อกระดาษ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [45] Kataja-aho, J., Salminen, K., Rantanen, T., Retulainen, E., Lindqvist, H., and Sundberg, A. . The effect of sequential polymer addition on wet- and dry-web mechanical characteristics: Laboratory, semi-pilot, and pilot studies. proceedings of TAPPI PaperCon Conference New Orleans USA (2012).

- [46] A. Ashori, J. Harun, W. D. Raverty, and Zin, W.D. Effect of Chitosan Addition on the Surface Properties of Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) Paper. Iranian polymer (2005).
- [47] Amin, K.A.M. and Panhuis, M.i.h. Reinforced Materials Based on Chitosan, TiO₂ and Ag Composites. Polymers 4(1) (2012): 590.
- [48] Yoshida, H., Kishimoto, N., and Kataoka, T. . Adsorption of acid dye on cross – linked chitosan fiber, equilibrium. Chemical Engineering Science 48(12), 48(12) (1993): 2267-2272.
- [49] พิษยา ตันติเตมิท. การผลิตกระดาษจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บ
แต่งหอม Cucmos melo L. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทาง
อาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ก-1 ผลของของปริมาณสารละลายไคโตซานและสี้อมที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่ถูกย้อมด้วยสีแดง (ponceua 4R)

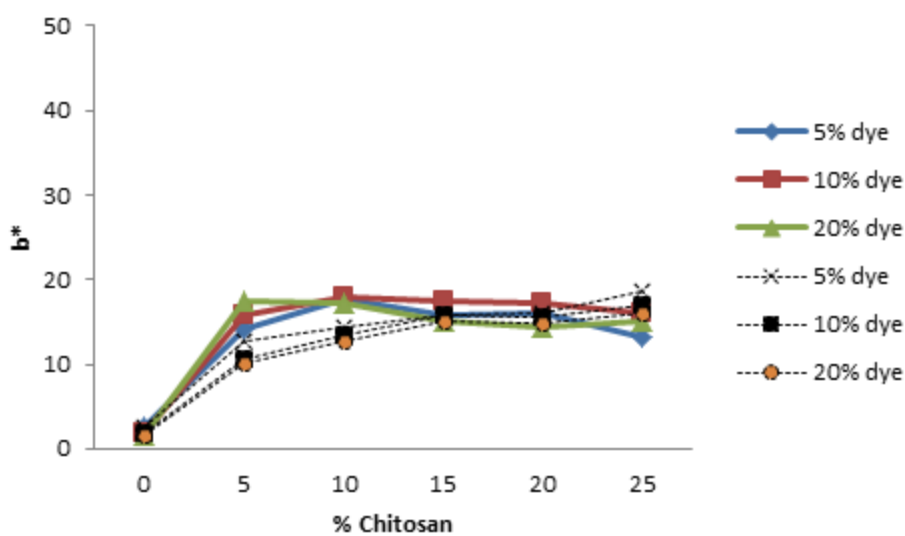
Trial Name	(%wt) Chitosan	(%wt) Color	Basis weight (g/m ²)	Thickness (mm)	Color
No chitosan	0	5	220.12	0.24	
		10	222.00	0.22	
		20	223.88	0.20	
A1	5	10	204.06	0.25	
A2		20	194.91	0.26	
A3		20	180.11	0.24	
B1	10	5	203.14	0.27	
B2		10	215.26	0.27	
B3		20	186.57	0.23	
C1	15	5	187.16	0.26	
C2		10	215.19	0.27	
C3		20	210.40	0.25	
D1	20	5	184.63	0.25	
D2		10	198.91	0.27	
D3		20	195.14	0.23	
E1	25	5	173.12	0.24	
E2		10	182.26	0.26	
E3		20	202.17	0.25	

ตาราง ก-2 ผลของของปริมาณสารละลายไคโตซานและสี้อมที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่ถูกย้อมด้วยสีแดง (ponceua 4R)

Trial Name	(%wt) Chitosan	(%Wt) Color	Basis weight (g/m ²)	Thickness (mm)	Color
No chitosan	0	5	220.12	0.24	
		10	222.00	0.22	
		20	223.88	0.20	
A1	5	5	203.07	0.26	
A2		10	192.66	0.27	
A3		20	183.19	0.24	
B1	10	5	207.37	0.26	
B2		10	201.45	0.26	
B3		20	185.25	0.24	
C1	15	5	212.68	0.26	
C2		10	210.57	0.25	
C3		20	195.26	0.24	
D1	20	5	213.49	0.26	
D2		10	205.76	0.26	
D3		20	192.82	0.24	
E1	25	5	228.74	0.27	
E2		10	217.74	0.25	
E3		20	212.10	0.24	

ตารางที่ ก-5 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อ (ค่า b^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

(ร้อยละ โดย น้ำหนัก) ไคโตซาน	ค่า (b^*) สารละลายไคโตซาน			ค่า (b^*) ไมโครไคโตซานอิมัลชัน		
	(ร้อยละโดยน้ำหนัก) สียอม			(ร้อยละโดยน้ำหนัก) สียอม		
	5	10	20	5	10	20
0	2.48	1.95	1.54	2.48	1.95	1.54
5	14.04	15.90	17.39	12.64	10.51	10.09
10	17.65	17.84	17.21	14.38	13.50	12.64
15	15.90	17.39	15.20	15.81	15.89	15.14
20	16.04	17.21	14.45	15.92	15.45	14.79
25	13.14	16.10	15.03	18.63	17.08	15.94

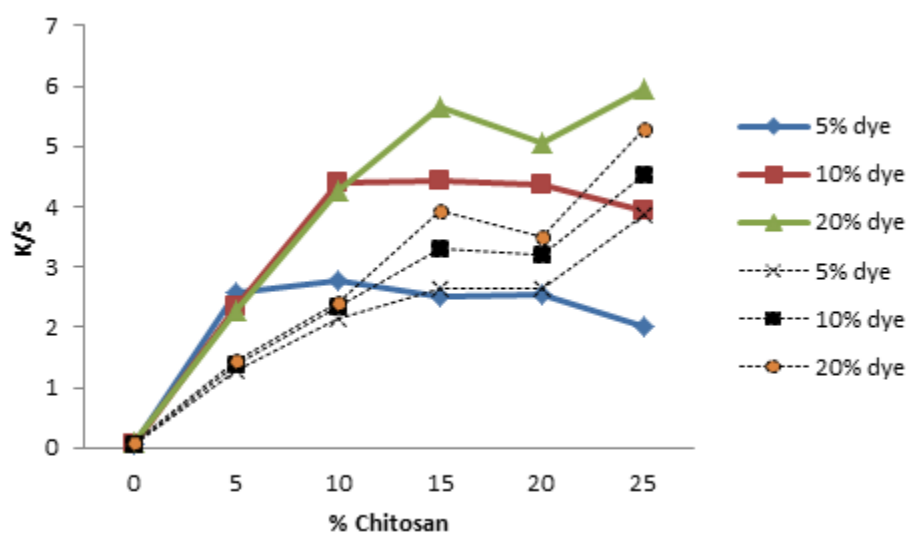


รูปที่ ก-3 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อค่า (b^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง

หมายเหตุ ————— การใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวดูดซับสียอม
 ----- การใช้อนุภาคไมโครไคโตซานเป็นตัวดูดซับสียอม

ตารางที่ ก-6 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อ (ค่า K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)


(ร้อยละโดย น้ำหนัก) ไคโตซาน	ค่า (K/S สารละลายไคโตซาน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) สีย้อม			ค่า (K/S ไมโครไคโตซานอิมัลชัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) สีย้อม		
	5	10	20	5	10	20
0	0.06	0.06	0.08	0.06	0.06	0.08
5	2.58	2.35	2.27	1.28	1.37	1.44
10	2.77	4.41	4.27	2.14	2.34	2.42
15	2.51	4.44	5.67	2.64	3.32	3.94
20	2.54	4.37	5.05	2.64	3.19	3.51
25	2.01	3.92	5.96	3.86	4.54	5.29



รูปที่ ก-4 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อค่า (K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง

หมายเหตุ ————— การใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวดูดซับสีย้อม
 - - - - - การใช้อนุภาคไมโครไคโตซานเป็นตัวดูดซับสีย้อม

ตาราง ก-7 ผลของของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีย้อมที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่ถูกย้อมด้วยสีเหลือง (tartrazine)

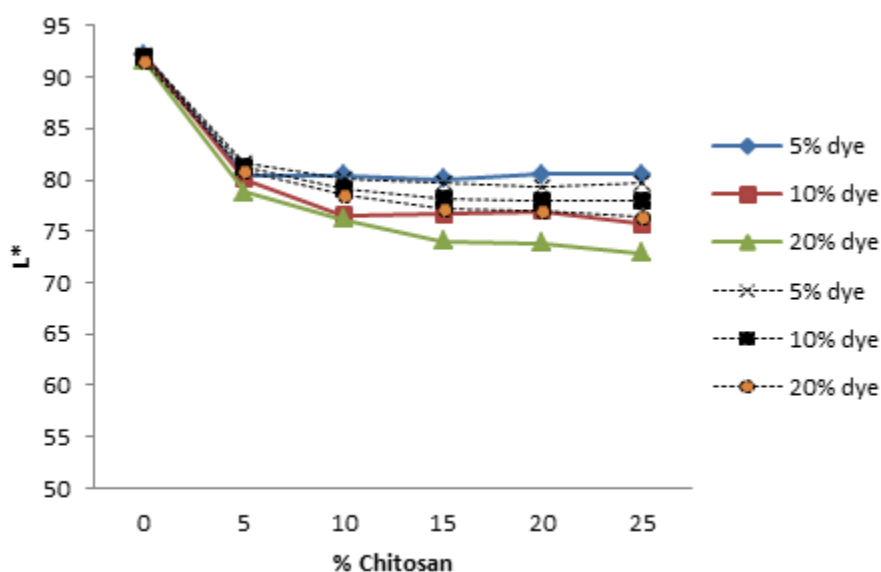
Trial Name	(%wt) Chitosan	(%wt) Color	Basis weight (g/m ²)	Thickness (mm)	Color
Non-chitosan	0	5	220.12	0.23	
		10	222.00	0.20	
		20	223.88	0.18	
A1	5	5	204.85	0.27	
A2		10	193.04	0.26	
A3		20	184.41	0.24	
B1	10	5	221.57	0.26	
B2		10	220.82	0.31	
B3		20	186.19	0.24	
C1	15	5	187.86	0.22	
C2		10	197.61	0.22	
C3		20	199.40	0.21	
D1	20	5	174.22	0.25	
D2		10	183.51	0.24	
D3		20	197.51	0.22	
E1	25	5	174.43	0.25	
E2		10	180.02	0.23	
E3		20	216.14	0.23	

ตาราง ก-8 ผลของของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีย้อมที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษเยื่อชานอ้อยที่ถูกย้อมด้วยสีเหลือง (tartrazine)

Trial Name	(%wt) Chitosan	(%wt) Color	Basis weight (g/m ²)	Thickness (mm)	Color
Non-chitosan	0	5	220.12	0.23	
		10	222.00	0.20	
		20	223.88	0.18	
A1	5	5	227.75	0.25	
A2		10	214.10	0.24	
A3		20	198.91	0.23	
B1	10	5	229.88	0.25	
B2		10	220.75	0.24	
B3		20	205.52	0.22	
C1	15	5	241.10	0.25	
C2		10	235.87	0.24	
C3		20	224.61	0.23	
D1	20	5	237.01	0.25	
D2		10	228.99	0.25	
D3		20	215.09	0.22	
E1	25	5	220.38	0.25	
E2		10	220.61	0.27	
E3		20	213.52	0.23	

ตารางที่ ก-9 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อ (ค่า L*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

(ร้อยละ โดย น้ำหนัก) ไคโตซาน	ค่า (L*) สารละลายไคโตซาน			ค่า (L*) ไมโครไคโตซานอิมัลชัน		
	(ร้อยละโดยน้ำหนัก) สียอม			(ร้อยละโดยน้ำหนัก) สียอม		
	5	10	20	5	10	20
0	92.14	92.04	91.54	92.14	92.04	91.54
5	80.46	80.02	78.83	81.67	81.29	80.79
10	80.43	76.55	76.13	80.19	79.16	78.57
15	80.04	76.65	74.05	79.71	78.21	77.22
20	80.56	76.9	73.84	79.41	78.03	76.98
25	80.58	75.71	72.82	79.75	77.97	76.32

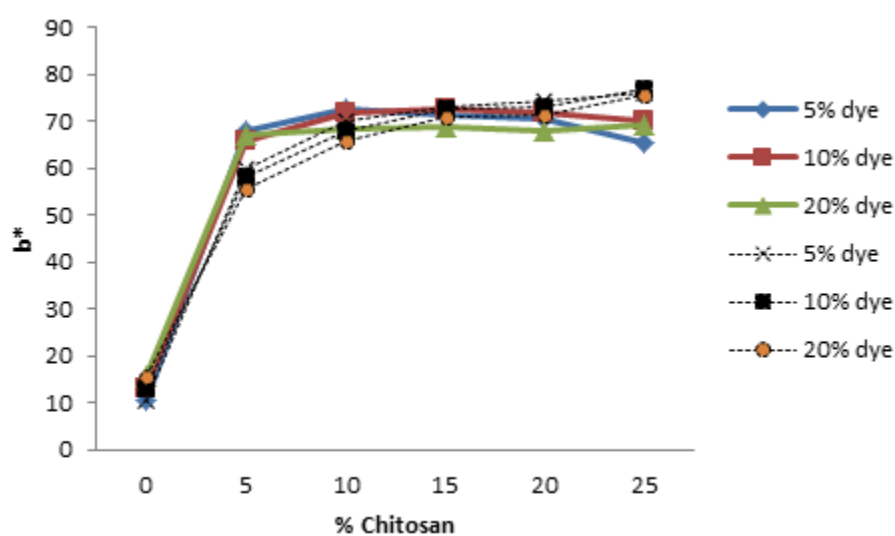


รูปที่ ก-5 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อค่า (L*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง

หมายเหตุ ————— การใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวดูดซับสียอม
 ----- การใช้อนุภาคไมโครไคโตซานเป็นตัวดูดซับสียอม

ตารางที่ ก-11 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อ (ค่า b^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

(ร้อยละโดย น้ำหนัก) ไคโตซาน	ค่า (b^*) สารละลายไคโตซาน			ค่า (b^*) ไมโครไคโตซานอิมัลชัน		
	(ร้อยละโดยน้ำหนัก) สีย้อม			(ร้อยละโดยน้ำหนัก) สีย้อม		
	5	10	20	5	10	20
0	10.49	13.08	15.79	10.49	13.08	15.79
5	68.13	65.84	67.16	59.92	58.08	55.75
10	72.64	71.64	68.32	70.32	68.05	66.07
15	71.47	72.7	68.79	73.24	72.53	70.98
20	70.7	71.92	67.89	74.53	73.19	71.33
25	65.3	69.94	69.22	76.27	76.91	75.81

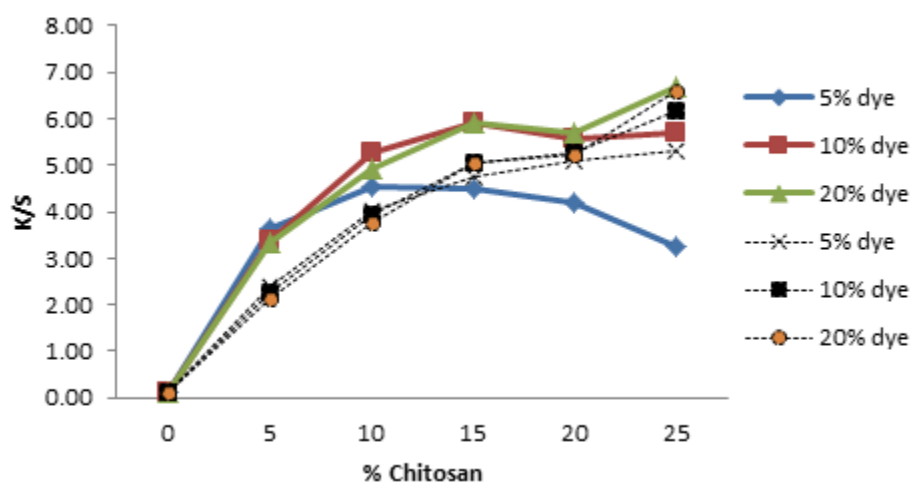


รูปที่ ก-7 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อค่า (b^*) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง

หมายเหตุ ————— การใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวดูดซับสีย้อม
 - - - - - การใช้อนุภาคไมโครไคโตซานเป็นตัวดูดซับสีย้อม

ตารางที่ ก-12 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อ (ค่า K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง (ponceua 4R)

(ร้อยละโดย น้ำหนัก)	ค่า (K/S) สารละลายไคโตซาน			ค่า (K/S) ไมโครไคโตซานอิมัลชัน		
	(ร้อยละโดยน้ำหนัก) สียอม			(ร้อยละโดยน้ำหนัก) สียอม		
ไคโตซาน	5	10	20	5	10	20
0	0.10	0.12	0.13	0.10	0.12	0.13
5	3.63	3.4	3.32	2.40	2.27	2.15
10	4.54	5.27	4.92	4.04	3.95	3.77
15	4.5	5.9	5.89	4.75	5.05	5.04
20	4.18	5.57	5.7	5.10	5.26	5.21
25	3.26	5.68	6.68	5.33	6.17	6.59



รูปที่ ก-8 ผลของปริมาณสารละลายไคโตซานและสีต่อค่า (K/S) ของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสีแดง

หมายเหตุ ————— การใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวดูดซับสียอม
 ----- การใช้อนุภาคไมโครไคโตซานเป็นตัวดูดซับสียอม

ภาคผนวก ข

1. ผลของการแปรเปลี่ยนปริมาณไคโตซานที่ปริมาณสีย้อมคงที่ต่อสมบัติเชิงกลของกระดาษชานอ้อยย้อมติดสี

ตาราง ข-1 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษชานอ้อยย้อมสีแดง (ponceua 4R)

(ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไคโตซาน	สารละลายไคโตซาน	อนุภาคไมโครไคโตซานอิมัลชัน
	Tensile index (mN/g)	Tensile index (mN/g)
	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม
0	25.22	25.22
5	28.27	27.59
10	28.87	27.69
15	28.82	27.30
20	28.93	26.70

ตาราง ข-2 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษชานอ้อยย้อมสีเหลือง (tartrazine)

(ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไคโตซาน	สารละลายไคโตซาน	อนุภาคไมโครไคโตซานอิมัลชัน
	Tensile index (mN/g)	Tensile index (mN/g)
	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม
0	19.93	19.93
5	34.88	32.34
10	35.63	32.94
15	32.43	29.42
20	32.23	26.49

ตาราง ข-3 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษชานอ้อยย้อมสีแดง (ponceua 4R)

(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สารละลายไคโตซาน	อนุภาคไมโครไคโตซานอิมัลชัน
	Tear index (Nm ² /g)	Tear index (Nm ² /g)
ไคโตซาน	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสี ย้อม	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม
0	6.19	6.19
5	5.37	5.1
10	4.91	5.05
15	4.41	4.71
20	4.63	4.78

ตาราง ข-4 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษชานอ้อยย้อมสีเหลือง (tartrazine)

(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สารละลายไคโตซาน	อนุภาคไมโครไคโตซานอิมัลชัน
	Tear index (Nm ² /g)	Tear index (Nm ² /g)
ไคโตซาน	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสี ย้อม	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม
0	5.59	5.59
5	5.57	5.37
10	4.87	5.07
15	4.68	4.71
20	4.44	4.45

ตาราง ข-5 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength) ของกระดาษชานอ้อยย้อมสีแดง (ponceua 4R)

(ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไคโตซาน	สารละลายไคโตซาน	อนุภาคไมโครไคโตซานอิมัลชัน
	Burst index (pKa)	
	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสี ย้อม	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม
0	430.00	428.00
5	538.00	477.00
10	521.00	500.00
15	568.00	486.00
20	541.00	484.00

ตาราง ข-6 สมบัติความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength) ของกระดาษชานอ้อยย้อมสีเหลือง (tartrazine)

(ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไคโตซาน	สารละลายไคโตซาน	อนุภาคไมโครไคโตซาน
	Burst index (pKa)	
	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสี ย้อม	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม
0	435.00	436.00
5	527.00	471.00
10	520.00	476.00
15	642.00	447.00
20	628.00	474.00

ตาราง ข-7 สมบัติความต้านทานอากาศ (air resistance) ของกระดาษชานอ้อยย้อมสีแดง (ponceua 4R)

(ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไคโตซาน	สารละลายไคโตซาน	อนุภาคไมโครไคโตซานอิมัลชัน
	วินาที (S)	
	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสี ย้อม	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม
0	40.00	43.00
5	89.89	72.44
10	154.67	102.00
15	575.33	154.67
20	267.67	209.11

ตาราง ข-8 สมบัติความต้านทานอากาศ (Air resistance) ของกระดาษชานอ้อยย้อมสีเหลือง (tartrazine)

(ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไคโตซาน	สารละลายไคโตซาน	อนุภาคไมโครไคโตซานอิมัลชัน
	วินาที (S)	
	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสี ย้อม	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม
0	40.00	43.00
5	83.44	78.56
10	105.78	114.67
15	445.30	156.33
20	241.44	162.00

ตาราง ข-9 สมบัติความต้านทานน้ำ (water resistance) ของกระดาษชานอ้อยย้อมสีแดง (ponceua 4R)

(ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไคโตซาน	สารละลายไคโตซาน	อนุภาคไมโครไคโตซานอิมัลชัน
	กรัมต่อตารางเมตร (g/m ²)	กรัมต่อตารางเมตร (g/m ²)
	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสี ย้อม	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม
0	2.89	2.89
5	2.27	2.37
10	2.02	2.24
15	1.99	2.15
20	1.87	2.05

ตาราง ข-10 สมบัติความต้านทานน้ำ (water resistance) ของกระดาษชานอ้อยย้อมสีเหลือง (tartrazine)

(ร้อยละโดยน้ำหนัก) ไคโตซาน	สารละลายไคโตซาน	อนุภาคไมโครไคโตซานอิมัลชัน
	กรัมต่อตารางเมตร (g/m ²)	กรัมต่อตารางเมตร (g/m ²)
	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสี ย้อม	ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสีย้อม
0	2.72	2.72
5	1.25	2.65
10	0.70	2.54
15	0.36	2.11
20	0.10	2.05

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุตารัตน์ ผึ้งผาย เกิดวันที่ 7 พฤศจิกายน 2530 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2553 และได้เข้าทำงานในโรงงานเภสัชกรรมเกรทเตอร์ฟาร์มา จำกัด ในตำแหน่ง นักวิเคราะห์ เป็นระยะเวลา 1 ปี 8 เดือน จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2555 และเข้าร่วมเสนอผลงานการประชุมวิชาการนานาชาติวิทยาศาสตร์วัสดุและเทคโนโลยี ครั้งที่ 8 (The 8th interational conference on materials science and technology, MSAT-8) ในวันที่ 15-16 ธันวาคม 2557 และเข้าร่วมเสนอผลงานการประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์วิจัยครั้งที่ 7 (The 7th national science research conference) ในวันที่ 30-31 มีนาคม 2558