

การใช้โคโชนเป็นสารเคลตในการพอกเยื่อคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



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
สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USE OF CHITOSAN AS CHELATING AGENTS IN EUCALYPTUS
PULP BLEACHING WITH HYDROGEN PEROXIDE

Miss Pornpan Techabunya



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Pulp and Paper Technology
Department of Imaging and Printing Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2016
Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การใช้โคโทซานเป็นสารคีเลตในการพอกเฝ้ายูคาลิปตัส ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ |
| โดย | นางสาวพรพรรณ เตชบุญฤๅ |
| สาขาวิชา | เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาบติ |

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. กุณฑิณี สุวรรณกิจ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาบติ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สีหนาท ประสงค์สุข)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอพงศ์ จารุพันธ์)

พรพรรณ เตชะบุญญะ : การใช้ไคโทซานเป็นสารคีเลตในการฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (USE OF CHITOSAN AS CHELATING AGENTS IN EUCALYPTUS PULP BLEACHING WITH HYDROGEN PEROXIDE) อ.ที่ปรีกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปติ, 148 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อสมบัติของเยื่อและกระดาษที่ผ่านการฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยกำหนดสภาวะการฟอกเยื่อ คือ ความเข้มข้นเยื่อที่ร้อยละ 15 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ช่วงความเป็นกรดต่างถูกควบคุมให้คงที่ที่ 10.5 ± 0.2 อุณหภูมิขณะฟอกเยื่อ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที โดยฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า ในการฟอกเยื่อเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือสูงสุดและเยื่อที่ผ่านการฟอกแล้วจะให้ค่าความสว่างสูงสุด ในส่วนการศึกษาผลของสารคงตัว เมื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 พีพีเอ็ม โดยเติมโซเดียมซลิเกตและแมกนีเซียมซัลเฟตเป็นสารคงตัวที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จากการทดลองพบว่าโซเดียมซลิเกตจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลืออยู่มากกว่า ให้สมบัติเชิงแสงสูงกว่า ค่าคัปปานัมเบอร์ต่ำกว่า รวมถึงให้สมบัติความแข็งแรงและปริมาณเซลลูโลสสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแมกนีเซียมซัลเฟต จึงเลือกใช้โซเดียมซลิเกตเป็นสารคงตัว และในการศึกษาผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จากการทดลองพบว่าเมื่อเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ สมบัติเชิงแสง และสมบัติความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณไอออนสังกะสีที่เหลือหลังจากฟอกเยื่อลดลง ซึ่งการเติมไคโทซานจะเหลือปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สมบัติเชิงแสงและสมบัติความแข็งแรงสูงกว่าดีทีพีเอและอีดีทีเอ ตามลำดับ โดยผลของการใช้ไคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้งให้ผลดีที่สุด ดังนั้นไคโทซานจึงเป็นสารคีเลตที่มีศักยภาพตัวหนึ่งเช่นกัน

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5772071423 : MAJOR PULP AND PAPER TECHNOLOGY

KEYWORDS: CHITOSAN / HYDROGEN PEROXIDE BLEACHING / CHELATING AGENT / EUCALYPTUS PULP

PORNPAN TECHABUNYA: USE OF CHITOSAN AS CHELATING AGENTS IN EUCALYPTUS PULP BLEACHING WITH HYDROGEN PEROXIDE. ADVISOR: PROF. NATTAYA PONGSTABODEE, 148 pp.

The purpose of this research was to study the effects of chitosan, DTPA and EDTA for pulp and paper properties after being bleached with hydrogen peroxide. Pulp bleaching was conducted at 15% pulp consistency, 10.5 ± 0.2 pH, 75 ± 5 °C temperature and 120 min bleaching time by using hydrogen peroxide dosage at 0%, 10%, 20% and 30% on oven dried (O.D.) pulp weight, respectively. It was found that optimum hydrogen peroxide dosage was 30% because the residual hydrogen peroxide and brightness of the bleached pulp were highest. Next, the effects of stabilizing agents with the presence of zinc ions at concentration 1,500 ppm were examined by using 2% of magnesium sulfate and sodium silicate based on O.D. pulp weight as stabilizing agents. The results indicated that sodium silicate provided higher residual hydrogen peroxide, better optical properties, lower kappa number, better strength properties and higher cellulose content as compared to magnesium sulfate. So, sodium silicate was chosen and used as a stabilizing agent. Then, the effects of chitosan, DTPA and EDTA at different concentrations of 1% 2% and 3 % based on O.D. pulp weight were investigated. It was discovered that the residual hydrogen peroxide, optical and strength properties increased while the amount of zinc ions decreased with higher dosages of chitosan, DTPA and EDTA. As compared to DTPA and EDTA, chitosan offered higher residual hydrogen peroxide, better optical properties and strength properties. The best results were obtained when 3% of chitosan was used. So, chitosan can be potentially used as chelating agent.

Department: Imaging and Printing
Technology

Student's Signature

Advisor's Signature

Field of Study: Pulp and Paper
Technology

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่าน ผู้วิจัยขอกราบ
ขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณา
เสียสละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่
สนับสนุนและให้กำลังใจ ชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สมพร ชัยอารีย์กิจ ผู้ทำหน้าที่เสมือนเป็นอาจารย์ที่
ปรึกษาอีกหนึ่งท่าน ที่กรุณาเสียเวลาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ให้ความรู้
คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ สนับสนุนและให้กำลังใจ ชี้แนะ
แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนดูแลผู้วิจัยตั้งแต่แรกเข้า
การศึกษาจนจบการศึกษาเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.กุนทีนิ สุวรรณกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
รองศาสตราจารย์ ดร. สีหนาท ประสงค์สุข และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอพงศ์ จารุพันธ์
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลามาให้คำแนะนำและทำการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณหลักสูตรเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ หน่วยปฏิบัติการ
วิจัยการใช้ประโยชน์จากชีวมวลพืช ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ที่เอื้ออำนวยอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย และภาควิชาเคมี คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง Atomic Absorption
Spectrophotometer (AAS) สำหรับใช้ศึกษาและวิเคราะห์ในงานวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ บุคลากรในหลักสูตรเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ และ
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและให้
กำลังใจในการดำเนินงานวิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้โอกาสทางการศึกษา คอยเป็นกำลังใจ
และสนับสนุนทางด้านการศึกษาและการวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

หน้า

| | |
|---|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 20 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 20 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 21 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 21 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 22 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 23 |
| 2.1 แหล่งที่มาของเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเยื่อและกระดาษ..... | 23 |
| 2.1.1 เส้นใยที่มาจากเนื้อไม้..... | 23 |
| 2.1.2 เส้นใยที่ไม่ได้มาจากเนื้อไม้..... | 26 |
| 2.2 โครงสร้างของเส้นใย (fiber structure)..... | 26 |
| 2.2.1 ชั้นมิดเดิลลามลลา (middle lamella, M)..... | 26 |
| 2.2.2 ชั้นผนังเซลล์ของเส้นใย (cell wall)..... | 26 |
| 2.2.3 ลูเมน (lumen)..... | 27 |
| 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย (chemical composition of wood pulp fiber)..... | 27 |
| 2.3.1 เซลลูโลส (cellulose)..... | 27 |
| 2.3.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)..... | 28 |
| 2.3.4 สารแทรก (extractives)..... | 31 |
| 2.4 กระบวนการผลิตเยื่อ (pulping process)..... | 32 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.4.1 | กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล (mechanical pulping) | 32 |
| 2.4.2 | กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกลกึ่งเคมี (chemi-mechanical pulping) | 32 |
| 2.4.3 | กระบวนการผลิตเยื่อเคมี (chemical pulping)..... | 32 |
| 2.5 | การฟอกเยื่อ (bleaching)..... | 33 |
| 2.5.1 | กระบวนการฟอกเยื่อ..... | 33 |
| 2.5.2 | ขั้นตอนการฟอกเยื่อและระบบของการฟอกเยื่อ | 34 |
| 2.5.3 | สารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อ | 35 |
| 2.5.3.1 | ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H ₂ O ₂)..... | 35 |
| 2.5.3.2 | สารคงตัว (stabilizing agents) | 37 |
| 2.5.3.3 | สารคีเลต (chelating agents)..... | 38 |
| 2.5.3.4 | น้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อและการปนเปื้อนของโลหะทรานซิชัน | 39 |
| 2.6 | ไคโทซาน (chitosan)..... | 40 |
| 2.7 | ค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระดาษพิมพ์และเขียน..... | 42 |
| 2.8 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 43 |
| บทที่ 3 | การดำเนินการวิจัย..... | 48 |
| 3.1 | วัสดุ สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย | 48 |
| 3.1.1 | วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ | 48 |
| 3.1.2 | อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ | 49 |
| 3.2 | วิธีดำเนินการวิจัย | 50 |
| 3.2.1 | ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ | 50 |
| 3.2.2 | การเตรียมสารละลายไคโทซาน..... | 51 |
| 3.2.3 | ขั้นตอนการฟอกเยื่อ..... | 51 |
| 3.2.4 | การทดสอบสมบัติของเยื่อ..... | 54 |

| | |
|--|----|
| 3.2.5 การขึ้นแผ่นทดสอบ | 55 |
| 3.2.6 การทดสอบสมบัติของแผ่นทดสอบ | 57 |
| 3.2.6.1 สมบัติด้านเชิงแสง (optical properties) | 57 |
| 3.2.6.2 สมบัติด้านความแข็งแรง (strength properties) | 59 |
| 3.2.6.2. ความต้านทานแรงฉีก (tear resistance) | 60 |
| 3.2.7 การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ (residual hydrogen peroxide) | 60 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง | 62 |
| 4.1 ผลการเตรียมน้ำเยื่อ | 62 |
| 4.2 ผลการฟอกเยื่อ | 63 |
| 4.2.1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ | 63 |
| 4.2.1.1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ | 63 |
| 4.2.1.2 สมบัติของเยื่อ | 65 |
| 4.2.1.3 สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง | 67 |
| 4.2.1.4 สมบัติกระดาษด้านความแข็งแรง | 72 |
| 4.2.2 ไอออนสังกะสี | 75 |
| 4.2.2.1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ | 75 |
| 4.2.2.2 สมบัติของเยื่อ | 77 |
| 4.2.2.3 สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง | 79 |
| 4.2.2.4 สมบัติกระดาษด้านความแข็งแรง | 84 |
| 4.2.3 ชนิดของสารคงตัว | 87 |
| 4.2.3.1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ | 87 |
| 4.2.3.2 สมบัติของเยื่อ | 91 |
| 4.2.3.3 สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง | 94 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.3.4 สมบัติกระดาษด้านความแข็งแรง | 100 |
| 4.2.4 ชนิดของสารเคลือบและโคโทซาน..... | 103 |
| 4.2.4.1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ | 104 |
| 4.2.4.2 ปริมาณไอออนสังกะสีที่เหลือ | 111 |
| 4.2.4.3 สมบัติของเยื่อ | 113 |
| 4.2.4.4 สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง | 116 |
| 4.2.4.5 สมบัติกระดาษด้านความแข็งแรง | 123 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... | 126 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 126 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 127 |
| รายการอ้างอิง..... | 128 |
| ภาคผนวก | 133 |
| ภาคผนวก ก..... | 134 |
| ภาคผนวก ข..... | 139 |
| ภาคผนวก ค..... | 142 |
| ภาคผนวก ง | 147 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ | 148 |

สารบัญตาราง

หน้า

| | | |
|--------------|--|----|
| ตารางที่ 2.1 | คุณลักษณะของกระดาษพิมพ์และเขียน ชนิดไม่เคลือบผิว..... | 42 |
| ตารางที่ 3.1 | ค่ามาตรฐานของค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab})..... | 59 |
| ตารางที่ 4.1 | แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อพอกยูคาลิปตัสที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอกเยื่อ 120 นาที..... | 67 |
| ตารางที่ 4.2 | ค่าความแตกต่างของสีในการพอกเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเทียบกับเยื่อเริ่มต้น เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอกเยื่อ 120 นาที..... | 71 |
| ตารางที่ 4.3 | ผลของไอออนสังกะสีต่อองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ เมื่อกำหนดภาวะพอกเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที..... | 79 |
| ตารางที่ 4.4 | ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อต่อค่าความแตกต่างของสีของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการพอกเมื่อเทียบกับเยื่อเริ่มต้น โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการพอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อ ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที..... | 83 |
| ตารางที่ 4.5 | ผลค่าองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว..... | 93 |

ตารางที่ 4.6 ผลของสารคงตัวต่อค่าความแตกต่างสีของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับภาวะที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้งเพียงอย่างเดียว 98

ตารางที่ 4.7 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อปริมาณไอออนสังกะสีที่เหลือหลังการพอกเยื่อ ยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง 112

ตารางที่ 4.8 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง..... 115

ตารางที่ 4.9 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าความแตกต่างสีของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการพอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เมื่อเทียบกับภาวะมีโซเดียมซัลเฟตเพียงอย่างเดียว และน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง..... 121

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| ภาพที่ 2.1 โครงสร้างเส้นใย..... | 27 |
| ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส..... | 28 |
| ภาพที่ 2.3 บริเวณส่วนที่เป็นผลึกและบริเวณที่เป็นอสัณฐานของเซลลูโลส..... | 28 |
| ภาพที่ 2.4 โครงสร้างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในเฮมิเซลลูโลส | 29 |
| ภาพที่ 2.5 หน่วยโครงสร้างของลิกนินและมอนอเมอร์..... | 31 |
| ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของ EDTA และ DTPA..... | 39 |
| ภาพที่ 2.7 แสดงปริมาณโลหะหนักในน้ำประปา ประจำเดือน มกราคม 2559 | 40 |
| ภาพที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโทซาน..... | 41 |
| ภาพที่ 3.1 เครื่องบดเยื่อ (valley beater)..... | 51 |
| ภาพที่ 3.2 เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบ Rapid-Köthen..... | 56 |
| ภาพที่ 3.3 เครื่องตีกระจายเยื่อ (disintegrator)..... | 57 |
| ภาพที่ 3.4 แสดงลักษณะสี CIE L*a*b* | 58 |
| ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดสมบัติเชิงแสงของแผ่นทดสอบ (Color Touch PC)..... | 59 |
| ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง | 60 |
| ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดความต้านทานแรงฉีก | 60 |
| ภาพที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของเยื่อก่อนเตรียมและเยื่อหลังเตรียม (ก) เยื่อก่อนเตรียมมีลักษณะเป็นแผ่นเปียกขนาดใหญ่ (ข) เยื่อหลังเตรียมซึ่งผ่านกระบวนการบดเยื่อ | 63 |
| ภาพที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของเยื่อยุคาลิปตัสที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมเยื่อทั้งก่อนฟอกและหลังฟอก และน้ำเยื่อทั้งก่อนฟอกและหลังฟอก โดย (ก) เยื่อก่อนฟอกมีสีน้ำตาล (ข) สารละลายเริ่มต้นที่ใช้ฟอกเยื่อ (ค) เยื่อหลังฟอกมีสีขาว (ง) สารละลายที่ได้จากการฟอกเยื่อ | 63 |
| ภาพที่ 4.3 (ก) ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือจากการฟอกเยื่อยุคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อเวลาที่ใช้ในการฟอกเยื่อ (ข) ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ | |

- ออกไซด์ที่เหลือภายหลังจากการฟอกเยื่อคาลิปต์สที่เวลา 120 นาที เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส..... 64
- ภาพที่ 4.4** ค่าค่าปทานัมเบอร์ของเยื่อคาลิปต์สที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที..... 65
- ภาพที่ 4.5** ค่าความขาวสว่างของแผ่นทดสอบที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที..... 68
- ภาพที่ 4.6** ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ ของการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที 70
- ภาพที่ 4.7** ค่าความทึบแสงของเยื่อคาลิปต์สที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที..... 72
- ภาพที่ 4.8** ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของเยื่อคาลิปต์สที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที 73
- ภาพที่ 4.9** ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกของเยื่อคาลิปต์สที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที 74
- ภาพที่ 4.10** ผลของไอออนสังกะสีต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ จากการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที..... 76
- ภาพที่ 4.11** ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าค่าปทานัมเบอร์ เมื่อกำหนดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที 78

ภาพที่ 4.12 ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที.....80

ภาพที่ 4.13 ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อสี CIE L*a*b* ของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที.....82

ภาพที่ 4.14 ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าความทึบแสงของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที.....84

ภาพที่ 4.15 ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที 85

ภาพที่ 4.16 ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าดัชนีด้านแรงฉีกของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที.....86

ภาพที่ 4.17 ผลของสารคงตัวต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่จากการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว 89

ภาพที่ 4.18 ผลของสารคงตัวต่อค่าคัปานัมเบอร์ของเยื่อยูคาลิปตัสที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ

ไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคั่งที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคั่งที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว.....103

ภาพที่ 4.24 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอและอีดีทีเอต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หลังการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคั่งที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที (ก) ความเข้มข้นของโคโทซาน ดีทีเอ และดีทีพีเอที่ร้อยละ 1 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง (ข) ความเข้มข้นของโคโทซาน ดีทีเอ และดีทีพีเอที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง.....106

ภาพที่ 4.25 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคั่งที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง109

ภาพที่ 4.26 โครงสร้างของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอในการสร้างพันธะกับไอออนสังกะสี ก) ไอออนสังกะสี-อีดีทีเอ [26] ข) ไอออนสังกะสี-ดีทีพีเอ [26] ค) ไอออนสังกะสี-โคโทซาน [56] 110

ภาพที่ 4.27 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าค่าปานัมเบอร์หลังการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคั่งที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง.....114

ภาพที่ 4.28 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อ

ต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมโคโชนาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง.....125



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สารเคมีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมฟอกเยื่อได้แก่ แก๊สคลอรีน (chlorine, Cl_2) แก๊สออกซิเจน (oxygen, O_2) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite, NaOCl) แก๊สโอโซน (ozone, O_3) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) เป็นต้น [1] แนวโน้มการใช้สารเคมีจำพวกคลอรีนในการฟอกเยื่อมีทิศทางการใช้งานลดลง เนื่องจากสารเหล่านี้จัดเป็นสารก่อมะเร็งและมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืช สัตว์และมนุษย์ จึงทำให้การฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้รับความนิยม เนื่องจากมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเยื่อที่ผ่านการฟอกแล้วให้ค่าความขาวสว่างค่อนข้างสูงและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางมากในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ความสามารถในการฟอกเยื่อสามารถทำงานได้ดีในภาวะเบส ส่งผลให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถแตกตัวเป็นเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (HOO^-) ซึ่งเป็นนิวคลีโอไฟล์ในการเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ในโครงสร้างของลิกนิน โดยลิกนินจะส่งผลให้กระดาษที่ได้มีสีเหลือง ดังนั้นการฟอกเยื่อจึงเป็นการกำจัดลิกนินออก เพื่อเพิ่มความขาวสว่างของเยื่อให้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะลดลง เมื่อมีไอออนของโลหะทรานซิชัน เช่น ทองแดง ไอออน เหล็กไอออน และแมงกานีสไอออน เนื่องจากโลหะทรานซิชันเหล่านี้จะไปเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่งผลให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (peroxy radical, O_2^\cdot) โดยจะเข้าไปทำลายเซลล์ลูลอส ทำให้ความแข็งแรงของเยื่อลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการฟอกเยื่อมากเกินไปจนจำเป็น โลหะทรานซิชันเหล่านี้มักพบในน้ำประปาที่ใช้ในกระบวนการฟอกเยื่อ โดยน้ำประปาในประเทศไทยมีการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่หลายชนิดด้วยกัน โลหะสังกะสีสามารถพบได้ทั่วไปในทุกโรงงานของการผลิตน้ำประปาในประเทศไทย [2] ซึ่งโลหะสังกะสีส่งผลต่อการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงมีการเติมสารคงตัว (stabilizing agents) เช่น แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate, MgSO_4) และโซเดียมซิลิเกต (sodium silicate, Na_2SiO_3) เพื่อช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ยังมีการเติมสารคีเลต (chelating agents) ได้แก่ ไดเอทิลีนไตรเอมีนเพนตะแอกซีติกแอซิด (diethylene triamine pentacetic acid, DTPA) และเอทิลีนไดเอมีนเทตระแอกซีติกแอซิด (ethylenediamine tetraacetic acid, EDTA) ซึ่งทำหน้าที่จับโลหะทรานซิชัน และช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ถึงแม้ว่าการเติมสารคงตัวและสารคีเลต จะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และช่วยจับไอออนของโลหะทรานซิชันแล้ว ยังส่งผลให้สมบัติกระดาษเชิงแสงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอีกด้วย แต่เนื่องด้วยดีทีพีเอและอีดีทีเอเป็นสารคีเลตที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำโคโทซานซึ่งวัสดุชีวภาพและสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มาใช้แทนสารคีเลต เนื่องจากมีสมบัติในการจับไอออนของโลหะได้ นอกจากนี้มีบางงานวิจัยศึกษาการใช้โคโทซานเพื่อช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเพิ่มความขาวสว่างในการฟอกเยื่อแอสเพน แต่ยังไม่มียงานวิจัยใดที่ศึกษาในเชิงสมบัติกระดาษ โดยเฉพาะเยื่อคาลิปต์สที่มีการใช้มากที่สุดในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในน้ำที่ปนเปื้อนไอออนสังกะสี เพื่อลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มสมบัติเชิงแสงและสมบัติด้านความแข็งแรงของเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อสมบัติของเยื่อและกระดาษที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เยื่อที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เยื่อคาลิปต์ส คามาลดูเลนซิส (camaldulensis) ซึ่งเป็นเยื่อทางการค้า (commercial unbleached) ภาวะการฟอกเยื่อที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กำหนดความเข้มข้นเยื่อที่ร้อยละ 15 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ช่วงความเป็นกรดต่างถูกควบคุมให้คงที่ที่ 10.5 ± 0.2 อุณหภูมิในขณะฟอกเยื่อ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที เยื่อที่ผ่านการฟอกแล้ว จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน กล่าวคือ ส่วนที่หนึ่ง จะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) ของเส้นใย และหาค่าคัปปานัมเบอร์ (kappa number) ส่วนที่สองจะถูกนำขึ้นแผ่นที่น้ำหนักมาตรฐาน 70 แกรม แล้ววัดสมบัติด้านความแข็งแรง ได้แก่ ความแข็งแรงต่อแรงดึง ความต้านทานแรงฉีก และวัดสมบัติเชิงแสง ได้แก่ ความขาวสว่าง ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ และค่าความทึบแสง

1.3.2 ศึกษาผลความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ภายใต้ภาวะการฟอกเยื่อที่กำหนดต่อสมบัติด้านความแข็งแรงและสมบัติเชิงแสง หลังจากนั้นจึงทำการเลือกกระดาษความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ให้ค่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่สูงที่สุด สมบัติเชิงแสงสูงสุด และสมบัติความแข็งแรงต่ำที่สุดไปใช้ในลำดับการทดลองขั้นต่อไป

1.3.3 ศึกษาผลของการมีอยู่ของไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือภายหลังการฟอกเยื่อ โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกนั้นจะได้จากขั้นตอนที่ 1.3.2 และการฟอกถูกควบคุมให้อยู่ได้ภาวะการฟอกที่กำหนด ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือถูกวิเคราะห์โดยวิธีไอโอโดเมตริกไทเทรชัน และทำการทดสอบสมบัติของเยื่อและกระดาษตามที่ระบุในขอบเขต 1.3.1

1.3.4 ศึกษาการมีอยู่ของสารคงตัวต่อการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยมีสารคงตัวถูกกำหนดที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในที่นี้สารคงตัวที่เลือกใช้ ได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์และแมกนีเซียมซัลเฟต

1.3.5 ศึกษาผลของสารคีเลตต่อการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารคีเลตที่ใช้ ได้แก่ เอทิลีนไดเอมีนเทระแอซิดิกแอซิด (อีดีทีเอ) ไตรเอทิลีนไตรเอมีนเพนตะแอซิดิกแอซิด (ดีทีพีเอ) ไคโทซาน ความเข้มข้นของสารคีเลตจะอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ปริมาณของโลหะสังกะสีที่เหลืออยู่หลังจากการฟอกเยื่อ โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถลดผลของโลหะสังกะสีต่อการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มสมบัติเชิงแสงและสมบัติด้านความแข็งแรงของเยื่อและกระดาษผ่านการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย แหล่งที่มาของเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเยื่อและกระดาษ เส้นใย การฟอกเยื่อ ไซโทซาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 แหล่งที่มาของเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเยื่อและกระดาษ

แหล่งวัตถุดิบเส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษส่วนใหญ่มาจากวัตถุดิบเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช มีทั้งประเภทไม้ยืนต้นและไม้ล้มลุก เส้นใยที่ได้จากพืชมักมาจากเนื้อไม้ แต่ใบผล และลำต้นของพืชที่ไม่ให้เนื้อไม้สามารถถูกนำมาใช้เป็นแหล่งเส้นใย เช่น สับปะรด ฝ้าย และปอ-แก้ว เป็นต้น หากใช้ส่วนต่างๆของพืชเป็นแหล่งที่มาของเส้นใย เป็นเกณฑ์ในการแบ่งเส้นใย จึงอาจแบ่งเส้นใยออกเป็น 2 ประเภท คือ เส้นใยที่ได้มาจากเนื้อไม้ (wood fiber) และเส้นใยที่ไม่ได้มาจากเนื้อไม้ (non-wood fiber) [3-6]

2.1.1 เส้นใยที่มาจากเนื้อไม้

เนื้อไม้ของพืชแบ่งย่อยได้อีก 2 ประเภท คือ ไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง ซึ่งไม้ทั้งสองประเภทนี้ จะมาจากกลุ่มพืชที่ต่างกันและมีลักษณะเส้นใยที่ต่างกัน ดังนี้

2.1.1.1 ไม้เนื้ออ่อน (softwood) เป็นไม้ในกลุ่มของพืชเมสสิตเปลือย หรืออาจเรียกว่าเป็นไม้ใบแคบ เนื่องจากใบมีลักษณะรูปร่างเหมือนรูปเข็ม เขียวตลอดทั้งปี เป็นไม้ที่ไม่มีการผลัดใบ พบมากในแถบประเทศเขตร้อน เซลล์ในเนื้อไม้โดยรวมจะมีลักษณะของเซลล์ยาว ตรง ทำให้กระบวนการจัดการต่างๆ เกี่ยวกับเนื้อไม้ทำได้ง่าย จึงนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ได้แก่ สน (coniferous species) และ สปรูซ (spruce) เป็นต้น

2.1.1.2 ไม้เนื้อแข็ง (hardwood) เป็นเนื้อไม้ของพืชดอกในกลุ่มของพืชใบเลี้ยงคู่ หรือเรียกว่าไม้ใบกว้าง (broadleaves) เนื่องจากใบมีลักษณะใบกว้างและมีการผลัดใบในฤดูใบไม้ร่วง พืชประเภทนี้มักพบในแถบเขตร้อน เซลล์เส้นใยที่อยู่ในไม้เนื้อแข็งจะให้ความแข็งแรงแก่ลำต้น ในขณะที่การลำเลียงน้ำและแร่ธาตุจะเป็นหน้าที่ของเวสเซล กระดาษที่ผลิตจากไม้เนื้อแข็งมักมีค่าความแข็งแรงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกระดาษที่ผลิตจากไม้เนื้ออ่อน แต่กระดาษที่ผลิตจากไม้เนื้อแข็งมีความเรียบเนียนมากกว่ากระดาษที่ผลิตจากไม้เนื้ออ่อน ตัวอย่างของพืชที่จัดเป็นไม้เนื้อแข็ง เช่น ต้นยูคาลิปตัส ต้นกระถินณรงค์ และต้นกระถินเทพา เป็นต้น

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เชื้อจากต้นยูคาลิปตัส จึงแสดงรายละเอียดเฉพาะของเชื้อยูคาลิปตัส ดังนี้

ยูคาลิปตัส (eucalyptus) [1, 6-9]

ยูคาลิปตัสเป็นวัชพืชที่สำคัญในการผลิตเยื่อและกระดาษในประเทศไทย จัดอยู่ในกลุ่มไม้เนื้อแข็ง และยูคาลิปตัสมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปออสเตรเลีย มีจำนวนมากกว่า 700 ชนิด โดยกระจายอยู่ทั่วประเทศออสเตรเลีย ยกเว้นในรัฐทัสมาเนีย ส่วนไม้ยูคาลิปตัสจำนวน 2 ชนิดเท่านั้นที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศอินโดนีเซีย แคว้นเกาะต่างๆ และติมอร์ คือ ยูคาลิปตัสยูโรฟิลลา (*Eucalyptus urophylla* S.T.Blake) และยูคาลิปตัสดีกลูปตา (*Eucalyptu deglupta* B1) พบในป่าป่านิวกินี ติมอร์ อินโดนีเซีย

สำหรับการปลูกยูคาลิปตัสในประเทศไทยนั้น เริ่มมีการนำเข้ามาปลูกครั้งแรกที่ พระที่นั่งวิมานเมฆ สมัยรัชกาลที่ 5 เมื่อปี พ.ศ. 2444 ต่อมาในปี พ.ศ. 2492 กรมป่าไม้ได้นำยูคาลิปตัสเข้ามาทดลองปลูกที่จังหวัดเชียงใหม่เป็นแห่งแรก ระยะเวลาของการปลูกนั้นเพื่อการค้า แต่การปลูกยูคาลิปตัสในช่วงนั้นยังไม่ได้รับความนิยม จนกระทั่งเกิดปัญหาขาดแคลนไม้ใช้สอย เพราะป่าธรรมชาติถูกทำลายลงอย่างรวดเร็ว อีกทั้งขาดแคลนวัตถุดิบของอุตสาหกรรมกระดาษ การปลูกยูคาลิปตัสจึงได้รับการสนับสนุนอย่างจริงจังอีกครั้ง ในปี 2519 จากรัฐบาล จึงทำให้การปลูกยูคาลิปตัสและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้รับความนิยมมากขึ้น

ยูคาลิปตัส ชนิดคามาลดูเลนซิส หรือที่นิยมเรียกว่า ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ได้รับความนิยมในการปลูก เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้ดีในแบบทุกสภาพพื้นที่ ทุกสภาพดิน ยกเว้นดินที่มีหินปูนสูง และมีอัตราการเจริญเติบโตสูง จึงจัดเป็นพืชโตเร็วไม่ผลัดใบ สามารถตัดได้ตั้งแต่อายุ 3-5 ปี

ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. จัดอยู่ในวงศ์ ไม้ชมพู (MYRTACEAE) และมีชื่อทางการค้าสามัญว่า River red gum, Red gum, Murray red gum และ River gum ยูคาลิปตัสที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่ จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษเท่ากับร้อยละ 60 ของจำนวนที่ปลูก ซึ่งประเทศไทยมีโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษประมาณ 6 โรง รองลงมาร้อยละ 30 ของจำนวนที่ปลูก จะถูกนำไปใช้เป็นชิ้นไม้ (chip wood) ประเทศไทยสามารถส่งออกเยื่อกระดาษใยสั้นจากไม้ยูคาลิปตัสคิดเป็นสัดส่วน 1 ใน 3 ของเยื่อกระดาษใยสั้นที่ผลิตได้ทั้งหมด

ก. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของยูคาลิปตัส

ลำต้น เป็นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มีความสูง 24-26 เมตร และอาจสูงถึง 50 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1-2 เมตร หรืออาจโตมากกว่านี้ รูปทรงสูง มีกิ่งก้านน้อย

ใบ เป็นคู่ตรงข้ามเรียงสลับกัน ลักษณะใบเป็นรูปหอก มีขนาด 2.5-12 x 0.3-0.8 นิ้ว ก้านใบยาว ใบสีเขียวอ่อนทั้งสองด้าน บางครั้งมีสีเทา ใบบาง ห้อยลง เส้นใบมองเห็นได้ชัด

เปลือก มีลักษณะเรียบเป็นมัน มีสีเทาสลับสีขาว และน้ำตาลแดงเป็นบางแห่ง เปลือกนอกจะแตกร่อนเป็นแผ่นหลุดออกจากผิวของลำต้น เมื่อแห้งจะลอกออกได้ง่าย

เมล็ด ขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร สีเหลือง เมล็ด 1 กิโลกรัม มีเมล็ดประมาณ 1-200,000 เมล็ด

ช่อดอก เกิดที่ข้อต่อระหว่างกิ่งกับใบ มีก้านดอกเรียวยาว และมีก้านย่อยแยกไปอีก ออกดอกเกือบตลอดปี ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้นไม้บางครั้งมีทั้งดอกตูม ดอกบาน ผลอ่อน และผลแก่ในกิ่งเดียวกัน ในประเทศไทยออกดอกตลอดปี ออกทุกปี ดอกดกปีเว้นปี การผสมเกสรโดยแมลง สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็กๆ หรือนกและลม

ผล มีลักษณะครึ่งวงกลมหรือรูปถ้วย มีขนาด 0.2-0.3 x 0.2-0.3 นิ้ว ผิวนอกแข็ง เมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีเขียวและจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อแก่ เมื่อผลแก่ปลายผลจะแยกออก ทำให้เมล็ดที่อยู่ภายในร่วงหล่นออกมา

เนื้อไม้ มีลักษณะเป็นแก่นสีน้ำตาล กระทบสีน้ำตาลอ่อน กระทบและแก่นสี แตกต่างเห็นได้ชัด ไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันสูงที่มีอายุน้อยจะมีสีน้ำตาลแดงเข้มกว่าไม้ยูคาลิปตัส เนื้อไม้มีลักษณะค่อนข้างละเอียด

รากไม้ เป็นไม้ที่มีรากแก้วลึก สะกิดน้ำได้ดี จึงเติบโตได้รวดเร็วในที่แห้งแล้ง ทนทานต่อสภาพหลายอย่างได้ดี

ข. การใช้ประโยชน์จากไม้ยูคาลิปตัส [9]

ไม้ยูคาลิปตัสสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่างๆ ดังนี้

ประโยชน์ทางตรง

ทำไม้ใช้สอย เฟอร์นิเจอร์ เครื่องเรือน ทำรั้ว ทำคอกปศุสัตว์ ทำเสา ใช้ในการก่อสร้างต่างๆ ไม้ยูคาลิปตัสสามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาคารบ้านเรือนได้ แต่ควรจะได้ทำการอาบน้ำยารักษาเนื้อไม้ไว้ก่อน ก็จะยืดอายุ การใช้งานได้นาน

ทำฟืน เผาถ่าน ถ่านไม้ยูคาลิปตัสใช้เป็นเชื้อเพลิงติดไฟได้ดีและมีเข็ถ่านน้อย จากการทดลอง ไม้ฟืนยูคาลิปตัสให้พลังงานความร้อน 4,800 แคลอรีต่อกรัม ส่วนถ่านไม้ยูคาลิปตัส ให้พลังงานความร้อน 7,400 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งให้ความร้อนใกล้เคียงกับถ่านไม้โกงกาง ซึ่งจัดว่าเป็นถ่านไม้ชั้นดีที่สุด

ทำชิ้นไม้สับ ไม้ยูคาลิปตัสเมื่อนำมาแปรรูปและสับทำชิ้นไม้สับ สามารถนำไปผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัด แผ่นปาร์ติเกิล และแผ่นไม้อัดซีเมนต์

ทำเยื่อไม้ ไม้ยูคาลิปตัสสามารถแปรรูปทำเยื่อไม้ยูคาลิปตัส โดยไม้ท่อนยูคาลิปตัส 4.5 ตัน ผลิตเยื่อไม้ได้ 1 ตัน เยื่อไม้ให้สารพวกเซลลูโลส ซึ่งนำไปใช้ทำเส้นใยเรยอนและทำผ้าแทนเส้นใยฝ้าย และปุ๋ยนุ่นได้อีกด้วย

ทำกระดาษ จากการประเมินเยื่อไม้ยูคาลิปตัส 1 ตัน ผลิตเยื่อกระดาษได้ประมาณ 1 ตัน เยื่อไม้ยูคาลิปตัสมีคุณสมบัติเด่น คือ มีความฟูสูง และมีความทึบแสง ประกอบกับเส้นใยมีความแข็งแรงเหมาะต่อการใช้ทำกระดาษพิมพ์เขียนประเภทต่างๆ

2.1.2 เส้นใยที่ไม่ได้มาจากเนื้อไม้

พืชที่ไม่ให้เนื้อไม้เป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเยื่อและกระดาษในหลายๆ ประเทศที่ปริมาณการผลิตเยื่อไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน สำหรับพืชที่ไม่ให้เนื้อไม้ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อ มักเป็นพืชล้มลุกที่มีอยู่ตามธรรมชาติได้แก่ ฟางข้าว ต้นไผ่ ต้นกก ต้นอ้อ ปอสา ลิ้นจี่ ป่าน ปอกระเจา ฝ้าย เป็นต้น

2.2 โครงสร้างของเส้นใย (fiber structure)

เส้นใยของพืชมีลักษณะเรียวยาวหัวท้ายปิด โครงสร้างหลักๆ ของเส้นใยมีการแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น คือ ชั้นมิดเดิลลามেলা (middle lamella) ชั้นผนังเซลล์ (cell wall) และลูเมน (lumen) [3, 4, 10] ดังนี้

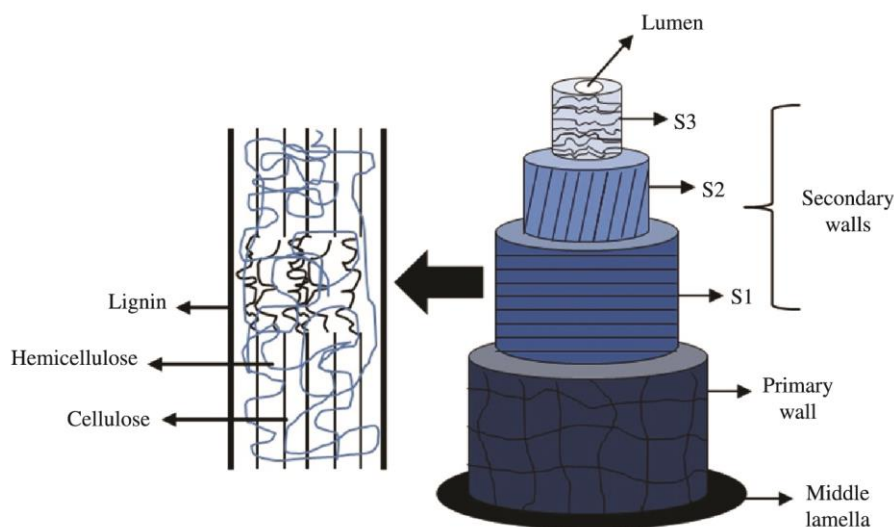
2.2.1 ชั้นมิดเดิลลามেলা (middle lamella, M)

เป็นชั้นบริเวณนอกสุดของเส้นใยประกอบด้วยลิกนิน (lignin) มีหน้าที่เป็นตัวเชื่อมเส้นใยให้ยึดติดกันในเนื้อไม้ แต่ไม่ได้เป็นส่วนของผนังเซลล์ มีขนาดบาง ดังแสดงในภาพที่ 2.1

2.2.2 ชั้นผนังเซลล์ของเส้นใย (cell wall)

ชั้นผนังเซลล์ของเส้นใยแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall) และ ชั้นผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell wall) ดังนี้

2.2.2.1 ชั้นผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall, P) มีผนังบางมาก เกิดจากเส้นใยขนาดเล็กย่อย (microfibril) ยึดหยุ่นดี เรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (amorphous) ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างเส้นใย [11]

2.1.2.2 ชั้นผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell wall, S) เป็นชั้นที่ผนังหนาที่สุด ประกอบไปด้วยเส้นใยขนาดย่อย (microfibril) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ตามการเรียงตัวของเส้นใยขนาดย่อย คือ ชั้น S_1 ชั้น S_2 และ ชั้น S_3 (ดังแสดงในภาพที่ 2.1) โดยชั้น S_1 และ S_3 มีขนาดบาง และการเรียงตัวของเส้นใยขนาดย่อยจะเรียงตัวตามแนวขนานเมื่อเทียบกับแกนของเซลล์ ส่วนในชั้น S_2 เป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุดส่วนการเรียงตัวของเส้นใยขนาดย่อยจะเอียงทำมุมกับแกนของเซลล์

2.2.3 ลูเมน (lumen)

มีลักษณะเป็นท่ออยู่ตรงกลางของเส้นใย ถัดจากผนังเซลล์เส้นใยชั้นที่ 2 หรือชั้นที่ 3 เข้าไป ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ลูเมนเป็นบริเวณที่สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการต้มเยื่อซึมเข้ามาทำปฏิกิริยากับเส้นใย

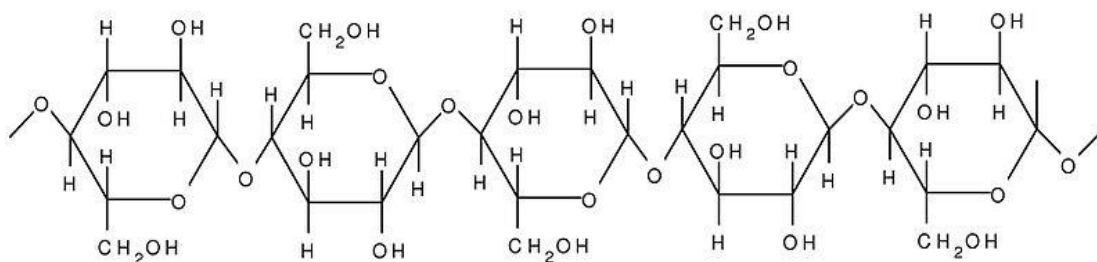
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย (chemical composition of wood pulp fiber)

เส้นใยจากเนื้อไม้มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และ สารแทรก เส้นใยที่มาจากพืชที่ต่างชนิดกัน จะมีสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย มีรายละเอียด ดังนี้

2.3.1 เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) ในพืช เป็นสารที่ให้ความแข็งแรงมากที่สุดและพบในปริมาณมากที่สุด จัดเป็นสารคาร์โบไฮเดรต (carbohydrates) ประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) อยู่ในกลุ่มพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) เกิดจากกลูโคสจำนวนมากเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรง (linear chain) ด้วยพันธะเบต้า-(1-4)

ไกลโคซิดิก (β -1,4 glycosidic bond) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดยโมเลกุลของกลูโคสจะเชื่อมต่อกันที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสโมเลกุลหนึ่งกับคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 4 ของโมเลกุลถัดไป หน่วยย่อยพื้นฐาน (basic subunit) ของเซลลูโลสคือ เซลโลไบโอส (cellobiose) ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุลเชื่อมต่อกัน และความยาวของสายโซ่เซลลูโลส (degree of polymerization, DP) คือ จำนวนของกลูโคสที่มาต่อกันเป็นพอลิเมอร์ในเนื้อไม้มี DP ถึง 10,000 หน่วย [3-5]



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส [12]

เซลลูโลสประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เรียงตัวแบบเป็นสัณฐาน (crystalline region) เป็นการจัดเรียงโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบ ความหนาแน่นสูง เชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ทำให้เซลลูโลสมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น ส่งผลให้ต้านทานตัวทำละลายหรือสารเคมีที่เข้าทำปฏิกิริยา รวมถึงการซึมผ่านนั้นเป็นไปได้ยาก และอีกส่วนจะจัดเรียงตัวแบบอสัณฐาน (amorphous region) มีลักษณะไม่เป็นระเบียบ เรียงตัวกันแบบหลวมๆ ความหนาแน่นต่ำ มีความยืดหยุ่นสูง ส่งผลให้เกิดการซึมเข้าของสารเคมีหรือตัวทำละลายสามารถทำได้ง่ายขึ้น จึงทำให้บริเวณนี้ไม่แข็งแรง ดังแสดงในภาพที่ 2.3



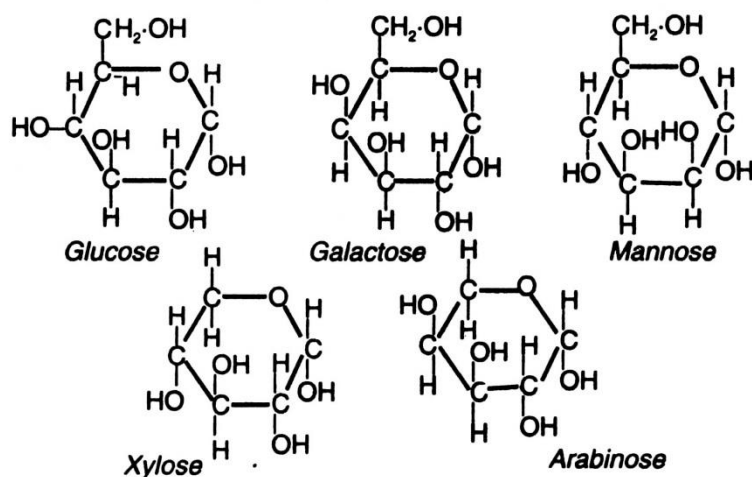
ภาพที่ 2.3 บริเวณส่วนที่เป็นผลึกและบริเวณที่เป็นอสัณฐานของเซลลูโลส [13]

2.3.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลส มีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขาต่างกับเซลลูโลสที่มีโครงสร้างเป็นแบบเส้นตรง เฮมิเซลลูโลสจัดเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน

(C), ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน(O) เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 5 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ได้แก่ ไซโลส (xylose) กับอะราบินอส (arabinose) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม และกลูโคส (glucose) กาแลคโตส (galactose) แมนโนส (mannose) เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีคาร์บอน 6 อะตอม รวมทั้งกรดกลูโคนิก (glucuronic acid) และกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) เนื่องด้วยเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด ค่าความแข็งแรงจึงต่ำ การเรียงตัวของโครงสร้างจึงเป็นแบบไม่เป็นระเบียบ มีการเรียงตัวเป็นแบบผลึก (crystalline) น้อย ส่วนมากจะมีการเรียงตัวเป็นแบบอสัณฐาน (amorphous) โครงสร้างเป็นแบบกิ่งก้านทำให้เฮมิเซลลูโลสสามารถอุ้มน้ำและพองตัวได้ดี ส่งผลให้สารเคมีในการต้มเยื่อซึมผ่านและทำปฏิกิริยาได้ง่าย ดังนั้นเฮมิเซลลูโลสจึงถูกทำลาย (degradation) ได้ง่ายกว่าเซลลูโลส ส่วนความยาวสายโซ่โมเลกุล (DP) ของเฮมิเซลลูโลสจะอยู่ในช่วง 100-200 ต่อเฮมิเซลลูโลส 1 โมเลกุล ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า และถูกสลายตัวได้ง่ายกว่าเซลลูโลส [3]

เฮมิเซลลูโลสมีความสำคัญต่อเยื่อและกระดาษ เนื่องจากมีลักษณะสายโซ่เป็นกิ่งก้าน (branching chain) มาก ทำให้เกิดการสร้างพันธะกับสายใยอื่นได้ดี ดังนั้นเยื่อที่มีเฮมิเซลลูโลสสูงจะ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength) และความแข็งแรงต่อการหักพับของกระดาษ (folding endurance) นอกจากนี้ยังให้ผลผลิตเยื่อสูงขึ้นด้วยเนื่องจากเส้นใยไมโดนทำลายมากในกระบวนการผลิตเยื่อแบบเคมี



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในเฮมิเซลลูโลส [14]

โดยทั่วไปส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตของเส้นใยทั้งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มักเรียกรวมกันว่าโฮโลเซลลูโลส (holocellulose) ซึ่งโฮโลเซลลูโลสประกอบด้วย 3 ชนิด ตามการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ดังนี้

1) แอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) มีความสำคัญมากต่ออุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เป็นส่วนที่เรียกว่า เซลลูโลสที่แท้จริง ซึ่งไม่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้องได้ ในการผลิตเยื่อไม่สามารถแยกแอลฟาเซลลูโลสออกมาได้อย่างบริสุทธิ์ มักจะมีน้ำตาลกลูโคแมนแนน (glucomanann) และแมนแนน (mannan) ปนด้วยเสมอ เนื่องจากน้ำตาลทั้งสองชนิดนี้ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 เช่นกัน แอลฟาเซลลูโลสมีโมเลกุลของกลูโคสหรือ DP (degree of polymerization) ตั้งแต่ 200 หน่วยขึ้นไป

2) เบต้าเซลลูโลส (β -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้อง และจะตกตะกอนในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด เบต้าเซลลูโลสจึงแยกได้จากส่วนที่ตกตะกอนในต่าง ค่า DP ของเบต้าเซลลูโลสจะอยู่ระหว่าง 100-200 หน่วย

3) แกมมาเซลลูโลส (γ -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้อง และละลายได้ด้วยสารละลายที่เป็นกรด แต่จะตกตะกอนได้โดยใช้แอลกอฮอล์ ดังนั้นแกมมาเซลลูโลสจึงแยกได้จากส่วนที่เป็นของเหลวในสารละลายต่าง ค่า DP ของแกมมาเซลลูโลสจะต่ำกว่า 10 หน่วย

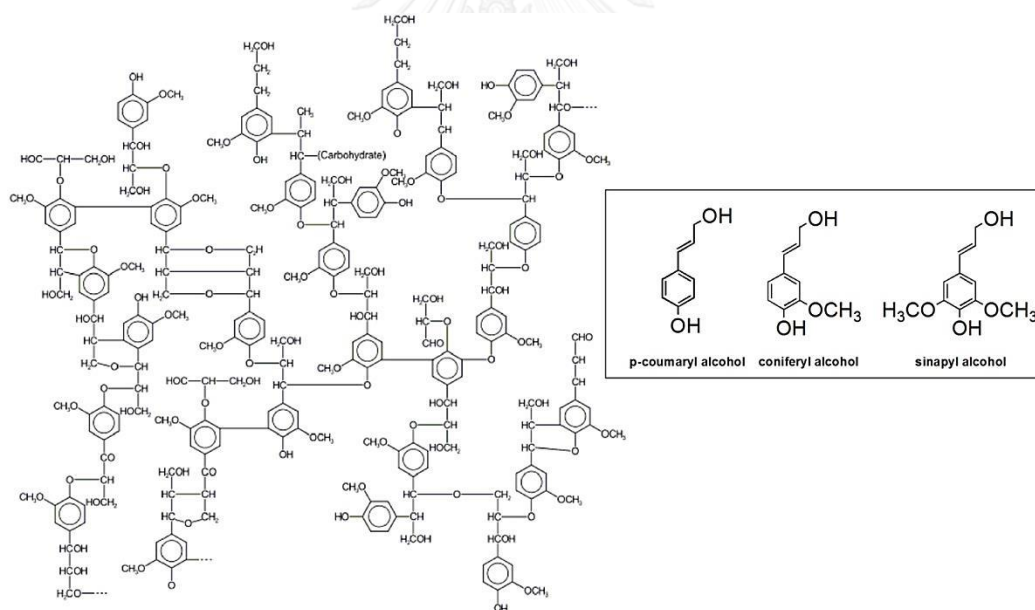
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3.3 ลิกนิน (lignin)

ลิกนินทำหน้าที่เหมือนกาวในการยึดทำให้เส้นใยแต่ละเส้นเชื่อมติดกัน มีน้ำตาล ดังนั้นการที่เนื้อไม้มีสีน้ำตาล เป็นผลมาจากเนื้อไม้มีลิกนินเป็นองค์ประกอบ ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ไม่มีส่วนที่เป็นผลึก ทำให้มีโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ เรียงตัวแบบอสัณฐานและมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 2-5 ลิกนิน ประกอบด้วย คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) รวมกันเป็นหน่วยย่อยของเฟนิลโพรเพน (phenyl propane) ซึ่งเป็นวงอะโรมาติก แล้วนำหลายๆ หน่วยมาเชื่อมกันเป็นโครงสร้าง 3 มิติ ซึ่งโครงสร้างสารประกอบอะโรมาติกของเฟนิลโพรเพน มีมอนอเมอร์ 3 ชนิด คือ พาราควมาริล แอลกอฮอล์ (*p*-coumaryl alcohol) คอนนิเฟอร์ลแอลกอฮอล์ (coniferly alcohol) และซินนาพิลแอลกอฮอล์ (sinapyl alcohol) โดยลิกนินพบมากที่บริเวณมิดเดิลลามลลาและกระจายตัวอยู่ในเส้นใย

ลิกนินในเชิงพาณิชย์และลิกนินที่ได้จากการทดลองมีลักษณะเป็นของแข็ง มีขนาดเป็นชิ้นเล็กๆ เป็นผงสีน้ำตาล ไม่ละลายน้ำ มีความหนาแน่น 1.3-1.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดัชนีหักเหของแสงเท่ากับ 1.6 โดยสมบัติของลิกนินที่ไม่ละลายในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 72 จะใช้เป็นตัวบอกความแตกต่างระหว่างลิกนิน เซลลูโลส และคาร์โบไฮเดรตอื่นๆในไม้ [15]

ลิกนินไม่มีส่วนช่วยในการเพิ่มสมบัติความแข็งแรงของกระดาษ เนื่องจากเป็นตัวขัดขวางการสร้างพันธะของเส้นใยในกระดาษ ส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงต่ำ ทำให้ลิกนินถูกกำจัดออกในขั้นตอนการต้มเยื่อเพราะต้องการเส้นใยเดี่ยวๆ และจะถูกกำจัดออกอีกครั้งในขั้นตอนการฟอกเยื่อ (bleaching) เพราะปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่มีผลต่อความเหลืองของกระดาษ (yellowness) เนื่องจากลิกนินมีองค์ประกอบทางเคมี เรียกว่า โครโมฟอร์ (chromophore) สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแสงและความชื้น ทำให้กระดาษสีขาวเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการฟอกเยื่อ เพื่อเพิ่มความขาวสว่าง (brightness) ให้กับเยื่อ [16]



ภาพที่ 2.5 หน่วยโครงสร้างของลิกนินและมอนอเมอร์ [17]

2.3.4 สารแทรก (extractives)

สารแทรกเป็นผลพลอยได้จากไม้ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างในเนื้อไม้ ทำให้ทนต่อแมลงและการเน่าผุ มักแทรกอยู่เป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้ ทำให้เนื้อไม้เกิดสี กลิ่น รส และมีหน้าที่ตามแต่ชนิดของสารนั้นในเนื้อไม้ เช่น ป้องกันการเสื่อมสลายของไม้ เป็นต้น ความหลากหลายของสารแทรกขึ้นอยู่กับชนิดของไม้หรือพืช ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารมวลโมเลกุลต่ำและอยู่ภายนอก

เซลล์ สารเคมีในไม้หรือเส้นใยสามารถสกัดได้โดยใช้ตัวทำละลาย โดยสารแทรกส่วนใหญ่เป็นสารจำพวก เรซิน กรดไขมัน ไขมัน และแอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพเป็นกรด องค์ประกอบของสารแทรกจะแตกต่างกันตามแต่ชนิดของไม้ สารแทรกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ สารแทรกที่ละลายน้ำกับสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

ในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษ สารแทรกอาจส่งผลเสียให้สิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อหรือฟอกเยื่อมากขึ้น อาจทำให้เกิดตะกอนตามท่อหรืออุปกรณ์ในกระบวนการผลิต รวมไปถึงสารแทรกทำให้เกิดฟองมากขึ้นในขั้นตอนล้างเยื่อ จึงทำให้การล้างทำความสะอาดเยื่อยากขึ้น และอาจทำให้กระดาษขาดหรือรบกวนการเดินกระดาษ ส่งผลให้กระดาษเสียหายได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากยางเหนียว (stickies)

2.4 กระบวนการผลิตเยื่อ (pulping process)

กระบวนการผลิตเยื่อ เป็นกระบวนการที่แยกเส้นใยจากชิ้นไม้ให้เป็นเส้นใยเดี่ยวๆ (individual fiber) โดยการเอาลิกนินหรือไม้อะลิกนินออกจากชิ้นไม้ก็ได้ โดยกระบวนการผลิตเยื่อแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการใหญ่ๆ ดังนี้

2.4.1 กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล (mechanical pulping)

เป็นกระบวนการที่ใช้แรงกลในการแยกเส้นใยออกจากไม้ให้เป็นเส้นใยเดี่ยวๆ โดยอาจมีการใช้ความร้อนเข้าร่วม การผลิตเยื่อเชิงกลให้ผลผลิตเยื่อ (pulp yield) สูงประมาณร้อยละ 90-95% เนื่องจากไม่กำจัดลิกนินออก ส่งผลให้เมื่อทิ้งไว้นานๆจะทำให้กระดาษกลับมาสีเหลือง เป็นผลจากลิกนินที่เหลืออยู่ทำปฏิกิริยากับแสง ความชื้น และความร้อน การผลิตจากเยื่อเชิงกลทำให้เส้นใยมีขนาดสั้น ทำให้กระดาษที่ได้มีความทึบแสงสูง [18]

2.4.2 กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกลกึ่งเคมี (chemi-mechanical pulping)

เป็นกระบวนการที่ผสมระหว่างแรงกลและสารเคมี แล้วทำให้ชิ้นไม้อ่อนตัวหรือลิกนินบางส่วนละลายออกโดยใช้สารเคมี แล้วทำการแยกเส้นใยโดยใช้แรงกล เส้นใยไม่มีความยืดหยุ่นเท่ากับเยื่อเคมี แต่มีความยืดหยุ่นมากกว่าเยื่อเชิงกล เยื่อที่ได้มีความแข็งแรงมากกว่าเยื่อที่ผลิตเยื่อแบบเชิงกล แต่แข็งแรงน้อยกว่าเยื่อเคมี การผลิตด้วยวิธีนี้ไม่นิยมนำมาฟอกเยื่อเพิ่มความขาวสว่างให้มากนัก เนื่องจากมีปริมาณลิกนินเหลืออยู่ค่อนข้างมาก ทำให้ขาวได้ยากและสิ้นเปลืองสารเคมี [10, 19]

2.4.3 กระบวนการผลิตเยื่อเคมี (chemical pulping)

เป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีเพื่อละลายลิกนินภายในเนื้อไม้ ทำให้เส้นใยแยกออกจากกัน นอกจากจะละลายลิกนินแล้ว ยังไปละลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสบางส่วนออกมาด้วย โดยวิธีนี้ให้ผลผลิตเยื่อประมาณร้อยละ 40-50 เยื่อเคมีที่ได้สามารถนำไปทำการฟอกเยื่อต่อได้

ง่าย เนื่องจากลิกนินถูกกำจัดออก เยื่อผลิตด้วยวิธีนี้อาจกลับมาเป็นสีเหลือง (yellowing and brightness reversion) ได้ต่ำกว่าเยื่อที่ผลิตจากเยื่อเชิงกล การผลิตเยื่อเคมีส่งผลให้กระดาษที่ได้มีความแข็งแรงสูง โดยทั่วไปแล้วกระบวนการผลิตเยื่อเคมีแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

ก. กระบวนการผลิตเยื่อเคมีแบบกรด (acidic pulping) กระบวนการผลิตเยื่อเคมีแบบกรดหรือเรียกว่ากระบวนการผลิตเยื่อแบบซัลไฟต์ (sulfite pulping) เนื่องจากใช้กรดซัลฟิวรัส (H_2SO_3) และไอออนไบซัลไฟต์ (HSO_3^-) เป็นสารต้มเยื่อในการละลายลิกนิน การผลิตด้วยวิธีนี้เยื่อที่ได้จะให้ค่าความขาวสว่างสูง ง่ายต่อการนำเยื่อไปพอก

ข. กระบวนการผลิตเยื่อเคมีแบบด่าง (alkaline pulping) เป็นกระบวนการที่ใช้ต่างในการต้มเยื่อ ซึ่งสารเคมีจะเข้าทำปฏิกิริยาในเนื้อไม้โดยการแทรกซึมและการกระจายตัว โดยการแทรกซึมผ่านรูเข้าไปในเนื้อไม้ ส่วนการกระจายตัวของสารเคมีที่ละลายได้เกิดจากความเข้มข้นของสารเคมีที่ต่างกัน ซึ่งสารต้มเยื่อกระจายตัวเข้าทำปฏิกิริยากับชิ้นไม้ ทำให้เกิดการกำจัดลิกนินออกจากเนื้อไม้ (delignification) โดยลิกนินและองค์ประกอบอื่นๆ เมื่อทำปฏิกิริยาแล้วละลายออกมาจากเนื้อไม้ ซึ่งกระบวนการสามารถนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย ตัวอย่างของกระบวนการนี้ได้แก่ กระบวนการผลิตเยื่อแบบโซดา (soda pulping) และกระบวนการผลิตเยื่อแบบคราฟต์ (kraft pulping) โดยในกระบวนการผลิตเยื่อแบบโซดานั้น ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อ นิยมใช้กับพืชที่ไม่มีเนื้อไม้ (non wood plant) ส่วนวิธีการผลิตเยื่อแบบคราฟต์ ดัดแปลงมาจากวิธีโซดา ซึ่งมีการเติมโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เยื่อที่ผลิตได้จากวิธีคราฟต์จะให้ความแข็งแรงสูง [6]

2.5 การฟอกเยื่อ (bleaching)

2.5.1 กระบวนการฟอกเยื่อ

การฟอกเยื่อเป็นการปรับปรุงค่าความขาวสว่าง (brightness) ของเยื่อให้สูงขึ้น เนื่องจากเยื่อบางชนิดจะมีลิกนิน (lignin) หลงเหลือในโครงสร้างหลังจากผ่านการต้มเยื่อ โดยการฟอกเยื่อต้องการให้ค่าความขาวสว่างมีความคงสภาพ ไม่เกิดการกลับสี (brightness reversion) ซึ่งภายในโครงสร้างของลิกนินมีหมู่โครโมฟอร์ (chromophor groups) สามารถทำปฏิกิริยากับแสงและความชื้น ทำให้หมู่ฟีนอลิก (phenolic group) ในโครงสร้างของลิกนินเปลี่ยนไป เยื่อที่ได้มีสีเหลือง จึงส่งผลให้กระดาษสีขาวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง จึงส่งผลให้มีค่าความขาวสว่าง (brightness) ต่ำ ดังนั้นหากต้องการปรับปรุงค่าความขาวสว่างของเยื่อให้สูงขึ้น จึงจำเป็นต้องนำเยื่อเหล่านั้นเข้าสู่กระบวนการฟอกเยื่อ โดยทั่วไปกระบวนการฟอกเยื่อถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การฟอกลิกนิน (lignin bleaching) และ การกำจัดลิกนิน (lignin removal) มีรายละเอียด ดังนี้ [16, 20]

ก) การฟอกลิกนิน (lignin bleaching) เป็นกระบวนการฟอกเยื่อโดยวิธีการเปลี่ยนสีของลิกนิน โดยใช้สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ภายในลิกนิน เป็นการเปลี่ยน

โครงสร้างของหมู่โครโมฟอร์ ส่งผลให้ลิกนินไม่มีสีเมื่อเกิดปฏิกิริยากับแสง ซึ่งเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยวิธีนี้ยังคงมีลิกนินหลงเหลืออยู่ในเส้นใย เนื่องจากยังไม่ได้กำจัดลิกนินออก จึงทำให้เยื่อในกลุ่มนี้มีผลผลิตเยื่อสูง (high yield pulp) เช่น เยื่อเชิงกล เป็นต้น ค่าความขาวสว่างที่ได้อยู่ในระดับปานกลางและเป็นความขาวสว่างที่ไม่ถาวร สารเคมีที่นิยมใช้ในการฟอกลิกนิน ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) โซเดียมเปอร์ออกไซด์ (sodium peroxide, Na_2O_2) และโซเดียมไดไรโอไนต์ (sodium dithionite, $Na_2S_2O_4$) เป็นต้น

ข) การกำจัดลิกนิน (lignin removal) การฟอกเยื่อโดยวิธีการกำจัดลิกนินออกจากเยื่อ (delignification) ทำให้เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยวิธีนี้มีค่าความขาวสว่างสูงและค่อนข้างถาวร คงทนต่อสภาพแวดล้อมทั้งความชื้นและแสงแดด เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยวิธีนี้จะให้ผลผลิตต่ำ (low yield pulp) เนื่องจากกำจัดลิกนิน ออกจากเยื่อแล้ว เช่น เยื่อเคมี เป็นต้น สารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อด้วยวิธีกำจัดลิกนิน ได้แก่ คลอรีน (chlorine, Cl_2) คลอรีนไดออกไซด์ (chlorine dioxide, ClO_2) แก๊สออกซิเจน (oxygen, O_2) และแก๊สโอโซน (ozone, O_3) เป็นต้น

2.5.2 ขั้นตอนการฟอกเยื่อและระบบของการฟอกเยื่อ

ก. ขั้นตอนการฟอกเยื่อ ประกอบด้วยหลัก 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนการผสม (mixing) ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา (reaction) และขั้นตอนการล้าง (washing)

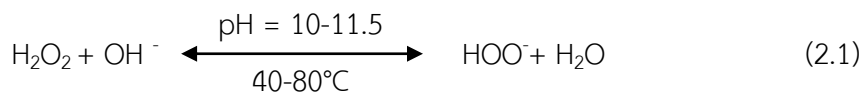
1) ขั้นตอนการผสม (mixing) เป็นขั้นตอนการผสมเยื่อกับสารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อ หรืออาจมีการใช้น้ำเพื่อช่วยเพิ่มอุณหภูมิ

2) ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา (reaction) เป็นขั้นตอนที่ทำให้เยื่อและสารเคมีเกิดปฏิกิริยากันภายหลังจากการผสมในขั้นแรก

3) ขั้นตอนการล้าง (washing) เป็นการนำเยื่อภายหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้วเข้าสู่ขั้นตอนการล้าง เพื่อนำลิกนินที่ผ่านการทำปฏิกิริยาแล้วออกจากเยื่อและเป็นการล้างสารเคมีออกจากเยื่อที่ฟอกแล้ว

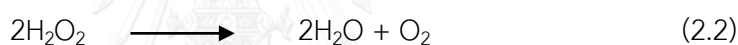
ข. ระบบของการฟอกเยื่อ ประกอบด้วย การฟอกเยื่อแบบหลายขั้นตอนและการฟอกเยื่อแบบขั้นตอนเดียว มีดังต่อไปนี้ [21]

1) การฟอกเยื่อแบบหลายขั้นตอน (multiple-stage bleaching) ระบบของการฟอกเยื่อด้วยสารเคมีในแบบหลายขั้นตอน แบ่งออกเป็น ระบบดั้งเดิม (conventional) ระบบ elementary chlorine free (ECF) และระบบ totally chlorine free (TCF) โดยระบบดั้งเดิมเป็นระบบของการฟอกเยื่อที่ใช้ก๊าซคลอรีนในกระบวนการฟอก ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม ส่วนระบบ ECF เป็นระบบการฟอกที่สามารถใช้สารที่มีองค์ประกอบของคลอรีนได้ เช่น คลอรีนไดออกไซด์ ส่วนระบบ TCF นั้นเป็นระบบการฟอกที่ไม่ใช้คลอรีนและสารที่มีชื่อของคลอรีนเป็นองค์



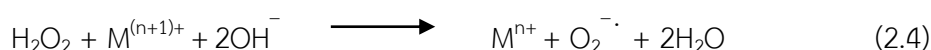
โดยเปอร์ไฮดรอกซิลไอออน (OOH^-) ทำหน้าที่เป็นนิวคลีโอไฟล์ ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนินที่อยู่ในเยื่อ สีของเยื่อจึงจางลง ทำให้บางส่วนของฟีนิลโพรเพนแตกออก ส่งผลให้โครงสร้างลิกนินเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่าการสะท้อนแสงในช่วงที่ตามองเห็น (visible light) เพิ่มขึ้น

การควบคุมค่าความเป็นกรดต่างในการฟอกเยื่อจะมีผลต่อประสิทธิภาพการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทั้งนี้เพราะสภาวะในการฟอกเยื่อที่มีความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 จะมีปริมาณเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออนอยู่มากกว่าร้อยละ 90 และเมื่อค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มสูงขึ้นสมดุลของปฏิกิริยาจะเอียงไปทางด้านขวามากขึ้น (OOH^-) แต่เมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดต่างมากกว่า 11.5 จะทำให้เกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กลายเป็นน้ำและออกซิเจน ดังแสดงในสมการที่ 2.2



ดังนั้นการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงจำเป็นต้องมีการปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้เกิดการแตกตัวเป็นเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (HOO^-) [22]

การฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะส่งผลให้เปอร์ไฮดรอกซิลไอออนสลายตัวได้ง่าย ในสภาวะที่มีค่าความเป็นด่างและอุณหภูมิที่สูงเกินไป รวมถึงเมื่อมีไอออนของโลหะทรานซิชัน เช่น แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และเหล็ก (Fe) เป็นต้น โดยสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แสดงดังสมการ 2.3 - 2.6 [23]



โดยที่ M คือ โลหะทรานซิชัน และ n คือ ประจุของโลหะทรานซิชัน

การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการเร่งปฏิกิริยาโดยโลหะทรานซิชัน ทำให้เกิดเป็นเปอร์ไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล

เคิล (peroxy radical, OO^{\cdot}) ซึ่งจะเข้าไปทำลายคาร์โบไฮเดรต ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงและผลผลิตเยื่อลดลง [22] ซึ่งสามารถลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากโลหะทรานซิชัน ด้วยการเติมสารคงตัว (stabilizing agents) เช่น แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate; $MgSO_4$) และโซเดียมซิลิเกต (sodium silicate; Na_2SiO_3) เป็นต้น ทั้งนี้สารคงตัวจะช่วยให้การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดช้าลง เนื่องจากสารคงตัวจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน เพื่อทำให้เปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออนอยู่ในรูปที่มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีการเติมสารคีเลต (chelating agents) เพื่อช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยช่วยในการจับโลหะทรานซิชัน ได้แก่ เอทิลีนไดเอมีนเทตระแอะซิติกแอซิด (EDTA) และไดเอทิลีนไตรเอมีนเพนตะแอะซิติกแอซิด (DTPA) เป็นต้น

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษมีความพยายามในการปรับเปลี่ยนกระบวนการฟอกเยื่อ เพื่อลดการใช้สารเคมีที่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม โดยการนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการฟอกเยื่อ ซึ่งก่อให้เกิดผลดี ดังนี้

ก. ช่วยลดปริมาณการใช้สารในกลุ่มคลอรีนในการฟอกเยื่อ ซึ่งเป็นการลดมลภาวะที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ข. ช่วยเพิ่มความคงทนต่อการกลับสี (brightness reversion) ของกระดาษ และช่วยลดปริมาณลิกนินที่หลงเหลืออยู่ในเยื่อไม้ได้เป็นอย่างดี

ค. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการฟอกเยื่อและลดการกลับสีของเยื่อได้ และเมื่อนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปใช้ร่วมกับสารเคมีอื่นในขั้นตอนของกระบวนการฟอกเยื่อ เช่น การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับก๊าซออกซิเจน ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการลดปริมาณลิกนินของเยื่อได้ดีกว่าการใช้ออกซิเจนแต่เพียงอย่างเดียว เป็นต้น

นอกจากนี้ยังพบว่า การแช่ขี้เถ้าในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก่อนนำขี้เถ้าไปผลิตเป็นเยื่อกระดาษด้วยกระบวนการคราฟท์ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดลิกนินออกจากเยื่อไม้ได้ดียิ่งขึ้น

2.5.3.2 สารคงตัว (stabilizing agents)

ในกระบวนการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่สภาวะต่าง ส่งผลให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถแตกตัวเป็นเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (HOO^{\cdot}) ได้ ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบการฟอกเยื่อมาก เนื่องจากทำหน้าที่เป็นสารฟอกเยื่อที่แท้จริง อย่างไรก็ตามเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (HOO^{\cdot}) จะสลายตัวได้ง่าย หากในระบบการฟอกเยื่อมีโลหะทรานซิชันปรากฏอยู่ โดยโลหะทรานซิชันทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาสลายตัวของเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน ได้แก่ แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และเหล็ก (Fe) เป็นต้น เมื่อเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออนเกิดการสลาย

ตัว จะส่งผลให้มีความสิ้นเปลืองในการใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และประสิทธิภาพในการฟอกเยื่อลดลง กล่าวคือ การสลายตัวของเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน ทำให้เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, OH[·]) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (peroxy radical, OO[·]) ซึ่งจะเข้าไปทำลายคาร์โบไฮเดรตของเส้นใย ทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง และค่าความขาวสว่างก็จะลดลงเช่นเดียวกัน ดังนั้นในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ จึงมีการเติมสารคงตัวในกระบวนการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อทำหน้าที่ลดการสลายตัวของเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน ซึ่งเกิดจากสภาวะที่มีโลหะทรานซิซันเป็นถูกตัวเร่งปฏิกิริยา สารคงตัวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต และแมกนีเซียมซิลเฟต โดยทั้ง 2 สารนี้จะช่วยลดการสลายตัวของเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน ยกตัวอย่างหลักการทำงานของสารคงตัว เช่น แมกนีเซียมซิลเฟต โดยแมกนีเซียม (Mg²⁺) จะเข้าจับกับเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (OOH⁻) จะทำอยู่ในรูปของแมกนีเซียมเปอร์ไฮไดรด์ (magnesium perhydrate, Mg(OOH)₂) ซึ่งมีความเสถียรมากกว่าอยู่ในรูปของไฮดรอกซิลแอนไอออน จึงทำให้การสลายตัวของเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออนลดลง ดังแสดงในสมการ 2.7 [24] นอกจากนี้แมกนีเซียมซิลเฟต ยังช่วยในเรื่องความกระด้างของน้ำ ถ้าหากน้ำในโรงงานมีความกระด้างน้อยอาจต้องเติมสารแมกนีเซียมซิลเฟตลงไปเพื่อช่วยเพิ่มความกระด้างของน้ำ

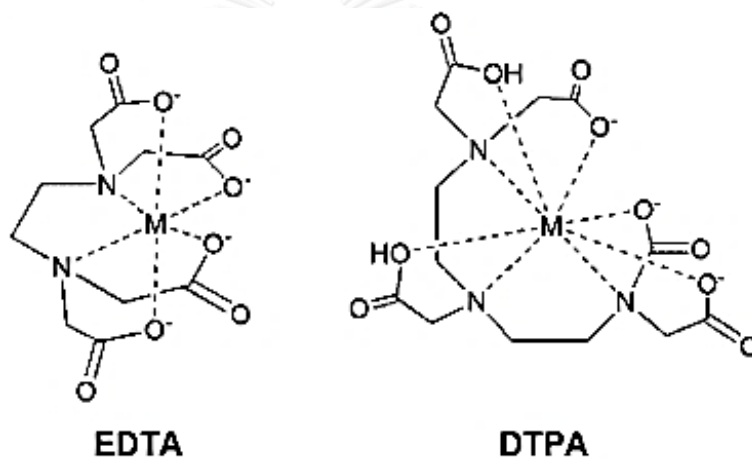


โซเดียมซิลิเกต (sodium silicate, Na₂SiO₃) หรือ สารละลายโซเดียมเมตาซิลิเกต (sodium metasilicate solution) ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกอนออกไซด์ (SiO₂) และโซเดียมออกไซด์ (Na₂O) ในปริมาณที่เท่ากันหรือบางครั้งเรียกว่า water glass จะทำหน้าที่เป็นสารคงตัว (stabilizing agent) ให้กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้เปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออนไม่สลายตัวได้ง่าย ช่วยป้องกันการเร่งปฏิกิริยาจากโลหะทรานซิซัน นอกจากนี้โซเดียมซิลิเกตยังทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความเป็นด่าง และเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ (buffer solution) จึงใช้งานได้ดีกับเยื่อเชิงกล เพราะจะทำให้ลดปริมาณการเติมสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ส่งผลให้เยื่อเชิงกลเกิดสีคล้ำได้ อีกทั้งโซเดียมซิลิเกตสามารถนำไปใช้งานด้านอื่นๆได้อีก เช่น ป้องกันไม่ให้หมึกพิมพ์ย้อนกลับไปเกาะติดกับเส้นใยใหม่อีกครั้ง (anti-redeposition) และนิยมนำโซเดียมซิลิเกตมาใช้กับผงซักฟอกในการซักล้างเสื้อผ้า [25]

2.5.3.3 สารคีเลต (chelating agents)

สารคีเลตเป็นสารที่เติมในกระบวนการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยสารคีเลตจะทำหน้าที่ในการจับโลหะทรานซิซัน ทำให้อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งช่วยป้องกันการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยการเติมลงไปเพื่อให้เกิดการรวมตัวกับไอออน

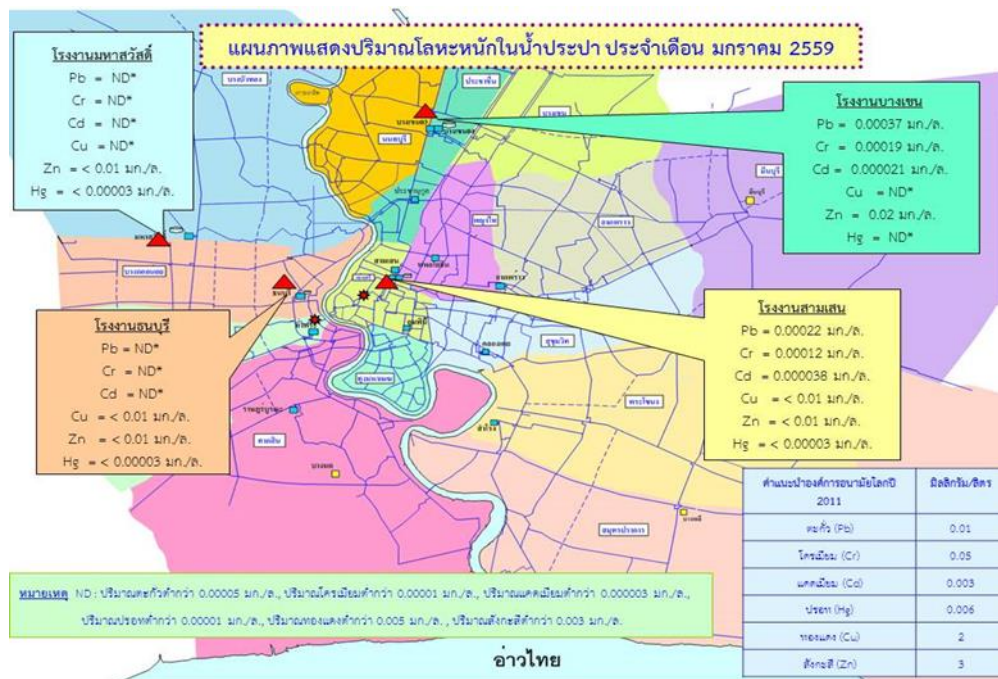
ของโลหะทรานซิชัน ทำให้ไอออนของโลหะทรานซิชันไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จึงทำให้ลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ป้องกันการกระตุ้นของไอออนโลหะทรานซิชัน ชนิดของสารคีเลตที่นิยมใช้ในกระบวนการฟอกเยื่อ ได้แก่ เอทิลีนไดเอมีนเทตระแอกซีติกแอซิด (EDTA) และไดเอทิลีนไดเอมีนเพนตะแอกซีติกแอซิด (DTPA) เป็นต้น สารคีเลตจะมีลิแกนด์ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอน และมีโลหะทำหน้าที่เป็นตัว รับอิเล็กตรอน โดยไดเอทิลีนไดเอมีนเพนตะแอกซีติกแอซิด (DTPA) มี 5 แขน และมีหมู่ให้อิเล็กตรอนถึง 8 จุด จึงทำให้สามารถจับโลหะทรานซิชันได้ดีกว่า เอทิลีนไดเอมีนเทตระแอกซีติกแอซิด (EDTA) ซึ่งมี 4 แขน และมีหมู่ให้อิเล็กตรอน 6 จุด ซึ่งการจับโลหะทรานซิชันของ DTPA สามารถเรียงลำดับจากง่ายไปยากได้ดังนี้ $Ni^{2+} > Cu^{2+} > Co^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{3+} > Pb^{2+} > Zn^{2+} > Fe^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Al^{3+}$ ปริมาณการใช้สารคีเลตที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.15 - 4 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง [25] ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของ EDTA และ DTPA [26]

2.5.3.4 น้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อและการปนเปื้อนของโลหะทรานซิชัน

แหล่งน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อ มักเป็นน้ำประปา ซึ่งน้ำประปาในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่ก็มีโลหะทรานซิชันปนเปื้อนอยู่ ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd)ปรอท (Hg) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) จากข้อมูลการประปานครหลวง [2] ซึ่งมีโรงงานในการผลิตน้ำประปาอยู่ 4 แห่ง ได้แก่ โรงงานบางเขน โรงงานมหาสวัสดิ์ โรงงานธนบุรี และโรงงานสามเสน ซึ่งพบว่าการปนเปื้อนของโลหะสังกะสี (Zn) สามารถพบได้ทั่วไปในทุกโรงงานการผลิตน้ำของประเทศไทย แสดงดังภาพที่ 2.7 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาโลหะสังกะสีที่มีผลต่อการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในกระบวนการฟอกเยื่อ



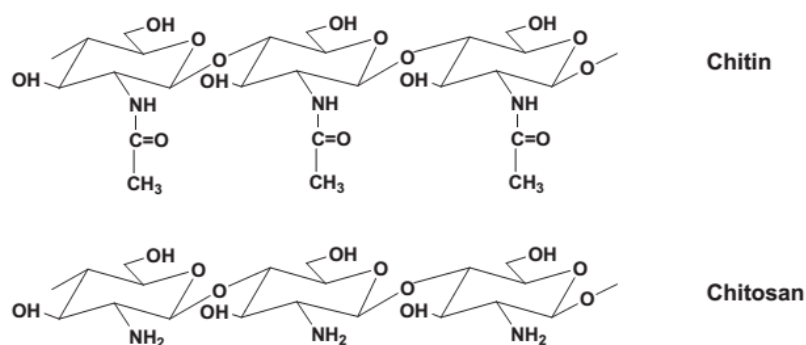
ภาพที่ 2.7 แสดงปริมาณโลหะหนักในน้ำประปา ประจำเดือน มกราคม 2559 [2]

โลหะทรานซิชันนั้นนอกจากจะมากับน้ำที่ใช้ในกระบวนการฟอกเยื่อแล้วอาจมีอยู่ในพืชด้วยเช่นกัน โลหะเหล่านี้บางส่วนจะเกาะอยู่กับหมู่คาร์บอกซิลของไซแลน และเพคติน เช่นเดียวกับโลหะหนัก เช่น เหล็กและแมงกานีส โลหะเหล่านี้สามารถกำจัดออกจากเนื้อไม้โดยใช้สารละลายกรดหรือสารอื่นๆที่โครงสร้างซับซ้อน แต่ยากที่จะกำจัดโลหะออกได้หมดจากเนื้อไม้ สุดท้ายจากกระบวนการของเยื่อกระดาษที่ได้มักมีการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่ ซึ่งเป็นผลมาจากเนื้อไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น โลหะหนักแม้ในปริมาณน้อยเช่น เหล็ก โคบอลต์ และแมงกานีส อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการฟอกเยื่อและความขาวสว่างของเยื่อได้ [27]

2.6 ไคโทซาน (chitosan)

ไคโทซาน หรือ poly $[\beta\text{-}(1 \rightarrow 4)\text{-}2\text{-amino-}2\text{-deoxy-D-glucopyranose}]$ มีสูตรทางเคมีคือ $(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}_4)_n$ เป็นอนุพันธ์ของไคติน (chitin) เกิดจากปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิetyl (deacylation) ของไคตินด้วยสารละลายต่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างไคตินที่เป็น N-Acetyl Glucosamine กลายเป็น Glucosamine หรือทำให้โครงสร้างของไคตินเปลี่ยนไปมีการแทนที่ของหมู่อะซิตามิโด ($-\text{NHCOCH}_3$) ด้วยหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) บริเวณคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่มีมากในธรรมชาติเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส สามารถพบในเปลือกของสัตว์จำพวก ปู กุ้ง และแแกนหมึก เป็นต้น ดังนั้นไคโทซานจึงจัดเป็นไบโอพอลิเมอร์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำตาล N-Acetyl-D-

Glucosamine และ Glucosamine อยู่ในสายพอลิเมอร์เดียวกัน ซึ่งระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลนี้มีผลต่อสมบัติและการทำงานของไคโทซาน นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของไคโทซานบอกถึงความยาวของสายไคโทซาน ซึ่งมีผลต่อความหนืด เช่น ไคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีสายที่ยาวและสารละลายมีความหนืดมากกว่าไคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น นอกจากนี้ไคตินและไคโทซานยังมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำและมีความสามารถการอุ้มน้ำแตกต่างกันไปตามชนิดของไคติน โดยพบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของไคตินและไคโทซานเท่ากับร้อยละ 230 - 440 (น้ำหนัก / น้ำหนัก) โดยพบว่าไคโทซานมีค่าการอุ้มน้ำได้สูงกว่าไคติน ทั้งนี้เนื่องจากจากความแตกต่างของผลึกไคติน ปริมาณโปรตีนรวมทั้งหมู่ที่สามารถเกิดเกลือกับตัวทำละลาย นอกจากนี้ไคโทซานยังจัดเป็นวัสดุชีวภาพ (biomaterials) สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (biodegradability) มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษและไม่ไวไฟ โดยปกติไคโทซานไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายได้ดีในสารละลายกรดอินทรีย์อ่อน เช่น กรดอะซิติก และกรดแลคติก เป็นต้น และความสามารถในการละลายของไคโทซานจะขึ้นกับระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (degree of deacetylation, %DD) โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโทซานแสดงดังภาพที่ 2.8 ซึ่งไคตินและไคโทซานมีโครงสร้างของโซ่หลักเหมือนกัน แต่ต่างกันบริเวณหมู่แทนที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองของวงไพราโนส โดยไคตินจะมีหมู่แทนที่เป็นหมู่อะเซทาไมด์ (acetamide group, $-NHC(O)CH_3$) แต่ไคโทซานมีหมู่แทนที่เป็นหมู่อะมิโน (amino group, $-NH_2$) [28, 29]



ภาพที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโทซาน [29]

ไคโทซานมีประจุบวกบนหมู่อะมิโน และอาจเรียกได้ว่าเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก (cationic polymer) นอกจากนี้ยังเป็นสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก (cationic polyelectrolyte) เนื่องจากหมู่อะมิโนในสารละลายกรดมีการรับโปรตอน อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน ($-NH_3^+$) ซึ่งมีสมบัติในการดูดซับสารอินทรีย์ ไอออนโลหะ รวมถึงสีย้อมได้

ปัจจุบันไคโทซานถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในด้านอุตสาหกรรม ด้านการบำบัดน้ำเสีย ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม ด้านการเกษตร ทางด้านอาหารและยา เครื่องสำอาง รวมถึง

ทางด้านเยื่อและกระดาษ โดยนำไปใช้งานเป็นสารกันซึม (sizing agent) สารเติมแต่ง (additive) และใช้ในการปรับปรุงสมบัติงานพิมพ์และความแข็งแรงของกระดาษ [30] ไคโทซานมีความสามารถในการดูดซับโลหะทรานซิชันและช่วยกำจัด เพอร์ไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, OH[·]) และเพอร์ออกซีเรดิคัล (peroxy radical, OO[·]) นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ เนื่องจากไคโทซานมีราคาถูกกว่าสารสีเลตโดยทั่วไป ดังนั้นจึงนำไคโทซานมาใช้ในการพอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อให้เกิดความเสถียรต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ป้องกันการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ถูกเร่งโดยโลหะทรานซิชัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้ไคโทซานส่งผลให้ประสิทธิภาพการพอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ดีขึ้น โดยพบว่าค่าความขาวสว่างหลังพอกเยื่อมากขึ้นและการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลดลง แต่ยังไม่มีการศึกษาสมบัติของเยื่อและกระดาษด้านอื่นๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของไคโทซานและสารสีเลตชนิดต่างๆ ต่อสมบัติของเยื่อและกระดาษที่เตรียมจากเยื่อยูคาลิปตัสทั้งด้านความแข็งแรงและสมบัติเชิงแสง หลังจากพอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [23]

2.7 ค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระดาษพิมพ์และเขียน

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะของกระดาษพิมพ์และเขียน ชนิดไม่เคลือบผิว [31]

| รายการ | เกณฑ์กำหนด | | วิธีทดสอบ |
|--|--------------------------------------|-------|------------|
| | น้ำหนักมาตรฐาน (กรัมต่อตารางเมตร) | | |
| | 70 | 80 | |
| ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน | 10 | 10 | ISO 287 |
| ความขาวสว่าง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า | 70 | 70 | ISO 2470 |
| ความทึบแสง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า | 70 | 70 | ISO 2471 |
| ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Nm/g) | > 45 | > 45 | ISO 1924-1 |
| ดัชนีต้านทานแรงฉีก (mNm ² /g) | > 5.5 | > 5.5 | ISO 1974 |

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Li และคณะ [23] ทำการศึกษาการฟอกเยื่อแอสเพน ที่เตรียมจากกระบวนการเชิงกลผสมเคมี (chemithermomechanical pulp, CTMP) ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้ไคโทซานเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการฟอกเยื่อ ทำการทดลองโดยฟอกเยื่อแอสเพน ที่สภาวะต่างและใช้ไคโทซานแทนสารคีเลตแบบเดิม เช่น สารอีดีทีเอ และสารดีทีพีเอ จากการทดลอง พบว่า ค่าความขาวสว่างของเยื่อหลังฟอกเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5 เมื่อมีการเติมไคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 7.4×10^5 ที่ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (degree of deacetylation, DD) ร้อยละ 95 หากใช้ไคโทซานในปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการฟอกเยื่อและค่าความขาวสว่างลดลง โดยปริมาณไคโทซานที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.05 – 0.2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง โดยไคโทซานสามารถดูดซับโลหะทรานซิชั่นในรูปของไอออนหรืออนุภาคโลหะคอลลอยด์ เช่น เหล็กไอออน ทองแดงไอออน และแมงกานีสไอออน เป็นต้น ส่งผลให้การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide decomposition) ลดลง ความสามารถของไคโทซานในการยับยั้งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ขึ้นกับ ชนิดของโลหะทรานซิชั่น ความเข้มข้นของไคโทซาน และระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล โดยไคโทซานที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลร้อยละ 95 ดูดซับโลหะทรานซิชั่นได้ดีกว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลร้อยละ 85 การเติมไคโทซานในปริมาณเพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 0.1 ช่วยลดความเข้มข้นของการฟอร์มตัวของฟรีเรดิคัล

วิชัยและคณะ [32] ศึกษาการฟอกเยื่อปอสาด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ ในการฟอกเยื่อ พบว่า ในการฟอกเยื่อที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฟอกให้นานขึ้นในช่วง 0-4 ชั่วโมง ค่าความขาวสว่างก็จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการฟอก ส่วนผลของอุณหภูมิต่างๆ ที่ใช้ในการฟอก ในช่วงอุณหภูมิ 40 – 70 องศาเซลเซียส พบว่า ที่ระยะเวลาในการฟอกเท่ากัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการฟอกเยื่อสูงขึ้น ค่าความขาวก็จะสูงขึ้นด้วย และพบว่าที่อุณหภูมิในการฟอก ตั้งแต่ 80 องศาเซลเซียสขึ้นไป จะให้ค่าความขาวสว่างสูงกว่าการใช้อุณหภูมิในช่วง 40 – 70 องศาเซลเซียส ส่วนการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) โดยทำการฟอกเยื่อที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการฟอกเยื่อนาน 2 ชั่วโมง ผลของการใช้ปริมาณโซเดียมซิลิเกตที่ความเข้มข้น 0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 ของน้ำหนักแห้งเยื่อปอสา พบว่า ในการฟอกเยื่อปอสาด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อใช้ความเข้มข้นโซเดียมซิลิเกตตั้งแต่ร้อยละ 0 – 2.0 ของน้ำหนักแห้ง ค่าความขาวสว่างจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้โซเดียมซิลิเกตตั้งแต่ร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักแห้งขึ้นไป ค่าความขาวสว่างจะคงที่ ดังนั้นสรุปได้ว่า ปริมาณที่เหมาะสมในการใช้โซเดียมซิลิเกต คือร้อยละ 2 ของน้ำหนักแห้งเยื่อปอสา และผลของการใช้ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 0.05 0.08 และ 0.10 ของน้ำหนักแห้งเยื่อ พบว่า การใช้ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ของน้ำหนักแห้งเยื่อ จะให้ความ

ขาวสว่างสูงที่สุด สรุปลักษณะที่เหมาะสมที่สุดในการใช้สารเคมีต่างๆต่อการฟอกเยื่อปอสา คือ ใช้ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักแห้งเยื่อ และใช้ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ของน้ำหนักแห้งเยื่อ จะให้ค่าความขาวสว่างของเยื่อปอสา เท่ากับร้อยละ 72.97

Wekesa และคณะ [33] ศึกษาการเร่งปฏิกิริยาของแมงกานีสที่ทำให้เกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยทำการทดลองหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ (residual hydrogen peroxide) เมื่อใช้แมงกานีสไอออน เป็นโลหะทรานซิชันที่ปนเปื้อนในน้ำที่ระดับความเข้มข้น 6 พีพีเอ็ม ในช่วงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และเลือกใช้สารดีทีพีเอ แมกนีเซียมซัลเฟต และโซเดียมซัลไฟด์ เป็นสารให้ความคงตัว จากการทดลองพบว่า ที่ภาวะไม่เติมสารให้ความคงตัวใดๆ แมงกานีสไอออนจะส่งผลให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัว ภายใต้ภาวะการฟอกเยื่ออย่างรวดเร็ว แต่เมื่อมีการเติมโซเดียมซัลไฟด์ที่ร้อยละ 0.03 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในระบบที่มีแมงกานีสไอออน จะส่งผลให้การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้อยลง ทำให้มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระบบเพิ่มขึ้น และเมื่อเติมโซเดียมซัลไฟด์ที่ร้อยละ 0.03 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่ร้อยละ 0.05 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง พบว่า ช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าภาวะที่เติมโซเดียมซัลไฟด์เพียงอย่างเดียว ทำให้มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลือในระบบมากกว่าที่ภาวะการเติมโซเดียมซัลไฟด์เพียงอย่างเดียว มีการเติมสารดีทีพีเอที่ร้อยละ 0.014 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในระบบที่มีแมงกานีส พบว่า ช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีที่สุด ทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลือในระบบมากที่สุด ดังนั้นดีทีพีเอช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าที่ภาวะการเติมโซเดียมซัลไฟด์และแมกนีเซียมซัลเฟต และที่ภาวะมีแต่โซเดียมซัลไฟด์ ตามลำดับ โดยภาวะที่ไม่เติมสารคงตัวมีแต่แมงกานีสไอออนเท่านั้น จะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระบบอยู่น้อยที่สุด

Ashori และคณะ [30] ศึกษาการเพิ่มสมบัติความแข็งแรงในขณะแห้ง (dry strength properties) ของกระดาษจากปอแก้ว (kenaf) ด้วยไคโทซาน โดยขึ้นแผ่นทดสอบจากเยื่อคราฟต์ปอแก้วชนิดที่ผ่านการฟอก (bleached kenaf kraft pulp) ที่ความเข้มข้นเยื่อร้อยละ 1 ในช่วงความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5 และ 10 จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5 เมื่อเพิ่มปริมาณไคโทซานที่ร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงฉีก (tear resistance) ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength) และดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index) เพิ่มขึ้น ตามลำดับ และ ในช่วงความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10 เมื่อเพิ่มปริมาณไคโทซานที่ร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงฉีก ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ และดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง เพิ่มขึ้น ตามลำดับ โดยในช่วงความ

เป็นกรดต่างเท่ากับ 5 ให้ผลของค่าความแข็งแรงสูงกว่าในช่วงความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10 ดังนั้น ไคโทซานมีความสามารถเพิ่มสมบัติความแข็งแรงในขณะแห้งได้ดี ในช่วงความเป็นกรด

Li และคณะ [34] ศึกษาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในกระบวนการฟอกเยื่อเชิงกล (mechanical pulp) ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากการทดลอง ฟอกเยื่อเชิงกลด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นเยื่อร้อยละ 4 มีการปรับสภาพความเป็นกรดต่างสู่ช่วงความเป็นกรดต่าง ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (magnesium hydroxide, $Mg(OH)_2$) ที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร โดยการทดลองใช้แมงกานีสไอออน เป็นโลหะทรานซิชันที่ระดับความเข้มข้น 3 พีพีเอ็ม จากนั้นเติมโซเดียมซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 3 กรัมต่อลิตร และสารดีทีพีเอที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร เป็นสารคงตัว และทำการฟอกเยื่อด้วยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการฟอกเยื่อ 90 นาที จากผลการทดลองพบว่า ในภาวะการฟอกเยื่อที่มีแมงกานีสไอออน ไม่มีการเติมสารคงตัวใดๆส่งผลให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวมากที่สุด โดยแสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบน้อยที่สุด และเมื่อเติมโซเดียมซัลไฟด์ จะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้มากกว่าการเติมดีทีพีเอ ทำให้การเติมโซเดียมซัลไฟด์เหลือปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ในระบบมากกว่าการเติมดีทีพีเอ ดังนั้นการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในภาวะที่มีแมงกานีสไอออน โดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ และสารดีทีพีเอ เป็นสารคงตัว สามารถช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งโซเดียมซัลไฟด์ช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าสารดีทีพีเอ เมื่อใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในการปรับสภาพความเป็นกรด โดยความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 3 และความเข้มข้นของสารดีทีพีเอที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 0.5

Petlicki และคณะ [35] ศึกษาการเร่งปฏิกิริยาสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในกระบวนการฟอกเยื่อใยยาว (softwood pulp) ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วยความเข้มข้นเยื่อที่ร้อยละ 22.5 จากนั้นเติมโซเดียมซัลไฟด์ร้อยละ 3.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และดีทีพีเอที่ร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ใช้อุณหภูมิในการฟอกเยื่อ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ที่ภาวะมีโลหะแมงกานีส 0.4 20 และ 100 พีพีเอ็ม จากการทดลองพบว่า เมื่อมีโลหะแมงกานีสในระบบเพิ่มขึ้น 0.4 20 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ส่งผลให้การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ จึงทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบลดลง ตามลำดับ และเมื่อเติมโซเดียมซัลไฟด์ร่วมกับดีทีพีเอ พบว่าการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลดลง ตามลำดับ ทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบมากกว่าการเติมโซเดียมซัลไฟด์เพียงอย่างเดียว จากผลการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้สอดคล้องกับผลค่าความขาวสว่าง (brightness) ของการเติมโซเดียมซัลไฟด์ร่วมกับดีทีพีเอมีค่าความขาวสว่างสูงกว่าการเติมโซเดียมซัลไฟด์เพียงอย่างเดียว และที่ภาวะมีแต่แมงกานีสไอออนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบของการเติมโซเดียมซัลไฟด์ร่วมกับดีทีพีเอ ให้ค่าสูงกว่าการเติมโซเดียมซัลไฟด์เพียง

อย่างเดียว และที่ภาวะมีแต่แมงกานีสไอออนเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในภาวะที่มีแมงกานีสไอออน การเติมโซเดียมซัลไฟด์ร่วมกับดีทีพีเอ จะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าการเติมโซเดียมซัลไฟด์เพียงอย่างเดียว

Lizi และคณะ [36] ศึกษาการผลของปริมาณแมงกานีสไฮดรอกไซด์ ในการพอกเยื่อใยสั้นด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยการทดลองพอกเยื่อใยสั้นด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ภาวะความเข้มข้นร้อยละ 10 และเติมแมงกานีสไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 0 0.1 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แล้วปรับค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 11 ใช้อุณหภูมิในการพอกเยื่อ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมแมงกานีสไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 0 0.1 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในการพอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ส่งผลให้ค่าสมบัติเชิงแสง ได้แก่ ค่าความขาวสว่าง (brightness) และค่าความขาว (whiteness) ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมแมงกานีสไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 0 0.1 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ พบว่า ผลของค่าความฟาม (bulk) และค่าความทึบแสง (opacity) จะเพิ่มขึ้น ตามลำดับ รวมไปถึงผลของสมบัติด้านความแข็งแรง ได้แก่ ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง และความต้านทานแรงฉีก ก็เพิ่มขึ้น ตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณการเติมแมงกานีสไฮดรอกไซด์ มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติเชิงแสงและสมบัติด้านความแข็งแรงของเยื่อพอกให้สูงขึ้นได้

Evandro และคณะ [37] ศึกษาผลของการเติมโซเดียมซัลไฟด์ต่อการพอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำการพอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เติมดีทีพีเอที่ร้อยละ 0.8 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และเติมโซเดียมซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 12 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ใช้เวลาในการพอกเยื่อ 210 นาที ที่โซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้นร้อยละ 8 และ 15 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ใช้เวลาในการพอกเยื่อ 180 นาที กำหนดภาวะการพอกเยื่อ โดยควบคุมค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 11 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า ค่าค่าปทานัมเบอร์ หรือค่าที่บ่งบอกปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่หลังการพอกเยื่อมีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์สูงขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาในการพอกเยื่อเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าค่าปทานัมเบอร์สูงขึ้น แสดงว่าการกำจัดลิกนินออกจากเยื่อลดลง พบว่าที่เวลา 180 นาที สามารถกำจัดปริมาณลิกนินออกจากเยื่อได้สูงกว่าที่เวลา 210 นาที โดยที่ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ที่ร้อยละ 15 ของน้ำหนักเยื่อแห้งและเวลาที่ 180 นาที มีค่าค่าปทานัมเบอร์น้อยที่สุด แสดงว่ามีปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่หลังการพอกเยื่อต่ำที่สุด ซึ่งการเติมโซเดียมซัลไฟด์ช่วยให้ค่าความขาวสว่างและความหนืดเยื่อสูงกว่าภาวะไม่เติมโซเดียมซัลไฟด์ นอกจากนี้ยังส่งผลให้การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และการถูกทำลายของเซลลูโลสลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ที่มากขึ้น

Qiu และคณะ [38] ศึกษาการใช้ดีทีพีเอเพื่อลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เร่งปฏิกิริยาโดยแมงกานีส ทำการทดลองวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ (residual hydrogen peroxide) และใช้แมงกานีสไอออน (Mn^{3+}) เป็นโลหะทรานซิชันที่ปนเปื้อนในน้ำที่ระดับความเข้มข้น 3 พีพีเอ็ม ควบคุมค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ใช้อุณหภูมิในการฟอกเยื่อที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ภาวะที่ไม่เติมดีทีพีเอ ทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่เท่ากับ 0 กรัมต่อลิตร และเมื่อเติมสารดีทีพีเอที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ พบว่า ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่เท่ากับ 0.61 กรัมต่อลิตร แสดงว่า แมงกานีสไอออนจะส่งผลให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัว และการเติมดีทีพีเอสามารถช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ และเมื่อเปรียบเทียบผลการเติมดีทีพีเอที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ มีแมงกานีสไอออน ที่ระดับความเข้มข้น 3 พีพีเอ็ม ควบคุมค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 11.0 ใช้อุณหภูมิในการฟอกเยื่อที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่เท่ากับ 0.38 กรัมต่อลิตร แสดงว่า ที่ภาวะความเป็นกรดต่างสูงขึ้นจะส่งผลให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวได้ด้วยเช่นกัน ดังนั้นภาวะความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมต่อการทดลองนี้คือ 10.5

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึง วัสดุ สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 วัสดุ สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

3.1.1.1 เยื่อยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (camaldulensis) บริษัท สยามเซลลูโลส จำกัด

3.1.1.2 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide: H_2O_2) ความเข้มข้นร้อยละ 30 เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 29.0 บริษัท Chemsupply ประเทศออสเตรเลีย

3.1.1.3 โซเดียมซิลิเกต (sodium silicate: Na_2SiO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Panreac & Applichem ประเทศสเปน

3.1.1.4 แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate: $MgSO_4$) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.0 บริษัท BDH Chemistry Ltd. ประเทศอังกฤษ

3.1.1.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide: $NaOH$) เกรดห้องปฏิบัติการ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98-100 (Pellets) บริษัท Loba chemis Pvt. Ltd ประเทศอินเดีย

3.1.1.6 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) บริษัท Merck KGaA จำกัด ประเทศเยอรมนี

3.1.1.7 กรดอะซีติก บริษัท Merck KGaA จำกัด ประเทศเยอรมนี

3.1.1.8 ไคโทซานแบบเกล็ด (chitosan flake) มีร้อยละการกำจัดหมู่เอซีทิล (%DD) มากกว่าร้อยละ 95 และมีน้ำหนักโมเลกุล 75,000 กรัมต่อโมล บริษัท S.Y.K. Enterprise Co., Ltd. จำกัด ประเทศไทย

3.1.1.9 ดีทีพีเอ (diethylenetriamine pentaacetic acid: DTPA) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.0 บริษัท sigmaaldrich ประเทศสวีตเซอร์แลนด์

3.1.1.10 อีดีทีเอ (ethylenediamine tetraacetic acid: EDTA)) เกรดวิเคราะห์ บริษัท ajaxfinechem ประเทศออสเตรเลีย

3.1.1.11 ซิงค์คลอไรด์ (zinc chloride: $ZnCl_2$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท ajaxfine chem ประเทศออสเตรเลีย

3.1.1.12 กระดาษกรองเบอร์ 4 ยี่ห้อ Whatman บริษัท Whatman International จำกัด ประเทศอังกฤษ

3.1.1.13 น้ำกลั่น (distilled water)

3.1.1.14 น้ำปราศจากไอออน (deionized water)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

3.1.2.1 เครื่องบดเยื่อ (valey beater) รุ่น UEC-2018A บริษัท Universal Engineering Corporation ประเทศอินเดีย

3.1.2.2 ตู้อบ (hot air oven) รุ่น Venticell ยี่ห้อ MMM บริษัท Medcenter Einrichtungen GmbH ประเทศเยอรมนี

3.1.2.3 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (balance) รุ่น GX- 20K ประเทศญี่ปุ่น

3.1.2.4 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง (balance) รุ่น TB-4002 บริษัท Denver Instrument ประเทศเยอรมนี

3.1.2.5 เครื่องวัดความชื้น (moistrure determination balance) รุ่น KettFD-600 บริษัท KettElectric Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.2.6 เครื่องวัดค่าสภาพระบายได้ (freeness tester) รุ่น LTDA บริษัท Regmed Industria Technica de Frecisao ประเทศบราซิล

3.1.2.7 เครื่องตีกระจายเยื่อ (disintegrator) ยี่ห้อ Formax บริษัท Adirondack Machine Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.2.8 เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษ (sheet former) แบบ Rapid-Köthen รุ่น RK-2A KWTบริษัท Paper Testing Instrument (PTI) ประเทศออสเตรเลีย

3.1.2.9 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile tester) ยี่ห้อ Stograph รุ่น E-S บริษัท Toyo Seiki Seisaku-Sho จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

3.1.2.10 เครื่องวัดความต้านทานต่อแรงฉีก (tear tester) ยี่ห้อ Pro Tear Electronic Elmendorf Tear Tester บริษัท Thwing-Albert instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.2.11 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH meter) ยี่ห้อ Milwaukee รุ่น pH 600 บริษัท Milwaukee Instruments ประเทศมอริเชียส

3.1.2.12 เครื่องวัดสมบัติเชิงแสง (optical tester) ยี่ห้อ Technidyne รุ่น Color-touch PC บริษัท Technidyne Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.2.13 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) รุ่น WB29 บริษัท Memmert ประเทศเยอรมนี

- 3.1.2.14 ปีกเกอร์ ขนาด 25 50 250 และ 500 มิลลิลิตร
- 3.1.2.15 กระบอกลง ขนาด 25 100 และ 1000 มิลลิลิตร
- 3.1.2.16 ปีเปต ขนาด 1 5 10 และ 50 มิลลิลิตร
- 3.1.2.17 บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 3.1.2.18 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.1.2.19 ถุงพลาสติกซิปล็อคใส่ (zip-lock) ขนาด 25x35 เซนติเมตร

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยจะถูกแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการเตรียมเยื่อและขั้นตอนการฟอกเยื่อ โดยงานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการฟอกเยื่อออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การหาปริมาณที่เหมาะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส ส่วนที่ 2 ศึกษาผลสารคงตัว 2 ชนิด คือ โซเดียมซัลไฟต์และแมกนีเซียมซัลเฟต ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และส่วนที่ 3 การหาปริมาณไคโทซานและสารคีเลตที่เหมาะสม โดยในที่นี้เลือกใช้ดีทีพีเอและอีดีทีเอ โดยการทดลองทั้งสามส่วนรายงานผลในเทอมของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือหลังจากการฟอก องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อที่ผ่านการฟอก สมบัติด้านความแข็งแรงและสมบัติเชิงแสงของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ

เยื่อที่ใช้ในงานวิจัยเป็นเยื่อยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท สยามเซลลูโลส จำกัด เยื่อยูคาลิปตัสนี้ผ่านกระบวนการทำเยื่อแบบโซดา โดยต้มเยือกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ขั้นตอนการเตรียมเยื่อเพื่อใช้ในกระบวนการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีดังนี้

3.2.1.1 นำเยื่อยูคาลิปตัสที่ได้รับจากบริษัท สยามเซลลูโลส จำกัด น้ำหนัก 360 กรัม ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และทำการบดเยื่อโดยใช้เครื่องบดเยื่อ (valley beater) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งวิธีการบดเยื่อจะทำตามมาตรฐาน TAPPI T 200 sp-01 [39] ใส่เยื่อลงเครื่องบดเยื่อ คำนวณน้ำที่ ต้องเติมให้มีปริมาตรรวมทั้งหมด 23 ลิตร โดยร้อยละความเข้มข้นของเยื่อ (% consistency) จะ เท่ากับ 1.56 ตามวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข ทำการเปิดเครื่องโดยไม่แขวนตุ่มน้ำหนัก เพื่อตี กระจายเยื่อเป็นระยะเวลา 10 นาที

3.2.1.2 เมื่อครบเวลา 10 นาทีแล้ว เริ่มทำการบดเยื่อโดยแขวนตุ่มน้ำหนักของ เครื่องบดเยื่อ โดยใช้เวลา 45 นาที หลังจากนั้นทำการเก็บน้ำเยื่อเพื่อใช้หาค่าสภาพการระบายน้ำ

(freeness) ตามมาตรฐาน TAPPI T227 om-99 [39] โดยค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 320-350 มิลลิลิตร และเก็บเยื่อที่ผ่านการบดแล้ว เพื่อใช้ในกระบวนการฟอกเยื่อต่อไป



ภาพที่ 3.1 เครื่องบดเยื่อ (valley beater) [40]

3.2.2 การเตรียมสารละลายโคโทซาน

ละลายโคโทซาน 5 กรัม ลงในสารละลายกรดแอสติค ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2.1 โดยปริมาตร จำนวน 500 มิลลิลิตร จากนั้นทำการกวนด้วยเครื่องกวนสาร (stirrer) เวลา 24 ชั่วโมง จะได้สารละลายโคโทซานใส

3.2.3 ขั้นตอนการฟอกเยื่อ

การทดลองในขั้นตอนการฟอกเยื่อจะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อคุณภาพดี

1. นำเยื่อคุณภาพดีที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมเยื่อในขั้นตอน 3.2.1 แล้วจำนวน 50 กรัมของน้ำหนักเยื่อแห้ง ใส่ลงในถุงพลาสติกซิปล็อคใส ขนาด 25x35 เซนติเมตร

2. เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นที่ร้อยละ 30 โดยปริมาตร เพื่อให้ได้เท่ากับระดับความเข้มข้นรวมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ และเพื่อปรับความเข้มข้นเยื่อให้คงที่ที่ร้อยละ 15 (consistency 15 %) ด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วปรับค่าความเป็นกรดต่าง 10.5 ± 0.2 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นปิดถุงซิปล็อค

3. นำถุงชিপี้ล็คจากข้อ 2 ใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ในระหว่างทำการฟอกเยื่อจะต้องทำการนวดเยื่อทุกๆ 5 นาที โดยใช้เวลานวดนาน 2 นาทีต่อครั้งการนวด เมื่อครบเวลาการฟอกเยื่อ นำเยื่อออกจากภาชนะบรรจุแล้วใส่ลงในถุงผ้า หลังจากนั้นเปิดน้ำประปาไหลเข้าไปในถุงผ้า เพื่อทำการล้างเยื่อและกำจัดสารส่วนเกินออกจากเยื่อล้างจนน้ำทิ้งใส

4. นำเยื่อที่ผ่านการฟอกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปขึ้นแผ่นทดสอบตามมาตรฐาน ISO 5269-2 ให้มีน้ำหนักมาตรฐาน เท่ากับ 70 กรัมต่อตารางเมตร และทดสอบสมบัติของเยื่อและกระดาษ ตามมาตรฐาน TAPPI [39] กล่าวคือ สมบัติด้านความแข็งแรง ได้แก่ ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T494 om-01 และค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T 414 om-98 เป็นต้น สมบัติเชิงแสง ได้แก่ ความขาวสว่าง (brightness) ตามมาตรฐาน TAPPI T 525 om-92 ความขาว (whiteness) ตามมาตรฐาน TAPPI T 452 om-02 ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ ตามมาตรฐาน TAPPI 524 om-02 และความทึบแสง (opacity) ตามมาตรฐาน TAPPI T519 om-02 เป็นต้น นำเยื่อส่วนที่สองมาวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ (ดังภาคผนวก ก) และปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ (kappa number) ตามมาตรฐาน TAPPI T 236 om-99 [39]

5. หลังจากนั้นจึงเลือกระดับปริมาณการเติมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส เพื่อทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป โดยเลือกจากสมบัติเชิงแสงสูงสุดไปใช้ในลำดับการทดลองในขั้นตอนต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 2 ศึกษาผลสารคงตัวต่อการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้สารคงตัว 2 ชนิด คือ โซเดียมซลิเกตและแมกนีเซียมซัลเฟต

1. นำเยื่อยูคาลิปตัสที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมเยื่อในขั้นตอน 3.2.1 แล้วจำนวน 50 กรัมของน้ำหนักเยื่อแห้ง ใส่ลงในถุงพลาสติกชิปี้ล็คใส ขนาด 25x35 เซนติเมตร เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้จากส่วนที่ 1 ของการทดลองขั้นตอน 3.2.3 เติมซิงค์คลอไรด์ (zinc chloride) ที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมสารโซเดียมซลิเกตที่ปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

2. ปรับความเข้มข้นเยื่อร้อยละ 15 (consistency 15 %) ด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วปรับค่าความเป็นกรดต่าง 10.5 ± 0.2 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปิดถุงชิปี้ล็ค แล้วนำถุงชิปี้ล็คไปใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ในระหว่างทำการฟอกเยื่อจะต้องทำการนวดเยื่อ ทุกๆ 10 นาที โดยใช้เวลานวดนาน 2 นาทีต่อครั้ง

3. เก็บตัวอย่างน้ำในขณะที่ฟอกเยื่อประมาณ 5 กรัม ทุก 20 นาที จนครบเวลา 120 นาที เพื่อใช้ในการหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ (residual hydrogen peroxide)

4. เมื่อครบเวลาของการฟอกเยื่อ นำเยื่อออกจากภาชนะบรรจุ แล้วใส่ลงในถุงผ้า หลังจากนั้นเปิดน้ำประปาไหลเข้าไปในถุงผ้า เพื่อทำการล้างเยื่อและกำจัดสารส่วนเกินออกจากเยื่อล้างจนน้ำทิ้งใส

5. นำเยื่อที่ผ่านการฟอกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปขึ้นแผ่นทดสอบตามมาตรฐาน ISO 5269-2 ให้มีน้ำหนักมาตรฐาน เท่ากับ 70 กรัมต่อตารางเมตร และทดสอบสมบัติของเยื่อและกระดาษ ตามมาตรฐาน TAPPI [39] กล่าวคือ สมบัติด้านความแข็งแรง ได้แก่ ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T494 om-01 และค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T 414 om-98 เป็นต้น สมบัติเชิงแสง ได้แก่ ความขาวสว่าง (brightness) ตามมาตรฐาน TAPPI T 525 om-92 ความขาว (whiteness) ตามมาตรฐาน TAPPI T 452 om-02 ค่าสี CIE L*a*b* ตามมาตรฐาน TAPPI 524 om-02 และความทึบแสง (opacity) ตามมาตรฐาน TAPPI T519 om-02 เป็นต้น นำเยื่อส่วนที่สองทำการหาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ (ดังภาคผนวก ก) และปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ (kappa number) ตามมาตรฐาน TAPPI T 236 om-99 [39]

6. ทำการทดลองเช่นนี้ แต่เปลี่ยนสารให้ความคงตัวเป็นแมกนีเซียมซัลเฟตที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง หลังจากนั้นจึงเลือกชนิดสารคงตัวที่ให้สมบัติเชิงแสงและสมบัติความแข็งแรงสูงสุดไปใช้ในลำดับการทดลองในขั้นต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 3 หาปริมาณสารคีเลตและโคโทซานที่เหมาะสมต่อฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1. นำเยื่อคุณภาพดีที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมเยื่อในขั้นตอน 3.2.1 แล้วจำนวน 50 กรัมของน้ำหนักเยื่อแห้ง ใส่ลงในถุงซิปล็อคใส ขนาด 25x35 เซนติเมตร เติมน้ำละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้จากส่วนที่ 1 ของการทดลองขั้นตอน 3.2.3 จากนั้นเติมซิงค์คลอไรด์ (zinc chloride) ปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และเติมสารคงตัวที่ได้จากส่วนที่ 2 ของการทดลองขั้นตอน 3.2.3 ที่ปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จากนั้นเติมอีดีทีเอปริมาณร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ

2. ปรับความเข้มข้นเยื่อให้คงที่ที่ร้อยละ 15 (consistency 15 %) ด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วปรับค่าความเป็นกรดต่าง 10.5 ± 0.2 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปิดถุงซิปล็อค แล้วนำถุงซิปล็อค ไปใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ในระหว่างทำการฟอกเยื่อ จะต้องทำการนวดเยื่อ ทุกๆ 10 นาที โดยใช้เวลานวดนาน 2 นาทีต่อครั้ง

3. เก็บตัวอย่างน้ำในขณะที่ฟอกเยื่อประมาณ 5 กรัม ทุก 20 นาที จนครบเวลา 120 นาที เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ (residual hydrogen peroxide)

4. เมื่อครบเวลาของการฟอกเยื่อ เก็บตัวอย่างน้ำที่เหลือ เพื่อใช้ในการศึกษาปริมาณโลหะสังกะสีที่เหลืออยู่หลังจากการฟอกเยื่อ โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ในการวิเคราะห์

5. นำเยื่อออกจากภาชนะบรรจุ แล้วใส่ลงในถุงผ้า หลังจากนั้นเปิดน้ำประปาไหลเข้าไปในถุงผ้า เพื่อทำการล้างเยื่อและกำจัดสารส่วนเกินออกจากเยื่อ ล้างจนน้ำทิ้งใส

6. นำเยื่อที่ผ่านการฟอกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปขึ้นแผ่นทดสอบตามมาตรฐาน ISO 5269-2 ให้มีน้ำหนักมาตรฐาน เท่ากับ 70 กรัมต่อตารางเมตร และทดสอบสมบัติของเยื่อและกระดาษ ตามมาตรฐาน TAPPI [39] กล่าวคือ สมบัติด้านความแข็งแรง ได้แก่ ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T494 om-01 และค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T 414 om-98 เป็นต้น สมบัติเชิงแสง ได้แก่ ความขาวสว่าง (brightness) ตามมาตรฐาน TAPPI T 525 om-92 ความขาว (whiteness) ตามมาตรฐาน TAPPI T 452 om-02 ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ ตามมาตรฐาน TAPPI 524 om-02 และความทึบแสง (opacity) ตามมาตรฐาน TAPPI T519 om-02 เป็นต้น นำเยื่อส่วนที่สองทำการหาค่าประกอบทางเคมีของเยื่อ (ดังภาคผนวก ก) และปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ (kappa number) ตามมาตรฐาน TAPPI T 236 om-99 [39]

7. ทำการทดลองเช่นนี้ แต่เปลี่ยนสารสีเลตเป็นดีทีพีเอ และโคโทซาน ตามลำดับ โดยเติมที่ปริมาณร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ

3.2.4 การทดสอบสมบัติของเยื่อ

นำเยื่อที่ผ่านกระบวนการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของเยื่อดังนี้ คือ

ก. คัปปานัมเบอร์ (kappa number) คือ ค่าที่บอกถึงปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ ซึ่งหาได้โดยใช้มาตรฐาน TAPPI T 236 om-99 [39] นำเยื่อหลังจากการฟอกเยื่อทุกขั้นตอน มาหาค่าคัปปานัมเบอร์ โดยทำการทดสอบซ้ำ 2 ครั้งในแต่ละสภาวะ ถ้าหากค่าคัปปานัมเบอร์มีค่าน้อย แสดงว่าเยื่อที่ได้มีลิกนินเหลืออยู่ในเยื่อน้อย ทำให้เยื่อที่ได้มีความขาวสว่างสูง ในทางตรงกันข้าม ถ้าเยื่อมีค่าคัปปานัมเบอร์สูง แสดงว่ามีปริมาณลิกนินหลงเหลืออยู่ในเยื่อสูง ดังนั้นเยื่อที่ได้จึงมีความขาวสว่างต่ำ การหาค่าคัปปานัมเบอร์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ชั่งเยื่อที่ได้ภายหลังการฟอกเยื่อจำนวน 1 กรัมของน้ำหนักเยื่อแห้งนำไปกระจายเยื่อในน้ำกลั่น ประมาณ 1-2 นาที เพื่อให้เยื่อกระจายตัว แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรรวม 795 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร

2. นำบีกเกอร์จากข้อ 1 แช่วางน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.1000 ± 0.0005 นอร์มอล และ 4 นอร์มอล ของกรดซัลฟูริก อย่างละ 100 มิลลิลิตร เทลงในน้ำที่มีเยื่อที่เตรียมไว้ ใช้แท่ง Magnetic คนกระจายเยื่อตลอดเวลา จับเวลา 10 นาที

3. เมื่อครบเวลา เติม 1.0 นอร์มอล โพแทสเซียมไอโอไดด์ เพื่อหยุดปฏิกิริยา จากนั้นไทเทรตต่อทันทีด้วย 0.2000 ± 0.0005 นอร์มอล โซเดียมไฮโอซัลเฟต จะได้สารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน

4. เติมน้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จำนวน 5 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเป็นสีน้ำเงินเข้ม จากนั้นไทเทรตต่อจนถึงจุดยุติได้สารละลายสีใส บันทึกปริมาตร 1.0 นอร์มอล โพแทสเซียมไอโอไดด์ที่ใช้

5. ทำซ้ำขั้นตอนที่ข้อ 1-5 โดยไม่ใส่เยื่อ เพื่อใช้เป็นสารละลาย blank

6. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา Kappa Number โดยใช้สูตร

$$\log K = \log p/w + 0.00093 (p-50) \text{ โดยที่ } p = (b-a)N/0.1$$

เมื่อ $K =$ คัปปานัมเบอร์

$w =$ น้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่ปราศจากความชื้น (กรัม)

$p =$ ปริมาตรโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ (มิลลิลิตร)

$b =$ ปริมาตรโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ใน blank (มิลลิลิตร)

$a =$ ปริมาตรโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

$N =$ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮโอซัลเฟต (นอร์มอล)

ข. องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ (chemical composition) เป็นการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อหลังจากการฟอกเยื่อที่ทุกสภาวะ โดยจะวิเคราะห์หาปริมาณ ลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และปริมาณเถ้า (ดังภาคผนวก ก)

3.2.5 การขึ้นแผ่นทดสอบ

นำเยื่อคาลิปดัสที่ผ่านกระบวนการฟอกมาทำการขึ้นแผ่นทดสอบให้มีน้ำหนักมาตรฐาน 70 กรัมต่อตารางเมตร เพื่อนำแผ่นทดสอบไปทดสอบสมบัติในด้านต่างๆ โดยใช้เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบ Rapid-Köthen (Rapid-Köthen sheet former) ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ตาม

มาตรฐานการขึ้นแผ่นขึ้นทดสอบ ISO 5269-2 โดยที่ตัวเครื่องของขึ้นแผ่นทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนขึ้นแผ่นกระดาษ (sheet forming) และส่วนอบแห้ง (dryer) โดยมีขั้นตอนการขึ้นแผ่นทดสอบ ดังนี้

3.2.5.1 นำเยื่อที่ผ่านกระบวนการฟอกเยื่อประมาณ 22 กรัม ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มาปรับความเข้มข้นด้วยน้ำ ให้เป็นความเข้มข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 0.5 ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข จากนั้นนำไปตีกระจายด้วยเครื่องตีกระจายเยื่อ (disintegrator) ดังแสดงในภาพที่ 3.3 เพื่อให้กลายเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ ที่ 8,000 รอบ ใช้เวลาประมาณ 2 นาที



ภาพที่ 3.2 เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบ Rapid-Köthen [41]

3.2.5.2 คำนวณปริมาณน้ำเยื่อที่ต้องใช้ในการขึ้นแผ่นให้ได้แผ่นทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน 70 กรัมต่อตารางเมตร ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข

3.2.5.3 เทน้ำเยื่อที่คำนวณได้จากข้อ 3.2.5.2 ลงในส่วนขึ้นแผ่นทดสอบ แล้วทำการระบายน้ำ (drainage) ออก ซึ่งจะส่งผลให้เส้นใยเกิดการสานตัวกันกลายเป็นแผ่นทดสอบ โดยจะมีลักษณะเป็นแผ่นกระดาษวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 เซนติเมตร

3.2.5.4 นำแผ่นตัวอย่างที่ขึ้นแผ่นเรียบร้อยแล้วมาปิดประกบด้วยกระดาษที่ใช้ขึ้นแผ่นแล้วนำมาอบแห้งในส่วนอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที



ภาพที่ 3.3 เครื่องตีกระจายเยื่อ (disintegrator)

3.2.6 การทดสอบสมบัติของแผ่นทดสอบ

นำแผ่นทดสอบที่ผ่านการฟอกเยื่อแล้วของทุกสภาวะ มาทดสอบสมบัติเชิงแสงของกระดาษ (optical properties) และสมบัติด้านความแข็งแรง (strength properties) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.6.1 สมบัติด้านเชิงแสง (optical properties)

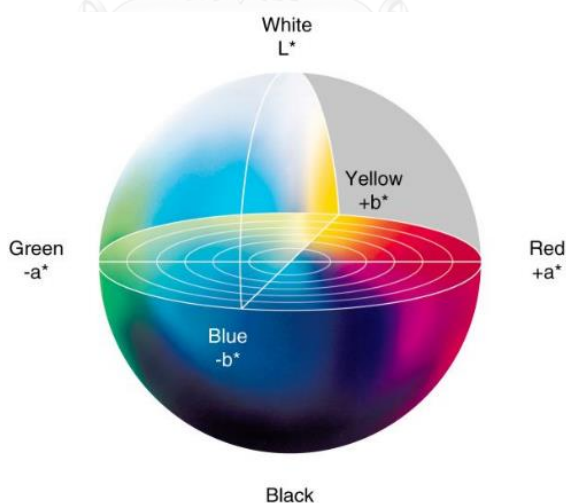
3.2.6.1.1 ความขาวสว่าง (brightness) คือ การวัดค่าการสะท้อนแสงที่ 457 นาโนเมตร ของกระดาษ ซึ่งค่าการสะท้อนแสงนี้จะอยู่ในช่วงของการสะท้อนแสงสีน้ำเงิน ทำการวัดด้วยเครื่องวัดสมบัติเชิงแสง (ดังแสดงในภาพที่ 3.4) ตามมาตรฐาน TAPPI T 525 om-02 [39]



ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดสมบัติเชิงแสงของแผ่นทดสอบ (Color Touch PC) [42]

3.2.6.1.2 ค่าดัชนีความขาว (whiteness Index, WI) ทำการวัดด้วยเครื่องวัดสมบัติเชิงแสง ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 452 om-02 [39] เป็นสมบัติที่แตกต่างจากความขาวสว่าง คนจะรู้สึกว่าการกระดาษมีสีขาวกว่าอีกสิ่งหนึ่ง ถ้ากระดาษสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นออกมาอย่างสม่ำเสมอว่าการย้อม (tinting) กระดาษขาวด้วยสีน้ำเงิน ทำให้ดูขาวขึ้น เนื่องจากแสงสีเหลืองและแสงสีแดงถูกดูดไว้มากขึ้น จึงสะท้อนแสงออกมาน้อยลง หากวัดค่าความขาวสว่าง จะพบว่าลดลงเล็กน้อย เนื่องจากมีทุกสีที่ไล่ลงไปกระดาษจะถูกดูดกลืนแสงไว้ แต่สีน้ำเงินจะมีผลกระทบต่อค่าความขาวสว่างน้อยกว่าสีอื่น การใช้สารฟอกขาวในกระดาษ จะช่วยให้กระดาษมีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีม่วงและสีน้ำเงินมากขึ้น กระดาษจึงดูขาวขึ้น เมื่อดูด้วยแสงแดด หรือแสงที่มีรังสียูวีใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติในเวลากลางวัน การวัดความขาวยุ่งยากและซับซ้อนกว่าความขาวสว่าง โดยเฉพาะเมื่อกระดาษมีสารฟอกขาว โดยหลักการจะประเมินค่าความขาวจากการวัดค่าไตรสติมูลัส (tristimulus values) ของกระดาษ แล้วคำนวณค่าดัชนีความขาว (whiteness index) ออกมา

3.2.6.1.3 ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ ตามมาตรฐาน TAPPI 524 om-02 [39] โดยที่ L^* หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) $+a^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง และ $-a^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว $+b^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และ $-b^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งแสดงลักษณะสี CIE $L^*a^*b^*$ ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แสดงลักษณะสี CIE $L^*a^*b^*$ [43]

3.2.6.1.4 ค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) ใช้อธิบายความแตกต่างของสี เพื่อสื่อให้ทุกคนรู้และเข้าใจตรงกัน ซึ่งการมองเห็นสีของมนุษย์และการวัดสีจากเครื่องวัดต้องอาศัยปัจจัย 3 อย่าง คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุสี และการอ่านค่าสี โดยการมองเห็นสีของมนุษย์แต่ละคนอาจจะอ่านค่าสีที่ได้แตกต่างกันไป ซึ่งบางครั้งอาจมองเห็นสีสองสีเป็นสีเดียวกัน สำหรับเครื่องวัดสีจะ

สามารถบอกค่าความแตกต่างของสีที่พบได้และจะได้ค่าจากการวัดสีในทางอุตสาหกรรมเป็นไปตามมาตรฐานสากล ดังนั้นจึงมีการวัดกำหนดการวัดสีในระบบตัวเลข เพื่อให้สีที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นไปตามมาตรฐานสากล และใช้ในควบคุมคุณภาพของสินค้าในอุตสาหกรรม โดยค่าความแตกต่าง (ΔE^*_{ab}) ของสี 2 สี สามารถคำนวณได้จากสมการ 3.1 [44]

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.1)$$

ค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) ที่ได้จากการคำนวณจะนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของค่า ความแตกต่างสี ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่ามาตรฐานของค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab})

| ΔE^*_{ab} | ความแตกต่าง |
|-------------------|--|
| < 0.2 | สังเกตเห็นความแตกต่าง |
| 0.2 – 0.5 | สังเกตเห็นความแตกต่างได้น้อยมาก |
| 0.5 – 1.5 | สังเกตเห็นความแตกต่างได้น้อย |
| 1.5 – 3.0 | สังเกตเห็นความแตกต่างได้ปานกลาง |
| 3.0 – 6.0 | สังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน |
| 6.0 - 12.0 | สังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนมาก |
| > 12.0 | สังเกตเห็นความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง |

3.2.4.1.5 ความทึบแสง (opacity) เป็นการวัดความสามารถในการให้แสงทะลุของแผ่นขึ้นทดสอบ แผ่นทดสอบที่มีความทึบแสงสูงจะมีการทะลุผ่านของแสงน้อย การวัดความทึบแสงสามารถทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดสมบัติเชิงแสงเครื่องเดียวกับการวัดหาค่าความขาวสว่าง โดยทำการวัดตามมาตรฐาน TAPPI T 519 om-02 [39]

3.2.6.2 สมบัติด้านความแข็งแรง (strength properties)

3.2.6.2.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) คือค่าแรงสูงสุดของแผ่นทดสอบที่ทนได้ก่อนแผ่นทดสอบจะขาดออกจากกันเมื่อถูกดึง ทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง ดังแสดงในภาพที่ 3.6 ตามมาตรฐานของ TAPPI T 494 om-01 [36] แล้วนำค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้มาคำนวณหาค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index) โดยนำค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงหารด้วยน้ำหนักมาตรฐาน



ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง

3.2.6.2. ความต้านทานแรงฉีก (tear resistance) คือ ค่าความสามารถของแผ่นทดสอบที่ต้านแรงในการฉีกแผ่นทดสอบต่อจากแนวตัดเริ่มต้น วัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงฉีกดังแสดงในภาพที่ 3.7 โดยใช้วิธีแบบ Elmendorf internal tearing resistance test ตามมาตรฐาน TAPPI T 414 om-98 [39] แล้วนำค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกที่ได้มาคำนวณหาค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear index) โดยนำค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกหารด้วยน้ำหนักมาตรฐาน



ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดความต้านทานแรงฉีก [45]

3.2.7 การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ (residual hydrogen peroxide)

การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ โดยใช้วิธีไอโอดิเมตริกไทเทรชัน (iodometric titration) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ โดยใช้หลักการไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกซิไดส์ไอโอดิเดต์ให้เป็นไอโอดีน ในสารละลายที่เป็นกรด โดยใช้แอมโมเนียมโมลิบเดตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อไอโอดีนเกิดขึ้นแล้วจะถูกไทเทรตด้วยโซเดียมไทโอ

ซัลเฟต (sodium thiosulfate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) โดยใช้ น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ แสดงดังสมการ 3.2 และ 3.3 ซึ่งมีวิธีทดลองดังต่อไปนี้ [46]



3.2.7.1 เก็บตัวอย่างน้ำในกระบวนการฟอกเยื่อประมาณ 5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ณ ที่เวลา 0 20 40 60 80 100 และ 120 นาที

3.2.7.2 เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร แล้วเติม 10 มิลลิลิตร ของสารละลายกรดซัลฟูริก (sulfuric acid solution) มีความเข้มข้น 4.6 โมลาร์

3.2.7.3 เติม 10 มิลลิลิตร ของสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide solution) ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วหยดสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate solution) ร้อยละ 3 ประมาณ 2-3 หยด

3.2.7.4 ไทเทรตด้วย 0.1 นอร์มอล ของโซเดียมไทโอซัลเฟต จนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน จากนั้นเติมน้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ประมาณ 2 มิลลิลิตร และไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหายไปจนไม่มีสี

3.2.7.5 ทำซ้ำขั้นตอนที่ข้อ 3.2.5.1-3.2.5.4 โดยใช้ น้ำปราศจากไอออนและปราศจากการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อใช้เป็นสารละลาย blank

3.2.7.6 คำนวณปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ จากสูตร

$$\text{ร้อยละ } \text{H}_2\text{O}_2 = \frac{(A - B) \times (\text{Normality ของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times 1.7}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

โดยที่

A คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างน้ำที่เก็บจากกระบวนการฟอกเยื่อ (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตกับน้ำที่ใช้เป็น blank (มิลลิลิตร)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ผลของการเตรียมเยื่อ ซึ่งจะรายงานผลลักษณะของเยื่อก่อนและหลังการเตรียม โดยเยื่อที่เตรียมได้ จะต้องมึลักษณะตามมาตรฐาน และผลการฟอกเยื่อ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อย ส่วนที่ 1 ศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส ส่วนที่ 2 ศึกษาผลของสารคงตัวต่อการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ส่วนที่ 3 ศึกษาผลของการสารคีเลตและโคโทซานต่อการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งแต่ละส่วนย่อยจะรายงานผลในเทอมของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ สมบัติของเยื่อที่ผ่านการฟอก (ค่าค่าปทานัมเบอร์ องค์กรประกอบทางเคมีของเยื่อ) สมบัติของกระดาษด้านความแข็งแรง (ความแข็งแรงต่อแรงดึง และความแข็งแรงต่อแรงฉีก) และสมบัติเชิงแสง (ความขาวสว่าง ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ และความทึบแสง) โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการเตรียมน้ำเยื่อ

เยื่อที่ได้รับจากบริษัท สยามเซลลูโลส จำกัด มีลักษณะเป็นเยื่อแผ่นเปียก จึงนำเยื่อเข้าสู่กระบวนการเตรียมน้ำเยื่อ โดยทำการบดเยื่อยูคาลิปตัส ตามมาตรฐานการบดเยื่อ TAPPI T 200 sp-01 [39] เป็นเวลา 45 นาที เพื่อให้ได้ค่าสภาพการระบายน้ำ (freeness) TAPPI T227 om-99 [39] อยู่ในช่วง 320-350 มิลลิลิตร โดยค่าค่าสภาพการระบายน้ำที่วัดได้จริงคือ 350 มิลลิลิตร ซึ่งการบดเยื่อจะช่วยให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของสารเคมีในกระบวนการฟอกเยื่อ และช่วยปรับปรุงพันระเส้นใยให้ดีขึ้น โดยการบดเยื่อทำให้เส้นใยมีการแนบตัวชิดกันได้ดีขึ้น และพื้นที่ผิวของเส้นใยมีพื้นที่สัมผัสระหว่างเส้นใยมากขึ้น เพื่อช่วยให้เกิดการสานตัวของเส้นใยขึ้นเป็นแผ่นทดสอบได้ดียิ่งขึ้นซึ่งลักษณะของเยื่อก่อนเตรียมและหลังเตรียม มีลักษณะแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.1ก และ ข



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของเยื่อก่อนเตรียมและเยื่อหลังเตรียม (ก) เยื่อก่อนเตรียมมีลักษณะเป็นแผ่นเปียกขนาดใหญ่ (ข) เยื่อหลังเตรียมซึ่งผ่านกระบวนการบดเยื่อ

4.2 ผลการฟอกเยื่อ

4.2.1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

4.2.1.1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ

การฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในช่วงความเป็นด่าง ส่งผลให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกตัวเป็นเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (HOO^-) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารในการฟอกเยื่อ โดยเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ของลิกนินที่อยู่ในเยื่อแล้วหลุดออกจากเส้นใยสู่น้ำฟอกเยื่อ ทำให้ปริมาณลิกนินที่พบในเยื่อจึงลดลง [22] น้ำเยื่อเปลี่ยนสีจากใสเป็นสีน้ำตาล ลักษณะเยื่อก่อนฟอกมีสีน้ำตาล เมื่อเพิ่มระยะเวลาการฟอกจาก 0 นาที ถึง 120 นาที สีของเยื่อจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีขาว ดังแสดงในภาพที่ 4.2



(ก)



(ข)



(ค)

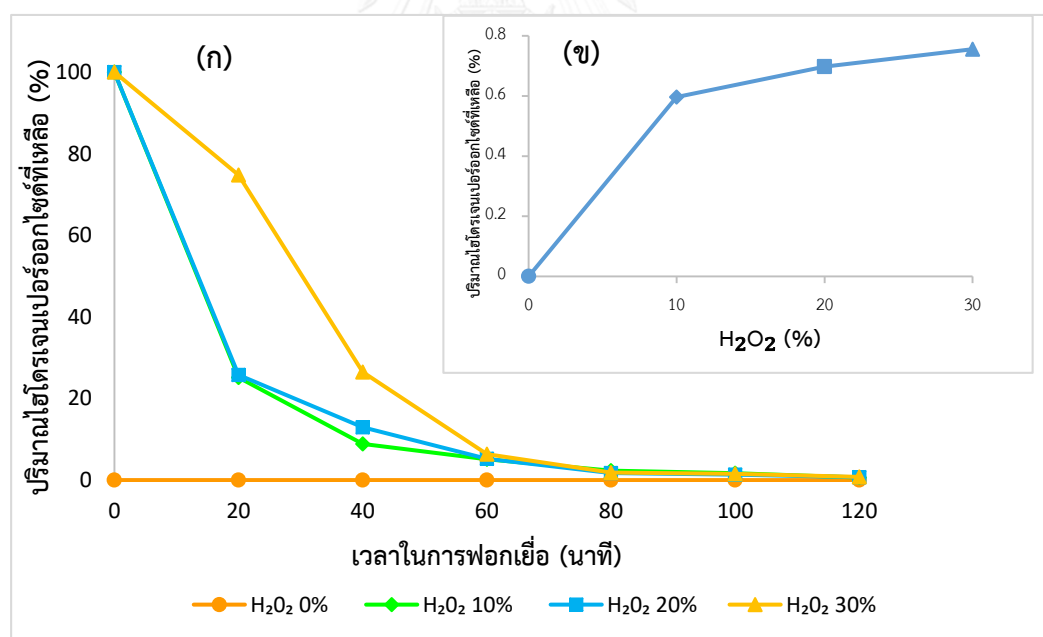


(ง)

ภาพที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของเยื่อยุคาลิปตัสที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมเยื่อทั้งก่อนฟอกและหลังฟอก และน้ำเยื่อทั้งก่อนฟอกและหลังฟอก โดย (ก) เยื่อก่อนฟอกมีสีน้ำตาล (ข) สารละลายเริ่มต้นที่ใช้ฟอกเยื่อ (ค) เยื่อหลังฟอกมีสีขาว (ง) สารละลายที่ได้จากการฟอกเยื่อ

ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือจากการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที แสดงดังภาพที่ 4.3

จากภาพที่ 4.3 ก แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อเวลาที่ใช้ในการฟอกเยื่อ พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการฟอกเยื่อมากขึ้นจะทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ลดลง ตามลำดับ และในภาพ ข แสดงการฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือเท่ากับร้อยละ 0 0.6 0.7 และ 0.76 โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่สูงกว่าที่ระดับอื่นๆ ทั้งนี้เป็นเพราะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงพอต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ซึ่งอยู่ในโครงสร้างลิกนินของกระบวนการฟอกเยื่อมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 10 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ จึงทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่า

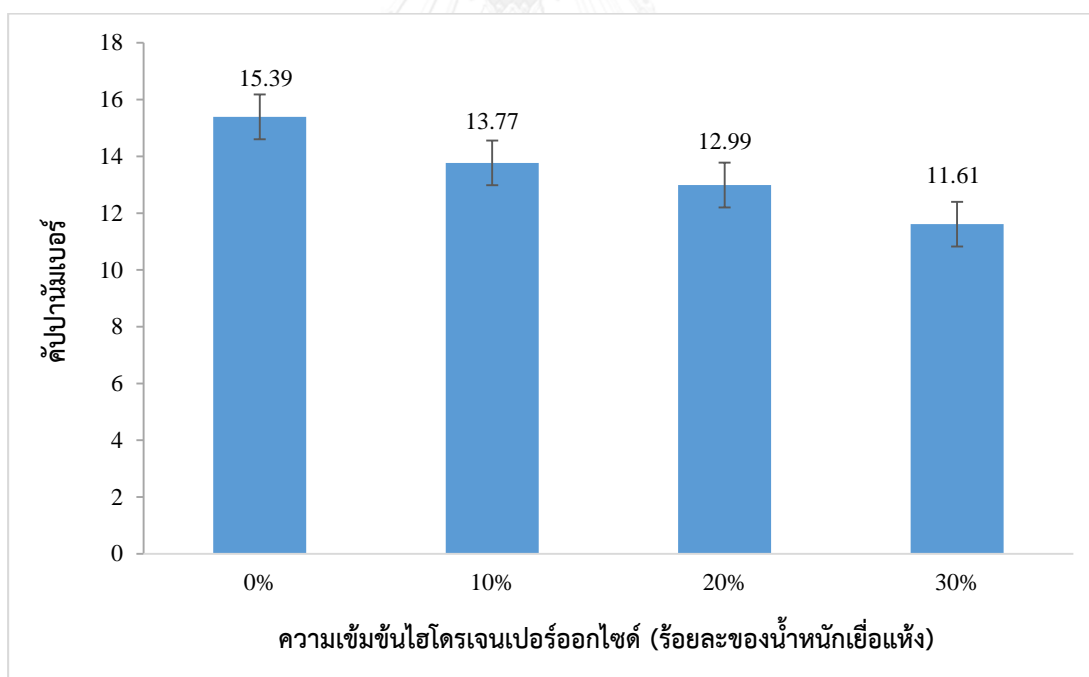


ภาพที่ 4.3 (ก) ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือจากการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อเวลาที่ใช้ในการฟอกเยื่อ (ข) ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือหลังจากการฟอกเยื่อคาลิปต์สที่เวลา 120 นาที เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส

4.2.1.2 สมบัติของเยื่อ

ก. ค่าคัปปานัมเบอร์ (kappa number)

คัปปานัมเบอร์ คือ ค่าโดยประมาณที่บ่งบอกถึงปริมาณลิกนินที่หลงเหลืออยู่ในเยื่อ เยื่อที่แสดงค่าคัปปานัมเบอร์สูงกว่า แสดงว่า เยื่อนั้นมีปริมาณลิกนินอยู่มากกว่าเยื่อที่ให้ค่าคัปปานัมเบอร์ต่ำกว่า ภายหลังจากการต้มเยื่อและฟอกเยื่อ เนื่องจากวิธีการหาง่ายกว่าการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ การหาค่าคัปปานัมเบอร์จึงเป็นที่นิยมใช้วัดหาปริมาณลิกนินที่หลงเหลืออยู่จากกระบวนการผลิตเยื่อ แสดงดังภาพที่ 4.4 พบว่า เยื่อที่ผ่านการฟอกโดยใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูงกว่าจะให้ค่าคัปปานัมเบอร์ต่ำกว่าเยื่อที่ผ่านการฟอกโดยใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่า ที่เป็นเช่นนี้เพราะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนินทำให้โครงสร้างลิกนินเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วสลายตัวลงและละลายออกมาในที่สุด แสดงว่าปริมาณลิกนินที่หลงเหลืออยู่ภายในเส้นใยมีปริมาณลดลง ดังนั้นค่าคัปปานัมเบอร์ที่ได้จึงลดลง ตามลำดับ โดยที่ภาวะการฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณลิกนินต่ำที่สุด ทำให้ค่าคัปปานัมเบอร์ต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.4 ค่าคัปปานัมเบอร์ของเยื่อคุณภาพดีที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคั่งที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที

ข. องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ (chemical composition)

เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที จะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ เพื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณของลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และเถ้า ดังแสดงในตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากร้อยละ 0 ถึง 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะส่งผลให้ทั้งปริมาณลิกนินลดลงจากร้อยละ 5.35 สู่ร้อยละ 3.45 ปริมาณเซลลูโลสลดลงจากร้อยละ 84.35 สู่ร้อยละ 82.15 และปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจากร้อยละ 8.55 สู่ร้อยละ 5.60 ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับไฮโดรอกซิลิกอนในสถานะต่าง เกิดผลิตภัณฑ์เป็นเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (OOH^-) ซึ่งทำหน้าที่เป็นนิวคลีโอไฟล์ที่เข้าทำปฏิกิริยากับลิกนินที่อยู่ในเยื่อ ยิ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น เปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออนก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณลิกนินที่เหลือในเยื่อมีค่าลดลง จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าร้อยละปริมาณลิกนินที่ลดลงมีค่าเท่ากับ 82.2 73.8 และ 64.5 เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากร้อยละ 0 เป็น 10 20 และ 30 ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.1 นั้นสอดคล้องกับผลการทดลองค่าค่าป่านัมเบอร์แสดงดังภาพที่ 4.4 นอกจากเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (OOH^-) ที่เกิดขึ้น สามารถเกิดปฏิกิริยากันเอง และทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลแอนไอออน เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (peroxy radical, OO^\cdot) ซึ่งจะเข้าไปทำลายคาร์โบไฮเดรต ซึ่งได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (peroxy radical, OO^\cdot) มากขึ้นตามลำดับ จึงทำให้ปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ลดลงมากขึ้น ตามลำดับเช่นกัน จากตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณเซลลูโลสลดลงร้อยละ 0.42 1.1 และ 2.6 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงร้อยละ 15.2 18.1 และ 34.5 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากร้อยละ 0 เป็น 10 20 และ 30 ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าการลดลงของปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมีค่าต่างกัน ทั้งที่ทั้งสองต่างเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่อยู่ในเซลล์ของเส้นใย ที่เป็นเช่นนี้ บางส่วนของเซลลูโลสมีการจัดเรียงโมเลกุลของกลุ่มพอลิแซคคาไรด์อย่างเป็นระเบียบเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้มีความแข็งแรงมาก ในขณะที่เฮมิเซลลูโลสมีการจัดเรียงโมเลกุลของกลุ่มพอลิแซคคาไรด์ไม่เป็นระเบียบ มีการเรียงตัวเป็นระบบผลึกน้อยกว่า [3] ดังนั้นเฮมิเซลลูโลสจึงถูกทำลายได้ง่ายกว่าเซลลูโลส

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อฟอกยูคาลิปตัสที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที

| ปริมาณของ H ₂ O ₂ (%) | เฮมิเซลลูโลส (%) | ลิกนิน (%) | เซลลูโลส (%) | เถ้า (%) | อื่นๆ (%) |
|--|---------------------|---------------|-----------------|-------------|--------------|
| 0% | 8.55 | 5.35 | 84.35 | 1.15 | 0.6 |
| 10% | 7.25 | 4.40 | 84.00 | 1.30 | 3.05 |
| 20% | 7.00 | 3.95 | 83.45 | 1.60 | 4 |
| 30% | 5.60 | 3.45 | 82.15 | 1.65 | 7.15 |

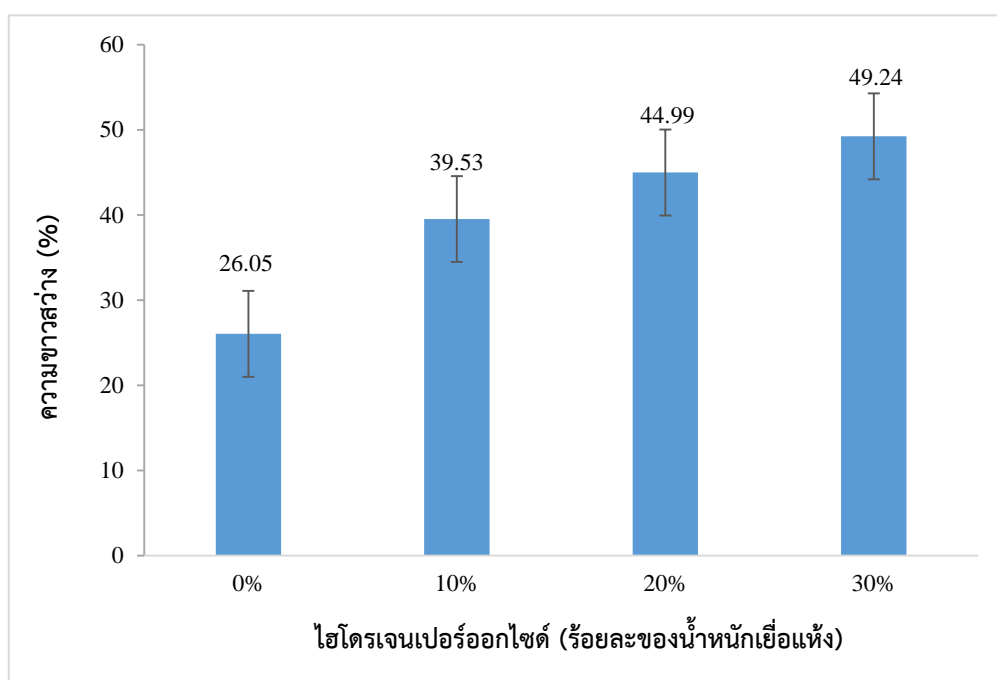
4.2.1.3 สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง

เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง โดยกำหนดสภาวะการฟอกเยื่อ ดังนี้ ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที เยื่อเหล่านี้จะถูกนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นขึ้นทดสอบที่น้ำหนักมาตรฐาน 70 กรัมต่อตารางเมตร ตามมาตรฐานการขึ้นแผ่นขึ้นทดสอบ ISO 5269-2 แล้วจึงนำมาวิเคราะห์สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง อันประกอบด้วย ความขาวสว่าง ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ และความทึบแสง

ก. ความขาวสว่าง (Brightness)

ค่าความขาวสว่างของแผ่นทดสอบที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.5 การวัดค่าความขาวสว่างของแผ่นทดสอบ เป็นการวัดการสะท้อนแสงสีน้ำเงินที่ความยาวแสง 457 นาโนเมตร จากภาพที่ 4.5 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อจากร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ค่าความขาวสว่างมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 26.1 39.5 45.0 และ 49.5 ตามลำดับ เนื่องจากกระบวนการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะส่งผลให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างของลิกนิน ปฏิกิริยานี้เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของลิกนิน ทำให้ค่าการสะท้อนแสงในช่วงที่ตามองเห็น (ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร) เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จึงเป็นการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การดูดซับแสงในการเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนินที่มีอยู่ในเส้นใย ซึ่งจะทำให้บางส่วนของหน่วยฟีนิลโพรเพนแตกออก เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของลิกนินมากขึ้น จึงสะท้อนแสง

ในช่วงที่ตามองเห็นเพิ่มมากขึ้น ฉะนั้นค่าความขาวสว่างจึงมีค่าสูงขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อจึงมากขึ้นจะช่วยให้การกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้เป็นอย่างดี ดังนั้นค่าความขาวสว่างที่ได้จึงสูงขึ้น จากงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในการฟอกเยื่อคาลิปต์ส เนื่องจากมีค่าความขาวสว่างสูงสุด สอดคล้องกับผลค่าคัปปานัมเบอร์ต่ำที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.4 และค่าความขาวสว่างที่ได้สูงสุดเมื่อเทียบกับค่าของเยื่อเริ่มต้น ซึ่งไม่ผ่านการฟอกเยื่อ



ภาพที่ 4.5 ค่าความขาวสว่างของแผ่นทดสอบที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที

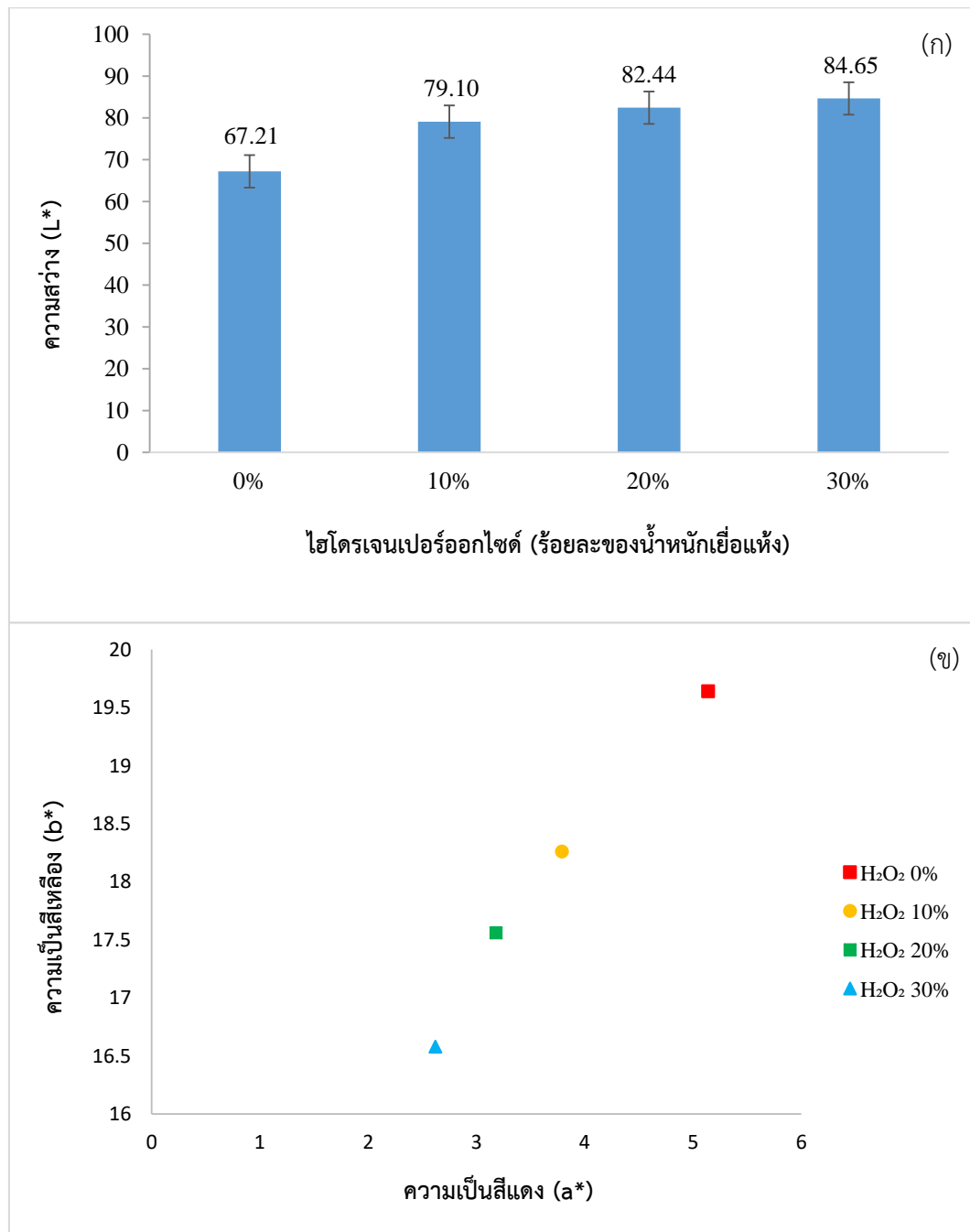
ข. ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ และค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*_{ab})

ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ ของแผ่นทดสอบที่ขึ้นรูปจากเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4.6

จากภาพที่ 4.6 แสดงผลค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ โดยค่า L^* แสดงถึง ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) ค่า $+a^*$ แสดงถึง ค่าความเป็นสีแดง และค่า $-a^*$ แสดงถึง

ค่าความเป็นสีเขียว และค่า $+b^*$ แสดงถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และ $-b^*$ แสดงถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน [44] ภาพที่ 4.6ก พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับ แสดงว่าค่าความสว่างมีค่าเข้าใกล้ค่าความเป็นสีขาวมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกเยื่อคาลิปต์ส จะช่วยในการกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มากขึ้น ซึ่งลิกนินเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีเหลือง ดังนั้นเมื่อทำการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยที่ระดับความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความสว่างของกระดาษที่ได้สูงขึ้น ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.6ข ในขณะที่ค่าสี CIE a^*b^* มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มที่ระดับความเข้มข้นการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงว่าค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง ตามลำดับ [45] เนื่องจากการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในกระบวนการฟอกเยื่อคาลิปต์ส จะช่วยละลายลิกนินออกมาได้มากขึ้น ซึ่งลักษณะของลิกนินก่อนฟอกจะมีสีน้ำตาล เมื่อผ่านกระบวนการฟอกเยื่อแล้ว จะทำให้ค่าสี CIE a^*b^* น้อยลง โดยปกติลิกนินเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีเหลือง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในกระบวนการฟอกเยื่อคาลิปต์สที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง ตามลำดับ และค่าความสว่าง (L^*) ให้ค่าเพิ่มมากขึ้น ตามลำดับ ดังนั้นความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เหมาะที่จะใช้ในการฟอกเยื่อคาลิปต์ส เนื่องจากให้ค่าความสว่าง (L^*) สูงสุด และค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ต่ำที่สุด สอดคล้องกับผลค่าคัปปานัมเบอร์ต่ำที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.4 ซึ่งแสดงปริมาณลิกนินในเยื่อต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.6 ค่าสี CIE L*a*b* ของการฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที

ค่าความแตกต่างของสีในการฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ

10.5±0.2 ที่อุณหภูมิ 75±5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที เมื่อเทียบกับเยื่อเริ่มต้น ซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการฟอก แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า ในการฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นไปจะมีค่าความแตกต่างของสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับเยื่อเริ่มต้น เป็นผลมาจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มาก กว่าที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ในลิกนิน และเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีเหลือง เมื่อกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มาก กระดาษที่ได้จึงมีสีขาวเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับกระดาษเริ่มต้นซึ่งมีสีน้ำตาล จึงทำให้ค่าความแตกต่างของสีเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ เมื่อนำค่าความแตกต่างของสีไปเทียบกับค่ามาตรฐานแสดงดังตารางที่ 3.1 [44] พบว่า ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้งมีค่าความแตกต่างของสีมากกว่า 12.0 แสดงว่ากระดาษที่ได้จากการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นไปมีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง เมื่อเทียบกับกระดาษที่ได้จากเยื่อเริ่มต้น

ตารางที่ 4.2 ค่าความแตกต่างของสีในการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเทียบกับเยื่อเริ่มต้น เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5±0.2 ที่อุณหภูมิ 75±5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที

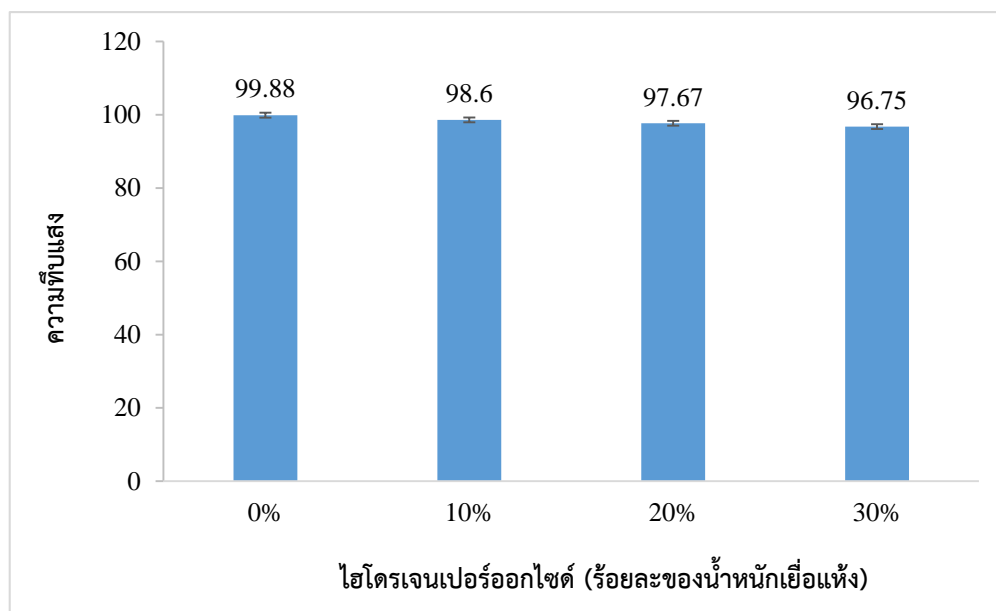
| | L* | a* | b* | ΔE^*_{ab} |
|-----------------------------------|-------|------|-------|-------------------|
| H ₂ O ₂ 10% | 79.10 | 3.79 | 18.26 | 12.05 |
| H ₂ O ₂ 20% | 82.44 | 3.18 | 17.56 | 15.50 |
| H ₂ O ₂ 30% | 84.65 | 2.62 | 16.58 | 17.88 |

ค. ความทึบแสง (opacity)

ค่าความทึบแสงของแผ่นทดสอบที่ขึ้นรูปจากเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5±0.2 ที่อุณหภูมิ 75±5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4.7

การวัดค่าความทึบแสง เป็นการวัดความสามารถของแผ่นทดสอบในการขัดขวางการเคลื่อนที่ผ่านของแสง จากภาพที่ 4.7 พบว่า ค่าความทึบแสงที่ได้มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในกระบวนการฟอกเยื่อยูคาลิปตัส ส่งผลให้การละลายของลิกนินเพิ่มขึ้น จึงถูกกำจัดออกจากเยื่อได้มากขึ้น ปริมาณลิกนินจึงลดลง ส่งผลให้เส้นใยสร้างพันธะแนบตัวกันได้ดี ช่องว่างภายในลดลง ทำให้การกระเจิงแสงและการ

ดูคลื่นแสงของกระดาษน้อยลง แสงจึงสามารถทะลุผ่านได้มากขึ้น [16] ดังนั้นค่าความทึบแสงที่ได้จึงลดลง ตามลำดับ



ภาพที่ 4.7 ค่าความทึบแสงของเยื่อคาลิปต์สที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที

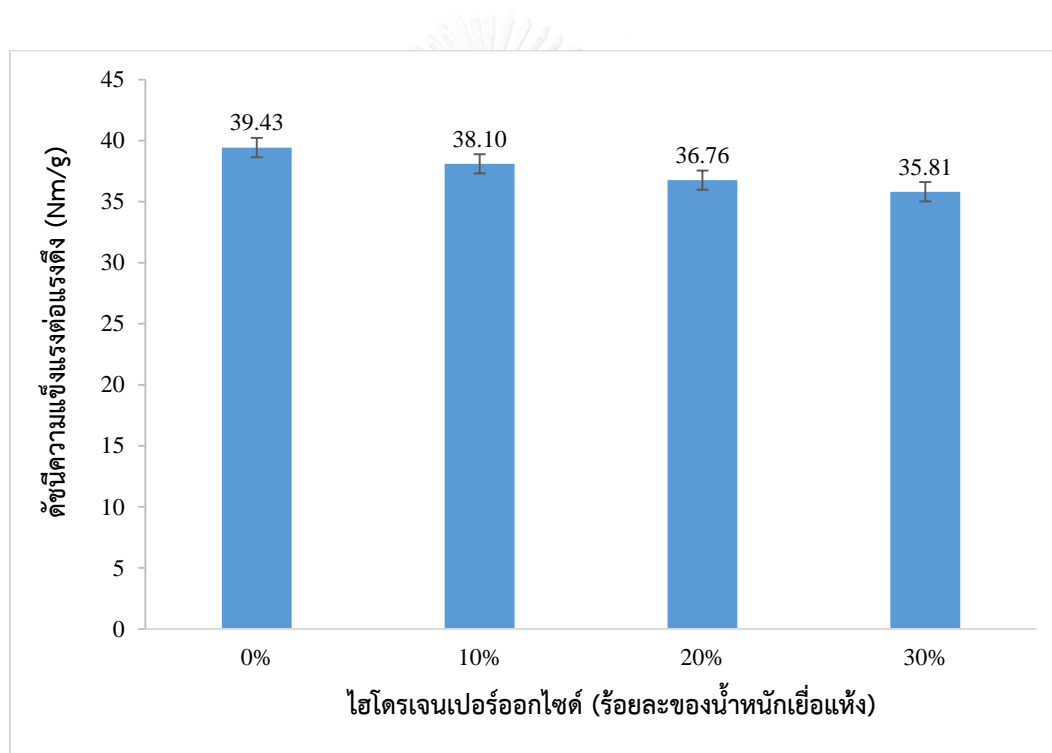
จากสมบัติด้านเชิงแสงของกระดาษที่บ่งบอกค่าความขาวสว่าง ค่าความสว่าง (L^*) ให้ค่าสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) รวมไปถึงค่าความทึบแสงมีค่าลดลง เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แสดงถึงปริมาณลิกนินภายหลังจากการฟอกเยื่อลดลง จึงเลือกใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกเยื่อที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

4.2.1.4 สมบัติกระดาษด้านความแข็งแรง

ก. ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นทดสอบที่ขึ้นรูปจากเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4.8

ความแข็งแรงต่อแรงดึงขึ้นอยู่กับพันธะของเส้นใย เส้นใยที่มีการสร้างพันธะระหว่างกันได้ดีจะส่งผลให้แผ่นขึ้นตัวอย่างมีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูง จากภาพที่ 4.8 พบว่าการพอกเยื่อคาลิปตัสด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง [47] ทั้งนี้เป็นผลมาจาก การพอกเยื่อคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อาจเกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ โดยการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^{\cdot}) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^{\cdot}) ซึ่งจะเข้าไปทำลายคาร์โบไฮเดรตทั้งในส่วนของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส [48] ทำให้เส้นใยอ่อนแอ ส่งผลให้การสร้างพันธะระหว่างเส้นใยไม่ดี ดังนั้นค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ได้จึงลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ซึ่งแสดงปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลงด้วยเช่นกัน



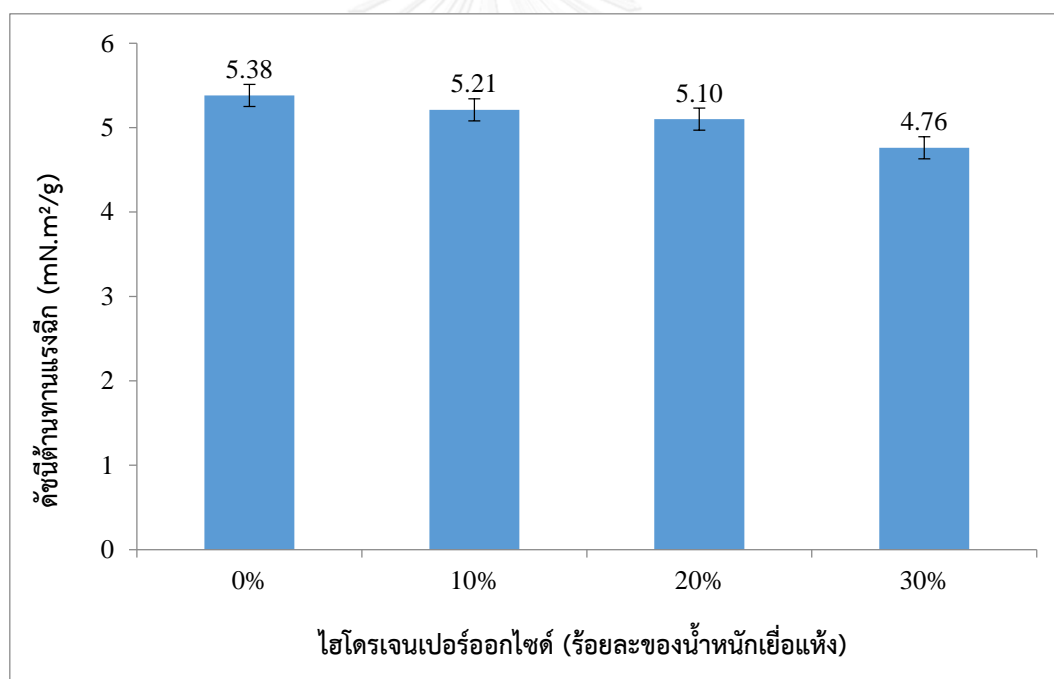
ภาพที่ 4.8 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของเยื่อคาลิปตัสที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปตัสที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอกเยื่อ 120 นาที

ข. ความต้านทานแรงฉีก (tear resistance)

ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกของแผ่นทดสอบที่ขึ้นรูปจากเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปตัสที่ร้อยละ 15 ค่า

ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4.9

โดยความแข็งแรงต่อแรงฉีกขึ้นอยู่กับความยาวและความแข็งแรงของเส้นใยมากกว่าพันธะของเส้นใย ดังนั้นเยื่อที่มีความยาวของเส้นใยสูงและเส้นใยมีความแข็งแรงมากก็จะผลิตกระดาษที่ต้านทานต่อแรงฉีกได้สูง จากภาพที่ 4.9 พบว่า เมื่อพอกเยื่อที่ด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกลดลง [47] ทั้งนี้เป็นผลมาจากการพอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อาจเกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ ซึ่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^\cdot) ซึ่งจะเข้าไปทำลายความยาวของเส้นใย [48] จึงทำให้เส้นใยที่ได้มีความยาวลดลง ส่งผลให้เส้นใยมีความแข็งแรงลดลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกที่ได้จึงลดลง



ภาพที่ 4.9 ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกของเยื่อคาลิปต์สที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์สที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอกเยื่อ 120 นาที

จากสมบัติของเยื่อ เมื่อพอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าคัมพานัมเบอร์ต่ำที่สุด และผลองค์ประกอบทางเคมี

ของเยื่อ มีปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และปริมาณลิกนินต่ำที่สุด และจากสมบัติด้านเชิงแสง เมื่อพอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าความขาวสว่าง และค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความทึบแสงต่ำที่สุด และจากสมบัติด้านความแข็งแรง เมื่อพอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและความแข็งแรงต่อแรงฉีกลดลง ดังนั้นจากการทดลองในขั้นตอนที่ 4.2.1 จึงเลือกใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นตอนถัดไป

4.2.2 ไอออนสังกะสี

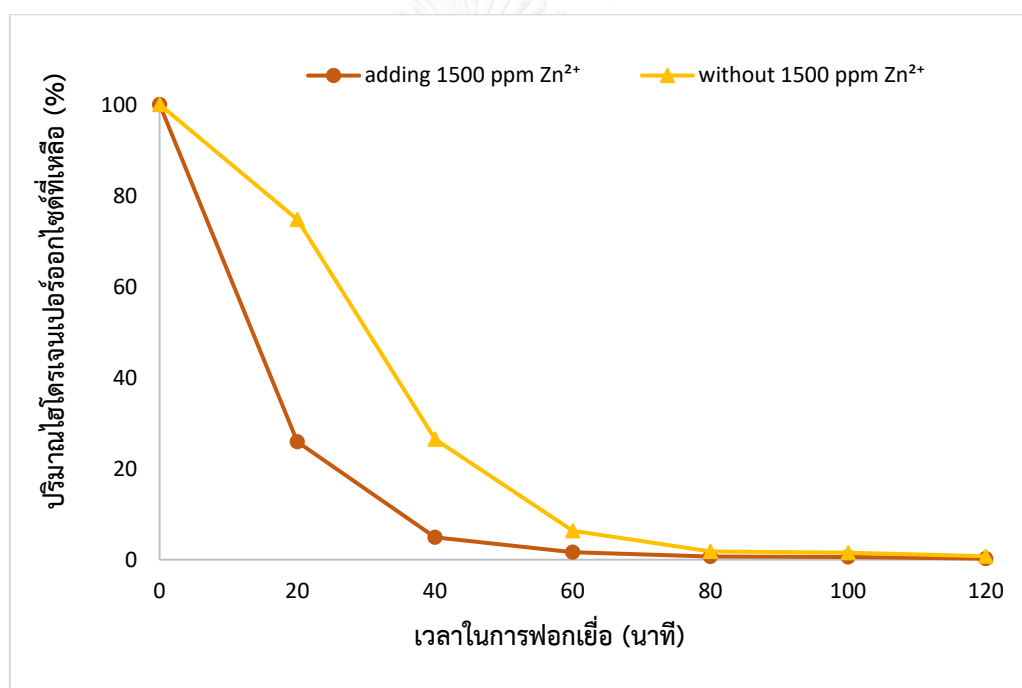
เนื่องจากน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อ คือ น้ำประปา ซึ่งจากข้อมูลการประปานครหลวง พบว่าน้ำประปาที่ใช้ในประเทศไทยนั้นจะมีการปนเปื้อนสังกะสีในทุกๆเขตพื้นที่ [2] ในหัวข้อนี้จึงศึกษาผลของการมีอยู่ของไอออนสังกะสีต่อการพอกเยื่อ โดยกำหนดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการพอกเยื่อมีค่าเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที และความเข้มข้นของไอออนสังกะสีเท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำจากขั้นตอนการพอกเยื่อจะถูกเก็บทุกๆ 20 นาที เพื่อหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ ส่วนเยื่อที่ผ่านการพอกจะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติของเยื่อและเมื่อนำไปขึ้นรูปกระดาษจะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติเชิงแสงและสมบัติด้านความแข็งแรง ดังนี้

4.2.2.1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ

ผลของไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือจากการพอกเยื่อยุคาลิปตัส เมื่อกำหนดภาวะพอกเยื่อยุคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที แสดงดังภาพที่ 4.10

การพอกเยื่อยุคาลิปตัสด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้เวลาในการพอกเยื่อเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ค่อยๆ ลดลงจนที่สิ้นสุดเวลาของการพอกเยื่อคือ ที่เวลา 120 นาที จะเห็นได้ว่า ที่ภาวะเต็มไอออนสังกะสีมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ร้อยละ 0.23 ซึ่งน้อยกว่าภาวะที่ปราศจากไอออนซึ่งมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ร้อยละ 0.76 เนื่องจากไอออนสังกะสีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่

ทำให้เกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [49] จึงส่งผลให้เหลือปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระบบน้อยกว่าที่ภาวะปราศจากไอออนสังกะสี ในกระบวนการฟอกเยื่อต้องการไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกตัวเป็นเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (HOO^-) ในการเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนิน แต่การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เร่งปฏิกิริยาด้วยไอออนสังกะสี จะเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (peroxy radical, OO^\cdot) [23] ทำให้ที่ภาวะไอออนสังกะสีมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือต่ำกว่าภาวะที่ไม่เติมไอออนสังกะสี ส่งผลให้สิ้นเปลืองปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนิน อีกทั้งการเกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (peroxy radical, OO^\cdot) ยังทำให้ประสิทธิภาพในการฟอกเยื่อต่ำลง



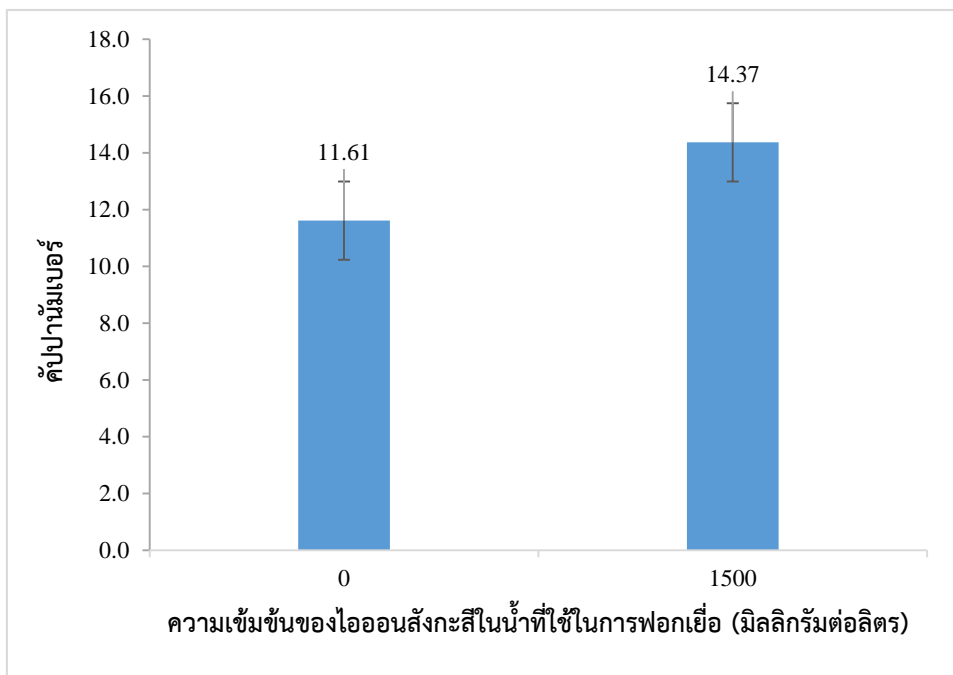
ภาพที่ 4.10 ผลของไอออนสังกะสีต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ จากการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที

4.2.2.2 สมบัติของเยื่อ

ก. ค่าคัปปานัมเบอร์ (kappa number)

ผลของไอออนสังกะสีที่มีอยู่ในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าคัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ผ่านการฟอก เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที แสดงดังภาพที่ 4.11

จากภาพที่ 4.11 พบว่าเมื่อน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีการปนเปื้อนของไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคัปปานัมเบอร์ของเยื่อที่ผ่านการฟอกเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเติม การปนเปื้อนของไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อ โดยเยื่อที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจาก การฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีต่อค่าคัปปานัมเบอร์ ซึ่งค่าคัปปานัมเบอร์ใช้ในการบ่งบอกปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ภายหลังการฟอกเยื่อ จากการทดลองพบว่า ที่ภาวะเติมไอออนสังกะสีมีค่าคัปปานัมเบอร์สูงกว่าภาวะที่ไม่มีไอออนสังกะสีแสดงว่าที่ภาวะเติมไอออนสังกะสีมีปริมาณลิกนินเหลืออยู่ภายหลังการฟอกเยื่อมากกว่าภาวะที่ไม่มีไอออนสังกะสีทั้งนี้เป็นเพราะไอออนสังกะสีทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จึงมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือในระบบการฟอกเยื่อน้อยกว่าภาวะที่ไม่มีไอออนสังกะสี ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนิน น้อยกว่าภาวะที่ไม่มีไอออนสังกะสี ไอออน เพื่อให้โครงสร้างของลิกนินเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วถูกสลายตัวลง และละลายออกมาจากเยื่อได้ในที่สุด [3, 5] เยื่อที่ผ่านการฟอกในภาวะที่ไม่มีไอออนสังกะสีจะมีค่าคัปปานัมเบอร์เท่ากับ 11.6 แต่ที่ผ่านการฟอกในภาวะที่มีการเติมไอออนสังกะสีจะมีค่าคัปปานัมเบอร์เพิ่มขึ้นเป็น 14.4



ภาพที่ 4.11 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าค่าป่านัมเบอร์ เมื่อกำหนดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที

ข. องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ (chemical composition)

ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ ที่ผ่านฟอกเยื่อด้วยคลอรีนด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที แสดงดังตารางที่ 4.3

การฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ จากการทดลองพบว่า การฟอกเยื่อที่ภาวะเดิมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณเซลลูโลส จะส่งผลให้ปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสลดลงมากกว่าภาวะที่ไม่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะไปเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดเป็นเปอร์ไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (peroxy radical, OO^\cdot) ซึ่งจะเข้าไปทำลายคาร์โบไฮเดรต ส่งผลให้ปริมาณเซลลูโลส ปริมาณเฮมิเซลลูโลสมีค่าลดลง [48] นอกจากนี้ที่ภาวะเดิมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แสดงปริมาณลิกนินมากกว่า

ภาวะที่ไม่เติมไอออนสังกะสี เนื่องจากไอออนสังกะสีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จึงมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือในระบบการฟอกเยื่อน้อยกว่าภาวะที่ไม่เติมไอออนสังกะสี ดังแสดงในภาพ 4.10 ทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนินน้อยกว่า ดังนั้นจึงกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้น้อยกว่าภาวะที่ไม่เติมไอออนสังกะสี และอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณลิกนินที่เพิ่มขึ้นของภาวะที่เติมไอออนสังกะสี อาจเกิดจากไอออนสังกะสีสามารถเข้าไปจับลิกนินที่ละลายออกไปแล้วกลับมาใหม่ได้ [50, 51] จึงทำให้ปริมาณลิกนินในภาวะที่เติมไอออนสังกะสีมากกว่าภาวะที่เติมไอออนสังกะสี

ตารางที่ 4.3 ผลของไอออนสังกะสีต่อองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ เมื่อกำหนดภาวะฟอกเยื่อคุณาลิปต์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที

| ความเข้มข้นของไอออนสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร) | เฮมิเซลลูโลส (%) | ลิกนิน (%) | เซลลูโลส (%) | เถ้า (%) | อื่นๆ (%) |
|--|---------------------|---------------|-----------------|-------------|--------------|
| 0 | 5.60 | 3.45 | 82.15 | 1.65 | 7.15 |
| 1500 | 4.85 | 4.35 | 80 | 2.5 | 8.3 |

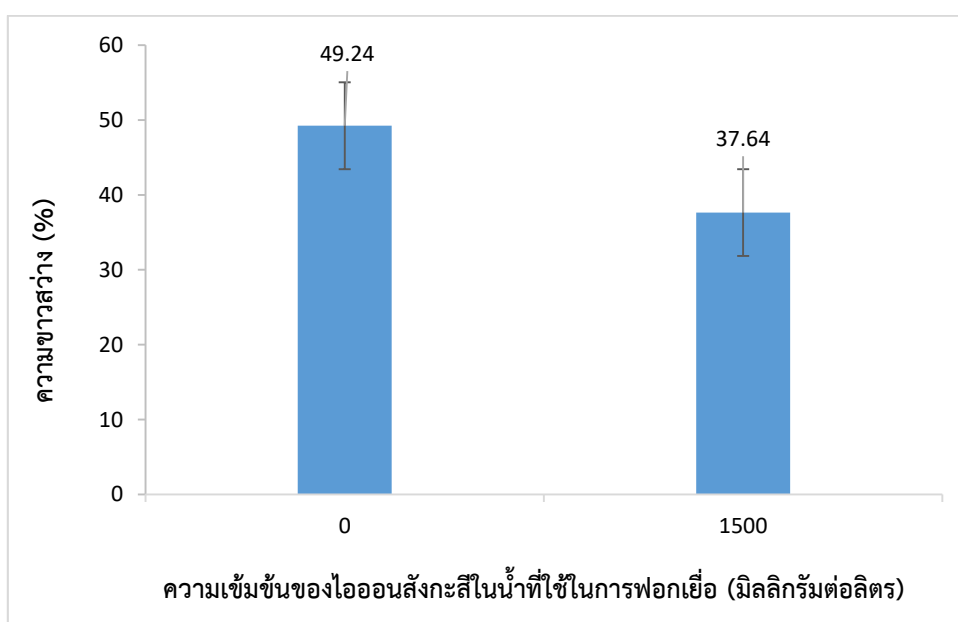
4.2.2.3 สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง

ก. ความขาวสว่าง (Brightness)

ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที แสดงดังภาพที่ 4.12

จากภาพที่ 4.12 การฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่เติมไอออนสังกะสีต่อค่าความขาวสว่าง จากการทดลองพบว่า การฟอกเยื่อที่ภาวะเติมไอออนสังกะสีจะให้ค่าความขาวสว่างต่ำกว่าภาวะที่ไม่เติมไอออนสังกะสี แสดงว่าที่ภาวะเติมไอออนสังกะสีมีปริมาณลิกนินเหลืออยู่มากกว่าภาวะที่ไม่เติมไอออนสังกะสี เป็นผลมาจากที่ภาวะเติมไอออนสังกะสี เกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดเป็นเปอร์ไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (peroxy radical, OO^\cdot) ดังแสดงในภาพที่ 4.10 จึงเหลือปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ภายใน

ลิกนินน้อยกว่าภาวะไม่เติมไอออนสังกะสี จึงส่งผลให้มีปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อมากกว่าที่ภาวะไม่เติมไอออนสังกะสี ดังนั้นที่ภาวะเติมไอออนมีค่าความขาวสว่างต่ำกว่าภาวะที่ไม่เติมไอออนสังกะสี ซึ่งมีปริมาณลิกนินอยู่น้อยกว่าภาวะที่เติมไอออน ดังแสดงในภาพที่ 4.11 ซึ่งเป็นผลของค่าคัพปานัมเบอร์ ซึ่งใช้ในการบ่งบอกปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ภายหลังจากการฟอกเยื่อ โดยลิกนินมีหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เยื่อเกิดสีน้ำตาล และลิกนินจะส่งผลให้กระดาษมีสีเหลือง [3, 5] หากกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มาก ค่าความขาวสว่างที่ได้ก็จะมากขึ้นด้วยเช่นกัน



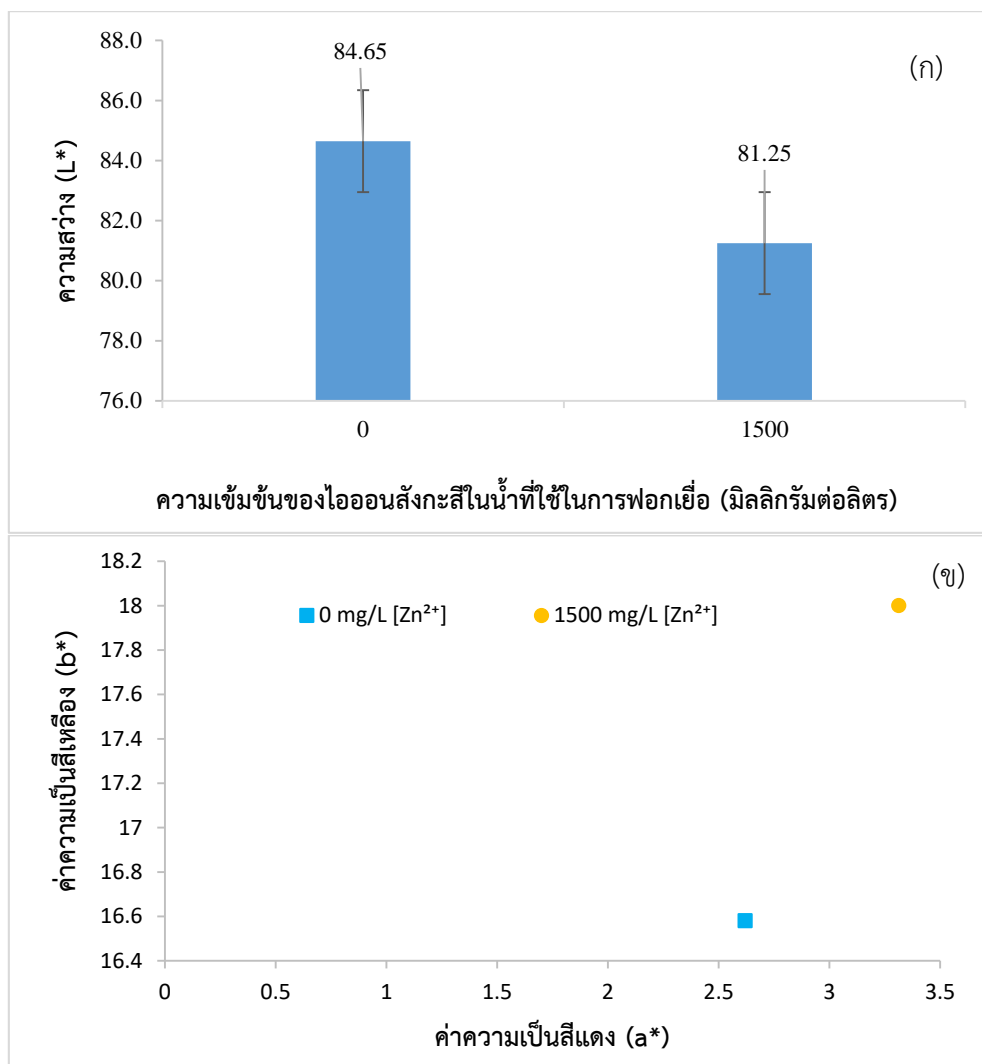
ภาพที่ 4.12 ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที

ข. ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ และค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*_{ab})

ผลของไอออนสังกะสีต่อค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ และค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*_{ab}) ของแผ่นทดสอบที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที แสดงดังภาพที่ 4.13

จากภาพที่ 4.13ก แสดงการฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีต่อค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ จากการทดลองพบว่า การฟอกเยื่อภาวะที่มีไอออนสังกะสีจะให้ค่าความสว่าง (L^*) ต่ำกว่าภาวะที่ปราศจากไอออนสังกะสี แสดงว่าที่ภาวะปราศจากไอออนสังกะสีมีค่าความสว่างเข้าใกล้ความเป็นสีขาวมาก เป็นผลมาจากที่ภาวะที่มีไอออนสังกะสี เกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จึงเหลือปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ภายในลิกนินน้อยกว่าที่ภาวะปราศจากไอออนสังกะสี จึงส่งผลให้มีปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อมากกว่าที่ภาวะปราศจากไอออนสังกะสี ซึ่งลิกนินเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีเหลือง หากกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มาก ค่าความสว่างก็จะมากขึ้นด้วยเช่นกัน แต่ที่ภาวะที่มีไอออนสังกะสีมีปริมาณลิกนินอยู่มากกว่า จึงทำให้ค่าความสว่างต่ำกว่าภาวะที่ปราศจากไอออนสังกะสี

จากภาพที่ 4.13ข ในขณะที่ค่าสี CIE a^*b^* การฟอกเยื่อที่ภาวะที่มีไอออนสังกะสีสูงกว่าภาวะที่ปราศจากไอออนสังกะสี ตามลำดับ แสดงว่าที่ภาวะที่มีไอออนสังกะสี ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มากกว่าภาวะที่มีไอออนสังกะสี เป็นผลมาจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าภาวะที่ปราศจากไอออนสังกะสีในเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนินได้มากกว่าที่ภาวะเดิมไอออนสังกะสี ดังแสดงในภาพที่ 4.10 จึงทำให้มีปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อต่ำกว่าภาวะที่มีไอออนสังกะสี โดยลักษณะของลิกนินก่อนฟอกจะมีสีน้ำตาล [3, 5] จะเห็นได้ว่า มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงที่สุด แต่เมื่อฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง โดยที่ภาวะปราศจากไอออนสังกะสีมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าภาวะที่มีไอออนสังกะสี จึงทำให้กำจัดลิกนินออกได้ดีกว่า จึงส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง [44]



ภาพที่ 4.13 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อสี CIE L*a*b* ของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที

ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าความแตกต่างของสีของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกเมื่อเทียบกับเยื่อเริ่มต้น ซึ่งไม่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที แสดงดังตารางที่ 4.4

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ภาวะที่ไม่เติมไอออนสังกะสีจะมีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าภาวะที่เติมไอออนสังกะสี เมื่อเทียบกับเยื่อเริ่มต้นซึ่งไม่ผ่านการฟอก ทั้งนี้เป็นผลมาจาก ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือจากภาวะที่ไม่เติมไอออนสังกะสีมีมากกว่าภาวะที่เติมไอออนสังกะสี จึงทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ในลิกนินและเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีเหลืองได้มากกว่า จึงทำให้กระดาษที่ได้จึงมีสีขาวมากกว่าภาวะที่มีไอออนสังกะสี เมื่อเทียบกับกระดาษเริ่มต้นซึ่งมีสีน้ำตาล จึงทำให้ค่าความแตกต่างของสีเพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับ เมื่อนำค่าความแตกต่างของสีไปเทียบกับค่ามาตรฐานแสดงดังตารางที่ 3.1 พบว่า กระดาษที่ได้จากทั้งสองภาวะมีค่าความแตกต่างของสีมากกว่า 12.0 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของความแตกต่างสี แสดงว่ามีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิงกับกระดาษที่ได้จากเยื่อเริ่มต้น

ตารางที่ 4.4 ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าความแตกต่างของสีของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกเมื่อเทียบกับเยื่อเริ่มต้น โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อ ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที

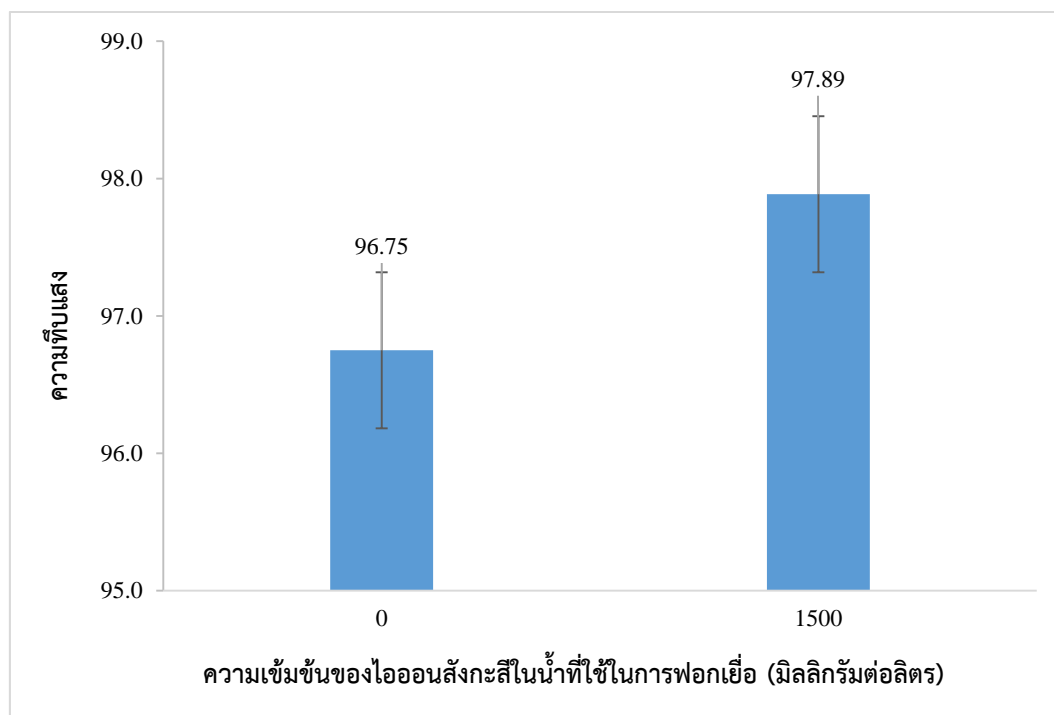
| ความเข้มข้นของไอออนสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร) | L* | a* | b* | ΔE^*_{ab} |
|---|-------|------|-------|-------------------|
| 0 | 84.65 | 2.62 | 16.58 | 17.88 |
| 1500 | 81.25 | 3.31 | 18.00 | 14.25 |

ค. ความทึบแสง (opacity)

ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าความทึบแสงของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที แสดงดังภาพที่ 4.14

จากภาพที่ 4.14 จากการทดลองพบว่า การฟอกเยื่อที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อจะแสดงค่าความทึบแสงสูงของแผ่นทดสอบสูงกว่าภาวะที่ปราศจากไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อ ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือในระบบของภาวะที่มีไอออนสังกะสีน้อยกว่าภาวะที่ปราศจากไอออนสังกะสี ดังแสดงในภาพ 4.10 จึงทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับลิกนินมีน้อยกว่าภาวะที่ปราศจากไอออนสังกะสี ทำ

ให้การละลายของลิกนินและการกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้น้อยลงเช่นกัน จึงส่งผลให้เส้นใยสร้างพันธะแนบตัวกันได้ไม่ดี มีช่องว่างภายในเพิ่มขึ้น ทำให้การกระเจิงแสงเพิ่มขึ้น แสงจึงสามารถทะลุผ่านได้น้อย [16] ดังนั้นภาวะที่มีไอออนสังกะสีจะแสดงค่าความทึบแสงสูงกว่าภาวะที่ปราศจากไอออนสังกะสี



ภาพที่ 4.14 ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าความทึบแสงของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที

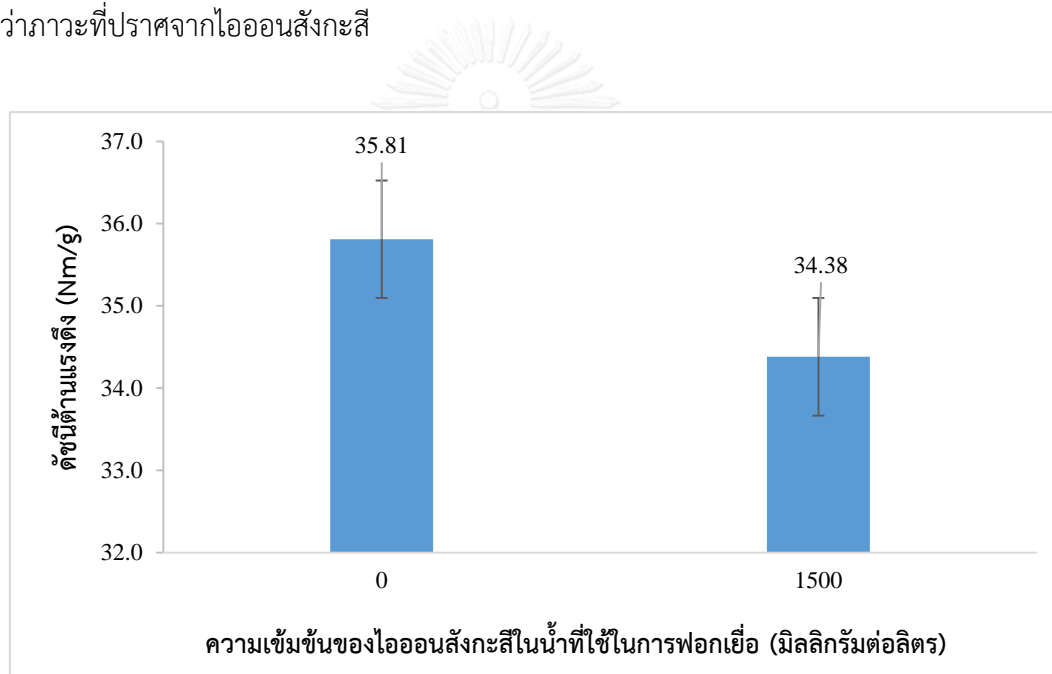
4.2.2.4 สมบัติกระดาษด้านความแข็งแรง

ก. ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่าง

เท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที แสดงดังภาพที่ 4.15

จากภาพที่ 4.15 การฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง จากการทดลองพบว่า การฟอกเยื่อภาวะที่มีไอออนสังกะสีจะให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงต่ำกว่าภาวะที่ปราศจากไอออนสังกะสี เป็นผลมาจากไอออนสังกะสีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^\cdot) [48] ซึ่งจะเข้าไปทำลายคาร์โบไฮเดรต ทั้งในส่วนของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ทำให้เส้นใยมีความอ่อนแอ ส่งผลให้การสร้างพันธะระหว่างเส้นใยไม่ดี ดังนั้นภาวะที่มีไอออนสังกะสีมีค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงต่ำกว่าภาวะที่ปราศจากไอออนสังกะสี



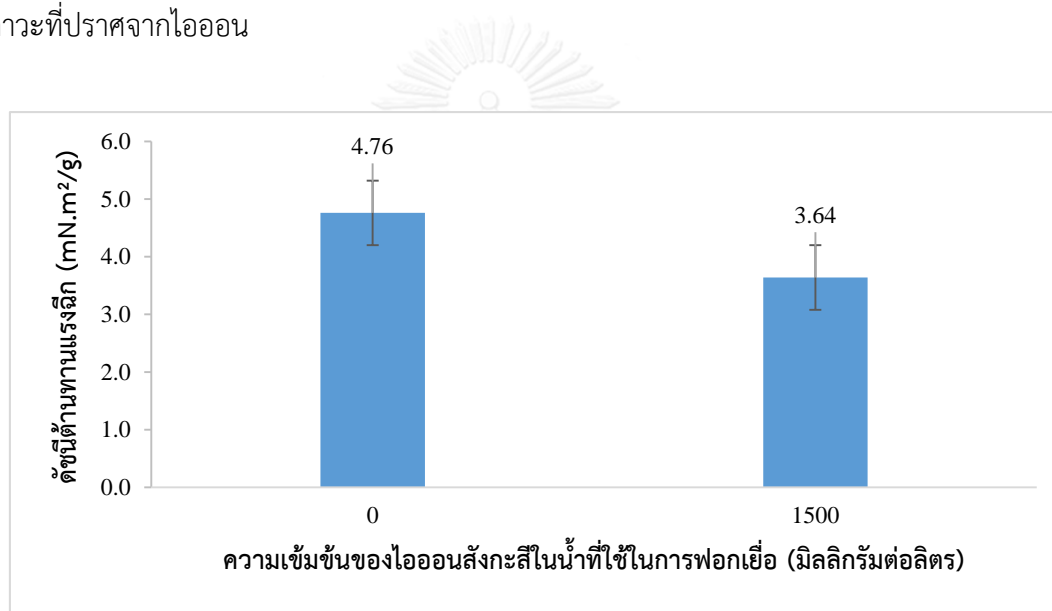
ภาพที่ 4.15 ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที

ข. ความต้านทานแรงฉีก (tear resistance)

ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกเยื่ออยู่ภายใต้สภาวะความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์

ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที แสดงดังภาพที่ 4.16

จากภาพที่ 4.16 การฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีก จากการทดลองพบว่าการฟอกเยื่อที่ภาวะเติมไอออนสังกะสีจะให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกต่ำกว่าภาวะที่ปราศจากไอออน เป็นผลมาจากไอออนสังกะสีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^\cdot) ทำให้ความยาวของเส้นใยและเส้นใยมีความแข็งแรงลดลง ดังนั้นภาวะเติมไอออนสังกะสีมีค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกต่ำกว่าภาวะที่ปราศจากไอออน



ภาพที่ 4.16 ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที

4.2.3 ชนิดของสารคงตัว

จากข้อ 4.2.1 ทดลองการฟอกเยื่อด้วยความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที จากการทดลองเลือกใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เนื่องจากให้ค่าสมบัติกระดาษด้านเชิงแสงสูงที่สุด

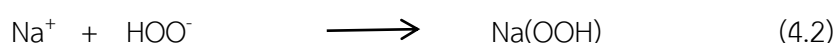
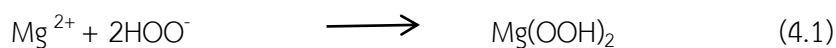
จากข้อ 4.2.2 ทดลองการฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เมื่อมีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อ ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที พบว่า ที่ภาวะการเติมไอออนสังกะสี ทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวเร็ว เนื่องจากมีไอออนสังกะสีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^\cdot) ซึ่งส่งผลให้สมบัติของเยื่อ สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง และสมบัติกระดาษด้านความแข็งแรงมีค่าต่ำลง จึงทำให้ในการทดลองนี้ต้องเติมสารคงตัว เพื่อช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ภาวะมีไอออนสังกะสี โดยสารคงตัวที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ โซเดียมซิติลเกตและแมกนีเซียมซัลเฟต และกำหนดให้ความเข้มข้นของสารคงตัวทั้งสองชนิดคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

4.2.3.1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่

ผลของสารคงตัวต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่จากการฟอกเยื่อคุณภาพดี ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.17

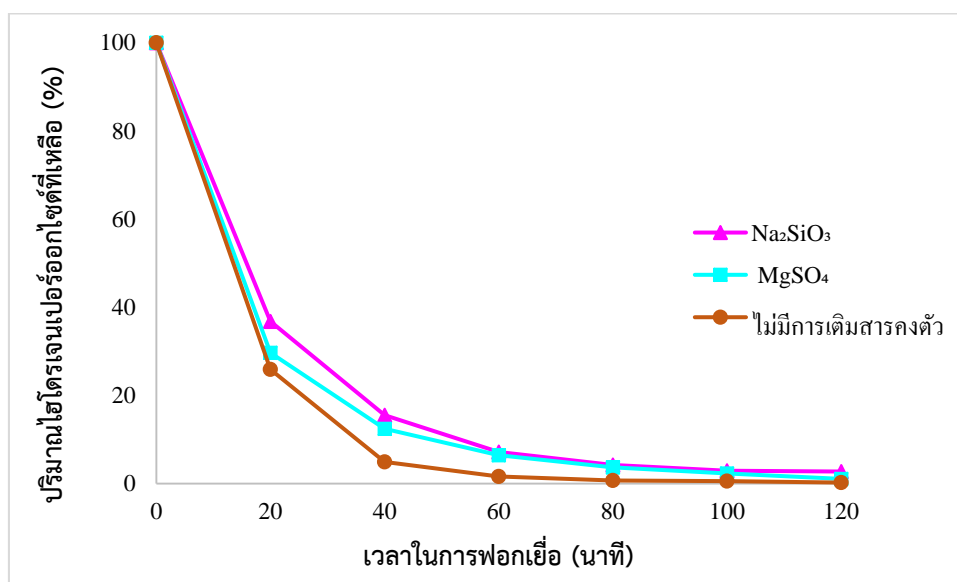
จากภาพที่ 4.17 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือต่อเวลาที่ใช้ในการฟอกเยื่อ (นาที) ในน้ำที่มีไอออนสังกะสีของกระบวนการฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อศึกษาผลของสารคงตัว ได้แก่ โซเดียมซิติลเกตและแมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งจากการทดลองเก็บตัวอย่างของน้ำในกระบวนการฟอกเยื่อ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ทุก ๆ 20 นาที จนกระทั่งครบเวลาที่ใช้ในการฟอกเยื่อคือ 120 นาที จากการทดลองพบว่า ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่จะค่อยๆลดลง เมื่อใช้เวลาในการฟอกเยื่อเพิ่มมากขึ้น ทั้งในภาวะที่มีการเติมสารคงตัวเป็นโซเดียมซิติลเกต และที่ภาวะมีการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต รวมไปถึงภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว จนกระทั่งที่เวลา 120 นาที หรือที่เวลาสิ้นสุดการฟอกเยื่อ จะแสดงผลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ภายหลังจากการฟอกเยื่อ ซึ่งภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว จะมี

ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับภาวะที่มีการเติมสารคงตัวเป็นโซเดียมซลิเกต และแมกนีเซียมซัลเฟต แสดงว่าไอออนสังกะสีสามารถเร่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวได้มากกว่าในภาวะที่มีการเติมสารคงตัว ส่งผลให้เหลือปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ในระบบที่ภาวะไม่มีการเติมสารคงตัวน้อยกว่าที่ภาวะมีการเติมสารคงตัว โดยการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) และเปอร์ออกซิเรดิคัล (OO^\cdot) ส่งผลให้สิ้นเปลืองการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในกระบวนการฟอกเยื่อ รวมถึงการเข้าทำลายคาร์โบไฮเดรตของเยื่อได้ ซึ่งผลจากการเติมสารคงตัว ได้แก่ โซเดียมซลิเกต และแมกนีเซียมซัลเฟต จะส่งผลให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยกว่าในภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว โดยพบว่าเมื่อเติมโซเดียมซลิเกตจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยร้อยละ 2.76 และการเติมแมกนีเซียมซัลเฟตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยร้อยละ 1.28 ในขณะที่การเติมไอออนสังกะสีเพียงอย่างเดียวปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยร้อยละ 0.23 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ภาวะการเติมโซเดียมซลิเกตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยกว่าการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต แสดงว่าโซเดียมซลิเกตช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ถูกเร่งปฏิกิริยาโดยไอออนสังกะสีได้ดีกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟตและภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว จึงทำให้โซเดียมซลิเกตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยในระบบสูงสุด ทั้งนี้เป็นเพราะผลจากปฏิกิริยาการฟอกเยื่อยุคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ภาวะเบส โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้เกิดเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (OOH^-) ซึ่งเป็นนิวคลีโอไฟล์และเป็นสารที่ใช้ในการฟอกเยื่ออย่างแท้จริง ในการเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ซึ่งอยู่ในโครงสร้างของลิกนิน ซึ่งสารคงตัวจะทำหน้าที่ลดการสลายตัวของเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (OOH^-) โดยทำให้อยู่ในรูปที่เสถียรมากยิ่งขึ้น โดยแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) จากแมกนีเซียมซัลเฟต จะเข้าไปจับกับเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (OOH^-) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแมกนีเซียมเปอร์ไฮไดรด์ (magnesium perhydride; $\text{Mg}(\text{OOH})_2$) ซึ่งเป็นการทำให้อยู่ในรูปที่เสถียรมากกว่าเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (OOH^-) ที่ภาวะมีไอออนสังกะสี และโซเดียมไอออนจากโซเดียมซลิเกตก็จะเข้าไปจับกับเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (OOH^-) เช่นเดียวกัน ได้ผลิตภัณฑ์เป็น $\text{Na}(\text{OOH})$ ดังแสดงในสมการ 4.1 และ 4.2 [24]



การทำให้เปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออนอยู่ในรูปที่เสถียรจะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ จากการทดลองพบว่า เมื่อเติมโซเดียมซลิเกตในภาวะมีไอออนสังกะสี จะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต เนื่องจากโซเดียมมีขนาดเล็กกว่าแมกนีเซียม จึงมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่า และอัตราส่วนในการเข้าทำปฏิกิริยากับเปอร์

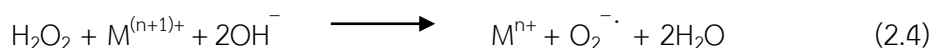
ไฮดรอกซิลแอนไอออนของแมกนีเซียมไอออนมีอัตราส่วนในการจับต่อเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน 1 ต่อ 2 ส่วนโซเดียมไอออนมีอัตราส่วนในการจับต่อเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน 1 ต่อ 1 จึงทำให้ความสามารถในการเข้าจับกับเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออนของโซเดียมซิลิเกตทำงานได้ดีกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต ส่งผลให้ที่ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตช่วยลดสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ดังนั้นโซเดียมซิลิเกตเป็นสารคงตัวที่ช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต ดังนั้นจากการทดลองจึงเลือกใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นสารคงตัว เพื่อลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากไอออนสังกะสี เนื่องจากทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลืออยู่ในระบบการฟอกเยื่อมากกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต



ภาพที่ 4.17 ผลของสารคงตัวต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่จากการฟอกเยื่อคาลิปต์สดด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว

การทำให้เปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออนอยู่ในรูปที่เสถียรจะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ จากการทดลองพบว่า เมื่อเติมโซเดียมซิลิเกตในภาวะมีไอออนสังกะสี จะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต เนื่องจากในกระบวนการฟอกเยื่อที่

สภาวะต่าง และมีไอออนของสังกะสีปนเปื้อนในน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อ ทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถแตกตัวได้หลายแบบ แสดงดังสมการที่ 2.3 - 2.6



โดยที่ M คือ โลหะทรานซิชัน และ n คือ ประจุของโลหะทรานซิชัน

ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า เมื่อเติมโซเดียมซิลิเกตเป็นสารคงตัวในภาวะที่มีไอออนสังกะสีจะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต เนื่องจากโซเดียมไอออน (Na^+) สามารถละลายน้ำได้ดีในทุกสภาวะ โดยปกติแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) สามารถละลายน้ำได้ดี แต่ในกรณีของน้ำที่ใช้ในกระบวนการพอกเยื่อ จะมีบางส่วนที่แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ไม่สามารถละลายน้ำได้ เนื่องจากการพอกเยื่อที่ภาวะต่างทำให้มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) เกิดขึ้นในระบบ จึงเกิดการจับกันระหว่างแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) กับหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) ซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ แสดงดังสมการ 4.3



แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้เกิดการตกตะกอน (form precipitate) [52] ค่าความเป็นต่างในระบบจึงลดลง ทำให้การเป็นเกิดเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออนลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลให้แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ที่จะเข้าจับกับเปอร์ไฮดรอกซิลแอนไอออน (OOH^-) ดังสมการที่ 4.1 นั้นเกิดน้อยลงอีกด้วย ดังนั้นการเติมโซเดียมซิลิเกตจึงช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และนอกจากนี้โซเดียมซิลิเกตยังทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ เพื่อช่วยในการควบคุมค่าความเป็นกรดต่างให้กับกระบวนการพอกเยื่อได้อีกด้วย ดังนั้นจากการทดลองจึงเลือกใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นสารคงตัว เพื่อลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากไอออนสังกะสี เนื่องจากทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลืออยู่ในระบบการพอกเยื่อมากกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต

นอกจากนี้แอนไอออนของโซเดียมซิลิเกตคือ ซิลิเกต (SiO_3^{2-}) และแมกนีเซียมซัลเฟต คือ ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ยังทำหน้าที่ในการจับไอออนสังกะสี (Zn^{2+}) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า เมื่อเติมโซเดียมซิลิเกตเป็นสารคงตัวในภาวะที่มีไอออนสังกะสี จะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต เป็นผลมาจากซิลิเกต (SiO_3^{2-}) ซึ่งมีประจุลบจะเข้าจับกับประจุบวกของไอออนสังกะสี (Zn^{2+}) ได้ผลิตภัณฑ์เป็น ZnSiO_3 ซึ่งจะไม่ละลายน้ำและเกิดเป็นตกตะกอน ทำให้การดักจับไอออนสังกะสีรวมเป็นกลุ่มได้ดีกว่าการเข้าจับไอออนสังกะสี (Zn^{2+}) กับซัลเฟต (SO_4^{2-}) ได้ผลิตภัณฑ์เป็น ZnSO_4 ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ จึงส่งผลให้ไอออนสังกะสีบางส่วนยังส่งผลต่อการ

เร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ และซิลิเกตมีค่าความสามารถของแอนไอออนลบในการเข้าจับกับไอออนบวกของโลหะทรานซิชันมากกว่าซัลเฟต [53] ดังนั้นจึงทำให้การเติมโซเดียมซิลิเกตช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต

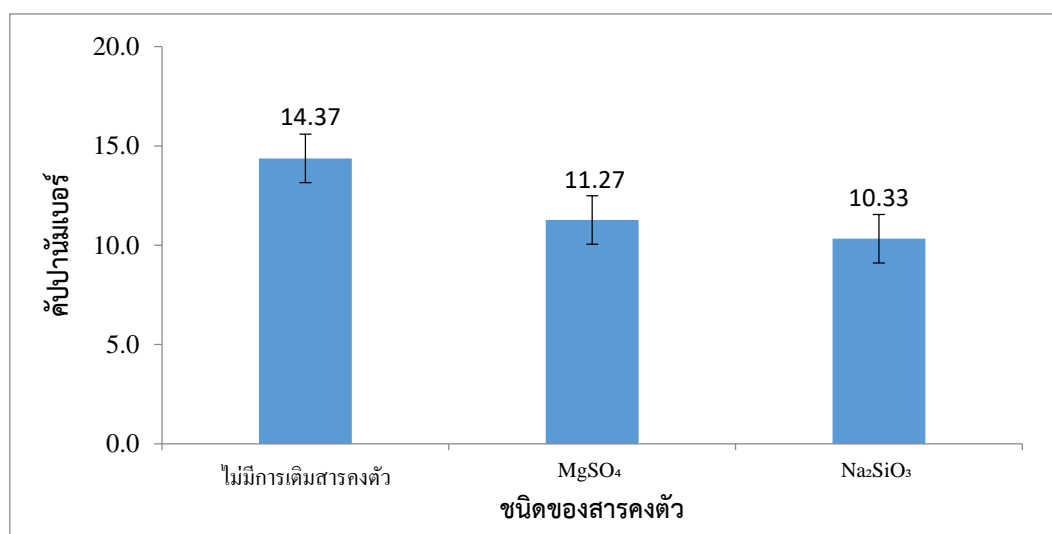
4.2.3.2 สมบัติของเยื่อ

ก. ค่าคัปปานัมเบอร์ (kappa number)

ผลของสารคงตัวต่อค่าคัปปานัมเบอร์ของเยื่อคุณภาพดีที่ผ่านการฟอก ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.18

จากภาพที่ 4.18 พบว่า ค่าคัปปานัมเบอร์ของการฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวมีค่าคัปปานัมเบอร์สูงกว่าที่ภาวะการเติมสารคงตัว โดยที่ภาวะเติมโซเดียมซิลิเกตมีค่าคัปปานัมเบอร์น้อยกว่าเมื่อเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว ตามลำดับ เป็นผลเนื่องมาจาก ผลของค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ ซึ่งที่ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ต่ำที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.17 จึงส่งผลให้กำจัดลิกนินออกได้มากกว่าด้วย เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าของโซเดียมซิลิเกตจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับลิกนินได้มากกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต ทำให้ปริมาณลิกนินถูกละลายออกมาได้มากขึ้น แสดงว่าปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเส้นใยมีปริมาณลดลง ดังนั้นผลของค่าคัปปานัมเบอร์ที่ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตจึงน้อยกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ในขณะที่ภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวมีค่าคัปปานัมเบอร์สูงกว่าที่ภาวะการเติมสารคงตัว เนื่องจากไอออนสังกะสีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในกระบวนการฟอกเยื่อคุณภาพดี โดยจากผลค่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่น้อยกว่าที่ภาวะการเติมสารคงตัว ส่งผลให้การกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้ไม่ดี ดังนั้นค่าคัปปานัมเบอร์ที่ได้จากภาวะที่เติมสารคงตัวจึงต่ำกว่าภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว โดยที่ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตเป็นสารคงตัวมีค่าคัปปานัมเบอร์ต่ำกว่าภาวะเติมแมกนีเซียมซัลเฟต

จากการทดลองจึงเลือกใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นสารคงตัว เพื่อลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากไอออนสังกะสี เนื่องจากทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลืออยู่ในระบบการฟอกเยื่อมากกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต



ภาพที่ 4.18 ผลของสารคงตัวต่อค่าค่าปริมาณแอมเบอร์ของเยื่อคอลลิปต์สที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว

ข. องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ (chemical composition)

ผลของสารคงตัวต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อคอลลิปต์สที่ผ่านการฟอก ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้งแสดงดังตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลค่าองค์ประกอบทางเคมีภายหลังจากการฟอกเยื่อคอลลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับสารคงตัว ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต และแมกนีเซียมซิลิเกต ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอก พบว่า เมื่อมีการเติมโซเดียมซิลิเกตเป็นสารคงตัวในกระบวนการฟอกเยื่อคอลลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีปริมาณของซิลลูโลสมากกว่าการเติมแมกนีเซียมซิลิเกต เนื่องจากสารคงตัวช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ถูกเร่งปฏิกิริยาโดยไอออนสังกะสี ดังแสดงในภาพที่ 4.17 ซึ่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำให้เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^\cdot) ที่จะเข้าไปทำลายคาร์โบไฮเดรต

[22] มีผลทำให้ปริมาณของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลงได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งการเติมโซเดียมซิลิเกตในกระบวนการฟอกเยื่อคาลิปัส จะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการเร่งปฏิกิริยาด้วยไอออนสังกะสีได้มากกว่าการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต จึงทำให้เซลลูโลสถูกทำลายน้อยลง ส่งผลให้ที่ภาวะเติมโซเดียมซิลิเกตมีปริมาณเซลลูโลสมากกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตมีน้อยกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต เป็นผลมาจากภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลืออยู่มากกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต สามารถเข้าทำลายเฮมิเซลลูโลสได้ง่าย โดยน้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสต่ำกว่าเซลลูโลส และโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสสามารถเกิดการสลายตัวได้ง่ายกว่าเซลลูโลสอีกด้วย

[27] เมื่อพิจารณาปริมาณลิกนินพบว่า ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตมีปริมาณลิกนินต่ำกว่าภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต เนื่องจากภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในการเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนินมากกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต จึงทำให้กำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้ดีกว่าผลที่ได้สอดคล้องกับค่าค่าปานัมเบอร์ ซึ่งใช้บ่งบอกปริมาณลิกนิน ดังแสดงในภาพที่ 4.18 แสดงภาวะเติมโซเดียมซิลิเกตเหลือปริมาณลิกนินน้อยกว่าที่ภาวะเติมแมกนีเซียมซัลเฟต จากสมบัติเยื่อที่บ่งบอกค่าค่าปานัมเบอร์ เมื่อเติมโซเดียมซิลิเกตจะให้ค่าค่าปานัมเบอร์ต่ำกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต แสดงว่ามีปริมาณลิกนินในเยื่อต่ำและค่าองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อที่ภาวะเติมโซเดียมซิลิเกตมีปริมาณเซลลูโลสสูงกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต และมีปริมาณลิกนิน ต่ำกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต จึงเลือกใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นสารคงตัว ในภาวะฟอกเยื่อที่มีไอออนสังกะสี เพื่อใช้ในการทดลองอื่นๆต่อไป

ตารางที่ 4.5 ผลค่าองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว

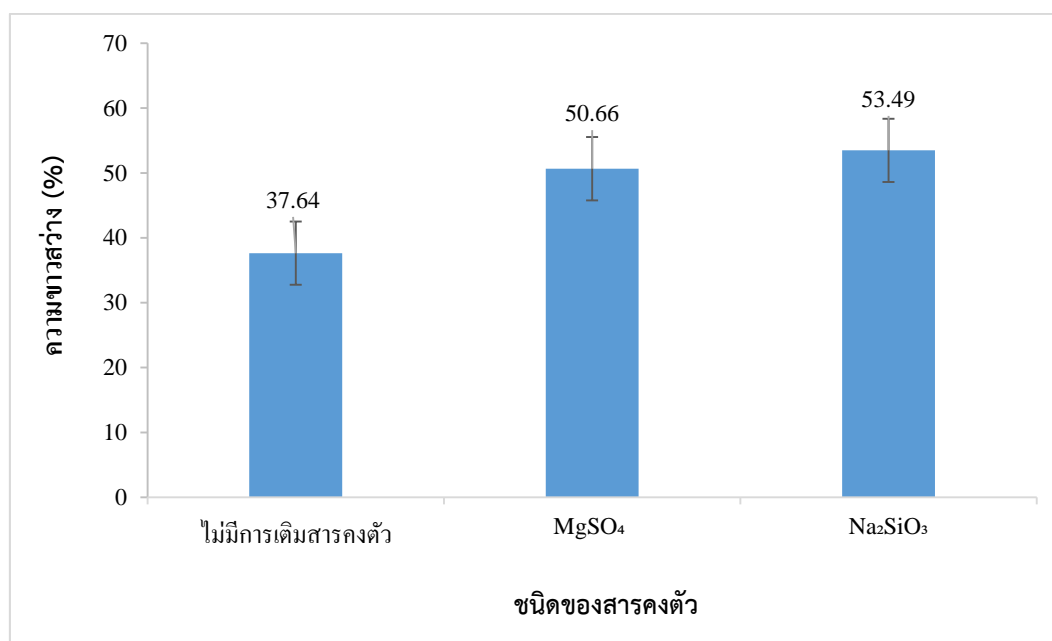
| ชนิดของสารคงตัว | เฮมิเซลลูโลส (%) | ลิกนิน (%) | เซลลูโลส (%) | เถ้า (%) | อื่นๆ (%) |
|---------------------------|------------------|------------|--------------|----------|-----------|
| Na_2SiO_3 | 6.20 | 3.20 | 86.40 | 2.40 | 1.80 |
| MgSO_4 | 6.35 | 3.55 | 84.65 | 2.55 | 2.90 |
| ไม่มีการเติมสารคงตัว | 4.85 | 4.35 | 80.00 | 2.50 | 8.30 |

4.2.3.3 สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง

ก. ความขาวสว่าง

ผลของสารคงตัวต่อค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.19

จากภาพที่ 4.19 แสดงผลของสารคงตัวต่อค่าความขาวสว่างในการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในภาวะที่มีไอออนสังกะสี จากการทดลองพบว่า ภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวมีค่าความขาวสว่างต่ำกว่าที่ภาวะเติมสารคงตัว และที่ภาวะการเติมโซเดียมซัลเฟตจะให้ค่าความขาวสว่างสูงกว่าการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต เนื่องมาจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ของภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวมีค่าน้อยกว่าในภาวะที่เติมสารคงตัว และที่ภาวะเติมโซเดียมซัลเฟตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลืออยู่มากกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ดังแสดงในภาพที่ 4.17 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ในของลิกนินได้มากขึ้น หมู่โครโมฟอร์เป็นส่วนที่ทำให้กระดาษมีสีเหลือง [3, 5] ดังนั้นการเติมโซเดียมซัลเฟตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลือในระบบการฟอกเยื่อมากกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต ทำให้ลิกนินละลายออกมาได้มากขึ้น ทำให้ที่ภาวะการเติมโซเดียมซัลเฟตมีความขาวสว่างสูงกว่าการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ในขณะที่ภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่น้อยกว่าที่ภาวะเติมสารคงตัว จึงทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์น้อยกว่าที่ภาวะการเติมสารคงตัว จึงทำให้ลิกนินละลายออกจากเยื่อนั้นน้อยลง ดังนั้นค่าความขาวสว่างจึงน้อยกว่าที่ภาวะการเติมสารคงตัว โดยผลที่ได้สอดคล้องกับผลค่าค่าป่านัมเบอร์ ซึ่งใช้บ่งบอกปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ภายหลังการฟอกเยื่อ ดังแสดงในภาพที่ 4.19 ซึ่งแสดงค่าค่าป่านัมเบอร์ เมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตจะปริมาณลิกนินน้อยกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต และที่ภาวะไม่เติมสารคงตัว ตามลำดับ ดังนั้นค่าความขาวสว่างที่ภาวะเติมโซเดียมซัลเฟตจึงสูงกว่าภาวะเติมแมกนีเซียมซัลเฟตและภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว



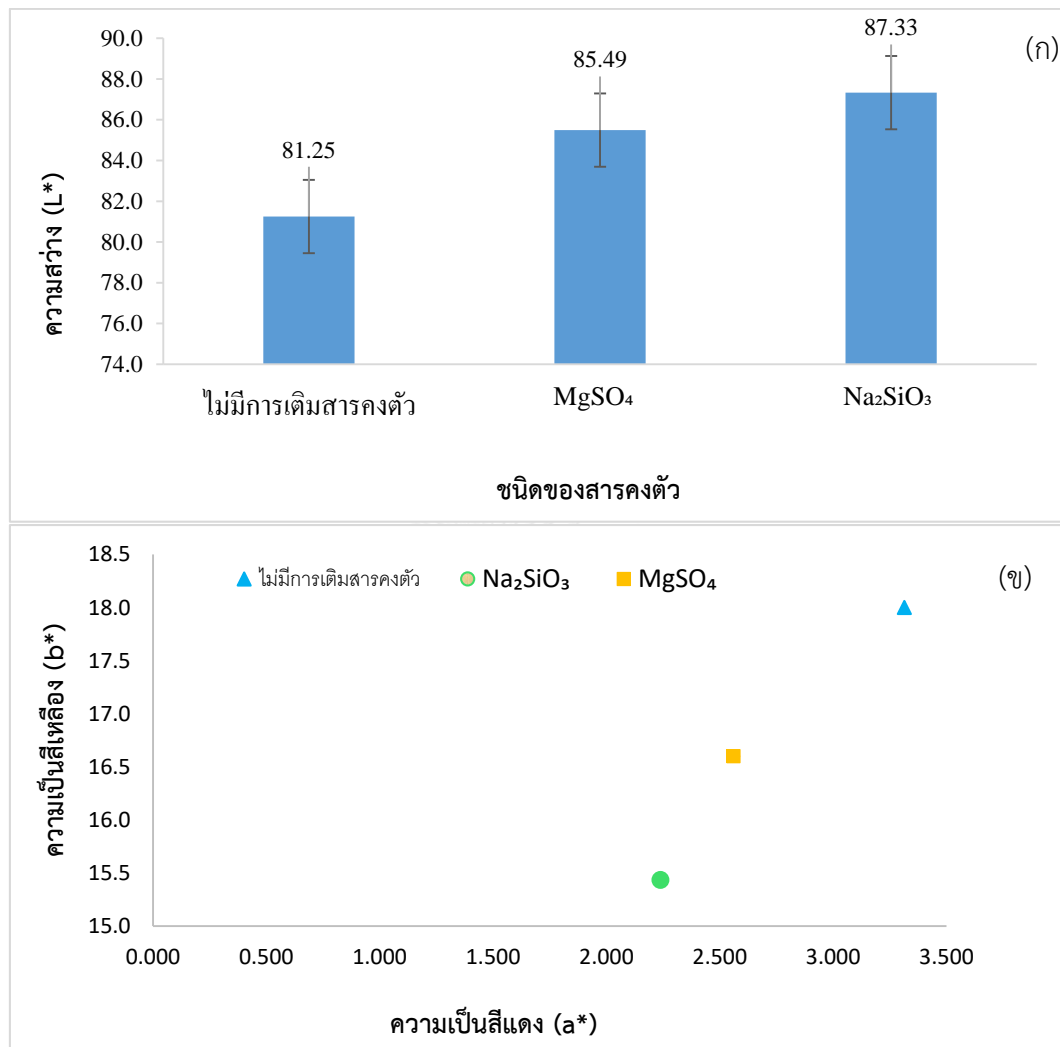
ภาพที่ 4.19 ผลของสารคั่งตัวต่อค่าความขาวสว่างของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคั่งที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคั่งตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคั่งที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคั่งตัว

ข. ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ และค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*_{ab})

ผลของสารคั่งตัวต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคั่งที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคั่งตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคั่งที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.22

จากภาพที่ 4.20 ก แสดงผลของสารคั่งตัวต่อค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ ในการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ภาวะมีไอออนสังกะสี จากการทดลองพบว่า เมื่อมีการเติมสารคั่งตัวจะให้ค่าความสว่าง (L^*) สูงกว่าภาวะที่ไม่มีการเติมสารคั่งตัว แสดงว่าค่าของการเติมสารคั่งตัวทำให้ค่าที่ได้เข้าใกล้สีขาวมากกว่าที่ภาวะที่ไม่มีการเติมสารคั่งตัว โดยที่ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตให้ค่าความสว่างสูงกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต เนื่องจากที่ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตมีปริมาณ

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบมากกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.17 จึงส่งผลให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างของลิกนินได้มากขึ้น ดังนั้น ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าของการเติมโซเดียมซัลเฟต จะช่วยให้ลิกนินสามารถละลายออกมาได้มากขึ้น ซึ่งลิกนินเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีเหลือง จึงทำให้กระดาษที่ได้จากภาวะเติมโซเดียมซัลเฟตมีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่าที่ภาวะเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ในขณะที่ภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่น้อยกว่าภาวะที่มีการเติมสารคงตัว จึงทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ได้น้อยกว่าที่ภาวะการเติมสารคงตัว ดังนั้นค่าความสว่าง (L^*) ที่ได้ของภาวะการเติมโซเดียมซัลเฟตจึงสูงกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต จากภาพที่ 4.20 ข ในขณะที่เติมสารคงตัวจะทำให้ค่าสี CIE a^*b^* น้อยกว่าที่ภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว โดยที่ภาวะเติมโซเดียมซัลเฟตเป็นสารคงตัว จะให้ค่า CIE a^*b^* น้อยกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต แสดงว่าค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ที่ภาวะเติมโซเดียมซัลเฟตมีค่าน้อยกว่าที่ภาวะเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว ตามลำดับ เนื่องจากที่ภาวะเติมโซเดียมซัลเฟตมีปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าที่ภาวะเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว ดังแสดงในภาพที่ 4.17 โดยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่า จะช่วยในการกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าสี CIE a^*b^* ที่ได้ลดลง ซึ่งลักษณะของลิกนินก่อนฟอกจะมีสีน้ำตาลเมื่อผ่านกระบวนการฟอกเยื่อแล้ว จะทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง ดังนั้นค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ที่ภาวะการเติมโซเดียมซัลเฟตจึงน้อยกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว ตามลำดับ



ภาพที่ 4.20 ผลของสารคงตัวต่อค่าสี CIE L*a*b* ของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว

ผลของสารคงตัวต่อค่าความแตกต่างสีของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปเมื่อเทียบกับเยื่อที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นเยื่อร้อยละ 15 ค่า

ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ที่ภาวะเติมโซเดียมซัลเฟตจะมีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าภาวะที่เติมแมกนีเซียมซัลเฟต โดยภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวจะมีค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้งเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่ภาวะการเติมโซเดียมซัลเฟตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่สูงกว่าภาวะที่เติมแมกนีเซียมซัลเฟต และภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ต่ำที่สุด จึงทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ในลิกนินและเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีเหลืองได้มากกว่า จึงทำให้กระดาษที่ได้จึงมีสีขาวมากขึ้นด้วย จึงทำให้เมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตมีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าแมกนีเซียมซัลเฟตเมื่อเทียบกับกระดาษฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้งเพียงอย่างเดียว เมื่อนำค่าความแตกต่างของสีไปเทียบกับค่ามาตรฐานแสดงดังตารางที่ 3.1 พบว่า กระดาษที่ได้จากการเติมโซเดียมซัลเฟตแมกนีเซียมซัลเฟต และที่ไม่มีการเติมสารคงตัว มีค่าความแตกต่างของสีอยู่ในช่วง 3.0 – 6.0 แสดงว่ามีความแตกต่างกันของสีได้อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกระดาษฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้งเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 4.6 ผลของสารคงตัวต่อค่าความแตกต่างสีของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับภาวะที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้งเพียงอย่างเดียว

| ชนิดสารคงตัว | L* | a* | b* | ΔE^*_{ab} |
|----------------------|-------|------|-------|-------------------|
| ไม่มีการเติมสารคงตัว | 81.25 | 3.31 | 18.00 | 3.75 |
| แมกนีเซียมซัลเฟต | 85.49 | 2.56 | 16.60 | 4.53 |
| โซเดียมซัลเฟต | 86.00 | 2.49 | 15.43 | 5.94 |

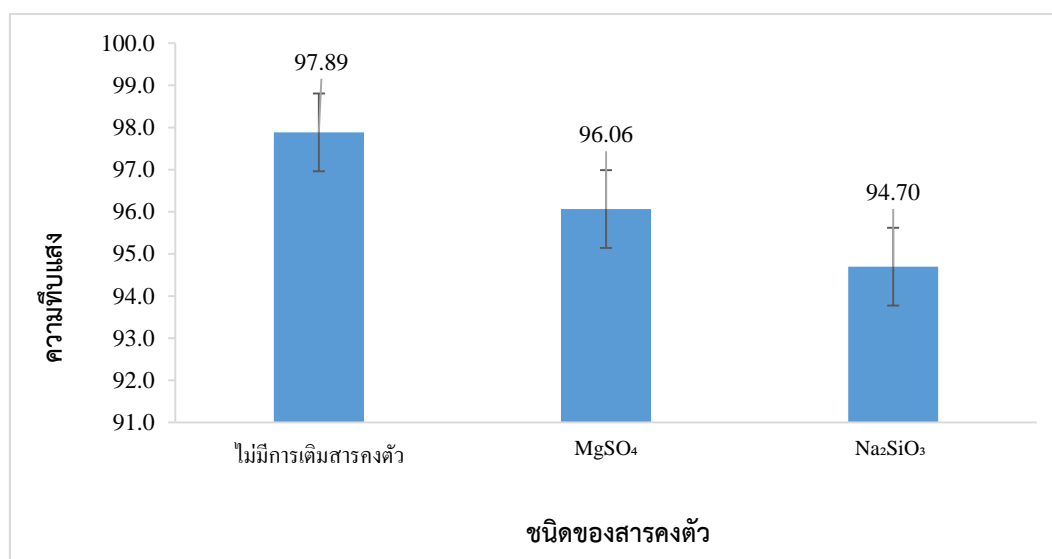
ค. ความทึบแสง

ผลของสารคงตัวต่อค่าความทึบแสงของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาการพอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของ น้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.21

จากภาพที่ 4.21 แสดงผลค่าความทึบแสงของสารคงตัวในการพอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในภาวะที่มีไอออนสังกะสี จากการทดลองพบว่า ภาวะที่ไม่มี การเติมสารคงตัวมีค่าความทึบแสงสูงกว่าภาวะที่เติมสารคงตัว โดยที่ภาวะการเติมโซเดียมซัลเฟตค่าความ ทึบแสงที่ได้จะลดลงมากกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว ซึ่ง เป็นผลมาจากที่ภาวะเติมโซเดียมซัลเฟตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบมากกว่า ที่ภาวะเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เหลือต่ำสุด ดังแสดงในภาพที่ 4.17 จึงส่งผลให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าเข้า ทำปฏิกิริยากับลิกนินได้มากขึ้น ดังนั้นปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าของการเติม โซเดียมซัลเฟต จะช่วยให้ลิกนินสามารถละลายออกมาจากเยื่อได้มาก และทำให้ลิกนินถูกกำจัดออก ได้มากขึ้น เมื่อปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ลดลง จึงส่งผลให้เส้นใยสร้างพันธะแนบตัวกันได้ดี ช่องว่าง ภายในลดลง ทำให้การกระเจิงแสงลดลงด้วย แสงจึงสามารถทะลุผ่านได้มากขึ้น ค่าความทึบแสงที่ได้ จึงลดลง [16] ดังนั้นค่าความทึบแสงที่ภาวะการเติมโซเดียมซัลเฟตจึงต่ำกว่าที่ภาวะการเติม แมกนีเซียมซัลเฟต

จากสมบัติด้านเชิงแสงของกระดาษที่บ่งบอกค่าความขาวสว่าง ค่าความสว่าง (L^*) ของภาวะเติมโซเดียมซัลเฟตสูงกว่าภาวะแมกนีเซียมซัลเฟต และในภาวะเติมโซเดียมซัลเฟตให้ค่า ความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) รวมไปถึงค่าความทึบแสง มีค่าน้อยกว่าที่ภาวะ เติมแมกนีเซียมซัลเฟต แสดงถึงปริมาณลิกนินภายหลังการพอกเยื่อลดลง จึงเลือกเติมโซเดียมซัลเฟต เป็นสารคงตัว ในภาวะพอกเยื่อที่มีไอออนสังกะสี เพื่อใช้ในการทดลองอื่นๆ ต่อไป

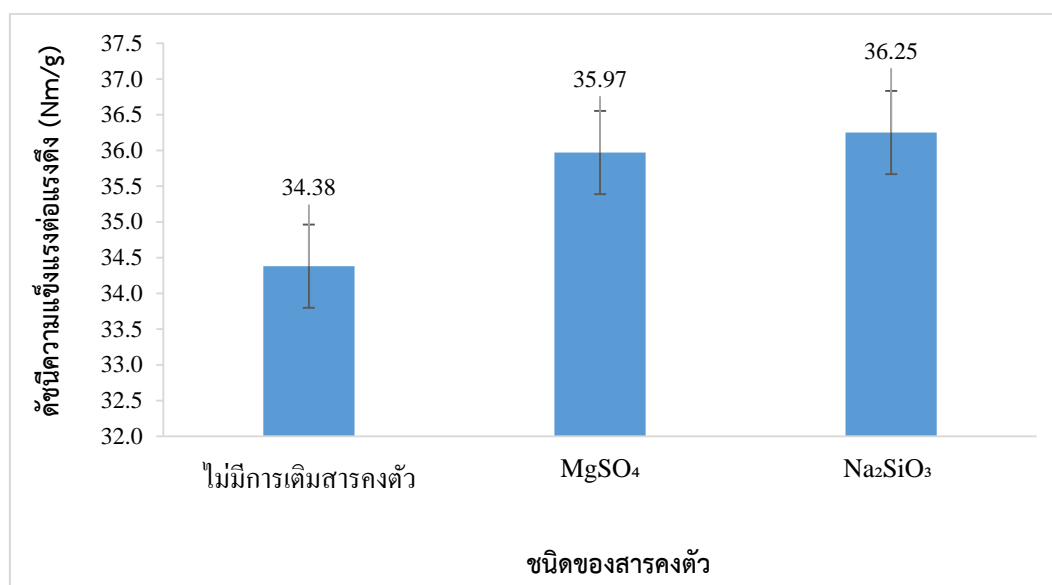


ภาพที่ 4.21 แสดงผลของสารคงตัวต่อค่าความทึบแสงของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว

4.2.3.4 สมบัติกระดาษด้านความแข็งแรง

ก. ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

ผลของสารคงตัวต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 ผลของสารคงตัวต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว

จากภาพที่ 4.22 แสดงผลของสารคงตัวต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงในการพอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในภาวะที่มีไอออนสังกะสี จากการทดลองพบว่าภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว ส่งผลให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงต่ำกว่าที่ภาวะการเติมสารคงตัว และที่ภาวะเติมสารคงตัวให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่าภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว การเติมโซเดียมซิลิเกตจะทำให้ผลค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่าที่ภาวะเติมแมกนีเซียมซัลเฟต เป็นผลมาจากที่ภาวะเติมโซเดียมซิลิเกตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบมากกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว ดังแสดงในภาพที่ 4.18 แสดงว่าเมื่อเติมสารคงตัว จะทำให้การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลดลง โดยที่ภาวะเติมโซเดียมซิลิเกตจะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ในขณะที่ภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวจะเกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างรวดเร็วทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) และเปอร์ออกซิเรดิคัล (OO^\cdot) ซึ่งสามารถไปทำลายคาร์โบไฮ

เตรตได้ จึงทำให้ปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจึงลดลง ดังแสดงในตาราง 4.3 ทำให้ การสร้างพันธะระหว่างเส้นใยไม่ดี เส้นใยมีความอ่อนแอ ส่งผลให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวนั้นต่ำกว่าที่ภาวะเติมสารคงตัว และที่ภาวะเติมโซเดียมซิติลิกेटมีค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งเป็นผลจากสารคงตัวที่ช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อีกทั้งยังป้องกันการเกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^{\cdot}) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^{\cdot}) ที่จะเข้าไปทำลายในส่วนของคาร์โบไฮเดรตได้ ส่งผลให้เส้นใยมีความมีความแข็งแรงมากขึ้น การสร้างพันธะระหว่างเส้นใยดีขึ้น ดังนั้นที่ภาวะเติมโซเดียมซิติลิกेटจึงมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต

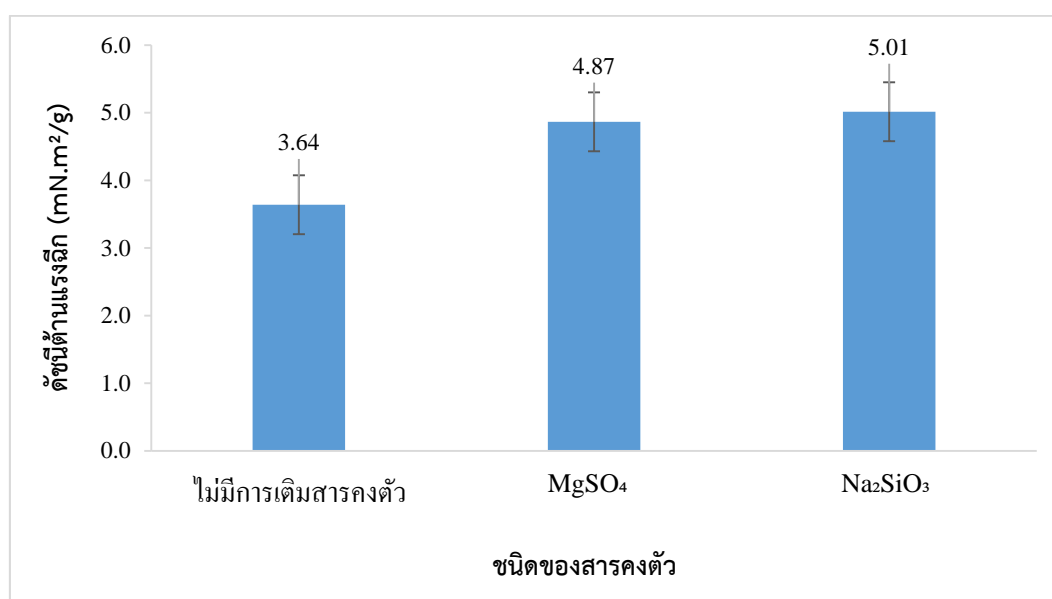
ข. ความต้านทานแรงฉีก (tear resistance)

ผลของสารคงตัวต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอก ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.23

จากภาพที่ 4.23 แสดงผลของสารคงตัวต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกของการฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในภาวะที่มีไอออนสังกะสี จากการทดลองพบว่า ภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว ส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกต่ำกว่าที่ภาวะการเติมสารคงตัว และที่ภาวะการเติมโซเดียมซิติลิกेटจะให้ผลค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกสูงกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต เป็นผลมาจากที่ภาวะการเติมโซเดียมซิติลิกेटมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบมากกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว ดังแสดงในภาพที่ 4.18 ซึ่งแสดงว่าการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลดลง เมื่อมีการเติมสารคงตัว โดยที่ภาวะการเติมโซเดียมซิติลิกेटจะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ในขณะที่ภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวจะเกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^{\cdot}) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^{\cdot}) [48] ซึ่งสามารถเข้าไปทำลายคาร์โบไฮเดรต ทำให้เส้นใยมีความอ่อนแอ และความยาวของเส้นใยที่อาจลดลงไปด้วย ทำให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกที่ภาวะไม่มีการเติมสารคงตัวมีค่าต่ำกว่าที่ภาวะการเติมโซเดียมซิติลิกेटมากกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ในขณะที่สารคงตัวช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ส่งผลให้ความยาวของเส้นใยเพิ่มขึ้น และเส้นใยมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้นด้วย ดังนั้นที่ภาวะเติมสารคงตัว จึงส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกสูงกว่าภาวะที่ไม่มี

การเติมสารคงตัว และที่ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตจะให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกมากกว่าแมกนีเซียมซิลิเฟต

จากสมบัติกระดาษด้านความแข็งแรงที่บ่งบอกค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง และค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีก ที่ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตจะให้ค่าสูงกว่าแมกนีเซียมซิลิเฟต จึงเลือกเติมโซเดียมซิลิเกตเป็นสารคงตัว ในภาวะพอกเยื่อที่มีไอออนสังกะสี เพื่อใช้ในการทดลองอื่นๆต่อไป



ภาพที่ 4.23 แสดงผลของสารคงตัวต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว

4.2.4 ชนิดของสารคีเลตและโคโทซาน

จากข้อ 4.2.3 ทดลองการพอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสารคงตัวที่ใช้ คือ โซเดียมซิลิเกตและแมกนีเซียมซิลิเฟต เติมที่ปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อร้อยละ 15 มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

120 นาที พบว่า ที่ภาวะการเติมโซเดียมซัลเฟตช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต จึงทำให้สมบัติของเยื่อ สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง และสมบัติกระดาษด้านความแข็งแรง มีค่าสูงกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต จึงเลือกใช้โซเดียมซัลเฟตเป็นสารคงตัว เพื่อทำหน้าที่ลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทั้งนี้ในระบบการฟอกเยื่อยังมีไอออนสังกะสีที่ยังไม่ได้กำจัดออกอยู่ในระบบ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้เติมสารคิเลตและโคโทซาน ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เพื่อทำหน้าที่ในการจับไอออนทรานซิชัน รวมไปถึงลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยสารคิเลตที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ อิติทีเอและดีทีพีเอ

4.2.4.1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ

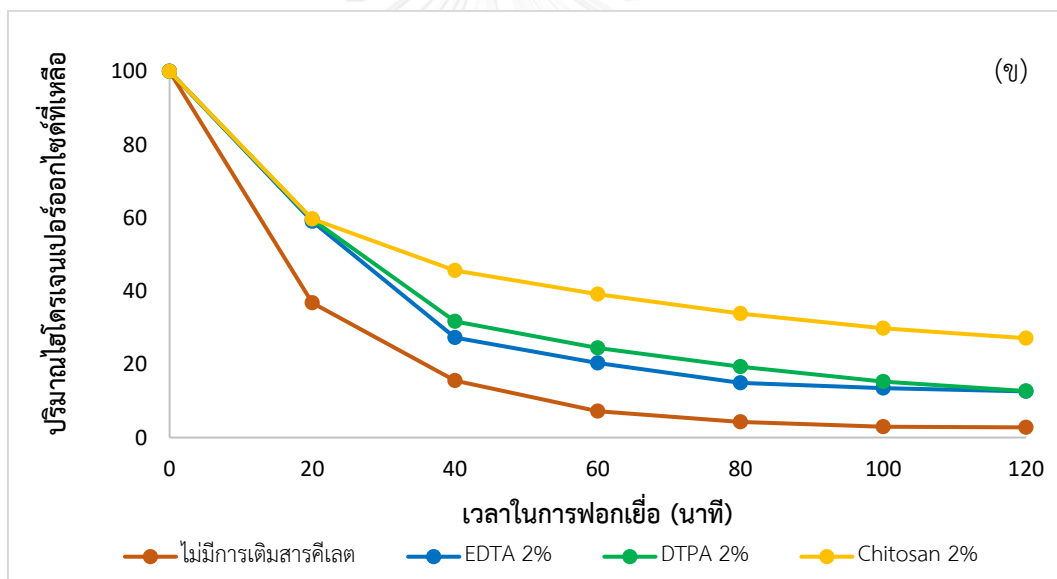
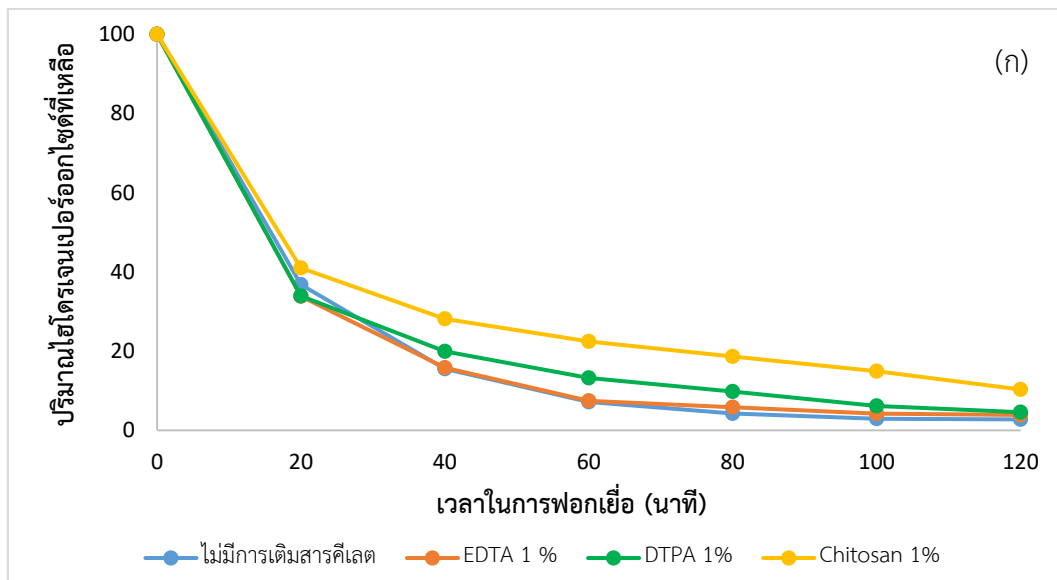
ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอิติทีเอ ซึ่งเป็นสารคิเลตต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือหลังการฟอกเยื่อยุคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อยังมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน อิติทีเอ และดีทีพีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.24 นอกจากนี้ในภาพที่ 4.25 ยังแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือหลังการฟอกเยื่อยุคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอก และเติมโซเดียมซัลเฟต แต่ไม่มีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอและอิติทีเอ ซึ่งจากการทดลองเก็บตัวอย่างน้ำที่ได้จากกระบวนการฟอกเยื่อ เพื่อวิเคราะห์การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทุก ๆ 20 นาที จนกระทั่งครบเวลาที่ใช้ในการฟอกเยื่อคือ 120 นาที จากการทดลองพบว่า

จากภาพที่ 4.24 ก แสดงการเติมปริมาณโคโทซาน ดีทีพีเอ และอิติทีเอ ซึ่งเป็นสารคิเลตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง พบว่า ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่จะค่อย ๆ ลดลง เมื่อใช้เวลาในการฟอกเยื่อเพิ่มขึ้นจนกระทั่งที่เวลา 120 นาที หรือที่เวลาสิ้นสุดการฟอกเยื่อ จะแสดงผลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ พบว่า เมื่อใช้โคโทซานเป็นสารคิเลตจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือมากกว่าการใช้ดีทีพีเอ อิติทีเอ เป็นสารคิเลต และมากกว่ากรณีที่ไม่มีการเติมสารคิเลต ตามลำดับ แสดงว่าการเติมดีทีพีเอ อิติทีเอ และโคโทซานที่ร้อยละ 1 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่ากรณีที่ไม่มีการเติมสารคิเลต และโคโทซานช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าที่ภาวะการเติม ดีทีพีเอ และอิติทีเอ ตามลำดับ

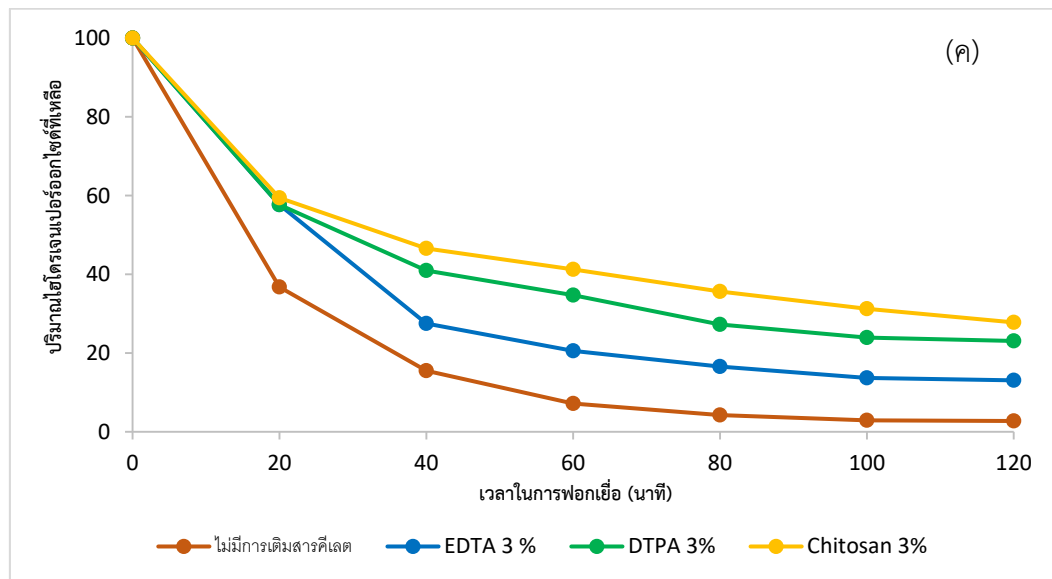
จากภาพที่ 4.24 ข แสดงการเติมปริมาณโคโทซานซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ซึ่งเป็นสารคีเลตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ซึ่งจากการทดลองเก็บตัวอย่างน้ำที่ได้จากกระบวนการฟอกเยื่อ เพื่อวิเคราะห์การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทุก ๆ 20 นาที จนครบเวลาที่ใช้ในการฟอกเยื่อคือ 120 นาที จากการทดลองพบว่า ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่จะค่อย ๆ ลดลง เมื่อใช้เวลาในการฟอกเยื่อเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งที่เวลา 120 นาที หรือที่เวลาสิ้นสุดการฟอกเยื่อ จะแสดงผลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ พบว่าที่ใช้โคโทซานจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าการใช้ดีทีพีเอ อีดีทีเอ เป็นสารคีเลต และมากกว่ากรณีที่ไม่มีสารเติมสารคีเลต ตามลำดับ แสดงว่าการเติมดีทีพีเอ อีดีทีเอ และโคโทซานที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าที่ไม่มีสารเติมสารคีเลต และโคโทซานช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.24 ค แสดงการเติมปริมาณโคโทซานซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ซึ่งเป็นสารคีเลตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้งซึ่งจากการทดลองเก็บตัวอย่างน้ำที่ได้จากกระบวนการฟอกเยื่อ เพื่อวิเคราะห์การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทุก ๆ 20 นาที จนครบเวลาที่ใช้ในการฟอกเยื่อคือ 120 นาที จากการทดลองพบว่า ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่จะค่อย ๆ ลดลง เมื่อใช้เวลาในการฟอกเยื่อเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งที่เวลา 120 นาที หรือที่เวลาสิ้นสุดการฟอกเยื่อ จะแสดงผลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ พบว่าที่ภาวะการเติมโคโทซานจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าการใช้ดีทีพีเอ อีดีทีเอ เป็นสารคีเลต และมากกว่ากรณีที่ไม่มีสารเติมสารคีเลต ตามลำดับ แสดงว่าการเติมดีทีพีเอ อีดีทีเอ และโคโทซานที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่ากรณีที่ไม่มีสารเติมสารคีเลต และโคโทซานช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.24 ก ข และ ค พบว่า ทั้งสามกราฟให้ผลในแนวโน้มเดียวกัน คือ ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้เวลาในการฟอกเยื่อเพิ่มมากขึ้น และที่ภาวะการเติมโคโทซานจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ อีดีทีเอ และที่ไม่มีสารเติมสารคีเลต ตามลำดับ



ภาพที่ 4.24 ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอและอีดีทีเอต่อปริมาณไฮดรอกซีอะพาทิตที่เหลืออยู่ภายหลังจากการพอกเยื่อด้วยไฮดรอกซีอะพาทิตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักระงะเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซิลิเกตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักระงะเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที (ก) ความเข้มข้นของไคโทซาน ดีทีพีเอ และดีทีพีเอที่ร้อยละ 1 ของน้ำหนักระงะเยื่อแห้ง (ข) ความเข้มข้นของไคโทซาน ดีทีพีเอ และดีทีพีเอที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักระงะเยื่อแห้ง

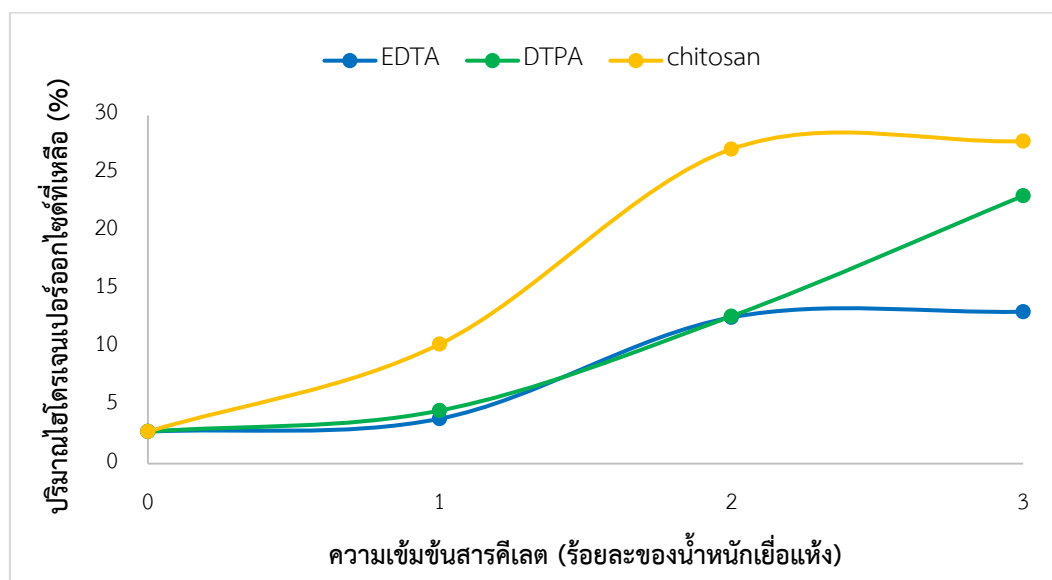


ภาพที่ 4.24 (ต่อ) ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอและอีดีทีเอต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หลังการพอกเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที เมื่อ (ค) ความเข้มข้นของไคโทซาน ดีทีเอ และดีทีพีเอที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

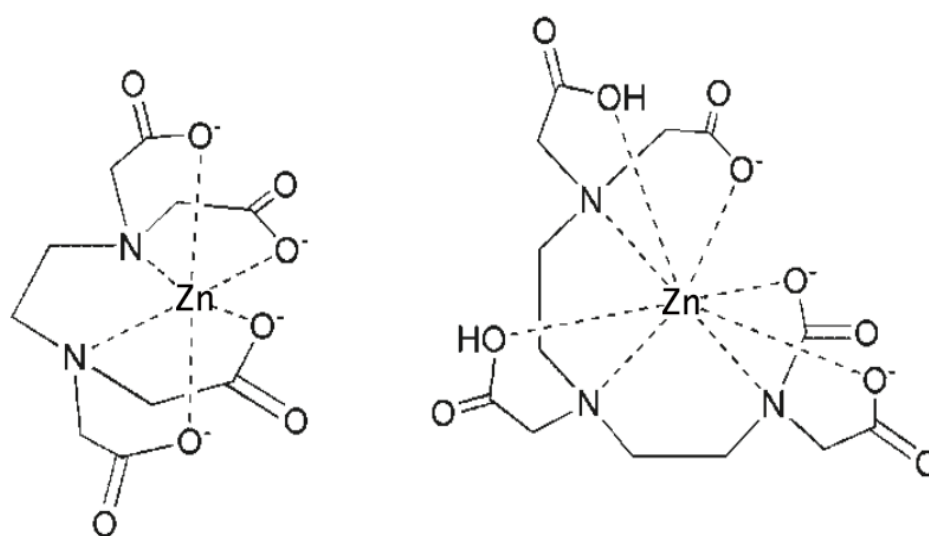
จากภาพที่ 4.25 แสดงผลของไคโทซานและสารคีเลตต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือจากการพอกเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อ โดยจากกราฟแสดงผลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือของเวลา 120 นาที หรือที่เวลาสิ้นสุดการพอกเยื่อ พบว่า เมื่อเติมอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือร้อยละ 3.87 12.60 และ 13.09 ตามลำดับ เติมดีทีพีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือร้อยละ 4.57 12.70 และ 23.08 ตามลำดับ และการเติมไคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือร้อยละ 10.29 27.10 และ 27.78 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามลำดับ ที่ภาวะเดิมไคโทซานที่ร้อยละ 3 ของ

น้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยมากที่สุด โดยที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง คือ ภาวะที่ไม่มีสารคีเลตมีเพียงโซเดียมซัลไฟด์ซึ่งเป็นสารคงตัว จะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยต่ำที่สุดที่ร้อยละ 2.76 โดยผลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยของการเติมโคโทซานที่ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ มากกว่าที่ภาวะเติมดีทีพีเอ โดยที่ภาวะเติมดีทีพีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ จะเหลือปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่มากกว่าอีดีทีเอ และการไม่เติมสารคีเลต ซึ่งปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยในระบบมากขึ้น จะบ่งบอกการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลดลง แสดงว่าที่ภาวะการเติมโคโทซานจะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ อีดีทีเอ และโซเดียมซัลไฟด์ ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากโครงสร้างของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ต่างกันในการจับกับไอออนสังกะสี ซึ่งโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 4.26 แสดงโครงสร้างของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอในการสร้างพันธะกับไอออนสังกะสี ก) ไอออนสังกะสี-อีดีทีเอ ข) ไอออนสังกะสี-ดีทีพีเอ ค) ไอออนสังกะสี-โคโทซาน ซึ่งสารคีเลตคือสารที่มีหมู่ให้อิเล็กตรอน (donor group) ในการสร้างพันธะกับไอออนทรานซิชัน กล่าวคือ อีดีทีเอ เป็นสารคีเลตที่มีหมู่ให้อิเล็กตรอนในการสร้างพันธะกับไอออนสังกะสีอยู่ 6 ตำแหน่ง ประกอบไปด้วย ไนโตรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 4 อะตอม ในขณะที่ดีทีพีเอเป็นสารคีเลตที่มีหมู่ให้อิเล็กตรอนในการสร้างพันธะกับไอออนสังกะสีถึง 8 ตำแหน่ง ประกอบด้วย ไนโตรเจน 3 อะตอม และออกซิเจน 5 อะตอม ซึ่งสารคีเลตทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ในขณะที่ไอออนโลหะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน จึงทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) ขึ้น [24] ส่งผลให้ความสามารถในการสร้างพันธะของไอออนสังกะสีกับดีทีพีเอให้ผลที่ดีกว่าสังกะสีกับอีดีทีเอ ดังนั้นในภาวะที่มีการเติมสารคีเลตสามารถช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ นอกจากนี้โครงสร้างของโคโทซาน ซึ่งมีไนโตรเจนอะตอมจากหมู่เอมีโน (NH_2) และออกซิเจนอะตอมจากหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ในการทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน โดยไอออนสังกะสีจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน แล้วเกิดเป็นโครงสร้างสารประกอบเชิงซ้อน ในลักษณะสร้างพันธะของโคโทซานกับไอออนสังกะสีเป็นสายยาวเรียงต่อกันไป ซึ่งผลของโคโทซานช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้มากกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ แสดงว่าโคโทซานสามารถสร้างพันธะกับไอออนสังกะสีเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ดีกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ เนื่องจาก ดีทีพีเอและอีดีทีเอ สามารถสร้างพันธะกับไอออนสังกะสีเป็นลักษณะวงแหวนห้าเหลี่ยม (5-membered rings) ซึ่งทำให้เกิดความเครียด (strain) ภายในโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อน ส่งผลให้โครงสร้างของดีทีพีเอและอีดีทีเอ ในการสร้างพันธะกับไอออนสังกะสีสามารถเกิดการบิดตัวได้ [54, 55] ดังนั้นความเสถียรของการสร้างพันธะของไอออนกับดีทีพีเอ และอีดีทีเอจึงลดลง เมื่อเทียบกับโคโทซานซึ่งสร้างพันธะกับไอออนสังกะสี เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนในลักษณะแบบเส้นตรง ซึ่งไม่ส่งผลต่อความเครียดภายในโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อน

จึงทำให้เกิดความเสถียรในการสร้างพันธะของไอออนสังกะสีกับโคโทซานมากกว่าการจับกับดีทีพีเอ และอิตีพีเอ ตามลำดับ

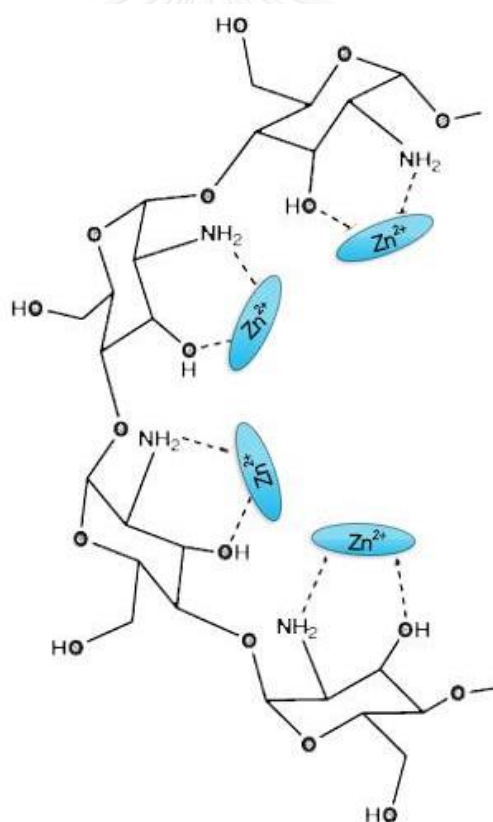


ภาพที่ 4.25 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอิตีพีเอต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากการฟอกเยื่อคาลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคาลิปต์ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอิตีพีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง



(ก)

(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.26 โครงสร้างของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอในการสร้างพันธะกับไอออนสังกะสี ก) ไอออนสังกะสี-อีดีทีเอ [26] ข) ไอออนสังกะสี-ดีทีพีเอ [26] ค) ไอออนสังกะสี-โคโทซาน [56]

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าไคโทซานที่ร้อยละการกำจัดหมู่อะซิทิล (%DD) มากกว่าร้อยละ 95 สามารถนำมาใช้แทนดีทีพีเอและอีดีทีเอ ซึ่งเป็นสารคีเลตแบบทั่วไปได้ และสามารถนำมาใช้ในกระบวนการฟอกเยื่อเยื่อคัลิปต์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อมีไอออนสังกะสี ในน้ำที่ใช้ในการฟอกได้อีกด้วย เนื่องจากไคโทซานเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่ไอออนโลหะที่ดี รวมไปถึงช่วยในการดูดซับไอออนสังกะสีได้ และสามารถช่วยกำจัดไฮดรอกซิลเรดิเคิล (OH^{\cdot}) และเปอร์ออกซิเรดิเคิล (OO^{\cdot}) [23] ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวได้อย่างรวดเร็ว ในภาวะที่มีไอออนของโลหะทรานซิชัน โดยไคโทซานยังเป็นวัสดุชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradability) และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้ดีทีพีเอ และอีดีทีเอ เป็นสารคีเลต ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นสารที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการฟอกเยื่อ สารเหล่านี้จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำแล้วจะไปจับกับไอออนของโลหะทรานซิชัน และสามารถซึมผ่านไปยังแหล่งน้ำใต้ดินได้อีกด้วย [57] ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้สารประกอบเหล่านี้ นอกจากนี้ไคโทซานยังช่วยลดต้นทุนในการจัดซื้อสารเคมี เนื่องจากมีราคาถูกกว่าอีดีทีเอ และดีทีพีเอ ตามลำดับ (แสดงดังภาคผนวก ง) อีกทั้งไคโทซานยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการฟอกเยื่อคัลิปต์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้เป็นอย่างดี โดยทำให้การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้อยกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ

4.2.4.2 ปริมาณไอออนสังกะสีที่เหลือ

ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อปริมาณไอออนสังกะสีที่เหลือหลังการฟอกเยื่อคัลิปต์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซิลิเกตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคั่งที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังตารางที่ 4.7

จากตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณไอออนสังกะสีที่เหลือหลังการฟอกเยื่อคัลิปต์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อความเข้มข้นไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอ วิเคราะห์โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณไอออนชนิดต่างๆที่อยู่ในสารละลายตัวอย่าง [58] ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (AAS) จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ปริมาณไอออนสังกะสีที่เหลืออยู่หลังการฟอกเยื่อมีแนวโน้มลดลง ตามลำดับ โดยไคโทซานจะเหลือปริมาณไอออน

สังกะสีอยู่น้อยกว่าดีทีพีเอ และอิตีทีเอ ตามลำดับ และเมื่อเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะมีปริมาณไอออนสังกะสีเหลืออยู่น้อยที่สุด เป็นผลมาจากการสร้างพันธะของสังกะสี ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เพื่อจับกับโคโทซาน ดีทีพีเอ และอิตีทีเอ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน จะรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของไอออนสังกะสี-โคโทซาน ซึ่งจะให้ความเสถียรในการสร้างพันธะกันได้ดีกว่าไอออนสังกะสี-ดีทีพีเอ และไอออนสังกะสี-อิตีทีเอ ตามลำดับ ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 4.26

จากผลของปริมาณไอออนสังกะสีที่เหลืออยู่สอดคล้องกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 4.25 เมื่อเพิ่มโคโทซาน ดีทีพีเอ และอิตีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ จะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณไอออนสังกะสีมีแนวโน้มลดลง ที่การเติมปริมาณโคโทซานระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือมากที่สุด และปริมาณไอออนสังกะสีที่เหลืออยู่หลังการฟอกเยื่อน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.7 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอิตีทีเอต่อปริมาณไอออนสังกะสีที่เหลือหลังการฟอกเยื่อยุคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอิตีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

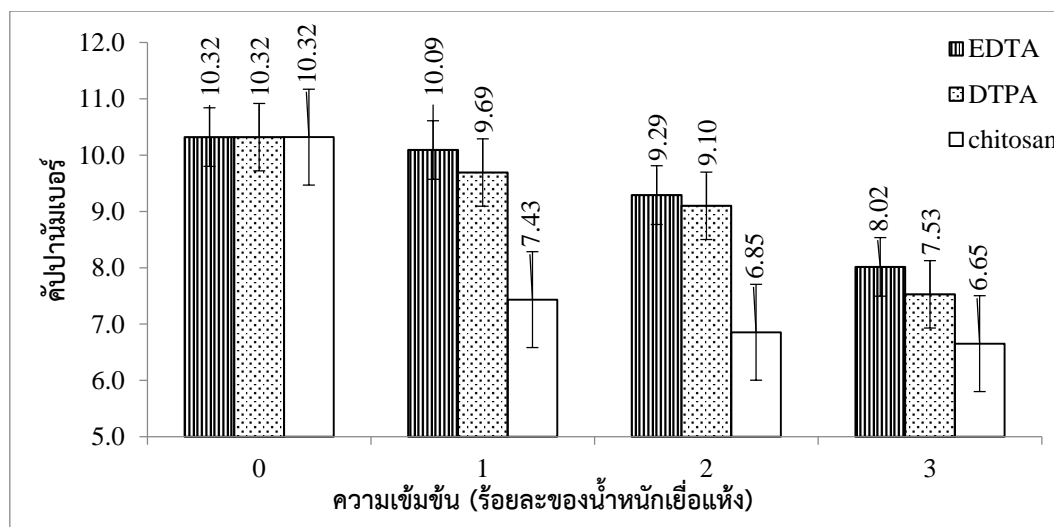
| ความเข้มข้น (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง) | ปริมาณไอออนสังกะสี (ppm) | | |
|--|--------------------------|----------|---------|
| | อิตีทีเอ | ดีทีพีเอ | โคโทซาน |
| 1 | 190.40 | 189.80 | 186.10 |
| 2 | 189.70 | 188.80 | 184.10 |
| 3 | 123.40 | 122.80 | 121.70 |

4.2.4.3 สมบัติของเยื่อ

ก. ค่าคัปปานัมเบอร์ (kappa number)

ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าคัปปานัมเบอร์หลังการฟอกเยื่อเยื่อคา ลิปต์สด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.27

จากภาพที่ 4.27 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ค่าคัปปานัมเบอร์ที่ได้มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ และที่ภาวะการเติมไคโทซานจะมีค่าคัปปานัมเบอร์น้อยกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะเติมไคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะมีค่าคัปปานัมเบอร์น้อยที่สุด ทั้งนี้เป็นผลมาที่ภาวะเติมไคโทซานจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าที่ภาวะเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะเติมไคโทซานที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่สูงที่สุด ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.25 โดยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบในปริมาณที่มากกว่าจะเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนิน ทำให้ลิกนินสามารถละลายออกมาได้มากขึ้น แสดงว่าปริมาณลิกนินที่หลงเหลืออยู่ในเยื่อมีปริมาณลดลง [3, 5] ดังนั้นค่าคัปปานัมเบอร์ของไคโทซานจึงน้อยกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมไคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าคัปปานัมเบอร์น้อยที่สุด



ภาพที่ 4.27 ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าค่าปทานัมเบอร์หลังการพอกเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที และเติมโซเดียมซัลไฟต์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

ก. องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ (chemical composition)

ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อหลังการพอกเยื่อยูคาลิปตัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลไฟต์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังตารางที่ 4.8

เมื่อเพิ่มการเติมไคโทซานดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ความเข้มข้นละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะมีปริมาณเซลลูโลส และปริมาณเฮมิเซลลูโลสแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณลิกนินมีแนวโน้มลดลง ตามลำดับ โดยที่ภาวะการเติมไคโทซานจะมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับและมีปริมาณลิกนินต่ำกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอตามลำดับ และที่ภาวะการเติมไคโทซานที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะมีปริมาณเซลลูโลสและปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุด และปริมาณลิกนินมีต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นผลมาจากภาวะการเติมไคโทซานจะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ

ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.27 ทำให้ลดการเกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^{\cdot}) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^{\cdot}) ที่จะเข้าไปทำลายคาร์โบไฮเดรตของเส้นใย ทั้งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส [22] นอกจากนี้ปริมาณลิกนินที่ภาวะการเติมโคโทซานเหลือน้อยกว่าการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ เป็นผลมาจากโคโทซานมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบการฟอกเยื่อมากกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ ในการเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนินทำให้ลิกนินละลายออกมาได้มากขึ้น โดยภาวะการเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากที่สุด ทำให้สามารถกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มากที่สุด ดังนั้นปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่จึงต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.8 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

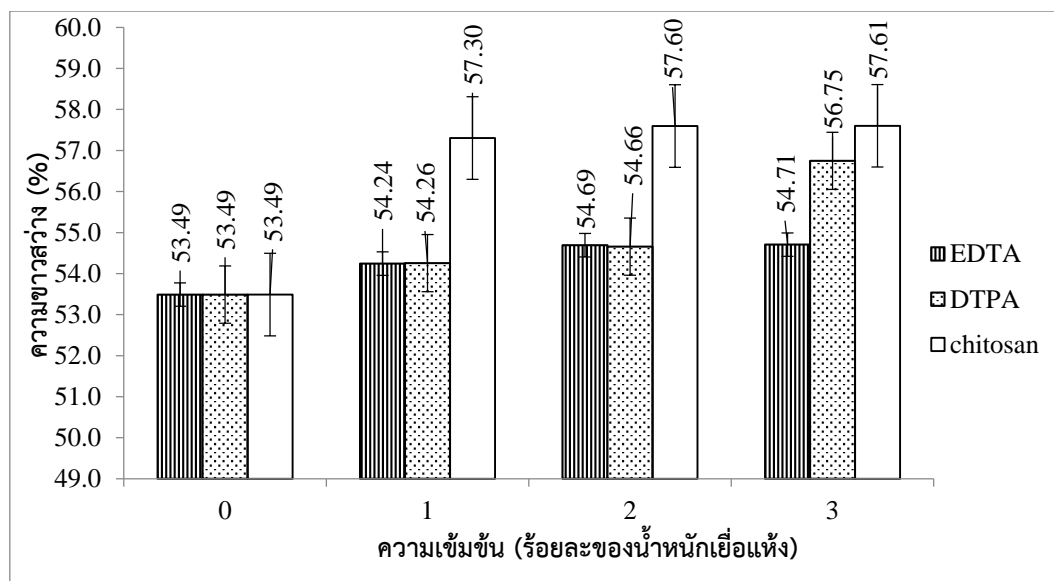
| สารสีเลด | เฮมิเซลลูโลส (%) | ลิกนิน (%) | เซลลูโลส (%) | เถ้า (%) | อื่นๆ (%) |
|-----------------------------------|------------------|------------|--------------|----------|-----------|
| H ₂ O ₂ 30% | 5.60 | 3.45 | 82.15 | 1.65 | 7.15 |
| EDTA 1% | 6.20 | 3.10 | 84.90 | 2.35 | 3.45 |
| EDTA 2% | 6.05 | 2.95 | 85.30 | 2.35 | 3.35 |
| EDTA 3% | 5.55 | 2.85 | 85.40 | 2.25 | 3.95 |
| DTPA 1% | 5.50 | 3.00 | 86.15 | 2.25 | 3.10 |
| DTPA 2% | 5.20 | 2.75 | 86.35 | 2.15 | 3.55 |
| DTPA 3% | 5.05 | 2.00 | 87.05 | 2.55 | 3.35 |
| Chitosan 1% | 5.30 | 0.55 | 88.50 | 2.90 | 2.75 |
| Chitosan 2% | 6.00 | 0.45 | 88.80 | 2.05 | 2.70 |
| Chitosan 3% | 6.85 | 0.40 | 89.70 | 0.65 | 2.40 |

4.2.4.4 สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง

ก. ความขาวสว่าง (Brightness)

ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอิตีทีเอต่อค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอิตีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.28

จากภาพที่ 4.28 พบว่า เมื่อเพิ่มการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอิตีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ค่าความขาวสว่างที่ได้จะให้แนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยที่ภาวะการเติมโคโทซานให้ค่าความขาวสว่างสูงกว่าดีทีพีเอและอิตีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าความขาวสว่างสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ของภาวะที่เติมโคโทซานจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าที่ภาวะเติมดีทีพีเอ และอิตีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่สูงที่สุด ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.27 แสดงว่าที่ภาวะการเติมโคโทซานจะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอิตีทีเอ ตามลำดับ ซึ่งที่ภาวะเติมโคโทซานมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าการเติมดีทีพีเอ และอิตีทีเอ ตามลำดับ จึงส่งผลให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบมากกว่าเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างของลิกนินได้มากขึ้น เป็นส่วนที่ทำให้เยื่อมีสีน้ำตาล และลิกนินจะส่งผลให้กระดาษมีสีเหลือง [3, 5] ดังนั้นค่าความขาวสว่างของภาวะเติมโคโทซาน มากกว่าดีทีพีเอ และอิตีทีเอตามลำดับ แสดงว่าโคโทซานสามารถกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มากกว่าดีทีพีเอ และอิตีทีเอตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงว่าสามารถกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้สูงที่สุด สอดคล้องกับผลค่าคัพปานัมเบอร์ ดังแสดงในภาพที่ 4.29 ทำให้ภาวะการเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าความขาวสว่างสูงที่สุด



ภาพที่ 4.28 ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอิดีทีเอต่อค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักระเหยแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักระเหยแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอิดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักระเหยแห้ง

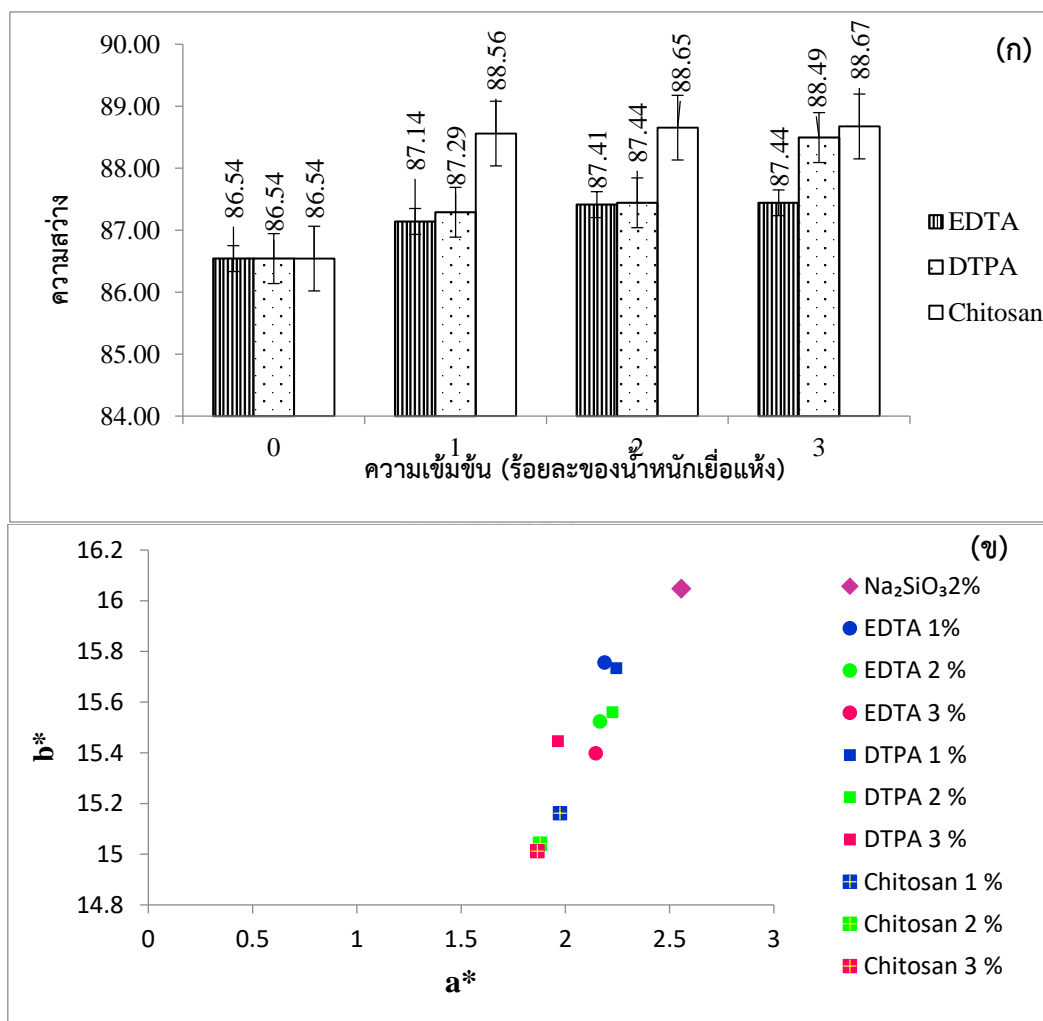
ข. ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ และค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*_{ab})

ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอิดีทีเอต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักระเหยแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักระเหยแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอิดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักระเหยแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.29

จากภาพที่ 4.29 ก พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอิดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักระเหยแห้ง ค่าความสว่าง (L^*) ที่ได้จะให้แนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ โดยไคโทซานให้ค่าความสว่าง (L^*) สูงกว่าดีทีพีเอ และอิดีทีเอ ตามลำดับ ที่ภาวะ

เติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าความสว่างสูงสุด (L^*) เนื่องจากที่ภาวะเติมโคโทซานมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบมากกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่สูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.27 จึงทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างของลิกนินได้มากขึ้น ดังนั้นค่าความสว่าง (L^*) ของภาวะเติมโคโทซานจึงมากกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ แสดงว่าโคโทซานสามารถกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มากกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ โดยที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ให้ค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด แสดงว่าสามารถกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มากที่สุด

จากภาพที่ 4.29 ข ในขณะที่มีภาวะมีการเติมโคโทซานและสารคีเลตที่ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มลดลง ตามลำดับ โดยที่ภาวะการเติมโคโทซาน มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) น้อยกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ แสดงว่าค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ที่ภาวะเติมโคโทซานมีค่าน้อยกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ต่ำที่สุด เป็นผลมาจาก ที่ภาวะการเติมโคโทซานมีปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.27 โดยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่า จะช่วยในการกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง ซึ่งลักษณะของลิกนินก่อนฟอกจะมีสีน้ำตาล และเมื่อผ่านกระบวนการฟอกเยื่อแล้ว จะทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง ดังนั้นค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของภาวะเติมโคโทซานต่ำกว่าดีทีพีเอและอีดีทีเอ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.29 ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ ของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซิลิเกตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าความแตกต่างสีของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เมื่อเทียบกับภาวะมีโซเดียมซิลิเกตเพียงอย่างเดียว และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่

ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

จากตารางที่ 4.9 พบว่า ที่ภาวะเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะมีค่าความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับภาวะที่ไม่เติมสารคีเลต มีแต่โซเดียมซัลเฟต โดยภาวะที่เติมโคโทซานจะมีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ พบว่าโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าความแตกต่างของสีสูงที่สุด ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น จะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือสูงขึ้นด้วยเช่นกัน และที่ภาวะการโคโทซานจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่สูงกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้งจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่สูงที่สุด จึงทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ในลิกนิน และเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีเหลืองได้มากกว่า จึงทำให้กระดาษที่ได้จึงมีสีขาวมากขึ้นด้วย เมื่อเทียบกับกระดาษที่เติมโซเดียมซัลเฟตเพียงอย่างเดียว และเมื่อนำค่าความแตกต่างของสีไปเทียบกับค่ามาตรฐานแสดงดังตารางที่ 3.1 พบว่า กระดาษที่ได้จากการเติมโคโทซาน มีค่าความแตกต่างของสีอยู่ในช่วง 1.5 – 3.0 แสดงว่า มีความแตกต่างกันปานกลางเมื่อเทียบกับกระดาษที่เติมโซเดียมซัลเฟตเพียงอย่างเดียว ส่วนกระดาษที่ได้จากการเติมดีทีพีเอ มีค่าความแตกต่างของสีอยู่ในช่วง 0.5 – 3.0 แสดงว่า มีความแตกต่างกันของสีตั้งแต่น้อยถึงปานกลางเมื่อเทียบกับกระดาษที่เติมโซเดียมซัลเฟตเพียงอย่างเดียว และกระดาษที่ได้จากการเติมอีดีทีเอ มีค่าความแตกต่างของสีอยู่ในช่วง 0.5 – 1.5 แสดงว่า มีความแตกต่างกันของสีน้อยเมื่อเทียบกับกระดาษที่เติมโซเดียมซัลเฟตเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 4.9 ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าความแตกต่างสีของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักระดาษเยื่อแห้ง เมื่อเทียบกับภาวะมีโซเดียมซัลไฟต์เพียงอย่างเดียว และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลไฟต์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักระดาษเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักระดาษเยื่อแห้ง

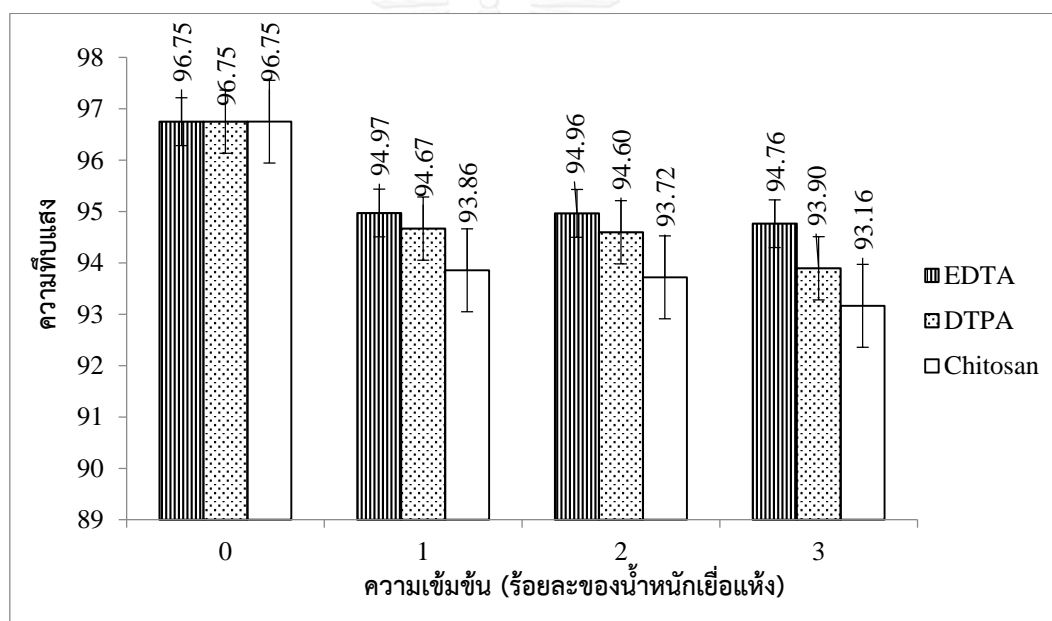
| ชนิดสารเคลือบ | ความเข้มข้น (ร้อยละ) | L* | a* | b* | ΔE^*_{ab} |
|---------------|-------------------------|-------|------|-------|-------------------|
| EDTA | 1 | 87.14 | 2.19 | 15.76 | 0.75 |
| EDTA | 2 | 87.41 | 2.17 | 15.52 | 0.93 |
| EDTA | 3 | 87.44 | 2.15 | 15.40 | 0.96 |
| DTPA | 1 | 87.29 | 2.18 | 15.73 | 0.87 |
| DTPA | 2 | 87.44 | 2.16 | 15.48 | 0.96 |
| DTPA | 3 | 88.49 | 1.96 | 15.37 | 2.02 |
| Chitosan | 1 | 88.56 | 1.97 | 15.16 | 2.10 |
| Chitosan | 2 | 88.65 | 1.88 | 15.04 | 2.23 |
| Chitosan | 3 | 88.67 | 1.87 | 15.01 | 2.26 |

ค. ความทึบแสง (opacity)

ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าความทึบแสงของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักระดาษเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลไฟต์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักระดาษเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักระดาษเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.30

จากภาพที่ 4.30 พบว่า เมื่อเพิ่มการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักระดาษเยื่อแห้ง ค่าความทึบแสงที่ได้จะให้แนวโน้มลดลง

ตามลำดับ โดยไคโทซานให้ค่าความทึบแสงต่ำกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมไคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าความทึบแสงต่ำที่สุด เนื่องจากที่ภาวะการเติมไคโทซานมีปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมไคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.27 โดยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยกว่าเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนินได้มากขึ้น จะช่วยในการกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มากขึ้น ส่งผลให้เส้นใยสร้างพันธะแนบตัวกันได้ดี ช่องว่างภายในลดลง ทำให้การกระเจิงแสงลดลงด้วย แสงจึงสามารถทะลุผ่านได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความทึบแสงต่ำลง ดังนั้นค่าความทึบแสงของภาวะเติมไคโทซานต่ำกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมไคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าความทึบแสงต่ำที่สุด



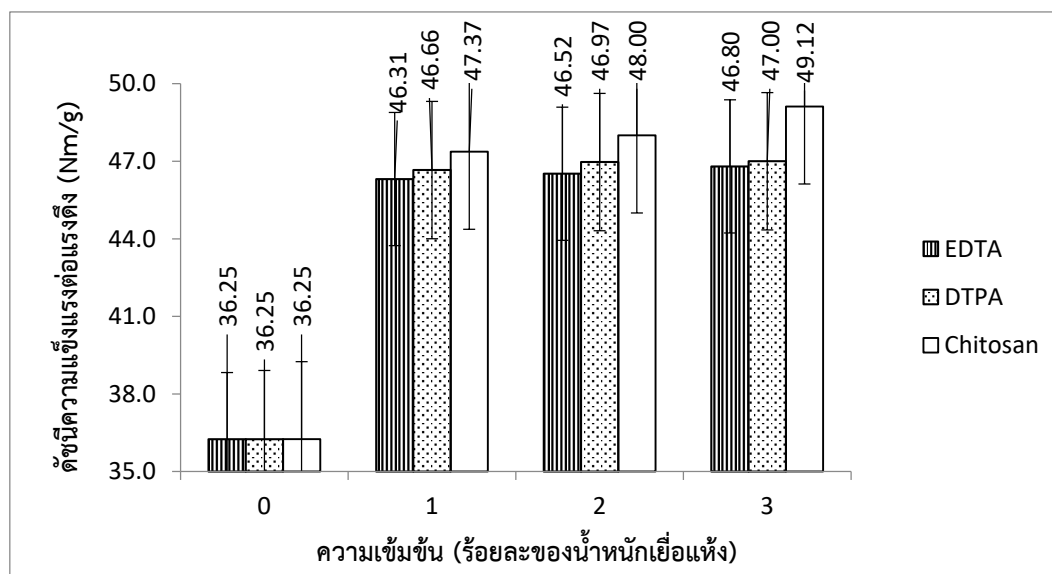
ภาพที่ 4.30 ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าความทึบแสงของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซิลิเกตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

4.2.4.5 สมบัติกระดาษด้านความแข็งแรง

ก. ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.31

จากภาพที่ 4.31 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมโคโทซานดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ได้จะให้แนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามลำดับ โดยโคโทซานให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่าดีทีพีเอและอีดีทีเอตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงที่สุด เนื่องจากที่ภาวะการเติมโคโทซาน ทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวน้อยกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.27 โดยโคโทซานช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ จึงทำให้ลดเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^\cdot) [23] ส่งผลให้การทำลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสน้อยลง เส้นใยจึงมีความมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้การสร้างพันธะระหว่างเส้นใยดีขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลค่าองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อ ดังผลในตารางที่ 4.8 ซึ่งแสดงปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่ภาวะการเติมโคโทซานมากกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และอาจเป็นไปได้ว่าโคโทซานมีสมบัติเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในขณะแห้ง (dry strength agent) เพราะฉะนั้นเป็นไปได้ว่าค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลโดยตรงจากโคโทซานที่เหลืออยู่ ซึ่งอาจล้างออกจากเยื่อไม่หมด แล้วส่งผลให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโคโทซานกับเซลลูโลส [30] ดังนั้นค่าดัชนีแข็งแรงต่อแรงดึงที่ได้จึงสูงกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุด จึงทำให้ภาวะการเติมโคโทซาน ส่งผลให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงที่สุด



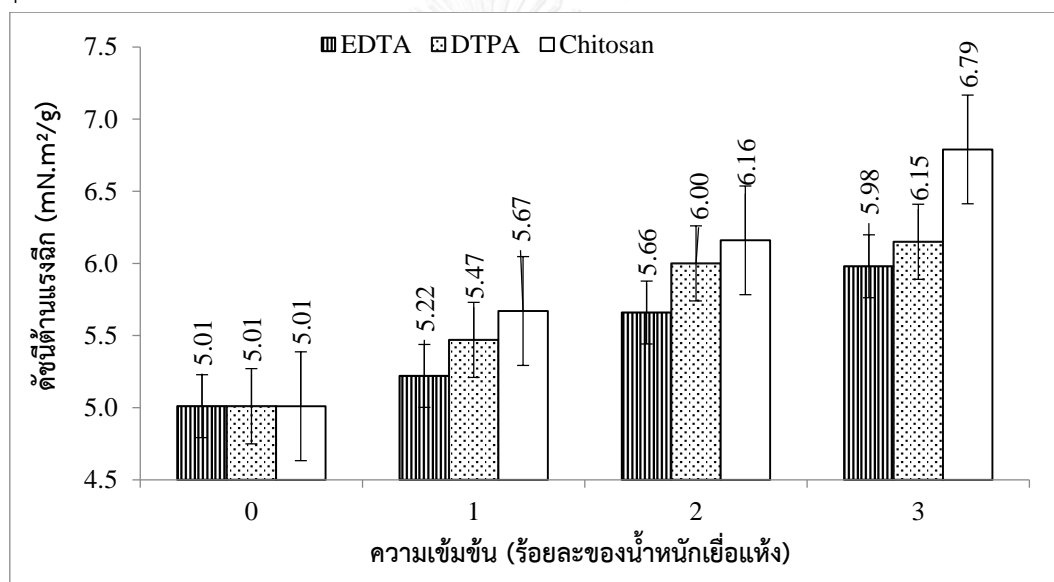
ภาพที่ 4.31 ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักรเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักรเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักรเยื่อแห้ง

ข. ความต้านทานแรงฉีก (tear resistance)

ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักรเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักรเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักรเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.32

จากภาพที่ 4.32 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักรเยื่อแห้ง ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกที่ได้จะให้แนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามลำดับ โดยไคโทซานให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกสูงกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ

ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกที่สุด เนื่องจากที่ภาวะการเติมโคโทซานมีปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.27 เนื่องจากโคโทซานช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าดีทีพีเอและอีดีทีเอ ตามลำดับ จึงทำให้ลดการเกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^{\cdot}) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^{\cdot}) จึงทำให้ความยาวของเส้นใยเพิ่มขึ้นและเส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นที่ภาวะการเติมโคโทซานจึงมีค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกสูงกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีดัชนีต้านทานแรงฉีกสูงสุด



ภาพที่ 4.32 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อคุณภาพดี เมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 10 20 และ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เลือกใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เนื่องจากมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่สูงที่สุด จึงทำให้ค่าค่าปานัมเบอร์และปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ต่ำที่สุด ดังนั้นสมบัติกระดาษด้านเชิงแสงสูงที่สุดด้วยเช่นกัน อันประกอบด้วย ความขาวสว่างค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ และความทึบแสง ในขณะที่สมบัติกระดาษด้านความแข็งแรง ทั้งดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและดัชนีความต้านทานแรงฉีกมีค่าต่ำที่สุดสอดคล้องกับผลปริมาณเซลลูโลสและปริมาณเฮมิเซลลูโลส และไรการศึกษผลของสารคงตัวต่อการฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการฟอกที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีการเติมสารคงตัว 2 ชนิด คือ โซเดียมซัลไฟต์และแมกนีเซียมซัลเฟตที่ปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จากการทดลองเลือกใช้โซเดียมซัลไฟต์เป็นสารคงตัว เนื่องจากมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต โดยไอออนสังกะสีสามารถเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ ทำให้เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^\cdot) ที่จะเข้าไปทำลายคาร์โบไฮเดรต และเมื่อเติมโซเดียมซัลไฟต์ ทำให้ปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เฮมิเซลลูโลสลดลง และปริมาณของลิกนินลดลงสอดคล้องกับผลค่าค่าปานัมเบอร์ จึงส่งผลให้สมบัติกระดาษด้านเชิงแสง มีค่าสูงกว่าการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต และเมื่อเติมโซเดียมซัลไฟต์ส่งผลให้ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและดัชนีความต้านทานแรงฉีกมีค่าสูงกว่าแมกนีเซียมซัลเฟต และในการศึกษาผลของไคโทซาน ดีทีพีเอและอีดีทีเอต่อการฟอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง น้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลไฟต์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง พบว่าเมื่อเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่เพิ่มมากขึ้น ปริมาณไอออนสังกะสีหลังจากการฟอกเยื่อลดลง ซึ่งไคโทซานช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ จึงลดการเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) และเปอร์ออกซีเรดิคัล (OO^\cdot) ทำให้

ปริมาณเซลลูโลส และปริมาณเฮมิเซลลูโลสเพิ่มสูงขึ้น ทำให้สมบัติด้านความแข็งแรงสูงกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ ส่วนปริมาณลิกนินที่ลดลงเช่นเดียวกับค่าคัปปานัมเบอร์ ทำให้สมบัติด้านเชิงแสงที่เติมโคโทซานสูงกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ พบว่า การเติมโคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือน้อยที่สุด มีปริมาณไอออนสังกะสีที่เหลือน้อยหลังจากการฟอกเยื่อน้อยที่สุด มีปริมาณเซลลูโลสและปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุด ส่วนปริมาณลิกนินต่ำที่สุดสอดคล้องกับค่าคัปปานัมเบอร์ที่ต่ำที่สุด จึงส่งผลให้สมบัติกระดาษด้านเชิงแสงและสมบัติด้านความแข็งแรงสูงที่สุดด้วยเช่นกัน

ดังนั้นโคโทซานสามารถใช้แทนดีทีพีเอ และอีดีทีเอซึ่งเป็นสารคีเลตได้ เนื่องจากให้เป็นสารคีเลตที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ไม่มีความเป็นพิษ ให้ประสิทธิภาพในการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้งในด้านสมบัติของเยื่อ สมบัติเชิงแสง และสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษได้ดีกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ รวมไปถึงช่วยกำจัดปริมาณไอออนสังกะสีได้ดีที่สุด หากนำโคโทซานไปใช้ในอุตสาหกรรมฟอกเยื่อและกระดาษ จะให้ผลดีในด้านการลดต้นทุนในการจัดซื้อสารเคมี เนื่องจากโคโทซานมีราคาถูกกว่าดีทีพีเอและอีดีทีเอ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาผลของโคโทซานกับไอออนชนิดต่าง ๆ และเพิ่มระดับความเข้มข้นของโคโทซานให้สูงขึ้น
2. ควรศึกษาโคโทซานที่ระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (degree of deacetylation, %DD) สูงๆ
3. ควรวิเคราะห์หากลูโคซามีน (glucosamine) ที่เหลือน้อยบนเซลลูโลส

รายการอ้างอิง

1. Paperland. กระบวนการผลิตกระดาษ [cited 2560 มีนาคม 1]; Available from: <http://www.paperlandonline.com/knowledge.php?ID=7>.
2. การประปานครหลวง. ปริมาณโลหะหนักในน้ำประปา. [cited 2559 มีนาคม 1]; Available from: https://www.mwa.co.th/more_news.php?cid=797&filename=fkk_wqa_cuzn.
3. Biermann, C.J., *Essential of Pulping and Papermaking*. 1993, San Diego: Academic Press.
4. Roberts, J.C., *The Chemistry of Paper*. 1996: The Royal Society of Chemistry.
5. Sjöström, E. and Alén R., *Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking*. 1999, Berlin: Springer-verlag.
6. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. พืชเส้นใยคืออะไร. [cited 2560 เมษายน 4]; Available from: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK17/chapter8/t17-8-l1.htm>.
7. สำนักส่งเสริมการปลูกป่า กรมป่าไม้. ยุคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส. 2556 [cited 2559 ธันวาคม 15]; Available from: <http://forestinfo.forest.go.th/pfd/Files/FileEBook/EB5.pdf>.
8. ศูนย์สารสนเทศ กรมป่าไม้. ข้อมูลสารสนเทศกรมป่าไม้. [cited 2560 มีนาคม 1]; Available from: <http://forestinfo.forest.go.th/55/>.
9. บริษัท ไทยซุมิ จำกัด การปลูกไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส. [cited 2560 มีนาคม 1]; Available from: <http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/yuka.php>.
10. Gullichsen, J. and Paulapuro H., *Papermaking Science and Technology : Chemical Pulping Book 6A*. 2000, Jyväskylä: Gummerus Printing.
11. Pereira, P.H.F., et al., *Vegetal fibers in polymeric composites: a review*. Polimeros, 2015. 25(1): p. 9-22.
12. EasyChem. *Cellulose*. 2559 [cited 2015 March 9]; Available from: <http://www.easychem.com.au/production-of-materials/biomass-research/cellulose>.
13. Estela, R. and Luis J., *Hydrolysis of Biomass Mediated by Cellulases for the Production of Sugars*. 2013.

14. Biocyclopedia. *Biomass : A Renewable Source of Energy*. [cited 2015 June 8]; Available from:
http://www.eplantscience.com/index/biotechnology/biotechnology_and_environment/biomass_a_renewable_source_of_energy/biotech_biomass_composition_of_biomass.php.
15. วิชชา พิชัยณรงค์, การแยก lignin ออกจากน้ำดำในกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัส. 2545, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
16. Casey, J.P., *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*. Vol. I. 1981, New York John Wiley & Sons.
17. Christopher, L.P., Yao B., and Ji Y., *Lignin Biodegradation with Laccase-Mediator Systems*. Frontiers in Energy Research, 2014. 2.
18. Sixta, H., *Handbook of Pulp*. Vol. II. 2006, Weinheim: Wiley-VCH.
19. Smook, G.A., *Handbook for Pulp & Paper technologists*. 2nd ed. 1994, Vancouver: Angus Wilde.
20. สุพิดา สุขจำเริญ, การเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อและกระดาษจากส่วนต่างๆของต้นข้าวโพดต่างพันธุ์. 2551, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
21. แพรวพรรณสิริ มีพงษ์, ผลของไฟน์ต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษจากเยื่อโซดาเยื่อ ลิปตัส. 2554, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
22. Dence, C.W. and Reeve D.W., *Pulp Bleaching: Principles and Practice*. 1996, Atlanta: Clearance.
23. Li, Z., Dou H., Fu Y., and Qin M., *Improving the hydrogen peroxide bleaching efficiency of aspen chemithermomechanical pulp by using chitosan*. Carbohydrate Polymers, 2015. 132: p. 430-436.
24. LNC. *Sequestering agents*. [cited 2016 April 3]; Available from:
<https://www.slideshare.net/workbrain/sequesterant-12089937>.
25. รัฐศาสตร์ ตีเพียร, การใช้อะไมเลสและเซลลูเลสในการกำจัดหมึกฟล็กโซกราฟีฐานน้ำจากกระดาษหนังสือพิมพ์ด้วยวิธีการลอยฟองอากาศ. 2555, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

26. Zhou, S., et al., *Comparative evaluation of disodium edetate and diethylenetriaminepentaacetic acid as iron chelators to prevent metal-catalyzed destabilization of a therapeutic monoclonal antibody*. J Pharm Sci, 2010. 99(10): p. 4239-4250.
27. Enberg, S., *Storage of hydrogen peroxide bleached mechanical pulp ; reduction in reflectance over the visible spectrum* 2014, Department of Natural Sciences Mid Sweden University: Sweden.
28. สุธิดา คงทอง, ไคติน-ไคโตซาน วารสารวิชาการ อุตสาหกรรมศึกษา 2552. 1(3): p. 1-7.
29. Ravi, K. and Majeti N.V., *A review of chitin and chitosan applications*. Reactive and Functional Polymers, 2000. 46(1): p. 1-27.
30. 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, 2006. 45(1): p. 125-129.
31. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ข้อกำหนดฉลากเขียวผลิตภัณฑ์กระดาษ (Paper) [cited 2560 เมษายน 1]; Available from: www.tei.or.th/greenlabel/pdf/TGL-8-R2-11.pdf.
32. วิชัย หฤทัยธนาสันต์, การพัฒนาระบบการผลิตเยื่อและกระดาษจากปอสาที่ไม่ก่อปัญหาสิ่งแวดล้อมเพื่ออุตสาหกรรมขนาดเล็ก. 2545, สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
33. Wekesa, M. and Ni Y., *Use of zeolites in stabilising alkaline peroxide solutions and their application in the bleaching of a TMP pulp*. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 2011. 89(1): p. 126-131.
34. Li, Z., et al., *Using magnesium hydroxide (Mg(OH)₂) as the alkali source in peroxide bleaching at Irving paper*. Pulp & Paper Canada, 2005.
35. Petlicki, J., Palusova D., and van de Ven T.G.M., *Physicochemical Aspects of Catalytic Decomposition of Hydrogen Peroxide by Manganese Compounds*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2005. 44(7): p. 2002-2010.
36. Li, L., Lee S., Lee H.L., and Youn H.J., *Hydrogen peroxide bleaching of hardwood kraft pulp with adsorbed birch xylan and its effect on paper properties* bioresources, 2011.

37. Nascimento, E.A., Machado A.E.H., and Morais S.A.L., *Photochemical Hydrogen Peroxide Bleaching of Eucalyptus Organosolv Pulp*. J. Braz. Chem. Soc. , 1995: p. 365-371.
38. Qiu, Z., Ni Y., and Yang S., *Using DTPA to Decrease Manganese-Induced Peroxide Decomposition*. Journal of Wood Chemistry and Technology, 2003. 23(1): p. 1-11.
39. TAPPI, *TAPPI Test Methods*. 2002, Atlanta: TAPPI Press.
40. Corporation, D.E. *Electrical Testing Instruments*. [cited 2017 January 15]; Available from: <http://www.diamondengineering.org/>.
41. TEC, M.C. *Sheet former rapid*. [cited 2017 March 5]; Available from: <http://www.mctec.nl/en/producten/material-properties/pulp-en/sheet-former-rapid-kothen-kwt/>.
42. *Color touch PC*. [cited 2015 March 10]; Available from: <http://www.technidyne.com/color-touch-pc.html>.
43. *Enter the L*a*b*oratory*. [cited 2017 February 12]; Available from: <http://www.nazdar.com/en-us/News-events/ArtMID/4165/ArticleID/224>.
44. อรอนงค์ ใจสิทธิากุล, การผลิตซ้ำของภาพสีน้ำจากข้อมูลสเปกตรัมบนแอลซีดี. 2547, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
45. *Electronic elmendorf pro tear*. [cited 2017 February 2]; Available from: <http://www.thwingalbert.com/electronic-protear.html>.
46. *Iodometric titration*. [cited 2016 May 15]; Available from: <http://www.h2o2.com/technical-library/analytical-methods/default.aspx?pid=70>.
47. สมพร ชัยอารีย์กิจ, กุณทีนี สุวรรณกิจ, พัฒนาฤดี สิริวรรณ, and กัลยา เชิดหิรัญกร, บรรจุภัณฑ์กระดาษจากปาล์มน้ำมัน. 2553, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
48. Zeronian, S.H. and Inglesby M.K., *Bleaching of cellulose by hydrogen peroxide*. Cellulose, 1995. 2(4): p. 265-272.
49. Salem, I.A., El-Maazawi M., and Zaki A.B., *Kinetics and mechanisms of decomposition reaction of hydrogen peroxide in presence of metal*

- complexes*. International Journal of Chemical Kinetics, 2000. 32(11): p. 643-666.
50. Sjostrom, E., *Wood Chemistry: Fundamentals and Applications*. 2 ed. 1981, United States: Academic Press.
 51. Sun, Y., Fenster M., Yu A., Berry R.M., and Argyropoulos D.S., *The effect of metal ions on the reaction of hydrogen peroxide with Kraft lignin model compounds*. Canadian Journal of Chemistry, 1999. 77(5-6): p. 667-675.
 52. Brown, D.G., *Effects of Metal Catalysed Peroxide Decomposition on the Bleaching of Mechanical Pulp* 1993, University of Tasmania
 53. Xu, N., Christodoulatos C., and Braida W., *Modeling the competitive effect of phosphate, sulfate, silicate, and tungstate anions on the adsorption of molybdate onto goethite*. Chemosphere, 2006. 64(8): p. 1325-1333.
 54. Chauhan, G., Stein M., Seidel-Morgenstern A., Pant K.K., and Nigam K.D.P., *The thermodynamics and biodegradability of chelating agents upon metal extraction*. Chemical Engineering Science, 2015. 137: p. 768-785.
 55. Lin, W., Welsh W.J., and Harris W.R., *Molecular Mechanics Studies of Model Iron(III) Transferrin Complexes in vacuo and in Aqueous Solution*. Inorganic Chemistry, 1994. 33(5): p. 884-890.
 56. Dutta, P.K., *Functionalized Chitosan: A Quantum Dot-Based Approach for Regenerative Medicine*. Springer Series on Polymer and Composite Materials, 2016.
 57. นุชศรา นงนุช, ความเป็นไปได้ในการใช้เยื่อจากกระดาษคราฟท์และกระดาษกล่องมาผลิตกระดาษเซ็ดมือ 2553, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
 58. Glasswarechemical. อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี. [cited 2016 November 7]; Available from: <http://glasswarechemical.com/scientific-instrument>.
 59. สารเคมี. [cited 2017 May 30]; Available from: <https://thai.alibaba.com/?spm=a2700.7787054.a271qf.35.T1URMt>.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช

1. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช

1. hydrochloric acid (HCl) (Merck)
2. 95% ethanol
3. tertiary butyl alcohol (Butanol)
4. acetic acid ,glacial (Merck)
5. potassium acetate (Scharlau)
6. silver nitrate (AgNO_3) (Merck)
7. ferric nitrate nanohydrate [$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$] (APS)
8. silver sulfate (Ag_2SO_4) (Carlo Erba)
9. sulfuric acid (Merck)
10. (SERVA) potassium permanganate (KMnO_4) (Ajax)
11. cetyl trimethylammonium bromide (CTAB)
12. acetone (Merck)
13. decahydronaphthalene (Fluka)
14. sodium sulfite (NaSO_3) (Scharlau) วิทยาลัย
15. ethoxyethanol (ethylene glycol monoethyl ether) (Merck)
16. disodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) (Merck)
17. sodium borate decahydrate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) (APS)
18. oxalic acid dehydrate (Ajax)
19. disodium ethylenediamine tetraacetate (EDTA) (APS)
20. sodium lauryl sulfate (APS)

2. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช

2.1 การเตรียมสารละลาย neutral detergent

2.1.1 ชั่ง disodium ethylenediamine tetraacetate (EDTA) 16.18 กรัม และ sodium borate decahydrate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 6.81 กรัม เติมน้ำกลั่นพอประมาณและนำไปต้มจนละลายหมด

2.1.2 ละลาย sodium lauryl sulfate 30 กรัม ในน้ำแล้วเติม 2-ethoxyethanol (ethylene glycol monoethyl ether) 10 มิลลิลิตร

2.1.3 นำสารละลายในข้อ 1.1 และ 1.2 มาผสมกัน

2.1.4 ชั่ง disodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) 4.56 กรัม ใส่ปิกรเกอร์แล้วเติมน้ำกลั่นพอประมาณจากนั้นนำไปต้มจนละลายหมด นำไปผสมกับสารละลายผสมในข้อ 2.1.3 จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น และปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.9-7.1

2.2 การเตรียมสารละลาย acid detergent

ละลาย cetyl trimethylammonium bromide (CTAB) 20 กรัม ในกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1 N แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดนี้ให้ได้ 1 ลิตร

2.3 การเตรียมสารละลาย saturated potassium permanganate

ละลาย potassium permanganate (KMnO_4) 50 กรัม และ silver sulfate (Ag_2SO_4) 0.05 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชาไม่ได้โดนแสงแดด

2.4 การเตรียม lignin buffer

ละลาย ferric nitrate nanohydrate [$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$] 6 กรัม และ silver nitrate (AgNO_3) 0.15 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติม acetic acid 500 มิลลิลิตร เติม potassium acetate 5 กรัม และเติม tertiary butyl alcohol 400 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

2.5 การเตรียมสารละลาย combined permanganate

ผสมสารละลาย saturated potassium permanganate กับ lignin buffer ในอัตราส่วน 2:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) เก็บสารละลายผสมในขวดสีชา แช่ตู้เย็น และเก็บให้พ้นแสงแดด เพื่อป้องกันสารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีแดง หากสารละลายเปลี่ยนสีจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.6 การเตรียมสารละลาย demineralizing

ละลาย oxalic acid dehydrate 50 กรัม ในปริมาตร 700 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร และ hydrochloric acid (HCl) 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

2.7 การเตรียมสารละลาย 80% ethanol

ผสม ethanol ร้อยละ 95 ปริมาตร 843 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 157 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3. การหาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืชแต่ละชนิด ได้แก่ ปริมาณเซลลูโลส ปริมาณเฮมิเซลลูโลส และปริมาณลิกนิน ตามวิธีของ Goering และ Van Soest (1970)

3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช

3.1.1 การสกัดด้วยสารละลาย neutral detergent

- นำครุชชีเบลเบอร์ 1 ขนาด 50 มิลลิลิตร ไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ใน desiccator ทิ้งให้เย็นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

- ชั่งตัวอย่างที่แห้งและบดละเอียดขนาด 20-30 เมชหรือ 1 มิลลิเมตร ประมาณ 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร

- เติมสารละลาย neutral detergent 100 มิลลิลิตร เติม sodium sulfite 0.5 กรัม และ decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร นำไปรีฟลักซ์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยจับเวลา ตั้งแต่เริ่มเดือด

- ถ่ายส่วนผสมที่รีฟลักซ์เสร็จแล้วลงในครุชชีเบลที่วางอยู่บนชุดกรอง ล้างตัวอย่างในครุชชีเบลด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 3-4 ครั้ง แล้วล้างด้วยอะซิโตน 2 ครั้ง ดูดสารละลายออกด้วยเครื่อง vacuum pump จนแห้ง จากนั้นนำครุชชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง

- นำครุชชีเบลออกมาวางใน desiccator ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คือ ปริมาณ neutral detergent fiber (NDF)

วิธีคำนวณ

$$\%NDF = [(\text{น้ำหนักครุชชีเบล} + \text{น้ำหนัก NDF}) - \text{น้ำหนักครุชชีเบล}] / \text{น้ำหนักตัวอย่างพืช} \times 100$$

3.1.2 การสกัดด้วยสารละลาย acid detergent

- นำตัวอย่างพืชที่ผ่านการสกัดด้วย neutral detergent มาถ่ายใส่บีกเกอร์ เพื่อทำการรีฟลักซ์ด้วย acid detergent โดยเติม acid detergent 10 มิลลิลิตร และ decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร นำไปรีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือด

- กรองตัวอย่างพืชในครุชชีเบลใบเดิม เพื่อลดการสูญเสียตัวอย่างให้น้อยที่สุด แล้วล้างด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 3-4 ครั้ง แล้วล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 80 จำนวน 2 ครั้ง

- นำครุชชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำครุชชีเบลออกมาวางใน desiccator ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คือ น้ำหนักของ acid detergent fiber (ADF) น้ำหนักที่แตกต่างระหว่าง NDF และ ADF คือ น้ำหนักเฮมิเซลลูโลส

วิธีคำนวณ

$$\%ADF = [(น้ำหนักครุชชีเบล + น้ำหนัก ADF) - น้ำหนักครุชชีเบล] / น้ำหนักตัวอย่างพืช \times 100$$

$$\% Hemicellulose = \%NDF - \%ADF$$

3.1.3 การวิเคราะห์หา permanganate lignin (PML)

- เติมสารละลาย combined permanganate 25 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วย acid detergent แล้วแช่ครุชชีเบลลงในภาชนะที่มีน้ำเย็นสูงประมาณ 2 เซนติเมตร ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างเพื่อป้องกันตัวอย่างจับกันเป็นก้อน ทิ้งไว้ประมาณ 45 นาที แล้วคนเป็นระยะ จากนั้นดูดสารละลายออกโดยใช้ vacuum pump

- เติมสารละลาย combined permanganate 25 มิลลิลิตร ลงในครุชชีเบลอีกครั้ง ทิ้งไว้ 45 นาที แล้วดูดสารละลายออกด้วยโดยใช้ vacuum pump

- เติมสารละลาย demineralizing ลงในครุชชีเบลแต่ละถ้วย แช่ไว้ 5 นาที แล้วดูดสารละลายออกให้หมดด้วย vacuum pump ทำซ้ำจนตัวอย่างพืชเป็นสีขาวภายใน 20 นาที จากนั้นล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 80 และอะซิโตน ดูดให้แห้งด้วย vacuum pump

- นำครุชชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำครุชชีเบลออกมาวางใน desiccator ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง acid detergent fiber (ADF) และน้ำหนักพืชที่ผ่านการสกัดลิกนินออก คือ น้ำหนักของลิกนิน

วิธีคำนวณ

$$\%lignin = [(A-B)/C] \times 100$$

โดยที่ A = น้ำหนักครุชชีเบล + น้ำหนัก ADF

B = น้ำหนักครุชชีเบล + น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ผ่านการสกัดลิกนินออก

C = น้ำหนักตัวอย่างพืช

3.1.4 การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสด้วยการเผาเถ้า

นำครุชิวเบิลที่มีตัวอย่างพืชที่สกัดลิกนินออกแล้วในข้อ 3.1.3 ไปเผาในเครื่องเผาเถ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาปล่อยให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง น้ำหนักตัวอย่างพืชหลังการสกัดลิกนินออก และน้ำหนักหลังการเผาเถ้า คือน้ำหนักเซลลูโลส ส่วนน้ำหนักเถ้า คือ ผลต่างระหว่างน้ำหนักหลังการเผาเถ้าและน้ำหนักครุชิวเบิล

วิธีคำนวณ

$$\% \text{ cellulose} = [(B - D)/C] \times 100$$



ภาคผนวก ข

การคำนวณสารเคมีในการฟอกเยื่อและการเตรียมเยื่อ

1. วิธีการหาความชื้นของเยื่อคาลิปต์

นำเยื่อคาลิปต์มาทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบหลังจากนั้นทำการอบที่อุณหภูมิ 106 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้เย็นใน desicator หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักหลังอบและนำมาคำนวณหาปริมาณความชื้นของเยื่อคาลิปต์ ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{ความชื้นของเยื่อคาลิปต์ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเยื่อก่อนอบ} - \text{น้ำหนักเยื่อหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักเยื่อก่อนอบ}}$$

2. วิธีการคำนวณสารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อ

การคำนวณหาความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อคาลิปต์ ตัวอย่าง

กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 แสดงว่า เยื่อน้ำหนัก 100 กรัม จะใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 30 มิลลิลิตร ดังนั้น เยื่อที่มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 50 กรัม จะใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $50 \times 30/100 = 15$ มิลลิลิตร ดังนั้นจะต้องใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 15 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการฟอกเยื่อที่มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 50 กรัม

3. วิธีการคำนวณเยื่อในการบดเยื่อ

เนื่องจากตามมาตรฐาน TAPPI T 200 sp-01 กำหนดให้ใช้น้ำหนักเยื่อแห้งในการบดเยื่อ 360 กรัม น้ำหนักแห้ง ในน้ำปริมาตร 23 ลิตร ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของเยื่อ (% consistency) มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.56 กำหนดให้เยื่อมีความชื้นร้อยละ 80 ดังนั้นถ้าต้องการเยื่อแห้ง 360 กรัม คำนวณได้ดังนี้

เยื่อมีความชื้นร้อยละ 80 แสดงว่าน้ำหนักเยื่อมีความชื้น 100 กรัม จะมีเยื่อแห้งอยู่ 20 กรัม ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 20 กรัม ต้องชั่งน้ำหนักเยื่อที่มีความชื้น 100 กรัม

ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 360 กรัม ต้องชั่งน้ำหนักเยื่อที่มีความชื้นเท่ากับ $(360 \times 100)/20 = 1800$ กรัม ดังนั้นต้องชั่งเยื่อที่มีความชื้นร้อยละ 80 มา 1800 กรัม เพื่อให้ได้น้ำหนักเยื่อแห้ง 360 กรัม

4. วิธีการคำนวณหาปริมาณน้ำเยื่อสำหรับการหาค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ (freeness)

เนื่องจากตามมาตรฐาน TAPPI T 227 om-94 กำหนดให้ใช้ความเข้มข้นของเยื่อเท่ากับร้อยละ 0.3 ในปริมาตรทั้งหมด 1000 มิลลิลิตร ในการหาค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ และในการหาจะตวงน้ำเยื่อมาจากเครื่องบดเยื่อซึ่งมีความเข้มข้นของน้ำเยื่อเท่ากับ 1.56 ดังนั้นจะใช้สูตรดังต่อไปนี้ในการตวงปริมาณน้ำเยื่อเพื่อมาทำการปรับความเข้มข้นของน้ำเยื่อให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.3 ในปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นของน้ำเยื่อตามมาตรฐานที่ต้องการคือ ร้อยละ 0.3

C_2 = ความเข้มข้นของน้ำเยื่อในเครื่องบดเยื่อคือ ร้อยละ 1.56

V_1 = ปริมาตรน้ำเยื่อที่ใช้ในการวัดค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ คือ 1000 มิลลิลิตร

V_2 = ปริมาตรน้ำเยื่อที่ต้องตวงจากเครื่องบดเยื่อ

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

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

$$V_2 = 192 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้นต้องตวงน้ำเยื่อในเครื่องบดเยื่อที่มีความเข้มข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 1.56 มา 192 มิลลิลิตร แล้วทำการเติมน้ำจนมีปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร แล้วนำไปหาค่าความเป็นอิสระของเยื่อ

5. วิธีการคำนวณน้ำเยื่อไว้ใช้สำหรับการขึ้นแผ่นทดสอบ

5.1 หาน้ำหนักกระดาษแห้ง (o.d weight)

จากกระดาษมีน้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) เท่ากับ 70 กรัมต่อตารางเมตรและมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ดังนั้น

$$\text{พื้นที่วงกลม} = \pi r^2$$

$$= (3.14)(0.2/2)^2$$

$$= 0.0314 \text{ ตารางเมตร}$$

ถ้าพื้นที่ 1 ตารางเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 70 กรัม

∴ พื้นที่ 0.0314 ตารางเมตร จะมีน้ำหนัก $0.0314 \times 70 = 2.20$ กรัม

ดังนั้นกระดาษ 1 แผ่น จะมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 2.20 กรัม และหากต้องการเตรียมน้ำเยื่อสำหรับกระดาษ 10 แผ่น จะต้องใช้เยื่อแห้งเท่ากับ 22 กรัม

5.2 วิธีคำนวณหาปริมาณน้ำเยื่อสำหรับการขึ้นแผ่นกระดาษ

นำเยื่อที่ได้จากการฟอกไปหาความชื้น เพื่อจะนำค่าที่ได้มาคำนวณน้ำเยื่อสำหรับการขึ้นแผ่นทดสอบ

ตัวอย่าง

เยื่อฟอกมีความชื้นร้อยละ 70 แสดงว่าเมื่อชั่งน้ำหนักเยื่อที่มีความชื้น 100 กรัม จะมีเยื่อแห้งอยู่ 30 กรัม

น้ำหนักเยื่อแห้ง 30 กรัม ต้องชั่งเยื่อมา 100 กรัม

ต้องการน้ำหนักเยื่อแห้ง 22 กรัม ต้องชั่งเยื่อมา $(22 \times 100) / 30 = 73.33$ กรัม

กำหนดให้ กระดาษมีน้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) เท่ากับ 70 กรัมต่อตารางเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร และความชื้น (%) (% consistency) เท่ากับร้อยละ 0.5

ในเยื่อแห้ง 0.5 กรัม ในน้ำเยื่อ 100 กรัม

ถ้ามีเยื่อแห้ง 22 กรัม ในน้ำเยื่อ $(22 \times 100) / 0.5 = 4400$ กรัม

ดังนั้นต้องเติมน้ำ $4400 - 73.33 = 4326.67$ กรัม

ต้องตวงมาจากน้ำเยื่อเท่ากับ = 4400 มิลลิลิตร ต่อการขึ้นแผ่น 10 แผ่น

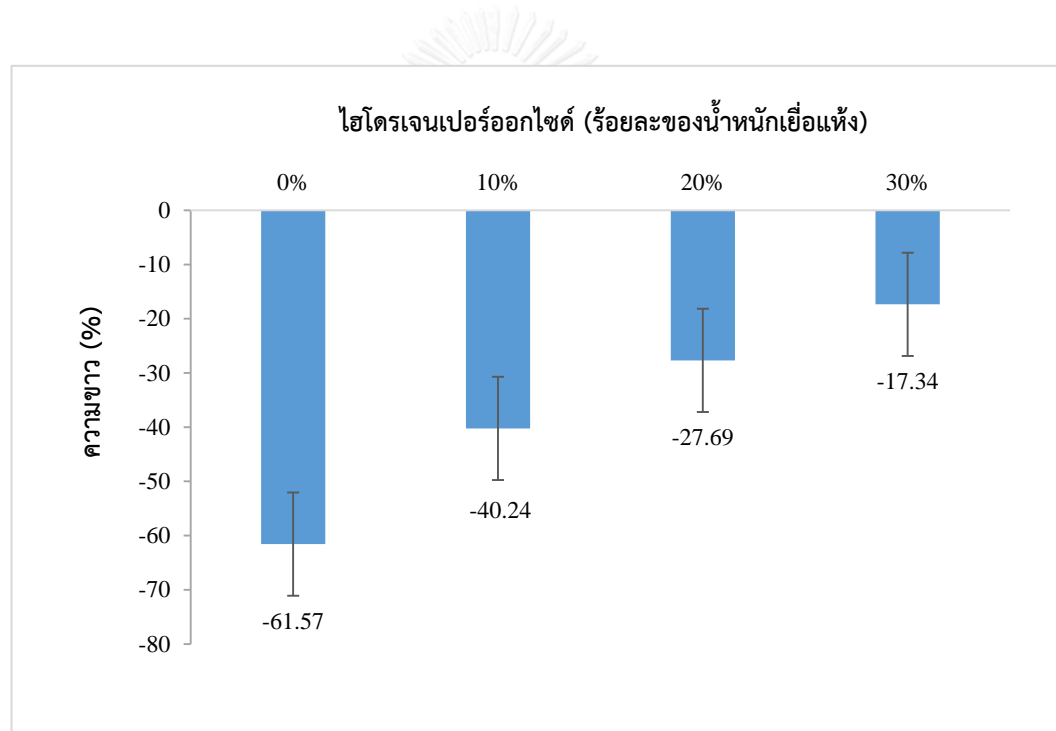
ดังนั้นในการขึ้นแผ่นทดสอบ 1 แผ่น ต้องตวงน้ำเยื่อมา 440 มิลลิลิตร เพื่อจะได้น้ำหนักแผ่นทดสอบที่มีขนาด 70 กรัมต่อตารางเมตร

ภาคผนวก ค

ความขาว (Whiteness)

ค่าความขาวของแผ่นทดสอบที่ขึ้นรูปจากเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที ดังแสดงในภาพที่ ค.1

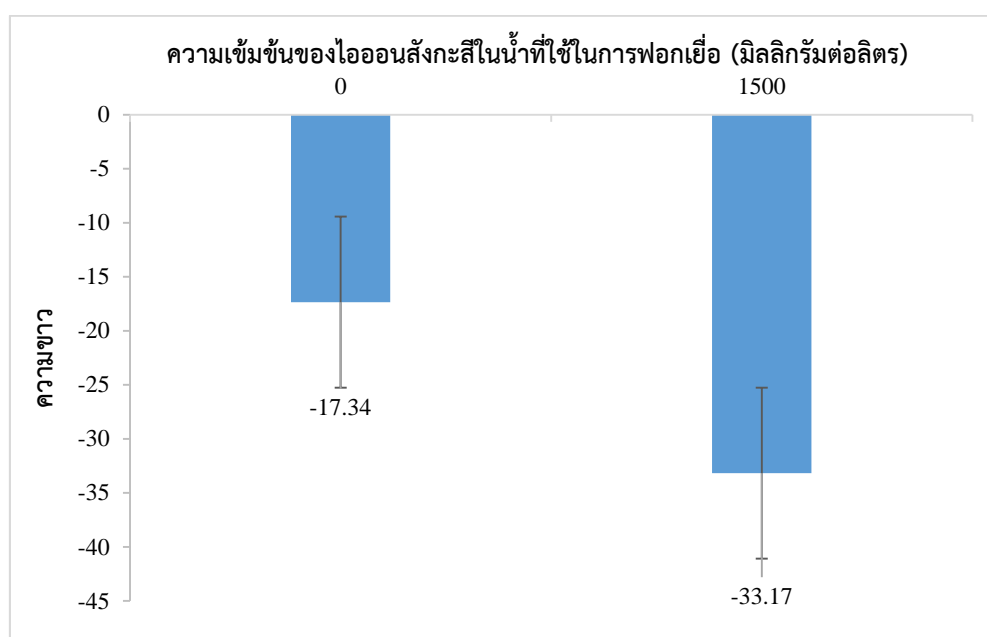
พบว่า ค่าความขาวที่ได้จะมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ในโครงสร้างของลิกนิน โดยหมู่โครโมฟอร์เป็นส่วนที่ทำให้เยื่อมีสีเหลือง เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในฟอกเยื่อสูงขึ้น ทำให้ปริมาณลิกนินลดลง ซึ่งลิกนินเป็นสาเหตุที่ทำให้กระดาษมีสีเหลือง ดังนั้นค่าความขาวจึงสูงขึ้น ตามลำดับ



ภาพที่ ค.1 ค่าความขาวของแผ่นทดสอบที่ขึ้นรูปจากเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอกเยื่อ 120 นาที

ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อต่อค่าความขาวของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เมื่อความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที แสดงดังภาพที่ ค.2 จากการทดลอง

พบว่า การพอกเยื่อที่น้ำที่ใช้ในการพอกมีไอออนสังกะสีจะให้ค่าความขาวต่ำกว่าการพอกเยื่อที่น้ำปราศจากไอออนสังกะสี แสดงว่าภาวะที่มีไอออนสังกะสีมีปริมาณลิกนินเหลืออยู่มากกว่าภาวะไม่มีไอออนสังกะสี เป็นผลมาจากที่ไอออนสังกะสีกระตุ้นการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จึงเหลือปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ซึ่งอยู่ภายในลิกนินน้อยกว่าที่ภาวะปราศจากไอออนสังกะสี ทำให้มีปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อมากกว่าที่ภาวะปราศจากไอออน ซึ่งลิกนินเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีเหลือง ดังนั้นจึงส่งผลให้มีค่าความขาวที่ได้มีค่าต่ำ

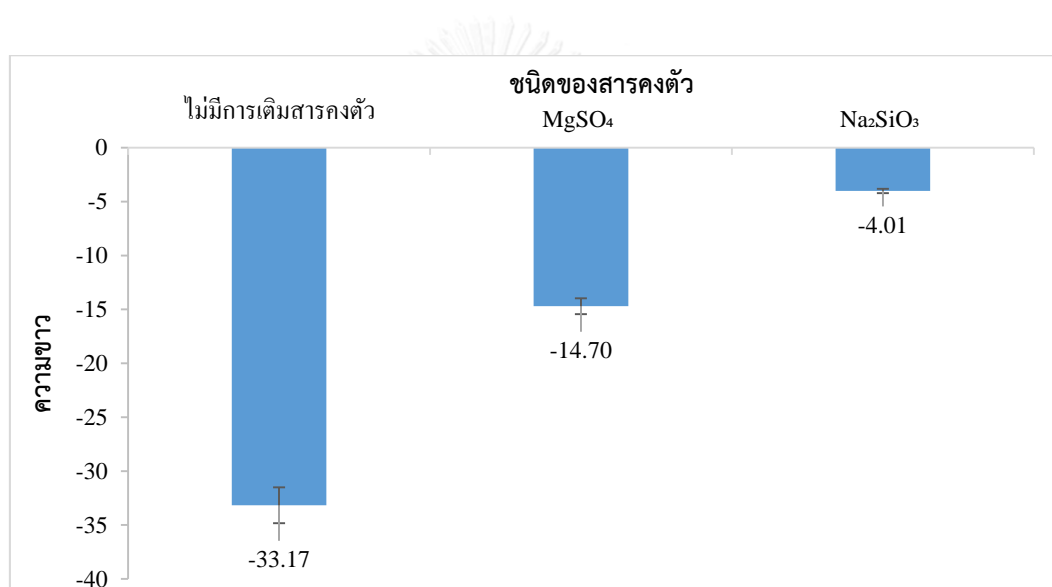


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ ค.2 ผลของไอออนสังกะสีที่มีในน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อต่อค่าความขาวของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการพอก โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการพอกเยื่อเท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที

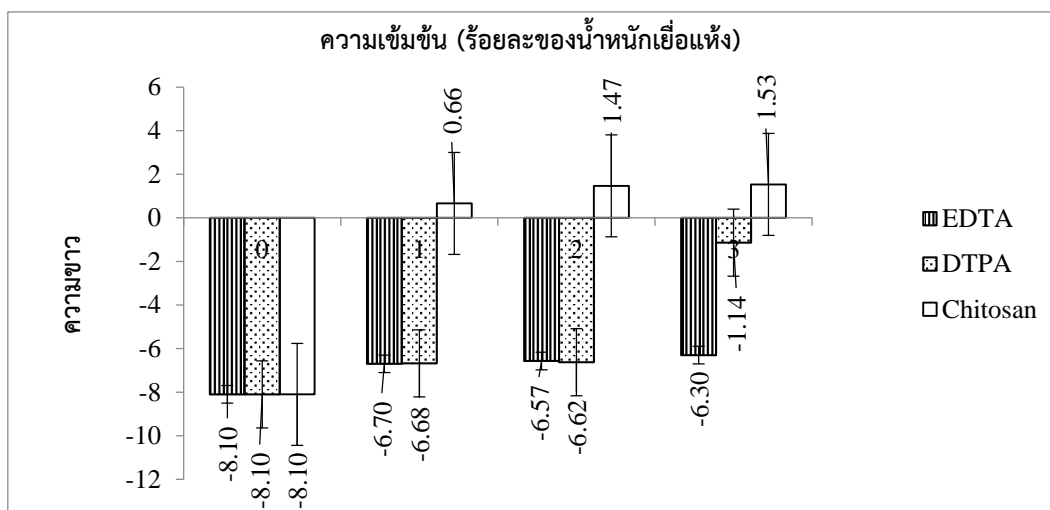
ผลของสารคงตัวต่อค่าความขาวของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการพอก ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้ในการพอกเยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการพอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ ค.3 ผลของสารคงตัวต่อค่าความขาวในการพอกเยื่อคุณภาพดีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในภาวะที่มีไอออนสังกะสี จากการทดลองพบว่า ที่ภาวะที่ไม่มีการเติมสารคง

ตัวจะให้ค่าความขาวต่ำกว่าในภาวะที่มีการเติมสารคงตัว และที่ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตจะให้ค่าความขาวสูงกว่าการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต เป็นผลมาจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ของภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัวมีค่าน้อยกว่าในภาวะที่เติมสารคงตัว และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ของภาวะที่เติมโซเดียมซิลิเกตมีมากกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต จึงส่งผลให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างของลิกนินได้มากขึ้น และหมู่โครโมฟอร์เป็นส่วนที่ทำให้เกิดสี ดังนั้นภาวะเติมโซเดียมซิลิเกตมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่า จะช่วยให้ลิกนินสามารถละลายออกมาได้มากขึ้น ซึ่งลิกนินเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีเหลือง จึงทำให้กระดาษที่ได้ของที่ภาวะการเติมโซเดียมซิลิเกตมีค่าความขาวสูงกว่าที่ภาวะการเติมแมกนีเซียมซัลเฟต



ภาพที่ ค.3 ผลของสารคงตัวต่อค่าความขาวของแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในภาวะที่มีไอออนสังกะสีในน้ำที่ใช้เยื่อที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมสารคงตัวต่างๆที่ระดับความเข้มข้นคงที่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมสารคงตัว

ผลของไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าความขาวของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แสดงดังภาพที่ 4.31 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมไคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ค่าความขาวที่ได้จะให้แนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ โดยไคโทซานให้ค่าความขาวสูงกว่าดีทีพีเอและอีดีทีเอ ตามลำดับ ที่ภาวะการเติมไคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าความขาวสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ของภาวะที่เติมไคโทซานจะมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ และที่ภาวะการเติมไคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่สูงที่สุด แสดงว่าที่ภาวะการเติมไคโทซานจะช่วยลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าที่ภาวะการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ ซึ่งที่ภาวะการเติมไคโทซานมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มากกว่าการเติมดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ จึงส่งผลให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ในระบบมากกว่าเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างของลิกนินได้มากขึ้น โดยลิกนินเป็นสาเหตุที่ทำให้กระดาษมีสีเหลือง ดังนั้นค่าความขาวของภาวะเติมไคโทซานมากกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับ แสดงว่าไคโทซานสามารถกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้มากกว่าดีทีพีเอ และอีดีทีเอ ตามลำดับเช่นเดียวกัน และที่ภาวะการเติมไคโทซานที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง มีค่าความขาวสูงที่สุด เนื่องจากกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้สูงที่สุด



ภาพที่ ค.4 ผลของโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอต่อค่าความขาวของกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และน้ำที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีไอออนสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ความเข้มข้นเยื่อคงที่ที่ร้อยละ 15 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 75 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการฟอก 120 นาที และมีการเติมโคโทซาน ดีทีพีเอ และอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 และ 3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง.1 เปรียบเทียบราคาของอีดีทีเอ ดีทีพีเอ และไคโทซาน [59]

| สารคีเลต | ราคา (บาท/กิโลกรัม) |
|----------|------------------------|
| EDTA | 98 |
| DTPA | 170 |
| Chitosan | 35 |



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติส่วนตัว

นางสาวพรพรรณ เตชะบุญญะ เกิดเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2534 ที่จังหวัดพิจิตร

ประวัติการศึกษา

- ปี พ.ศ. 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม
- ปี พ.ศ. 2557 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร)

ผลงานวิชาการ

- Techabunya, P., Pongsatabodee, S. and Chaiarekij, S.(2016). Effects of stabilizing agents used in eucalyptus pulp bleaching with hydrogen peroxide. The 4th National and International Conference 2016 (CASNIC 2016). pp. 281-282. 7 Oct 2016. Khon Kaen, Thailand.