ข้อมูลข่าวสาร วศ.

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ
กว
อว 6

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8 ว

ของ

นายธีระชัย รัตนโรจน์มงคล

เรื่องที่ 1

การศึกษาวิจัยอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อการเพิ่มค่าความขาวสว่างของเยื่อฟอกยูคาลิปตัส ในขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง (E_{OP})

โดย
นายธีระชัย รัตนโรจน์มงคล
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ
กลุ่มวิจัยและพัฒนา 3
กองการวิจัย
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2541

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8 ว
ของ

นายธีระชัย รัตนโรจน์มงคล

วศ
เลขหมู่ ก๑
๑๗๖
เลขทะเบียน ๑๙๒๖
วันที่ 14 พ.ค. ๒๕๔๒

เรื่องที่ 1

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
วศ.

การศึกษาวิจัยอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อการเพิ่มค่าความขาวสว่างของเยื่อฟอกยูคาลิปตัส ในขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง (E_{OP})

โดย
นายธีระชัย รัตนโรจน์มงคล
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ
กลุ่มวิจัยและพัฒนา 3
กองการวิจัย
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2541

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

รายงานวิจัยนี้เสนอผลการศึกษาอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงไปในกระบวนการฟอกเยื่อขั้นการสกัดด้วยด่างที่มีปริมาณออกซิเจนมากเกินพอต่อค่าความขาวสว่าง ผลผลิตเยื่อ ปริมาณสารเคมีที่ใช้และสมบัติทางกายภาพของเยื่อฟอกที่ได้ (O-D-Eop) และเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อฟอกที่ได้หลังผ่านการฟอกในขั้นการสกัดด้วยด่าง (O-D-Eop) กับเยื่อ O-D ที่ได้รับจากโรงงาน

ผลจากการศึกษาวิจัยในการทดลองขั้นการสกัดด้วยด่างนี้ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์คงที่เท่ากับร้อยละ 0.9 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง ผลจากการทดลองพบว่า

1. เมื่อเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง ลงไปในการฟอกเยื่อ เยื่อ O-D-Eop$^{0.2\%}$ จะสิ้นเปลืองปริมาณการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มากกว่าเยื่อ O-D-Eo ที่ไม่มีการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 0.57 กิโลกรัมต่อตันเยื่อออบแห้ง และที่ทุกระดับของการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2 - 0.6 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง จะสิ้นเปลืองการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากัน

2. การเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, และ 0.6 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง จะสิ้นเปลืองการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1.73, 2.73, 3.73, 4.73 และ 5.73 กิโลกรัมต่อตันเยื่อออบแห้ง ตามลำดับ

3. การเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปร้อยละ 0.2 - 0.6 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเยื่อ ค่าฟรีเนส และไม่มีผลต่อการสูญเสียสมบัติด้านความแข็งแรงของเยื่อฟอก O-D_1-Eop ที่ได้

4.การเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปร่วมด้วยในการฟอกมีผลต่อการเพิ่มค่าความขาวสว่างของเยื่อฟอก O-D_1-Eop ที่ได้อย่างชัดเจน โดยความขาวสว่างของเยื่อ O-D_1-Eop จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, และ 0.6 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง เยื่อฟอก O-D_1-Eop ที่ได้มีความขาวสว่างร้อยละ 80.3, 80.7, 81.0, 82.3 และ 82.8 ตามลำดับ และเมื่อนำผลการทดลองไปปฏิบัติจริงในโรงงานฯ ที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง เยื่อ O-D-Eop$^{0.3\%}$ ที่ได้มีความขาวสว่างเท่ากับ 80.7 แล้วทำการฟอกต่อในขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (D_2) เยื่อฟอก O-D_1-Eop$^{0.3\%}$-D_2 ที่ได้มีความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 89.0 - 90.0 ตรงตามความต้องการของลูกค้าพอดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

สารบัญตาราง . ..... ก

สารบัญภาพ . ..... ข

บทที่ 1. บทนำ 1

1. 1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย 2

1.4 ระยะเวลาของการศึกษาวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์ 3

2.1 การฟอกเยื่อ..... 3

2.2 วัตถุประสงค์ของการฟอกเยื่อ..... 3

2.3 วิธีการฟอกเยื่อ 3

2.4 กระบวนการฟอกเยื่อ 4

บทที่ 3 วิธีการทดลอง 14

3.1 วัตถุดิบ 14

3.2 เครื่องมือที่ใช้ 14

3.3 สารเคมี 14

3.4 การดำเนินการทดลอง..... 15

บทที่ 4 ผลการทดลอง .....

4.1 ความสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้และสมบัติของเยื่อฟอก O-D-Eop ที่ได้..... 17

4.2 เปรียบเทียบของเยื่อฟอก O-D-Eop ที่ได้ กับเยื่อ O-D- เริ่มต้น จาก โรงงาน 18

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง 19

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 24

คำขอบคุณ 27

เอกสารอ้างอิง 28

ภาคผนวก ก คำร้องของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด 29

ภาคผนวก ข คำอธิบายศัพท์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และทดสอบ 31

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงสภาวะการฟอกเยื่อในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างของลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด	1
2	แสดงสัญลักษณ์ของขั้นตอนและสารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อ	4
3	แสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้และสภาวะการฟอก	9
4	แสดงความสิ้นเปลืองในการใช้สารเคมีและสมบัติของเยื่อฟอก O-D-Eop ที่ได้.....	17
5	แสดงสมบัติของเยื่อฟอก O-D-Eop กับเยื่อ O-D- เริ่มต้น จากโรงงาน	18

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงกระบวนการฟอกเยื่อแบบดั้งเดิม	4
2	แสดง chlorine-water equilibrium as function of pH	5
3	แสดงกระบวนการฟอกเยื่อแบบปราศจากธาตุคลอรีน	10
4	แสดงปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกใช้ไป	19
5	แสดงปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ถูกใช้ไป	20
6	แสดงอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าความขาวสว่าง	21
7	แสดงอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าความต้านแรงดึง	22
8	แสดงอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าความต้านแรงฉีกขาด	23
9	แสดงอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าความต้านแรงดันทะลุ	23

บทที่ 1
บทนำ

1. 1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย

สืบเนื่องมาจากความต้องการของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ที่ต้องการศึกษาวิจัยเพื่อนำเอาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาใช้ในกระบวนการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสในขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาในกระบวนการฟอกให้กับลูกค้า ซึ่งการฟอกเยื่อในขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง (extraction stage,E) นี้เป็นขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการฟอกเยื่อ โดยจะเป็นขั้นตอนการฟอกในกระบวนการฟอกเยื่อแบบดั้งเดิม (Conventional Bleaching Process) เช่น การฟอกเยื่อแบบ 3 ขั้นตอนเป็น C-E-H และกระบวนการฟอกเยื่อแบบปราศจากคลอรีน (Total Chlorine Free Bleaching Process) เช่น การฟอกเยื่อแบบ 4 ขั้นตอนเป็น O-E-P-P หรือกระบวนการฟอกเยื่อแบบปราศจากธาตุคลอรีน (Elemental Chlorine Free Bleaching Process) เช่น การฟอกเยื่อแบบ 4 ขั้นตอนเป็น O-D-E-D เป็นต้น โดยที่ลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ได้ให้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการฟอกเยื่อโดยผลิตเยื่อฟอกขาวแบบปราศจากธาตุคลอรีนเป็น 4 ขั้นตอน คือ O-D_1-E_O-D_2 ซึ่งในการฟอกเยื่อในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างของลูกค้าฯ ใช้เพียงแต่ก๊าซออกซิเจนช่วยเพิ่มค่าความขาวสว่างในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างเท่านั้น และได้กำหนดสภาวะการฟอกเยื่อมาให้ในขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง แสดงดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงสภาวะการฟอกเยื่อในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างของลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด

สภาวะการฟอกเยื่อ	ขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง (E_O)	ขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (D_2)
ความข้นของน้ำเยื่อ (consistency), ร้อยละ	11	-
อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส	75	-
เวลาที่ใช้ในการฟอก, ชั่งโมง	2	-
ปริมาณออกซิเจน,อัดก๊าซออกซิเจนที่ 3.0 Kg/cm^2 นาน 3 นาที หลังจาก evacuated ที่ - 400 mbar	excess	-
ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์,ร้อยละของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง	0.9	-
ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟต,ร้อยละของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง	0.1	-
ความขาวสว่าง,ร้อยละ	75.0	87.0

ซึ่งเยื่อฟอกขาวที่ได้หลังผ่านการฟอกในขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง (E_O) ที่มีก๊าซออกซิเจนร่วมด้วยมีค่าความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 75.0 และได้กระทำการฟอกต่อในขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (D_2) ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย จึงได้เยื่อฟอกขาวที่มีค่าความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 87.0 ดังนั้นบริษัทไทยเปอร์ออก

ไซด์ จำกัด จึงได้ยื่นข้อเสนอในการนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาใช้ปรับปรุงร่วมในกระบวนการฟอกเยื่อในขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง เป็น E_{OP} ให้กับลูกค้ารายนี้ บริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด จึงได้ขอความร่วมมือให้ทางกลุ่มวิจัยและพัฒนา 3 กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ ทำการศึกษาอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการเพิ่มค่าความขาวสว่างของเยื่อฟอกยูคาลิปตัสในขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง (E_{OP}) เพื่อเพิ่มค่าความขาวสว่งของเยื่อฟอกยูคาลิปตัสในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างให้ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80.0 โดยไม่เกิดผลเสียหายต่อสมบัติทางกายภาพของเยื่อฟอกที่ได้

1. 2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงไปในกระบวนการฟอกเยื่อขั้นตอนการสกัดด้วยด่างที่มีปริมาณออกซิเจนมากเกินพอต่อค่าความขาวสว่างและสมบัติของเยื่อฟอกที่ได้

1. 3 ขอบเขตการวิจัย

เพื่อให้การศึกษาวิจัยเป็ยไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้จึงกำหนดแนวทางในการศึกษาวิจัยอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการเพิ่มค่าความขาวสว่างของเยื่อฟอกยูคาลิปตัสใน ขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง (E_{OP}) ดังนี้

1.3.1 ศึกษาวิจัยเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างที่มีปริมาณออกซิเจนมากเกินพอ โดยเยื่อฟอกที่ได้ต้องมีค่าความขาวสว่างไม่น้อยกว่าร้อยละ 80.0

1.3.2 ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อฟอก O-D-E_{OP} ที่ได้กับเยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงาน

1.4 ระยะเวลาของการศึกษาวิจัย

พฤษภาคม 2541- สิงหาคม 2541

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 บริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยไปแก้ไขปัญหาในกระบวนการฟอกให้กับลูกค้า

1.5.2 โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตเยื่อฟอกขาวสามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการฟอกขั้นการสกัดด้วยด่าง

บทที่ 2
ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์

2.1 การฟอกเยื่อ (bleaching)

การฟอกเยื่อเป็นการทำให้เยื่อกระดาษ (Pulp) มีสีขาวเหมาะแก่การนำไปผลิตเป็นกระดาษพิมพ์และเขียน หรือกระดาษที่ใช้ในการสื่อสารต่าง ๆ นับแต่ปี พ.ศ. 2327 คลอรีนถูกค้นพบในการใช้เป็นสารฟอกเยื่อ โดยชาวสวีเดน ชื่อนาย Scheele เป็นต้นมา ได้มีการพัฒนาวิธีการฟอกเยื่อตลอดเวลาเพื่อให้ได้เยื่อที่มีความขาวสูงขึ้น โดยมีการพัฒนาทั้งสารเคมีที่ใช้ในการฟอก เช่น แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ (H) คลอรีนไดออกไซด์ (D) ก๊าซออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โอโซน (O_3) และเอ็นไซม์ (X) หรือกระบวนการที่ใช้ในการฟอกเยื่อ เช่น C-E-H, D-E-D-E-D, D-E_O-D-E_O-D, D-E_O-D, O-D-E_O-D, O-D-E_{OP}-D X-D-E_{OP}-D, Z-O-P ซึ่งการพัฒนานี้เพื่อที่จะทำให้ได้เยื่อฟอกที่มีความขาวสว่างตามต้องการในขณะเดียวกันไม่ส่งผลเสียหายต่อสมบัติทางกายภาพของเยื่อที่ได้หลังฟอก ตลอดจนไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

2.2 วัตถุประสงค์ของการฟอกเยื่อ

2.2.1 การเพิ่มค่าความขาวสว่างของเยื่อโดยทำให้เยื่อสีน้ำตาล (Unbleached Pulp) มีสีขาวเหมาะกับการทำกระดาษเพื่อการพิมพ์และเขียนเป็นหลัก

2.2.2 เพื่อลดต้นทุนในการฟอกให้น้อยที่สุดสารฟอกส่วนมากมีราคาแพง ดังนั้นกระบวนการฟอกจึงต้องใช้ปริมาณสารฟอกที่เหมาะสมและใช้ต้นทุนน้อยที่สุด

2.2.3 ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการฟอกต้องไม่มีผลเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม

2.3 วิธีการฟอกเยื่อ การฟอกเยื่อมี 2 วิธี

2.3.1 การฟอกเยื่อเพื่อขจัดลิกนินออกไป (removing lignin)

การฟอกโดยใช้วิธีกำจัดลิกนินออกไป โดยมากใช้กับเยื่อเคมีซึ่งนำไปผลิตกระดาษเพื่อการพิมพ์และเขียน ที่ต้องการความขาวสว่างสูง ๆ โดยใช้สารเคมี เช่น คลอรีน คลอรีนไดออกไซด์ แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ทำปฏิกิริยากับลิกนินแล้วกำจัดลิกนินออกไป การฟอกแบบนี้มีหลายขั้นตอนการฟอก โดยทั่วไปจะมีตั้งแต่ 3 - 6 ขั้นตอน เช่น C-E-H , C-E-D-E-P, C-E-O-P เยื่อที่ได้มีความขาวสว่างสูงประมาณร้อยละ 80-95 ขั้นตอนในการฟอกจะมีชื่อเรียกตามสารเคมีที่ใช้ฟอกและขั้นตอนการฟอกจะเรียงลำดับตามอักษรที่ใช้เรียก เช่น การฟอกแบบ C-E-D-E-D

2.3.2 การฟอกเพื่อเปลี่ยนสีของลิกนินให้อยู่ในรูปไม่มีสี (bleaching lignin)

การฟอกเยื่อแบบนี้สารเคมีที่ใช้ฟอกเยื่อจะทำปฏิกิริยากับลิกนินและเปลี่ยนสีลิกนินให้อยู่ในรูปของสารที่ปราศจากสี เยื่อฟอกมีความขาวสว่างปานกลาง สารเคมีที่ใช้ได้แก่ โซเดียมเปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การฟอกแบบนี้เหมาะกับการฟอกเยื่อไม้บด ซึ่งไม่ต้องการความขาวสว่างมากนัก แต่ต้องการผลผลิตเยื่อสูง เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์

2.4 กระบวนการฟอกเยื่อ (Bleaching Process)

การฟอกเยื่อแบบหลายขั้นตอน โดยทั่วไปจะมีตั้งแต่ 3 - 5 ขั้นตอน (C-E-H, C-E-D-E-P, C-E-O-P, C-E-D-E-D) เยื่อที่ได้มีความขาวสว่างสูงประมาณร้อยละ 80-95 ขั้นตอนในการฟอกจะมีชื่อเรียกตามสารเคมีที่ใช้ฟอกและขั้นตอนการฟอกจะเรียงลำดับตามอักษรที่ใช้เรียก เช่น การฟอกแบบ C-E-D-E-D แสดงดังตารางที่ 2

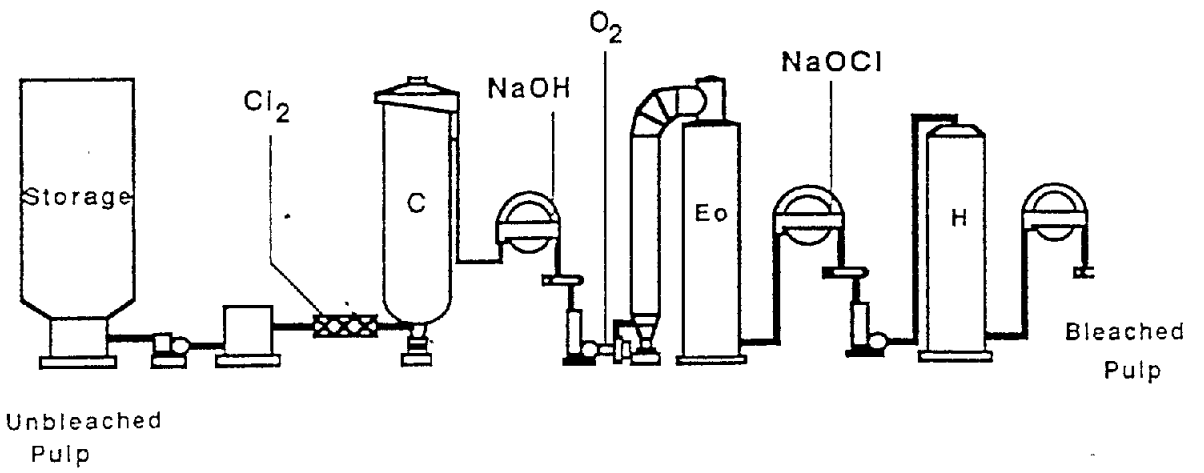
ตารางที่ 2 แสดสัญลักษณ์ของขั้นตอนและสารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อ

สารเคมี	สูตรทางเคมี	สัญลักษณ์	ชื่อขั้นตอนการฟอก
Chlorine	Cl_2	C	ขั้นคลอริเนชั่น (Chlorination stage)
Calcium hypochlorite	$Ca(OCl)_2$	H	ขั้นไฮโปคลอไรท์ (Hypochlorite stage)
Sodium hydroxide	NaOH	E	ขั้นการสกัดด้วยด่าง (Extraction stage)
Chlorine dioxide	ClO_2	D	ขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide stage)
Oxygen	O_2	O	ขั้นออกซิเจน (Oxygen stage)
Hydrogen peroxide	H_2O_2	P	ขั้นเปอร์ออกไซด์ (Proxide stage)
Ozone	O_3	Z	ขั้นโอโซน (Ozone stage)
Enzymes	-	X	ขั้นเอ็นไซม์ (Enzymes stage)

2.4.1 กระบวนการฟอกเยื่อแบบดั้งเดิม (Conventional Bleaching Process) ประกอบด้วยการฟอกแบบหลายขั้นตอน โดยเริ่มด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- ขั้นตอนการฟอกด้วยธาตุคลอรีน (chlorination stage, C) ,
- ขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง (extraction stage,E) และ
- ขั้นตอนการฟอกด้วยแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ (hypochlorite stage,H)

เขียนย่อเป็น C-E-H แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการฟอกเยื่อแบบดั้งเดิม

- **ขั้นคลอริเนชั่น (chlorination stage, C) ,**

ปริมาณการใช้คลอรีนจะมีความสัมพันธ์กับค่า **kappa number** ของเยื่อก่อนฟอก โดยทั่วไปจะคำนวณปริมาณการใช้คลอรีนในการฟอก

จากสูตร

ปริมาณคลอรีน, ร้อยละ	=	kappa number x 0.22
C/K	=	0.22 (ตั้งแต่ 0.22-0.24)
C	=	chlorine charge
K	=	kappa number.

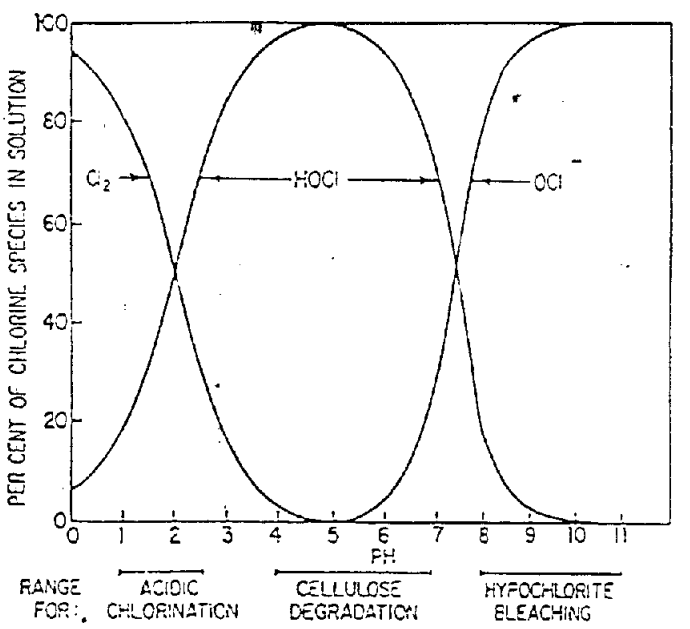
ปฏิกิริยาทางเคมี (chemical reactions)

ขั้นคลอริเนชั่น ปฏิกิริยาเกิดจากก๊าซคลอรีนที่ละลายในน้ำ ดังสมการ

$$Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HOCl + HCl$$

$$HOCl + NaOH \rightleftharpoons NaOCl + H_2O$$

ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) แสดงภาพที่ 2



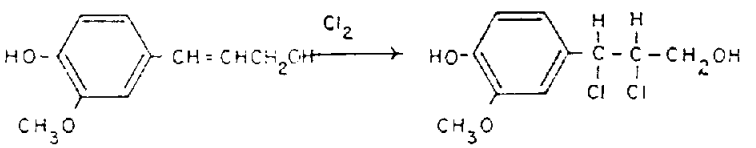
ภาพที่ 2 แสดง chlorine-water equilibrium as function of pH

ปฏิกิริยาหลักที่สารประกอบคลอรีนทำปฏิกิริยากับลิกนิน คือ

- Addition
- Substitution
- Oxidation

ปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารประกอยอินทรีย์หรือลิกนิน จะเกิดปฏิกิริยาทั้ง addition substitution และ oxidation โดยการ hydrolysis ที่ alkylaryl ether bond

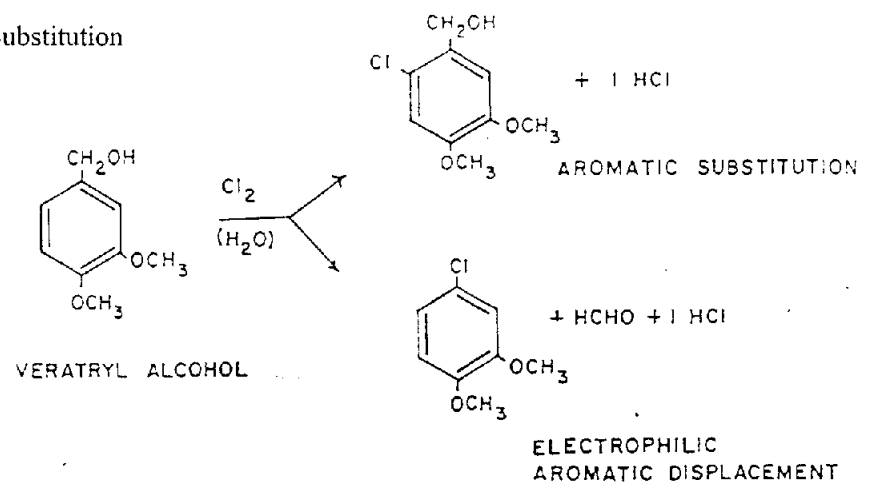
ปฏิกิริยา Addition



CONIFERYL ALCOHOL

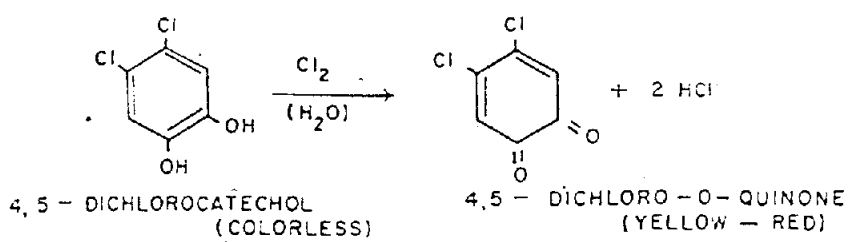
- คลอรีนจะทำปฏิกิริยา addition โดยสร้างพันธะโควาเลนท์ที่พันธะคู่ (double bond) ใน side chain ของลิกนิน

ปฏิกิริยา Substitution



- คลอรีนจะทำปฏิกิริยา substitution ที่ aromatic ring ของลิกนิน

ปฏิกิริยา Oxidation



4, 5 – DICHLOROCATECHOL
(COLORLESS)

4,5 – DICHLORO – O – QUINONE
(YELLOW – RED)

- คลอรีนจะทำปฏิกิริยา oxidation ที่พันธะอีเทอร์ (ether bond) ของลิกนิน

กระบวนการฟอกเยื่อจะทำให้ได้เยื่อสีขาวโดยการใช้คลอรีน จะทำให้เกิดสารประกอบที่เรียกว่า chlorinated organic compound จำนวนมาก ซึ่งเกิดจากการสร้างพันธะยึดเหนี่ยวระหว่างคลอรีนและอะตอมของคาร์บอน สารประกอบนี้ยากแก่การทำลายและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในขั้นตอนการฟอกเยื่อด้วยคลอรีนจะเกิดปฏิกริยาทางเคมีเป็นทั้งแบบ addition และ substitution ในปฏิกิริยา addition คลอรีนจะทำปฏิกริยาเฉพาะลิกนินและสารสกัดได้ (extractives) ไม่ทำปฏิกริยากับเซลลูโลส และในปฏิกริยา substitution จะทำให้เกิด discrete compound ซึ่งประกอบด้วยคลอรีนอะตอมตั้งแต่ 1, 2, 3 หรือมากกว่า ส่วนในปฏิกริยา addition คลอรีนจะสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับลิกนิน ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง และจะสร้างสารประกอบใหม่ขึ้น ซึ่งสารประกอบนี้ยากต่อการทำลายไม่ว่าจะใช้การ hydrolysis หรือ dissolution สารประกอบพวกนี้จะยังคงติดค้างอยู่ในเยื่อในรูปของ chlorinated dioxin ส่วน discrete compound ซึ่งเกิดจากปฏิกริยา substitution จะถูกปล่อยออกมาทางน้ำทิ้ง (dis charged effluent) ของโรงงานในรูปของ " AOX " หรือ organic halogen compound ในต่างประเทศมีกฎหมายที่เข้มงวดมากต่อการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลอง โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมกระดาษ ซึ่งการกำหนดค่า AOX มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นสารพิษที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมนี้

- **ขั้นการสกัดด้วยด่าง (extraction stage,E)**

ขั้นการสกัดด้วยด่างเป็นการละลายและกำจัด chlorinated lignin เนื่องจากลิกนินที่ผ่านการฟอกด้วยคลอรีน จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างซึ่งยังคงไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในด่าง จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการสกัดด้วยด่างหลังจากขั้นคลอริเนชั่น และในขณะเดียวกันจะสามารถละลายยางไม้และสารสกัดได้ที่มีอยู่ในเยื่อได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามหากใช้ด่างที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิสูง ก็อาจจะเกิดการทำลายเฮมิเซลลูโลส รวมถึงเซลลูโลสได้ด้วย จึงจำเป็นต้องควบคุมสภาวะการฟอกให้เหมาะสม

ปฏิกิริยาทางเคมี (chemical reactions)

$$\text{Lignin - Cl} + \text{NaOH} \longrightarrow \underset{\text{(soluble)}}{\text{Lignin - OH}} + \text{NaCl}$$

ขั้นการสกัดด้วยด่างนี้อาจจะใช้สาร oxidizing agent บางตัวช่วยเสริม (oxidative extraction) เช่น hydrogen peroxide หรือ oxygen ช่วยเสริมในการฟอกเยื่อ เช่น การฟอกแบบ Ep, Eo เพื่อเป็นการลดปริมาณด่างที่ใช้ รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดลิกนินด้วย และจะเป็นการลดปริมาณสารฟอกในขั้นตอนการฟอกต่อไปอีกด้วย

- **ขั้นไฮโปคลอไรท์ (hypochlorite stage,H)**

ขั้นไฮโปคลอไรท์ใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์เป็นสารฟอก นิยมใช้ในการฟอกตั้งแต่อดีตเนื่องจากราคาถูก แต่เนื่องจากไฮโปคลอไรท์มีการทำลายเซลลูโลสค่อนข้างมาก ในปัจจุบันจึงนิยมใช้คลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide) และเปอร์ออกไซด์ มาทดแทนการใช้ไฮโปคลอไรท์

ปฏิกิริยาทางเคมี (chemical reactions)

$2\ Ca(OH)_2 + 2Cl_2$	$\longrightarrow$	$Ca(OCl)_2 + CaCl_2 + H_2O$	1
$2\ NaOH + Cl_2$	$\longrightarrow$	$NaOCl + NaCl + H_2O$	2
$NaOCl + H_2O$	$\rightleftharpoons$	**$NaOH + HOCl$**	**.....3**
$3\ HOCl$	$\longrightarrow$	$HClO_3 + 2HCl$	4
$2\ HOCl$	$\longrightarrow$	$O_2 + 2HCl$	5

จาก สมการ 3,OCl^- จะทำปฏิกิริยา oxidation กับลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อหลังผ่านกระบวนการฟอกในขั้นคลอริเนชั่น และขั้นการสกัดด้วยด่างแล้ว ทำให้เยื่อมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้นมาก แต่ในขณะเดียวกันปฏิกิริยา oxidation นั้นไม่มีความเฉพาะเจาะจงกับลิกนินเท่านั้น แต่ยัง oxidized กับเซลลูโลสและคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ในเยื่อได้อีกด้วย จึงทำให้ความแข็งแรงของเยื่อลดลงมาก ในปัจจุบันนี้ไม่นิยมใช้ไฮโปคลอไรท์ในการฟอกเลย

Cl_2, HOCl, OCl^- ที่มีในน้ำคลอรีนจะอยู่ในรูปใดก็ขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง (pH) จากสมการ 3, ภาพที่ 2 ที่ความเป็นกรด-ด่าง 9-11 (excess alkali) จะเกิด hypochlorous acid (OCl^-) ถ้าในปฏิกิริยามีปริมาณด่างไม่เพียงพอ จะเกิดการ decomposition ตามสมการ 4,5 (ความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 9) และถ้ามี metallic salt ของ iron, copper, manganese, cobalt ปฏิกิริยา decomposition จะเกิดได้เร็วขึ้น

- **สารเคมีที่ใช้และขั้นตอนในการฟอก**

การเลือกใช้สารฟอกและขั้นตอนในการฟอกจะขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อและวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ ถึงแม้ว่าสารฟอกจะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อแต่ละชนิดแต่ในขณะเดียวกันสารฟอกที่ใช้ก็จะทำลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นสารฟอกจำเป็นต้องถูกเลือกให้เหมาะสมเพื่อกำจัดลิกนินออกให้มากที่สุดและยังป้องกันการทำลายส่วนของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดขั้นตอนในการฟอกขึ้นมาเป็นแบบหลายขั้นตอนเพื่อให้ความขาวสว่างมากที่สุดโดยยังคงรักษาความแข็งแรงของตัวเส้นใยไว้และผลผลิตเยื่อที่ได้หลังผ่านกระบวนการฟอกต้องไม่สูญเสียมากนัก รวมทั้งการใช้ต้นทุนในการผลิตเยื่อฟอกขาวให้น้อยที่สุดด้วย

- **ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการฟอก**

เนื่องจากในกระบวนการฟอกนั้นปฏิกิริยาทางเคมีของสารฟอกที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อสมบัติต่างๆ ของเส้นใย ดังนั้นจึงต้องควบคุมสภาวะการฟอกให้เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 3 ปัจจัยที่สำคัญๆ ได้แก่

1. อุณหภูมิ (Temperature)
2. เวลา (Time)
3. ความข้นของน้ำเยื่อ (consistency)
4. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

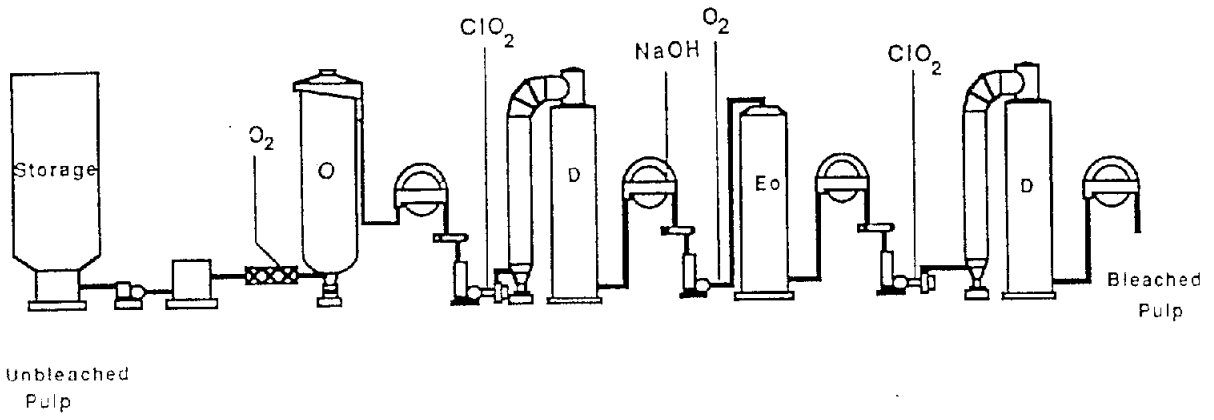
ตารางที่ 3 แสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้และสภาวะการฟอก

สภาวะการฟอกเยื่อ	C stage	E stage	H stage	D stage	P stage	O stage
ปริมาณสารเคมีที่ใช้, ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง	3-8	2-3	2-3 (as Cl_2)	0.4-0.8	1 - 2	2-3 0.4-0.8 Mpa 60-120 psi
ความข้นของน้ำเยื่อ,ร้อยละ (Pulp consistency)	3-4	10-18	4-18	10-12	10	20-30, 10-12
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	0.5-1.5	11-12	8-10	3.5-6.0	8-10	10-12
อุณหภูมิ, $^{\circ}C$	20-30	50-95	35-45	60-80	60-70	90-110
เวลา, ชั่วโมง	0.3-1.5	0.8-1.5	1-5	3-5	2-4	0.3-1.0

2.4.2 กระบวนการฟอกเยื่อแบบปราศจากคลอรีน (Total Chlorine Free Bleaching Process) หรือกระบวนการฟอกเยื่อแบบปราศจากธาตุคลอรีน (Elemental Chlorine Free Bleaching Process)

ปัจจุบันกระบวนการฟอกเยื่อได้พยายามลดการใช้ปริมาณคลอรีนลงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องจากสารพิษจากสารประกอบคลอรีน โดยได้มีการใช้ขั้นตอนของออกซิเจน เพื่อช่วยลดปริมาณลิกนินในขั้นตอนแรก และใช้คลอรีนไดออกไซด์มาทดแทนขั้นตอนของการใช้คลอรีน นอกจากนั้นการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเยื่อเคมีก็เป็นที่นิยมกันมากขึ้นและกระบวนการฟอกในอนาคตมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ โอโซน หรือ การฟอกแบบชีวภาพมากขึ้น เพื่อทดแทนสารฟอกที่ยังมีองค์ประกอบของธาตุคลอรีนอยู่

การฟอกเยื่อที่ใช้คลอรีน คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับลิกนินให้สารประกอบที่เรียกว่า chlorinated organic compounds ออกมา เช่น AOX (adsorbable organic halogen compounds) และ Dioxin (polychlo rinated dibenzo-p-dioxin) ซึ่ง AOX จะละลายออกมากับน้ำทิ้งของโรงงาน ส่วน Dioxin ส่วนใหญ่จะตก ค้างอยู่ในเยื่อ สารประกอบทั้ง 2 ชนิดนี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากเนื่องจากเป็นอันตรายต่อ สิ่งมีชีวิต จึงได้มีความพยายามลดการใช้คลอรีนในขั้นตอนการฟอก โดยนำเอาออกซิเจน,ไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์และโอโซนมาฟอกแทนการใช้คลอรีน โดยมีขั้นตอนการฟอกเป็น Z-E-P, O-E-P, Z-P ซึ่งจะเห็น ได้ว่าไม่มีการใช้ธาตุคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีนในการฟอกเลย เยื่อที่ได้เรียกว่า "เยื่อที่ปราศจาก คลอรีน" (total chlorine free pulp, TCFP) หรืออาจจะเหลือเฉพาะการใช้สารประกอบคลอรีน คือ คลอรีน ไดออกไซด์ ซึ่งเรียกเยื่อที่ได้ว่า "เยื่อที่ปราศจากธาตุคลอรีน" (element chlorine free pulp, ECFP) โดยมี ขั้นตอนการฟอกเป็น D-E-D, O-D-Ep-D, O-D-Eo-D แสดงดังภาพที่ 3

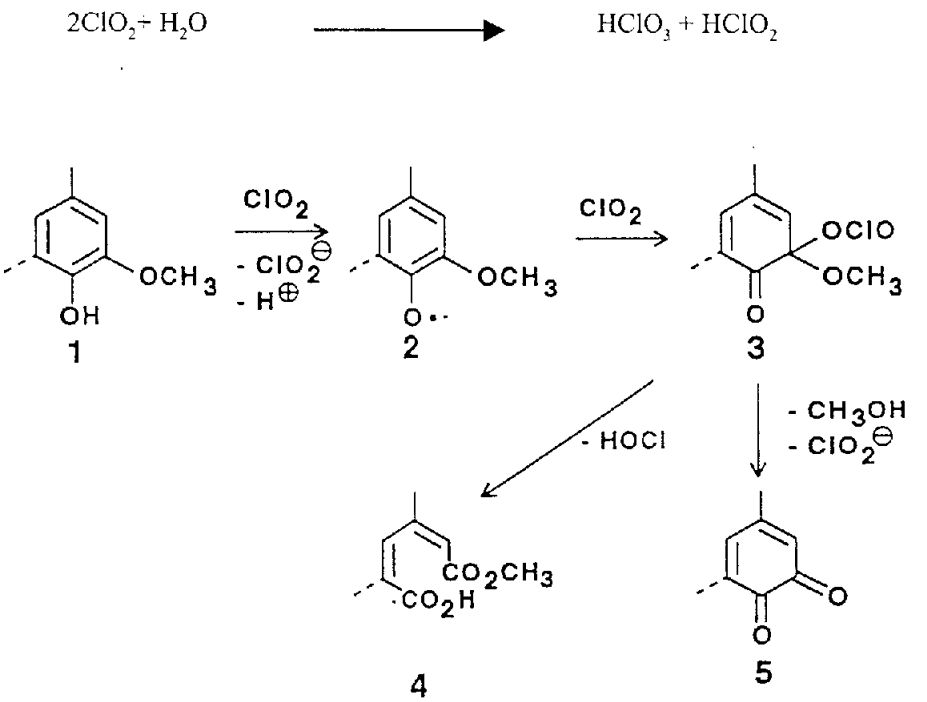


ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการฟอกเยื่อแบบปราศจากธาตุคลอรีน

- **ขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine Dioxide stage)**

คลอรีนไดออกไซด์เป็นสารฟอกที่นำมาใช้แทนสารคลอรีน โดยแต่เดิมนั้นใช้เป็น oxidizing agent เพื่อลดปริมาณยางไม้ (resin) ในเยื่อหลังผ่านการฟอกขั้นการสกัดด้วยด่างเท่านั้น แต่เนื่องจาก คลอรีนไดออกไซด์ไม่ทำลายความแข็งแรงของเส้นใยและเยื่อมีการกลับสีน้อยกว่าการฟอกด้วยคลอรีน จึง นิยมนำมาใช้เป็นสารฟอกในเวลาต่อมา นอกจากนี้การฟอกโดยใช้คลอรีนไดออกไซด์จะส่งผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมเพียงเล็กน้อยเนื่องจากเยื่อฟอกที่ได้จะมีสาร Dioxin ในเยื่อ หรือ AOX ในน้ำทิ้ง เพียงเล็กน้อย เท่านั้น

ปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reactions)

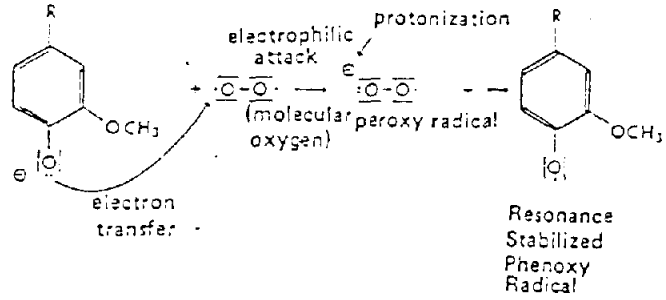


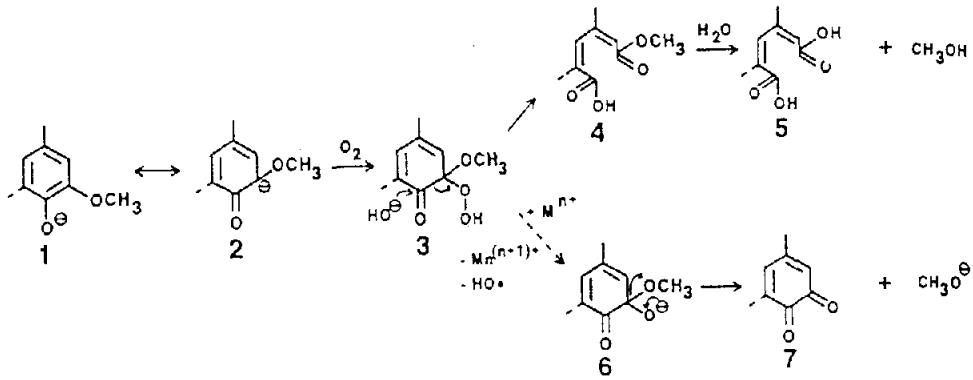
- คลอรีนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับลิกนินที่ Phenolic acid (1) เกิด free radical (2) แล้วเปลี่ยนโครงสร้างเป็น Muconic acid (4) และ o-quinone (5)

- **ขั้นออกซิเจน (Oxygen stage)**

เป็นการฟอกเยื่อที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดการเกิดสารประกอบ AOX และสาร Dioxin ข้อดีอีกประการหนึ่งของการฟอกด้วยออกซิเจน คือ มีความเฉพาะเจาะจงต่อลิกนินสูงและไม่ทำลายคาร์โบไฮเดรต ในปัจจุบันนิยมใช้ออกซิเจนเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการฟอก

ปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reactions)





- แสดงปฏิกิริยาของออกซิเจนทำปฏิกิริยากับลิกนิน ภายในสภาวะที่เป็นด่าง phenoxy anion (1) ในโครงสร้างของลิกนิน ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยา oxidation กับลิกนินเปลี่ยนโครงสร้างเป็น hydroperoxide (3) หลังจากนั้นจะแตกตัวให้สารประกอบของ muconic acid (4) แต่ถ้าในปฏิกิริยามีโลหะหนักผสมอยู่ hydroperoxide (3) จะแตกตัวให้สารประกอบของ o - quinone (6)

- **ขั้นเปอร์ออกไซด์ (Peroxide stage)**

การฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นี้นิยมใช้เป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อเพิ่มความขาวสว่างสูงสุดและความคงทนของการกลับสี เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเปลี่ยนโครงสร้างของลิกนินซึ่งมีสีไปเป็นสารประกอบของ quinone ซึ่งไม่มีสี

ปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reactions)

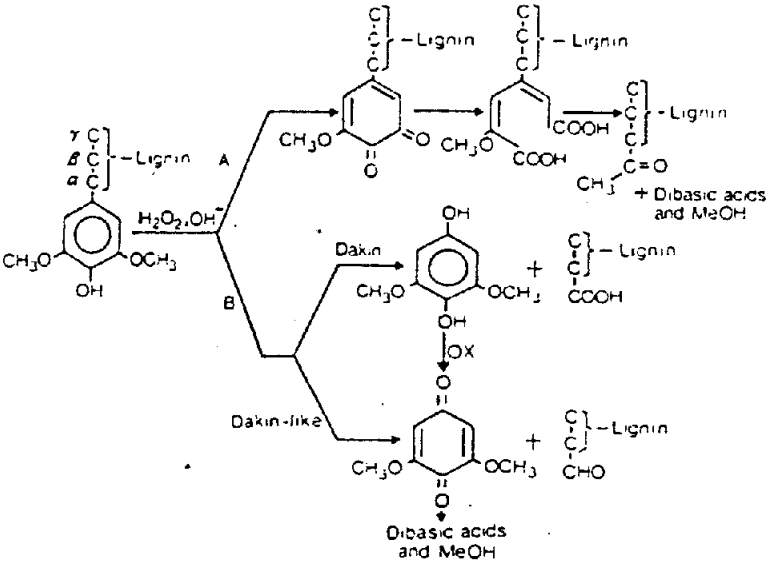
$$H_2O_2 + OH^- \rightleftharpoons H_2O + OOH^- \quad \text{..... (1)}$$

$$2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + 2\,O_2 \quad \text{..... (2)}$$

$$H_2O_2 + OOH^- \longrightarrow HO^{\cdot} + O_2^{\cdot-} + H_2O \quad \text{..... (3)}$$

$$H_2O_2 + OOH^- \longrightarrow HO^{\cdot} + O_2 + H_2O \quad \text{..... (4)}$$

ในสภาวะที่เป็นด่าง (Alkali condition) ความเป็นกรด-ด่างในช่วง 10.5-11.0 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์ ทำให้เกิดหมู่เปอร์ไฮดรอกซิลอิออน (perhydroxyion, OOH^-) ดังสมการที่ 1 แต่ถ้าความเป็นกรด-ด่างสูงมากกว่า 11.5 จะเกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้เป็นน้ำและออกซิเจน ดังสมการที่ 2 และในการสลายตัวจะเกิดหมู่ของ radical ซึ่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยามาก ดังสมการที่ 3 และ 4 ปฏิกิริยาในการเป็นสารฟอกของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะเกิดที่หมู่ของเปอร์ไฮดรอกซิลอิออนทำปฏิกิริยากับลิกนินแล้วเปลี่ยนโครงสร้างของลิกนินเป็นสารประกอบของ quinone ซึ่งไม่มีสี



- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยา oxidation กับลิกนินเปลี่ยนโครงสร้างของลิกนินเป็นสารประกอบของ quinone

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้เป็นเยื่อยูคาลิปตัสที่ผ่านการฟอกด้วยออกซิเจน (O) และคลอรีนไดออกไซด์ (D) มาแล้วจากโรงงานฯเพื่อจะให้ง่ายขึ้นจะขอเรียกเยื่อเริ่มต้นนี้ว่าเยื่อ O-D (O-D pulp)

3.2 เครื่องมือ

3.2.1 หม้อต้มทรงกระบอก (Autoclave)

3.2.2 เครื่องกระจายเยื่อ (Disintegrator)

3.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Analytical balance)

3.2.4 เครื่องทำแผ่นทดสอบมาตรฐาน (Standard handsheet maker)

3.2.5 เครื่องทดสอบฟรีเนสของเยื่อ (Canadian freeness tester)

3.2.6 เครื่องทดสอบความหนา (Thickness tester)

3.2.7 เครื่องทดสอบความต้านแรงดึงขาด (Tensile tester)

3.2.8 เครื่องทดสอบความต้านแรงฉีกขาด (Tear tester)

3.2.9 เครื่องทดสอบความต้านแรงดันทะลุ (Burst tester)

3.2.10 เครื่องทดสอบความชื้น (Moisture balance)

3.2.11 เครื่องวัดความขาวสว่าง (Elrepho 2000 tester)

3.2.12 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

3.2.13 ตู้อบสูญญากาศ (Vacuum oven)

3.2.14 เครื่องดูดสูญญากาศ (Vacuum pump)

3.2.15 เครื่องให้ความร้อนด้วยโพลีเอทธิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol bath)

33 สารเคมี

3.3.1 ก๊าซออกซิเจน

3.3.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.3 แมกนีเซียมซัลเฟต

3.3.4 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

3.4 การดำเนินการทดลอง

3.4.1 นำเยื่อ O-D 180 กรัมน้ำหนักเยื่ออบแห้ง บรรจุในถุงพลาสติก เติมปริมาณโซเดียม ไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.9 ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตร้อยละ 0.1 และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปในปริมาณร้อยละ 0, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ตามลำดับ รวมทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง โดยมีสภาวะการทดลอง ดังนี้

สภาวะการฟอกที่มีปริมาณออกซิเจนมากเกินพอ	
ความข้นของน้ำเยื่อ (consistency), ร้อยละ	**11**
อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส	**75**
เวลาที่ใช้ในการฟอก, ชั่วโมง	**2**
ปริมาณออกซิเจน,อัดกาซออกซิเจนที่ 3.0 Kg/cm^2 นาน 3 นาที หลังจาก evacuated ที่ - 400 mbar	**excess**
ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์,ร้อยละของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง	**0.9**
ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟต,ร้อยละของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง	**0.1**
ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์,ร้อยละของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง	**0, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6**

3.4.2 หลังจากเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตแล้วปรับความข้นของน้ำเยื่อให้ได้ร้อยละ 11 คลุกเคล้าน้ำเยื่อให้สม่ำเสมอแล้วจึงถ่ายเทน้ำเยื่อจากถุงพลาสติกในแต่ละชุดการทดลองลงในหม้อต้มทรงกระบอก (autoclave) ขนาดบรรจุ 2.5 ลิตร ปิดฝาแล้วดูดอากาศออกที่ - 400 มิลลิบาร์ โดยใช้ตู้อบสูญญากาศ จากนั้นอัดอากาศออกซิเจนให้มีความดัน 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรลงไปในหม้อต้มทรงกระบอกนาน 3 นาที แล้วนำหม้อต้มทรงกระบอกใส่ลงในหม้อต้มเยื่อที่ให้ความร้อนด้วยโพลีเอทธีลีนไกลคอล (polyethylene glycol) โดยที่หม้อต้มทรงกระบอกติดตั้งอยู่บนเพลาซึ่งหมุนตลอดเวลาปิดฝาหม้อต้มเยื่อและควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 75 องศาเซลเซียส

3.4.3 เมื่อครบระยะเวลา 30 นาที เปิดฝาหม้อต้มเยื่อ ขยับหม้อต้มทรงกระบอกให้อยู่เหนือผิวของสารโพลีเอทธีลีนไกลคอล แล้วเปิดวาล์วของหม้อต้มทรงกระบอกเพื่อไล่ก๊าซออกซิเจนออก ปิดวาล์วของหม้อต้มทรงกระบอกกระทำเช่นเดียวกันทั้ง 6 ชุดการทดลอง ปิดฝาหม้อต้มเยื่อแล้วต้มต่อไปอีก 90 นาที

3.4.4 เมื่อครบกำหนดเวลานำหม้อต้มทรงกระบอกออกจากหม้อต้มเยื่อ เปิดฝาของหม้อต้มทรงกระบอกเทน้ำเยื่อออก กรองเยื่อที่ได้ด้วยกรวยกรองแบบแก้วเพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวและเยื่อออกจากกัน

3.4.5 ส่วนที่เป็นของเหลวนำไปวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาความสิ้นเปลืองของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ถูกใช้ไป

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

3.4.6 ส่วนที่เป็นเยื่อนำไปล้างให้สะอาดและกรองจนแห้งแล้วคำนวณหาผลผลิตเยื่อที่ได้ แบ่งเยื่อไปทำแผ่นทดสอบมาตรฐาน ตาม Tappi T 205 om-88 และทำแผ่นวัดความขาวสว่างตามมาตรฐาน SCAN C-11-75 เพื่อทดสอบสมบัติทางเชิงกลและสมบัติด้านทัศนศาสตร์ของเยื่อ

3.4.6.1 สมบัติทางเชิงกล

- ความต้านแรงดึง (Tensile strength) ตาม Tappi T 404 om-92
- ความต้านแรงฉีกขาด (Tear strength) ตาม Tappi T 414 om-82
- ความต้านแรงดันทะลุ (Burst strength) ตาม Tappi T 403 om-85

3.4.6.2 สมบัติด้านทัศนศาสตร์

- ความขาวสว่าง (Brightness) ตาม ISO 2470

โดยเก็บแผ่นทดสอบมาตรฐานไว้ในห้องควบคุมสภาวะการทดสอบที่

อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส 27 ± 1

ความชื้นสัมพัทธ์, ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ

3.4.7 นำเยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงาน ไปทำแผ่นทดสอบมาตรฐาน ตาม Tappi T 205 om-88 และทำแผ่นวัดความขาวสว่างตามมาตรฐาน SCAN C-11-75 แล้วทำการทดสอบเหมือนข้อ 3.4.6

หมายเหตุ ในการกำหนดความข้นของน้ำเยื่อที่ใช้ในการทดลองได้กำหนดตามข้อมูลที่ได้จากลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ตามตารางที่ 1

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การฟอกเยื่อยูคาลิปตัสในขั้นการสกัดด้วยด่างที่มีปริมาณออกซิเจนมากเกินพอ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วย ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์คงที่เท่ากับร้อยละ 0.9 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ให้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ความสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้และสมบัติของเยื่อฟอก O-D-Eop ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงความสิ้นเปลืองในการใช้สารเคมีและสมบัติของเยื่อฟอก O-D-Eop ที่ได้

	ขั้นตอนการสกัดด้วยด่างโดยมีการเติมออกซิเจนในปริมาณมากพอ และมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วย					
	O-D-Eo	O-D-$Eop^{0.2\%}$	O-D-$Eop^{0.3\%}$	O-D-$Eop^{0.4\%}$	O-D-$Eop^{0.5\%}$	O-D-$Eop^{0.6\%}$
ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติม, ร้อยละน้ำหนักอบแห้ง	-	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกใช้ไป, ร้อยละของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติม	74.6	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0
ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกใช้ไป, กิโลกรัม/ตันเยื่ออบแห้ง	6.72	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29
ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ถูกใช้ไป, ร้อยละของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติม	-	86.3	90.9	93.1	94.5	95.4
ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ถูกใช้ไป, กิโลกรัม/ตันเยื่ออบแห้ง	-	1.73	2.73	3.73	4.73	5.73
ผลผลิตเยื่อ,ร้อยละ	99.4	99.0	98.9	99.2	99.0	99.2
ความขาวสว่าง,ร้อยละ	77.7	80.3	80.7	81.0	82.3	82.8

หมายเหตุ เยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงานมีค่าความขาวสว่างร้อยละ 71.5

1 การเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเยื่อที่ได้

2.ความขาวสว่างของเยื่อในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างที่มีออกซิเจนในปริมาณมากเกินพอโดยไม่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วยสามารถเพิ่มค่าความขาวสว่างได้อีกร้อยละ 6.2 หน่วย (จากเดิมเยื่อฟอก O-D เริ่มต้นมีค่าความขาวสว่างร้อยละ 71.5 เพิ่มเป็นร้อยละ 77.7) และผลจากการใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงไปค่าความขาวสว่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยที่การใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เติมลงไปร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง จะสามารถเพิ่มค่าความขาวสว่างได้อีกร้อยละ 11.3 (จากเดิมเยื่อฟอก O-D เริ่มต้นมีค่าความขาวสว่างร้อยละ 71.5 เพิ่มเป็นร้อยละ 82.8)

3. เมื่อเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปในการฟอกเยื่อด้วยจะทำให้สิ้นเปลืองปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น เยื่อ O-D-Eo จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าในกรณีที่ไม่มีการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสิ้นเปลืองการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 6.72 กิโลกรัมต่อตันเยื่ออบแห้ง แต่เมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง (เยื่อO-D-$Eop^{0.2\%}$) จะสิ้นเปลืองการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 7.29 กิโลกรัมต่อตันเยื่ออบแห้งและที่ทุกระดับของการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2-0.6 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้งจะมีการสิ้นเปลืองการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากัน

4. ความสิ้นเปลืองปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงไปในเยื่อมากขึ้น

4.2 เปรียบเทียบสมบัติของเยื่อฟอก O-D-Eop ที่ได้ กับเยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงาน

แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงสมบัติของเยื่อฟอก O-D-Eop กับเยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงาน

		ขั้นตอนการสกัดด้วยด่างโดยมีการเติมออกซิเจนในปริมาณมากพอ และมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วย					
	O-D เริ่มต้น	O-D-Eo	O-D-$Eop^{0.2\%}$	O-D-$Eop^{0.3\%}$	O-D-$Eop^{0.4\%}$	O-D-$Eop^{0.5\%}$	O-D-$Eop^{0.6\%}$
ฟรีเนส,มิลลิลิตร(Freeness,ml.CSF) (กระจายเยื่อที่ 30,000 รอบ)	565	530	530	540	540	540	540
ดัชนีความต้านแรงดึง, กิโลนิวตัน.เมตร/กิโลกรัม	27.1	27.8	28.6	29.1	29.8	29.7	29.9
ความยืด,ร้อยละ	2.1	2.0	2.2	2.2	2.3	2.2	2.3
ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด, นิวตัน.ตารางเมตร/กิโลกรัม	4.53	5.10	5.09	5.08	5.12	5.16	5.15
ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ, กิโลปาสกาล.ตารางเมตร/กรัม	1.44	1.53	1.58	1.58	1.61	1.59	1.61

1. ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงไปไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าฟรีเนสของเยื่อที่ได้หลังผ่านการฟอกที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 0.2 - 0.6 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง

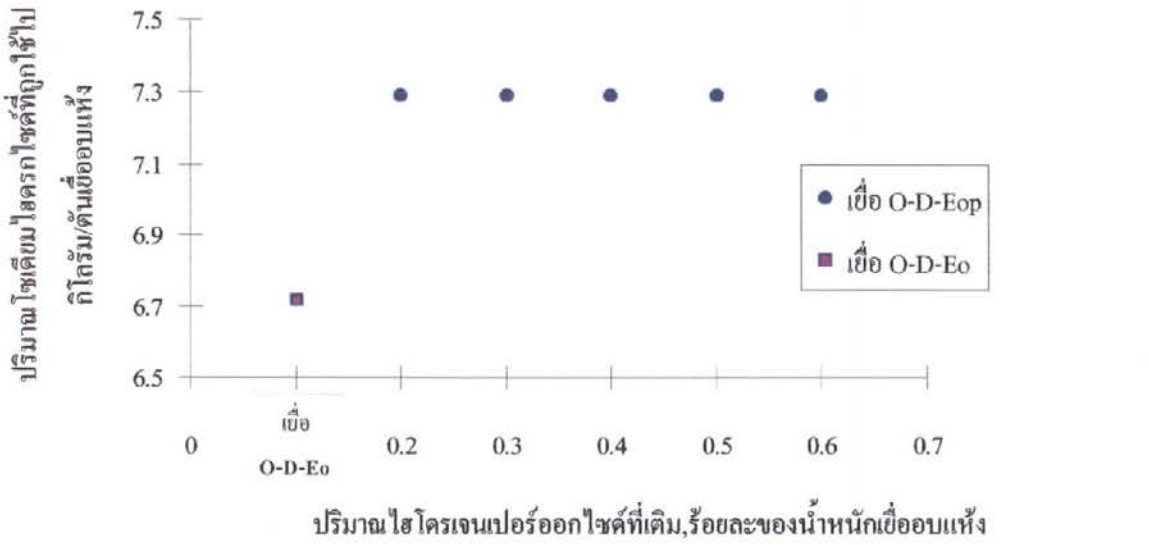
2. เยื่อฟอกที่ได้มีความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด และความต้านแรงดันทะลุสูงกว่าเยื่อ O-D เริ่มต้นที่ได้รับจากโรงงาน โดยที่ระดับการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง เยื่อฟอกที่ได้จะมีค่า ความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด และความต้านแรงดันทะลุสูงกว่าเยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงานประมาณร้อยละ 10.3, 13.6 และ 11.8 ตามลำดับ

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

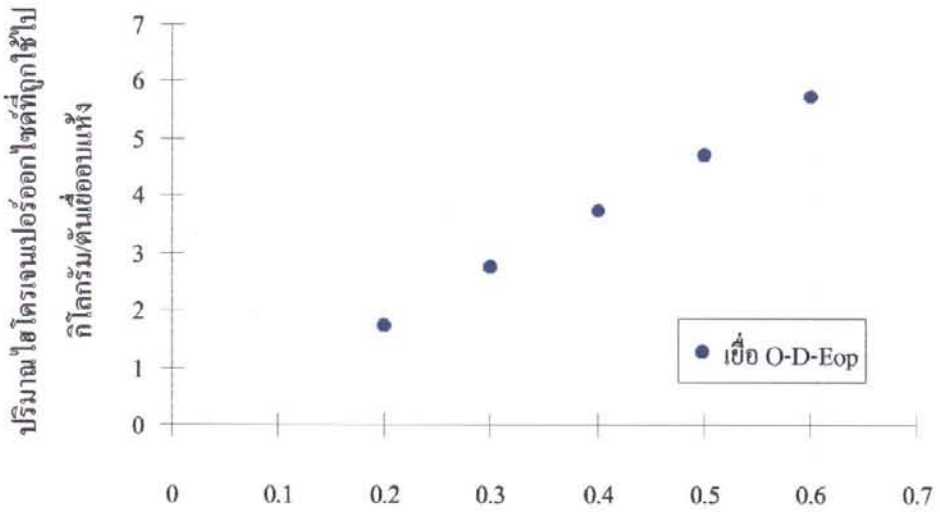
5.1 ความสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้และสมบัติของเยื่อฟอก O-D-Eop ที่ได้

5.1.1 ในการทดลองขั้นการสกัดด้วยด่างนี้ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์คงที่เท่ากับร้อยละ 0.9 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปในการฟอกเยื่อด้วยจะทำให้สิ้นเปลืองปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น เยื่อ O-D-Eo จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าในกรณีที่ไม่มีการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสิ้นเปลืองการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 6.72 กิโลกรัมต่อตันเยื่ออบแห้ง แต่เยื่อ O-D-Eop$^{0.2\%}$ เมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง จะสิ้นเปลืองการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 7.29 กิโลกรัมต่อตันเยื่ออบแห้ง และที่ทุกระดับของการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2 - 0.6 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง จะมีการสิ้นเปลืองการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากัน คือ เท่ากับ 7.29 กิโลกรัมต่อตันเยื่ออบแห้งเช่นเดียวกัน จะเห็นว่ามีการสิ้นเปลืองการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นอีก 0.57 กิโลกรัมต่อตันเยื่ออบแห้ง การใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปในการฟอกเยื่อทั้งนี้เนื่องจากของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีประสิทธิภาพในการฟอกที่สภาวะความเป็นด่าง (ที่ pH 9.0-10.0) ทำให้เยื่อฟอก O-D-Eop มีการใช้ปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกใช้ไป

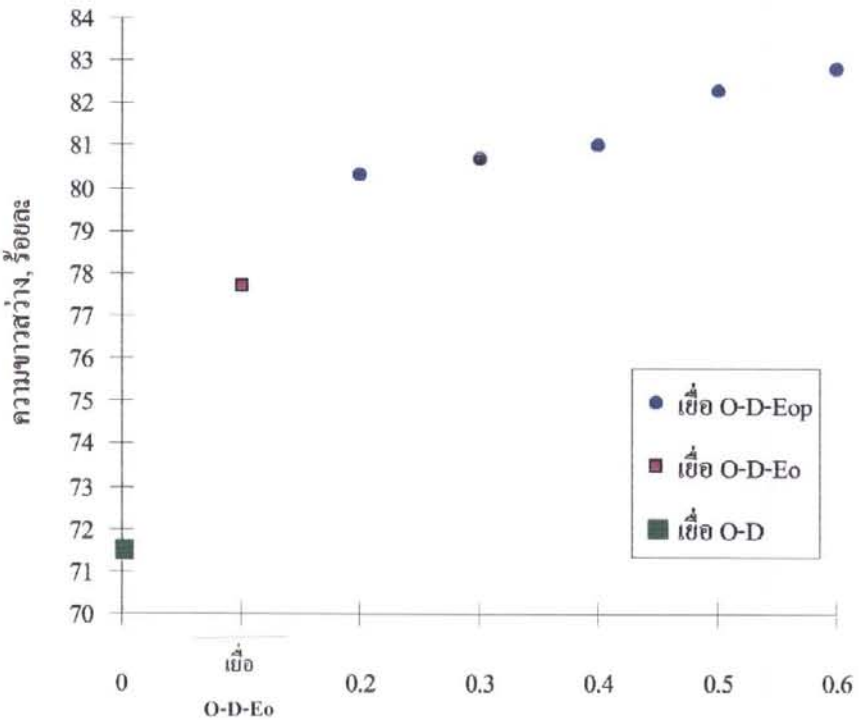
5.1.2 ความสิ้นเปลืองปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงไปในเยื่อมากขึ้น คือ เมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2 -0.6 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง จะสิ้นเปลืองการใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1.73, 2.73, 3.73, 4.73 และ 5.73 กิโลกรัมต่อตันเยื่ออบแห้ง ตามลำดับ โดยที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงไปในการฟอกเยื่อจะทำปฏิกิริยากับลิกนินทำให้โครงสร้างของลิกนินเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการฟอกเยื่อก็จะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ถูกใช้ไป

5.1.3 ความขาวสว่างของเยื่อฟอก O-D-Eo ในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างที่มีออกซิเจนในปริมาณมากเกินพอโดยไม่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วยสามารถเพิ่มค่าความขาวสว่างได้อีก ร้อยละ 6.2 หน่วย (จากเดิมเยื่อฟอก O-D เริ่มต้นมีค่าความขาวสว่างร้อยละ 71.5 เพิ่มเป็นร้อยละ 77.7) และผลจากการใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เติมลงไปค่าความขาวสว่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ค่าความขาวสว่างของเยื่อฟอก O-D-Eop จะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 80.3, 80.7, 81.0, 82.3 และ 82.8 ตามลำดับ ซึ่งค่าความขาวสว่างที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้งนี้เพราะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นจะทำปฏิกิริยากับลิกนินในเยื่อฟอก O-D-Eo เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของลิกนินได้มากขึ้น ทำให้เยื่อฟอก O-D-Eop มีความขาวสว่างเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้มากขึ้นตามลำดับ และจะเห็นว่าตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ตามที่ลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ว่าต้องการเพิ่มค่าความขาวสว่างในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างที่มี

ออกซิเจนในปริมาณมากเกินพอโดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วย (เยื่อฟอก O-D-Eop) ให้ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80.0 ผลจากการทดลองพบว่าที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ก็สามารถเพิ่มค่าความขาวสว่างได้เป็นร้อยละ 80.3 แล้ว โดยสิ้นเปลืองปริมาณการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกไซด์เท่ากับ 1.73 กิโลกรัมต่อตันเยื่ออบแห้ง เท่านั้น ตามตารางที่ 4, ภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าความขาวสว่าง

หลังจากได้ทำการศึกษาทดลองแล้วลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ได้นำผลการทดลองไปใช้จริงในโรงงานฯ ซึ่งบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ได้แนะนำให้ลูกค้าใช้ที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ลงในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างที่มีออกซิเจนในปริมาณมากเกินพอโดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วย (เยื่อฟอก O-D-Eop$^{0.3\%}$) ผลปรากฏว่าสามารถเพิ่มค่าความขาวสว่างได้ถึงร้อยละ 80.7 ซึ่งได้ข้อมูลที่ตรงกับผลการทดลองในตารางที่ 4 และได้สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการฟอกเยื่อในขั้นตอนต่อไป คือการฟอกเยื่อในขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (D_2) ของลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ซึ่งแต่เดิมไม่การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เติมลงในเยื่อฟอก (เยื่อฟอก O-D-Eo) เยื่อฟอกในขั้นนี้จะมีความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 75.0 แล้วทำการฟอกต่อในขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (D_2) เยื่อฟอก O-D_1-Eo-D_2 มีความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 87.0 เท่านั้น ตามวัตถุประสงค์ของลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด มีความต้องการให้เยื่อฟอก O-D_1-Eo-D_2

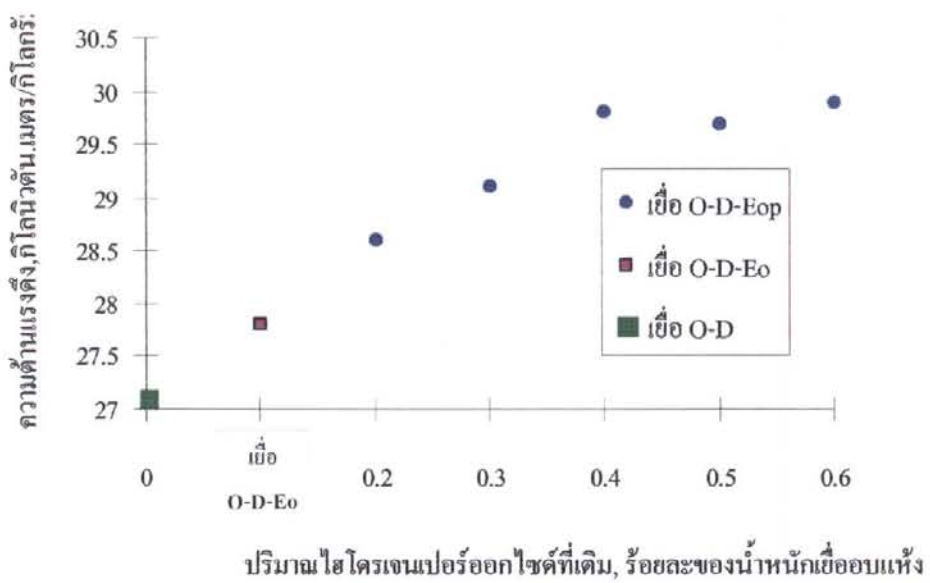
สุดท้ายก่อนออกจำหน่าย ให้มีค่าความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 89.0 ดังนั้นหลังจากผลการศึกษาทดลองในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างที่มีออกซิเจนในปริมาณมากเกินพอ โดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วยร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง แล้วทำการฟอกต่อในขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (D_2) เยื่อฟอก O-D_1-$Eop^{0.3\%}$-D_2 ที่ได้มีความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 89.0 - 90.0 ตรงตามความต้องการของลูกค้าพอดี

5.1.4 จากตารางที่ 4 พบว่าการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเยื่อ

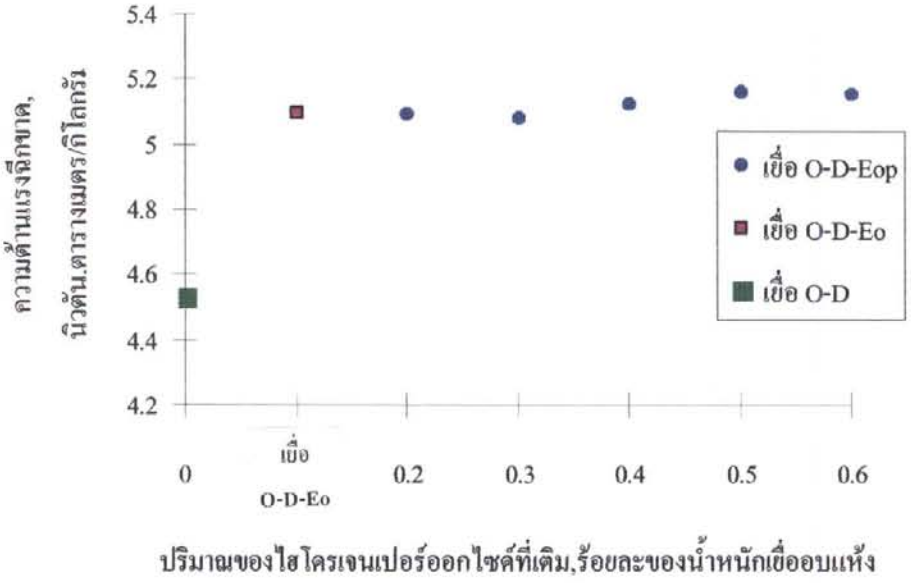
5.2 เปรียบเทียบสมบัติของเยื่อฟอก O-D-Eop ที่ได้ กับเยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงาน

5.2.1 ที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2 - 0.6 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงไปไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าฟรีเนสของเยื่อ O-D-Eop ที่ได้หลังผ่านการฟอก

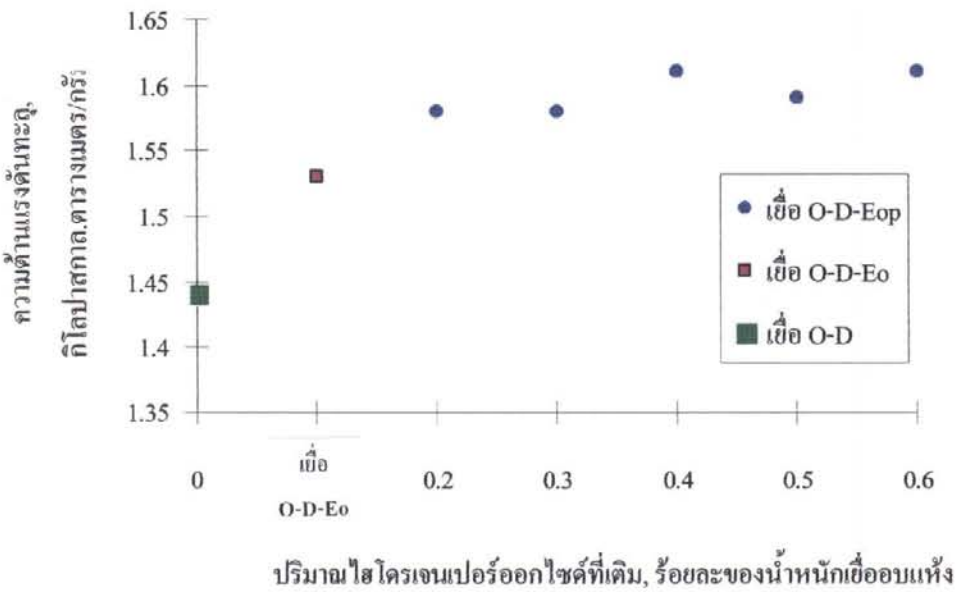
5.2.2 จากภาพที่ 7-9 และตารางที่ 5 เยื่อฟอก O-D-Eo ที่ได้มีความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาดและความต้านแรงดันทะลุสูงกว่าเยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงาน โดยที่ระดับการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง เยื่อฟอกที่ได้จะมีค่าความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาดและความต้านแรงดันทะลุสูงกว่าเยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงานประมาณร้อยละ 10.3, 13.6 และ 11.8 ตามลำดับ แต่ที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2- 0.6 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง สมบัติทางกายภาพของเยื่อฟอกที่ได้ทั้งความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาดและความต้านแรงดันทะลุถือว่าไม่แตกต่างกันมากนัก



ภาพที่ 7 แสดงอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าความต้านแรงดึง



ภาพที่ 8 แสดงอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าความต้านแรงฉีกขาด



ภาพที่ 9 แสดงอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าความต้านแรงดันทะลุ

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 ความสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้และสมบัติของเยื่อฟอก O-D-Eop ที่ได้

6.1.1 การฟอกเยื่อในขั้นการสกัดด้วยด่างที่ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์คงที่เท่ากับร้อยละ 0.9 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง พบว่าเยื่อ O-D-Eop ที่มีการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2-06 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง ตามลำดับ จะสิ้นเปลืองการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 7.29 กิโลกรัมต่อตันเยื่อออบแห้ง ในขณะที่การฟอกโดยไม่มีการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะสิ้นเปลืองการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 6.72 กิโลกรัมต่อตันเยื่อออบแห้ง แสดงว่าเยื่อฟอก O-D-Eop มีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นมากกว่าเยื่อ O-D-Eo อยู่ 0.57 กิโลกรัมต่อตันเยื่อออบแห้ง

6.1.2 เมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2 -0.6 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง จะสิ้นเปลืองการใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1.73, 2.73, 3.73, 4.73 และ 5.73 กิโลกรัมต่อตันเยื่อออบแห้ง ตามลำดับ แสดงว่าเยื่อฟอก O-D-Eop จะสิ้นเปลืองการใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากขึ้น

6.1.3 เยื่อฟอก O-D-Eop มีค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง ค่าความขาวสว่างของเยื่อฟอก O-D-Eop ที่ได้จะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 80.3, 80.7, 81.0, 82.3 และ 82.8 ตามลำดับ และที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง เยื่อฟอก O-D-Eop มีค่าความขาวสว่างเป็นร้อยละ 80.3 โดยสิ้นเปลืองปริมาณการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกไซด์เท่ากับ 1.73 กิโลกรัมต่อตันเยื่อออบแห้ง เท่านั้น ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

และเมื่อลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ได้นำผลการทดลองไปใช้จริงในโรงงานฯ ซึ่งบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ได้แนะนำให้ลูกค้าใช้ที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง ดังกล่าว พบว่าเยื่อฟอก O-D-Eop$^{0.3\%}$ มีค่าความขาวสว่างเป็นร้อยละ 80.7 และการฟอกเยื่อในขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (D_2) ของลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ซึ่งเป็นการฟอกเยื่อขั้นสุดท้าย เยื่อฟอก O-D_1-Eop-D_2 มีความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 89.0-90.0 ตรงตามวัตถุประสงค์ของลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด พอดี

อย่างไรก็ตามจากข้อมูลเดิม เยื่อ O-D_1-Eo-D_2 ของลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ซึ่งเป็นเยื่อสุดท้ายก่อนออกจำหน่าย**มีความขาวสว่างร้อยละ 87.0 โดยผ่านการฟอกเยื่อในขั้นสุดท้ายด้วยคลอรีนไดออกไซด์ร้อยละ 1.2 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง นั้น** แต่เมื่อนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาช่วยในขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง (เยื่อฟอก O-D-Eop$^{0.3\%}$) เยื่อฟอกที่ได้มีความขาวสว่างร้อยละ 80.7 **(เยื่อฟอก O-D-Eo, เยื่อฟอกในขั้นนี้ของลูกค้าฯ มีความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 75.0 เท่านั้น) จะเห็นว่าถ้ามองในแง่ผลกระทบทางเศรษฐกิจแล้วลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ก็สามารถที่จะลดปริมาณการใช้คลอรีนไดออกไซด์ในขั้นสุดท้ายลงได้ (ถ้าสมมุติว่าเมื่อมีการลดปริมาณคลอรีนไดออกไซด์ลงร้อยละ 0.2**

ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง คือ ทำการฟอกเยื่อในขั้นสุดท้าย (D_2) ด้วยคลอรีนไดออกไซด์ร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง (เติมการฟอกเยื่อในขั้นสุดท้ายด้วยคลอรีนไดออกไซด์ร้อยละ 1.2 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง) แล้วเยื่อฟอกสุดท้ายที่ได้ยังคงมีค่าความขาวสว่างร้อย 87.0 เท่าเดิมก่อนที่จะมีการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาช่วยในการฟอกในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างก็ยอมจะคุ้มค่าทางเศรษฐกิจอยู่แล้ว เพราะราคาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 15 บาท ต่อกิโลกรัม ในขณะที่ราคาของคลอรีนไดออกไซด์เท่ากับ 24 บาท ต่อกิโลกรัม นั้นคือ ถ้าใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง จะต้องเพิ่มเงินเท่ากับ 3x15 = 45 บาท ต่อตันเยื่อออบแห้งที่ใช้ และลดปริมาณคลอรีนไดออกไซด์ลงร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง จะลดเงินเท่ากับ 2x24 = 48 บาท ต่อตันเยื่อออบแห้งที่ใช้ ก็จะสามารถลดต้นทุนลงได้ 3 บาทต่อตันเยื่อออบแห้ง) **แต่ตามวัตถุประสงค์ของลูกค้าของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ต้องการให้เยื่อสุดท้ายก่อนออกจำหน่ายมีค่าความขาวสว่างร้อยละ 89.0 - 90.0** ซึ่งผลการศึกษาทดลองในขั้นตอนการสกัดด้วยด่างที่มีออกซิเจนในปริมาณมากเกินพอโดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วยร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง แล้วทำการฟอกต่อในขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (D_2) โดยไม่มีการลดปริมาณของคลอรีนไดออกไซด์ เยื่อฟอก $O\text{-}D_1\text{-}Eop^{0.3\%}\text{-}D_2$ ที่ได้มีความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 89.0 - 90.0 ตรงตามความต้องการของลูกค้าพอดี

6.1.4 ผลผลิตเยื่อของเยื่อฟอก $O\text{-}D_1\text{-}Eo\text{-}D_2$ ไม่มีการการเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อมีการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปร่วมด้วย

6.2 เปรียบเทียบสมบัติของเยื่อฟอก O-D-Eop ที่ได้ กับเยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงาน

6.2.1 ที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 0.2 - 0.6 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าฟรีเนสของเยื่อที่ได้หลังผ่านการฟอก

6.2.2 เยื่อฟอก O-D-Eo ที่ได้มีความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาดและความต้านแรงดันทะลุสูงกว่าเยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงานฯ โดยที่ระดับการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง เยื่อฟอก $O\text{-}D_1\text{-}Eop^{0.6\%}$ ที่ได้จะมีค่าความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด และความต้านแรงดันทะลุสูงกว่าเยื่อ O-D เริ่มต้นจากโรงงานประมาณร้อยละ 10.3, 13.6 และ 11.8 ตามลำดับ และที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2 - 0.6 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง สมบัติทางกายภาพของเยื่อฟอก $O\text{-}D_1\text{-}Eop$ ที่ได้ทั้งความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาดและความต้านแรงดันทะลุถือว่าไม่แตกต่างกันมากนัก

สรุปผลจากการศึกษาทดลองการฟอกเยื่อในขั้นการสกัดด้วยด่างที่มีปริมาณออกซิเจนมากเกินพอและมีการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปร่วมด้วย พบว่า

1. การทดลองฟอกเยื่อในขั้นการสกัดด้วยด่างที่มีปริมาณออกซิเจนมากเกินพอและมีการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปร่วมด้วยมีผลต่อการเพิ่มค่าความขาวสว่างของเยื่อฟอกที่ได้อย่างชัดเจน โดยความขาวสว่างของเยื่อจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ผลจากการ

ทดลองที่ระดับการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.2 - 0.6 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง เยื่อฟอกที่ได้มีความขาวสว่างร้อยละ 80.3, 80.7, 81.0, 82.3 และ 82.8 ตามลำดับ

2. ในขั้นการสกัดด้วยด่างที่มีปริมาณออกซิเจนมากเกินพอและมีการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปร่วมด้วยนั้นควรมีการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง เยื่อฟอก $O\text{-}D_1\text{-}Eop^{0.3\%}$ ที่ได้มีความขาวสว่างร้อยละ 80.7 เพื่อที่จะสามารถเพิ่มค่าความขาวสว่างในขั้นคลอรีนไดออกไซด์ต่อไปได้

3. ถึงแม้จะเสียค่าใช้จ่ายในการเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอีก 45 บาทต่อตันเยื่ออบแห้งก็ตาม แต่สามารถเพิ่มค่าความขาวสว่างในขั้นคลอรีนไดออกไซด์เป็นร้อยละ 89.0-90.0 ตรงตามความต้องการของลูกค้าพอดี

4. การเติมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปร้อยละ 0.2 - 0.6 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ไม่มีผลต่อการสูญเสียสมบัติด้านความแข็งแรงของเยื่อฟอกที่ได้

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ

1. นางรุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ หัวหน้ากลุ่มวิจัยและพัฒนา 3 ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบผลการศึกษาวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

2.บริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ที่จัดส่งตัวอย่างเยื่อและอนุเคราะห์สารละลายของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ : "การผลิตกระดาษ" ความรู้เฉพาะวิชาชีพหลังการพิมพ์ 1 ศูนย์ฝึกอบรมเทคโนโลยีการพิมพ์แห่งชาติ มหาวิยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พ.ศ. 2538 หน้า 53-59

2. Rydholm, S.A., Pulping Process, Interscience Publishers, Sydney, 1965, p 257-277.

3. Singh, R.P., The Bleaching of Pulp, 3rd ed , Tappi Press, p 113-144

4. Casey James P., Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, 3rd ed , Vol 3, New York, John wiley & Sons, Inc, p 675-693

ภาคผนวก ก
คำร้องของบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด

กว.

14 พ.ค. 41

THAI PEROXIDE CO., LTD.
บริษัท ไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด

off : 16th Fir. Mahatun Plaza, 888/160-161 Ploenchit Road
Bangkok 10330, Thailand
Phone : (66-2) 2536745-54
Fax : (66-2) 2543607
Tlx : 81187 INDOTEL TH, 84277 THAIRAY TH

Fac : 70 Moo 4, Sudbanthad Road, Tambol Tandiew
Kaengkhoi, Saraburi 18110
Phone : (66-036) 251893-5
Fax : (66-036)-251892

รับที่ 1103
วันที่ 14 พ.ค. 41 เวลา 15.15 น.

วันที่ 13 พฤษภาคม 2541

กรมวิทยาศาสตร์บริการ
เลขรับที่ 1788
วันที่ 14 พ.ค. 2541 เวลา 12.12 น.

เรื่อง ขอความร่วมมือ งานฟอกเยื่อกระดาษ

เรียน อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ

ด้วยบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด มีโครงการศึกษาการฟอกเยื่อกระดาษยูคาลิปตัส โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อเพิ่มความขาวในขั้นตอนการสกัด (Extraction) เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงขบวนการฟอกเยื่อให้กับลูกค้า บริษัทจึงใคร่ขอความร่วมมือจากกองการวิจัยกรมวิทยาศาสตร์บริการ ในการดำเนินงานวิจัยที่ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ โดยนักวิทยาศาสตร์ของห้องปฏิบัติการ สำหรับค่าใช้จ่ายในการทดลองตลอดจนสารเคมีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง บริษัทจะเป็นผู้รับผิดชอบทั้งหมด

บริษัทหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่าน และขอขอบคุณมา ณ.โอกาสนี้

ได้รับเงินค่าธรรมเนียมการวิเคราะห์ 5 ตัวอย่าง
ตัวอย่างละ 2000 บาท รวมเป็นเงิน 10000 บาท
ใบเสร็จเล่มที่ 5(1)/41 เลขที่ 52
ผู้รับเงิน
วันที่ 14 พ.ค. 2541

ขอแสดงความนับถือ

ชลารัตน์ ฉัฐมะพรรณรังสี

ชลารัตน์ ฉัฐมะพรรณรังสี
(MARKETING DEVELOPMENT EXECUTIVE)

ได้รับใบเสร็จไปแล้ว 14 พ.ค. 41

15 พ.ค. 41

เรียน ผอก. กว.

อว. 3 ฝ่ายได้ดำเนินการร่องมือในการดำเนินการศึกษาวิจัยตามที่บริษัท ไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ได้ขอความร่วมมือ เรื่องขอความร่วมมือในการดำเนินการศึกษาวิจัยเรียบร้อยแล้ว และได้ส่งรายงานการศึกษาวิจัยให้กับทางบริษัทฯ ไปแล้ว

26 พ.ค. 41

หมายเหตุ ค่าธรรมเนียมการวิจัย = 10000 บาท

สำนักงาน : ชั้น 16 อาคารมหาธุนพลาซ่า ถนนเพลินจิต ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โรงงาน : 70 หมู่ 4 ถนนสุดบรรทัด ต.ตาลเดี่ยว อ.แก่งคอย จ.สระบุรี 18110

ภาคผนวก ข
คำอธิบายศัพท์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และทดสอบ

1. Oxygen stage, O

ขั้นออกซิเจน เป็นขั้นตอนในกระบวนการฟอกเยื่อที่ใช้ออกซิเจนเป็นสารฟอก โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อลดปริมาณสารลิกนิน ใช้สัญลักษณ์เป็น O และถ้ามีการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ช่วยเสริมในขั้นนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพใน การลดปริมาณลิกนินในเยื่อได้ดีกว่าการใช้ออกซิเจนแต่เพียงอย่างเดียวลักษณะ การใช้จะเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณร้อยละ 0.2-0.5 ต่อน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ขั้นตอนซึ่งมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ช่วยเสริมประสิทธิภาพการฟอก ใช้สัญลักษณ์เป็น Op

2. Chlorine Dioxide stage, D

ขั้นคลอรีนไดออกไซด์ เป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการฟอกเยื่อแบบปราศจากธาตุคลอรีน (Elemental Chlorine Free Pulp) ซึ่งจะมีกระบวนการฟอกเป็นแบบ D-(EO)-D หรือแบบ D-(EOP)-D ซึ่งคลอรีนไดออกไซด์เป็นสารฟอกที่นำมาใช้แทนสารคลอรีน คลอรีนไดออกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการฟอกจะไม่ทำลายความแข็งแรงของเส้นใยและเยื่อที่ได้มีการกลับสีน้อยกว่าการใช้คลอรีนเป็นสารฟอก นอกจากนี้การฟอกด้วยคลอรีนไดออกไซด์จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยการฟอกด้วยคลอรีน เนื่องจากเยื่อฟอกขาวที่ได้จากการฟอกด้วยคลอรีนไดออกไซด์จะมีสาร Dioxin ในเยื่อหรือมี Adsorbable Organic Halogen (AOX) ในน้ำทิ้งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ใช้สัญลักษณ์เป็น D

3. Extraction stage, E

ขั้นการสกัดด้วยด่างเป็นการละลายและกำจัด chlorinated lignin เนื่องจากลิกนินที่ผ่านการฟอกด้วยคลอรีนจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างซึ่งไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในด่าง จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง และในขณะเดียวกันสามารถละลายยางไม้และสารสกัดได้ที่เหลืออยู่ในเยื่อได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามหากใช้ด่างที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงก็อาจจะทำลายเฮมิเซลลูโลส รวมถึงเซลลูโลสด้วยจึงจำเป็นต้องควบคุมสภาวะการฟอกให้เหมาะสม ขั้นการสกัดด้วยด่างนี้อาจจะมีสาร Oxidizing agent บางตัวช่วยเสริม เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ออกซิเจน (ในการฟอกแบบ Ep, Eo หรือ Eop) เพื่อเป็นการลดปริมาณด่างที่ใช้ รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดลิกนินด้วยและจะเป็นการลดปริมาณสารฟอกในขั้นต่อไปด้วย ซึ่งในการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณร้อยละ 0.3-0.8 ต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง จะส่งผลทำให้เยื่อที่ได้จากขั้นนี้มีความขาวสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเพิ่มความคงทนในการกลับสีของเยื่อและยังช่วยลดปริมาณลิกนินที่เหลือในเยื่อได้อย่างดีด้วย ขั้นตอนการสกัดด้วยด่างซึ่งใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ช่วยเสริมประสิทธิภาพการฟอกใช้สัญลักษณ์เป็น Ep ถ้ามีออกซิเจนช่วยเสริมประสิทธิภาพการฟอก

ด้วยจะใช้สัญลักษณ์เป็น Eo และถ้ามีทั้งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และออกซิเจนช่วยเสริมประสิทธิภาพการฟอก จะ ใช้สัญลักษณ์เป็น Eop

4. air - dry weight (AD) น้ำหนักวัสดุแห้งเป็นน้ำหนักที่ได้เมื่อวางผึ่งเป็นเวลานานพอสมควรในอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิปกติ สำหรับเยื่อกระดาษจะมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10

5. oven-dry weight (OD) น้ำหนักวัสดุอบแห้ง หมายถึง เมื่ออบที่อุณหภูมิ 105°C จนกระทั่งน้ำหนักวัสดุไม่ลดลงอีก ในทางปฏิบัติถือว่า หากชั่งครั้งต่อไปน้ำหนักลดลงน้อยกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักชั่งครั้งก่อนก็ใช้ได้

6. consistency, percent ความข้นของน้ำเยื่อ คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักเยื่ออบแห้งในน้ำเยื่อ

$$\text{consistency, \%} = \frac{\text{น้ำหนักเยื่ออบแห้ง x 100}}{\text{น้ำหนักเยื่อแห้ง + น้ำหนักน้ำ}}$$

เนื่องจากน้ำเยื่อ มิได้เป็นสารละลายแท้จริง (true solution) จึงควรเรียก consistency ว่า " ความข้น " แทนคำว่าเข้มข้น ซึ่งหมายถึง concentration ของ true solution ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษแบ่งความเข้มข้นเป็นสามระดับ คือ low consistency (0 - 6%), medium consistency (6 - 20%) และ high consistency (20 - 40%)

7. brightness หมายถึง reflectivity ของแผ่นเยื่อหรือกระดาษวัดที่ช่วงคลื่นแสง 457 nm เปรียบเทียบกับ MgO (ISO 2469-1977 (E) ใช้ perfect reflecting diffuser โดยถือว่า MgO มี reflectivity 100% ความขาวสว่างเป็นคุณสมบัติทางกายภาพโดยแท้ไม่สามารถบ่งบอกคุณลักษณะเกี่ยวกับสีได้ ค่าที่วัดได้ขึ้นอยู่กับการกระจายแสง (light scattering) และการดูดซับแสง (light absorp-tion) ของเยื่อเท่านั้น ฉะนั้นความขาวสว่างจึงเป็นค่าที่มีประโยชน์อย่างยิ่งแต่เฉพาะในการระบุคุณสมบัติของเยื่อ

8. tearing strength, internal ความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษเมื่อเกิดรอยฉีกขาดนำอยู่ก่อนแล้ว รายงานค่าเป็นหน่วยของแรง เช่น มิลลินิวตัน (mN) คุณสมบัตินี้จำเป็นสำหรับกระดาษหลายชนิด รวมทั้งถุงบรรจุที่ปิด โดยการเย็บ วัดด้วยเครื่องทดสอบแบบ Elmendorf ซึ่งอาศัยพลังงานกลจากลูกตุ้มซึ่งมีหลายขนาด ขนาดของลูกตุ้มบอกหน่วยของงานต่อขีดเสกล เช่น 68.8 g.cm/div (ขนาดกลาง) เครื่องมืออื่นก็มีแต่ไม่แพร่หลายนัก เช่น Brech - Imset

9. tear index ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด มีหน่วยเป็น $mN.m^2/kg$ โดยคำนวณจาก

$$\text{tear index} = \frac{\text{tearing strength}}{\text{grammage}}$$

10. tensile strength

ความสามารถในการรับแรงดึงของกระดาษขึ้นอยู่กับการบดเยื่อและความตึงของกระดาษระหว่างที่ทำให้แห้ง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ความต้านแรงฉีกขาดลดลง การทดสอบค่า tensile strength ตามมาตรฐานทั่วไปใช้เครื่องทดสอบแบบตุ้ม (pendulum type) การรายงานค่าควรรายงานเป็นหน่วยแรงที่มีความหมาย คือ แรงต่อหน่วยความกว้างของกระดาษ ได้แก่ กิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) หรือหน่วยกิโลกรัมแรงต่อเซ็นติเมตร (kgf/cm) เนื่องจากกระดาษเป็นวัสดุที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ การรายงานเป็นหน่วยแรงต่อพื้นที่หน้าตัดจึงไม่ถูกต้อง ในการทดสอบค่า tensile strength จะขึ้นอยู่กับระยะทดสอบ (test span) ความกว้างของชิ้นทดสอบและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ (time to rupture) การใช้ระยะทดสอบยาวมากขึ้นหรือใช้เวลาทดสอบนานมากขึ้นจะทำให้ค่าที่ได้น้อยลง ถ้าระยะทดสอบเวลาเท่ากันเครื่องทดสอบ แบบ pendulum และ constant straining rate จะให้ผลไม่แตกต่างกัน

11. tensile index

ดัชนีความต้านแรงดึงมีหน่วยเป็น kN.m/kg โดยคำนวณจาก

$$\text{tensile index} = \frac{\text{tensile strength}}{\text{grammage}}$$

12. burst strength

ความต้านแรงดันทะลุ มีหน่วยเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ เช่น กิโลปาสกาล (kPa) หรือกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร เครื่องทดสอบแรงดันทะลุที่แพร่หลายที่สุด คือ Mullen ในมาตรฐาน Tappi,SCAN test และ ISO แบ่งแยกเครื่องทดสอบ Mullen สำหรับกระดาษและกระดาษแข็งออกจากกันโดยมีความแตกต่างสำคัญที่ขนาดของปากจับชิ้นทดสอบ และ pumping rate ค่าแรงดันทะลุขึ้นอยู่กับการยืดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยและการยืดตัวของกระดาษ ฉะนั้นโดยทั่วไปค่าแรงดันทะลุจึงสัมพันธ์โดยตรงกับค่าแรงดึง

13. burst index

ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ มีหน่วยเป็น $kPa.m^2/g$ โดยคำนวณจาก

$$\text{burst index} = \frac{\text{bursting strength}}{\text{grammage}}$$

14. Freeness

เป็นการทดสอบสมบัติของเยื่อในการให้น้ำไหลผ่านไปได้ช้าหรือเร็วเพียงใด โดยใช้เครื่องมือวัดที่แพร่หลายที่สุด คือ Candadian Standard Freeness