

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ศึกษาถึงผลของการใช้โคโตซานและเซลลูเลสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดหมึกออกจากกระดาษที่ผ่านกระบวนการพิมพ์ด้วยโทนเนอร์ โดยการทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นการศึกษาหาปริมาณการใช้โคโตซานที่เหมาะสม โดยปริมาณโคโตซานที่ศึกษา คือ ปริมาณร้อยละ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จากนั้นนำค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 มาใช้ในการทดลองตอนที่ 2 ซึ่งในการทดลองตอนที่ 2 นั้นมีการศึกษา 3 ตัวแปรดังนี้ คือ

1. ปริมาณเซลลูเลส โดยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ ร้อยละ 0.1 และ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง
2. ปริมาณโคโตซาน โดยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ ไม่ใช้โคโตซาน และปริมาณโคโตซานที่เหมาะสม ซึ่งหามาจากการทดลองตอนที่ 1
3. เวลาที่ทักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยาหลังการตีเยื่อ โดยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ 0 และ 30 นาที

ในแต่ละสภาวะการทดลองจะมีการทำการทดลองรวมกันทั้งสิ้น 2 ครั้ง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณทางสถิติต่อไป

การทดลองเริ่มต้นจากการนำกระดาษ A 4 ที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร มาทำการพิมพ์ด้วยโทนเนอร์ โดยมีการควบคุมปริมาณหมึกพิมพ์ให้มีค่าเท่ากันทุกแผ่น ด้วยการใช้รูปแบบตัวอย่างการพิมพ์ที่ปรากฏในรูปที่ 3-1 จากนั้นนำกระดาษที่ผ่านการพิมพ์เสร็จแล้วมาหาค่าปริมาณหมึกที่ครอบคลุมบริเวณผิวหน้ากระดาษ (Ink coverage) โดยคำนวณเปรียบเทียบกับกระดาษที่ยังไม่ได้ผ่านการพิมพ์ จากการคำนวณพบว่ากระดาษตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่า Ink coverage เท่ากับร้อยละ 0.53 (วิธีการคำนวณสามารถดูได้จากภาคผนวก ก) จากนั้นนำกระดาษไปเก็บไว้ในห้องควบคุมสภาวะเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์เป็นอย่างน้อย ก่อนที่จะนำมาทำการทดลอง

**บทที่ ๖**  
**ทฤษฎี**

**กระบวนการกำจัดหมึกออกจากกระดาษ (Deinking process)**

การนำกระดาษที่ใส่แล้วมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษใหม่ควรจะผ่านกระบวนการกำจัดหมึกออกจากกระดาษก่อน เพื่อให้จะได้เยื่อกระดาษที่สามารถนำไปผลิตกระดาษที่มีคุณภาพสูงได้ การกำจัดหมึกออกจากกระดาษจึงประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ซึ่งในทางปฏิบัติจริงแล้วอาจจะมีการใช้ทุกขั้นตอน หรือเลือกใช้เฉพาะบางขั้นตอน โดยที่ขึ้นอยู่กับกระดาษที่ผ่านเข้ามาในกระบวนการ ชนิดของหมึกที่ต้องการดึงออก และผลผลิตสุดท้ายที่ต้องการผลิตเป็นสำคัญ ขั้นตอนที่สำคัญในการกำจัดหมึกพิมพ์ มีรายละเอียดดังนี้คือ

1. **การตีเยื่อหรือการกระจายเยื่อ (Pulping or repulping)**

เป็นการเตรียมน้ำเยื่อ (Pulp stock) โดยใช้เครื่องตีเยื่อ (Pulper) ดังแสดงในภาพที่ 1 เพื่อให้เส้นใยกระดาษแยกตัวออกจากกันและทำให้อนุภาคของหมึกพิมพ์หลุดจากเส้นใย การตีเยื่อเป็นขั้นตอนที่ควบคุมหมึกไม่หมดที่แนะนำสำหรับกระดาษที่ถูกแยกออกจากเส้นใยในขั้นตอนต่อไป โดยทั่วไปแล้วค่าความเข้มข้นของเยื่อใบเครื่องตีเยื่อจะมีค่าประมาณ 4-6% อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะใช้ค่าความเข้มข้นของเยื่อที่สูงขึ้น คือประมาณ 12% เป็นอย่างน้อยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกหมึกออกจากผิวหน้ากระดาษให้สูงขึ้น สำหรับความแปรที่มีอิทธิพลต่อการกระจายเยื่อ ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ อุณหภูมิที่ใช้ เวลาที่ใช้ ชนิดของสารเคมีที่ใช้ ปริมาณและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ เป็นต้น หลังจากการตีกระจายเยื่อแล้ว เยื่อที่ได้จะผ่านขั้นตอนการเอาน้ำออก (Dewatering) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ค่าความเข้มข้นของเยื่อเพิ่มขึ้นจาก 4-5% เป็น 12-15% เพื่อนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ในการตีเยื่อครั้งต่อไป

ภาพที่ 1 เครื่องตีเยื่อ (4)

**รูปที่ 3-1** รูปแบบตัวอย่างการพิมพ์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองในแต่ละสภาวะจะมีการใช้กระดาษ 250 กรัมของน้ำหนักเยื่อแห้ง หรือใช้กระดาษที่ผ่านการพิมพ์แล้วในแต่ละการทดลองจำนวน 45 แผ่น (ขนาด 21 × 29.5 ซม.) นำกระดาษมาตัดให้มีขนาดประมาณ 2 ซม. × 2 ซม. และแช่น้ำทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้กระดาษอ่อนตัวและง่ายต่อการตีกระจายให้เป็นเยื่อ

หลังจากครบเวลาที่กำหนดแล้ว นำกระดาษมาทำการตีกระจายให้เป็นเยื่อเพื่อแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใย ก่อนที่จะนำเยื่อที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการกำจัดหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศ จากนั้นนำเยื่อที่ได้ทั้งในส่วนที่ผ่านการกำจัดหมึกออกแล้วและส่วนที่ไม่ผ่านการกำจัดหมึกออกมาทดลองหาสภาพระบายได้ ก่อนที่จะนำเยื่อที่เหลือมาทำการขึ้นแผ่นทดสอบ จากนั้นนำแผ่นทดสอบที่ได้ไปวัดสมบัติเชิงแสง กล่าวคือ ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ในเยื่อและค่าความขาวสว่าง รวมถึงวัดสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีก และดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณการใช้โคโคซานและเซลลูโลสที่เหมาะสม รวมถึงระยะเวลาพักเยื่อที่เหมาะสม ที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดหมึกออกดีที่สุด

### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- 3.1.1 กระดาษ ขนาด A-4 ยี่ห้อ AA บริษัท Advance Agro ประเทศไทย
- 3.1.2 หมึกโทนเนอร์ ยี่ห้อ Hp รุ่น 49A สำหรับเครื่องพิมพ์ HP Laser Jet 1320n ประเทศญี่ปุ่น
- 3.1.3 เครื่องพิมพ์ HP Laser Jet 1320n บริษัท Hewlett-Packard Development Company ประเทศจีน
- 3.1.4 ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุล (MW) = 20,000-30,000 บริษัท Aquatic Nutrition Lab จำกัด ประเทศไทย
- 3.1.5 เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase enzyme) : Optimase™ CX 40L บริษัท สยามวิคตอรี เคมิคอล จำกัด ประเทศไทย
- 3.1.6 สารลดแรงตึงผิว : TD-730 (Non-ionic surfactant) บริษัท Lion ประเทศญี่ปุ่น
- 3.1.7 กรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) บริษัท Lab-Scan จำกัด ประเทศไทย
- 3.1.8 เครื่องตีกระจายเยื่อ (Pulper) ยี่ห้อ Formax รุ่น 450H บริษัท Adirondack Machine Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.9 เครื่องลอยฟองอากาศ ยี่ห้อ Voith รุ่น Delta 25 บริษัท Voith ประเทศเยอรมัน
- 3.1.10 เครื่องทำแผ่นกระดาษ (Sheet former) ยี่ห้อ PTI รุ่น RK-2A KWT บริษัท Paper Testing Association ประเทศออสเตรเลีย
- 3.1.11 เครื่องวัดค่าสภาพระบายได้ (Freeness tester) ยี่ห้อ Regmed รุ่น CF/A บริษัท Regmed ประเทศบราซิล
- 3.1.12 เครื่องวัดความขาวสว่างและปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (Brightness & ERIC tester) ยี่ห้อ Technidyne รุ่น Color-Touch PC บริษัท Technidyne Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา

- 3.1.13 เครื่องวัดค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Tear tester) ยี่ห้อ Pro Tear Electronic Elmendorf Tear Tester บริษัท Thwing-Albert instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.14 เครื่องวัดค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile tester) ยี่ห้อ Stograph รุ่น E-S บริษัท Toyo Seiki Seisaku-Sho จำกัด ประเทศญี่ปุ่น
- 3.1.15 เครื่องชั่ง (Balance) ยี่ห้อ GX-30K บริษัท A&D Co.,Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
- 3.1.16 เครื่องชั่งละเอียด 3 ตำแหน่ง (Balance) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PM 2500 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 3.1.17 เครื่องหาความชื้นของกระดาษ (Moisture balance) ยี่ห้อ Kett รุ่น FD-600 บริษัท Kett Electric Laboratory ประเทศญี่ปุ่น
- 3.1.18 ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ MMM รุ่น Venticell บริษัท MMM Medcenter Einrichtungen GmbH ประเทศเยอรมัน
- 3.1.19 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI 98128 บริษัท Hanna Instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา

### 3.2 วิธีการทดลอง

#### 3.2.1 ตอนที่ 1: การหาปริมาณโคโคซานที่เหมาะสม (ยังไม่ใช่เอโนไซม์)

3.2.1.1 นำกระดาษที่ผ่านการพิมพ์โชนเนอร์มาตีกระจายให้เป็นเยื่อ ก่อนที่จะนำไปกำจัดหมึกออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศ โดยขั้นตอนในการเตรียมเยื่อมีดังนี้

3.2.1.1.1 พิมพ์เอกสารภาพต้นฉบับลงบนกระดาษที่เตรียมไว้ โดยมีการควบคุมปริมาณหมึกพิมพ์ให้มีค่าเท่ากันทุกแผ่น เมื่อพิมพ์กระดาษเสร็จแล้ว นำกระดาษไปเก็บไว้ในห้องควบคุมสภาพจะเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์เป็นอย่างน้อย ก่อนที่จะนำมาทำการทดลอง โดยนำกระดาษที่ผ่านการเก็บแล้วมาทำการตัดให้มีขนาดประมาณ 2 ซม.X 2 ซม. แล้วนำไปแช่น้ำที่ความเข้มข้นเยื่อร้อยละ 5 ปิดฝาทิ้งไว้ 1 ชม. เพื่อให้กระดาษอ่อนตัว และเพื่อช่วยให้การตีเยื่อทำได้ง่ายขึ้น

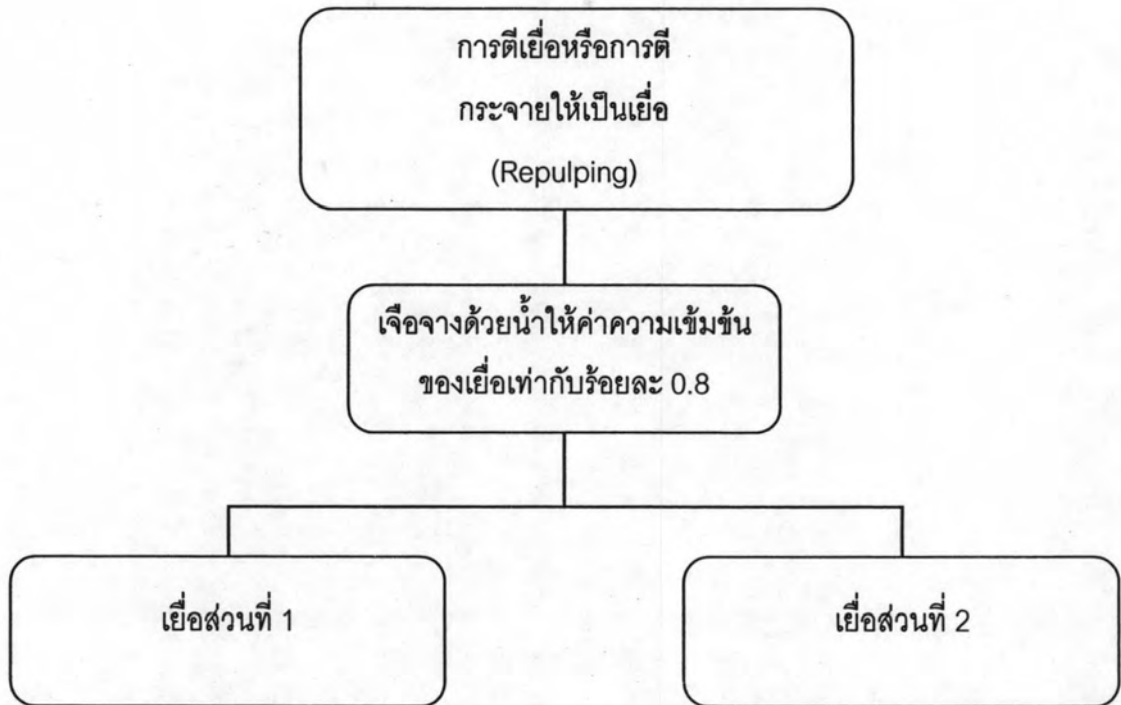
3.2.1.1.2 เมื่อครบเวลาในการแช่กระดาษ นำกระดาษมาตีกระจายให้เป็นเยื่อและเพื่อให้อนุภาคของหมึกแยกออกจากเส้นใย โดยใช้ความเข้มข้นของเยื่อในการตีเยื่อเท่ากับร้อยละ 5 เวลาในการตีเยื่อ 60 นาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราความเร็วรอบในการตีเยื่อของเครื่อง 300 รอบต่อนาที ค่า pH 5 (กำหนดการใช้ pH 5 เนื่องจากในการทดลองตอนที่ 2 มีการใช้เอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งเอนไซม์เซลลูเลสสามารถทำงานได้ดีในสภาวะที่ pH อยู่ในช่วง 4-5)

3.2.1.1.3 สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการตีเยื่อ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว (TD-730) ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) ความเข้มข้นร้อยละ 20 (เพื่อใช้ในการปรับ pH) และมีการใช้โคโคซานปริมาณร้อยละ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้งตามลำดับ โดยสารเคมีเหล่านี้ถูกใส่ลงไปพร้อมกันในเครื่องตีเยื่อ

3.2.1.1.4 ในระหว่างการตีเยื่อจะมีการหยุดเครื่องทุกๆ 5 นาที เพื่อทำการคนเยื่อในเครื่องตีเยื่อเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระดาษเกาะกันเป็นก้อน แต่หลังจากการตีเยื่อผ่านไป 30 นาทีแล้ว จะไม่มีการหยุดเครื่องและทำการตีเยื่อไปจนครบ 60 นาที

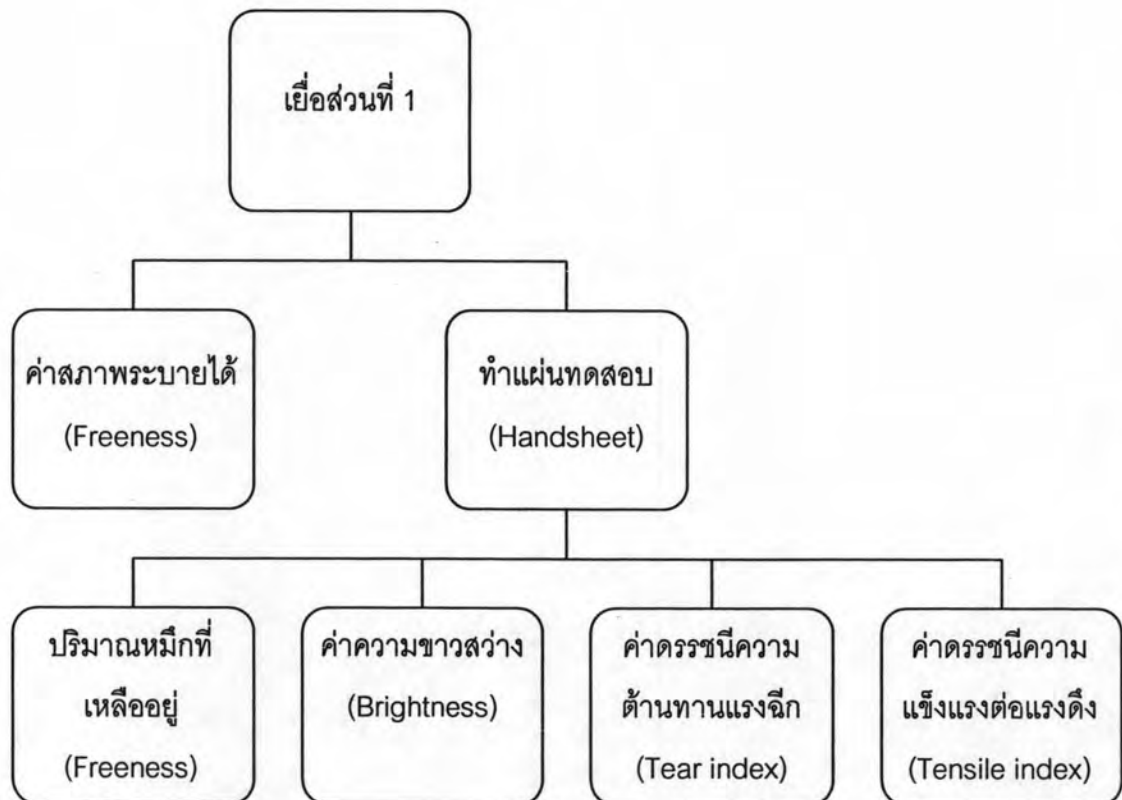
3.2.1.1.5 เมื่อตีเยื่อครบ 60 นาที เติมน้ำลงไป 1 ลิตร และปรับอุณหภูมิให้ถึง 90 องศาเซลเซียส ลดอัตราความเร็วในการตีเยื่อของเครื่องไปที่ 170 รอบต่อนาที เพื่อให้อุณหภูมิในเครื่องตีเยื่อสามารถเพิ่มระดับสูงขึ้นจนถึง 90 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิในเครื่องตีเยื่อถึง 90 องศาเซลเซียสแล้ว ทำการหยุดเครื่องแต่ยังคงตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 90 องศาเซลเซียสทิ้งไว้ 5 นาที ทั้งนี้เพื่อเป็นการทำตามการทดลองตอนที่ 2 ซึ่งมีการใช้เอนไซม์ โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูง 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาทีนั้น เพื่อเป็นการหยุดการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส

3.2.1.2. นำเยื่อที่ได้หลังจากขั้นตอนการตีเยื่อไปทำการเจือจางด้วยน้ำให้มีค่าความเข้มข้นของเยื่อเป็นร้อยละ 0.8 จากนั้นแบ่งเยื่อออกเป็น 2 ส่วน (รูปที่ 3-2)



รูปที่ 3-2 การเตรียมเยื่อก่อนเข้าสู่กระบวนการกำจัดหมึกออก

3.2.1.3 นำเยื่อส่วนที่ 1 (ไม่ผ่านกระบวนการกำจัดหมึกออก) ไปวัดค่าสภาพกระดาษได้ และนำเยื่อส่วนที่เหลือไปทำแผ่นทดสอบจำนวน 10 แผ่น เพื่อวัดปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ ค่าความขาวสว่าง ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีก และค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (รูปที่ 3-3)



รูปที่ 3-3 กระบวนการหลังการตีเยื่อของเยื่อส่วนที่ 1

3.2.1.4 นำเยื่อส่วนที่ 2 ไปเข้าสู่กระบวนการกำจัดหมึกพิมพ์ออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศโดยใช้อัตราการไหลของฟองอากาศ 4 ลิตรต่อนาที และใช้เวลาในการลอยฟองอากาศ 10 นาที จากนั้นนำเยื่อที่ผ่านการกำจัดหมึกออกแล้วมาทำการวัดค่าสภาพระบายได้ คำนวณค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ และนำส่วนที่เหลือไปทำแผ่นทดสอบจำนวน 10 แผ่น เพื่อวัดปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ ค่าความขาวสว่าง ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีก และค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (รูปที่ 3-4)

3.2.1.5 ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งทั้ง 4 สภาวะ ได้แก่ ไม่ใส่โคโคโตซานและใส่โคโคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ จากนั้นนำผลข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3-4 กระบวนการหลังการตีเยื่อของเยื่อส่วนที่ 2

3.2.1.6 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยใช้สถิติเพื่อหาปริมาณโคโตซานที่เหมาะสม และนำค่าปริมาณโคโตซานที่ได้ไปใช้ในการทดลองตอนที่ 2 ต่อไป

3.2.2 ตอนที่ 2: ศึกษาผลของการใช้โคโตซานและเซลลูเลสต่อประสิทธิภาพการกำจัดหมึกออก

3.2.2.1 นำกระดาษที่ผ่านการพิมพ์ด้วยโทนเนอร์มาทำการตีกระจายให้เป็นเยื่อ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการใช้โคโตซานและการใช้เซลลูเลสในการกำจัดหมึกออก โดยคำนึงถึงเวลาที่ทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา (Reaction time) หลังการตีเยื่อด้วย ดังนี้



ตารางที่ 3-1 การออกแบบการทดลองตอนที่ 2

ตัวแปร	ระดับต่ำ	ระดับสูง
ปริมาณโคโคซานที่ใช้ (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	0	ค่าที่เหมาะสม (จากขั้นตอนที่ 1)
ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	0.1	0.3
Reaction time (หลังตีเยื่อเป็นเวลา 60 นาที)	0 นาที	30 นาที

จากตารางที่ 3-1 สามารถออกแบบการทดลองได้  $2^3$  ได้เท่ากับ 8 สภาวะ ดังปรากฏในตารางที่ 3-2 และในการทดลองตอนที่ 2 นี้จะใช้สภาวะในการตีเยื่อเหมือนตอนที่ 1 คือ ใช้เวลาในการตีเยื่อ 60 นาที ค่า pH 5 และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังจากตีเยื่อเป็นเวลา 60 นาที และทิ้งให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยาจนครบกำหนดระยะเวลาแล้ว จะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งรายละเอียดการทดลองมีดังนี้

3.2.2.1.1 พิมพ์เอกสารภาพต้นฉบับลงบนกระดาษที่เตรียมไว้ โดยมีการควบคุมปริมาณหมึกพิมพ์ให้มีค่าเท่ากันทุกแผ่น เมื่อพิมพ์กระดาษเสร็จแล้ว นำกระดาษไปเก็บไว้ในห้องควบคุมสภาวะเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์เป็นอย่างน้อย ก่อนที่จะนำมาทำการทดลอง โดยนำกระดาษที่ผ่านการเก็บแล้วมาทำการตัดให้มีขนาดประมาณ 2 ซม. X 2 ซม. แล้วนำไปแช่น้ำที่ความเข้มข้นเยื่อร้อยละ 5 ปิดฝาทิ้งไว้ 1 ชม. เพื่อให้กระดาษอ่อนตัว และเพื่อช่วยให้การตีกระดาษให้เป็นเยื่อทำได้ง่ายขึ้น

3.2.2.1.2 เมื่อครบเวลาในการแช่กระดาษ นำกระดาษมาตีกระจายให้เป็นเยื่อและเพื่อให้อนุภาคของหมึกแยกออกจากเส้นใย โดยใช้ความเข้มข้นของเยื่อในการตีเยื่อเท่ากับร้อยละ 5 เวลาในการตีเยื่อ 60 นาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราความเร็วรอบในการตีเยื่อของเครื่อง 300 รอบต่อนาที ค่า pH 5

3.2.2.1.3 สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการตีเยื่อ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว (TD-730) ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) ความเข้มข้นร้อยละ 20 (เพื่อใช้ในการปรับ pH) และมีการใช้โคโคซานรวมถึงเอนไซม์เซลลูเลส ตามที่ปรากฏในตารางที่ 3-1 โดยสารเคมีเหล่านี้ถูกใส่ลงไปพร้อมกันในเครื่องตีเยื่อ

3.2.2.1.4 ในระหว่างการตีเยื่อจะมีการหยุดเครื่องทุกๆ 5 นาที เพื่อทำการคนเยื่อในเครื่องตีเยื่อเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนเกาะกันเป็นก้อน แต่หลังจากการตีเยื่อผ่านไป 30 นาทีแล้ว จะไม่มีการหยุดเครื่องและทำการตีเยื่อไปจนครบ 60 นาที จากนั้นทิ้งเยื่อไว้ตามเวลาที่กำหนดในตารางที่ 3-1 เพื่อให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา

3.2.2.1.5 เมื่อครบกำหนดเวลาที่ทิ้งเยื่อไว้หลังการตีเยื่อแล้ว ทำการเติมน้ำลงไป 1 ลิตร และปรับอุณหภูมิให้ถึง 90 องศาเซลเซียส ปรับอัตราความเร็วในการตีเยื่อของเครื่องไปที่ 170 รอบต่อนาที เพื่อให้อุณหภูมิในเครื่องตีเยื่อสามารถเพิ่มระดับสูงขึ้นจนถึง 90 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิในเครื่องตีเยื่อถึง 90 องศาเซลเซียสแล้ว ทำการหยุดเครื่องแต่ยังคงตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 90 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 5 นาที ทั้งนี้เพื่อเป็นการหยุดการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส

ตารางที่ 3-2 การทดลองทั้ง 8 สภาวะในการทดลองตอนที่ 2

สภาวะ	ปริมาณ Chitosan ที่ใช้ (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ (ร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง)	Reaction time หลังการตี กระจายเยื่อ (นาที)
1	0	0.1	0
2	0	0.1	30
3	0	0.3	0
4	0	0.3	30
5	ค่าที่เหมาะสม (จากขั้นตอนที่ 1)	0.1	0
6	ค่าที่เหมาะสม (จากขั้นตอนที่ 1)	0.1	30
7	ค่าที่เหมาะสม (จากขั้นตอนที่ 1)	0.3	0
8	ค่าที่เหมาะสม (จากขั้นตอนที่ 1)	0.3	30

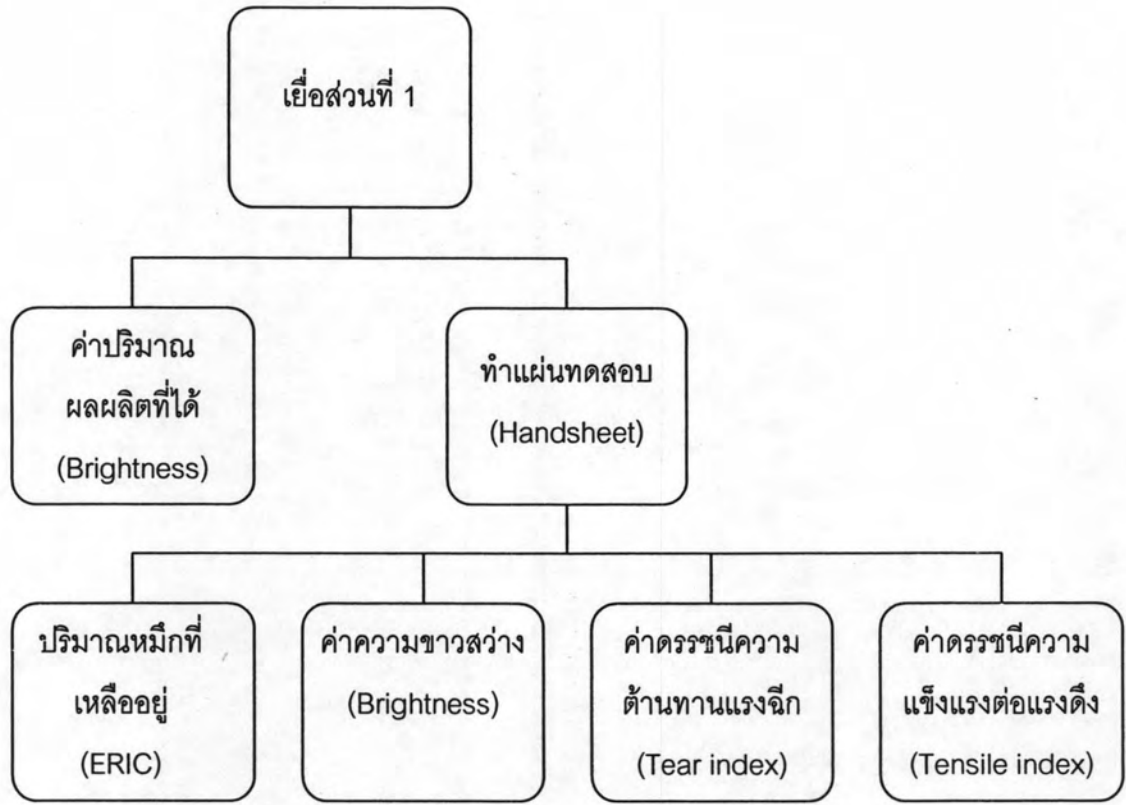
3.2.2.2 นำเยื่อที่ได้หลังจากขั้นตอนการตีเยื่อไปทำการเจือจางด้วยน้ำให้มีค่าความเข้มข้นของเยื่อเป็นร้อยละ 0.8 จากนั้นแบ่งเยื่อออกเป็น 2 ส่วน (รูปที่ 3-5)



รูปที่ 3-5 การเตรียมเยื่อก่อนเข้าสู่กระบวนการกำจัดหมึกออก (ตอนที่ 2)

3.2.2.3 นำเยื่อส่วนที่ 1 (ไม่ผ่านกระบวนการกำจัดหมึกออก) ไปวัดค่าสภาพกระดาษได้ และนำเยื่อส่วนที่เหลือไปทำแผ่นทดสอบจำนวน 10 แผ่น เพื่อวัดปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ ค่าความขาวสว่าง ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีก และค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (รูปที่ 3-6)

3.2.2.4 นำเยื่อส่วนที่ 2 ไปเข้าสู่กระบวนการกำจัดหมึกออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศโดยใช้อัตราการไหลของฟองอากาศ 4 ลิตรต่อนาที และใช้เวลาในการลอยฟองอากาศ 10 นาที จากนั้นนำเยื่อที่ผ่านการกำจัดหมึกออกแล้วมาทำการวัดค่าสภาพกระดาษได้ คำนวณค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ และนำส่วนที่เหลือไปทำแผ่นทดสอบจำนวน 10 แผ่น เพื่อวัดปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ ค่าความขาวสว่าง ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีก และค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (รูปที่ 3-7)



รูปที่ 3-6 กระบวนการหลังจากการตีกระจายเยื่อแล้วของเยื่อส่วนที่ 1 (ตอนที่ 2)

3.2.2.5 ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งทั้ง 8 สภาวะการทดลอง จากนั้นนำผล  
ข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาทำการวิเคราะห์โดยใช้สถิติต่อไป



รูปที่ 3-7 กระบวนการหลังการดีเยื่อของเยื่อส่วนที่ 2 (ตอนที่ 2)

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 คำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการกำจัดหมึกออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศ โดยคำนวณจากปริมาณน้ำเยื่อทั้งหมดที่ใส่ในเครื่องลอยฟองอากาศและปริมาณน้ำเยื่อที่ถูกกำจัดหมึกออกมาจากเครื่องลอยฟองอากาศ

3.3.2 นำเยื่อส่วนที่ได้จากการกำจัดหมึกออกและเยื่อในส่วนที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดหมึกออก ไปทำการวัดค่าสภาพระบายได้ (มาตรฐาน TAPPI T-227) และนำไปทำแผ่นทดสอบมาตรฐาน (มาตรฐาน ISO-5269/2)

3.3.3 นำแผ่นทดสอบทั้งหมด ไปวัดปริมาณของหมึกที่เหลืออยู่และค่าความขาวสว่างโดยใช้เครื่อง Technidyne color touch PC

3.3.3.1 ในการวัดค่าความขาวสว่างและปริมาณของหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่ ทำการวัดค่าทั้งด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นทดสอบ โดยวัดด้านละ 9 จุด วัดทั้งในแบบที่มีแผ่นทดสอบชนิดเดียวกันรองด้านหลังหลายแผ่น และแบบที่รองด้านหลังแผ่นทดสอบด้วยวัสดุสีดำ

3.3.3.2 ปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่ได้มาจากการวัดค่าการสะท้อนแสง ในช่วงอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 950 นาโนเมตร ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของหมึกจะมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของเส้นใยและองค์ประกอบอื่นๆ

3.3.4 นำแผ่นทดสอบทั้งหมดไปวัดค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกและความแข็งแรงต่อแรงดึง ตามลำดับ

3.3.5 นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ เพื่อศึกษาถึงผลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ปริมาณโคโตะซานที่ใช้ ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ และระยะเวลาที่พักเยื่อทิ้งไว้ให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยา ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดหมึกออก