

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

กระบวนการคราฟท์ (Kraft Process หรือ Sulfate Process) เป็นอุตสาหกรรมขั้นต้นของการผลิตกระดาษ โดยใช้วิธีทางเคมีในการต้มเยื่อเพื่อแยกเส้นใย จากนั้นจึงผ่านกระบวนการฟอกขาว ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตกระดาษ สำหรับขั้นตอนการนำสารเคมีกลับคืน (Chemical recovery process) ซึ่งเป็นส่วนที่นำสารเคมีในการต้มเยื่อกลับมาใช้ใหม่ จะทำให้เกิดเถ้าขาว (recovery boiler ash: RBA) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำยาต้มเยื่อที่ทำปฏิกิริยากับลิกนินแล้ว เถ้าเหล่านี้จะถูกเครื่องดักฝุ่นไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator) ดักไว้ ซึ่งเถ้าขาวมีลักษณะเป็นฝุ่นผงสีขาวคล้ายแป้ง ฟุ้งกระจายได้ง่าย ละลายน้ำได้ดี จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของเถ้าขาว พบว่ามีองค์ประกอบหลักเป็น โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ร้อยละ 80 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ร้อยละ 5 และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่เหลือเป็นเศษกรวดและทราย สำหรับการจัดการเถ้าของโรงเยื่อส่วนใหญ่จะนำมาฝังกลบและยังไม่มีหรือนำมาใช้ประโยชน์ การฝังกลบในบริเวณที่เปิดโล่ง ทำให้เกิดการชะล้างของเกลือละลายลงสู่ดินและทำให้เกิดปัญหาดินเค็ม นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาฝุ่นฟุ้งกระจายไปยังบริเวณข้างเคียง จากการศึกษาพบว่า โซเดียมซัลเฟตสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ โดยทำหน้าที่เป็นสารช่วยย้อมในสีย้อมรีแอคทีฟ (reactive dye) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำโซเดียมซัลเฟตจากของเสียในการผลิตเยื่อกระดาษมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการย้อมผ้าไหม โดยศึกษาวิธีนำโซเดียมซัลเฟตกลับคืนจากของเสียในการผลิตเยื่อกระดาษมาหมุนเวียนใช้ใหม่ด้วยวิธีการตกผลึก (crystallization) และวิธีการระเหยแห้ง (evaporation) และหาภาวะที่เหมาะสมในการนำโซเดียมซัลเฟตจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษมาเป็นสารช่วยย้อมในการย้อมไหมด้วยสีย้อมรีแอคทีฟ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดภาระการบำบัดของเสียจากการผลิตเยื่อกระดาษ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ของเสีย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำของเสียจากโรงเยื่อกระดาษมาใช้ในกระบวนการย้อมสีไหม
2. ลดภาระการบำบัดของเสียของโรงเยื่อกระดาษ

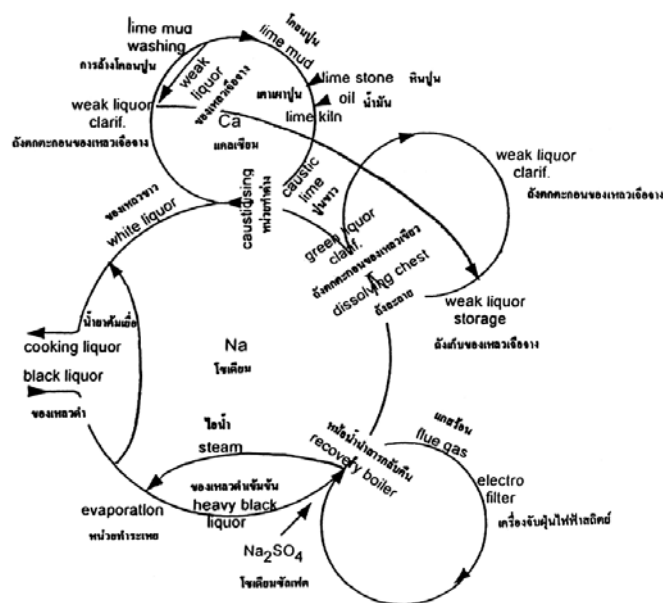
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการนำโซเดียมซัลเฟตกลับคืนจากของเสียอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษด้วยวิธีการตกผลึก (Crystallization) และวิธีการระเหยแห้ง (Evaporation)
2. ตรวจสอบความบริสุทธิ์และสมบัติเชิงคุณภาพและปริมาณของโซเดียมซัลเฟตที่สกัดได้
3. ทดลองหาภาวะที่เหมาะสมในการนำโซเดียมซัลเฟตจากโรงเยื่อกระดาษมาใช้เป็นสารช่วยย้อมในการย้อมผ้าไหมด้วยสีรีแอคทีฟ
4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารช่วยย้อมโซเดียมซัลเฟตที่ได้จากกากขาวกับโซเดียมซัลเฟตทางการค้า โดยการวัดร้อยละของสีที่ย้อมติดไหมด้วย UV-Vis Spectrometer และวัดความเข้มของสีบนผ้าหลังการย้อมด้วย Colorimeter

1.4 ทฤษฎีและแนวคิดในการทำวิจัย

1.4.1 การผลิตเยื่อคราฟท์ (Kraft Process)

การผลิตเยื่อคราฟท์เริ่มครั้งแรกในปี ค.ศ. 1884 โดยชาวเยอรมัน [4] การค้นพบนี้ทำให้อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก เพราะเยื่อที่ได้มีคุณภาพสูงกว่าวิธีการผลิตเยื่อชนิดอื่น ๆ และเยื่อที่ได้มีความเหนียวมาก การผลิตเยื่อคราฟท์ใช้สารเคมีหลัก 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) โดยสามารถอธิบายได้ด้วยไดอะแกรม (Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 1 กระบวนการผลิตถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การผลิตเยื่อ (Fiber Line) ที่เป็นส่วนที่ทำให้ไม้กลายเป็นเยื่อกระดาษสำหรับนำไปผลิตกระดาษ และการนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery) ซึ่งเป็นส่วนที่นำสารเคมีในการต้มเยื่อกลับมาใช้ใหม่และผลิตพลังงานด้วย [2]



รูปที่ 1.1 ไคอะแกรมการผลิตเยื่อกราฟท์ [2]

1.4.1.1 การผลิตเยื่อ (Fiber Line)

เริ่มจากการกะเทาะเปลือกไม้ทำให้คุณภาพเยื่อกระดาษที่ได้ดีขึ้น โดยการกำจัดส่วนที่ไม่มีประโยชน์ในการผลิตเยื่อ มีสิ่งเจือปนมาก มีสีคล้ำ และยางไม้ตก จากนั้นจึงทำการสับชิ้นไม้ให้เป็น ชิ้นไม้สับ (Wood Chip) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของเนื้อไม้ ทำให้น้ำยาต้มเยื่อซึมเข้าสู่เนื้อไม้มากขึ้น เป็นผลให้การแยกลิกนิน (Lignin) จากเนื้อไม้เกิดได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ชิ้นไม้สับที่ไม่ได้ขนาดจะถูกกำจัดออกไป ก่อนเข้าสู่หม้อต้มเยื่อ (Digester) ที่มีอุณหภูมิประมาณ 130-170 องศาเซลเซียส และความดันสูงกว่าบรรยากาศ น้ำยาต้มเยื่อจะซึมเข้าสู่ชิ้นไม้สับ และเกิดปฏิกิริยากับลิกนิน ทำให้ลิกนินละลายออกมาอยู่ในน้ำยาต้มเยื่อ ชิ้นไม้สับที่ถูกต้มแล้วจะแยกออกเป็นเส้นใยอิสระ เนื่องจากความดันภายนอกต่ำกว่าความดันในหม้อต้มเยื่อ เยื่อที่ระบายออกมาจากหม้อต้มเยื่อประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็ง ได้แก่ เส้นใย ชิ้นไม้สับที่ต้มไม่สุก กลุ่มเส้นใย สิ่งเจือปนต่างๆ และส่วนที่เป็นของเหลว คือ น้ำยาที่เหลือจากการต้มเยื่อ สำหรับการผลิตเยื่อกราฟท์ของเหลวนี้เรียกว่า ของเหลวดำ (Black Liquor) ดังสมการที่ 1.1 [4] ของเหลวดำประกอบด้วยน้ำและสารอินทรีย์ซึ่งได้แก่ องค์ประกอบในเนื้อไม้ที่ละลายออกมาระหว่างการต้มเยื่อ ส่วนใหญ่เป็นลิกนินและสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อ โดยต้องแยกของเหลวดำออกจากเยื่อ เนื่องจากต้องนำเยื่อไปผ่านขั้นตอนการกำจัดลิกนิน (Lignin) เพื่อให้ได้เยื่อที่ขาวขึ้น ถ้าไม่แยกของเหลวดำออก จะทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีในการฟอกเยื่อ และของเหลวดำมีสารเคมีที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ จึงต้องแยกเพื่อนำของเหลวดำที่ได้เข้าสู่ระบบการนำสารเคมีกลับคืน



การแยกลิกนินจากเส้นใยด้วยออกซิเจน (Oxygen-Delignification) เริ่มขึ้นในหม้อต้มเยื่อ ลิกนินจะถูกทำให้แตกตัวและละลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ที่เกิดขึ้นระหว่างออกซิเจน (O_2) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ออกซิเจนถูกส่งมาจากโรงงานผลิตออกซิเจน ส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้มาจาก *ของเหลวขาว* (White liquor) ที่ถูกออกซิไดซ์ (Oxidize) ก่อน เพื่อให้โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ในของเหลวขาวกลายเป็นโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ดังสมการที่ 1.2 [5] เพื่อลดการสูญเสียเซลลูโลส (Cellulose)



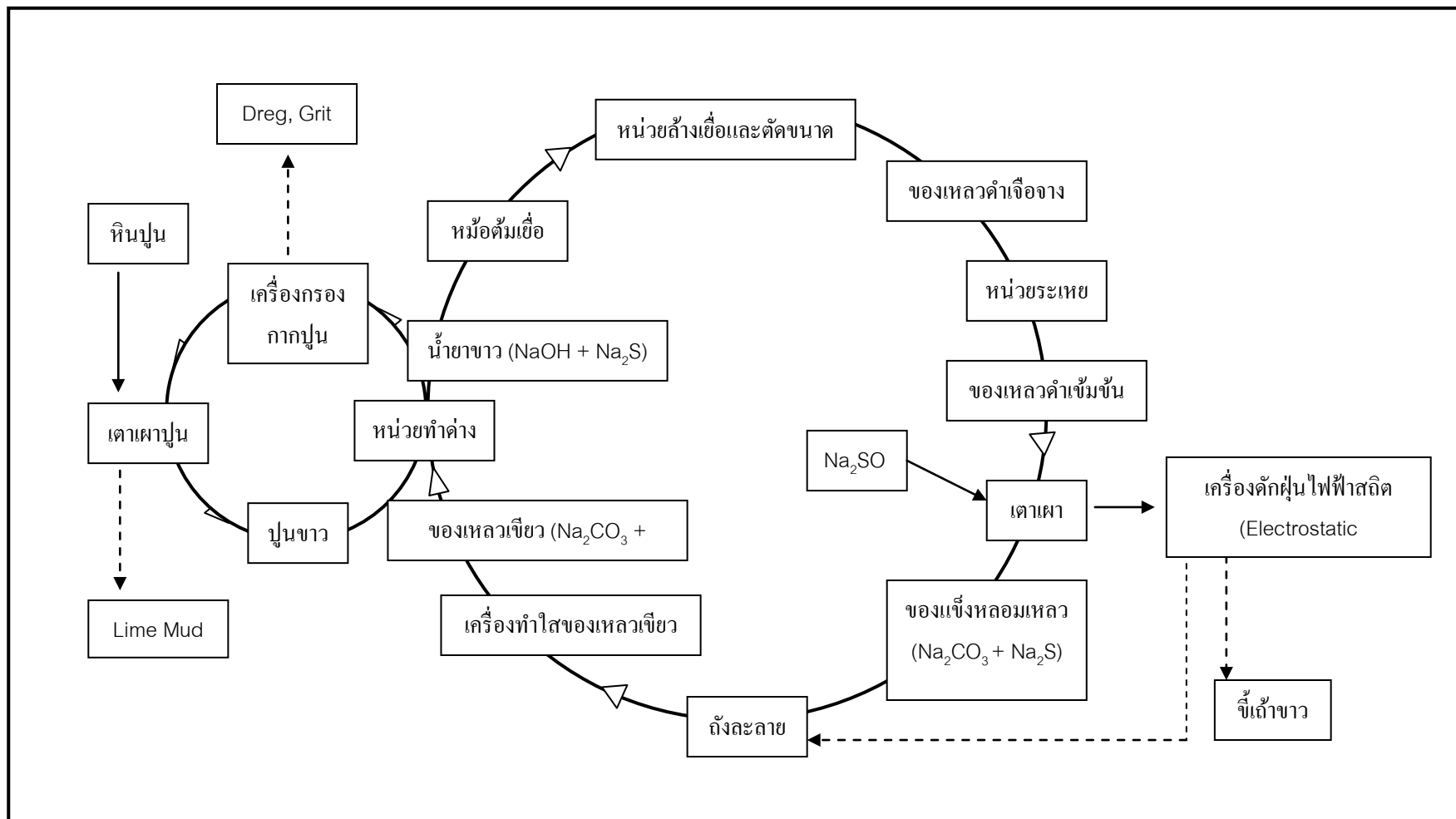
ขั้นตอนต่อไปคือการฟอกเยื่อ ซึ่งเป็นวิธีการที่จะได้เยื่อที่มีความขาวสว่างสูง การฟอกเยื่อมีมาตั้งแต่ปี 1920 โดยเริ่มจากการฟอกด้วยสาร ไฮโปคลอไรต์ ($\text{NaOCl} \cdot \text{Ca}(\text{OCl})$) เพียงขั้นตอนเดียว วิธีนี้ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงลดลง และเยื่อที่ได้ก็มีความขาวสว่างต่ำ ในปัจจุบันยังไม่มีสารเคมีหรือวิธีการใดที่สามารถฟอกเยื่อให้ขาวได้ภายในขั้นตอนเดียว จำเป็นต้องใช้สารเคมีหลายตัวและการฟอกหลายขั้นตอนซึ่งอาจมากถึง 5-6 ขั้นตอน โดยใช้สารเคมีหลายชนิด เช่น คลอรีน (Cl_2), ไฮโปคลอไรต์ ($\text{NaOCl} \cdot \text{Ca}(\text{OCl})$), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ในการสกัด (Extraction)), คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2), เปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และออกซิเจน (O_2)

กระบวนการฟอกเยื่อเป็นกระบวนการที่มีน้ำทิ้งออกจากระบบมากที่สุดในการผลิตเยื่อกระดาษ จึงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก การฟอกเยื่อสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

1. การฟอกเยื่อแบบทั่วไป (Conventional Bleaching) เป็นการฟอกเยื่อแบบเดิม สารเคมีฟอกเยื่อหลัก คือ แก๊สคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) ซึ่งเป็นสารฟอกที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ปัญหาของการฟอกเยื่อแบบนี้ คือ การเกิดสาร AOX (Absorbable Organic Halogen) ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างสารอินทรีย์ (เช่น เบนซีน C_6H_6) และคลอรีน (Cl_2) สารกลุ่มนี้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก ในปี 1985 มีการพบสารไดออกซิน (Dioxin) ในตะกอนและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อที่ใช้แก๊สคลอรีน (Cl_2) ฟอกเยื่อ ปัจจุบันไม่มีการใช้แก๊สคลอรีน (Cl_2) ในการฟอกเยื่อ

2. การฟอกเยื่อที่ไม่ใช้แก๊สคลอรีน (Elementary Chlorine Free : ECF) เป็นการฟอกเยื่อที่ใช้สารประกอบคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) เป็นสารฟอกที่อ่อนกว่าแก๊สคลอรีน (Cl_2) และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้แก๊สคลอรีน (Cl_2) มักใช้ร่วมกับสารเคมีฟอกเยื่อตัวอื่นด้วย เช่น ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โอโซน (O_3) เป็นต้น การฟอกเยื่อแบบนี้เป็นการฟอกเยื่อที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบัน
3. การฟอกเยื่อที่ไม่ใช้คลอรีน (Total Chlorine Free : TCF) เป็นการฟอกเยื่อที่ไม่ใช้สารเคมีฟอกเยื่อที่มีองค์ประกอบของคลอรีน แต่จะใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นสารเคมีฟอกหลัก การฟอกแบบนี้เยื่อที่ได้มีความขาวต่ำกว่าการฟอกเยื่อแบบอื่น

ในขั้นตอนการล้างเยื่อ จะได้ของเหลวดำเจือจาง ความเข้มข้นร้อยละ 17-20 (ของแข็ง 17-20 กิโลกรัมในของเหลวดำเจือจาง 100 กิโลกรัม) ในของเหลวดำนี้ ประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ ประมาณร้อยละ 80-83 ที่เหลือเป็นของแข็งซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่มาจากเนื้อไม้ ประกอบด้วยลิกนิน (Lignin) เป็นส่วนใหญ่ และเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemi-cellulose) นอกนั้นเป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ โซเดียม (Na) และกำมะถัน (S) สารเหล่านี้มาจากน้ำยาต้มเยื่อหรือของเหลวขาว หลังจากทำปฏิกิริยากับลิกนิน (Lignin) แล้ว สารเคมีเหล่านี้จะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 1.2 เนื่องจากสารเคมีเหล่านี้มีราคาแพง การทิ้งสารเคมีเหล่านี้ออกไปนอกระบบ นอกจะทำให้ต้นทุนในการผลิตเยื่อสูงแล้วยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากด้วย จึงต้องมีกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ [2]



รูปที่ 1.2 วัฏจักรการนำสารเคมีกลับคืน [2]

1.4.1.2 การนำสารเคมีกลับคืน

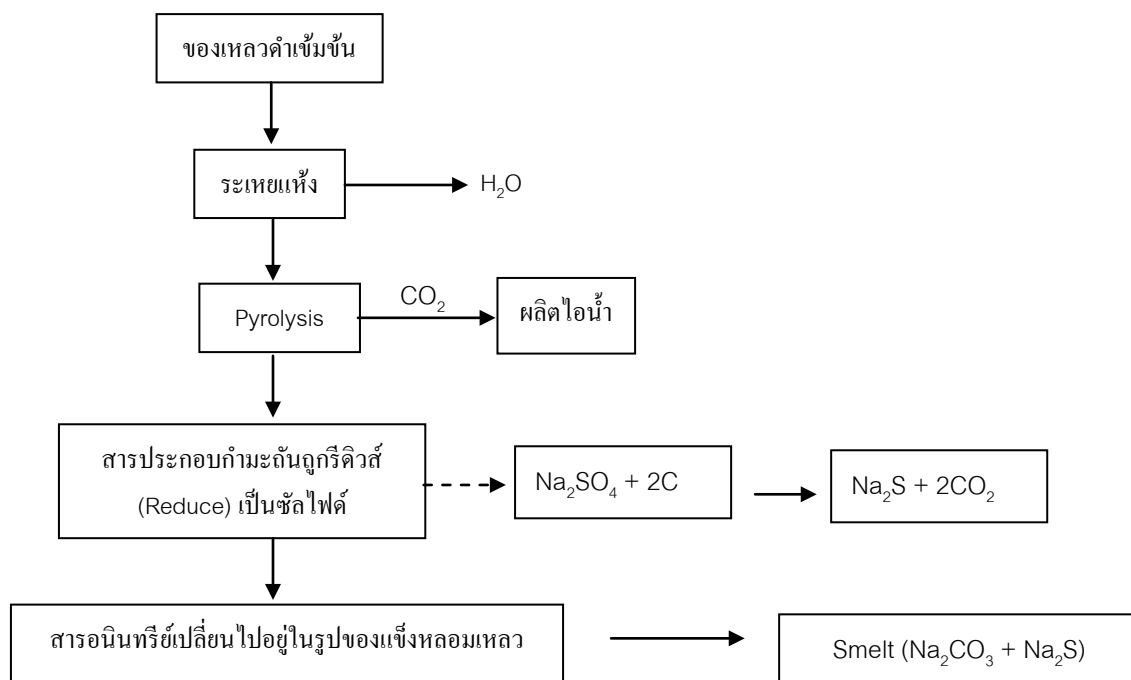
การนำสารเคมีกลับคืนมีวัตถุประสงค์เพื่อ ทำลายสารอินทรีย์ที่ละลายจากเนื้อไม้ระหว่างการต้มเยื่อ ซึ่งเป็น การลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์งานความร้อนในรูปของไอน้ำซึ่งสามารถนำไปใช้ในส่วนต่างๆ ของโรงงาน รวมถึงการผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนั้นสามารถผลิตโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อนำมาใช้ ผลิตของเหลวขาว และเปลี่ยนสารประกอบกำมะถันในของเหลวดำเป็นโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เพื่อนำ กลับมาใช้ใหม่ โดยมีองค์ประกอบของกระบวนการ ดังนี้

1) การทำระเหย

การทำระเหย คือ การทำให้ของเหลวดำเจือจางมีความเข้มข้นมากขึ้น จากความเข้มข้นร้อยละ 17-20 เป็น ร้อยละ 69-73 เพื่อให้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อน้ำนำสารเคมีกลับคืน ของเหลวดำเจือจางจาก การล้างเยื่อมีความเข้มข้นร้อยละ 17 ถ้าคิดปริมาตรต่อของแข็งแห้ง 1 ตัน จะมีของเหลวดำเจือจาง 5.88 ตัน หลังจากผ่านการทำระเหยได้ของเหลวดำเข้มข้นร้อยละ 70 จำนวน 1.43 ตัน

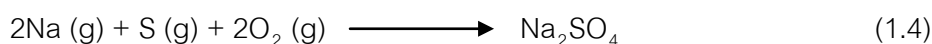
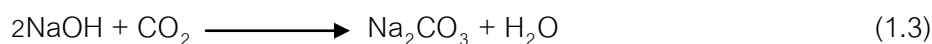
2) หม้อน้ำสารกลับคืน (Recovery Boiler)

ของเหลวดำเข้มข้นที่ออกจากหน่วยทำระเหย จะถูกเผาในหม้อน้ำนำสารกลับคืน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหม้อ น้ำนำสารกลับคืน สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1.3

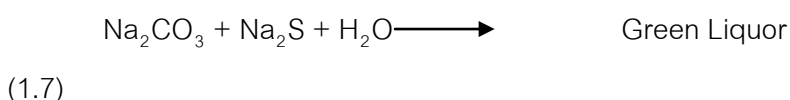
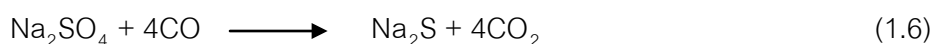
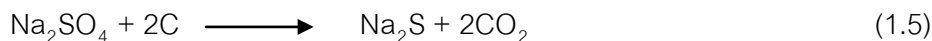


รูปที่ 1.3 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหม้อน้ำนำสารกลับคืน [4]

ในการต้มเยื่อ ต่างทั้งหมดในของเหลวขาวทำปฏิกิริยากับลิกนิน (Lignin) กลายเป็นสารประกอบ และละลายในของเหลวดำ ของเหลวดำเข้มข้นจะถูกฉีดเป็นฝอยเข้าไปในเตา น้ำในของเหลวดำจะเริ่มระเหย สารอินทรีย์เริ่มเผาไหม้ ให้ความร้อนออกมา โซเดียมในของเหลวดำทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กลายเป็นโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) หรือโซดาแอช ดังสมการที่ 1.3 [6] กำมะถันทำปฏิกิริยากับโซเดียม และออกซิเจนกลายเป็นโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ดังสมการที่ 1.4 [7]



ที่ด้านล่างของหม้อนำสารกลับคืน มีอุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส และมีออกซิเจนน้อย มีการเผาไหม้เกิดขึ้นบางส่วน โซเดียมซัลเฟตถูกรีดิวส์เป็นโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ดังสมการที่ 1.5 และสมการที่ 1.6 [7] สารเคมีที่ได้นี้อยู่ในรูปของแข็งหลอมเหลว (Smelt: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{S}$) ซึ่งไหลลงถังละลาย (Dissolving Tank) ด้านล่าง ในถังละลายมีน้ำล้างเชื้อจากอยู่ เมื่อของแข็งหลอมเหลวสัมผัสกับน้ำล้างเชื้อจากของแข็งหลอมเหลวจะละลาย สารละลายที่ได้มีสีเขียวอ่อน เรียกว่า ของเหลวเขียว (Green Liquor) ดังสมการที่ 1.7 [4] ของเหลวเขียวประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก คือ โซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 70 และโซเดียมซัลไฟด์ร้อยละ 27 เหลือเป็นสารเคมีอื่นรวมทั้งคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมดด้วย



ความร้อนในแก๊สร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สารอินทรีย์ถูกถ่ายเทให้กับน้ำในท่อน้ำเดือด เพื่อนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า แก๊สร้อนที่เหลือจะเข้าสู่เครื่องดักฝุ่นไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator) เพื่อดักฝุ่นหรือเถ้าจากการเผาไหม้ ฝุ่นหรือเถ้าเหล่านี้เป็นสารประกอบโซเดียมและกำมะถัน สามารถนำกลับมาใช้ในระบบวนการได้ ซึ่งในการศึกษานี้จะนำเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้กากของเสียในขั้นตอนนี้ไปใช้ในการทดลอง

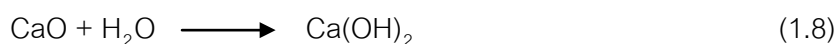
ในปี 1995 Paul F. E. David D. และ Jean C. P. ได้ศึกษาการกำจัดคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ (Cl^-) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (K^+) จากกระบวนการนำสารกลับคืนในการผลิตเยื่อกระดาษ โดยใช้วิธีการตกผลึก (Crystallization) และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ให้สารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ

3.2 ซึ่งวิธีนี้จะกำจัดคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ได้ประมาณร้อยละ 90 และกำจัดโพแทสเซียมไอออน (K^+) ได้ประมาณร้อยละ 60-85 แล้วยังจะได้โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) กลับคืนมาประมาณร้อยละ 80-90 [8]

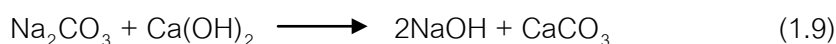
ในปี 2005 Toumas V. ได้ทำการศึกษาการเกิดผลึกของโซเดียมไอออน (Na^+) โพแทสเซียมไอออน (K^+) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) จากเกลือที่ได้จากเครื่องดักฝุ่นไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) ในกระบวนการนำสารกลับคืนจากการผลิตเยื่อกระดาษ เพื่อป้องกันการเกิดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการในกระบวนการผลิต โดยเน้นที่การศึกษากำจัดคลอไรด์ไอออน (Cl^-) วิธีที่ใช้ศึกษา คือ Crystallization, Leaching, Liquid-liquid Extraction, Electrodialysis และ Ion-Exchange ผลคือ วิธี Crystallization เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัด เพราะเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด และเทคโนโลยีไม่มากเท่าวิธีอื่น และสามารถกำจัดคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ได้ถึงร้อยละ 90 [9]

3) หน่วยทำต่าง (Recausticizing)

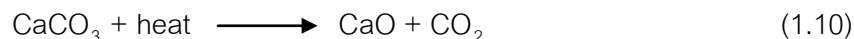
หน้าที่ของหน่วยทำต่าง คือ การเปลี่ยนโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในของเหลวเยียวมีสิ่งเจือปน ได้แก่ Dreg (คาร์บอนที่ไม่ติดไฟ) ต้องมีการกำจัดออกก่อนโดยการตกตะกอน Dreg จะตกตะกอนอยู่ด้านล่าง และของเหลวเยียวใสจะล้นออกทางด้านบนเข้าสู่เครื่องแตกตัวหินปูน (Lime Slaker) Dreg จากถังตกตะกอนจะถูกปั๊มไปยังเครื่องกรอง เพื่อล้างของเหลวเยียวที่ติดไปด้วย นำกลับมาใช้ใหม่ น้ำจากการล้างซึ่งมีของเหลวเยียวปนอยู่ เรียกว่า ของเหลวเจือจาง (Weak Liquor) ซึ่งจะถูกส่งไปเก็บ และใช้ในถังละลาย ส่วน Dreg จะถูกทิ้งออกนอกระบบ ในเครื่องแตกตัวหินปูน ปูนขาวหรือแคลเซียมออกไซด์ (Lime, Burnt Lime, Quick Lime : CaO) จะถูกป้อนเข้ามา ปูนขาวเมื่อสัมผัสกับของเหลวเยียวจะแตกตัวเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ดังสมการที่ 1.8 [6] ปูนขาวที่ไม่แตกตัวเรียกว่า Grit จะถูกแยกออกไปทิ้ง ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์และของเหลวเยียวจะถูกปั๊มไปยังถังทำปฏิกิริยา (Recausticizing Tank)



ในถังทำปฏิกิริยาของเหลวเยียวทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) กลายเป็นของเหลวขาวโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) กลายเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ดังสมการที่ 1.9 [6] ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) หลังจากทำปฏิกิริยาจะกลายเป็นหินปูน หรือแคลเซียมคาร์บอเนต (Lime Stone, Calcium carbonate : CaCO_3)



ของเหลวขาวที่ได้จะถูกปั๊มไปที่เครื่องกรองเพื่อแยกหินปูนออก เนื่องจากหินปูนที่แยกออกมามีลักษณะคล้ายโคลน จึงเรียกหินปูนที่แยกออกมาว่า *โคลนปูน (Lime Mud)* ของเหลวขาวเมื่อผ่านการกรองแล้วจะถูกนำไปใช้ในการต้มเยื่อต่อไป ส่วนโคลนปูนจะถูกล้างเพื่อนำเข้าสู่เตาปูน หินปูนจะถูกเผาและเปลี่ยนเป็นปูนขาว ดังสมการที่ 1.10 [4] แล้วนำกลับไปใช้ในหน่วยทำด่าง

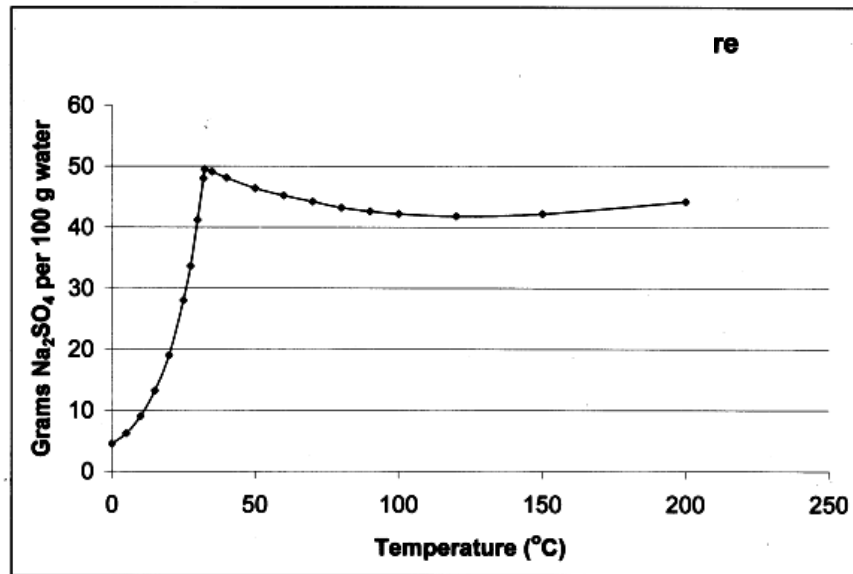


1.4.2 การตกผลึก (Crystallization)

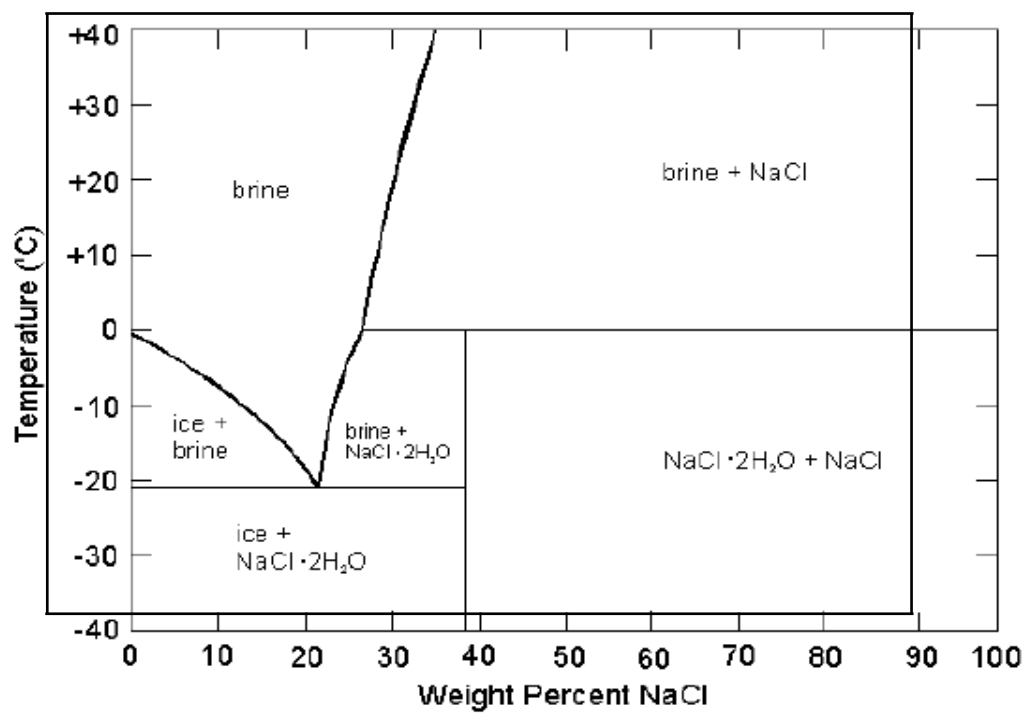
การตกผลึกเป็นวิธีที่สำคัญที่สุด และมีประโยชน์วิธีหนึ่งในการทำสารที่เป็นของแข็งให้บริสุทธิ์ โดยการเปลี่ยนของแข็งในรูปต่างๆ ให้เป็นรูปผลึก กระบวนการตกผลึกซับซ้อนมาก และพบว่าโมเลกุลของสารแต่ละประเภทจะมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป สารส่วนใหญ่จะละลายในตัวทำละลาย (Solvent) ที่ร้อนหรือที่อุณหภูมิสูงกว่าในตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นเมื่อทำให้สารละลายอิ่มตัว (Saturated solution) ที่อุณหภูมิสูงเย็นตัวลง จะทำให้สารแยกตัวออกมาจากสารละลายในรูปของแข็ง กระบวนการนี้เรียกว่า *การตกผลึก* [11]

การตกผลึกเป็นการนำสารที่เป็นของแข็งที่จะทำให้บริสุทธิ์ไปละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิสูงหรือที่จุดเดือดของตัวทำละลายนั้นจนกระทั่งได้สารละลายอิ่มตัว กรองสารละลายเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่ไม่ละลายในตัวทำละลายออก แล้วปล่อยให้สารละลายที่กรองได้ (Filtrate) เย็นลง เพื่อให้สารค่อยๆ ตกผลึกออกมา สารที่ตกผลึกแยกออกมานั้นจะเป็นสารที่ต้องการเพียงสารเดียวเท่านั้น ส่วนสารอื่นๆ ที่เจือปนจะยังคงอยู่ในสารละลายที่เหลือ (Mother liquor) ล้างผลึกด้วยตัวทำละลายที่เย็นเพื่อกำจัดสิ่งเจือปน และสารอื่นๆ ที่เจือปนอยู่ในสารละลายที่เหลือที่ติดที่ผิวออก แล้วทำให้ผลึกแห้งเพื่อกำจัดตัวทำละลายที่เหลือให้หมด

การที่สารชนิดต่างๆ ละลายในตัวทำละลายชนิดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันได้ไม่เท่ากัน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแยกสารที่ต้องการออกจากสารละลายผสม ยกตัวอย่าง เช่น การแยกโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) จากสารละลายของเกลือ 2 ชนิด คือ โซเดียมซัลเฟต และโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากรูปที่ 1.4 และ 1.5 เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงความสามารถในการละลายของโซเดียมซัลเฟตจะลดต่ำลงด้วย และละลายได้น้อยมากที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส ขณะที่โซเดียมคลอไรด์ยังอยู่ในรูปสารละลายที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จากความแตกต่างของความสามารถในการละลายนี้ทำให้สามารถแยกโซเดียมซัลเฟต ออกจากสารละลายผสมโซเดียมซัลเฟตกับโซเดียมคลอไรด์ได้ โดยทำการตกผลึกที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 1.4 ความสามารถในการละลายของโซเดียมซัลเฟตในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ [12]



รูปที่ 1.5 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในเกลือที่อุณหภูมิต่างๆ [13]

ในปี 2001 Jiyeon และ Gang ทำการทดลองเกี่ยวข้องกับการแยกโซเดียมซัลเฟตออกจากเกลือที่ถูกระบายทิ้ง โดยอาศัยหลักความสามารถในการละลาย ซึ่งเป็นการลดปัญหาเกลือที่ถูกระบายทิ้งจากไรนา ที่ San Joaquin Valley ใน California โดยการนำเกลือที่ระบายทิ้งมาตากแห้ง ละลายน้ำจนสารละลายอิ่มตัว ทำการตกผลึก (Crystallization) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เพื่อแยกโซเดียมซัลเฟตออกจากสารละลายเกลือ ความบริสุทธิ์ของโซเดียมซัลเฟตที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 67 ถึง 99.91 เมื่อนำไปใช้เป็นสารช่วยย้อมในการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสีย้อมแอคทีฟ พบว่าสามารถนำมาใช้เป็นสารช่วยย้อมได้ แต่ความคงทนของสีหลังการย้อมจะเปลี่ยนไปเนื่องจากแคลเซียมไอออน (Ca^{+}) ที่มีอยู่ของเสียเกษตรกรรม [14]

1.4.3 การย้อมสีสิ่งทอ

การย้อมสี (Dyeing) คือ การทำให้วัสดุสิ่งทอมีสีติด ซึ่งสีย้อมจะต้องมีความสามารถในการติดสีกับเส้นใย หรือมีประจุที่ต่างกันทำให้สามารถยึดเหนี่ยวกันได้ หรืออาจมีประจุเดียวกันแต่เติมสารอื่นๆ เพื่อลดประจุบนเส้นใยทำให้สีติดบนเส้นใยได้ [15]

กลไกการย้อมเกิดดังนี้ คือ

1. การเคลื่อนตัวของสีย้อมจากน้ำย้อมมายังผิวหน้าของเส้นใย
2. การดูดซับสีเข้าไปภายในผิวหน้าของเส้นใย
3. การแพร่ของสีภายในเส้นใย เพื่อเข้าไปยังใจกลางของเส้นใย

การย้อมสีวัสดุสิ่งทอนั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยประสิทธิภาพในการย้อมสีพิจารณาจาก [16]

1. ความสม่ำเสมอของเฉดสี (Levelling dyeing) และลดปัญหาการย้อมซ้ำ (Redyeing)
2. ความคงทนของสีต่อกระบวนการผลิตหลังย้อม และเมื่อนำไปใช้งาน เช่น กระบวนการตกแต่งสำเร็จ (Finishing process) เป็นต้น
เส้นใย

กระบวนการย้อมสิ่งทอ แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ [15]

1.4.3.1 การย้อมแบบแช่หรือดูดซึม (Immersion or Exhaustion Dyeing)

การย้อมแบบดูดซึมเป็นการย้อมวัสดุตามน้ำหนักที่กำหนด และมีการเติมสีตามน้ำหนักที่ต้องการ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

1) การเตรียมการย้อม

การย้อมที่ดี คือ ทำให้เกิดการแตกต่างและเกิดการย้อมซ้ำน้อยที่สุด การตรวจวัดสีย้อม ตลอดจนอัตราส่วนระหว่างวัสดุย้อมกับน้ำย้อม (Liquor ratio, L :R) จะต้องตรวจอย่างแม่นยำ และบันทึกข้อมูลสำหรับการย้อมในครั้งต่อไป สารช่วยย้อมจะใช้เมื่อจำเป็น หน้าที่ของสารช่วยย้อมมี 2 อย่าง คือ ช่วยให้สีดูดซึมเข้าไปในเส้นใยให้ได้มากที่สุด หรือเป็นสารช่วยหน่วงไม่ให้สีย้อมดูดซึมเข้าไปในเส้นใยเร็วเกินไป สีย้อมก่อนจะนำไปย้อมต้องทำให้เป็นสารละลายเข้มข้นก่อนที่จะเติมลงในเครื่องย้อม สีย้อมที่ละลายไม่หมดจะทำให้เกิดการย้อมไม่สมบูรณ์ จึงควรทำการกรองสารละลายสีย้อม สารช่วยย้อมและสีย้อมต้องเตรียมแยกกัน [18]

2) อิทธิพลที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของสี (Dye-Fiber Substantivity)

อิทธิพลที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของสีสามารถแบ่งได้ ดังนี้

1. โครงสร้างของเส้นใย
2. โครงสร้างของโมเลกุลสี
3. การควบคุมอุณหภูมิการย้อม
4. ความเป็นกรด-ด่าง
5. อัตราส่วนระหว่างวัสดุสิ่งทอกับน้ำย้อม (Liquor ratio, L :R)
6. สารช่วยย้อม
7. อัตราการหมุนเวียนของน้ำย้อม
8. ขั้นตอนการเตรียมผ้าและสารตกค้างที่มาจากขั้นตอนก่อนย้อม

1.4.3.2 การย้อมแบบต่อเนื่อง (Continuous Process)

การย้อมแบบต่อเนื่องจะไม่มีเฟสของน้ำย้อมและเฟสของเส้นใยแบบวิธีการย้อมแบบดูดซึม วิธีการย้อมแบบนี้ผ้าจะเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ไปอย่างต่อเนื่องจนเสร็จกระบวนการย้อม ทำให้การย้อมแบบนี้ใช้เวลาในการย้อมสั้นกว่าวิธีการย้อมแบบดูดซึม เริ่มด้วยการผ่านผ้าเข้าสู่ลูกกลิ้ง (Roller) เพื่อบีบเอาสีส่วนเกินออก ในขั้นตอนนี้สียังคงสามารถแพร่ตัวได้อย่างอิสระ ขั้นตอนต่อไปคือการฟีนิกสีด้วยเครื่องอบไอน้ำ (Steamer) ลมแห้ง (Hot-air Thermosol) หรือ ลูกกลิ้งร้อน (Hot Roller) ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการซักล้าง กำจัดสีส่วนเกินออกไป

1.4.4 สีรีแอคทีฟ

คือ สีย้อมที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับเส้นใย ทำให้เกาะติดกับโมเลกุลของเส้นใยโดยพันธะโควาเลนต์ (Covalent bonding) และใช้โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เป็นสารช่วยย้อม ส่วนใหญ่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส

ในปี พ.ศ. 2494 บริษัทไอซีไอ (Imperial Chemical Incorporation; I.C.I.) ได้นำสีรีแอคทีฟออกจำหน่ายเป็นครั้งแรก โดย I.D. Ratee และ W.E. Stephen นักวิจัยของบริษัท พบว่า ถ้าทำให้ หมู่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสีเกิดพันธะโควาเลนต์ (Covalent Bonding) กับเส้นใยเซลลูโลส ที่สภาวะต่าง สีจะมีความคงทนต่อการซักล้างและไม่จางเมื่อผ่านกระบวนการซักหลายๆ ครั้ง โดยโครงสร้างพื้นฐานของสีรีแอคทีฟ จะเหมือนกับสีไดเร็กเพียงแต่ถูกพัฒนาให้มีส่วนที่สามารถทำปฏิกิริยากับเส้นใยเซลลูโลสได้ การออกแบบโครงสร้างของสีรีแอคทีฟจะไม่เน้นให้เหมือนกับ สีไดเร็กในแง่ของโครงสร้างเบนราบ และมีความเป็นเส้นตรง แต่เน้นความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับเส้นใย กลุ่มเคมีที่สำคัญที่สุดของสีรีแอคทีฟที่ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างบนพื้นฐานมี 2 ส่วน คือ [15]

1. ส่วนที่ทำให้เกิดสี (Color Substance) หรือกลุ่มเคมีหลักที่ทำให้เกิดสี
2. หมู่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีกับเส้นใย

การแบ่งกลุ่มสีรีแอคทีฟสามารถแบ่งได้ตามความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีกับเส้นใยเซลลูโลส คือ สีรีแอคทีฟประเภทย้อมเย็น หรือสีรีแอคทีฟที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีสูง และสีรีแอคทีฟประเภท ย้อมร้อนหรือสีรีแอคทีฟที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีต่ำ

การย้อมสีรีแอคทีฟคล้ายกับการย้อมสีไดเร็ก กล่าวคือ เมื่อจุ่มเส้นใยเซลลูโลส เส้นใยจะแสดงประจุลบบนผิวหน้าของเส้นใย ดังนั้นจึงป้องกันไม่ให้โมเลกุลของสีรีแอคทีฟ (สีที่มีประจุลบ) เข้าใกล้เส้นใยทำให้การแทรกซึมของสีเข้าไปในเส้นใยน้อย เมื่อเติมสารอิเล็กโตรไลต์ (เกลือ) ประจุบวกของเกลือจะรวมตัวกับประจุลบของเส้นใย ในขณะเดียวกันเกลือจะเพิ่มประจุลบในน้ำย้อม ทำหน้าที่เป็นตัวผลักดันให้สีที่มีประจุลบเข้าใกล้เส้นใย และแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยเพิ่มมากขึ้น เมื่อสีเข้าไปในเส้นใยแล้ว ปรับสภาวะให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 10.5 ถึง 11.0 จะทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างเส้นใยและสีที่ติดอยู่ในเส้นใย ในการย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีรีแอคทีฟ จำเป็นจะต้องใส่สารเคมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อม และทำให้โมเลกุลของสีและเส้นใยทำปฏิกิริยากันได้พอดี โดยชนิดและหน้าที่ของสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสีรีแอคทีฟ แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ชนิดและหน้าที่ของสารเคมีในการย้อมสีรีแอคทีฟ [15]

สารเคมี	หน้าที่
น้ำ	เป็นตัวกลางของการย้อม และซักล้าง
สีรีแอคทีฟ	เป็นสารทำให้เกิดสีบนวัสดุสิ่งทอ (มีประจุลบ)
เกลือแกงหรือเกลือซัลเฟต	เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ ทำหน้าที่ลดประจุบนผิวหน้าเส้นใยเมื่ออยู่ในน้ำ
สารช่วยเปียก	เป็นสารช่วยให้วัสดุเปียกทั่วกัน และทำให้น้ำสีแทรกซึมวัสดุได้ดี
โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมคาร์บอเนต	ทำให้น้ำย้อมมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 10.5-11.0 ซึ่งเหมาะสมกับการเกิดพันธะโควาเลนต์กับเส้นใย ทำให้สีหลุดยากขึ้นเมื่อทำการซักล้าง
สบู่สังเคราะห์	เป็นสารกำจัดสีส่วนเกิน หรือสีที่ไม่ทำปฏิกิริยากับเส้นใยให้หลุดออกไป

อิทธิพลที่มีผลต่อความว่องไวต่อปฏิกิริยาของสีรีแอคทีฟสามารถแบ่งได้ ดังนี้ [20]

1. โครงสร้างทางเคมีของหมู่รีแอคทีฟ

โครงสร้างทางเคมีของหมู่รีแอคทีฟที่แตกต่างกันย่อมมีผลต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสีนั้นๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

1. กลุ่มที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูง เช่น Dichlorotriazine
2. กลุ่มที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาปานกลาง เช่น Vinylsulphone
3. กลุ่มที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาปานต่ำ เช่น Monochlorotriazine และ Chloropyrimidine

2. อิทธิพลของอุณหภูมิ

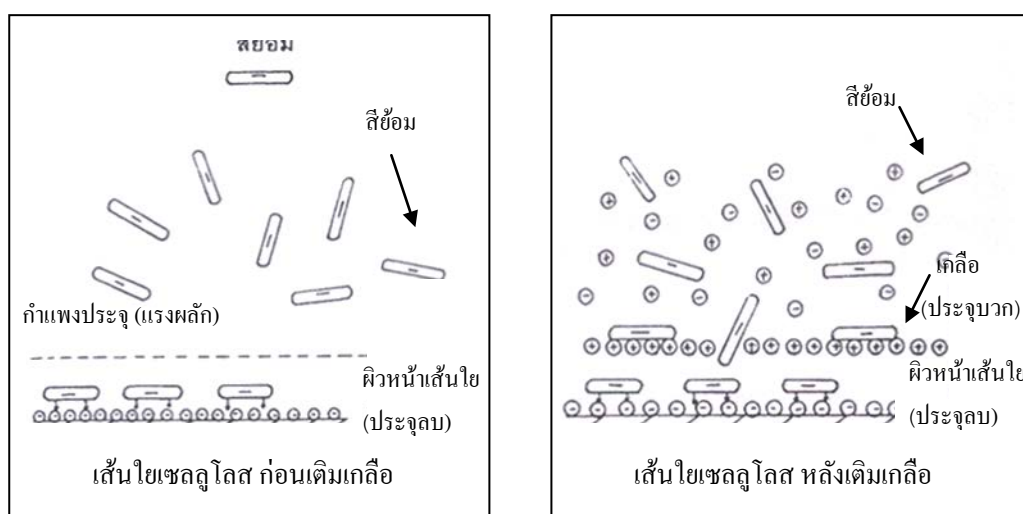
การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเร่งปฏิกิริยาให้กับสีย้อมโดยตรง โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิโมเลกุลของสีจะสามารถแพร่เข้าสู่เส้นใยและเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยได้เร็วขึ้น โดยเฉพาะกับสีที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาปานกลางและต่ำ โมเลกุลของสีจะแพร่เข้าสู่เส้นใยและเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยเพิ่มขึ้น ทำให้สีเกาะติดกับเส้นใยได้ดี คงทนต่อการซัก

3. อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างน้ำกับเส้นใย

เนื่องจากสีรีแอคทีฟมีโมเลกุลเล็กสามารถแพร่กระจายเข้าไปในเส้นใยได้เร็ว ถ้าปริมาณสีในน้ำย้อมมากเกินไปจะแพร่กระจายเข้าไปในเส้นใยได้มากตามลำดับจึงไม่จำเป็นต้องใช้น้ำมาก แต่จะต้องคำนึงถึงสถานะในการย้อม ถ้าย้อมที่อุณหภูมิสูงน้ำระเหยไป ทำให้น้ำในอ่างย้อมลดลงมากเกินไปจะทำให้สีติดได้ไม่สม่ำเสมอ

4. อิทธิพลของสารอิเล็กโตรไลต์

สารอิเล็กโตรไลต์ในที่นี้ คือ เกลือแกงหรือเกลือซัลเฟต เมื่อเติมเกลือลงไปในเรื่องย้อมเกลือจะแตกตัวให้ประจุลบ และประจุบวก ซึ่งโดยปกติการกระจายตัวของประจุลบและประจุบวกจะกระจายตัวสม่ำเสมอ แต่ถ้ามีเส้นใยเซลลูโลสแช่อยู่ในน้ำย้อม (ผิวหน้ามีประจุลบ) ประจุบวกจะกระจายอยู่รอบ ๆ ผิวของเส้นใย ทำให้บริเวณผิวหน้าของเส้นใยมีความหนาแน่นของประจุบวกสูง สีรีแอคทีฟที่มีประจุลบก็จะสามารถแพร่เข้าหาผิวของเส้นใยที่มีประจุบวกหนาแน่น และถ้าโมเลกุลของสีเข้าไปใกล้เพียงพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนหรือแรงวัลเดอร์วาลส์ (Van Der Waal) สีจะซึมเข้าไปในเส้นใยได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.6 และเกิดปฏิกิริยาเคมีกับเส้นใย ทำให้สีมีความคงทนต่อการซักล้าง



รูปที่ 1.6 สถานะการย้อมสีก่อนเติมเกลือ (ซ้าย) และสถานะการย้อมสีหลังเติมเกลือ (ขวา) [15]

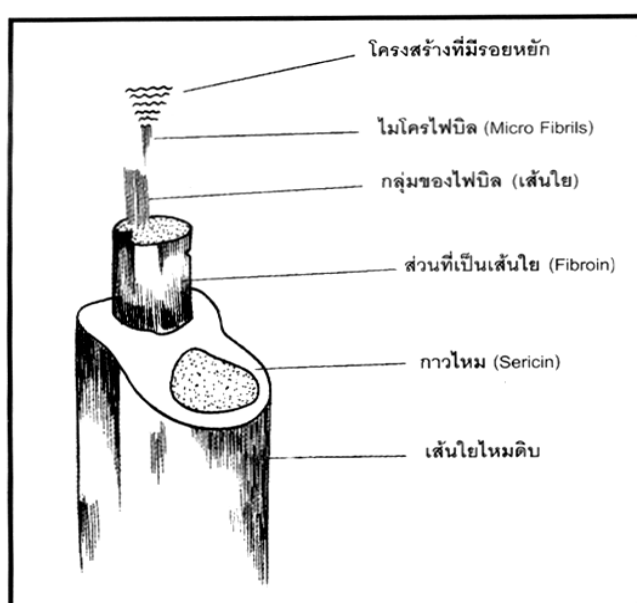
5. อิทธิพลของค่า

อิทธิพลของค่ามี 2 ประการ คือ

1. การเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำย้อมเป็นการเพิ่มระดับปฏิกิริยาเคมีของสีกับเส้นใย เพราะต่างเป็นตัวทำให้ผิวหน้าของเส้นใยเกิดประจุลบ
2. ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำย้อมสูงกว่า 11 การดูดซึมของสีจะลดลง และลดลงมากขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น ทำให้สีติดน้อยลง เนื่องจากสีจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก่อนที่จะทำปฏิกิริยากับเส้นใย

1.4.5 เส้นใยไหม

เส้นใยไหมเป็นเส้นใยที่ได้มาจากโปรตีนที่หนอนไหมขับออกมา เพื่อป้องกันตัวในขณะที่เป็นดักแด้ เส้นใยจะมีความต่อเนื่อง (Filaments) และเป็นเส้นใยที่ได้จากโปรตีนเช่นเดียวกับเส้นใยขนสัตว์ แต่ที่ไม่เหมือนเส้นใยขนสัตว์ คือ เส้นใยไหมมีปริมาณของซัลเฟอร์จำนวนน้อยมากและโครงสร้างที่ค่อนข้างเป็นระเบียบและมีการเรียงตัวดี ส่วนประกอบของเส้นใยไหมแสดงดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 โครงสร้างของเส้นใยไหม [15]

สีที่ใช้ในการย้อมไหม แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ [15, 23]

1. **สีธรรมชาติ** ส่วนใหญ่ได้จากพืชในส่วนของเปลือกไม้ ใบไม้ ลูกไม้ และรากไม้ ซึ่งจะมีกรรมวิธีในการย้อมแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดพืชและส่วนที่นำมาเป็นสีย้อม

2. **สีเคมี** เป็นสีที่มีความบริสุทธิ์ของตัวสีมาก สามารถนำสีเหล่านี้มาผสมเพื่อให้ได้สีที่ต้องการ และปรับระดับความเข้มของสีได้ วิธีการย้อมทำได้ง่ายและสะดวก สีที่ย้อมได้จะมีความสดสวยและมีความทนทานของสีดี สีเคมีที่นำมาย้อมเส้นไหมมีหลายประเภท ได้แก่ สีแอซิด (Acid Dyestuff) สีเมทัลคอมเพล็กซ์ (Metal Complex Dyestuff) สีเบสิก (Basic Dyestuff) สีโครมอร์แดนท์ (Chrom Mordant Dyestuff) สีไดเรกต์ (Direct Dyestuff) และสีรีแอคทีฟ (Reactive Dyestuff)

1.4.5.1 การย้อมสีไหมด้วยสีแอซิด (Acid Dyes)

สีกลุ่มนี้ต้องย้อมในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรด จะเป็นกรดชนิดใดก็ได้ เพราะสีกลุ่มนี้เกือบทุกตัวเป็นเกลือโซเดียมของกรดอินทรีย์มีประจุลบ (Anionic) สีแอซิดย้อมติดเส้นใยไหมได้ โดยทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีน (Amine Group) ของเส้นใยไหม ดังแสดงในสมการที่ 1.11 [15]



หมู่เอมีนในเส้นใยไหม

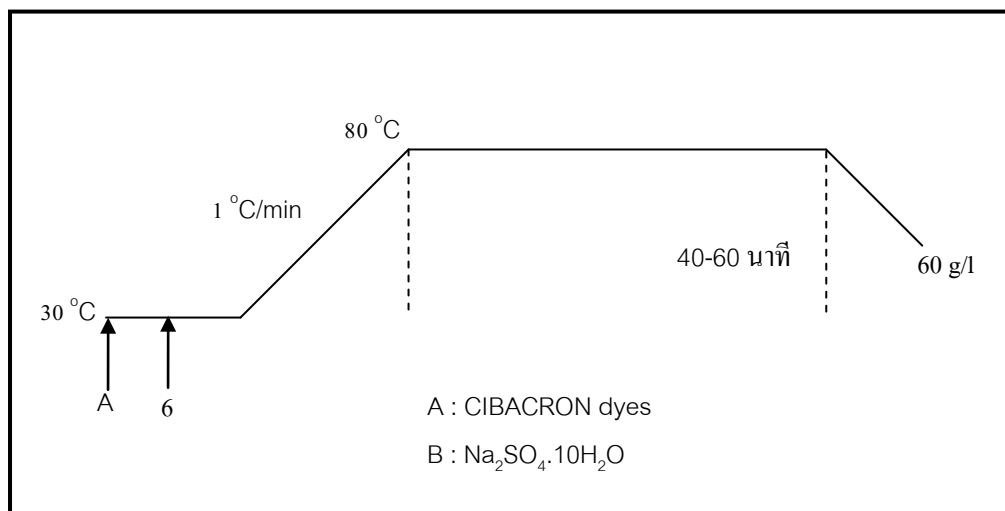
สีแอซิดมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับสีไดเรกต์มาก แต่สมบัติในการดูดซึมและจับติดเส้นใยจะด้อยกว่าสีไดเรกต์

1.4.5.2 การย้อมสีไหมด้วยสีรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)

ถึงแม้สีแอซิดจะนิยมในการนำมาย้อมสีไหม แต่ในปัจจุบันบริษัท CIBA Specialty Chemicals (Thailand) LTD. ได้พัฒนาสีรีแอคทีฟเพื่อใช้ในการย้อมสีไหมในสภาพที่เป็นกลางโดยเกิดพันธะ ไอออนิกกับผ้า เนื่องจากผ้าไหมเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกลางจะแสดงประจุลบและประจุบวกที่ผิวหน้า เมื่อย้อมด้วยสีรีแอคทีฟ (ประจุลบ) ทำให้สีบางส่วนที่มีประจุชนิดเดียวกับประจุบนผิวหน้าของผ้าไหมถูกผลักรอกทำให้ประสิทธิภาพการย้อมจึงลดลง ดังนั้น ในการย้อมจึงต้องใส่สาร อิเล็กโตรไลต์ (เกลือแกงหรือเกลือซัลเฟต) เพื่อเป็นตัวกลางให้สีที่มีประจุชนิดเดียวกับประจุบนผิวหน้าของผ้าไหม (ประจุลบ) สามารถเกิดพันธะไอออนิกกับผ้าไหมได้ประสิทธิภาพการย้อมเพิ่มขึ้นอัตราส่วนระหว่างวัสดุย้อมกับน้ำย้อม (Liquor ratio, L : R) เป็น 1 : 20 อัตราส่วนระหว่างร้อยละของ ความเข้มข้นสีย้อมต่อปริมาณโซเดียมซัลเฟต ดังแสดงในตารางที่ 1.2 และขั้นตอนในการย้อมแสดงในรูปที่ 1.8 [25]

ตารางที่ 1.2 ร้อยละของความเข้มข้นสีย้อมต่อปริมาณโซเดียมซัลเฟตที่เหมาะสม [25]

ความเข้มข้นสีย้อม (gL^{-1})	< 0.5	0.5-1	1-3	3-4	> 4
ความเข้มข้นโซเดียมซัลเฟต (gL^{-1})	10-20	20-30	30-60	60-80	80-90



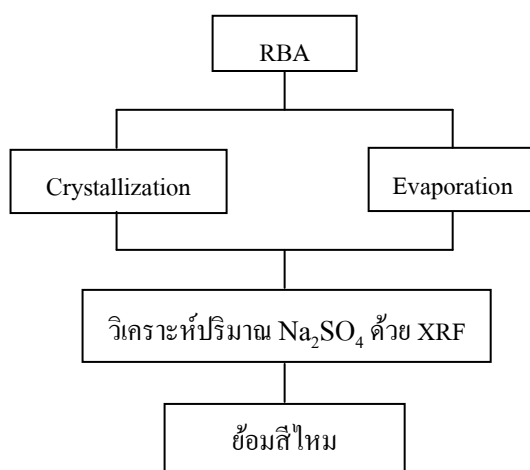
รูปที่ 1.8 ขั้นตอนการย้อมสีใหม่ด้วยสรีแอคทีฟ [25]

บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 แผนการวิจัย

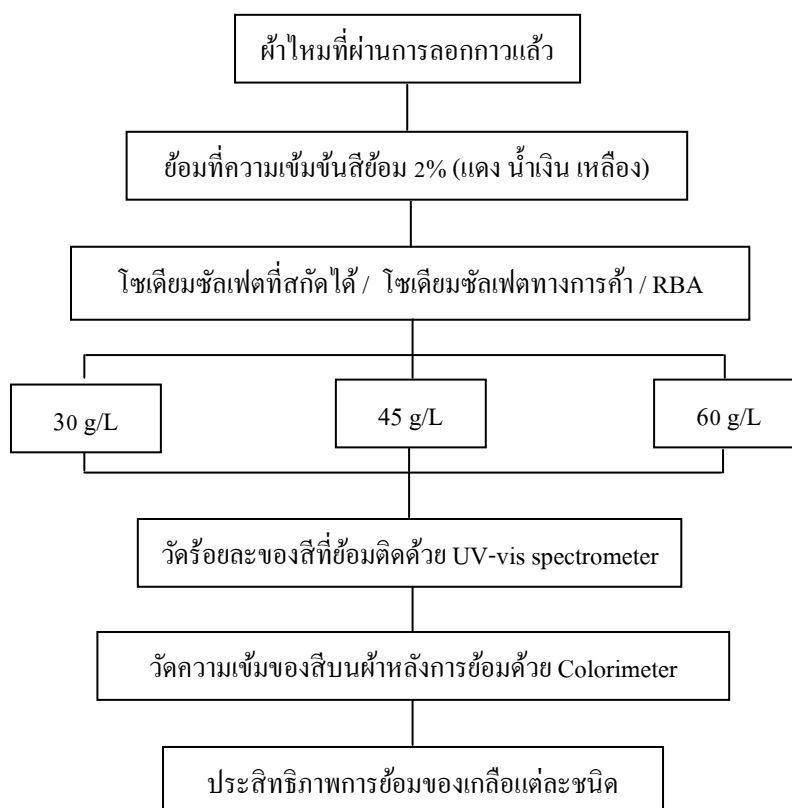
แผนการดำเนินการศึกษาวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ศึกษาวิธีการแยกโซเดียมซัลเฟตออกจากซีไถ้ขาว (RBA) ด้วยวิธีการตกผลึก และการระเหยแห้ง ตัวแปรที่ต้องการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิและความเป็นกรดต่างของสารละลาย ระยะเวลา และการกวนสารละลายในระหว่างการตกผลึกและการระเหยแห้ง ที่มีผลต่อปริมาณและความบริสุทธิ์ของโซเดียมซัลเฟตที่สกัดได้ ซึ่งสามารถตรวจสอบสมบัติเชิงคุณภาพและปริมาณได้ด้วย X-Ray Diffraction (XRD) Ion chromatography (IC) Inductively Coupled Plasma (ICP) สำหรับความบริสุทธิ์ของสารที่สกัดได้ สามารถตรวจสอบด้วยการวัดจุดหลอมเหลวด้วย Differential Scanning Calorimetry (DSC) และความหนาแน่น ขั้นตอนโดยสังเขปแสดงดังรูปที่ 2.1 เลือกวิธีการที่สามารถแยกโซเดียมซัลเฟตออกจากซีไถ้ขาวได้มากที่สุดมาศึกษาการย้อมผ้าไหมด้วยสีย้อมแอคทีฟ



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการศึกษาการแยกโซเดียมซัลเฟตจากซีไถ้ขาว

2. ศึกษาประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหมด้วยสีย้อมแอคทีฟ 3 ชนิด ได้แก่ CIBACRON Red FN-R, CIBACRON Blue FN-R และ CIBACRON Yellow FN-R โดยใช้โซเดียมซัลเฟตทางการค้า โซเดียมซัลเฟตที่สกัดจากซีไถ้ขาว และซีไถ้ขาว (RBA) เป็นสารช่วยย้อม ตัวแปรที่ต้องการศึกษา ได้แก่ ชนิดของโซเดียมซัลเฟต ความเข้มข้นของโซเดียมซัลเฟตที่ใช้เป็นสารช่วยย้อม และสีย้อมแอคทีฟทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการศึกษาการย้อมสีไหมด้วยสีย้อมที่ฟอกโดยมีโซเดียมซัลเฟตที่สกัดได้จากเถ้าขาว
โซเดียมซัลเฟตทางการค้า และเถ้าขาวเป็นสารช่วยย้อม

2.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

2.2.1 วัสดุและสารเคมี

1. โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) Commercial grade ผลิตโดยบริษัท UTIDS ENTERPRISE Co., LTD.
2. โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) Assay 99.0 % ผลิตโดยบริษัท Ajax Finechem.
3. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) Assay 99.9 % ผลิตโดยบริษัท Ajax Finechem.
4. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) Assay 99.8 % ผลิตโดยบริษัท Ajax Finechem.
5. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 18.02 โมลาร์ Assay 96.6 % ผลิตโดยบริษัท Merck
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) analytical grade ผลิตโดยบริษัท Merck

7. CIBACRON Red FN-R, CIBACRON Blue FN-R และ CIBACRON Yellow FN-R ผลิตโดยบริษัทCIBA SPECIALTY CHEMICALS (THAILAND) LTD.
8. ผ้าไหม 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการลอกกาแล้ว ผลิตโดยบริษัทไหมไทย
9. น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)
10. เถ้าขาว (Recovery Boiler Ash :RBA) บริษัทเกลือทะเลวันออก จำกัด

2.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์

1. ตู้อบ (Oven)
2. เครื่องชั่ง (Digital Balance)
3. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
4. Hot plate stirrer
5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
6. X-ray Diffractometer (XRD) รุ่น Bruker D8 Advance ผลิตโดยบริษัท Bruker
7. เครื่อง UV-Vis Spectroscopy รุ่น Genesys 10 Series ผลิตโดยบริษัทเบคไทยกรุงเทพอุปกรณ์เคมีภัณฑ์ จำกัด
8. เครื่องวัดความเข้มสีบนผ้า (Spectrophotometer) รุ่น Color – eye 7000 ผลิตโดยบริษัท Macbeth
9. Differential Scanning Calorimeter and Thermogravimetric Analyzer (DSC-TGA) รุ่น SDT 2960 Simultaneous DSC-TGA ผลิตโดยบริษัท TA Instruments
10. เครื่อง Ion Chromatography (IC) รุ่น 761 Compact IC ผลิตโดยบริษัท Metrochem.
11. เครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICP) รุ่น Optima 3000 ผลิตโดยบริษัท Perkin Elmer
12. เครื่องย่อยขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ รุ่น H+24M ผลิตโดยบริษัท Newave Lab Equipments Co., LTD.
13. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump) พร้อมชุดกรอง
14. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42

15. ชุดเครื่องแก้ว

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

2.3.1 การสกัดโซเดียมซัลเฟตจากสารผสมโซเดียม และซี้เถ้าขาวด้วยวิธีการตกผลึก (ทำการทดลอง 3 ครั้ง)

1. ชั่งโซเดียมซัลเฟต โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วน 80 : 5 : 1 (ร้อยละโดยน้ำหนัก) [2]
2. ละลายสารผสมในข้อ 1 ด้วยน้ำปราศจากไอออน 300 มิลลิลิตร
3. กรองสารละลายในข้อ 2 และปรับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ให้ได้ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 3
4. ลดอุณหภูมิของสารละลายในข้อ 3 ให้มีอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
5. นำผลึกที่ได้ไปกรอง นำไปอบแห้งชั่งน้ำหนัก และศึกษาผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกผลึกในข้อ 6
6. ศึกษาผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกผลึก โดยใช้ระยะเวลาในการตกผลึกเป็น 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง เมื่อได้ระยะเวลาที่เหมาะสม จึงศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการตกผลึกในข้อ 7
7. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการตกผลึก โดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึกเป็น 5 และ - 5 องศาเซลเซียส เมื่อได้อุณหภูมิที่เหมาะสม จึงศึกษาผลของการกวน และไม่กวนสารละลายที่มีผลต่อการตกผลึกในข้อ 8
8. เมื่อได้ผลของการกวน และไม่กวนสารละลายที่เหมาะสมจึงศึกษาการสกัดโซเดียมซัลเฟต จากซี้เถ้าขาว โดยเปลี่ยนสารในข้อ 1 เป็นซี้เถ้าขาวอบแห้ง 150 กรัม

2.3.2 การแยกเกลือจากสารผสมโซเดียมและซี้เถ้าขาวด้วยวิธีระเหยแห้ง (ทำการทดลอง 3 ครั้ง)

1. ชั่งโซเดียมซัลเฟต โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วน 80 : 5 : 1 (ร้อยละโดยน้ำหนัก) [2]
2. ละลายสารผสมในข้อ 1 ด้วยน้ำปราศจากไอออน 300 มิลลิลิตร

3. กรองสารละลายในข้อ 2 และปรับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ให้ได้ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 3
4. ให้ความร้อนแก่สารละลายในข้อ 3 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
5. นำเกลือที่ได้ไปอบแห้ง และศึกษาผลของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการระเหยแห้งในข้อ 7
6. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการระเหยแห้ง โดยเปลี่ยนอุณหภูมิในการระเหยแห้งเป็น 50 80 และ 100 องศาเซลเซียส จึงศึกษาผลของการกวน และไม่กวนสารละลายที่มีผลต่อการระเหยแห้งในข้อ 7
7. เมื่อได้ผลของการกวนและไม่กวนสารละลายที่มีผลต่อการระเหยแห้ง แล้วจึงศึกษาการสกัดไซเตียมซัลเฟตจากซีเถ้าขาว โดยเปลี่ยนสารในข้อ 1 เป็นซีเถ้าขาวอบแห้งหนัก 150 กรัม

2.3.3 วิเคราะห์ชนิดและลักษณะของผลึกด้วยเครื่อง XRD

นำผลึกเกลือที่สกัดได้จากวิธีการตกผลึกและการระเหยแห้งที่ให้อุณหภูมิของการเกิดผลึกสูงสุดมาอบแห้งและบดให้ละเอียดนำไปใส่ในที่วางตัวอย่าง ศึกษามุมตกกระทบของแหล่งกำเนิดกับตัวอย่าง (2θ) ในช่วง 15 ถึง 35 องศา อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส

2.3.4 วิเคราะห์องค์ประกอบของผลึกเกลือ

นำผลึกเกลือที่สกัดได้จากวิธีการตกผลึกและการระเหยแห้งที่ให้อุณหภูมิของการเกิดผลึกสูงสุดมาอบแห้ง ชั่งน้ำหนักประมาณ 1 กรัม ละลายน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร โดยไอออนบวกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP ไอออนลบ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง IC

2.3.5 วิเคราะห์จุดหลอมเหลวด้วยเครื่อง DSC-TGA

นำผลึกเกลือที่สกัดได้จากวิธีการตกผลึกและการระเหยแห้งที่ให้อุณหภูมิของการเกิดผลึกสูงสุดมาอบแห้งและบดให้ละเอียด ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อน เมื่อให้อุณหภูมิจาก 0 ถึง 900 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

2.3.6 วิเคราะห์ความหนาแน่นด้วย Pycnometer (ASTM D854-06) ทำการทดลอง 3 ครั้ง

1. เทน้ำมันก๊าดลงใน Pycnometer ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที บันทึกปริมาตรและน้ำหนักที่แน่นอน โดยควบคุมอุณหภูมิขณะทำการทดลองที่ 20 องศาเซลเซียส
2. นำผลึกเกลือที่สกัดได้จากวิธีการตกผลึกและการระเหยแห้งที่ให้อุณหภูมิของการเกิดผลึกสูงสุดใส่ลงใน Pycnometer ทิ้งไว้ 30 นาที บันทึกปริมาตรและน้ำหนักที่แน่นอน

3. คำนวณความหนาแน่นดังสมการที่ 2.1

$$\text{ความหนาแน่นของเกลือตัวอย่าง} = \text{ถ.พ. น้ำมันก๊าด} \times \frac{G_{P2}-G_{P1}}{V_2-V_1} \quad (2.1)$$

G_{P2} = น้ำหนัก Pycnometer + น้ำหนักผลึกเกลือ (กรัม)

G_{P1} = น้ำหนัก Pycnometer (กรัม)

V_2 = ปริมาตรน้ำมันก๊าดใน Pycnometer หลังใส่ผลึกเกลือ (มิลลิลิตร)

V_1 = ปริมาตรน้ำมันก๊าดใน Pycnometer (มิลลิลิตร)

ถ.พ. น้ำมันก๊าด = ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันก๊าดที่ 20 องศาเซลเซียส

2.3.7 ศึกษาประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหม โดยใช้โซเดียมซัลเฟตทางการค้า โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ที่สกัดจากชี้เถ้าขาวและชี้เถ้าขาวเป็นสารช่วยย้อม

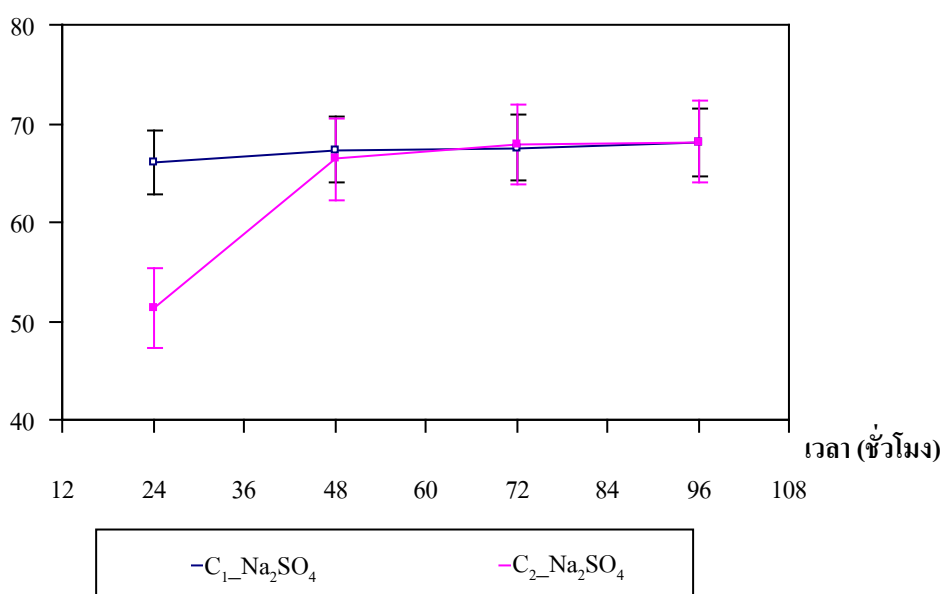
1. ตัดผ้าไหมที่ผ่านการลอกกาแล้วขนาด 7×16 ตารางเซนติเมตร (น้ำหนักประมาณ 0.8 กรัม)
2. เตรียมน้ำย้อม 2 เปอร์เซ็นต์ CIBACRON Red FN-R, CIBACRON Blue FN-R และ CIBACRON Yellow FN-R ให้อัตราส่วนน้ำย้อมต่อน้ำหนักผ้าเป็น 20 : 1 [24]
3. เตรียมสารช่วยย้อมโซเดียมซัลเฟตทางการค้า โซเดียมซัลเฟตที่สกัดจากชี้เถ้าขาว และชี้เถ้าขาว ความเข้มข้น 30, 45 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยชั่งสารช่วยย้อมแต่ละชนิดหนัก 3, 4.5 และ 6 กรัม ละลายในน้ำย้อม 100 มิลลิลิตร
4. ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำย้อมให้มีค่าประมาณ 7-7.5 เกล่งในกระบอกย้อมของเครื่องย้อม
5. ใส่ผ้าไหมลงในกระบอกย้อมปิดฝาให้สนิท แล้วบรรจุกระบอกย้อมลงในเครื่องย้อม
6. เพิ่มอุณหภูมิเครื่องย้อมจากอุณหภูมิห้องไปเป็น 80 องศาเซลเซียส โดยให้อัตราการให้ความร้อน 1 องศาเซลเซียสต่อ 1 นาที และย้อมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที
7. นำผ้าไหมที่ย้อมแล้วออกจากเครื่องย้อม ล้างด้วยน้ำสนุ่ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เพื่อล้างสีที่ติดบนผ้าเป็นเวลา 15 นาที ล้างน้ำให้สะอาด และตากให้แห้ง
8. วัดร้อยละของสีที่ย้อมติดไหมด้วย UV - Vis Spectrometer และวัดความเข้มของสีผ้าหลังการย้อมด้วย Spectrophotometer

บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการแยกโซเดียมซัลเฟตจากสารผสมโซเดียม และซีไ้ถ้าขาวด้วยวิธีการตกผลึก ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3

ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการแยกโซเดียมซัลเฟตจากสารผสมโซเดียม และถ้าขาวด้วยวิธีการตกผลึกที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 แสดงดังรูปที่ 3.1 พบว่า ร้อยละของผลึกที่ตกผลึกได้ของสารผสมโซเดียม ($C_1_Na_2SO_4$) ที่ระยะเวลาการตกผลึก 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าไม่ต่างกัน ขณะที่การตกผลึกโซเดียมซัลเฟตจากซีไ้ถ้าขาว ($C_2_Na_2SO_4$) ที่ 24 ชั่วโมง ร้อยละของผลึกที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 51 เปอร์เซนต์ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการตกผลึกเป็น 48 ชั่วโมง จะได้ร้อยละของผลึกที่เกิดขึ้นเพิ่มเป็น 66 เปอร์เซนต์ และที่ระยะเวลาการตกผลึก 72 และ 96 ชั่วโมง ร้อยละของผลึกที่เกิดขึ้นมีค่าไม่ต่างกัน ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกผลึกโซเดียมซัลเฟตจากสารผสมโซเดียม คือ 24 ชั่วโมง และระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกผลึกโซเดียมซัลเฟต จากซีไ้ถ้าขาว คือ 48 ชั่วโมง

ร้อยละของผลึกที่เกิดขึ้น

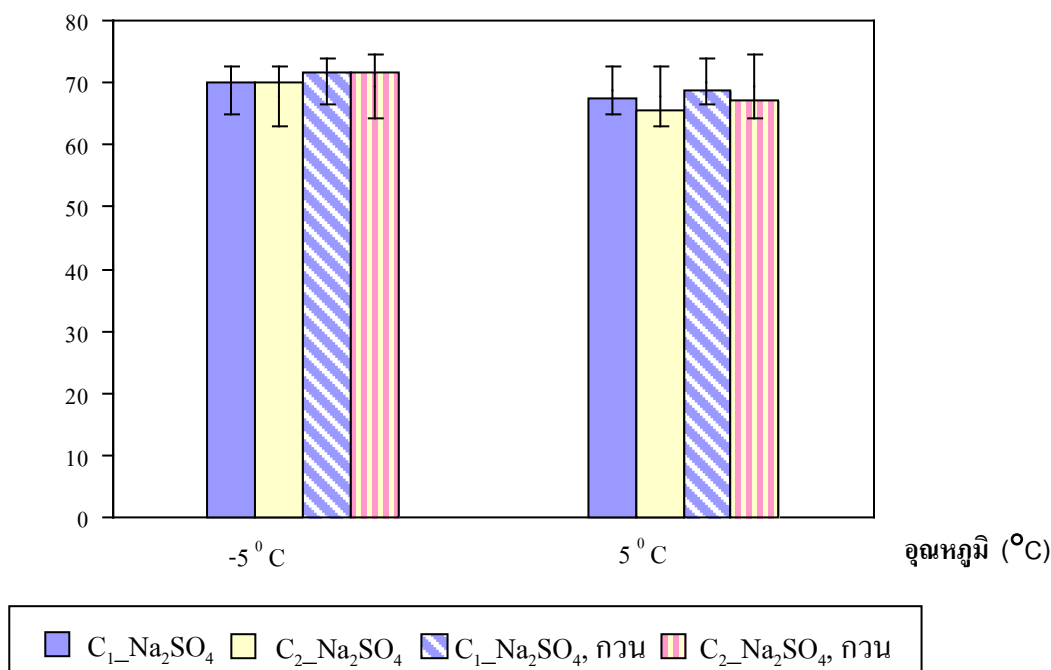


รูปที่ 3.1 ผลการศึกษาระยะเวลาในการแยกโซเดียมซัลเฟตจากสารผสมโซเดียมและซีไธ่ขาวด้วยวิธีการตกผลึกที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3

3.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกโซเดียมซัลเฟตจากสารผสมโซเดียมและซีไธ่ขาวด้วยวิธีการตกผลึก เมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 เมื่อกวนและไม่กวนสารละลาย

ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกโซเดียมซัลเฟตจากสารผสมโซเดียมและซีไธ่ขาวด้วยวิธีการตกผลึก โดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 ระยะเวลาในการตกผลึกสารผสมโซเดียม 24 ชั่วโมง และระยะเวลาในการตกผลึกซีไธ่ขาว 48 ชั่วโมง เมื่อกวนและไม่กวนสารละลาย แสดงดังรูปที่ 3.2 พบว่า ที่อุณหภูมิ -5 และ 5 องศาเซลเซียส เมื่อกวนและไม่กวนสารละลาย สารผสมโซเดียมและซีไธ่ขาวจะเกิดผลึกในปริมาณไม่ต่างกัน ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการตกผลึกสารผสมโซเดียมและซีไธ่ขาว เมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 3 ระยะเวลาในการตกผลึกสารผสมโซเดียม 24 ชั่วโมง และระยะเวลาการตกผลึกซีไธ่ขาว 48 ชั่วโมง คือ ตกผลึกที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และไม่จำเป็นต้องกวนสารละลายขณะทำการสกัด ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนการสกัดได้ โดยร้อยละของ $C_1_Na_2SO_4$ และ $C_2_Na_2SO_4$ ที่เกิดขึ้น คือ 67.42 และ 65.51 ตามลำดับ

ร้อยละของผลึกที่เกิดขึ้น

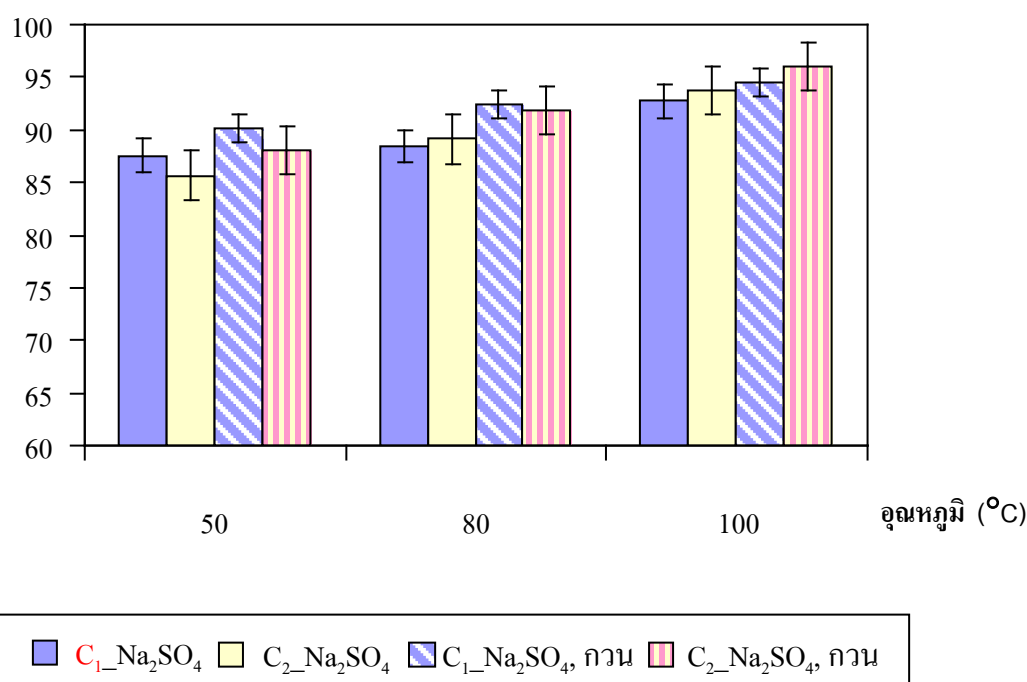


รูปที่ 3.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิในการแยกโซเดียมซัลเฟตจากสารผสมโซเดียมและเถ้าขาว ด้วยวิธีการตกผลึก ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 เมื่อกวนและไม่กวนสารละลาย

3.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์จากสารผสมโซเดียมและเถ้าขาวที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 ด้วยวิธีการระเหยแห้ง เมื่อกวนและไม่กวนสารละลาย

ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์จากสารผสมโซเดียมและเถ้าขาว ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 ด้วยวิธีการระเหยแห้ง เมื่อกวนและไม่กวนสารละลาย ดังแสดงในรูปที่ 3.3 พบว่า สารผสมโซเดียมและเถ้าขาวให้ร้อยละของผลึกที่เกิดขึ้นเมื่อระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 50, 80 และ 100 องศาเซลเซียสไม่ต่างกัน โดยที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคาร์บอเนตบางส่วนทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นโซเดียมไดคาร์บอเนต ($\text{Sodium sulfate dicarbonate} : 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$) [26] ร่วมกับผลึกของโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ แต่เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดที่อุณหภูมิในการระเหยแห้ง 100 องศาเซลเซียส กวนสารละลายขณะทำการสกัดจะใช้กำลังไฟฟ้าและระยะเวลาในการสกัดน้อยที่สุดดังนั้น อุณหภูมิ ที่เหมาะสมในการแยกโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์จากสารผสมโซเดียมและเถ้าขาวด้วยวิธีการระเหยแห้ง คือ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 กวนสารละลายขณะทำการแยก

ร้อยละของผลึกที่เกิดขึ้น



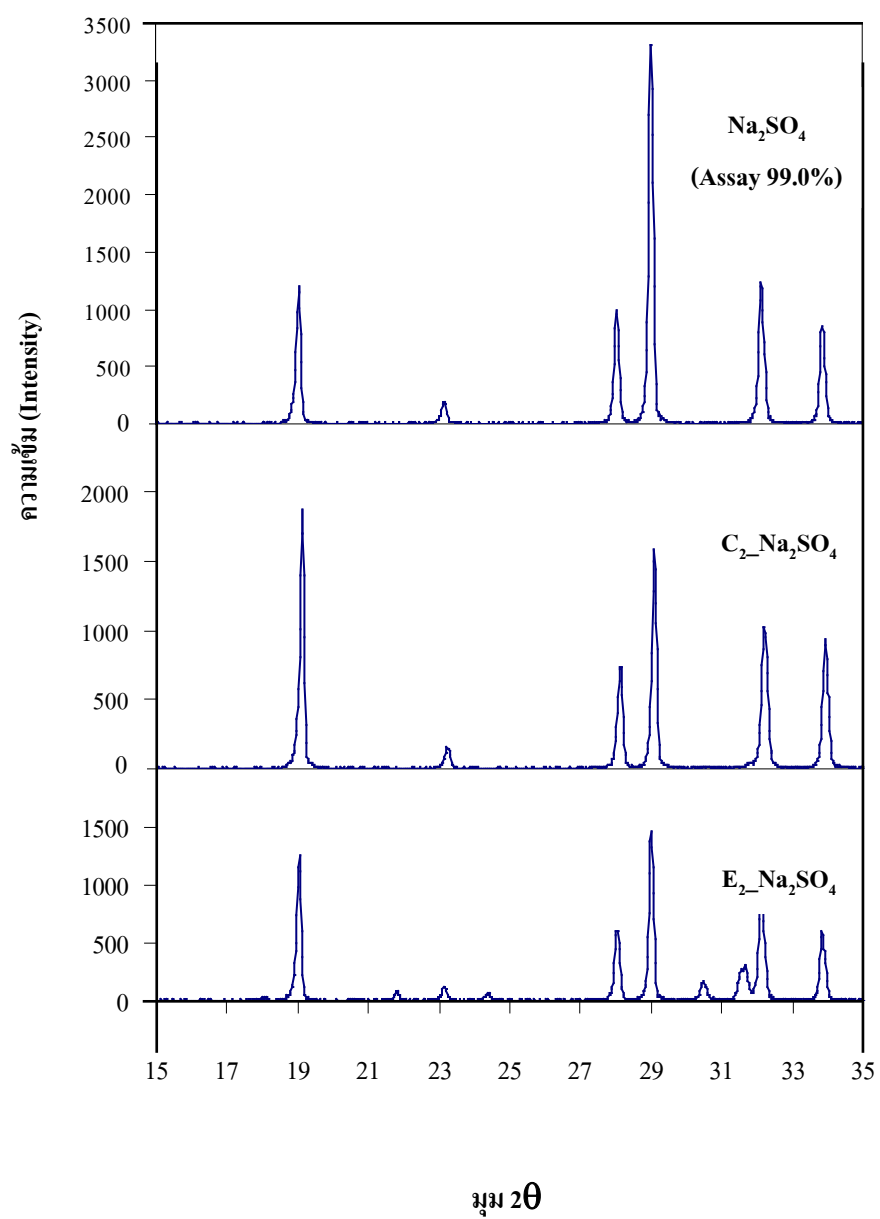
รูปที่ 3.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติในการแยกโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์จากซีเถ้าขาวด้วยวิธีการระเหยแห้ง ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 เมื่อกวนและไม่กวนสารละลาย

หมายเหตุ กวนสารละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 17 ชั่วโมง, 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 5 ชั่วโมง และ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 ชั่วโมง เมื่อไม่กวนสารละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 18 ชั่วโมง, 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 6 ชั่วโมง และ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 ชั่วโมง

3.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะผลึกของเกลือที่สกัดจากซีเถ้าขาว $C_2Na_2SO_4$ และ $E_2Na_2SO_4$ ด้วยเครื่อง XRD

ผลการวิเคราะห์ลักษณะผลึกของเกลือที่สกัดจากซีเถ้าขาว $C_2Na_2SO_4$ และ $E_2Na_2SO_4$ ด้วยเครื่อง XRD ที่มุม 2θ ในช่วง 15 ถึง 35 องศา เปรียบเทียบกับโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (Assay 99.0%) แสดงดังรูปที่ 3.4 พบว่า X-ray diffractograms ของโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ $C_2Na_2SO_4$ และ $E_2Na_2SO_4$ จะปรากฏที่มุม 2θ เท่ากับ 19, 23, 27.5, 29, 32 และ 33.5 เช่นเดียวกัน แต่ความเป็นผลึกของ $C_2Na_2SO_4$ และ $E_2Na_2SO_4$ ต่ำกว่าของโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยสังเกตจากความสูงและความชันของกราฟซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึก นอกจากนั้นยังพบว่า $E_2Na_2SO_4$ ที่ได้จากการระเหยแห้ง อาจจะมีโซเดียมคลอไรด์หรือโซเดียมไดคาร์บอเนตอยู่ด้วยโดยปรากฏที่มุม 2θ เท่ากับ 21.5, 24, 30.5 และ 31.5 ดังนั้น ผลึกของเกลือที่สกัดจากซีเถ้าขาว $C_2Na_2SO_4$ และ $E_2Na_2SO_4$ เป็นผลึกของโซเดียมซัลเฟต โดย $E_2Na_2SO_4$ อาจจะมีโซเดียมคลอไรด์หรือโซเดียม ไดคาร์บอเนตปนอยู่ด้วย

นำ $C_2Na_2SO_4$ และ $E_2Na_2SO_4$ ที่เกิดขึ้นไปวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของเกลือแต่ละชนิดโดยปริมาณไอออนบวกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP ไอออนลบวิเคราะห์ด้วยเครื่อง IC



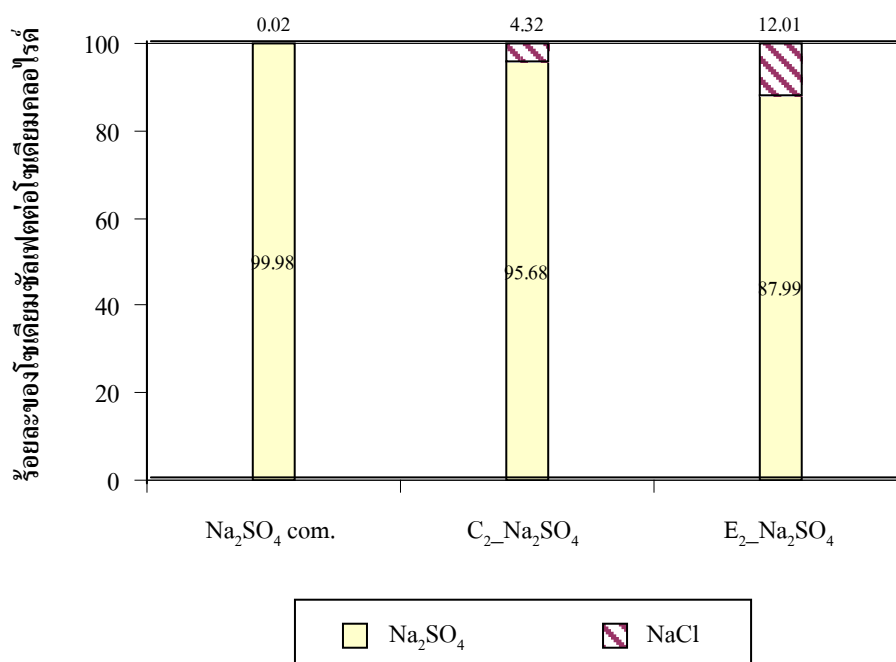
รูปที่ 3.4 X-ray diffractograms ของ $\text{C}_2\text{-Na}_2\text{SO}_4$ และ $\text{E}_2\text{-Na}_2\text{SO}_4$ เทียบกับโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (Assay 99.0%)

3.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของเกลือแต่ละชนิดที่แยกได้จากซีเถ้าขาว



ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณเกลือแต่ละชนิดที่แยกได้จากซีเถ้าขาวด้วยวิธีการตกผลึก

$C_2_Na_2SO_4$ และวิธีการระเหยแห้ง $E_2_Na_2SO_4$ แสดงดังรูปที่ 3.5 พบว่า วิธีการตกผลึกจะให้ร้อยละของโซเดียมซัลเฟตต่อโซเดียมคลอไรด์ (95.68 ต่อ 4.32) มากกว่าวิธีการระเหยแห้ง (87.99 ต่อ 12.01) เนื่องจากวิธีการตกผลึกใช้การแยกโซเดียมซัลเฟตจากซีเถ้าขาวโดยอาศัยความสามารถในการละลาย และวิธีการระเหยแห้งเป็นการระเหยนํ้าออกทำให้ไม่สามารถแยกโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ออกจากกันได้ ดังนั้น วิธีการตกผลึกจะแยกโซเดียมซัลเฟตได้บริสุทธิ์กว่าวิธีการระเหยแห้ง แต่เนื่องจากทั้งโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์สามารถใช้เป็นสารช่วยย้อมในการย้อมสีรีเอกทีฟได้ จึงนำเกลือผสมระหว่างโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ $E_2_Na_2SO_4$ มาทดลองเป็นสารช่วยย้อมในงานวิจัยครั้งนี้ โดยความบริสุทธิ์ของ $C_2_Na_2SO_4$ และ $E_2_Na_2SO_4$ สามารถตรวจสอบได้จากการสมบัติทางกายภาพ

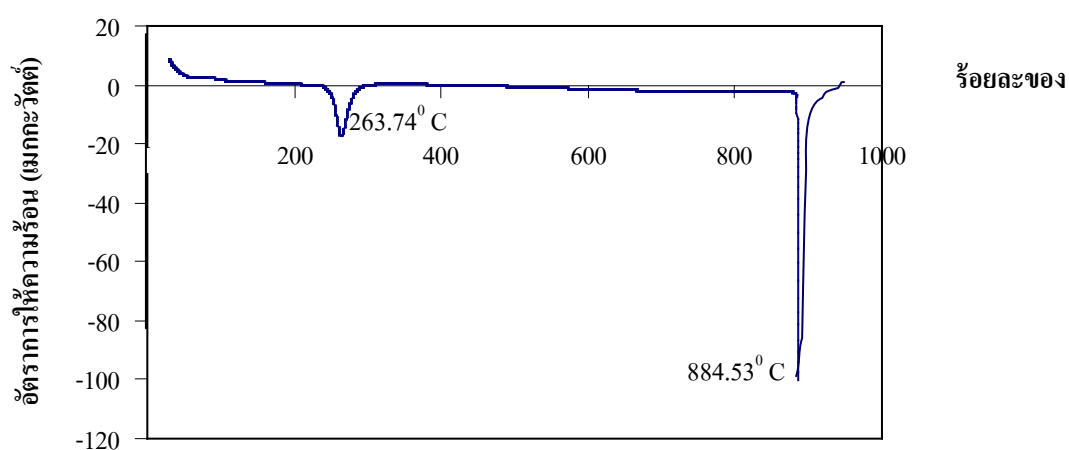


รูปที่ 3.5 ร้อยละของโซเดียมซัลเฟตต่อโซเดียมคลอไรด์ของ $C_2_Na_2SO_4$ และ $E_2_Na_2SO_4$

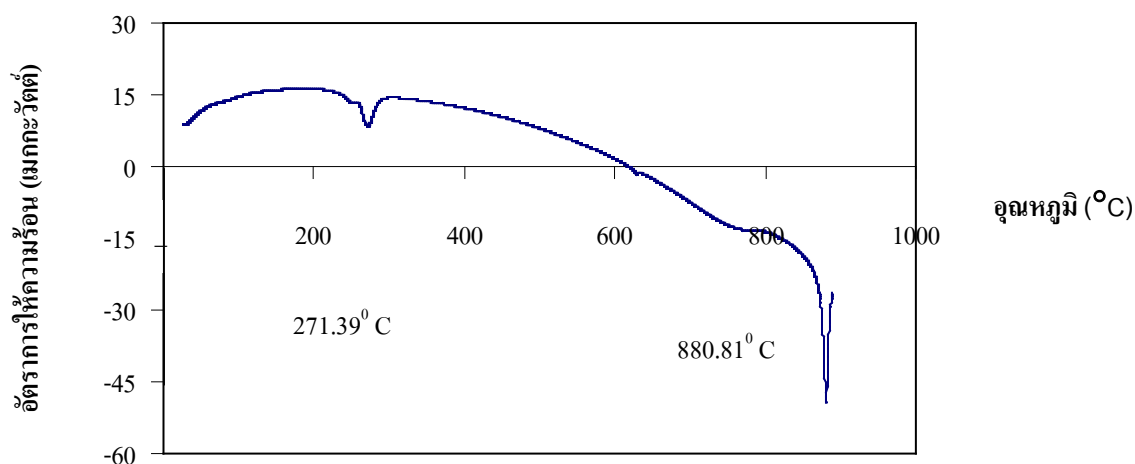
เทียบกับโซเดียมซัลเฟตทางการค้า

3.6 ผลการวิเคราะห์จุดหลอมเหลวของโซเดียมซัลเฟตที่สกัดจากซีเถ้าขาวด้วยวิธีการตกผลึก และการระเหยแห้ง โดยใช้เครื่อง DSC-TGA เทียบกับโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (Assay 99.0 %)

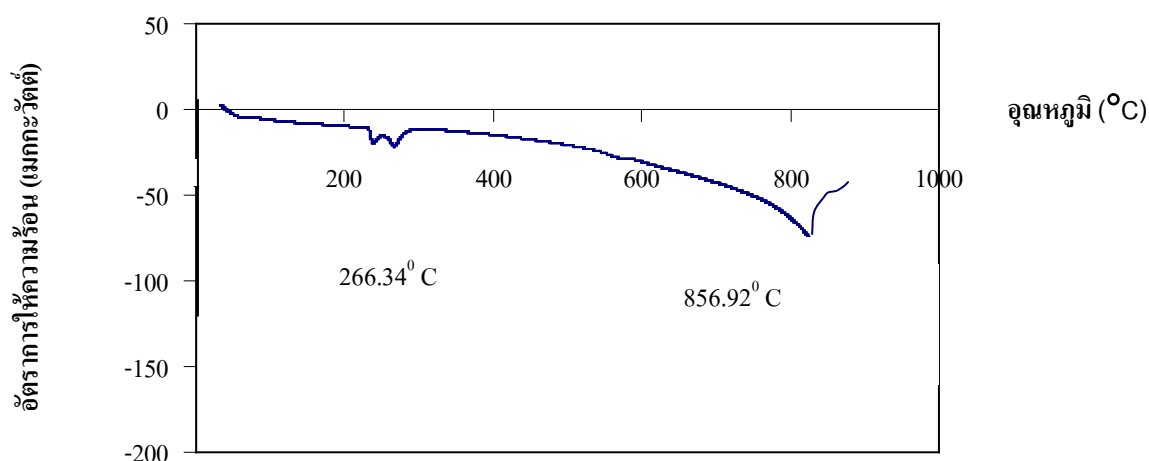
จากการวิเคราะห์จุดหลอมเหลวของโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โซเดียมซัลเฟตที่สกัดด้วยวิธีการตกผลึก $C_2Na_2SO_4$ โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ที่สกัดด้วยวิธีการระเหยแห้ง $E_2Na_2SO_4$ ด้วยเครื่อง DSC-TGA แสดงดังรูปที่ 3.6 ถึง 3.8 พบว่า ตัวอย่างมีการคายความร้อนใน 2 ช่วงอุณหภูมิ ช่วงแรกประมาณ 260 องศาเซลเซียส เกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของโซเดียมซัลเฟตจาก Orthorhombic เป็น Hexagonal [26-27] และช่วงที่ 2 ซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของสารตัวอย่าง จุดหลอมเหลวของโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 884 องศาเซลเซียส ส่วนจุดหลอมเหลวของ $C_2Na_2SO_4$ อยู่ที่ 880.81 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวของ $E_2Na_2SO_4$ อยู่ที่ 856.92 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าจุดหลอมเหลวของ $C_2Na_2SO_4$ มีค่าใกล้เคียงกับโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ มากกว่า $E_2Na_2SO_4$ ดังนั้น โซเดียมซัลเฟตที่สกัดด้วยวิธีการตกผลึก $C_2Na_2SO_4$ จึงน่าจะมีความบริสุทธิ์มากกว่าโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ที่สกัดด้วยวิธีการระเหยแห้ง $E_2Na_2SO_4$



รูปที่ 3.6 จุดหลอมเหลวของโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (Assay 99.0%)



รูปที่ 3.7 จุดหลอมเหลวของโซเดียมซัลเฟตที่สกัดจากซีเถ้าขาวด้วยวิธีการตกผลึก $C_2-Na_2SO_4$



รูปที่ 3.8 จุดหลอมเหลวของโซเดียมซัลเฟตที่สกัดจากซีเถ้าขาวด้วยวิธีการระเหยแห้ง $E_2-Na_2SO_4$

3.7 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของโซเดียมซัลเฟตที่สกัดจากซีเถ้าขาวด้วยวิธีการตกผลึก และระเหยแห้งโดยใช้ Pycnometer (ASTM D854-06)

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นของโซเดียมซัลเฟตที่สกัดจากซีเถ้าขาวด้วยวิธีการตกผลึก $C_2-Na_2SO_4$ และวิธีการระเหยแห้ง $E_2-Na_2SO_4$ โดยใช้ Pycnometer [ASTM D854-06] แสดงดังตารางที่ 3.1 พบว่า ความหนาแน่นของโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีความหนาแน่นเท่ากับ 2.61 กรัมต่อมิลลิเมตร ส่วนความหนาแน่นของ $C_2-Na_2SO_4$ และ $E_2-Na_2SO_4$ มีค่าเท่ากับ 2.53 และ 2.76 กรัมต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของ $C_2-Na_2SO_4$ มีค่าใกล้เคียงกับโซเดียมซัลเฟต ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมากกว่า $E_2-Na_2SO_4$ ดังนั้น โซเดียมซัลเฟตที่สกัดด้วยวิธีการตกผลึก $C_2-Na_2SO_4$ จึงน่าจะมีความบริสุทธิ์มากกว่าโซเดียมซัลเฟตที่สกัดด้วยวิธีการระเหยแห้ง $E_2-Na_2SO_4$

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของโซเดียมซัลเฟตที่สกัดจากซีเถ้าขาวด้วยวิธีการตกผลึกและการระเหยแห้งเทียบกับโซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

ชนิดของสาร	ความหนาแน่น(กรัม/มิลลิลิตร)
โซเดียมซัลเฟตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (Assay 99.0 %)	2.61
$C_2-Na_2SO_4$	2.53
$E_2-Na_2SO_4$	2.76

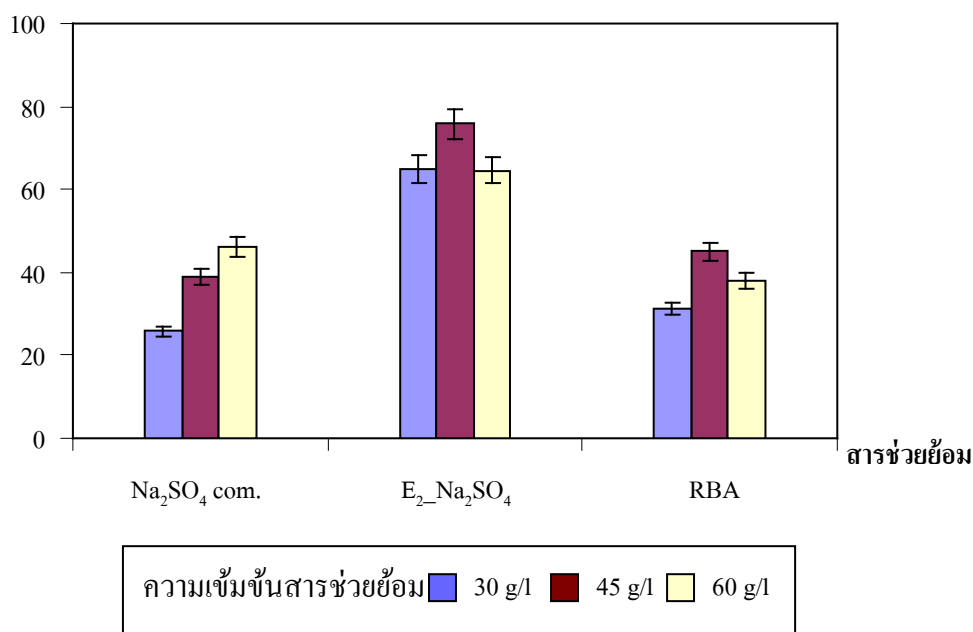
จากการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของโซเดียมซัลเฟตที่สกัดจากซีเถ้าขาวโดยอาศัยการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ จุดหลอมเหลวและความหนาแน่น สามารถสรุปได้ว่า โซเดียมซัลเฟตที่สกัดด้วยวิธีการตกผลึก $C_2-Na_2SO_4$ มีความบริสุทธิ์มากกว่าโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ที่สกัดด้วยวิธีการระเหยแห้ง $E_2-Na_2SO_4$

3.8 ประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหม โดยใช้โซเดียมซัลเฟตทางการค้า $E_2-Na_2SO_4$ และซีเถ้าขาวเป็นสารช่วยย้อม ที่ความเข้มข้น 30, 45 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยวัดการฟลักซ์สีบนผ้า

ประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหม โดยใช้โซเดียมซัลเฟตทางการค้า โซเดียมซัลเฟตและโซเดียม คลอไรด์ที่สกัดจากซีเถ้าขาว ($E_2-Na_2SO_4$) และซีเถ้าขาวเป็นสารช่วยย้อม ที่ความเข้มข้น 30, 45 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยวัดร้อยละของการฟลักซ์สีติดบนผ้าจากน้ำหลังการย้อมทั้ง 3 สีย้อมด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy แสดงดังรูปที่ 3.9 ถึง 3.12 พบว่า $E_2-Na_2SO_4$ มีประสิทธิภาพในการเป็นสารช่วยย้อมดีที่สุด เนื่องจากในกระบอกย้อมประกอบด้วย น้ำ สีย้อม เส้นใยไหม โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ ย้อมในสภาวะที่เป็นกลาง เมื่อละลายน้ำสีย้อมจะแสดงประจุลบ เส้นใยไหมจะแสดงประจุบวก (NH_3^+) และลบ (COO^-) โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์จะแตกตัวให้โซเดียมไอออน (Na^+) ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) โดยซัลเฟตไอออนและคลอไรด์ไอออนทำหน้าที่ผลักสีย้อม (ประจุลบ) เข้าหาเส้นใยไหมตำแหน่งที่แสดงประจุบวก ส่วนโซเดียมไอออนทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้สีย้อม (ประจุลบ) เข้าใกล้เส้นใยไหมตำแหน่งที่มีประจุลบ แต่ขนาดของซัลเฟตไอออนใหญ่กว่าและมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าคลอไรด์ไอออนทำให้โมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบซัลเฟตไอออนมีน้อยกว่าคลอไรด์ไอออน ทำให้คลอไรด์ไอออนมีปริมาตรและประจุลบมากกว่าซัลเฟตไอออนจึงมีประสิทธิภาพในการผลักโมเลกุลสีย้อมให้เข้าหาเส้นใยไหมได้ดีกว่าซัลเฟตไอออน

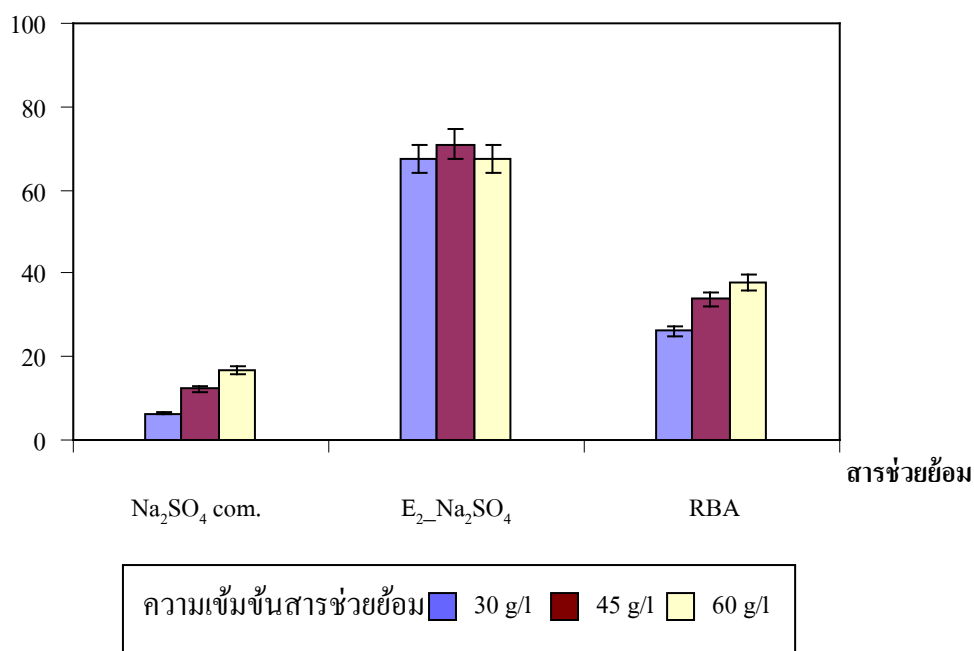
เพราะฉะนั้นสารช่วยย้อม $E_2\text{-Na}_2\text{SO}_4$ จึงมีประสิทธิภาพการย้อมดีกว่าสารช่วยย้อมโซเดียมซัลเฟตทางการค้า โดยประสิทธิภาพในการย้อมสีติดบนผ้าของสารช่วยย้อมทั้ง 3 ชนิด สูงสุดที่ความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการย้อมสีติดบนผ้าจะลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของสารช่วยย้อมที่มากเกินไปทำปฏิกิริยากับสีย้อมทำให้สีย้อมตกตะกอน (Salting out) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย้อมสีติดบนผ้าที่ความเข้มข้นสารช่วยย้อม 45 กรัมต่อลิตรของทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีประสิทธิภาพการย้อมสีน้ำเงินติดบนผ้าสูงที่สุด ส่วนสีแดงและสีเหลืองประสิทธิภาพการย้อมสีบนผ้าจะลดลงตามลำดับ ดังนั้น $E_2\text{-Na}_2\text{SO}_4$ มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารช่วยย้อมดีที่สุดที่ความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร โดยย้อมสีน้ำเงินติดบนผ้าได้ดีที่สุด

ร้อยละของการย้อมสีติดบนผ้า



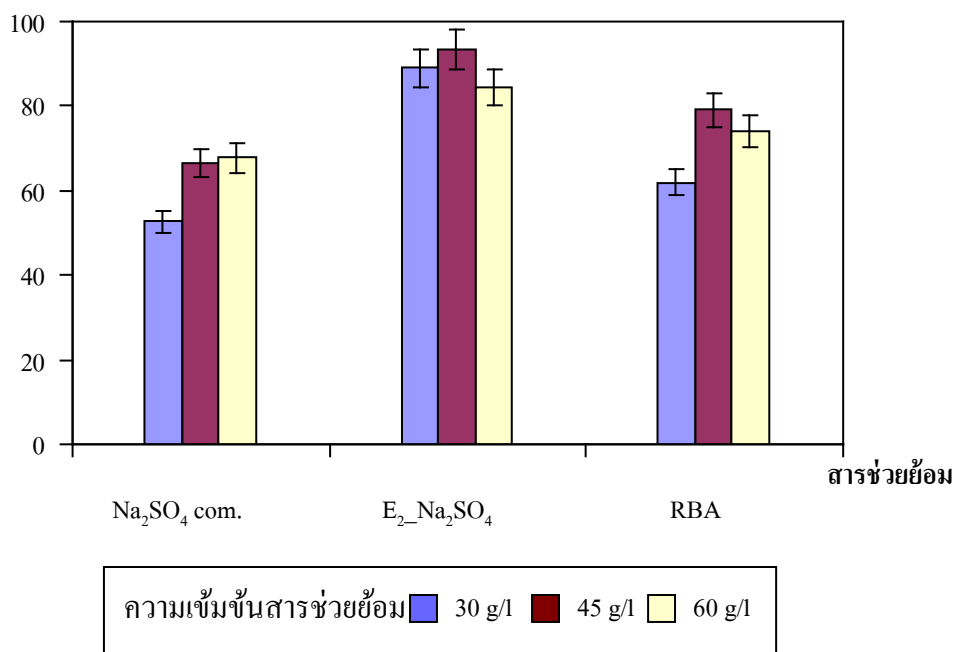
รูปที่ 3.9 ร้อยละของการย้อมสีแดงติดบนผ้าที่ความเข้มข้นต่างๆ กันของสารช่วยย้อมแต่ละชนิด

ร้อยละของการพ่นสีติดบนผ้า



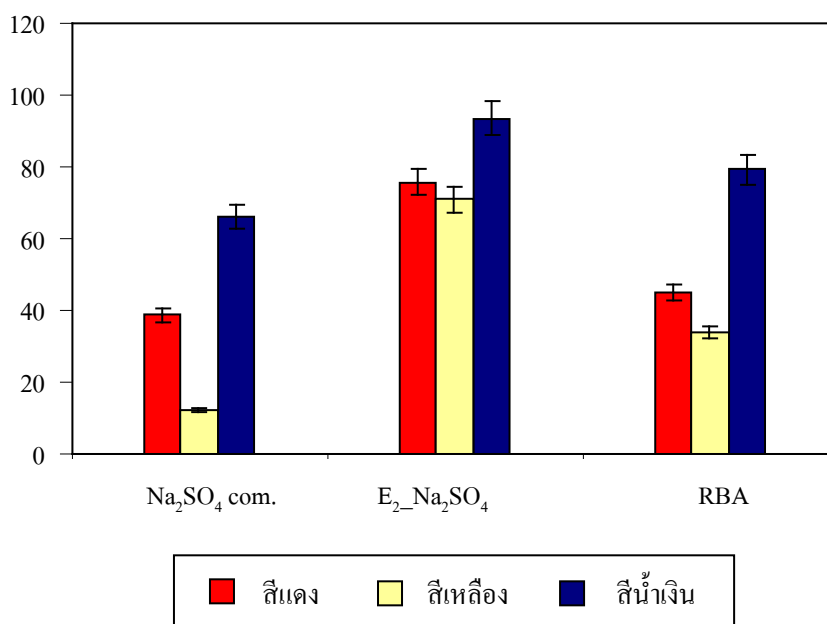
รูปที่ 3.10 ร้อยละของการพ่นสีเหลืองติดบนผ้าที่ความเข้มข้นต่างๆ กันของสารช่วยย้อมแต่ละชนิด

ร้อยละของการพ่นสีติดบนผ้า



รูปที่ 3.11 ร้อยละของการพ่นสีน้ำเงินติดบนผ้าที่ความเข้มข้นต่างๆ กันของสารช่วยย้อมแต่ละชนิด

ร้อยละของการย้อมสีติดบนผ้า

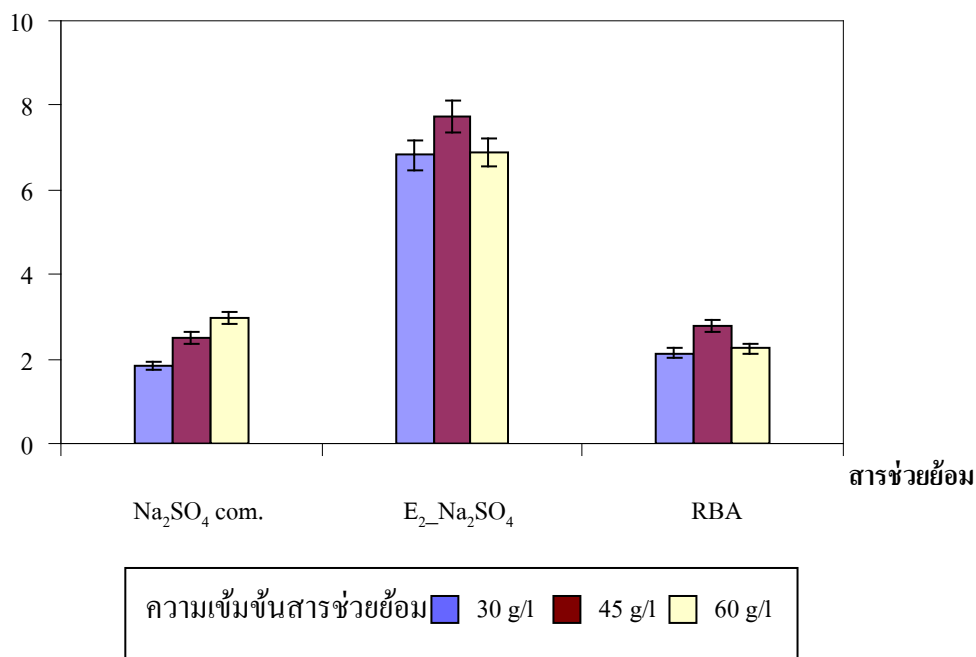


รูปที่ 3.12 ร้อยละของการย้อมสีติดบนผ้าที่ความเข้มข้นสารช่วยย้อม 45 กรัมต่อลิตร

3.9 ประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหม โดยใช้โซเดียมซัลเฟตทางการค้า E₂-Na₂SO₄ และซีไ้เถาขาวเป็นสารช่วยย้อม ที่ความเข้มข้น 30, 45 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยวัดความเข้มสีบนผ้า

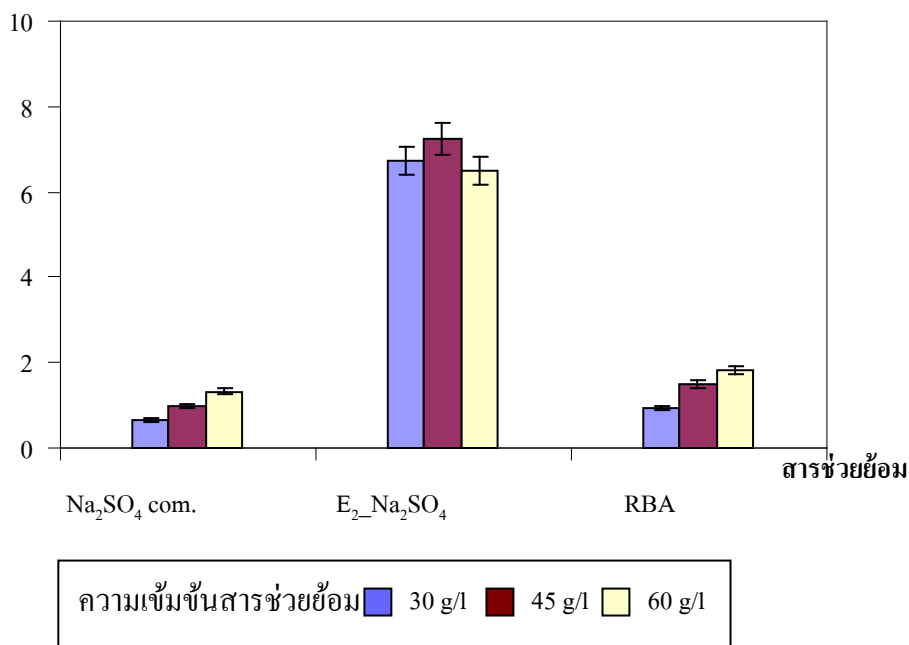
ประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหม โดยใช้โซเดียมซัลเฟตทางการค้า โซเดียมซัลเฟตและโซเดียม คลอไรด์ที่สกัดจากซีไ้เถาขาว (E₂-Na₂SO₄) และซีไ้เถาขาวเป็นสารช่วยย้อม ที่ความเข้มข้น 30, 45 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยวัดความเข้มสีผ้าทั้ง 3 สี ด้วยเครื่อง Spectrophotometer แสดงดังรูปที่ 3.13 ถึง 3.16 พบว่า ประสิทธิภาพการย้อมให้ผลเช่นเดียวกับผลการวัดร้อยละของการย้อมสีติดบนผ้า คือสารช่วยย้อม E₂-Na₂SO₄ มีประสิทธิภาพการย้อมสูงสุด เมื่อความเข้มข้นสารช่วยย้อมเท่ากับ 45 กรัมต่อลิตร และมีความเข้มสีน้ำเงินบนผ้าสูงที่สุด

ความเข้มสีผ้า



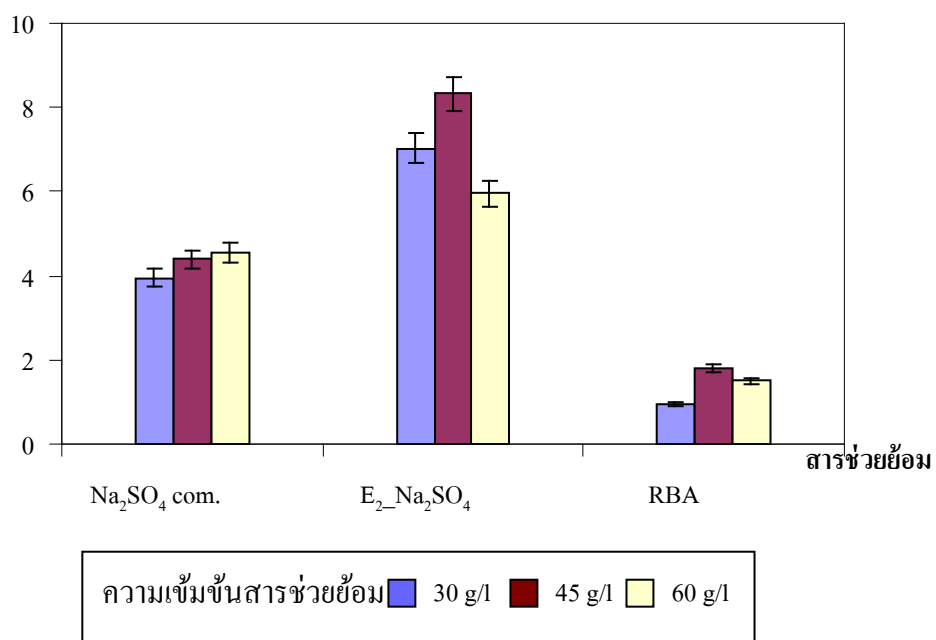
รูปที่ 3.13 ความเข้มผ้าสีแดงบนผ้าที่ความเข้มข้นต่างๆ กันของสารช่วยย้อมแต่ละชนิด

ความเข้มสีผ้า



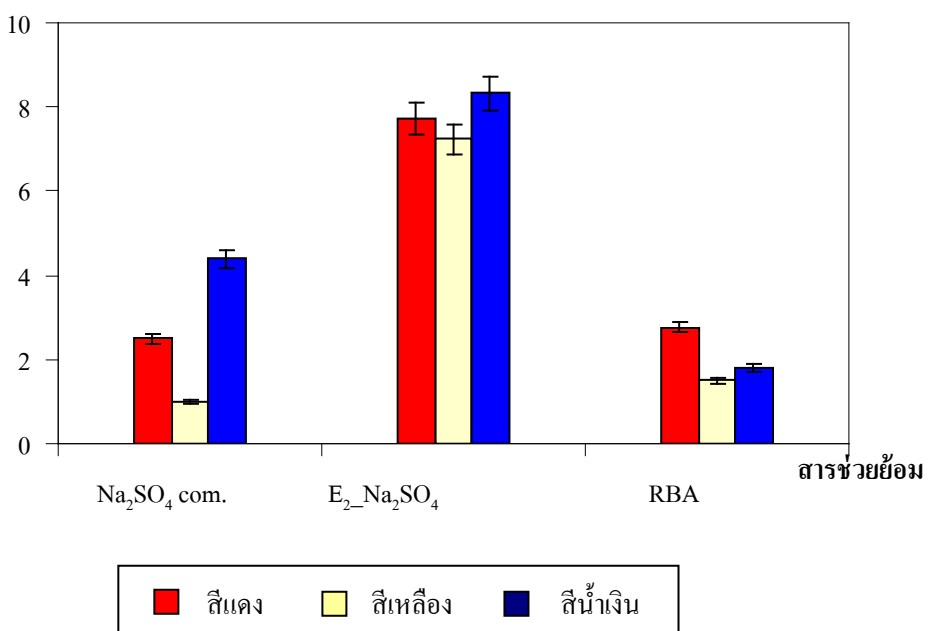
รูปที่ 3.14 ความเข้มผ้าสีเหลืองบนผ้าที่ความเข้มข้นต่างๆ กันของสารช่วยย้อมแต่ละชนิด

ความเข้มสีผ้า



รูปที่ 3.15 ความเข้มผ้าสีน้ำเงินบนผ้าที่ความเข้มข้นต่างๆ กันของสารช่วยย้อมแต่ละชนิด

ความเข้มสีผ้า



รูปที่ 3.16 ความเข้มสีผ้าที่ความเข้มข้นสารช่วยย้อม 45 กรัมต่อลิตร

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย้อมของสารช่วยย้อมโซเดียมซัลเฟตทางการค้า $E_2-Na_2SO_4$ และ ชี้ไก่ขาว โดยการวัดร้อยละของการผนึกสีติดบนผ้าและความเข้มสีผ้า ทำให้สรุปได้ว่า สารช่วยย้อมที่ให้ประสิทธิภาพการย้อมสูงสุด คือ $E_2-Na_2SO_4$ เมื่อความเข้มข้นสารช่วยย้อมเท่ากับ 45 กรัมต่อลิตร และย้อมสีน้ำเงินได้ดีที่สุด จากการทดลองที่ 4.2 ทำให้ทราบว่าความเข้มข้นสารช่วยย้อมที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 45 ถึง 60 กรัมต่อลิตร เมื่อความเข้มข้นสารช่วยย้อมเกิน 60 กรัมต่อลิตร สีย้อมจะตกตะกอนเนื่องจากความเข้มข้นสารช่วยย้อมมากเกินไป ดังนั้นจึงศึกษาความเข้มข้นสารช่วยย้อมในช่วง 45 ถึง 60 กรัมต่อลิตร เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ $E_2-Na_2SO_4$

บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 การศึกษาการสกัดโซเดียมซัลเฟตจากซีไถ่ขาวด้วยวิธีการตกผลึกและการระเหยแห้ง

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโซเดียมซัลเฟตจากซีไถ่ขาวด้วยวิธีการตกผลึก คือ ระยะเวลาในการตกผลึก 48 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 อุณหภูมิในการตกผลึก 5 องศาเซลเซียส โดยไม่กวนสารละลายขณะทำการสกัด จะได้ร้อยละของ $C_2Na_2SO_4$ ที่ตกผลึกได้เท่ากับ 71.80 โดยมีองค์ประกอบของโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 95.68 ต่อ 4.32 โดยน้ำหนัก ขณะที่สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโซเดียมซัลเฟตจากซีไถ่ขาวด้วยวิธีการระเหยแห้ง คือ ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 และกวนสารละลายขณะทำการสกัด จะได้ร้อยละของ $E_2Na_2SO_4$ ที่ระเหยแห้งได้เท่ากับ 95.95 และมีองค์ประกอบของโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 87.99 ต่อ 12.01 โดยน้ำหนัก

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหม โดยใช้โซเดียมซัลเฟตทางการค้า โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ที่สกัดได้จากซีไถ่ขาวและซีไถ่ขาวเป็นสารช่วยย้อม

การศึกษาประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหมโดยใช้โซเดียมซัลเฟตทางการค้า โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ที่สกัดได้จากซีไถ่ขาว ($E_2Na_2SO_4$) และซีไถ่ขาวเป็นสารช่วยย้อม พบว่า $E_2Na_2SO_4$ มีประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหมดีที่สุด ที่ความเข้มข้นสารช่วยย้อม 45 กรัมต่อลิตร และให้ประสิทธิภาพในการย้อมสีน้ำเงินดีที่สุด รองลงมา คือ สีแดงและสีเหลืองตามลำดับ การย้อมด้วย $E_2Na_2SO_4$ มีประสิทธิภาพดีกว่าซีไถ่ขาว ดังนั้นการใช้ซีไถ่ขาวเป็นสารช่วยย้อมจึงควรผ่านการระเหยแห้งเพื่อกำจัดโซเดียมคาร์บอเนตก่อนการย้อม

4.3 ข้อเสนอแนะ

ปัจจัยที่ควรศึกษาเพิ่มเติมในการศึกษาประสิทธิภาพการย้อมสีไหม คือ ศึกษาเรื่องความเข้มข้นของสารช่วยย้อมซีไถ่ที่ให้ประสิทธิภาพการย้อมเท่ากับ $E_2Na_2SO_4$ ที่ความเข้มข้น 45 กรัมต่อลิตร หรือ ศึกษาประสิทธิภาพในการย้อมสีผ้าไหม โดยใช้สารช่วยย้อม $E_2Na_2SO_4$ ที่ให้ประสิทธิภาพการย้อมเท่ากับสารช่วยย้อมโซเดียมซัลเฟตทางการค้า เพื่อเป็นการลดปริมาณของสารช่วยย้อม $E_2Na_2SO_4$ และในเรื่องของการสกัดโซเดียมซัลเฟตจากซีไถ่ขาว ควรศึกษาวิธีการสกัดด้วยวิธีอื่นนอกเหนือจากวิธีการตกผลึกและการระเหยแห้ง

ผลสำเร็จที่ได้จากโครงการ

ผลงานวิจัยบางส่วนได้ถูกนำเสนอในงานประชุมวิชาการนานาชาติ 1 เรื่อง รายละเอียดดัง
ภาคผนวก

S.Chiarakorn, R. Pavavongsak and U. Sangwatanaroj. *“Utilization of Recovery Boiler Ash as a Dyeing Auxiliary”*, The 12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management (IWA DIPCON 2008), 25-29 Aug 2008, Khon Kaen University, Thailand.

เอกสารอ้างอิง

1. สมาคมการพิมพ์ไทย, 2548, **สมาคมการพิมพ์ไทย** [online], Available : <http://thaiprint.org/viewindspending.php?indspendid=2> [10 สิงหาคม 2548]
2. บริษัท แอ็ดวานซ์ อะโกร จำกัด (มหาชน), 2548, **Introduction to Pulping Process**, หน้า 9-29
3. Wikipedia, 2005, **Wikipedia, the free encyclopedia** [online], Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_sulfate#Uses [10 สิงหาคม 2548]
4. สมชาย ศิริเลิศพิทักษ์, 2546, “กระบวนการกำจัดและนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ในการผลิตเยื่อกระดาษ”, **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ**, ปีที่ 51, ฉบับที่ 162, หน้า 14-16
5. American Air Liquide, 2005, **Americian Air Liquide** [online], Available : http://www.us.airliquide.com/en/business/industry/pulp_paper/solutions/application/white_liquor_oxidation.asp [29 สิงหาคม 2548]
6. Yusup Chandra, 2004, **Alkaline Pulping : Deadload Reduction Studies in Chemical Recovery System**, Degree of Master of Science in Paper Science Engineering, School of Chemical and Biomolecular Engineering Georgia Institute of Technology
7. Magnus Marklund, **Black liquor recovery : How does it work?** [online], Available : http://etcpitea.se/blg/document/PBLG_or_RB.pdf [29 สิงหาคม 2548]
8. Paul F. E., David D. and Jean C. P., 1995, **Removal of Chloride and Potassium from The Kraft Recovery Cycle** [online], Available : <http://www.clo2.com/reading/publications/removal/removal.html> [14 กรกฎาคม 2005]
9. Toumas V., 2005, **Simulation of a Recrystallization Process**, Degree of Master of Science in Technology, Department of Chemical Technology, Helsinki University of Technology
10. ฝ่ายจัดการกากของเสีย บริษัท เกล็ดูตะวันออก จำกัด, 2548, **กากของเสียโรงงานเยื่อและกระดาษ**, หน้า 4-17
11. วิจิตร เอื้อประเสริฐ, 2548, **คู่มือปฏิบัติการเคมีอินทรีย์**, ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 31-52

12. Wikimedia, 2007, **Sodium Sulfate** [online], Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_sulfate [14 มกราคม 2549]
13. Ken M., 1997, **Phase Diagrams** [online], Available : http://www.ucalgary.ca/~kmuldrew/cryo_course/cryo_chap6_1.html [14 มกราคม 2549]
14. Jiyeon J. and Gang S., 2001, "Recovery of Sodium Sulfate from Farm Drainage Salt for Use in Reactive Dyeing of Cotton", **Environmental Science & Technology**, Vol. 35, No. 16, page 3391-3395
15. อภิชาติ สนธิสมบัติ, 2545, **กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ**, ครั้งที่ 1, คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, หน้า 22-146
16. กาวี ศรีกุลกิจ, 2544, "หลักการย้อมสีสิ่งทอ", **คัลเลอร์เวย์**, ปีที่ 33, หน้า 14-15
17. มณฑา จันทร์เกตุเลียด, 2541, **วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น**, ครั้งที่ 1, หอรัตนการพิมพ์, หน้า 260-261
18. กาวี ศรีกุลกิจ, 2544, "หลักการย้อมสีสิ่งทอ", **คัลเลอร์เวย์**, ปีที่ 34, หน้า 20-22
19. กาวี ศรีกุลกิจ, 2544, "สีย้อม", **คัลเลอร์เวย์**, ปีที่ 34, หน้า 14-16
20. กาวี ศรีกุลกิจ, 2545, "หลักการย้อมสีสิ่งทอ", **คัลเลอร์เวย์**, ปีที่ 41, หน้า 59-42
21. ชินวัตร ไทย จำกัต์, 2543, **ชินวัตร ไทย จำกัต์** [online], Available : <http://www.shinawatrathai.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=88157> [2 กันยายน 2548]
22. สมหญิง ชูประยูร, ศิริพร บุญชู และสฤณีพร ชูประยูร, 2540, **การพัฒนาไหมในประเทศไทย** [online], Available : <http://www.doae.go.th/library/html/detail/silkwopm/silk10.htm> [2 กันยายน 2548]
23. งามจิตร ถวัลย์วิจิตร, 2548, "สีย้อมไหม", **คัลเลอร์เวย์**, ปีที่ 57, หน้า 35
24. นฤมล ศิริทองธรรม, 2548, "การย้อมสีไหม", **คัลเลอร์เวย์**, ปีที่ 57, หน้า 32-33
25. Ciba Specialty Chemicals, 2005, **CIBACRON F/FN reactive dyes on silk**, page 1-3
26. Cosmas B., Christopher L. V. and Ronald W. R., 2006, "Stability of Sodium Sulfate Dicarboxylate ($2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$) Crystals Obtained from Evaporation of Aqueous Solutions of Na_2CO_3 and Na_2SO_4 ", **Ind. Eng. Chem.**, Vol. 45, page 7144-7150

27. M.D. Karkhanavala and U. R. K. Rao, 1979, "A Differential Scanning Calorimetric Study of Phase Transition in Na_2SO_4 ", **Journal of Thermal Analysis**, Vol. 17, page 457-46

ภาคผนวก

บทคัดย่องานวิจัยที่ได้นำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ: The 12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management (IWA DIPCON 2008), 25-29 Aug 2008, Khon Kaen University, Thailand.