

การกำจัดสิ่งของน้ำเสียจากการฟอกย้อมของโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์



นายโชคเอื้อ ศรีสุชาติ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DECOLORIZATION OF BLEACHING WASTEWATER FROM PULP MILL USING SODIUM BOROHYDRIDE



MR. CHOAKURE SEESUCHART

สถาบันวิทยบริการ
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Environment Engineering Program in Environment Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2006
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกำจัดสีของน้ำเสียจากการฟอกเชื้อของโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้
โซเดียมโบโรไฮไดรด์

โดย

นาย โชคเอื้อ ศรีสุชาติ

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

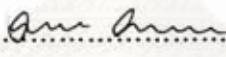
อาจารย์ที่ปรึกษา

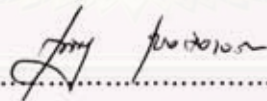
รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ถาวิญญ์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ติมปเสนีย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพ็ชรมนกุล)

นาย โชคเอื้อ ศรีสุชาติ : การกำจัดสีของน้ำเสียจากการฟอกเชื้อของโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (DECOLORIZATION OF BLEACHING WASTEWATER FROM PULP MILL USING SODIUM BOROHYDRIDE) อ.ที่ปรึกษา:รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ, 94 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการลดสีน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ โดยมีโซเดียมเมตาโบซัลไฟท์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา และเพื่อประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลดสีน้ำเสียจากกระบวนการฟอกเชื้อโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ในการทำงานวิจัยได้นำน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงจากโรงงาน 3 แห่ง ซึ่งมีกระบวนการต้มเชื้อแบบคราฟท์แต่มีลักษณะสมบัติน้ำเสียที่แตกต่างกัน เช่น สี วัตถุคืบ (ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส) และกระบวนการฟอกเชื้อ ผลการทดลองสรุปได้ว่าน้ำเสียโรงงานที่ 1 (PH-I) ซึ่งมีวัตถุคืบคือไม้ไผ่ มีกระบวนการฟอกเชื้อแบบ $C/DE_0D_1D_2$ มีค่าพารามิเตอร์ คือ เวลาที่ใช้ในการกวน ค่าพีเอชที่เหมาะสม ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม และ อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม เท่ากับ 120 นาที, 4.0, 0.10 โมลต่อลิตร, 1 ต่อ 2 โดยสามารถลดสีได้ 80 เปอร์เซ็นต์ และลดลิกนินได้ 95 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสียโรงงานที่ 2 (PH-II) ซึ่งมีวัตถุคืบคือยูคาลิปตัส มีกระบวนการฟอกเชื้อแบบ $D_0E_0D_1D_2$ มีค่าพารามิเตอร์ คือ เวลาที่ใช้ในการกวน ค่าพีเอชที่เหมาะสม ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม และอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมเท่ากับ 300 นาที, 6.0, 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร, 1 ต่อ 0.5 โดยสามารถลดสีได้ 28 เปอร์เซ็นต์ และลดลิกนินได้ 95 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสียโรงงานที่ 3 (SC) ซึ่งมีวัตถุคืบคือยูคาลิปตัสมีกระบวนการฟอกเชื้อแบบ $CE_{0r}H_1H_2$ มีค่าพารามิเตอร์ คือ เวลาที่ใช้ในการกวน ค่าพีเอชที่เหมาะสม ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม และ อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม เท่ากับ 100 นาที, 6.0, 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร, 1 ต่อ 1.5 โดยสามารถลดสีได้ 75 เปอร์เซ็นต์ และลดลิกนินได้ 36 เปอร์เซ็นต์สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ (อัลคาไลน์ลิกนิน 2000 พีพีเอ็ม) มีค่าพารามิเตอร์ คือ เวลาที่ใช้ในการกวน ค่าพีเอชที่เหมาะสม ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม และ อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม เท่ากับ 120 นาที, 10 ถึง 12, 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร, 1 ต่อ 0.5 ตามลำดับ โดยสามารถลดสีได้ 74 เปอร์เซ็นต์ และลดลิกนินได้ 60 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิติกร.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4870582221 : MAJOR ENVIRONMENT ENGINEERING

KEY WORD: BLEACHING WASTEWATER / SODIUM BOROHYDRIDE / DECOLORIZATION

CHOAKURE SEESUCHART: DECOLORIZATION OF BLEACHING WASTEWATER FROM PULP MILL USING SODIUM BOROHYDRIDE. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D., 94 pp.

The objective of this research was to study the decolorization efficiency of bleaching wastewater from pulp mill using sodium borohydride, together with sodium metabisulphite as a catalyst, and to estimate the approximate cost of the decolorization of bleaching wastewater using sodium borohydride. This research used the synthetic wastewater and bleaching wastewater from 3 factories, which are kraft process, and are different in qualification; such as color, raw material (bamboo, eucalyptus) and bleaching process. The research found out that the first factory (PH-I), which raw material is bamboo and bleaching process is $C/DE_0D_1D_2$ wastewater's parameter: stirring time, optimum pH, the optimum concentration of sodium borohydride, and the optimum mole proportion are 120 minute, 4.0, 0.10 mole per litre, 1:2 respectively. This test can remove 80 percent of color and 95 percent of lignin. The second factory (PH-II), which raw material is eucalyptus and bleaching process is $D_0E_0D_1D_2$ wastewater's parameter: stirring time, optimum pH, the optimum concentration of sodium borohydride, and the optimum mole proportion are 300 minute, 6.0, 0.04 mol per litre, 1:0.5 respectively. This test can remove 28 percent of color and 95 percent of lignin. The third factory (SC), which raw material is eucalyptus and bleaching process is $CE_{op}H_1H_2$ wastewater's parameter: stirring time, optimum pH, the optimum concentration of sodium borohydride, and the optimum mole proportion are 100 minute, 6.0, 0.04 mole per litre, 1:1.5 respectively. This test can remove 75 percent of color and 36 percent of lignin. The synthetic wastewater's parameter (alkali lignin 2000 ppm) : stirring time, optimum pH, the optimum concentration of sodium borohydride, and the optimum mole proportion are 120 minute, 10 to 12, 0.10 mole per litre, 1:0.5 respectively. This test can remove 74 percent of color and 60 percent of lignin.

Department Environmental Engineering..
Field of study Environmental Engineering
Academic year 2006

Student's signature.....
Advisor's signature.....

Choke S.
Petchporn. C

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความเมตตา ความเอาใจใส่ตลอดเวลา และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำปรึกษาและแนะแนวทางในการทำวิจัย ตรวจสอบทุกขั้นตอนอย่างเข้มงวด ตลอดจนความทุ่มเทปลูกฝังวินัยในการทำงานวิจัยแก่ศิษย์ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสุด และจะนำแนวทางที่ได้ไปใช้ในการทำงานให้เป็นประโยชน์ต่อสังคมต่อไป รวมทั้งขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล อาจารย์ ดร.พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล ที่ได้กรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ให้ข้อเสนอแนะ ตลอดจนให้โอกาสแก่ผู้วิจัย ทุ่มเทสละเวลาตรวจสอบ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณโรงงานฟอกเยื่อที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และอนุญาตให้นำน้ำเสียจากหน่วยฟอกเยื่อเพื่อใช้ในการทดลองวิจัยนี้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของโรงงาน ที่ช่วยดำเนินการและอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเฉพาะคุณพิทยา พี่เป่า พี่หนึ่ง พี่พนม และครูจันทวรรณ สำหรับความช่วยเหลือต่างๆ แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้นเรียนของข้าพเจ้า โดยเฉพาะคุณศิริกุลกันยา เพื่อนร่วมกลุ่มวิจัย สำหรับความช่วยเหลือต่างๆ ในการทดลองและการตรวจทานรายงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณผู้ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของข้าพเจ้าในครั้งนี้ ได้แก่ ครอบครัวของข้าพเจ้า คุณพ่อ คุณแม่ พี่ศนิ ที่คอยให้กำลังใจ ดูแลอย่างใกล้ชิด ตลอดจนให้การสนับสนุนงานวิจัยและการศึกษา อันนำมาสู่ความสำเร็จของข้าพเจ้าในครั้งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1.1 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ.....	3
2.1.2 เคมีวิทยาของกระบวนการฟอกเยื่อ.....	6
2.1.3 ลิกนิน (Lignin).....	7
2.1.4 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ	10
2.1.5 โซเดียมโบโรไฮไดรด์.....	10
2.1.6 ความเหมาะสมในทางปฏิบัติของการใช้โซเดียมโบโร- ไฮไดรด์ในกระบวนการกำจัดสี (Decolorization).....	12
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	15
3.1.2 สารเคมี.....	15
3.2 พารามิเตอร์ของการทดลอง.....	15
3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทำวิจัย.....	16
3.4 วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์.....	21
3.5 การศึกษาทดลองเบื้องต้น.....	21

3.5.1	การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม.....	21
3.5.2	การหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม.....	22
3.5.3	การหาพีเอชที่เหมาะสม.....	22
3.6	การทำกราฟมาตรฐานในการวัดสีและลิกนิน.....	22
3.6.1	กราฟมาตรฐานในการวัดสี.....	22
3.6.2	การทำกราฟมาตรฐานในการวัดลิกนิน.....	23
3.7	ขั้นตอนการทดลอง.....	23
3.7.1	การทดลองขั้นที่ 1: ศึกษาระยะเวลาของการเกิด ปฏิกิริยารีดักชันโดยสมบูรณ์ของสีกับโซเดียมโบโร- ไฮไดรด์	23
3.7.2	การทดลองขั้นที่ 2: หาค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการ เกิดปฏิกิริยา.....	24
3.7.3	การทดลองขั้นที่ 3: หาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา	24
3.7.4	การทดลองขั้นที่ 4: อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียม- โบโรไฮไดรด์ต่อโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่เหมาะสม...	25
3.7.5	การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี ซีไอดี และลิกนิน โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์.....	26
3.8	ประมาณการค่าใช้จ่ายในการกำจัดสี.....	26
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	27
4.1	การศึกษาทดลองเบื้องต้น	27
4.1.1	การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม	27
4.1.2	การหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม.....	28
4.1.3	การหาค่าพีเอชที่เหมาะสม.....	29
4.2	กราฟมาตรฐานในการวัดปริมาณสีและลิกนิน.....	31
4.3	ผลการทดลองในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดสีและลิกนิน.....	33
4.3.1	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย.....	33
4.3.2	ผลการทดลองขั้นที่ 1 หาระยะเวลาความเร็วที่เหมาะสม	34
4.3.3	ผลการทดลองขั้นที่ 2 หาค่าพีเอชที่เหมาะสม.....	37
4.3.4	ผลการทดลองขั้นที่ 3 หาค่าโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ เหมาะสม.....	40

4.3.5 ผลการทดลองขั้นที่ 4 หาค่าอัตราส่วนโดยโมลของ โซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ที่เหมาะสม.....	43
4.4 กลไกการลดสีของโซเดียมโบโรไฮไดรด์.....	46
4.5 การหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดสี ลิกนิน และ ซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง.....	46
4.6 การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดสี.....	49
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	52
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะและข้อจำกัดของงานวิจัย.....	54
6.1 ข้อเสนอแนะ.....	54
6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย	54
รายการอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก. ความปลอดภัยในการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์.....	58
ภาคผนวก ข. วิธีการวิเคราะห์ลิกนิน.....	60
ภาคผนวก ค. วิธีวิเคราะห์สีในหน่วย PiCo.....	62
ภาคผนวก ง. การวัดสีในหน่วย ADMI	64
ภาคผนวก จ. ผลการทดลองการทำกราฟมาตรฐาน.....	66
ภาคผนวก ฉ. ผลการทดลองหาเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม.....	68
ภาคผนวก ช. ผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสม.....	76
ภาคผนวก ซ. ผลการทดลองหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม....	81
ภาคผนวก ฌ. ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม.....	85
ภาคผนวก ฉ. ผลการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ 100 ถึง 2500 พีพีเอ็ม	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	94

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของพันธะต่างๆ ในลิกนิน	9
ตารางที่ 2.2 คุณภาพน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อ บริษัทอุตสาหกรรมกระดาษ คราฟท์ไทยจำกัด.....	10
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดค่าน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย.....	16
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ต่างๆ และวิธีการวิเคราะห์.....	21
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเบื้องต้นในการหาโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม.....	27
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเบื้องต้นน้ำเสีย SC หาอัตราส่วน โมลที่เหมาะสม.....	28
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเบื้องต้นน้ำเสีย SC หาค่าพีเอชที่เหมาะสม.....	30
ตารางที่ 4.4 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย.....	34
ตารางที่ 4.5 สรุปผลการทดลองหาระยะเวลาเวลาที่เหมาะสม.....	35
ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสม.....	38
ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทดลองหาความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม.....	41
ตารางที่ 4.8 สรุปผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการ ลดสีและลิกนิน.....	44
ตารางที่ 4.9 การหาความสัมพันธ์ระหว่างสี ลิกนิน และซีไอดีที่ไม่ปรับพีเอช (9.8).....	47
ตารางที่ 4.10 การหาความสัมพันธ์ระหว่างสี ลิกนิน และซีไอดีที่พีเอช 4.....	47
ตารางที่ 4.11 การหาความสัมพันธ์ระหว่างสี ลิกนิน และซีไอดีที่พีเอช 7.....	47
ตารางที่ 4.12 สรุปประมาณการค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสี.....	51
ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม.....	52
ตารางที่ จ.1 ผลการทดลองการทำกราฟมาตรฐานสี ในหน่วยแพลตตินัมโคบอลต์ที่ความ เข้มข้นสูงครั้งที่ 1	67
ตารางที่ จ.2 ผลการทดลองการทำกราฟมาตรฐานสี ในหน่วยแพลตตินัมโคบอลต์ที่ความ เข้มข้นสูงครั้งที่ 2.....	67
ตารางที่ จ.3 ผลการทดลองการทำกราฟมาตรฐานลิกนินที่ความเข้มข้นต่ำ.....	67
ตารางที่ จ.4 ผลการทดลองการทำกราฟมาตรฐานลิกนินที่ความเข้มข้นสูง.....	67
ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดลองวัดค่าไออาร์พีของน้ำเสีย PH-I.....	69
ตารางที่ ฉ.2 ผลการทดลองวัดค่าไออาร์พีของน้ำเสีย PH-II.....	70
ตารางที่ ฉ.3 ผลการทดลองวัดค่าไออาร์พีของน้ำเสีย SC.....	71
ตารางที่ ฉ.4 ผลการทดลองวัดค่าไออาร์พีที่น้ำเสียสังเคราะห์.....	72

ตารางที่ ฉ.5 ผลการทดลองวัดค่าไออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์โดยป้องกันไม่ให้สัมผัส อากาศ.....	74
ตารางที่ ฉ.6 ผลการทดลองวัดค่าสีของน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อหาเวลาทำปฏิกิริยาที่ เหมาะสม.....	75
ตารางที่ ช.1 ผลการทดลองจาร์เทสต์เปรียบเทียบการปรับพีเอชและไม่ปรับพีเอช	77
ตารางที่ ช.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย.....	77
ตารางที่ ช.3 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I.....	77
ตารางที่ ช.4 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II ครั้งที่ 1	78
ตารางที่ ช.5 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II ครั้งที่ 2.....	78
ตารางที่ ช.6 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC ครั้งที่ 1	78
ตารางที่ ช.7 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียSC ครั้งที่ 2.....	79
ตารางที่ ช.8 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC ครั้งที่ 3.....	79
ตารางที่ ช.9 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์ครั้งที่ 1.....	79
ตารางที่ ช.10 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์ครั้งที่ 2.....	80
ตารางที่ ช.1 ผลการทดลองหาปริมาณ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม น้ำเสีย PH-I.....	82
ตารางที่ ช.2 ผลการทดลองหาปริมาณ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม น้ำเสีย PH-II.....	82
ตารางที่ ช.3 ผลการทดลองหาปริมาณ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมน้ำเสีย SCครั้งที่ 1	83
ตารางที่ ช.4 ผลการทดลองหาปริมาณ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมน้ำเสีย SCครั้งที่ 2	83
ตารางที่ ช.5 ผลการทดลองหาปริมาณ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม น้ำเสียสังเคราะห์ ครั้งที่ 1.....	83
ตารางที่ ช.6 ผลการทดลองหาปริมาณ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม น้ำเสียสังเคราะห์ ครั้งที่ 2.....	84
ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I.....	86
ตารางที่ ฉ.2 ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II.....	86
ตารางที่ ฉ.3 ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC.....	87
ตารางที่ ฉ.4 ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์ครั้งที่ 1	87
ตารางที่ ฉ.5 ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์ครั้งที่ 2	87
ตารางที่ ญ.1 สรุปรประสิทธิภาพการลดสีและลิกนินของน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 9.8.....	89
ตารางที่ ญ.2 ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลองที่พีเอช 9.8.....	89
ตารางที่ ญ.3 ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์หลังการทดลองที่พีเอช 9.8.....	89
ตารางที่ ญ.4 สรุปรสิทธิภาพการลดสีและลิกนินของน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 4.....	90

ตารางที่ ๕ ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลองที่พีเอช 4.....	90
ตารางที่ ๖ ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์หลังการทดลองที่พีเอช 4.....	90
ตารางที่ ๗ สรุปรประสิทธิภาพการลดสีและลิกนินของน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 7.....	91
ตารางที่ ๘ ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลองที่พีเอช 7.....	91
ตารางที่ ๙ ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์หลังการทดลองที่พีเอช 7.....	92
ตารางที่ ๑๐ ผลการทดลองหาซีโอไซด์ของน้ำกลั่นผสมสารเคมี.....	92
ตารางที่ ๑๑ ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดสี การลดลิกนิน และปริมาณ อัลคาไลน์ลิกนินครั้งที่ 1.....	92
ตารางที่ ๑๒ ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดสี การลดลิกนิน และปริมาณ อัลคาไลน์ลิกนิน ครั้งที่ 2.....	93



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 หน่วยโมนอเมอร์พีนิลโพรเพน.....	7
รูปที่ 2.2 พันธะระหว่างหน่วยพีนิลโพรเพน	8
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลลิกนิน.....	9
รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการผลิตของโรงงานเยื่อกระดาษ PH-I	18
รูปที่ 3.2 แผนผังกระบวนการผลิตของโรงงานเยื่อกระดาษ PH-II	19
รูปที่ 3.3 แผนผังกระบวนการผลิตของโรงงานเยื่อกระดาษ SC.....	20
รูปที่ 3.4 ลำดับวิธีการทดลอง ของการทดลองขั้นที่ 2.....	24
รูปที่ 3.5 ลำดับวิธีการทดลอง ของการทดลองขั้นที่ 3.....	25
รูปที่ 3.6 ลำดับวิธีการทดลอง ของการทดลองขั้นที่ 4.....	25
รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการลดสีน้ำเสีย SC ที่ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่างๆ.....	28
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการลดสีน้ำเสีย SC ที่อัตราส่วนโดยโมลต่างๆ.....	29
รูปที่ 4.3 ผลการทดลองในการลดสีของน้ำเสีย SC เมื่อแปรค่าอัตราส่วนโดยโมลต่างๆ....	29
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการลดสีของน้ำเสีย SC ที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	30
รูปที่ 4.5 ผลการทดลองในการลดสีของน้ำเสีย SC ที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	31
รูปที่ 4.6 กราฟมาตรฐานสำหรับการวัดสี.....	32
รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานในการหาปริมาณลิกนินที่ความเข้มข้น 100 ถึง 4000 มก.ต่อลิตร..	32
รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานในการหาปริมาณลิกนินที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 300 มก.ต่อลิตร..	33
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีและเวลาของน้ำเสีย PH-I.....	35
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีและเวลาของน้ำเสีย PH-II	36
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีและเวลาของน้ำเสีย SC	36
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีและเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์.....	37
รูปที่ 4.13 การทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์	37
รูปที่ 4.14 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I.....	38
รูปที่ 4.15 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II.....	39
รูปที่ 4.16 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC.....	39
รูปที่ 4.17 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมน้ำเสีย SC	40
รูปที่ 4.18 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์.....	40
รูปที่ 4.19 การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I.....	41
รูปที่ 4.20 การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II.....	42

รูปที่ 4.21 การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC.....	42
รูปที่ 4.22 การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์.....	43
รูปที่ 4.23 การหาค่าอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I.....	44
รูปที่ 4.24 การหาค่าอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II.....	45
รูปที่ 4.25 การหาค่าอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC.....	45
รูปที่ 4.26 การหาค่าอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์.....	46
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดสี การลดลิกนินและปริมาณ อัลคาไลน์ลิกนิน.....	49
รูปที่ ฉ.1 แสดงการทดลองวัดค่าไออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์โดยป้องกันไม่ให้สัมผัส อากาศ.....	73
รูปที่ ฉ.2 การทดลองวัดค่าไออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์โดยมีการป้องกันไม่ให้อากาศ ละลายน้ำ.....	73
รูปที่ ฉ.3 การทดลองวัดค่าสีและลิกนินของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษนั้นมีความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศไทย กำลังการผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทยมีมากกว่าหนึ่งล้านตันต่อปี การผลิตเยื่อกระดาษก่อให้เกิดมลภาวะสูงทั้งมลภาวะทางอากาศและมลภาวะทางน้ำ สีของน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษมักมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเป็นสีที่น่ารังเกียจกำจัดออกได้ยากด้วยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ สีน้ำตาลเข้มนี้เกิดจากสีของลิกนิน ซึ่งเป็นตัวประสานเยื่อไม้ การบำบัดสีน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายวิธีเช่นการใช้ก๊าซโอโซน การตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนประเภทสารส้มหรือปูนขาว หรือดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์หรือถ่านลอย แต่ทุกวิธีนั้นมีข้อจำกัด เช่น การใช้ก๊าซโอโซนและคาร์บอนกัมมันต์มีต้นทุนสูง การตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนและถ่านลอยต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอน แม้ว่าโรงงานผลิตเยื่อกระดาษจะมีระบบบำบัดน้ำทางชีวภาพเพื่อแก้ปัญหาสีน้ำเสีย แต่ระบบบำบัดทางชีวภาพ ไม่สามารถบำบัดสีในน้ำเสียจากการผลิตเยื่อกระดาษได้อย่างมีประสิทธิภาพ แหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดน้ำเสียที่มีสีเข้มมากที่สุดในการบวนการผลิตเยื่อกระดาษมาจากกระบวนการฟอกเยื่อ ดังนั้น หากสามารถบำบัดสีน้ำเสียจากกระบวนการฟอกเยื่อได้ก็จะทำให้สีของน้ำเสียรวมลดลงอย่างเห็นได้ชัด

มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดมาตรฐานสีของน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อกระดาษว่าห้ามปล่อยทิ้งน้ำเสียที่มีสีที่น่ารังเกียจลงสู่สิ่งแวดล้อม ไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐานสีของน้ำทิ้งไว้ ดังนั้นโรงงานเยื่อกระดาษบางโรงงานจึงไม่บำบัดสีน้ำเสีย ทำให้น้ำในแม่น้ำลำคลองมีสีเข้ม ส่งผลให้พืชน้ำสังเคราะห์แสงในน้ำได้น้อยลง มีผลต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำ และอาจทำให้ปลาตายได้

งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะใช้สาร โซเดียมโบโรไฮไดรด์ซึ่งเป็นสารรีดิวซ์อย่างแรง เพื่อแตกสลายโมเลกุลสี ซึ่งเป็นสารที่ย่อยสลายได้ยากตามธรรมชาติ ให้เปลี่ยนสภาพโมเลกุลในการบำบัดสีจากกระบวนการฟอกเยื่อ ซึ่งจะทำให้สีของน้ำเสียลดลงซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนในการบำบัดต่ำและไม่ก่อให้เกิดตะกอนจากการบำบัด ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ สาเหตุของสีในน้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากขั้นตอนการฟอกสีเยื่อกระดาษเป็นหลัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ใช้น้ำเสียจากกระบวนการฟอกสีเยื่อกระดาษเป็นน้ำเสียตัวอย่างในการทดลอง โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ ที่มีวัตถุดิบและกระบวนการผลิตแตกต่างกัน 3 โรงงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ลดสีน้ำเสียจากกระบวนการฟอกเยื่อในโรงงานเยื่อกระดาษ
- 2) เพื่อประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลดสีน้ำเสียจากกระบวนการฟอกเยื่อโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) หาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ลดสีน้ำเสียจากกระบวนการฟอกเยื่อในโรงงานเยื่อกระดาษ อาทิ เวลาสัมผัส ค่าพีเอช ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ อัตราส่วนโดยโมล ของโซเดียมโบโรไฮไดรด์และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้น้ำเสียตัวอย่างจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษที่มีวัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน 3 โรงงาน
- 2) ศึกษาความสัมพันธ์ของลิกนิน และปริมาณซีโอดีในน้ำเสียบนประสิทธิภาพการลดสี
- 3) ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลดสีน้ำเสียจากกระบวนการฟอกเยื่อโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการลดสีน้ำเสียจากกระบวนการฟอกเยื่อของโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้สารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์
- 2) ทำให้ทราบถึงค่าพีเอช ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์และอัตราส่วน โดยโมลของโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดสีน้ำเสียจากกระบวนการฟอกเยื่อกระดาษ
- 3) สามารถประมาณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการลดสีโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ได้
- 4) สามารถใช้เป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียที่มีลิกนินเป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ (พิมพ์ชนก, 2546)

การผลิตเยื่อกระดาษเป็นการนำไม้มาย่อยสลาย แล้วแยกส่วนที่เป็นเส้นใยออกเพื่อผลิตเป็นกระดาษชนิดต่างๆ โดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาผลิตมักมีส่วนผสมดังนี้

1. โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides) ได้แก่สารประกอบโพลีเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต ได้แก่แป้ง น้ำตาล และเซลลูโลส ซึ่งมีอยู่ประมาณ ร้อยละ 60-80 โดยน้ำหนักวัตถุดิบ ซึ่งแป้งและน้ำตาลจะถูกละลายออกมาได้ในระหว่างกระบวนการย่อยเยื่อ สำหรับส่วนที่เป็นเซลลูโลสนั้นอาจถูกละลายออกมาได้บ้างในกระบวนการผลิต

2. ลิกนิน (Lignin) มีอยู่ประมาณ ร้อยละ 20 ถึง 40 จะละลายออกมาจากเส้นใยในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย เช่น ละลายในสารละลายกรดซึ่งเป็นกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบ ซัลไฟท์หรือละลายในด่างร้อนในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบซัลเฟตหรือกระบวนการกราฟท์

3. สารประกอบอื่นๆ (Extraneous component) ในส่วนนี้มีอยู่ประมาณร้อยละ 2 ถึง 10 ได้แก่ สารประกอบที่ละลายในน้ำเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ เกลืออนินทรีย์ และสารอินทรีย์ เป็นต้น

ในการทำเยื่อกระดาษมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ กระบวนการทั่วไปแยกออกเป็น 3 วิธีด้วยกันคือ

- กระบวนการผลิตกระดาษเชิงกล (Mechanical Pulping)
- กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบกึ่งเคมี (Semi-Chemical Pulping)
- กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบเคมี (Chemical Pulping)

ซึ่งการจะเลือกกระบวนการแบบใดขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ทำ และลักษณะสมบัติของเยื่อกระดาษที่ต้องการ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับราคาของวัตถุดิบด้วย การทำเยื่อกระดาษของแต่ละกระบวนการมีดังนี้

2.1.1.1 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษเชิงกล (Mechanical Pulping)

เยื่อกระดาษแบบนี้มีชื่อเรียกว่า กราว์วูด (groundwood) ได้จากการบดเนื้อไม้ด้วยเครื่องบดเฉพาะ โดยอาศัยน้ำฉีดอยู่ขณะที่บดตลอดเวลา เพื่อกระจายเส้นใยในเนื้อไม้ออกจากกัน เยื่อกระดาษที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีลักษณะเป็นไม้แท้อยู่มากแต่มีคุณสมบัติไม่ดีเพราะไม่ใช่เยื่อเซลลูโลสบริสุทธิ์ การบดแบบนี้จะทำให้ได้เยื่อกระดาษมากที่สุดคือร้อยละ 85 ขึ้นไป เยื่อ

กระดาษชนิดนี้ทำได้ดีกว่าเยื่อกระดาษชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะสำหรับในประเทศที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในราคาถูก โดยทั่วไปเยื่อกระดาษชนิดนี้มักใช้ผสมกับ เยื่อกระดาษเคมีที่มีความเหนียวดี เยื่อกระดาษนี้มีความทึบแสงสูงใช้ได้ดีสำหรับกรณีที่ไม่ต้องการความเหนียว ความขาวสะอาดมากนัก ส่วนใหญ่ใช้สำหรับผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษอนามัยบางชนิด กระดาษกั้นสำหรับบรรจุสิ่งของกันแตกภายในกล่อง กระดาษฝาผนัง กระดาษเช็ดมือ และกระดาษห่อของอย่างคุณภาพต่ำ

2.1.1.2 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบกึ่งเคมี (Semi-Chemical Pulping)

เยื่อกระดาษแบบกึ่งเคมีทำได้โดยใช้กระบวนการเคมีและการบดเหมือนการทำเยื่อกระดาษบด แต่ใช้ปริมาณสารเคมีมากกว่าและใช้พลังงานในการบดเยื่อกระดาษน้อยกว่า เยื่อกระดาษที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีลิกนินปนอยู่แต่ไม่มากเท่าวิธีบด เคมีภัณฑ์ที่ใช้ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียเยื่อกระดาษมากนัก ในปัจจุบันกระบวนการแบบนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถใช้ได้กับเนื้อไม้หลายชนิดโดยเฉพาะไม้เนื้อแข็ง ค่าใช้จ่ายไม่แพง ได้เยื่อกระดาษมากและสามารถใช้เยื่อกระดาษนี้สำหรับผลิตกระดาษได้หลายชนิด ตั้งแต่กระดาษหนังสือพิมพ์ไปจนถึงกระดาษปอนด์อย่างดี การผลิตเยื่อกระดาษแบบนี้มีหลายวิธีแล้วแต่การใช้เคมีภัณฑ์ ซึ่งได้แก่

กระบวนการกรวณ้ดเคมี (Chemi-groundwood process) ใช้สำหรับไม้ใบกว้าง โดยต้มพอนไม้ด้วยน้ำยาซัลไฟต์ภายใต้ความดัน แล้วจึงบดไม้ด้วยเครื่องบดเยื่อ

กระบวนการโซดาไฟ (Cold caustic soda) ต้มไม้ที่ตัดเป็นท่อนเล็กๆ ด้วยน้ำยาโซดาไฟแล้วแยกเยื่อกระดาษออกโดยใช้เครื่องย่อย วิธีนี้ดีกว่าการบดเยื่อกระดาษโดยตรงเพราะเยื่อกระดาษที่ต้มแล้วบดง่ายกว่า

กระบวนการโซเดียมซัลไฟท์ (Neutral sulphite semichemical process) วิธีนี้ใช้น้ำยาโซเดียมซัลไฟต์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นน้ำยาต้ม

กระบวนการซัลเฟต (Sulphate semichemical process หรือ kraft semichemical process) น้ำยาต้มเยื่อกระดาษ สำหรับวิธีนี้ใช้น้ำยาผสมของโซเดียมซัลไฟท์และโซดาไฟ กระบวนการนี้อาจนำไปใช้ดัดแปลงสำหรับโรงงานที่ทำเยื่อกระดาษเหนียวได้

2.1.1.3 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบเคมี (Chemical Pulping)

การทำเยื่อกระดาษโดยกระบวนการทางเคมีทำโดยการต้มย่อยไม้หรือเส้นใยต่างๆ ด้วยเคมีภัณฑ์ภายใต้ความดันจนกระทั่งแยกเยื่อออกจากสิ่งอื่นได้ง่ายเมื่อนำไปล้าง ซึ่งจะให้เยื่อกระดาษที่มีปริมาณลิกนินเจือปนอยู่น้อยมากจึงเหมาะสำหรับทำกระดาษคุณภาพดีและมีความเหนียว แต่ปริมาณเยื่อที่ได้จากการทำเยื่อกระดาษแบบเคมีจะมีปริมาณน้อย คือ ประมาณ ร้อยละ 45 ถึง 60 การผลิตเยื่อกระดาษแบบนี้แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ตามการใช้เคมีภัณฑ์ ดังนี้

1. กระบวนการโซดา (Soda Process) ซึ่งใช้โซดาไฟหรือโซดาแผลเผา (Sodium Hydroxide) เป็นสารเคมีในการต้มเยื่อกระดาษภายใต้ความดัน แล้วจึงล้างและฟอกเยื่อกระดาษต่อไป เยื่อกระดาษแบบนี้ส่วนมากใช้สำหรับทำกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษจดหมาย และกระดาษที่ต้องการความนุ่ม
2. กระบวนการซัลเฟต (Sulphate Process) หรือ กระบวนการคราฟท์ (Kraft process) เป็นกระบวนการที่ใช้ได้กับพันธุ์ไม้ทุกชนิด สารเคมีที่ใช้ในการต้มไม้หรือวัตถุดิบอื่นๆ คือ โซดาไฟและโซเดียมซัลไฟอย่างละเท่าๆ กัน เยื่อกระดาษที่ได้จะมีความเหนียวมาก เยื่อกระดาษซัลเฟตชนิดไม่ฟอกสีใช้ทำกระดาษ กระดาษห่อของและกระดาษผิวกล่อง ส่วนเยื่อกระดาษซัลเฟตชนิดฟอกขาวใช้ทำกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษหนังสือ คุณภาพดี และกระดาษอนามัย
3. กระบวนการซัลไฟท์ (Sulphite Process) กระบวนการนี้เหมาะสำหรับทำเยื่อกระดาษจากพันธุ์ไม้เนื้อแข็งและไม้จำพวกหญ้า สารเคมีที่ใช้คือ สารละลายไบซัลไฟท์ของแคลเซียม แมกนีเซียม หรือแอมโมเนียม ใช้ได้กว้างขวางสำหรับการทำเยื่อกระดาษที่เหนียวมากจนถึงเยื่อกระดาษที่นุ่ม กระบวนการนี้ไม่เหมาะสำหรับไม้ที่มีเรซิน หรือยางในปริมาณมาก

เมื่อได้เยื่อกระดาษแล้ว ขั้นตอนต่อไปมีลำดับดังนี้

1. การล้างเยื่อกระดาษให้สะอาด (Washing) และร่อนเอาเยื่อกระดาษหยาบออก (Screening) เยื่อกระดาษที่ได้จากกรรมวิธีต่างๆ ที่กล่าวมา ต้องนำเข้าสู่เครื่องล้างเยื่อกระดาษเพื่อล้างน้ำยาเคมีออกให้หมด จะได้เยื่อกระดาษที่หยาบและละเอียดและมีสิ่งสกปรกปนอยู่ ฉะนั้นต้องนำเข้าสู่เครื่องร่อนเพื่อร่อนเอาเยื่อกระดาษหยาบไปผ่านกรรมวิธีทำเยื่อกระดาษอีกครั้งหนึ่ง เยื่อกระดาษละเอียดต้องแยกสิ่งสกปรกออกให้หมด เพราะจะทำให้กระดาษมีตำหนิและคุณภาพไม่ดี
2. ฟอกสีเยื่อกระดาษ (Bleaching) เยื่อกระดาษที่สะอาดและละเอียดจะนำไปฟอกให้ขาวด้วยน้ำยาคลอรีน เพื่อให้ได้กระดาษที่มีความมันวาวสูง ดังนั้นในการฟอกสีต้องควบคุมความเป็นกรดค่าความเข้มข้นของเยื่อกระดาษ ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการฟอก และเวลา
3. ผสมกับเยื่อกระดาษชนิดอื่นๆ (Mixing) ในกรณีที่ผลิตกระดาษจากขานอ้อย เนื่องจากเยื่อของขานอ้อยเป็นเยื่อเส้นใยสั้นและใยปานกลางจึงมีความแข็งแรงทนทานต่ำ จึงต้องผสมเข้ากับเยื่อที่มีเส้นใยยาว
4. ตีหรือบดเยื่อกระดาษ (Beating) ในเครื่องตีเยื่อมีแผ่นเหล็กใบมีด เพื่อตีเยื่อให้ผสมกันและทำให้เส้นใยของตัวมีลักษณะอ่อนตัวลงไม่กระด้าง เมื่อนำไปผลิตกระดาษจะได้กระดาษที่มีความเหนียวและทนทาน นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของเยื่อกระดาษ จึงเป็นประโยชน์ในการย้อมสี ทำให้สีเกาะได้มากขึ้น

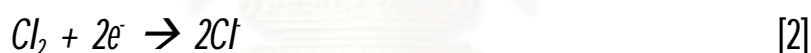
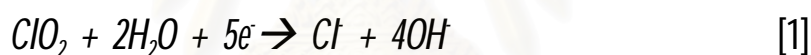
5. เติมน้ำสารอื่นๆ (Paper additive) การเติมน้ำสารอื่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเยื่อกระดาษให้เหมาะสมในการนำเยื่อไปผลิตเป็นกระดาษ สารที่เติมลงไปได้แก่ ชันสน เพื่อให้กระดาษที่ผลิตออกมาไม่ดูน้ำมากเกินไป เติมน้ำสารส้มเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการซึมและทำให้เยื่อกระดาษขาวขึ้น และเติมแป้งมันสำปะหลัง เพื่อช่วยยึดเส้นใยให้ประสานกัน ทำให้กระดาษทนต่อการลบไม่ยุ่ง่าย และช่วยทำให้เส้นใยสั้นๆ มาผสมผสานกันมากขึ้น

6. เข้าเครื่องเดินแผ่น (Paper machine) เมื่อเยื่อกระดาษผ่านกระบวนการต่างๆ จนสามารถนำไปทำเป็นแผ่นกระดาษได้จึงส่งไปส่วนเดินแผ่น ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ส่วนตะแกรง (Wire section) ส่วนที่ทำหน้าที่บีบอัด (Press section) และส่วนที่ทำให้แห้ง (Dryer section)

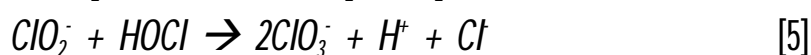
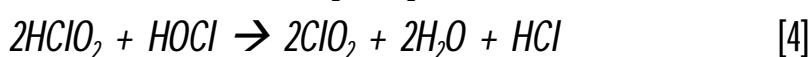
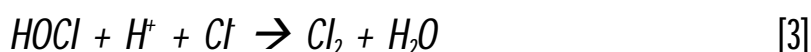
2.1.2 เคมีวิทยาของกระบวนการฟลอกเยื่อ (Runge, 2005)

เคมีวิทยาของคลอรีนไดออกไซด์

คลอรีนไดออกไซด์เป็นสารเรดิคัลและเป็นสารออกซิเดนต์ที่รุนแรง ซึ่งสามารถปล่อยอิเล็กตรอนได้ 5 ประจุในกระบวนการรีดักชันเป็นคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ดังแสดงในสมการ [1] ในขณะที่ก๊าซคลอรีนปล่อยอิเล็กตรอนเพียง 2 ประจุในปฏิกิริยารีดักชันเป็นคลอไรด์ไอออนดังสมการ [2]



สมการรีดอกซ์ [1] และ [2] แสดงให้เห็นว่า 1 โมลของ ClO_2 มีออกซิเดทีฟพาวเวอร์แรงกว่า Cl_2 2.5 เท่า ซึ่งเป็นที่เข้าใจผิดกันมาก เพราะ ClO_2 ไม่ได้เปลี่ยนไปเป็น Cl^- ทั้งหมดเมื่อมันทำปฏิกิริยากับลิกนิน เมื่อ ClO_2 ออกซิไดซ์ลิกนิน มันจะถูกรีดิวซ์เป็นกรดไฮโปคลอรัส ($HOCl$) และกรดคลอรัส ($HClO_2$) กรดไฮโปคลอรัสสามารถออกซิไดซ์ลิกนินและถูกรีดิวซ์เป็น Cl^- ตามสมการ [3] กรดคลอรัสไม่ทำปฏิกิริยากับลิกนิน แต่ทำปฏิกิริยากับ $HOCl$ ได้เป็น ClO_2 ตามสมการ [4] และยังสามารถแตกตัวออกเป็นคลอไรท์ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับ $HOCl$ ได้เป็น คลอเรต (ClO_3^-) ตามสมการ [5] การเกิดคลอเรตเป็นรูปแบบสุดท้ายของ ClO_2 เพราะว่ามันไม่ทำปฏิกิริยาทั้งกับลิกนินและออกไซด์ของคลอรีนตัวอื่นๆ



นอกจากแสดงให้เห็นว่า ClO_2 ไม่ได้ถูกรีดิวซ์เป็น Cl^- ทั้งหมดแล้ว สมการ [1] ถึง [5] ยังแสดงให้เห็นว่าจะมีส่วนผสมของ ClO_2 , $HClO_3$, ClO_3^- , $HClO_2$, ClO_2^- , $HOCl$, Cl_2 , Cl^- เมื่อมี ClO_2

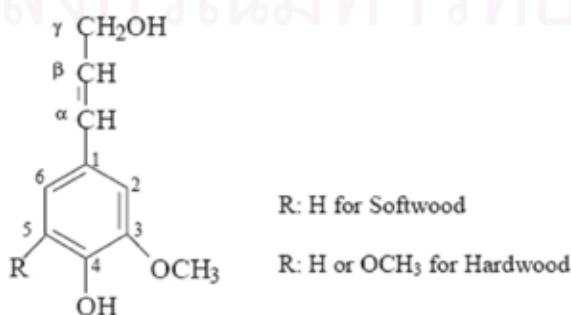
ความเข้มข้นของสารเหล่านี้ขึ้นอยู่กับพีเอช โครงสร้างลิกนินที่มีอยู่ และความเข้มข้นของคลอไรด์ ไอออน

2.1.3 ลิกนิน (Lignin)

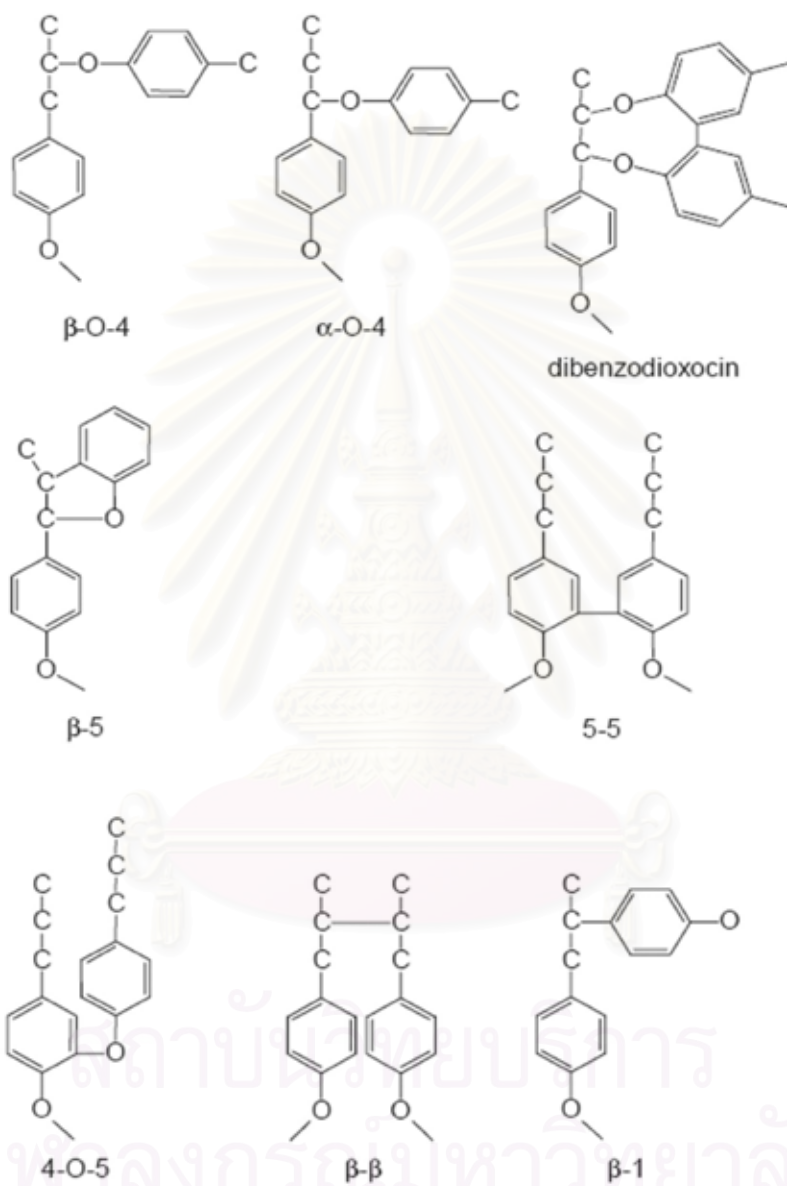
คำว่าลิกนินมาจากคำว่า *Lignum* ในภาษาลาติน ซึ่งหมายถึงไม้ โครงสร้างของลิกนินมีลักษณะเป็นโครงข่ายสามมิติของโพลิเมอร์ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของฟีนิลโพรเพน แม้ว่าจะมีความพยายามศึกษาลิกนินมาเป็นระยะเวลาหลายปี แต่ก็ยังไม่เป็นที่เข้าใจนัก เพราะเราไม่สามารถแยกลิกนินออกมาได้โดยไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของลิกนิน ในสภาวะปกติ ลิกนินเป็นโพลิเมอร์-อมอฟัส ที่ซับซ้อนที่มีอยู่ในโครงสร้างระดับเซลล์ของเนื้อไม้ และไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป การสกัดแยกลิกนินทำได้โดยแยกโพลีแซคคาไรด์ที่อยู่รอบๆ โดยกระบวนการ ไฮโดรไลซิส หรือทำให้พันธะแตกออกแล้วแยกส่วนของลิกนินออกมาในรูปของสารละลาย

ลิกนินมีความสำคัญมากใน โครงสร้างของต้นไม้ มีหน้าที่ในการช่วยยึดประสานเนื้อไม้ เข้าไว้ด้วยกัน และยังช่วยป้องกันน้ำไหลออกจากผนังเซลล์ ซึ่งทำให้เกิดการขนถ่ายน้ำและสารอาหาร นอกจากนี้ยังยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลชีพ แม้ว่าลิกนินจะเป็นสิ่งสำคัญสำหรับต้นไม้ แต่ก็ไม่ใช่ที่ต้องการสำหรับกระบวนการทำกระดาษและจะถูกแยกออกในระหว่างกระบวนการฟอกเยื่อ

มีการศึกษาโครงสร้างของลิกนินเพื่อพัฒนากระบวนการทำเยื่อและฟอกเยื่อ ซึ่งจากการย่อยสลายลิกนินและการใช้วิธีอัลตราไวโอเล็ตสเปกโตรสโคปีทำให้สรุปได้ว่าลิกนินประกอบด้วยหน่วยของเมทอกซีเลตฟีนิลโพรเพนที่สร้างพันธะกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงหน่วยย่อยของลิกนินและการเรียกชื่อของพันธะ การมีพันธะระหว่างหน่วยย่อยที่แตกต่างกันทำให้เกิดโครงสร้าง แมกโครโมเลกุลที่ซับซ้อน จากการศึกษาทำให้พบว่าหน่วยของฟีนิลโพรเพนนั่นต่อกันด้วยพันธะอีเทอร์ (C-O-C) หรือ พันธะคาร์บอน-คาร์บอน (C-C) รูปที่ 2.2 แสดงถึงพันธะต่างๆ ปริมาณของพันธะเหล่านี้ในไม้สนเป็นดังตารางที่ 2.1 ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำไปใช้สร้างโครงสร้างของลิกนินในไม้เนื้ออ่อน ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.3



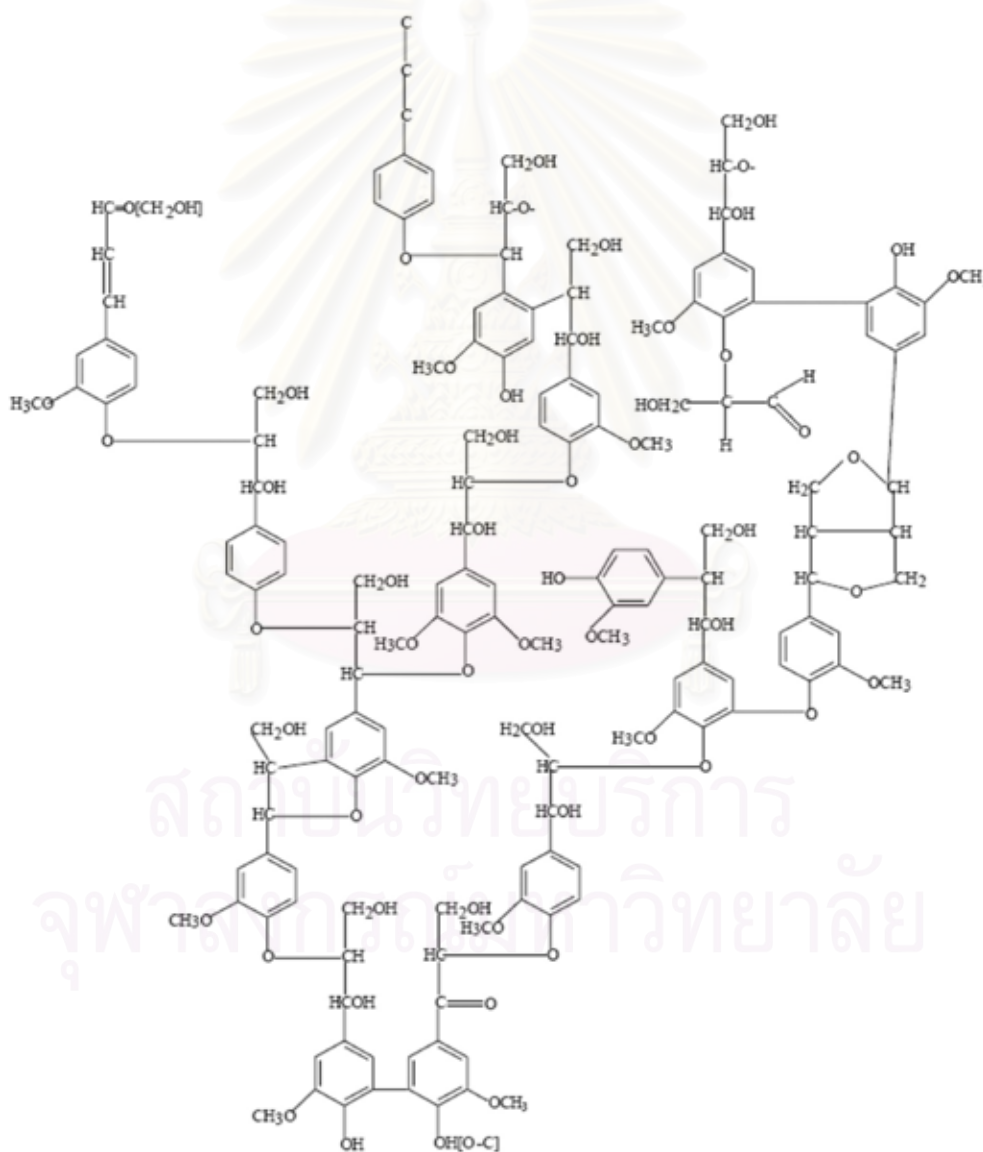
รูปที่ 2.1 หน่วยโมโนเมอร์ฟีนิลโพรเพน (Runge, 2005)



รูปที่ 2.2 พันธะระหว่างหน่วยฟีนิลโพรเพน (Runge, 2005)

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของพันธะต่างๆ ในลิกนิน (Runge, 2005)

Name	Bond Type	Percentage
β -O-4	Phenylpropane β -aryl ether	48
α -O-4	Phenylpropane α -aryl ether	6-8
β -O-4	Phenylcoumaran	9-12
5-5	Biphenyl	9-11
4-O-5	Diaryl ether	3-4
β - β	β - β -linked structures	2
β -1	1,2-Diarylpropane	7



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลลิกนิน (Runge, 2005)

2.1.4 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ

ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณภาพน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษอุตสาหกรรมกระดาษ
คราฟท์ไทยจำกัด (ชยพร, 2546)

เดือน	พีเอช	ของแข็งแขวนลอย (พีพีเอ็ม)	ของแข็งละลาย (พีพีเอ็ม)	ซีโอดี (พีพีเอ็ม)	บีโอดี (พีพีเอ็ม)	เยื่อที่ได้ (ตัน)	อัตราการไหล (ลบ.ม./วัน)
พฤศจิกายน	8.49	363	2313	1368	385	132.3	8175
ธันวาคม	8.96	363	3041	1738	489	190.7	8988
มกราคม	8.86	398	3041	1738	489	238.1	10163
กุมภาพันธ์	8.73	371	2788	1625	450	234.6	10407
เฉลี่ย	8.76	374	2796	1617	453	198.9	9433
สูงสุด	8.96	398	3041	1738	489	238.1	10407
ค่าเบี่ยงเบน	0.20	17	343	174	49	49.4	1043

*ข้อมูลจากแผนกจัดการสิ่งแวดล้อม บริษัทอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย จำกัด

2.1.5 โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (บุษรา, 2545)

โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์อย่างแรงที่มักใช้กันในรูปของสารละลาย และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยผลิตได้จากแร่บอแรกซ์ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ใช้ในทางการค้านั้นผลิตขึ้นในช่วงต้นปี 2503 โดยเวอร์ทรอน คอปอเรชั่น ซึ่งปัจจุบันได้กลายเป็นบริษัทมอร์ตันอินเตอร์เนชันแนล กระบวนการผลิตโซเดียมโบโรไฮไดรด์ เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดบอริกกับเมธานอลเพื่อให้เกิดไตรเมทิลบอเรต ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮไดรด์สูงซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้แก่ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการได้อีก นอกจากนี้ยังมีสารปนเปื้อนอื่นๆ และน้ำมันซึ่งจะถูกกำจัดในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ การใช้งานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในสภาวะที่มีอากาศ และความชื้นจะไม่เป็นอันตรายกับผู้ใช้เมื่อเปรียบเทียบกับบอเรตตัวอื่นๆ ลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ละลายน้ำได้ และจะมีความเสถียรถ้าอยู่ในสภาวะต่าง แบ่งเป็น 3 แบบคือ แบบแกรนูลา ขนาด 10 ถึง 40 เมช แบบเพลเล็ต ขนาด 7/16 นิ้ว และแบบผง (มณีรัตน์, 2542)

การใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เพื่อรีดิวซ์ในทางปฏิบัตินั้นจะต้องใช้ปริมาณสูงกว่าปริมาณตามค่าสตอยชิโอเมตริกเนื่องจากอาจมีสารประกอบอื่นที่สามารถถูกรีดิวซ์ได้ด้วยโบโรไฮไดรด์

สารรีดิวซ์โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นแหล่งของไฮไดรด์(H) ซึ่งจะใหไฮโดรเจนอ้อน แก่สารที่ ทำปฏิกิริยาด้วย สามารถรีดิวซ์สารละลายในตัวทำละลายที่เป็นน้ำ หรือแอลกอฮอล์ได้ โซเดียมโบโรไฮไดรด์สามารถนำมาใช้งานได้ดังนี้

2.1.5.1 ใช้ในการควบคุมมลพิษ

โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์ที่ใช้ในการกำจัดโลหะออกจากน้ำเสีย

อุตสาหกรรม หรือกระบวนการตกตะกอนผิวโลหะ เช่น อุตสาหกรรมถ่ายภาพและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่ง จะทำให้ได้คุณภาพน้ำที่บำบัดแล้วเป็นไปตามมาตรฐาน และโลหะที่แยกออกได้ในรูปของธาตุ มากกว่ารูปเชิงซ้อน ซึ่งเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมนำกลับมาใช้ใหม่ (recovery) ในขณะเดียวกันก็ จะเป็นการลดปริมาณของสลัดจ์ได้ถึงร้อยละ 90 เมื่อเทียบกับการบำบัดด้วยเฟอรัสซัลเฟต นอกจากนี้ ยังพบว่าสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์หรือชื่อการค้าคือ เวนเมท ของบริษัทมอร์ตันสามารถ ใช้บำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยโลหะมีค่าและโลหะหนักซึ่งมีความคุ้มค่าทั้งในเชิงประสิทธิภาพและ ต้นทุนในการนำกลับมาใช้ใหม่ของโลหะทองแดงจากน้ำเสียในการผลิตแผงวงจรไฟฟ้า (Printed Circuit Board: PCB) สำหรับโลหะในกลุ่มของทองคำ เงิน และแพลททินัมในน้ำเสียชุบโลหะ และ อุตสาหกรรมอื่น พบว่ามีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน และยังเป็น การลดต้นทุนของกระบวนการพร้อม ไปด้วยกับการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ในน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมภาพถ่าย ยังมีโลหะเงินปนเปื้อนอยู่เป็นจำนวนมากซึ่ง เมื่อพิจารณาถึงมูลค่าแล้วนับเป็นการคุ้มค่าที่จะนำโลหะเงินจากน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ โดยการ ใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่สามารถดึงโลหะเงิน ออกมาจากน้ำทิ้งใน อุตสาหกรรมภาพถ่ายได้ถึงร้อยละ 100 (North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance, 2004)

2.1.5.2 ใช้ผลิตไฮโดรซัลไฟด์เพื่อฟอกสีกระดาษ

ในอุตสาหกรรมฟอกกระดาษจะใช้โบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์ให้เกิดไฮโดรเจน-ซัลไฟด์ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษด้วยวิธีทางกล (Mechanical pulping process) โดย ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเป็นตัวฟอกสีลิกนินในไม้ สารละลายของโซเดียมโบโรไฮไดรด์หรือที่เรียกว่า โบรอลสามารถให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เป็นสองเท่าของน้ำหนักตัวมันเอง และมีต้นทุนที่ต่ำกว่า การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

2.1.5.3 การผลิตโซเดียมโบโรไฮไดรด์

โซเดียมโบโรไฮไดรด์มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว มีคุณสมบัติละลายน้ำได้และจะ มีความเสถียรถ้าอยู่ในสถานะที่เป็นต่าง ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดบอริกกับเมธานอล

เพื่อให้ได้ไตรเมทิลบอเรต (Tri-methyl borate) หรือใช้ไดโบรเรน (Diborane) ทำปฏิกิริยากับ โซเดียมไฮไดรด์ (Sodium hydride) หรือโซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium methoxide) ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้เกิดโซเดียมโบโรไฮไดรด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พร้อมทั้งพวกเมทิลที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในรูปของเมธานอล ในการผลิตต้องระวังมิให้เกิดการระเบิดจากปฏิกิริยาของเมทิลบอเรต กับโซเดียมไฮไดรด์โดยโบโรไฮไดรด์ที่ผลิตได้จะอยู่ในรูปที่เสถียรในอากาศและความชื้น ศักยภาพ ในปฏิกิริยารีดักชันทางเคมี (E^0_{298}) ของโบโรไฮไดรด์มีค่าเท่ากับ 1.24 โวลต์ เทียบกับไฮโดรเจน อิเล็กโตรดมาตรฐาน

2.1.6 ความเหมาะสมในทางปฏิบัติของการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ในกระบวนการกำจัดสี (Decolorization)

กระบวนการนี้ให้ผลที่เสถียรทางเคมี และสร้างผลิตภัณฑ์ คือ กรดบอริกกับโซเดียม-ไบซัลไฟต์ซึ่งเป็นผลพลอยได้ ไบซัลไฟต์ที่เป็นคูรีดอกซ์ของโบโรไฮไดรด์สามารถปล่อยออกโดย ไม่จำเป็นต้องมีการบำบัดเพิ่ม (แม้ว่าไบซัลไฟต์จะถูกออกซิไดซ์โดยอากาศเป็นซัลเฟตได้) วิธีบำบัด ดังกล่าวเป็นได้ทั้งแบบทีละเทและแบบต่อเนื่อง และสามารถใช้ระบบจ่ายโบโรไฮไดรด์อัตโนมัติที่ ควบคุมด้วยเครื่องไออาร์พี กระบวนการนี้จะรีดิวซ์สีของมอดูมอะโซที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนไป เป็นหมู่อะมีนที่ไม่ใช่สารโครโมฟอร์ ทำให้มีโมเลกุลขนาดเล็กลง หรือในกรณีของสารประกอบ เชิงซ้อนทองแดงจะรีดิวซ์ทองแดงไอออนไปเป็นโลหะทองแดง สิ่งที่ได้จากปฏิกิริยารีดักชันจะถูก แยกออกในรูปของของแข็ง หรือในกรณีของอะมีนที่เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาจะถูกดูดซับบน คาร์บอน ออกซิไดซ์หรือบำบัดโดยกระบวนการทางชีวภาพ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุษรา (2545) ศึกษาการกำจัดสีรีแอกทีฟหมู่อะโซด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ของสี 3 ชนิด ได้แก่ C.I. Reactive Black 5 สี C.I. Reactive Red 180 และสี C.I. Reactive Blue 171 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดคือ พีเอช 10 ด้วยปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 7 เท่าของสตอยชิโอเมตริก โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 สี C.I. Reactive Red 180 และสี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรร้อยละ 94.08 ร้อยละ 93.85 และร้อยละ 99.03 ตามลำดับ ผลการทดลองหาโซเดียมเมตะไบซัลไฟด์ที่เหมาะสมคือ 28 เท่า 20 เท่า และ 14 เท่าของสตอยชิโอเมตริก สำหรับสี C.I. Reactive Black 5 สี C.I. Reactive Red 180 และสี C.I. Reactive Blue 171 ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพลดสีสูงกว่าร้อยละ 88 ประสิทธิภาพการกำจัดสี C.I. Reactive Red 180 โดยโซเดียมโบโรไฮไดรด์มีค่าต่ำกว่าโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ที่ทุกความเข้มข้นของสีข้อม ในขณะที่สี C.I. Reactive Black 5 และสี C.I. Reactive Blue 171 ต้องมีความเข้มข้นต่ำกว่า 70 มิลลิกรัมต่อลิตรโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์จึงจะให้ประสิทธิภาพการลดสีที่ดีกว่า

พิมพ์ชนก (2546) ศึกษาการกำจัดสีของน้ำทิ้งในการผลิตถิกนินโดยราไวต์รอต โดยเก็บตัวอย่างเชื้อราจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย แล้วนำมาทดสอบความสามารถในการย่อยสลายถิกนินโดยใช้หลักการของ Poly-R clearance และ Tannic agar พบว่ารา Isolate A19 และ Isolate B7 ให้ผลเป็นบวก จากนั้นทำการทดลองโดยใช้รา Isolate A19 และ Isolate B7 ลดสีและถิกนินในน้ำทิ้งที่ความเป็นกรดต่าง 5 โดยพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของรา Isolate A19: รา Isolate B7 : น้ำทิ้งเท่ากับ 1:1:5 โดยใช้ซูโครสเป็นแหล่งอาหารไนโตรเจนความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 หลังจากบ่มราเป็นเวลา 8 วัน มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดสีและถิกนินร้อยละ 94.55 และร้อยละ 75.81 ตามลำดับ

Ghoreishi และ Haghghi (2003) ทำการศึกษาการลดสีของน้ำเสียจากการฟอกย้อม โดยศึกษาทั้งน้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจากโรงงาน ซึ่งวิธีการบำบัดคือ การใช้กระบวนการรีดักชันโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ซึ่งมีไบซัลไฟด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ร่วมกับกระบวนการแอกติเวตเต็ด-สลัดจ์ งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การบำบัดด้วยกระบวนการรีดักชันและ กระบวนการทางชีวภาพ ผลการทดลองพบว่าเทคนิคนี้สามารถลดสีบีโอดี ซีโอดีและ ของแข็งแขวนลอย ได้ร้อยละ 74 ถึง 88, ร้อยละ 76 ถึง 83 และ ร้อยละ 92 ถึง 97 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ส่วนประกอบในน้ำเสียที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ โดยกระบวนการทางชีวภาพได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบจำพวกอัลคิลและอัลเคน ซึ่งวิธีการนี้สามารถลดสีโดยไม่ก่อให้เกิดตะกอน ซึ่งตะกอนมักก่อปัญหาในการกำจัด

นวลจิรา (2547) ศึกษาการกำจัดสีไดเรกต์และรีแอคทีฟหมู่อะโซด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ โดยทดลองกับสี C.I. Direct Red 80, C.I. Direct Black 19, C.I. Direct Blue 71, C.I. Reactive Red 198, Reactive Black 5 และ C.I. Reactive Blue 225 ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่สั้นที่สุดที่เหมาะสมคือ 10, 30, 60, 20, 40 และ 40 นาที ตามลำดับ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมของทุกสีคือ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชที่เหมาะสมของทุกสีคือพีเอชปกติ ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมคือ 10, 10, 10, 3, 5, และ 5 เท่าของสตอยชิโอเมตริก ปริมาณโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่เหมาะสมเป็น 2, 2, 2, 4, 2, และ 2 เท่าของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ค่าเป็นร้อยละ 94, 87, 98, 93, 97 และ 96 สำหรับสี C.I. Direct Red 80, C.I. Direct Black 19, C.I. Direct Blue 71, C.I. Reactive Red 198, Reactive Black 5 และ C.I. Reactive Blue 225 ตามลำดับ

Ghoreishi และ Haghighi (2007) ได้ทดลองใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการกำจัดสีน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยไม่ใช้สารเร่งปฏิกิริยา โดยพบว่าไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น จะเกิดปฏิกิริยากับพันธะที่ไม่อิ่มตัวของสารที่ทำให้เกิดสี ซึ่งทำให้สีลดลง พบว่ากลุ่มโมเลกุลที่ทำให้เกิดสีมีพันธะที่ไม่อิ่มตัว ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการกำจัดสี และสามารถลดสีได้ 97 เปอร์เซ็นต์ในเวลาทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการทดลองขั้นที่สอง โดยแบ่งระบบเป็นส่วนเคมี และส่วนทางชีวภาพ พบว่าส่วนเคมีซึ่งมีระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 วันสามารถลดสีและซีโอดีได้ 97 และ 35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่ทำให้ บีโอดี มากขึ้น 85 เปอร์เซ็นต์ ส่วนทางชีวภาพซึ่งมีระยะเวลาทำปฏิกิริยา 5 วัน สามารถลดบีโอดี ซีโอดี และสารแขวนลอยได้ 97, 92 และ 97 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และค่าใช้จ่ายในการบำบัดมีราคา ประมาณ 0.001 ดอลลาร์สหรัฐต่อลิตร

Catalkaya และ Kargi (2007) ทำการทดลองเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษด้วยวิธีออกซิเดชันขั้นสูงได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเฟนตัน ยูวี ยูวี/ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โฟโตเฟนตัน โอโซนและเปอร์ออกโซน พบว่าทุกวิธีสามารถลดสีได้ใกล้เคียงกัน แต่วิธีใช้สารเฟนตันให้ผลดีที่สุด โดยสามารถลดคาร์บอนทั้งหมด สี และ AOX (Absorbable Organic Halogens) ได้ 88, 85, 89 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยใช้เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที และพบว่าวิธีโฟโตเฟนตันให้ผลใกล้เคียงกันในเวลาทำปฏิกิริยา 5 นาที

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง
- เครื่องวัดศักย์ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน
- เครื่องยูวีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
- เครื่องจาร์เทสต์
- เครื่องชั่งละเอียด
- กระดาษกรองเบอร์ 1 เส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร
- เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
- เตาอบ

3.1.2 สารเคมี

- โซเดียมโบโรไฮไดรด์
- โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์
- กรดไฮโดรคลอริก
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- อัลคาไลน์ลิทินิน
- โปแตสเซียมไดโครเมต
- กรดกำมะถัน
- เมอคิวรีซัลเฟต
- ซิลเวอร์ซัลเฟต
- เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต
- เฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์

3.2 พารามิเตอร์ของการทดลอง

ตัวแปรคงที่

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| 1. ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ | 200 มิลลิลิตรต่อหนึ่งจาร์เทสต์ |
| 2. ความเร็วรอบในการกวน | 100 รอบต่อนาที (มณีรัตน์, 2542) |

ตัวแปรอิสระ

- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 1. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง | น้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริง |
| 2. พีเอชเริ่มต้น | ไม่ปรับพีเอช 2, 4, 6, 8, 10, 12 |

ตัวแปรตาม

- | | |
|---|--|
| 1. ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ | 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12 โมลต่อลิตร |
| 2. อัตราส่วนโดยโมลของ SBH และ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ | 1 ต่อ 0, 1 ต่อ 0.5, 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 1.5, 1 ต่อ 2, 1 ต่อ 2.5 |
| 3. เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ | ระยะเวลาที่เร็วที่เหมาะสม |
| 4. ลักษณะสมบัติของน้ำเสียหลังปฏิกิริยา | |
| พีเอช | |
| ลิกนิน | |
| ค่าสีคงเหลือในหน่วย PtCo | |
| ซีไอดี | |
| 5. ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และ เปอร์เซ็นต์การกำจัดสี | |

3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทำวิจัย

งานวิจัยนี้เลือกใช้น้ำเสียจากกระบวนการต้มเยื่อแบบกราฟท์ แต่มีกระบวนการฟอกเยื่อ และใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน 3 โรงงาน คือ น้ำเสีย PH-I ซึ่งใช้ไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบ (ไม้เนื้ออ่อน) น้ำเสีย PH-II และ น้ำเสีย SC ซึ่งใช้ไม้ยูคาลิปตัส เป็นวัตถุดิบ (ไม้เนื้อแข็ง) และเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จากสารอัลคาไลน์ลิกนิน (Alkaline Lignin) ที่มีความเข้มข้นอัลคาไลน์ลิกนิน 2000 พีพีเอ็ม ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

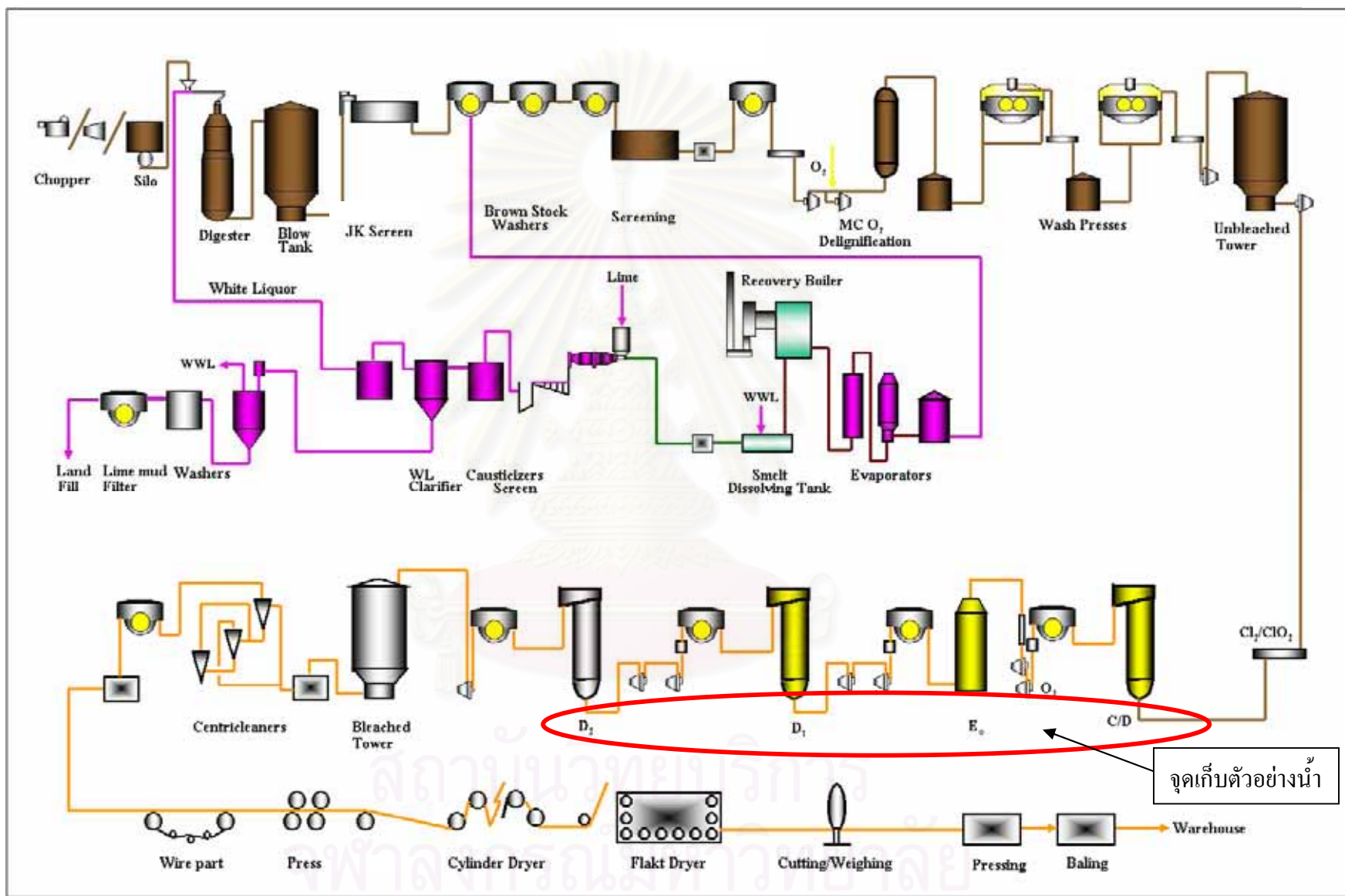
น้ำเสีย	กระบวนการต้มเยื่อ	กระบวนการฟอกเยื่อ	วัตถุดิบ
PH-I	กราฟท์	$\text{C/DE}_0\text{D}_1\text{D}_2$	ไม้ไผ่
PH-II	กราฟท์	$\text{D}_0\text{E}_0\text{D}_1\text{D}_2$	ไม้ยูคาลิปตัส
SC	กราฟท์	$\text{CE}_{\text{OP}}\text{H}_1\text{H}_2$	ไม้ยูคาลิปตัส
สังเคราะห์	อัลคาไลน์ลิกนิน 2000 พีพีเอ็ม		

รูปที่ 3.1.3.2 และ 3.3 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตของโรงงานฟอกเยื่อที่นำน้ำเสียมาวิจัย รูปที่ 3.1 แสดงถึงกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษของโรงงาน PH-I ซึ่งมีกระบวนการฟอกเยื่อกระดาษคือ $\text{C/DE}_0\text{D}_1\text{D}_2$ หมายถึงในกระบวนการฟอกเยื่อ เยื่อกระดาษจะต้องผ่านถึงปฏิกิริยาซึ่งมี

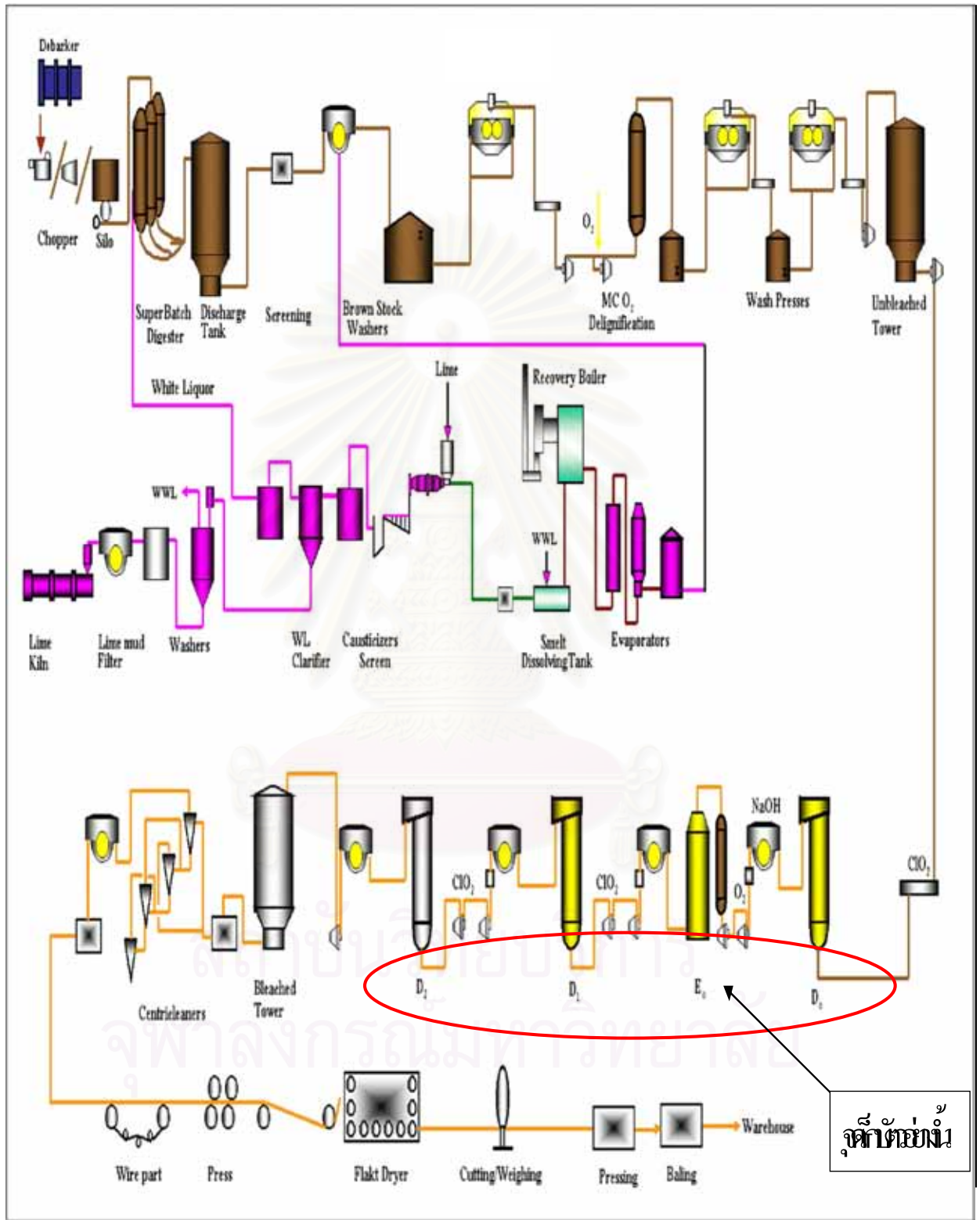
สารเคมี คลอรีนและคลอรีนไดออกไซด์ (C/D) โชนาไฟ (E_0) คลอรีนไดออกไซด์ (D_1) คลอรีนไดออกไซด์ (D_2) รูปที่ 3.2 แสดงถึงกระบวนการผลิตเชื้อกระดาษของโรงงาน PH-II ซึ่งมีกระบวนการฟอกเชื้อกระดาษคือ $D_0E_0D_1D_2$ โดยลำดับขั้นในการฟอกเชื้อจะต้องผ่านสารเคมีฟอกเชื้อคือ คลอรีนไดออกไซด์ (D_0) โชนาไฟ (E_0) คลอรีนไดออกไซด์ (D_1) และ คลอรีนไดออกไซด์ (D_2) ตามลำดับ โดยจุดเก็บตัวอย่างน้ำคือท่อระบายน้ำทิ้งจากถัง E_0 รูปที่ 3.3 แสดงถึงกระบวนการผลิตเชื้อกระดาษของโรงงาน SC ซึ่งมีกระบวนการฟอกเชื้อกระดาษคือ $CE_{op}H_1H_2$ โดยลำดับขั้นในการฟอกเชื้อจะต้องผ่านสารเคมีฟอกเชื้อคือ คลอรีน (C) โชนาไฟและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (E_{op}) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_1) และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2) ตามลำดับ



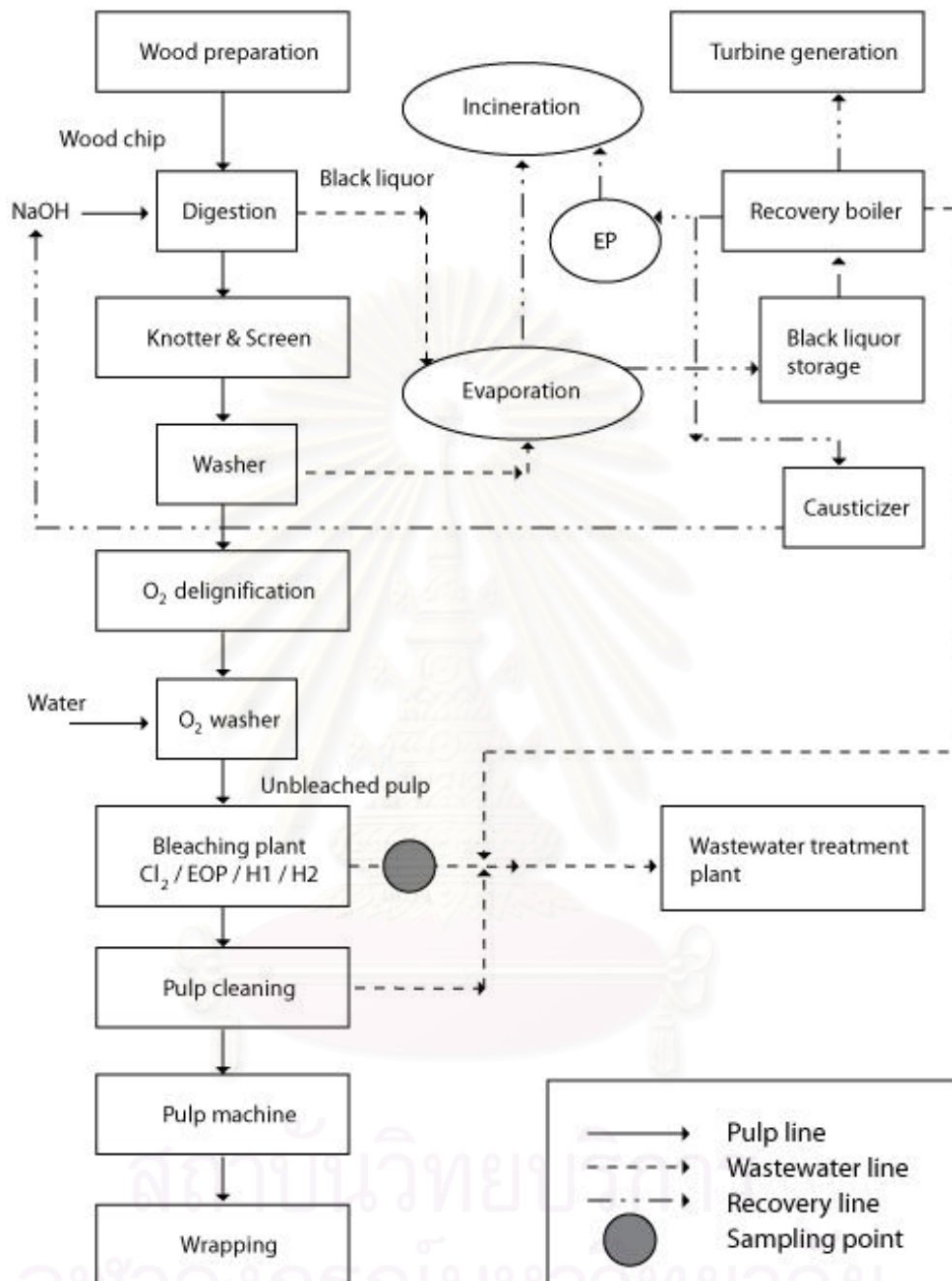
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการผลิตของโรงงานเยื่อกระดาษ PH-I



รูปที่ 32 แผนการผลิตของโรงกระดาษ P-II



รูปที่ 3.3 แผนผังกระบวนการผลิตของโรงงานเยื่อกระดาษ SC (จุลวรรณ, 2542)

3.4 วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ในการทดลองได้แก่ สี ปริมาณลิกนิน ซีไอดี พีเอชและไออาร์พี ตามวิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ต่างๆ และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	อ้างอิงจาก
สี PtCo	เครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดที่ความยาวคลื่น 465 นาโนเมตร	สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมฯ, 2540
สี ADMI	เครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร	AWWA, 1998
ลิกนิน	เครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร	Gilarranz และคณะ, 1998
ซีไอดี	ซีไอดีแบบรีฟลักปิด	มันสิน, 2543
พีเอช	พีเอชมิเตอร์	
ไออาร์พี	ไออาร์พีมิเตอร์	

3.5 การศึกษาทดลองเบื้องต้น

การทดลองเบื้องต้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเชื้อกระดาษด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ เพื่อหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม และพีเอชที่เหมาะสมในการลดสีจากน้ำเสียกระบวนการฟอกสีเยื่อกระดาษ

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ใช้น้ำเสียตัวอย่าง SC ซึ่งเก็บน้ำทิ้งจากหน่วยฟอกเยื่อและน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย ในการทดลองขั้นนี้วัดสีในหน่วย ADMI เนื่องจากการวัดสีในหน่วย ADMI วัดได้ง่าย เพราะไม่ต้องเตรียมกราฟมาตรฐาน

ขั้นตอนการทดลอง การทดลองเบื้องต้นนี้มี 3 ขั้นตอนการทดลอง ได้แก่

3.5.1 การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม

- ใส่น้ำตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร 6 ใบ
- เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12 โมลต่อลิตร และเติมโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ในอัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 1
- กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- นำน้ำไปวัดพีเอช ไออาร์พีและค่าสี(ADMI)

3.5.2 การหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม

- ใส่น้ำตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร 6 ใบ
- เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ตามผลการทดลองที่ได้จากการทดลองหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม และเติมโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ โดยเติมตามอัตราส่วน 0 ต่อ 0, 1 ต่อ 0, 1 ต่อ 0.5, 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 1.5, 1 ต่อ 2, 1 ต่อ 2.5
- กวนเร็ว 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- นำน้ำไปวัดพีเอช โออาร์พีและค่าสี(ADMI)

3.5.3 การหาพีเอชที่เหมาะสม

- ใส่น้ำตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร 6 ใบ
- ปรับค่าพีเอชแต่ละบีกเกอร์เป็น 3, 5, 7, 9, 11 และไม่ปรับพีเอช
- เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.04 โมลต่อลิตร และ โซเดียมเมตะไบซัลเฟต 0.04 โมลต่อลิตร (อัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 1)
- กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- นำน้ำไปวัดค่าสี (ADMI)

3.6 การทำกราฟมาตรฐานในการวัดสีและลิกนิน

3.6.1 กราฟมาตรฐานในการวัดสี (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540)

ในการทดลองเบื้องต้น ใช้วิธีวัดสีในหน่วย ADMI แต่เนื่องจากการค้นคว้าข้อมูลพบว่า สีในหน่วย PtCo เหมาะที่จะใช้วัดน้ำเสียที่มีลิกนินละลายอยู่มากกว่า เนื่องจากสีในหน่วย PtCo ใช้สำหรับวัดสีน้ำที่มีสีโทนเหลือง

วิธีทำกราฟมาตรฐานสำหรับวัดสี PtCo ทำดังนี้

1. นำสารละลายมาตรฐานคลอโรแพลททินัท ที่มีความเข้มข้น 50 ถึง 500 หน่วยสี ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 465 นาโนเมตร
2. นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของสีซึ่งมีหน่วยเป็น PtCo

3.6.2 การทำกราฟมาตรฐานในการวัดลิกนิน (Gilarranz และคณะ, 1998)

การทดลองเบื้องต้นนั้นไม่มีการวัดลิกนิน แต่เนื่องจากมีสมมติฐานว่า ปริมาณลิกนินน่าจะมี ความเกี่ยวข้องกับ ความเข้มข้นของน้ำเสีย จึงเพิ่มการวัดลิกนินในการทดลองต่อมา

วิธีการเทียบมาตรฐานของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1. นำสารละลายลิกนินที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร

2. นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของลิกนิน ซึ่งมีหน่วยเป็น พีพีเอ็ม (ส่วนในล้านส่วน)

3.7 ขั้นตอนการทดลอง

ทำการหาลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ โดยศึกษาค่าสี ลิกนิน ซีไอดี และพีเอชของน้ำเสีย จากกระบวนการฟอกเชื้อ 4 ตัวอย่างคือ น้ำเสีย PH-I น้ำเสีย PH-II น้ำเสีย SC และน้ำเสียสังเคราะห์

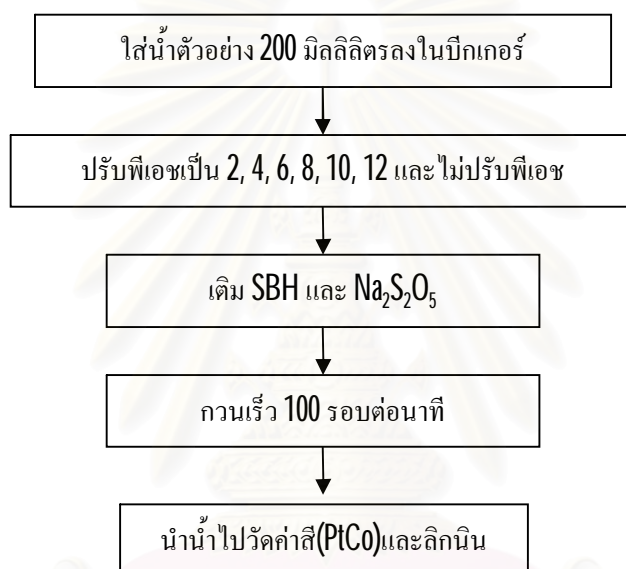
ประกอบด้วย การทดลอง 4 ขั้นตอน โดยการทดสอบด้วยจาร์เจสต์ ซึ่งแต่ละการทดลองจะทำการทดลองโดยใช้น้ำเสีย PH-I น้ำเสีย PH-II น้ำเสีย SC และน้ำเสียสังเคราะห์ (ที่เตรียมจากอัลคาไลน์ลิกนิน 2000 พีพีเอ็ม)

3.7.1 การทดลองขั้นที่ 1: ศึกษาระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยสมบูรณ์ของสีกับโซเดียมโบโรไฮไดรด์

- ใส่น้ำตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
- เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.10 โมลต่อลิตร และ โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 0.15 โมลต่อลิตร (อัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 1.5)
- กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที (มณีรัตน์, 2542)
- วัดค่าพีเอช โออาร์พี และความเข้มข้นที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจริง โดยทำการวัดค่าพีเอชและโออาร์พีทุกๆ 2 นาที ภายใน 10 นาทีแรก หลังจากนั้นจึงเก็บตัวอย่างทุกๆ 10 นาที จนครบ 120 นาที
- หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการกวนเร็วกับโออาร์พี เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ และนำไปใช้เป็นระยะเวลาการกวนเร็วของการทดลองขั้นต่อไป

3.7.2 การทดลองขั้นที่ 2 : หาค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยา

- ใส่น้ำตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร 6 ใบ
- ปรับค่าพีเอชแต่ละบีกเกอร์เป็น 2, 4, 6, 8, 10, 12 และไม่ปรับพีเอช
- เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.04 โมลต่อลิตร และ โซเดียมเมตาไบซัลเฟต 0.04 โมลต่อลิตร (อัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 1)
- กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลาตามที่พบว่าเหมาะสมที่สุดจากการทดลองขั้นที่ 1
- นำน้ำไปวัดค่าสี(PtCo) และลิกนิน



รูปที่ 3.4 ลำดับวิธีการทดลอง ของการทดลองขั้นที่ 2

3.7.3 การทดลองขั้นที่ 3 : หาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา (โดยใช้ค่าพีเอช ที่เหมาะสมจากการทดลองขั้นที่ 2)

- ใส่น้ำตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร 6 ใบ
- ปรับค่าพีเอชแต่ละบีกเกอร์ให้เป็นพีเอชที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองขั้นที่ 2
- เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 โมลต่อลิตร และเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ในอัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 1
- กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลาตามที่พบว่าเหมาะสมที่สุดจากการทดลองขั้นที่ 1
- นำน้ำไปวัดค่าสี(PtCo) และ ลิกนิน



รูปที่ 3.5 ลำดับวิธีการทดลอง ของการทดลองขั้นที่ 3

3.7.4 การทดลองขั้นที่ 4 : หาอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่เหมาะสม (โดยใช้ค่าพีเอชและปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมจากการทดลองขั้นที่ 2 และ 3)

- ใส่น้ำตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร 6 ใบ
- ปรับค่าพีเอช แต่ละบีกเกอร์ให้เป็นพีเอชที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองขั้นที่ 2
- เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ตามผลการทดลองที่ได้จากการทดลองขั้นที่ 2 และเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ โดยเติมตามอัตราส่วน 1 ต่อ 0, 1 ต่อ 0.5, 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 1.5, 1 ต่อ 2, 1 ต่อ 2.5, 1 ต่อ 3
- กวนเร็ว 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลาตามที่พบว่าเหมาะสมที่สุดจากการทดลองขั้นที่ 1
- นําน้ำไปวัดค่าสี(PtCo) และลิกนิน
-



รูปที่ 3.6 ลำดับวิธีการทดลองของการทดลองขั้นที่ 4

- 3.7.5 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี ซีไอดี และลิกนิน โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์
- เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นของอัลคาไลน์ลิกนิน 100, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 พีพีเอ็ม
 - วิเคราะห์ปริมาณลิกนิน สี พีเอช และซีไอดีของน้ำเสียก่อนทำการทดลองโดยใช้จาร์เทสต์
 - ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์และโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์โดยใช้ค่าจากการทดลองขั้นที่ 3 และ 4 ซึ่งได้แก่โซเดียมโบโรไฮไดรด์เท่ากับ 0.08 โมล อัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1 ต่อ 2.5
 - ทำการทดลองโดยเปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียที่ไม่ปรับพีเอช (พีเอชเท่ากับ 9.8) ปรับพีเอชเป็น 7 และ 4 ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์ค่าซีไอดี ลิกนิน สี พีเอช หลังการบำบัดเพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพในการกำจัดสี ลิกนิน และซีไอดี

3.8 ประเมินค่าใช้จ่ายในการกำจัดสี

การประเมินค่าใช้จ่ายในการกำจัดสี จะใช้ค่าใช้จ่ายที่คำนวณได้จากการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายที่ได้ เป็นมาตรฐาน สำหรับใช้กำจัดสีน้ำเสียจากการฟอกเยื่อจากโรงงานอื่นๆ โดยสารเคมีที่ใช้กำจัดน้ำเสียได้แก่ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ และ โซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ โดยวิธีการคำนวณเป็นดังนี้

- | | |
|-------------------------|---|
| ค่าโซเดียมโบโรไฮไดรด์ | = ราคาต่อหน่วยของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ X ปริมาณ
ความเข้มข้นที่เหมาะสม |
| ค่าโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ | = ราคาต่อหน่วยของโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ X ปริมาณ
ความเข้มข้นที่เหมาะสม |
| ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสี | = ค่าโซเดียมโบโรไฮไดรด์ + ค่าโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาทดลองเบื้องต้น

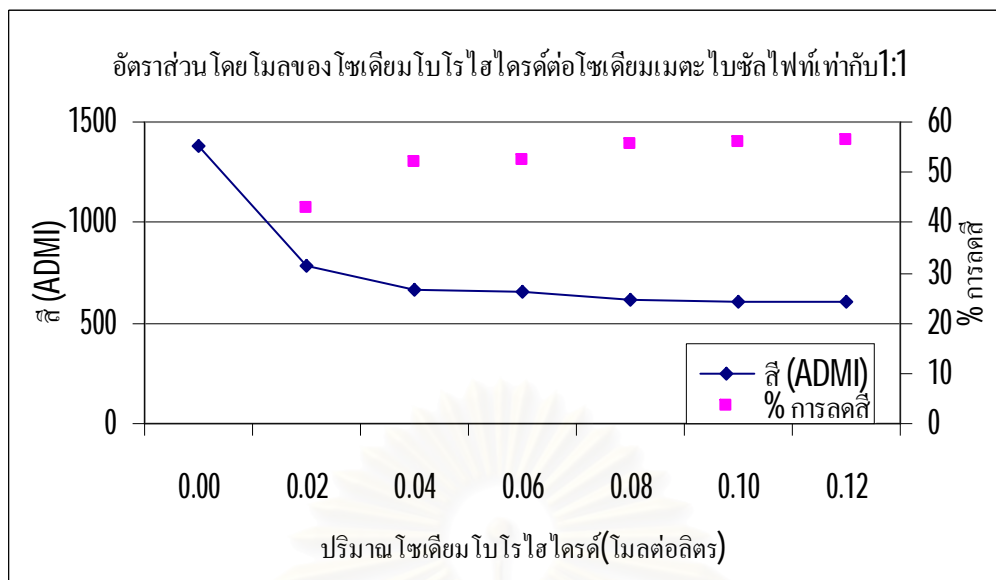
ทำการทดลองเบื้องต้นโดยเก็บตัวอย่างน้ำเสีย SC ก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม และพีเอชที่เหมาะสมในการลดสีจากน้ำเสียกระบวนการฟอกสีเยื่อกระดาษ โดยทำการทดลองเบื้องต้นดังนี้

4.1.1 การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม

ทดลองโดยแปรค่าปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.02 ถึง 0.12 โมล/ลิตร โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ เท่ากับ 1 ต่อ 1 ทำการกวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที ทำการวัดค่าพีเอช โออาร์พี และค่าสีที่ได้ในหน่วย ADMI ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าโออาร์พีของชุดควบคุมมีค่า 74.2 ส่วนค่าโออาร์พีของตัวอย่างมีค่าติดลบทุกตัวอย่าง ค่าสีเริ่มต้นมีค่า 1381 ADMI ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์และโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ที่เหมาะสมคือ 0.10 โมลต่อลิตร โดยสามารถลดสีได้ 56 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเบื้องต้นในการหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม

ตัวอย่าง	NaBH ₄ (โมล/ลิตร)	Na ₂ S ₂ O ₅ (โมล/ลิตร)	พีเอช	โออาร์พี	สี(ADMI)	% การลดสี
ชุดควบคุม	0.00	0.00	6.45	74.2	1381	
1	0.02	0.02	6.03	-551.9	787	43
2	0.04	0.04	4.49	-575.2	665	52
3	0.06	0.06	3.85	-413.8	655	53
4	0.08	0.08	4.75	-478.8	615	55
5	0.10	0.10	5.11	-506.4	607	56
6	0.12	0.12	5.22	-510.2	604	56



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการลดสีน้ำเสีย SC ที่ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่างๆ

4.1.2 การหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม

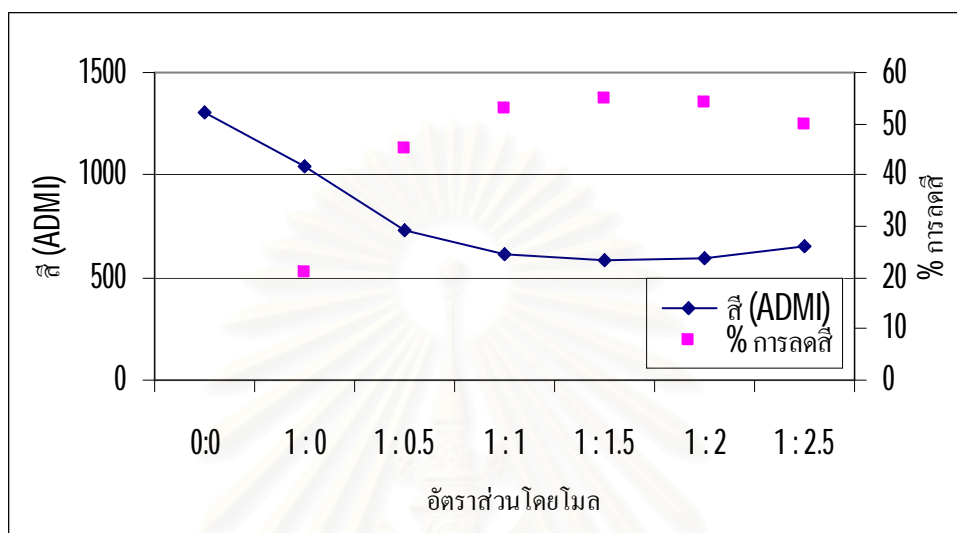
ใช้ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมที่ได้ในการหาอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ที่เหมาะสมโดยแปรค่าอัตราส่วน 1 ต่อ 0, 1 ต่อ 0.5, 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 1.5, 1 ต่อ 2 แล้ววัดค่าสีที่ได้ในหน่วย ADMI ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 พบว่าประสิทธิภาพในการลดสีอยู่ในช่วง 21 ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ โดยอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมคือ 1 ต่อ 1 ถึง 1 ต่อ 2 (ประสิทธิภาพการลดสี 53 ถึง 55 เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเบื้องต้นน้ำเสีย SC หาอัตราส่วนโมลที่เหมาะสม

ตัวอย่าง	NaBH ₄ (โมล/ลิตร)	Na ₂ S ₂ O ₅ (โมล/ลิตร)	อัตราส่วน	พีเอช	โออาร์พี	สี(ADMI)	% การลดสี
ชุดควบคุม	0.00	0.00	0	5.69	-453.5	1310	-
1	0.10	0.00	1:0	10.11	-794.2	1041	21
2	0.10	0.05	1:0.5	8.23	-748.9	727	45
3	0.10	0.10	1:1	4.62	-515.5	617	53
4	0.10	0.15	1:1.5	3.47	-377.6	588	55
5	0.10	0.20	1:2	3.35	-380.6	598	54
6	0.10	0.25	1:2.5	3.45	-385.0	650	50

จากรูปที่ 4.2 พบว่าอัตราส่วนโดยโมลที่ให้ประสิทธิภาพการลดสีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1 ต่อ 1 ถึง 1 ต่อ 2 โดยสามารถลดสีได้ 53 ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ โดยรูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของสีของน้ำเสีย SC หลังการทดลอง เมื่อแปรค่าอัตราส่วนโดยโมลต่างๆ พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 1.5 สามารถลดสีได้มากที่สุด (55 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการลดสีน้ำเสีย SC ที่อัตราส่วนโดยโมลต่างๆ



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองในการลดสีของน้ำเสีย SC เมื่อแปรค่าอัตราส่วนโดยโมลต่างๆ

4.1.3 การหาพีเอชที่เหมาะสม ทำการทดลองแปรค่าพีเอชของน้ำเสีย เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดสีกับพีเอชที่เปลี่ยนไป โดยใช้ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.20 โมลต่อลิตร และอัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 1 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

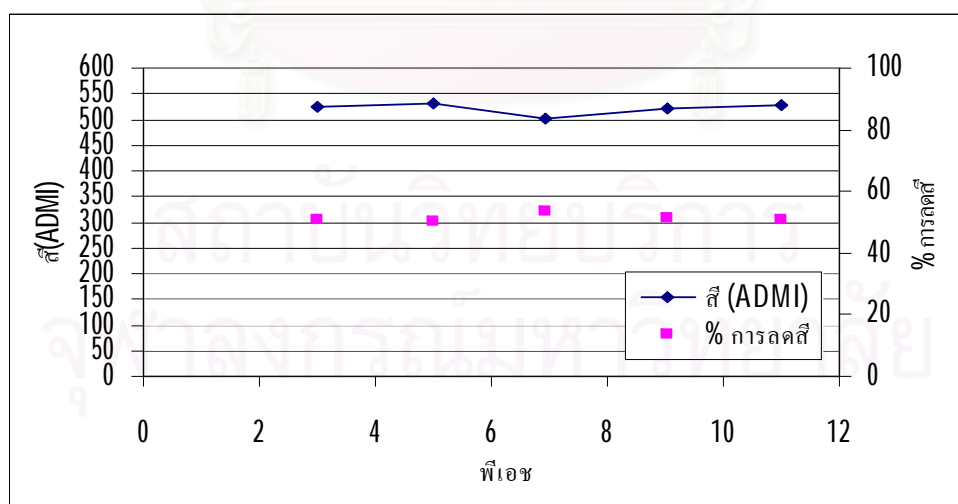
จากตารางที่ 4.3 พบว่าประสิทธิภาพการลดสีของทุกพีเอชอยู่ในช่วง 50.4 ถึง 53.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นค่าพีเอชที่จะนำไปใช้ในการทดลองนี้จึงมีค่าเท่ากับ 6.92 หรือค่าพีเอชของน้ำเสียจริง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเบื้องต้นน้ำเสีย SC หาค่าพีเอชที่เหมาะสม

ตัวอย่าง	พีเอช	NaBH ₄ (โมล/ลิตร)	Na ₂ S ₂ O ₅ (โมล/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง	สี(ADMI)	% การลดสี
ชุดควบคุม	6.92*	0.00	0.00	0.35	1067.99	
1	3.01	0.20	0.20	0.13	524.38	50.9
2	5.00	0.20	0.20	0.13	529.98	50.4
3	6.92*	0.20	0.20	0.115	501.1	53.3
4	9.02	0.20	0.20	0.12	522.37	51.1
5	11.01	0.20	0.20	0.13	527.24	50.6

* ไม่ปรับพีเอช

จากรูปที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพการลดสีที่พีเอชต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 50.4 ถึง 53.3 ประสิทธิภาพในการลดสีดีที่สุดเมื่อไม่ปรับพีเอช (6.92) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดสี 53.3 เปอร์เซ็นต์ โดยรูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของสีในน้ำเสีย SC ที่ค่าพีเอชต่างๆ หลังการทดลอง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการลดสีของทุกค่าพีเอชมีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 50.4 ถึง 53.3 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการลดสีของน้ำเสีย SC ที่ค่าพีเอชต่างๆ

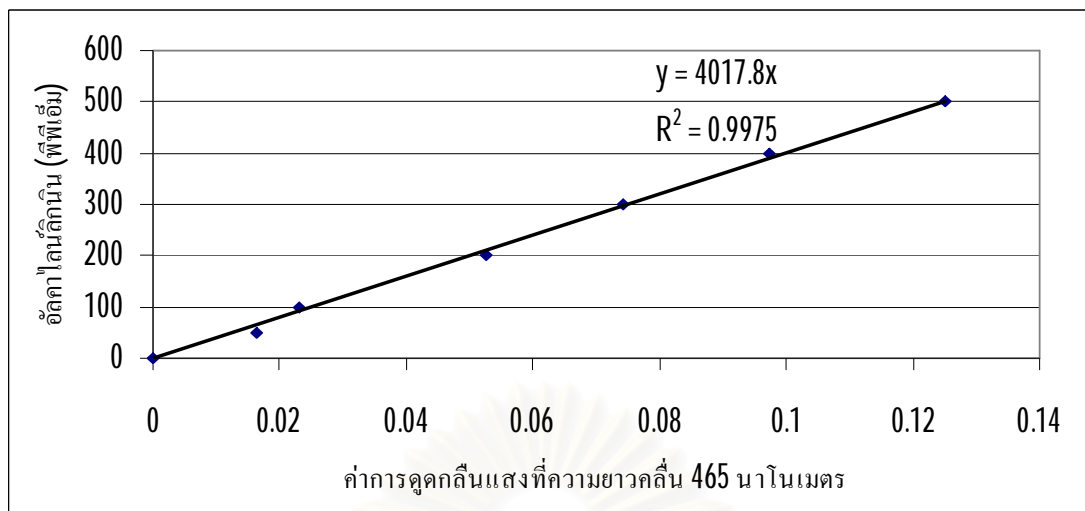


รูปที่ 4.5 ผลการทดลองในการลดสีของน้ำเสีย SC ที่ค่าพีเอชต่างๆ

4.2 กราฟมาตรฐานในการวัดปริมาณสีและลิกนิน

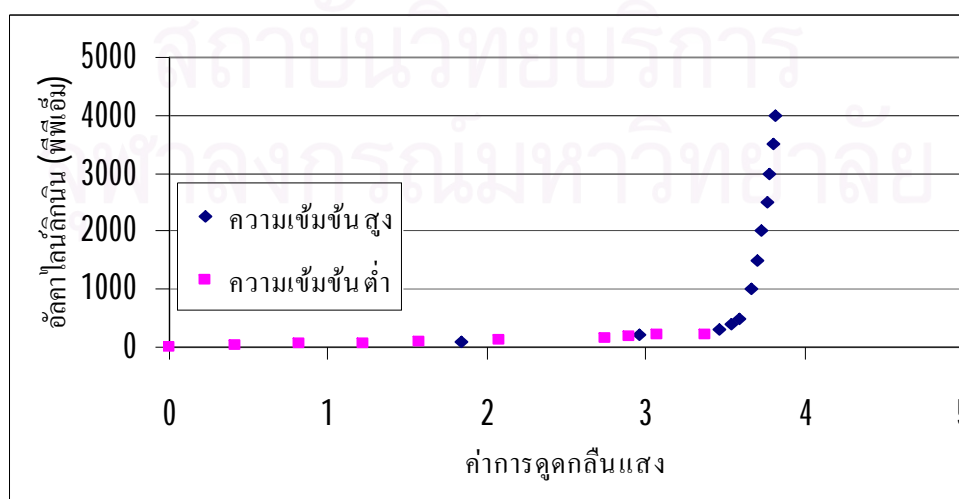
เนื่องจากสีในหน่วย ADMI เป็นหน่วยที่นิยมใช้สำหรับวัดสีฟอกย้อมเนื่องจากสามารถวัดสีได้ทุกเฉดสี ดังนั้นจึงได้ใช้หาค่าสีในการทดลองเบื้องต้น แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ ต้องการวัดสีและลิกนินด้วย ดังนั้นสีในหน่วย PtCo จึงเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากหน่วยสี PtCo ใช้วัดสีน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีสีเหลืองจากลิกนินที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังนั้นจึงใช้สีในหน่วย PtCo วัดสีในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีในงานวิจัยนี้

การวิเคราะห์สีในหน่วย PtCo ต้องทำกราฟมาตรฐาน โดยการวิเคราะห์หาค่าของสีบนเส้นกราฟมาตรฐาน ได้มาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 465 นาโนเมตร กับค่าสีในหน่วยแพลตินัมโคบอลต์ และจากการศึกษาพบว่าค่าการดูดกลืนแสงนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสีมากขึ้นด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งพบว่าได้ความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้คือ $y=4017.8x$ โดยมีค่า $R^2 = 0.9975$



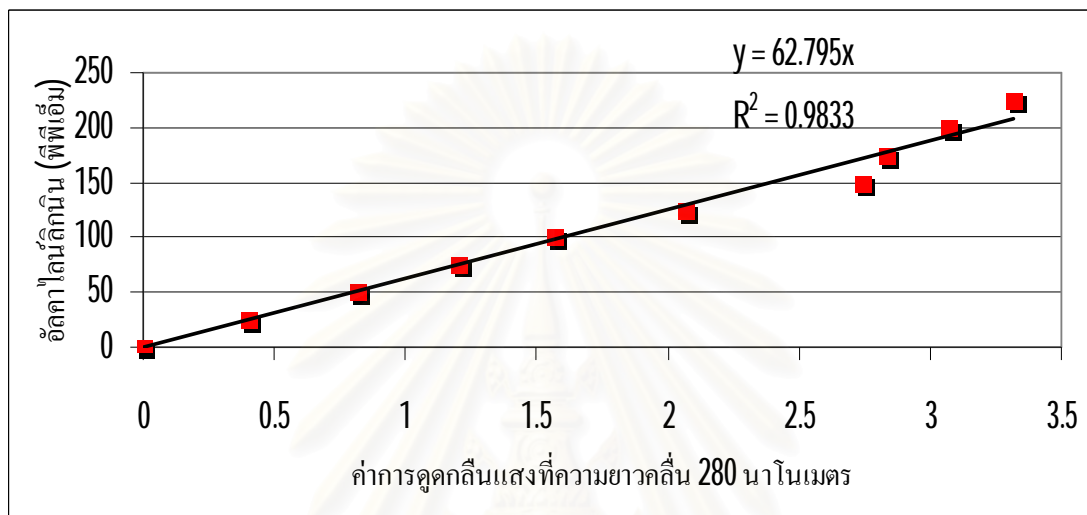
รูปที่ 4.6 กราฟมาตรฐานสำหรับการวัดสี

กราฟมาตรฐานสำหรับการวัดสีเพื่อหาความเข้มข้นของลิกันินในน้ำได้มาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดุดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร กับค่าลิกันิน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าการดุดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณลิกันินสูงขึ้น โดยมีลักษณะความสัมพันธ์แบ่งเป็น 2 ช่วง ดังแสดงในช่วงที่ 4.7 ได้แก่ช่วงความเข้มข้นต่ำ (น้อยกว่า 300 ฟฟิเอ็ม) และช่วงที่ความเข้มข้นสูงกว่า 300 ฟฟิเอ็ม โดยลักษณะของกราฟไม่เป็นเส้นตรง เนื่องจากที่ความเข้มข้นเกิน 300 ฟฟิเอ็ม ไม่สามารถวัดค่าการดุดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตรได้ ซึ่งพบว่าค่าการดุดกลืนแสงจะอยู่ในช่วง 3.5 ถึง 3.8 ที่ความเข้มข้นลิกันิน 400 ถึง 4000 ฟฟิเอ็ม กราฟมาตรฐานที่นำมาใช้งาน คือกราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น อัตรากลืนลิกันินน้อยกว่า 300 ฟฟิเอ็ม ซึ่งมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง เนื่องจากในช่วงความเข้มข้นสูงๆ สมการของกราฟเส้นตรงไม่สามารถใช้คำนวณค่าลิกันินได้



รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานในการหาปริมาณลิกันินที่ความเข้มข้น 100 ถึง 4000 ฟฟิเอ็ม

โดยความสัมพันธ์ที่ความเข้มข้นลิแกนด์ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 300 พีพีเอ็มดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งพบว่าได้ความสัมพันธ์ของสมการคือ $y=62.795x$ โดยมีค่า $R^2= 0.9833$ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของพิมพ์ชนก (2546) ซึ่งศึกษาลิแกนด์ในช่วง 10 ถึง 50 พีพีเอ็มโดยใช้กราฟมาตรฐานที่เป็นเส้นตรงเช่นกัน ดังนั้นตัวอย่างที่วิเคราะห์จึงต้องทำการเจือจางเพื่อให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงดังกล่าวจึงจะหาปริมาณลิแกนด์ของน้ำเสียได้



รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานในการหาปริมาณลิแกนด์ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 300 พีพีเอ็ม

เมื่อได้สมการกราฟมาตรฐานของสีและลิแกนด์แล้ว จะสามารถนำสมการนี้ไปใช้ในการคำนวณค่าสีและลิแกนด์ในน้ำเสียได้ เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียที่ความยาวคลื่น 465 นาโนเมตร และ 280 นาโนเมตร ตามลำดับ

4.3 ผลการทดลองในการหาสถานะที่เหมาะสมในการลดสีและลิแกนด์

4.3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำทิ้งจากหน่วยฟอกเยื่อของโรงงานเยื่อกระดาษ และน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งตัวอย่างมีสีน้ำตาลเข้ม และมีลักษณะสมบัติจากการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาคผนวก (ตารางที่ ข.2) และตารางที่ 4.4 โดยน้ำเสีย PH-I วัดดูดิบคือไม่ไฟ มีค่าสี 5421 มิลลิกรัม PtCoต่อลิตร ปริมาณลิแกนด์ 1389 พีพีเอ็ม ค่าซีโอดี 2287 มิลลิกรัมต่อลิตร และพีเอช 10.4 น้ำเสีย PH-II วัดดูดิบคือยูคาลิปตัส มีค่าปริมาณสี 1673 มิลลิกรัม PtCoต่อลิตร ลิแกนด์ 545 พีพีเอ็ม ค่าซีโอดี 381 พีพีเอ็ม และพีเอช 6.5 น้ำเสีย SC วัดดูดิบคือยูคาลิปตัส มีค่าสี 1395 มิลลิกรัม PtCoต่อลิตร ปริมาณลิแกนด์ 314 พีพีเอ็ม ค่าซีโอดี 127 พีพีเอ็ม และพีเอช 6.0 น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากอัตราลิแกนด์

2000 พีพีเอ็มมีค่าสี 2990 มิลลิกรัม P_iCoต่อลิตร ปริมาณลิกนิน 1700 พีพีเอ็ม ค่าซีไอดี 2720 พีพีเอ็ม และพีเอช 9.8

ตารางที่ 4.4 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

พารามิเตอร์	หน่วย	ชนิดของน้ำเสีย			
		PH-I	PH-II	SC	สังเคราะห์
		วัตถุดิบ ไม้ไผ่	วัตถุดิบ ไม้ยูคาลิปตัส		อัลคาไลน์ลิกนิน 2000 พีพีเอ็ม
สี	P _i Co	5421	1673	1395	2990
ลิกนิน	พีพีเอ็ม	1389	545	314	1700
ซีไอดี	พีพีเอ็ม	2287	381	127	2720
พีเอช	-	10.4	6.5	6.0	9.8

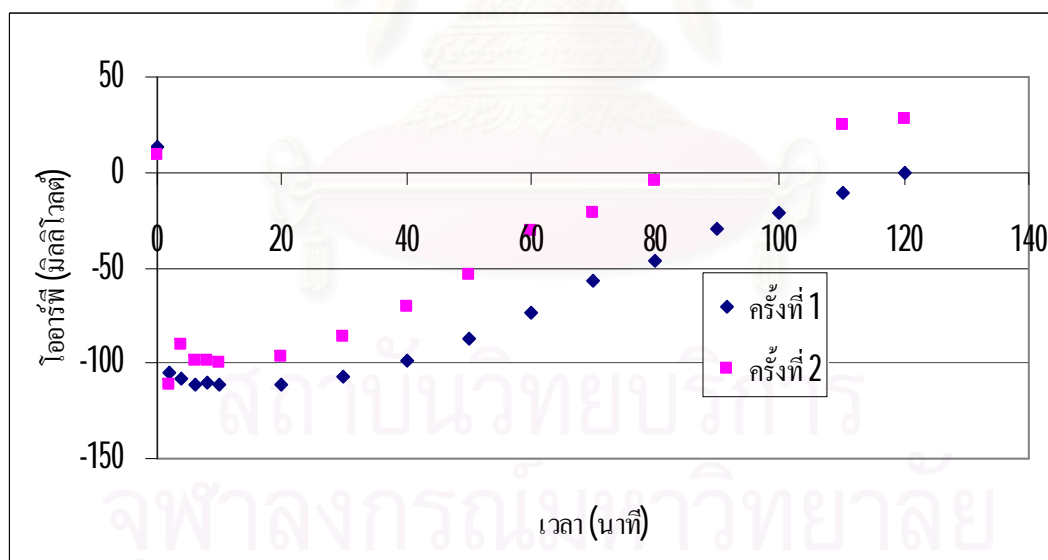
4.3.2 ผลการทดลองขั้นที่ 1 ทหาระยะเวลาความเร็วที่เหมาะสม

ในการทดลองได้เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (SBH) และโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ (Na₂S₂O₅) ตามค่าที่เหมาะสมตามที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นคือ 0.10 โมลต่อลิตร และ 0.15 โมลต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นวัดค่าไออาร์พี ทุก 2 นาทีใน 10 นาทีแรก และทุก 10 นาทีในเวลาต่อมา จนครบเวลา 2 ชั่วโมง การทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมดังสรุปในตารางที่ 4.5 พบว่าน้ำเสียแต่ละตัวอย่างมีเวลาที่ทำปฏิกิริยาแตกต่างกันออกไป โดย น้ำเสีย PH-I ใช้เวลาที่เหมาะสม 120 นาที น้ำเสีย PH-II ใช้เวลาที่เหมาะสม 300 นาที ซึ่งค่าไออาร์พีไม่เป็นบวกแต่คงที่ที่ -53 มิลลิโวลต์ เมื่อเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง น้ำเสีย SC ใช้เวลาที่เหมาะสม 100 นาที และน้ำเสียสังเคราะห์ใช้เวลาที่เหมาะสม 120 นาที

ตารางที่ 4.5 สรุปผลการทดลองหาระยะเวลากวนที่เหมาะสม

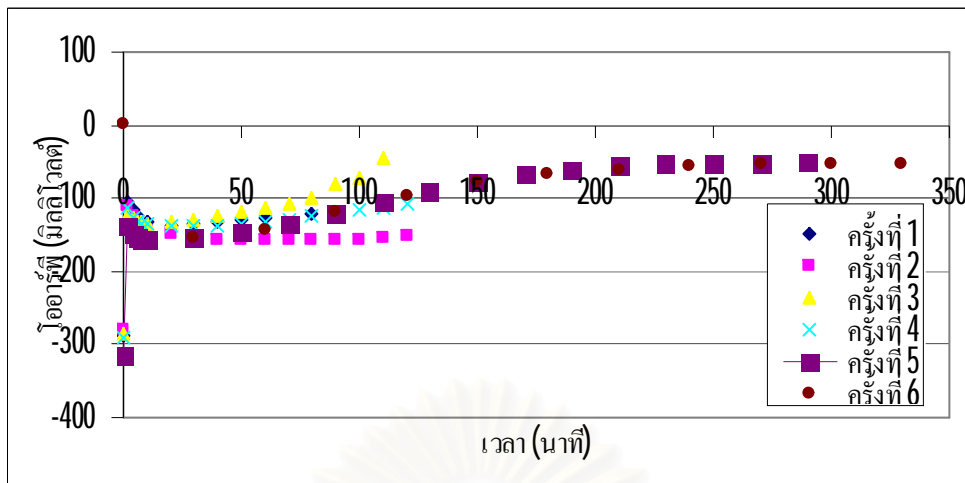
น้ำเสีย	เวลาทำ ปฏิกิริยา (นาที)	เวลาที่เลือก เหมาะสม (นาที)	หมายเหตุ
PH-I	80 และ 120	120	ค่าไออาร์พีเริ่มเป็นบวก
PH-II	300	300	เมื่อเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง ค่าไออาร์พีไม่เป็นบวกแต่คงที่ที่ -53
SC	100	100	ค่าไออาร์พีเริ่มเป็นบวก
สังเคราะห์	380 และ 400	120	ค่าไออาร์พีเริ่มเป็นบวก

ผลการทดลองหาเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I ดังแสดงในรูป 4.9 จะเห็นว่า การทดลองครั้งที่ 1 ค่าไออาร์พีของน้ำเริ่มเป็นบวกที่นาทีที่ 120 การทดลองครั้งที่ 2 ค่าไออาร์พีของน้ำเริ่มเป็นบวกที่นาทีที่ 80 ซึ่งค่าที่เป็นบวกนี้หมายถึงการเกิดปฏิกิริยารีดักชันหมดไป แสดงถึงปฏิกิริยาการลดสีสิ้นสุด โดยจะเลือกใช้ค่าเวลากวนที่เหมาะสมที่ 120 นาที (เวลาที่มากเกินไป) เพื่อนำไปใช้เป็นเวลากวนทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสีย PH-I ในการทดลองขั้นต่อไป



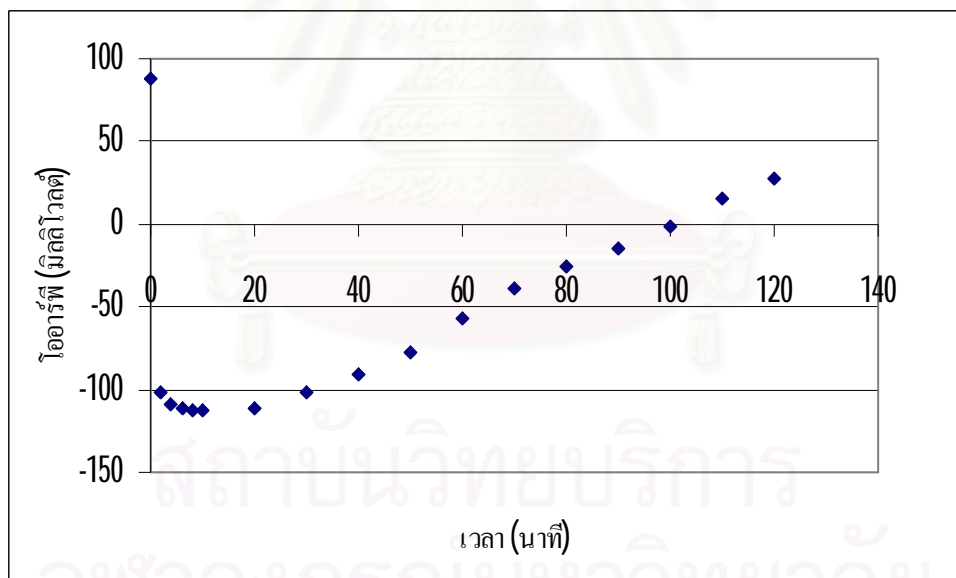
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีและเวลาของน้ำเสีย PH-I

ผลการทดลองของน้ำเสีย PH-II ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งพบว่าการทดลองครั้งที่ 5 และ 6 ค่าไออาร์พีของน้ำคงที่ที่ -53 มิลลิโวลต์ ตั้งแต่นาทีที่ 270 หลังจากนั้น ค่าไออาร์พีไม่มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจึงเลือกใช้เวลากวนเร็วที่เหมาะสมที่ 300 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสม สำหรับการทำปฏิกิริยาสำหรับน้ำเสีย PH-II ในการทดลองขั้นต่อไป



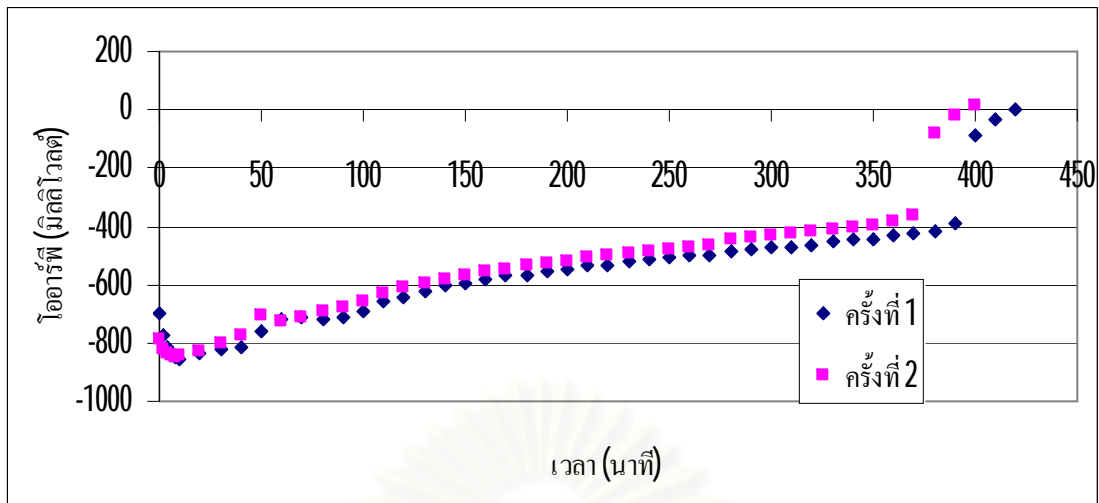
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโออาร์พีและเวลาของน้ำเสีย PH-II

ผลการทดลองของน้ำเสีย SC ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่า ค่าโออาร์พีของน้ำเริ่มเป็นบวก ที่นาทีที่ 100 ซึ่งค่าที่เป็นบวกนี้หมายถึงการเกิดปฏิกิริยารีดักชันสิ้นสุดลง แสดงถึงปฏิกิริยาการลดสีสิ้นสุด จึงเลือกใช้ค่าเวลาทวนที่เหมาะสมที่ 100 นาที เพื่อนำไปใช้เป็นเวลาที่เหมาะสม สำหรับการทดลองน้ำเสีย SC ในการทดลองขั้นต่อไป



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโออาร์พีและเวลาของน้ำเสีย SC

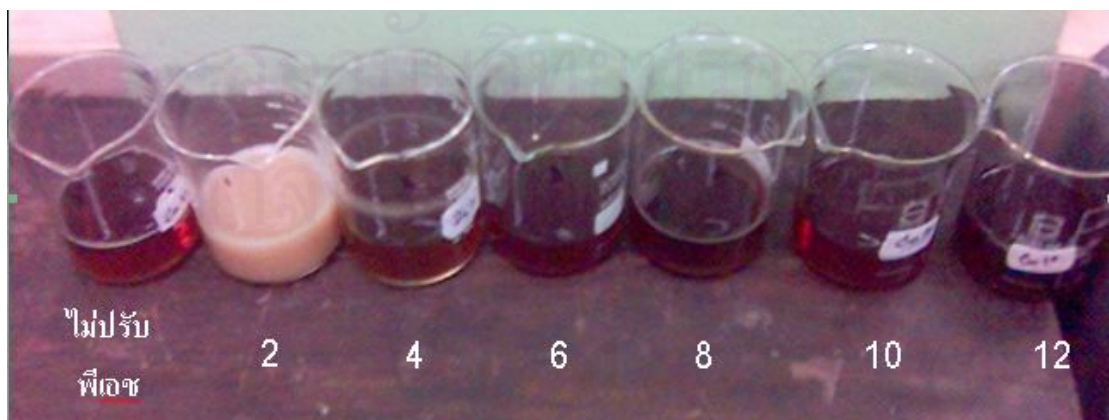
ผลการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าผลการทดลองครั้งที่ 1 พบว่าค่าโออาร์พีของน้ำเริ่มเป็นบวก ณ นาทีที่ 400 การทดลองครั้งที่ 2 ค่าโออาร์พีของน้ำเริ่มเป็นบวก ณ นาทีที่ 380 ซึ่ง ค่าที่เป็นบวกนี้หมายถึงการเกิดปฏิกิริยารีดักชันหมดไป แสดงถึงปฏิกิริยาการลดสีสิ้นสุดซึ่งเป็นระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่ยาวนานเกินไป ดังนั้น จึงเลือกใช้ค่าเวลาทวนที่เหมาะสมที่ 120 นาที ในการทดลอง



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโออาร์พีและเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์

4.3.3 ผลการทดลองขั้นที่ 2 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมทำได้โดยการทดลองโดยการกวนด้วยเครื่องจาร์เทสต์ พิจารณาเลือกค่าเวลาในการทำปฏิกิริยาจากการทดลองขั้นที่ 1 เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (SBH) และโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) จากค่าที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองเบื้องต้นคือ 0.1 โมลต่อลิตร และ 0.15 โมลต่อลิตร ตามลำดับ จากการสังเกตพบว่า ระหว่างการทดลองจาร์เทสต์ชุดแรก (พีเอชต่ำ) ของน้ำเสียสังเคราะห์มีตะกอนสีขาวขุ่นเกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13 อาจเกิดจากกรดบอริก (H_2BO_3) ซึ่งตกตะกอนที่พีเอชต่ำ ดังนั้นถึงแม้จะสามารถกลสีและลิกนินได้ดีที่พีเอชดังกล่าว แต่ตะกอนที่เกิดขึ้นจะทำให้ต้องใช้เวลากรองน้ำมากกว่าปกติ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ ดังนั้นพีเอชที่เหมาะสมจึงเลือกที่พีเอชเท่ากับ 4.0



รูปที่ 4.13 การทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์

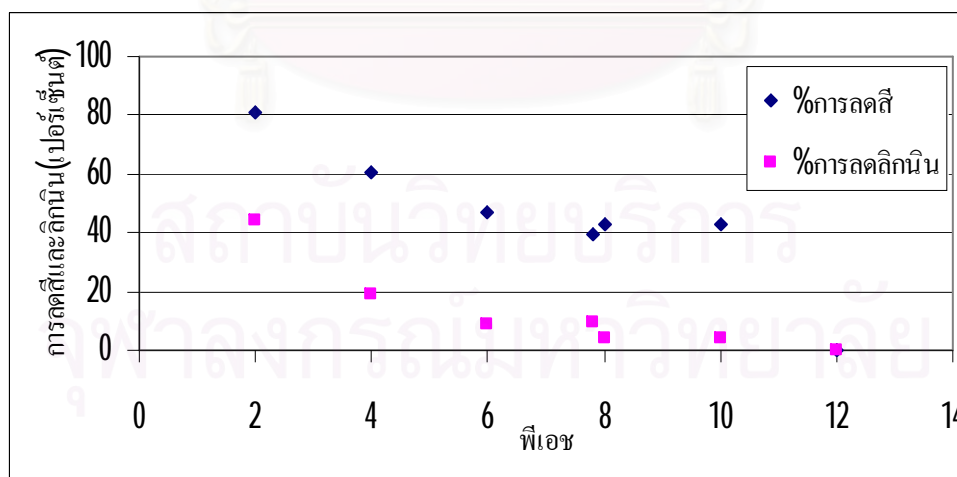
ผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสมดังสรุปในตารางที่ 4.6 พบว่าน้ำเสีย PH-I มีค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 4.0 โดยที่น้ำเสีย PH-II น้ำเสีย SC มีค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 6.0 และน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 10 ถึง 12

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสม

น้ำเสีย	พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย	พีเอชที่เหมาะสม	หมายเหตุ
PH-I	10.4	4.0	เกิดตะกอนที่พีเอช 2
PH-II	6.5	6.0	
SC	6.0	6.0	
สังเคราะห์	9.8	10 ถึง 12	เกิดตะกอนที่พีเอช 2

4.3.3.1 น้ำเสีย PH-I

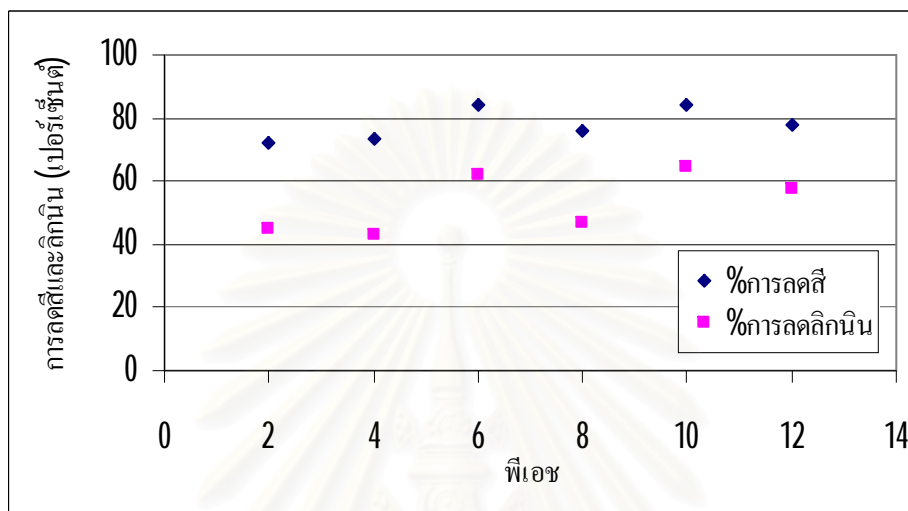
ค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วงพีเอช 4.0 ให้ประสิทธิภาพการลดสี 60 เปอร์เซ็นต์ และลดลิกนินได้เพียง 20 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.14 จากรูป แม้ว่าที่พีเอช 2.0 จะให้ประสิทธิภาพในการลดสีได้สูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์และลดลิกนินได้ 44 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม แต่เนื่องจากเกิดการตกตะกอน จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้



รูปที่ 4.14 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I

4.3.3.2 น้ำเสีย PH-II

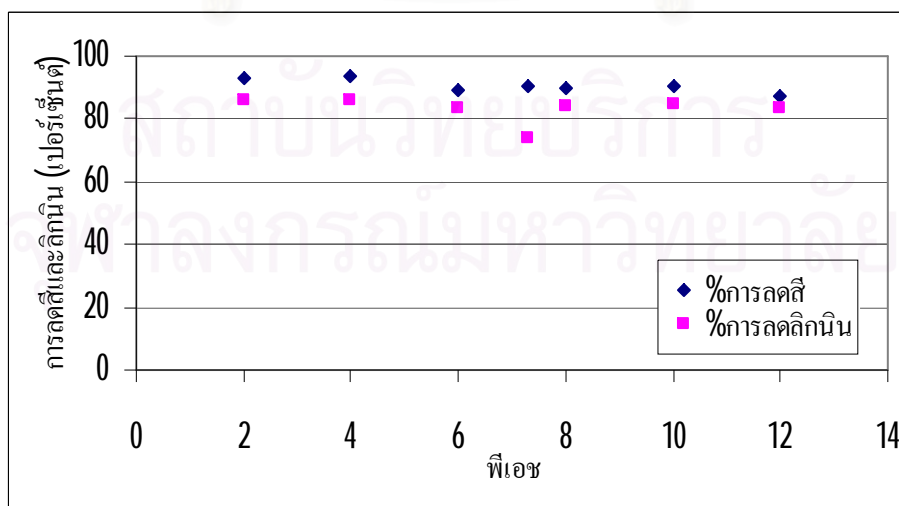
ค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วงพีเอช 6.0 ซึ่งใกล้เคียงกับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย (ซึ่งมีค่าประมาณ 6.5) ให้ประสิทธิภาพการลดสี 83 เปอร์เซ็นต์ และ ลดลิกนินได้ 62 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II

4.3.3.3 น้ำเสีย SC

ค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วงพีเอชเฉลี่ย 6.0 เมื่อพิจารณาพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียซึ่งมีค่าประมาณ 6.0 จึงเหมาะสมที่จะเลือกใช้ โดยให้ประสิทธิภาพการลดสี 87 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และ ลดลิกนิน ได้ 71 ถึง 84 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17



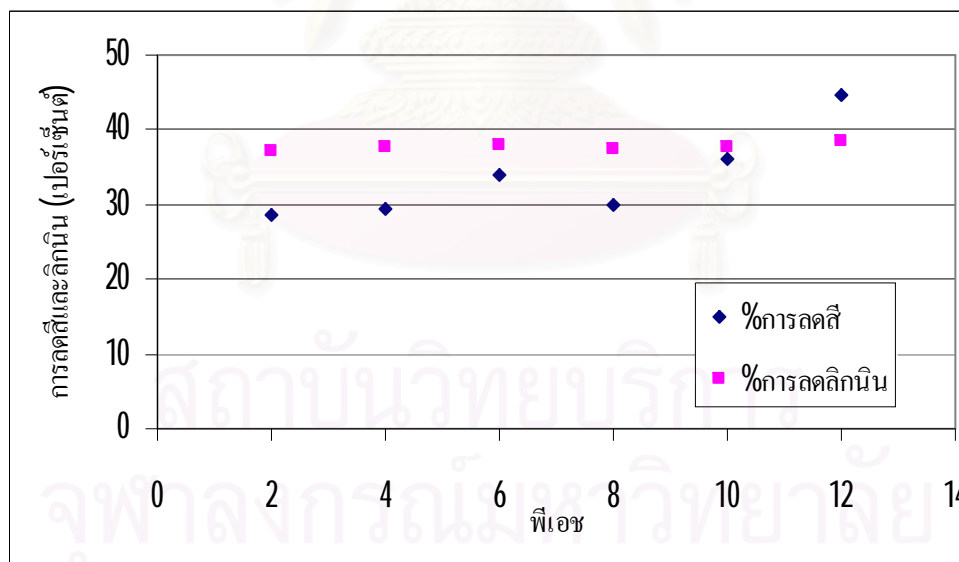
รูปที่ 4.16 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดของน้ำเสีย SC



รูปที่ 4.17 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC

4.3.3.4 น้ำเสียสังเคราะห์

ค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 10 ถึง 12 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของการลดสีอยู่ในช่วง 28 ถึง 44 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการลดกลิ่นของน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกันทุกพีเอชที่ประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.18 เมื่อพิจารณาพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าประมาณ 9.8 ดังนั้นจึงควรเลือกพีเอชเริ่มต้นโดยไม่ปรับพีเอชในการประยุกต์ใช้ต่อไป



รูปที่ 4.18 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์

4.3.4 ผลการทดลองขั้นที่ 3 หาค่าโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม

การหาค่าโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมทำได้โดยใช้เวลาในการกวนที่เหมาะสมตามผลการทดลองขั้นที่ 1 (ตารางที่ 4.5) แล้วปรับพีเอชน้ำตัวอย่างตามที่ได้จากผลการทดลองขั้นที่ 2

(ตารางที่ 4.6) แล้วแปรค่าความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์โดยคงที่อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ไว้ที่ อัตราส่วน 1 ต่อ 1

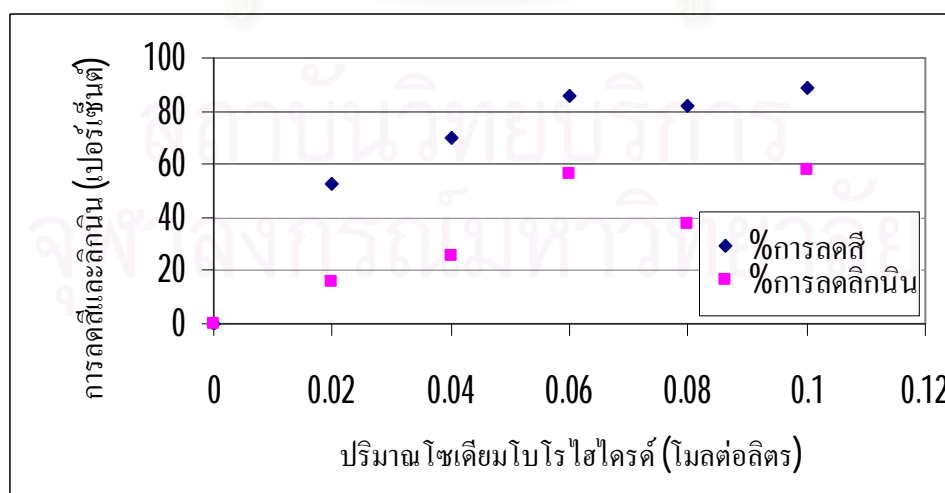
สรุปผลการทดลองหาปริมาณของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมของน้ำเสียแต่ละชนิดเป็นดังนี้คือ น้ำเสีย PH-I มีค่าปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 0.06 โมลต่อลิตร น้ำเสีย PH-II มีค่าปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 0.04 โมลต่อลิตร น้ำเสีย SC มีค่าปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 0.04 โมลต่อลิตร และ น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม 0.10 โมลต่อลิตร

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทดลองหาความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม

น้ำเสีย	ความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม(โมลต่อลิตร)
PH-I	0.06
PH-II	0.04
SC	0.04
สังเคราะห์	0.10

4.3.4.1 น้ำเสีย PH-I

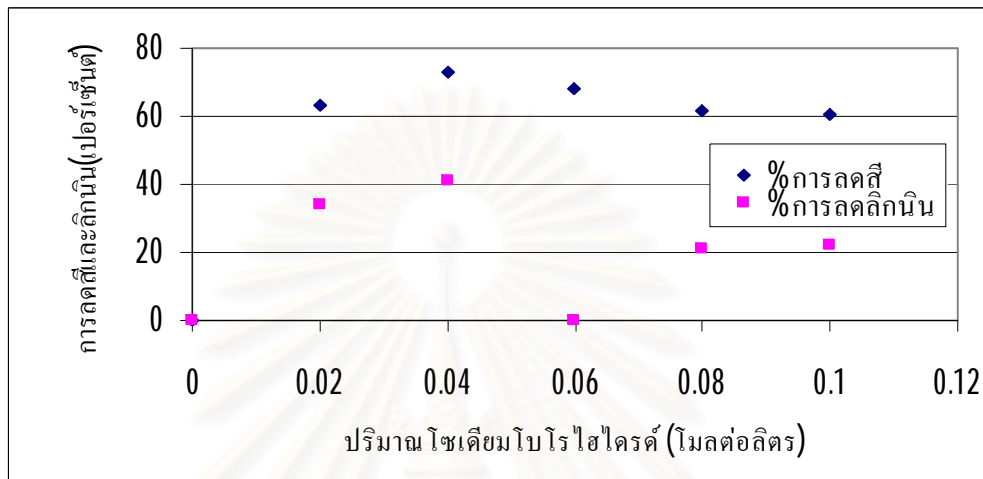
ตามรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการลดสีมากที่สุดที่ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์อยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.10 โมลต่อลิตร โดยให้ประสิทธิภาพการลดสีที่ 85 ถึง 88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ประสิทธิภาพการลดลิกนิน 56 ถึง 58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.06 โมลต่อลิตร



รูปที่ 4.19 การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I

4.3.4.2 น้ำเสีย PH-II

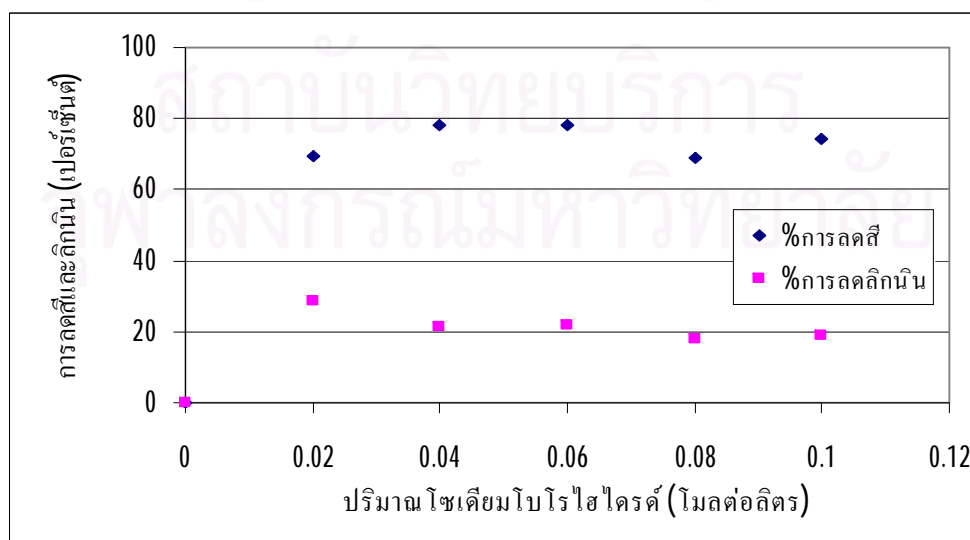
จากรูปที่ 4.20 พบว่าประสิทธิภาพการลดสีมากที่สุดที่ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.04 โมลต่อลิตร โดยให้ประสิทธิภาพการลดสีที่ 73 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการลดคลอรีน 42 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.20 การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II

4.3.4.3 น้ำเสีย SC

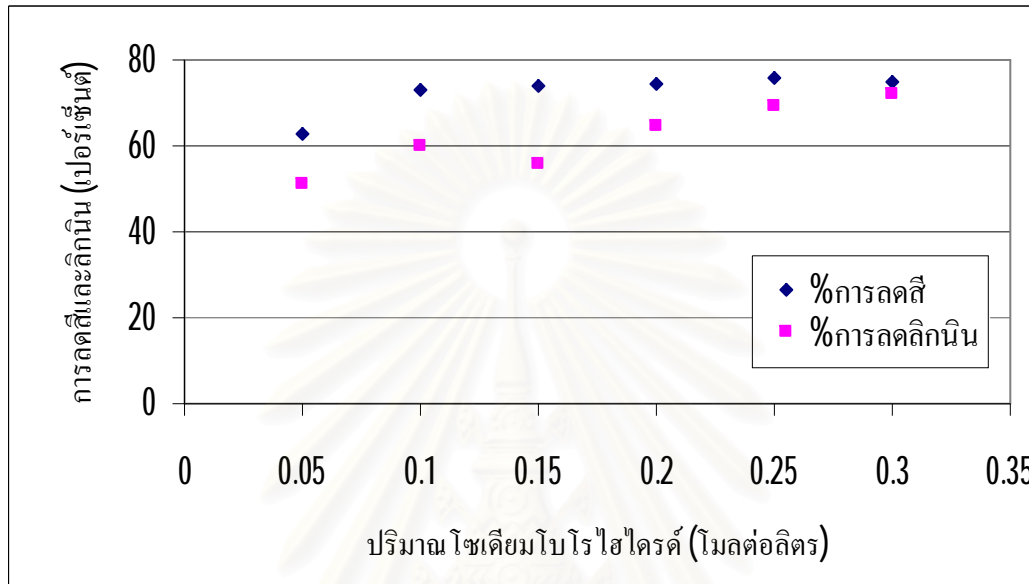
จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการลดสีมากที่สุดที่ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.04 และ 0.06 โมลต่อลิตร โดยให้ประสิทธิภาพการลดสีที่ 78 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน และประสิทธิภาพการลดคลอรีน 21 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน จึงเลือกปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.04 โมลต่อลิตร



รูปที่ 4.21 การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC

4.3.4.4 น้ำเสียสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นว่าปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ที่สามารถลดสีได้มากที่สุดคือ 0.10 ถึง 0.30 โมลต่อลิตร โดยสามารถลดสีได้ 63 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์และลดลิกนินได้ 51 ถึง 72 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเลือกปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมที่ 0.10 โมลต่อลิตร



รูปที่ 4.22 การหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์

4.3.5 ผลการทดลองขั้นที่ 4 หาค่าอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ที่เหมาะสม

การหาค่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างโซเดียมโบโรไฮไดรด์ และโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ที่เหมาะสมหาได้โดย ใช้ค่าพีเอช เวลาควน และปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองขั้นที่ 1, 2 และ 3 แล้วแปรค่าอัตราส่วนโดยโมล

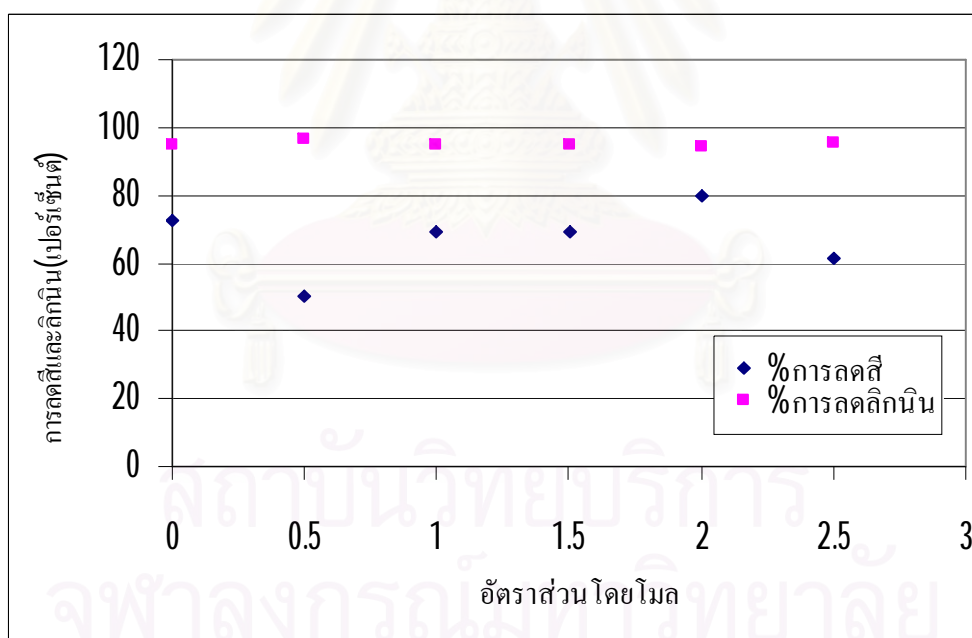
สรุปผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 4.8 โดยพบว่าอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของ น้ำเสีย PH-I คือ 1 ต่อ 2 และ น้ำเสีย SC คือ 1 ต่อ 1.5 สำหรับอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของ น้ำเสีย PH-II อยู่ในช่วงระหว่าง 1 ต่อ 0.5 และ 1 ต่อ 2.5 ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์มีอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1 ต่อ 0.5

ตารางที่ 4.8 สรุปผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการลดสีและลิกนิน

น้ำเสีย	อัตราส่วนโดยโมล	% การลดสี	% การลดลิกนิน
PH-I	1:2	80	95
PH-II	1:0.5	28	95
SC	1:1.5	75	36
สังเคราะห์	1:0.5	74	60

4.3.5.1 น้ำเสีย PH-I

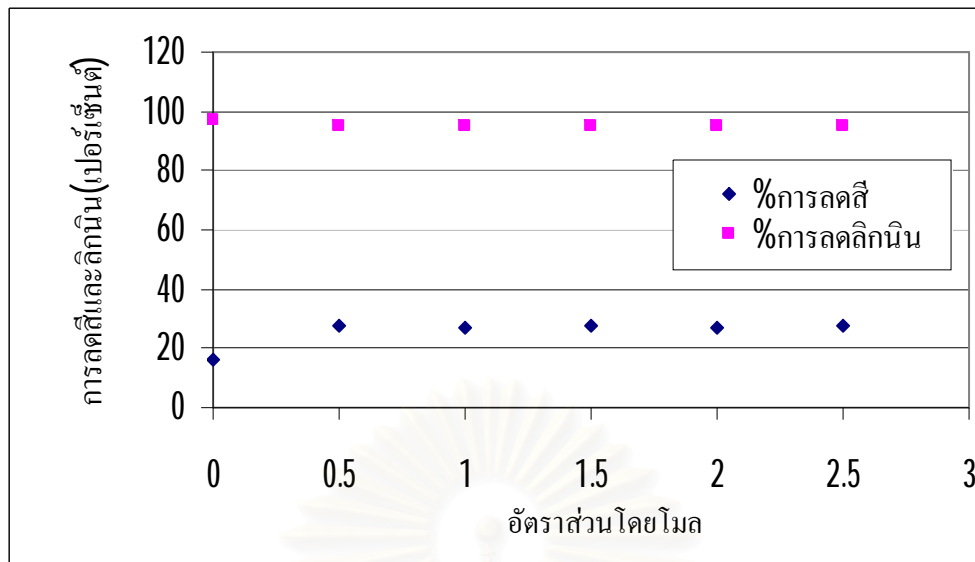
จากรูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพการลดสีดีที่สุดที่อัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 2 โดยสามารถลดสีในน้ำเสียได้ 80 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดลิกนินได้ 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.23 การหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I

4.3.5.2 น้ำเสีย PH-II

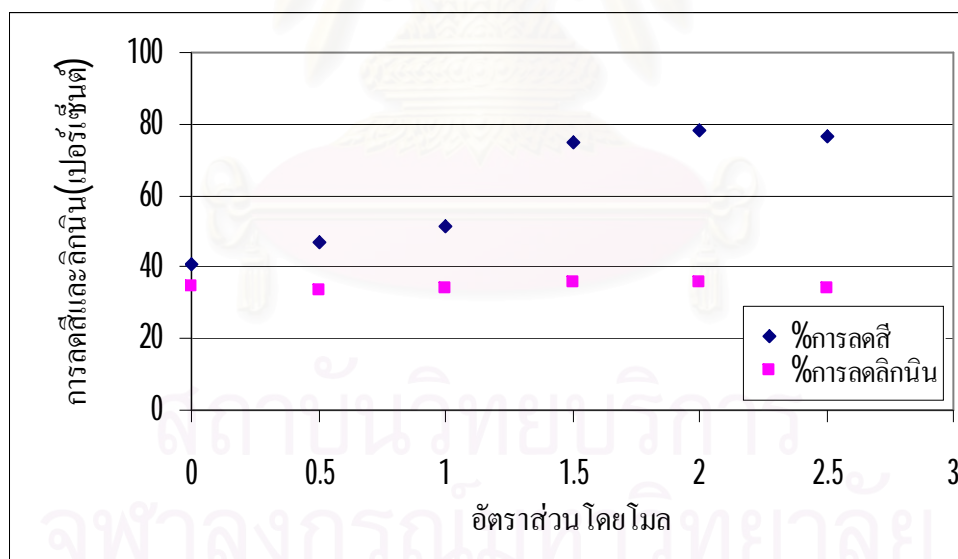
จากรูปที่ 4.24 ทุกอัตราส่วนโดยโมลมีประสิทธิภาพในการลดสีใกล้เคียงกันคือ 28 เปอร์เซ็นต์และที่อัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 0.5 ถึง 1 ต่อ 2.5 สามารถลดลิกนินในน้ำเสียได้ใกล้เคียงกันที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมคือ 1 ต่อ 0.5



รูปที่ 4.24 การหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II

4.3.5.3 น้ำเสีย SC

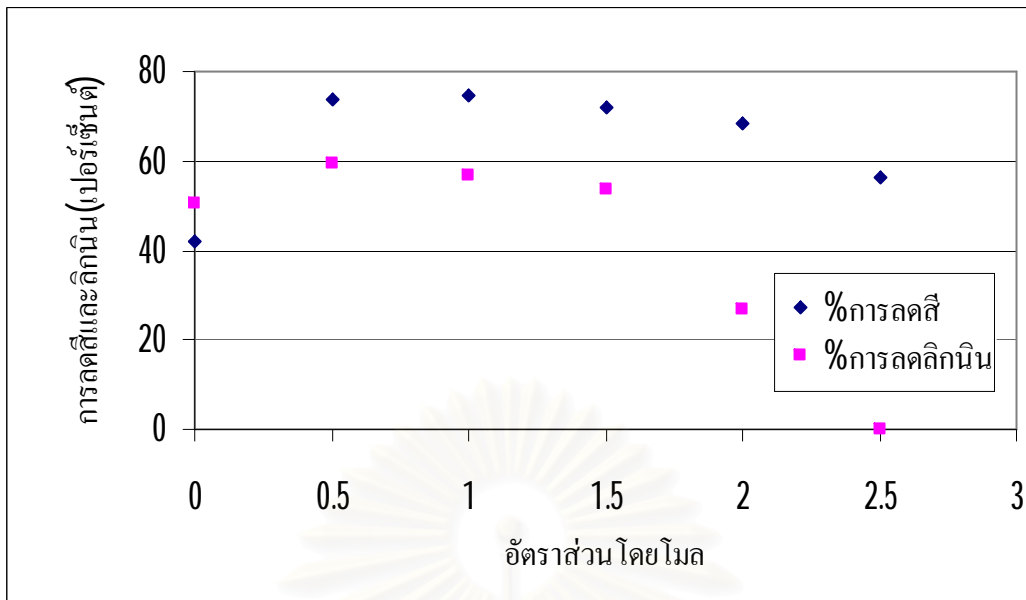
จากรูปที่ 4.25 อัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 1.5 ให้ค่าประสิทธิภาพการลดสีที่ดีที่สุดโดยสามารถลดสีได้ 75 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดคลิกนินในน้ำเสียได้ 36 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.25 การหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC

4.3.5.4 น้ำเสียสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.26 อัตราส่วนโดยโมลที่ให้ค่าประสิทธิภาพการลดสีที่ดีที่สุดคือ 1 ต่อ 0.5 โดยสามารถลดสีได้ 74 เปอร์เซ็นต์ และลดคลิกนินได้ 60 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.26 การหาค่าอัตราส่วน โดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์

4.4 กลไกการลดสีของโซเดียมโบโรไฮไดรด์

โซเดียมโบโรไฮไดรด์สามารถลดสีน้ำเสียจากกระบวนการฟอกเยื่อได้ เนื่องจากกระบวนการไฮโดรจีเนชันของก๊าซไฮโดรเจนกับพันธะที่ไม่อิ่มตัว (พันธะคู่และพันธะสาม) ในหน่วยโมเลกุลของสียบวงแหวนเบนซีน (Ghoreishi และ Haghghi, 2007)

4.5 การหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดสี ลิกนิน และซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง

การทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดสี ลิกนิน และซีโอดี ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นอัลคาไลน์ลิกนิน 100 ถึง 4000 พีพีเอ็ม โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.25 โมลต่อลิตรและโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ 0.125 โมลต่อลิตรหรืออัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 0.5 ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าสี ลิกนิน และซีโอดีก่อนและหลังการทดลอง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.9 – 4.11

ตารางที่ 4.9 การหาความสัมพันธ์ระหว่างสี ลิกนิน และซีโอดีที่ไม่ปรับพีเอช (9.8)

ตัวอย่าง	ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	พีเอชก่อน	พีเอชหลัง	%การลดสี	%การลด ลิกนิน	%การลด ซีโอดี
1	100	9.8	4.8	72	-101	-3997
2	500	9.8	4.6	80	2	-1166
3	1000	9.8	4.5	77	54	-350
4	1500	9.7	4.5	76	71	-200
5	2000	9.7	4.5	76	77	-131
6	2500	9.7	4.5	75	79	-14

ตารางที่ 4.10 การหาความสัมพันธ์ระหว่างสี ลิกนิน และซีโอดีที่พีเอช 4

ตัวอย่าง	ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	พีเอชก่อน	พีเอชหลัง	%การลดสี	%การลด ลิกนิน	%การลด ซีโอดี
1	100	8.43	4.75	54	-1	-103
2	500	8.98	4.55	61	3	-133
3	1000	9.13	4.68	60	-11	33
4	1500	9.32	4.75	67	-13	60
5	2000	9.31	4.63	62	-17	41
6	2500	-	4.67	59	3	40

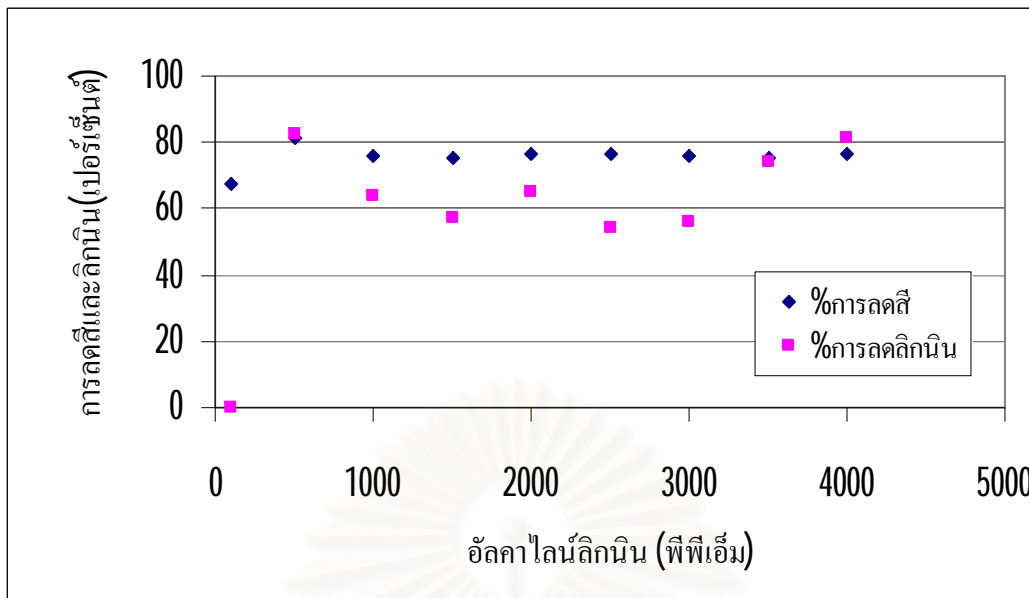
ตารางที่ 4.11 การหาความสัมพันธ์ระหว่างสี ลิกนิน และซีโอดีที่พีเอช 7

ตัวอย่าง	ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	พีเอชก่อน	พีเอชหลัง	%การลดสี	%การลด ลิกนิน	%การลด ซีโอดี
1	100	7.15	2.14	63	1	-12
2	500	7.15	4.03	65	5	-33
3	1000	7.02	5.97	61	73	-11
4	1500	7.14	8.27	57	-17	20
5	2000	7.05	10.7	64	-17	-33
6	2500	6.99	11.87	62	4	-90

ตารางที่ 4.9 ถึง 4.11 แสดงค่าประสิทธิภาพการลดสีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่ปรับพีเอช มีค่าอยู่ในช่วง 72 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการลดสีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 4 อยู่ในช่วง 54 ถึง 67 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการลดสีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 7 อยู่ในช่วง 57 ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการลดสีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช (9.8) พบว่า เมื่อน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของอัลคาไลน์ลิกนิน 500 พีพีเอ็ม ประสิทธิภาพในการลดสีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 2 (เปอร์เซ็นต์) โดยสามารถลดสีได้ 54 เปอร์เซ็นต์ที่อัลคาไลน์ลิกนิน 1000 พีพีเอ็ม และสามารถลดสีได้สูงสุด 54 ถึง 79 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้นอัลคาไลน์ลิกนิน 1000 ถึง 2500 พีพีเอ็ม และเมื่อปรับพีเอชเป็น 4 และ 7 พบว่าไม่สามารถหาประสิทธิภาพในการลดสีได้ เนื่องจากค่าที่ได้ติดลบ

จากการทดลองพบว่าค่าซีโอดีติดลบซึ่งเกิดจากซีโอดีในน้ำหลังการทดลองสูงกว่าซีโอดีก่อนทำการทดลองซึ่งไม่น่าจะเป็นไปได้ จึงได้ตั้งสมมติฐานว่าสารโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหลืออยู่ในน้ำอาจทำปฏิกิริยากับโพแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ทำให้ค่าซีโอดีสูงผิดปกติ จึงทำการทดลองหาค่าซีโอดีของน้ำกลั่นที่เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ กับโซเดียมเมตาโบซัลไฟท์ แล้วหาค่าซีโอดี พบว่าน้ำดังกล่าวมีค่าซีโอดีประมาณ 460 ถึง 1440 มก.ต่อลิตร ดังแสดงในตาราง ญ.10 ในภาคผนวก ญ จากนั้นนำค่าซีโอดีนี้ไปหักลบกับค่าซีโอดีของน้ำที่ผ่านการทดลอง แต่ก็ยังพบว่าซีโอดีในน้ำหลังการทดลองยังสูงกว่าซีโอดีก่อนทำการทดลอง ทำให้ไม่สามารถหาประสิทธิภาพการลด ซีโอดีได้ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Ghoreishi และ Haghghi, 20007 ซึ่งสามารถหาประสิทธิภาพการลดซีโอดีได้นั้น อาจจะเป็นเนื่องมาจากงานวิจัยดังกล่าวไม่ได้ใช้สารเร่งปฏิกิริยา และใช้เวลาทำปฏิกิริยานานถึง 24 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดีจึงสามารถหาค่าซีโอดีได้

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดสี ประสิทธิภาพการลดลิกนิน และปริมาณอัลคาไลน์ลิกนินในน้ำเสียสังเคราะห์ ผลการศึกษาได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.27 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการลดสีมีแนวโน้มคงที่ทุกปริมาณอัลคาไลน์ลิกนิน โดยพบว่าสามารถลดสีได้ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประสิทธิภาพการลดลิกนิน เปลี่ยนไปตามปริมาณของอัลคาไลน์ลิกนินในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยประสิทธิภาพการลดสีและลิกนินมีค่าสูงสุดที่ 500 พีพีเอ็ม ซึ่งสามารถลดสีได้ 82 เปอร์เซ็นต์ และลดลิกนินได้ 83 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดดี การลดคลิกนิน และปริมาณ อัลคาไลน์คลิกนิน

4.6 การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดดี

โซเดียมโบโรไฮไดรด์มีราคาประมาณ 1785 บาทต่อกิโลกรัม และโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์มีราคา 42 บาทต่อกิโลกรัม

-น้ำเสีย PH-I ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 0.06 โมลต่อลิตรอัตราส่วน โดยโมล 1 ต่อ 2

$$\begin{aligned} \text{ค่าสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์} &= 0.06 * 1000 * 37.83 / 1000 * 1785 \\ &= 4051.6 \text{ บาทต่อลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์} &= 0.12 * 1000 * 190.1 / 1000 * 42 \\ &= 958.1 \text{ บาทต่อลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รวมค่าสารเคมี} &= 4051.6 + 958.1 \\ &= 5009.7 \text{ บาทต่อลบ.ม. หรือ 5 บาทต่อ} \\ &\text{ลิตร} \end{aligned}$$

-น้ำเสีย PH-II ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 0.04 โมลต่อลิตร อัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 0.5

$$\begin{aligned} \text{ค่าสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์} &= 0.04 * 1000 * 37.83 / 1000 * 1785 \\ &= 2701.06 \text{ บาทต่อลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์} &= 0.02 * 1000 * 190.1 / 1000 * 42 \\ &= 159.7 \text{ บาทต่อลบ.ม.} \\ \text{รวมค่าสารเคมี} &= 2701.06 + 159.7 \\ &= 2860.74 \text{ บาทต่อลบ.ม. หรือ 2.8 บาท} \\ &\text{ต่อลิตร} \end{aligned}$$

-น้ำเสีย SC ความเข้มข้นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 0.04 โมลต่อลิตร อัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 1.5

$$\begin{aligned} \text{ค่าสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์} &= 0.04 * 1000 * 37.83 / 1000 * 1785 \\ &= 2701.06 \text{ บาทต่อลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์} &= 0.06 * 1000 * 190.1 / 1000 * 42 \\ &= 479.05 \text{ บาทต่อลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รวมค่าสารเคมี} &= 2701.06 + 479.05 \\ &= 3180.11 \text{ บาทต่อลบ.ม. หรือ 3.2 บาท} \\ &\text{ต่อลิตร} \end{aligned}$$

-น้ำเสียสังเคราะห์ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.10 โมลต่อลิตร และ โซเดียมเมตะไบซัลไฟท์ 0.15 โมลต่อลิตร (อัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 0.5)

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่าสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์} &= 0.10 * 1000 * 37.83 / 1000 * 1785 \\ &= 6752.66 \text{ บาทต่อลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าโซเดียมเมตะไบซัลไฟท์} &= 0.05 * 1000 * 190.1 / 1000 * 42 \\ &= 399.2 \text{ บาทต่อลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\text{รวมค่าสารเคมี} = 6752.66 + 399.2$$

$$\begin{aligned} &= 7151.87 \text{ บาทต่อลบ.ม. หรือ 7.1 บาท} \\ &\text{ต่อลิตร} \end{aligned}$$

โซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นเกรดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งในการประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดต้องใช้เกรดอุตสาหกรรม แต่เนื่องจากโซเดียมโบโรไฮไดรด์แบบเกรดอุตสาหกรรมยังไม่มีขายในประเทศไทย ดังนั้นราคาโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ใช้จึงเป็นราคาที่

อ้างอิงจากราคาจากต่างประเทศ (Hjaliti และคณะ, 2005) ดังนั้นค่าสารเคมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์จึงมีราคาแพงกว่าปกติเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียวิธีของ Ghoreishi และ Haghghi, 2007 ซึ่งมีค่าใช้จ่าย 0.001 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อการบำบัดน้ำ 1 ลิตร หรือ 0.036 บาทต่อลิตร (อัตรา 1 ดอลลาร์สหรัฐ = 35 บาท) ซึ่งไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ประมาณการจากงานวิจัยนี้ได้ เนื่องจากงานวิจัยของ Ghoreishi และ Haghghi, 2007 ใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการกำจัดสี โดยใช้เวลา 24 ชั่วโมง ไม่ใช้สารเร่งปฏิกิริยา โดยมีการบำบัดขั้นตอนที่ 2 คือขั้นตอนการบำบัดทางชีวภาพซึ่งมีเวลาเก็บกัก 5 ชั่วโมง ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดสีเมื่อคิดเฉพาะค่าสารเคมีดังสรุปในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สรุปประมาณการค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสี

น้ำเสีย	ค่าสารเคมี (บาทต่อลิตร)
PH-I	5.0
PH-II	2.8
SC	3.2
สังเคราะห์	7.1

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยนี้ทำให้สามารถสรุปผลได้ดังสรุปในตารางที่ 5.1 โดยพบว่า

1. การหาระยะเวลาที่เหมาะสม พบว่าน้ำเสียแต่ละตัวอย่างมีเวลาที่ทำปฏิกิริยาแตกต่างกันออกไป โดย น้ำเสีย PH-I ใช้เวลาที่เหมาะสม 120 นาที น้ำเสีย PH-II ใช้เวลาที่เหมาะสม 300 นาที น้ำเสีย SC ใช้เวลาที่เหมาะสม 100 นาที และน้ำเสียสังเคราะห์ใช้เวลาที่เหมาะสม 120 นาที
2. ผลการหาพีเอชที่เหมาะสม พบว่า น้ำเสีย PH-I มีค่าพีเอชที่เหมาะสม 4.0 โดยที่น้ำเสีย PH-II มีค่าพีเอชที่เหมาะสม 6.0 และ น้ำเสีย SC มีค่าพีเอชที่เหมาะสม 6.0 และน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าพีเอชที่เหมาะสม 10 ถึง 12
3. ผลการหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมพบว่า ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ที่เหมาะสมของน้ำเสียแต่ละชนิดเป็นดังนี้คือ น้ำเสีย PH-I มีปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 0.10 โมลต่อลิตร น้ำเสีย PH-II มีค่าปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 0.04 โมลต่อลิตร น้ำเสีย SC มีค่าปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 0.04 โมลต่อลิตร และน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 0.30 โมลต่อลิตร
4. ผลการหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม พบว่าอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I เท่ากับ 1 ต่อ 2 น้ำเสีย PH-II เท่ากับ 1 ต่อ 0.5 และ น้ำเสีย SC เท่ากับ 1 ต่อ 1.5 ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์มีอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1 ต่อ 0.5

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม

น้ำเสีย	เวลา (นาที)	พีเอช	NaBH ₄ (โมลต่อลิตร)	อัตราส่วนโดยโมล NaBH ₄ ต่อ Na ₂ S ₂ O ₅	%การลดสี	%การลดกลิ่น
PH-I	120	4.0	0.10	1 : 2	80	95
PH-II	300	6.0	0.04	1 : 0.5	28	95
SC	100	6.0	0.04	1 : 1.5	75	36
สังเคราะห์	120	10 ถึง 12	0.10	1 : 0.5	74	60

5. ประสิทธิภาพการลดสีของน้ำเสีย PH-I เท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสีย PH-II เท่ากับ 28 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสีย SC เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 74 เปอร์เซ็นต์
6. ความสามารถในการลดกลิ่นของน้ำเสีย PH-I เท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสีย PH-II เท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสีย SC เท่ากับ 36 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์
7. ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดสียโดยใช้โซเดียมไฮไดรด์ (คิดเฉพาะค่าสารเคมี) พบว่าค่าสารเคมีในการกำจัดสียในน้ำเสีย PH-I เท่ากับ 5 บาทต่อลิตร น้ำเสีย PH-II เท่ากับ 2.8 บาทต่อลิตร น้ำเสีย SC เท่ากับ 3.2 บาทต่อลิตร และน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 7.1 บาทต่อลิตร



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ข้อเสนอแนะและข้อจำกัดของงานวิจัย

6.1 ข้อเสนอแนะ

1. อาจเพิ่มค่าพารามิเตอร์ที่วัดสี คือสีในหน่วย ADMI ซึ่งอาจจะทำให้สามารถเห็นผลการทดลองได้ดีขึ้น เนื่องจากการวัดสีในหน่วย ADMI ใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร ในขณะที่สีในหน่วย PtCo ใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 465 นาโนเมตร เพียงค่าเดียว ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวัดสีในหน่วย ADMI วัดสีได้ครอบคลุมดีกว่า และสามารถบ่งบอกถึงความแตกต่างของค่าสีที่ปริมาณน้อยๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. การลดสีด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถบำบัดสีของน้ำเสียจนถึงระดับที่เหมาะสมได้ (90 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งวิธีนี้ควรมีการพัฒนาต่อไป อาทิเช่น เปลี่ยนสารเร่งปฏิกิริยา หรือเพิ่มสารเคมีชนิดอื่นที่ช่วยในการบำบัด
3. ปฏิกิริยาระหว่างน้ำและสารโซเดียมโบโรไฮไดรด์นั้นทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน ดังนั้นในการออกแบบถังปฏิกรณ์อาจออกแบบให้เป็นระบบปิด และมีการเก็บก๊าซไฮโดรเจนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป
4. เนื่องจากไม่สามารถหาค่าซีไอดีหลังการทดลองได้ จึงอาจใช้พารามิเตอร์อื่นในการวิเคราะห์ เช่น บีไอดีหรือทีไอซี เป็นต้น
5. เวลาที่เหมาะสมในการทำวิจัยควรใช้เท่ากับ 120 นาที เพื่อทำการเปรียบเทียบ
6. ควรหาค่าเวลาที่เหมาะสม โดยดูจากค่าสีที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเวลา

6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

การวิเคราะห์หาค่าซีไอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากสารโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหลือในน้ำ จะทำปฏิกิริยากับโพแตสเซียมแมงกานีสระหว่างวิเคราะห์ค่าซีไอดี ทำให้ค่าซีไอดีที่คำนวณได้มากกว่าที่เป็นจริงมาก และไม่สามารถหาประสิทธิภาพการลดซีไอดีได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสีกับซีไอดีได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จูลวรรณ์ จิงสุวัฒนานนท์. การลดสีของน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษด้วยวิธีการตรึงเซลล์ *Phanerochaete chrysosporium* ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิดไคซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542
- ชยพร สงวนทรัพย์ากร. การลดสีน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษด้วยวิธีการตรึงเซลล์ *Phanerochaete Chrysosporium* ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพฟลูอิดไคซ์เบด 2 เครื่องที่ต่อแบบอนุกรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546
- นวลจิรา วโรตตมะ. การกำจัดสีหมูอะโซซินิกไดเรกต์ และรีแอกทีฟด้วยไซโตียมโบโรไฮไดรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.
- บุษรา ประชุมญาติ. การกำจัดสีรีแอกทีฟหมูอะโซด้วยไซโตียมโบโรไฮไดรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.
- พิมพ์ชนก เต็งเจริญ. การกำจัดสีของน้ำทิ้งในการผลิตถิกนินโดยราไวต์รอต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.
- มณีรัตน์ องค์กรณดี. การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะโดยใช้ไซโตียมโบโรไฮไดรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.
- มันสิน ตันกุลเวศม์. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: บริษัท แชน.อี 68 แล็บ จำกัด, 2543.
- สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย คณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : เรือนแก้วการพิมพ์, 2540.

ภาษาอังกฤษ

- American Water Works Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. 1998.
- Catalkaya E., C. and Kargi F. Color, TOC and AOX removals from pulp mill effluent by advanced oxidation processes: A comparative study. Journal of Hazardous Materials B139 (2007): 244-253.
- Ghoreishi S., M. and Haghghi R., Chemical catalytic reaction and biological oxidation for treatment of non-biodegradable textile effluent. Chemical Engineering Journal 95 (September 2003): 163-169.
- Ghoreishi S., M. and Haghghi R., Chromophores removal in pulp and paper mill effluent via hydrogenation-biological batch reactors. Chemical Engineering Journal Vol. 127 (March 2007): 59-70.
- Gilarranz, M.A., Rodriguez, F. and Oliet, M. Acid precipitation and purification of wheat straw lignin. Separation Science and Technology Vol.33 No.9 (1998) : 1359 - 1377.
- Hjalti P., I., Skulason J., B., Gunassom G., Kelly M. and Wu Y., Production of Sodium Borohydride in Iceland[online]. 2005. Available from:
[http://www.iphe.net/Storage%20%20Lucca/Presentations_Final%20pdf%20for%20website/Wednesday/4\)%20Wu%20IPHE%20presentation.pdf](http://www.iphe.net/Storage%20%20Lucca/Presentations_Final%20pdf%20for%20website/Wednesday/4)%20Wu%20IPHE%20presentation.pdf)
 [2007,27 Febuary]
- North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistant. 2004. Silver recovery systems and waste reduction in photoprocessing. Available from:
<http://www.p2pays.org/ref/01/00048.htm> [2004, January 20]
- Runge. Troy M. A review of the chemistry involved D(E*) delignification of kraft pulps [Online]. Available from:
www.ipst.edu/~aragausk/Literature_Reviews/litreview1.pdf [2005, December, 6]



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
ความปลอดภัยในการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก ความปลอดภัยในการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (บุษรา, 2545)

ชื่อเรียกอื่น	Sodium tetrahydroborate / Sodium tetrahydridoborate
มวลโมเลกุล	37.83
สูตรเคมี	NaBH_4
อันตราย	มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้บริเวณที่สัมผัสเกิดการไหม้เกรียม เป็นพิษต่อทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ หรือการดูดซึมทางผิวหนัง รวมทั้งเป็นของแข็งที่ติดไฟได้ และอันตรายเมื่อเปียกน้ำ
ผลต่อสุขภาพ	มีข้อมูลน้อยมาก
ผลต่อทางเดินหายใจ	การหายใจเอาสารเคมีเข้าไป จะทำอันตรายต่อเยื่อเมือกและทางเดินหายใจ ตอนบน และก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อจมูกและลำคอ ตลอดจนหายใจลำบากและปอดบวมน้ำ
ผลต่อทางเดินอาหาร	มีฤทธิ์กัดกร่อนและทำให้ปาก คอ และท้องไหม้ นอกจากนี้ยังสามารถทำให้เกิดอาการเจ็บคอ อาเจียน และท้องร่วง
ผลต่อผิวหนัง	ก่อให้เกิดการระคายเคืองหรือผิวหนังไหม้จากการสัมผัสสารเคมีที่เปียกหรือขณะที่ผิวหนังชื้น
ผลต่อดวงตา	มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้การมองเห็นไม่ชัดเจน ตาแดง เจ็บปวด และทำให้เนื้อเยื่อไหม้ อย่างรุนแรง
อาการเรื้อรัง	ไม่มีข้อมูล
การปฐมพยาบาลเบื้องต้น	<ul style="list-style-type: none"> - เมื่อผิวหนังสัมผัสกับสารเคมี ให้เช็ดออกและล้างทันทีด้วยน้ำสะอาดปริมาณมากๆ เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที รวมทั้งถอดเครื่องนุ่งห่มและรองเท้าที่เปื้อนสารเคมีออกแล้วไปพบแพทย์โดยเร็ว การนำเครื่องนุ่งห่มที่เปื้อนสารเคมีมาใช้ อีกต้องซักล้างให้สะอาดก่อน - เมื่อสารเคมีเข้าตา ให้ล้างด้วยน้ำสะอาดปริมาณมากๆ นาน 15 นาที พร้อมทั้งยกเปลือกตาบนและล่างเป็นระยะ และส่งแพทย์
อัคคีภัย	สามารถลุกไหม้ได้ในอากาศเมื่อสัมผัสกับเปลวไฟ และลุกไหม้อย่างต่อเนื่องถ้าในบรรยากาศมีก๊าซไฮโดรเจน เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำหรือไอน้ำจะเกิดเป็นไฮโดรเจนที่ติดไฟได้



ภาคผนวก ข
วิธีการวิเคราะห์หลักนิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ลิกนิน (Gilarranz และคณะ, 1998)

การเตรียมสารละลายบอริก 0.1 โมล

ละลายกรดบอริก 6.183 กรัม ลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรจนได้ 1000 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำมาปรับพีเอชให้เป็น 12 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

การเตรียมสารละลายลิกนิน 1000 ส่วนในล้านส่วน

ละลายอัลคาไลน์ลิกนินที่อบให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหนัก 1 กรัม ลงในสารละลายกรดบอริก แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายกรดบอริก 0.1 โมล จะได้สารละลายลิกนิน 1000 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งสามารถนำไปเจือจางเพื่อทำน้ำเสียสังเคราะห์ หรือกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ลิกนินได้

การเตรียมสารละลายลิกนิน 10, 20, 30, 40 และ 50 ส่วนในล้านส่วน

ปิเปตสารละลายลิกนินความเข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน มาปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายกรดบอริก 0.1 โมล

วิธีการเทียบมาตรฐานของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1. นำสารละลายลิกนินที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร

2. นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของลิกนิน ซึ่งมีหน่วยเป็น ส่วนในล้านส่วน



ภาคผนวก ค
วิธีวิเคราะห์สื่อนหน่วย **PiCo**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์สีในหน่วย **PtCo** (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540)

วิธีวิเคราะห์หรือตรวจสอบสีของน้ำสามารถทำได้โดยใช้วิธีเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (Standard Solution) ที่ทราบระดับความเข้มข้น ซึ่งมีหน่วยวัดเป็นหน่วย โดย 1 หน่วยสี มีค่าเท่ากับ 1 มิลลิกรัม/ลิตร ของโลหะแพลททินัม (Platinum, Pt) ในรูปของ คลอโรแพลตทินิคไดออกไซด์โดยมีวิธีการในการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สีของน้ำดังนี้

1.ปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำตัวอย่างให้เป็น 7.6 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์

2.กรองตะกอนออกด้วยกระดาษกรองโดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศ

3.นำส่วนน้ำที่กรองได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 465 นาโนเมตร

วิธีการเทียบมาตรฐานของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1.นำสารละลายมาตรฐานคลอโรแพลตทินิค ที่มีความเข้มข้น 50 ถึง 500 หน่วยสี ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 465 นาโนเมตร

2.นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของสีซึ่งมีหน่วยเป็น PtCo

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง
การวัดสีในหน่วย **ADMI**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง การวัดสีในหน่วย **ADMI** (AWWA,1998)

ปัจจุบันค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสีนั้น มีข้อกำหนดว่า สีหรือกลิ่นของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ ทั้งยังไม่ได้กำหนดวิธีวิเคราะห์ด้วยประกาศอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 พ.ศ. 2539

ในการวัดสีในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมซึ่งมีความเข้มสีสูง สถาบันผู้ผลิตสีแห่งอเมริกา (American Dye Manufacturers Institute, **ADMI**) ได้จัดตั้งคณะกรรมการทางนิเวศวิทยาขึ้นเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของสีย้อมผ้าต่อสิ่งแวดล้อม โดยได้หาวิธีการวัดสีที่สามารถเชื่อถือได้มากกว่าวิธีการวัดสีที่มีอยู่ในขณะนั้น โดยมีเกณฑ์ 4 ข้อคือ

1. เป็นหน่วยที่สามารถเปรียบเทียบความเข้มสีได้กับทุกชนิดสี
2. สามารถบ่งบอกถึงความแตกต่างของค่าสีที่ปริมาณน้อยๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. สัมพันธ์กับค่าจากการวัดสีในหน่วย **APHA** (American Public Health Association)
4. เครื่องมือที่ใช้ราคาไม่สูงมากนัก

นั่นคือการวัดสีในหน่วยเอดีเอ็มไอต้องการวัด โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์การยอมให้แสงผ่าน โดยมีหลักการว่า ถ้ามีสีอยู่สองสีเมื่อมองด้วยตาเปล่าแล้วเห็นความแตกต่างของสีจากสภาวะไร้สีในระดับที่เท่ากันแล้วค่าสีทั้งสองสีนี้จะมีค่าเอดีเอ็มไอเท่ากัน

การวัดสีเริ่มจากการหาค่า **Tristimulus X, Y, Z** ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แล้วบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์การยอมให้แสงผ่านที่ทุกๆ 10 นาโนเมตรในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร (ความยาวคลื่นในช่วงที่ตามนุษย์มองเห็น) คำนวณเป็นค่า **Tristimulus Values X, Y, Z** โดยทำการตั้งให้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เก็บค่าเปอร์เซ็นต์การยอมให้แสงผ่านตามความยาวคลื่นที่ต้องการโดยอัตโนมัติ จากนั้นแปลงค่า **x, y, z** ให้เป็นค่า **Vx, Vy, Vz** โดยสูตรของ **McLaren** ดังนี้

$$X = 0.98071(1.2219Vx - 0.23111Vx^2 + 0.23951Vx^3 - 0.021009Vx^4 + 0.0008404Vx^5)$$

$$Y = (1.2219Vy - 0.023111Vy^2 + 0.23951Vy^3 - 0.021009Vy^4 + 0.0008404Vy^5)$$

$$Z = 1.181032(1.2219Vz - 0.23111Vz^2 + 0.23951Vz^3 - 0.021009Vz^4 + 0.0008404Vz^5)$$

จากนั้นทำการคำนวณค่าความแตกต่างของสี **Adams-Nickerson (DE)** ด้วยสมการ

$$DE = [(0.23? Vy^2) + \{? (Vx + Vy)^2\} + \{0.4? (Vy - Vz)\}^2]^{1/2}$$

แล้วทำการแปลงค่า **DE** ให้เป็นค่าในหน่วยเอดีเอ็มไอโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์



ภาคผนวก จ

ผลการทดลองการทำกราฟมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ ผลการทดลองการทำกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ จ.1 ผลการทดลองการทำกราฟมาตรฐานสี ในหน่วยเพลตดินนํ้าโคลบอลด์
ที่ความเข้มข้นสูงครั้งที่ 1

ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	0	50	100	200	300	400	500
ชุดที่ 1	0	0.027	0.028	0.061	0.082	0.105	0.13
ชุดที่ 2	0	0.013	0.025	0.05	0.076	0.099	0.126
ชุดที่ 3	0	0.009	0.016	0.047	0.065	0.088	0.119
เฉลี่ย	0	0.0163	0.023	0.0527	0.0743	0.0973	0.125

ตารางที่ จ.2 ผลการทดลองการทำกราฟมาตรฐานสี ในหน่วยเพลตดินนํ้าโคลบอลด์
ที่ความเข้มข้นสูงครั้งที่ 2

ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	0	50	100	200	300	400	500
ชุดที่ 1	0	0.074	1.591	3.056	3.625	3.641	3.577

ตารางที่ จ.3 ผลการทดลองการทำกราฟมาตรฐานลิกนินที่ความเข้มข้นต่ำ

ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225
ชุดที่ 2	0	0.417	0.824	1.217	1.579	2.083	2.748	2.894	3.071	3.378
ชุดที่ 3	0	0.401	0.815	1.202	1.567	2.069	2.741	2.832	3.068	3.317

ตารางที่ จ.4 ผลการทดลองการทำกราฟมาตรฐานลิกนินที่ความเข้มข้นสูง

ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
100	1.841
200	2.955
300	3.46
400	3.543
500	3.585
1000	3.666
1500	3.703
2000	3.73
2500	3.766
3000	3.777
3500	3.808
4000	3.813



ภาคผนวก ฉ
ผลการทดลองหาเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ ผลการทดลองหาเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

น้ำเสีย PH-I วัตถุดิบคือไม้ไผ่ ความเข้มข้น NaBH_4 0.04 โมลต่อลิตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 0.04 โมลต่อลิตร

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดลองวัดค่าโออาร์พีของน้ำเสีย PH-I

นาที่	โออาร์พี (มิลลิโวลต์)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	13	9
2	-105	-111
4	-108	-90
6	-111	-99
8	-110	-99
10	-111	-100
20	-111	-97
30	-107	-86
40	-99	-70
50	-87	-54
60	-74	-31
70	-57	-21
80	-46	-4
90	-30	
100	-21	
110	-11	25
120	0	28

น้ำเสีย PH-II วัตถุประสงค์คือ ไม้ยูคาลิปตัส ความเข้มข้น NaBH_4 0.04 โมลต่อลิตร, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 0.04 โมลต่อลิตร

ตารางที่ น.2 ผลการทดลองวัดค่าไออาร์พีน้ำเสีย PH-II

ไออาร์พี (มิลลิโวลต์)						
นาที่	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
0	-289	-281	-286	-292	-314	2
2	-105	-111	-124	-113	-137	
4	-117	-125	-128	-128	-148	
6	-125	-133	-131	-132	-153	
8	-136	-140	-133	-135	-156	
10	-133	-142	-134	-136	-157	
20	-137	-149	-132	-139		
30	-136	-154	-130	-139	-155	-155
40	-133	-156	-125	-137		
50	-130	-157	-119	-135	-147	
60	-127	-158	-114	-132		-142
70		-157	-107	-129	-135	
80	-121	-157	-100	-125		
90		-157	-79	-121	-120	-119
100		-156	-73	-117		
110		-154	-46	-112	-104	
120		-152		-108		-98
130					-90	
150					-77	-78
170					-68	
180						-67
190					-61	
210					-57	-60
230					-54	
240						-56
250					-53	
270					-52	-53

น้ำเสีย SC วัตถุดิบคือ ไม้ยูคาลิปตัส ความเข้มข้น NaBH_4 0.04 โมลต่อลิตร, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 0.04 โมลต่อลิตร

ตารางที่ น.3 ผลการทดลองวัดค่าโออาร์พี น้ำเสีย SC

โออาร์พี (มิลลิโวลต์)		
นาที	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	88	-11
2	-102	-874
4	-109	-854
6	-111	-835
8	-112	-848
10	-112	-853
20	-111	-799
30	-102	-777
40	-91	-733
50	-77	-722
60	-57	-711
70	-39	-699
80	-26	-686
90	-15	-669
100	-2	-644
110	15	-618
120	28	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำเสียสังเคราะห์

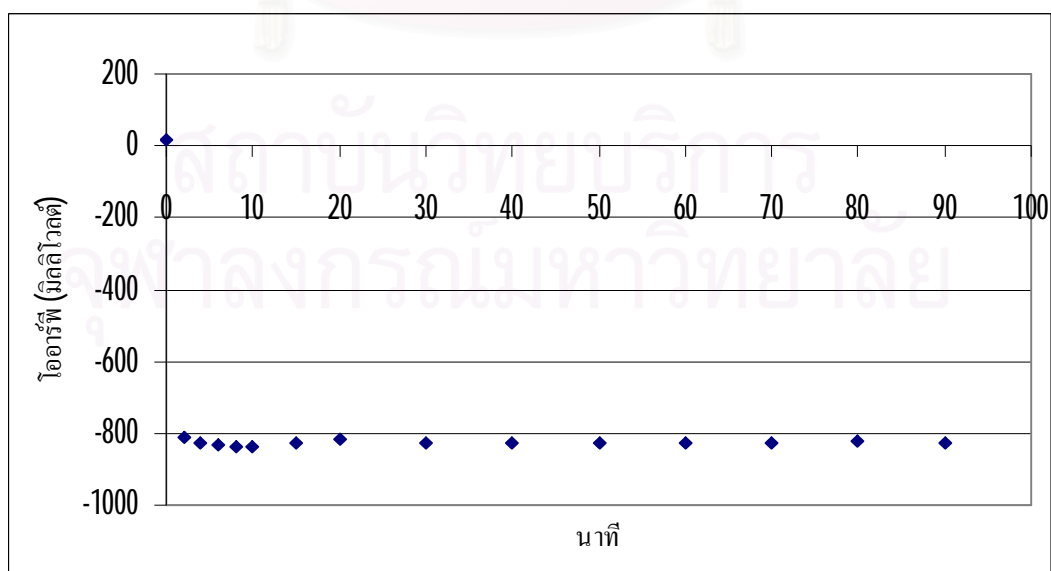
ตารางที่ ๔.4 ผลการทดลองวัดค่าไออาร์พีน้ำเสียสังเคราะห์

ไออาร์พี (มิลลิโวลต์)					
นาทึ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	นาทึ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	-695	-790	200	-544	-519
2	-775	-823	210	-537	-509
4	-812	-836	220	-531	-502
6	-838	-842	230	-522	-494
8	-848	-846	240	-516	-486
10	-857	-844	250	-506	-479
20	-836	-829	260	-502	-470
30	-821	-804	270	-497	-462
40	-817	-771	280	-489	-447
50	-761	-703	290	-482	-441
60	-718	-723	300	-475	-433
70	-711	-714	310	-470	-425
80	-720	-690	320	-462	-419
90	-715	-681	330	-454	-413
100	-692	-655	340	-447	-406
110	-660	-629	350	-443	-397
120	-642	-610	360	-430	-386
130	-623	-595	370	-426	-363
140	-603	-583	380	-416	-78
150	-594	-565	390	-387	-19
160	-585	-553	400	-88	13
170	-571	-545	410	-34	
180	-565	-537	420	0	
190	-553	-530			

การทดลองเพิ่มเติม จากสมมติฐานที่ว่าค่าไออาร์พีที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดขึ้นจากการที่ออกซิเจนในอากาศละลายลงในน้ำเสียทำให้ค่าไออาร์พีเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาที่มากขึ้น จึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยมีการป้องกันไม่ให้อากาศละลายลงในน้ำเสียได้ โดยการใส่น้ำมันลงในน้ำตัวอย่าง น้ำมันจะแยกชั้นลอยอยู่บนี้น้ำ ทำให้อากาศไม่สามารถละลายลงในน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ ฉ.1 ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ ฉ.2 และตารางที่ ฉ.5 จะเห็นได้ว่าค่าไออาร์พีมีแนวโน้มคงที่ ดังนั้นคาดว่าค่าไออาร์พีที่เพิ่มขึ้นของข้อมูลวิจัยของน้ำเสียสังเคราะห์ตามตารางที่ ฉ.4 คาดว่าเกิดจากการละลายของออกซิเจนในอากาศลงในน้ำเสีย ดังนั้นการหาระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมจึงควรทำการทดลองโดยหาค่าพารามิเตอร์อื่นๆ มาเป็นดัชนีชี้วัดนอกเหนือจากค่าไออาร์พี



รูปที่ ฉ.1 แสดงการทดลองวัดค่าไออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์โดยป้องกันไม่ให้สัมผัสอากาศ

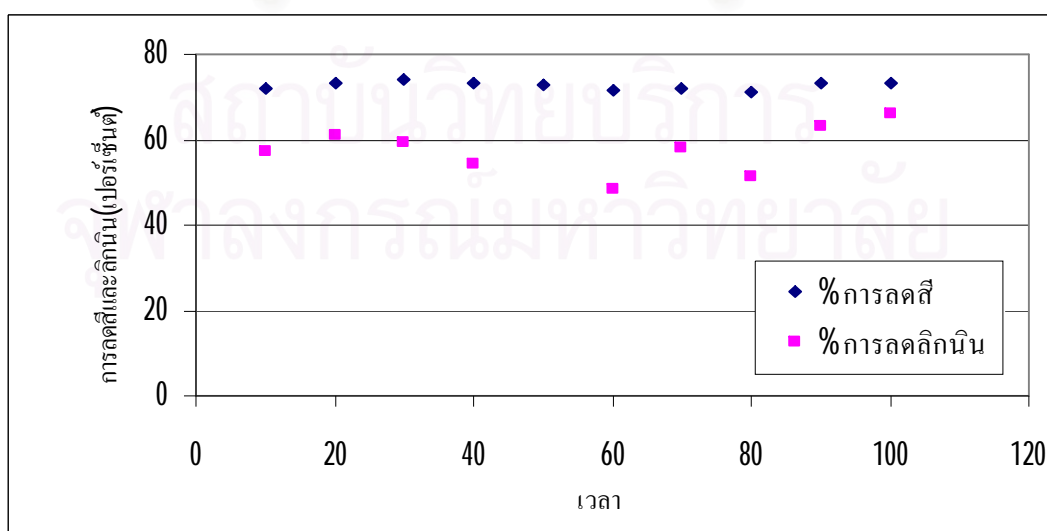


รูปที่ ฉ.2 การทดลองวัดค่าไออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีการป้องกันไม่ให้อากาศละลายน้ำ

ตารางที่ น.5 ผลการทดลองวัดค่าโออาร์พีของน้ำเสียสังเคราะห์โดยป้องกันไม่ให้สัมผัสอากาศ

นาทื	โออาร์พี (มิลลิโวลต์)
0	17
2	-810
4	-828
6	-832
8	-837
10	-839
20	-814
30	-829
40	-828
50	-829
60	-829
70	-829
80	-821
90	-828
100	-828

ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพิ่มโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์แต่ทำการทดลองโดยใช้ค่าสีที่ลดลงตามเวลาทำปฏิกิริยาเป็นดัชนีชี้วัดเวลาสิ้นสุดของปฏิกิริยาซึ่งผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ น.3 ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการลดสีมีแนวโน้มคงที่ทุกเวลาทำปฏิกิริยา และพบว่าค่าการลดสีและการลดลิกนินของน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิภาพดีที่สุดในที่เวลา 20 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการลดสี 73 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการลดลิกนิน 61 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ น.6



รูปที่ น.3 การทดลองวัดค่าสีและลิกนินของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตารางที่ ๖ ผลการทดลองวัดค่าสีของน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อหาเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

นาที	465	280	สี (PtCo)	ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	% การลดสี	%การลดลิกนิน
0	1.316	3.685	5350.06	1252.99		
10	0.367	3.576	1488.77	534.97	72	57
20	0.351	3.564	1423.66	487.12	73	61
30	0.339	3.569	1374.84	506.51	74	60
40	0.354	3.585	1435.87	573.92	73	54
50	0.357	3.652	1448.08	968.38	73	23
60	0.376	3.6	1525.38	645.23	71	49
70	0.371	3.574	1505.04	526.68	72	58
80	0.382	3.593	1549.80	610.91	71	51
90	0.353	3.557	1431.80	461.21	73	63
100	0.352	3.547	1427.73	426.57	73	66

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข
ผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข ผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสม

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองจาร์เทสต์เปรียบเทียบการปรับพีเอชและไม่ปรับพีเอช

	น้ำเสีย PH-II		น้ำเสีย PH-I		อัลคาไลน์ลิกนิน 1000 พีพีเอ็ม	
	ปรับพีเอช	ไม่ปรับพีเอช	ปรับพีเอช	ไม่ปรับพีเอช	ปรับพีเอช	ไม่ปรับพีเอช
พีเอช	3.61	7.61	3.98	6.3	4.22	9.22
โออาร์พี	209	-20	190	55	173	-111
465 นาโนเมตร	0.367	0.3	0.604	0.663	0.24	0.384
280 นาโนเมตร	3.47	3.429	3.524	3.57	3.46	3.523
อัตราเงา	1	1	1	1	1	1
สี PtCo	1464.65	1197.19	2410.75	2646.28	957.67	1532.51
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	218.75	216.14	222.19	225.12	218.11	222.13

ตารางที่ ข.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย

น้ำเสีย	PH-I	PH-II	SC	อัลคาไลน์ลิกนิน 1000 พีพีเอ็ม
สี PtCo	5421	1673	1395	2600
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	1389	545	314	681
ซีโอดี (พีพีเอ็ม)	2287	381	127	1360
พีเอช	10.4	6.5	6.0	9.8

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I

ตัวอย่าง	ชุดควบคุม	1	2	3	4	5	6
พีเอช	7.8	2	4	6	8	10	12
465 นาโนเมตร	0.041	0.013	0.027	0.036	0.039	0.039	0.080
280 นาโนเมตร	1.021	0.640	0.917	1.029	1.083	1.079	1.289
อัตราเงา	20	20	20	20	20	20	20
สี PtCo	3265.15	1029.63	2147.39	2865.95	3105.47	3105.47	6378.91
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	1256.52	771.37	1124.09	1266.71	1335.47	1330.38	1597.79
% การลดสี	39.77	81.01	60.39	47.13	42.71	42.71	-17.67
% การลดลิกนิน	9.53	44.46	19.07	8.80	3.85	4.22	-15.04

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง	ชุดควบคุม	1	2	3	4	5	6
พีเอช	10.8	2	4	6	8	10	12
465 นาโนเมตร	0.018	0.016	0.021	0.020	0.014	0.026	0.037
280 นาโนเมตร	0.868	0.628	0.805	0.836	0.779	0.884	1.026
อัตราเจือจาง	10	10	10	10	10	10	10
สี PtCo	714.42	634.58	834.18	794.26	554.74	1033.78	1472.90
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	530.85	378.04	490.74	510.47	474.18	541.04	631.45
% การลดสี	86.82	88.29	84.61	85.35	89.77	80.93	72.83
% การลดลิกนิน	61.78	72.78	64.67	63.25	65.86	61.05	54.54

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง	ชุดควบคุม	1	2	3	4	5	6
พีเอช	10.8	2	4	6	8	10	12
465 นาโนเมตร	0.034	0.059	0.051	0.023	0.051	0.018	0.024
280 นาโนเมตร	1.678	1.849	1.762	0.884	1.619	0.735	0.885
อัตราเจือจาง	10	10	10	10	10	10	10
สี PtCo	1353.14	2351.14	2031.78	914.02	2031.78	714.42	953.94
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	1046.57	1155.44	1100.05	541.04	1009.00	446.17	541.67
% การลดสี	75.04	56.63	62.52	83.14	62.52	86.82	82.40
% การลดลิกนิน	24.65	16.81	20.80	61.05	27.36	67.88	61.00

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง	ชุดควบคุม	1	2	3	4	5	6
พีเอช	7.3	2	4	6	8	10	12
465 นาโนเมตร	0.031	0.027	0.025	0.029	0.026	0.030	0.037
280 นาโนเมตร	1.292	0.689	0.755	0.788	0.731	0.765	0.828
อัตราเจือจาง	5	5	5	5	5	5	5
สี PtCo	616.69	536.85	496.93	576.77	516.89	596.73	736.45
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	400.40	208.44	229.45	239.96	221.81	232.63	252.69
% การลดสี	88.62	90.10	90.83	89.36	90.46	88.99	86.41
% การลดลิกนิน	71.17	84.99	83.48	82.72	84.03	83.25	81.81

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง	ชุดควบคุม	1	2	3	4	5	6
พีเอช	7.3	2	4	6	8	10	12
465 นาโนเมตร	0.019	0.011	0.006	0.024	0.025	0.017	0.021
280 นาโนเมตร	1.475	0.582	0.488	0.755	0.723	0.624	0.696
อัตราเจือจาง	5	5	5	5	5	5	5
สี PtCo	377.17	217.49	117.69	476.97	496.93	337.25	417.09
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	458.66	174.38	144.45	229.45	219.26	187.75	210.67
% การลดสี	93.04	95.99	97.83	91.20	90.83	93.78	92.31
% การลดลิกนิน	66.98	87.45	89.60	83.48	84.21	86.48	84.83

ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC ครั้งที่ 3

ตัวอย่าง	ชุดควบคุม	1	2	3	4	5	6
พีเอช	7.3	2	4	6	8	10	12
465 นาโนเมตร	0.144	0.093	0.110	0.166	0.160	0.149	0.233
280 นาโนเมตร	3.513	3.194	3.159	3.326	3.460	3.476	3.489
อัตราเจือจาง	1	1	1	1	1	1	1
สี PtCo	574.43	370.84	438.71	662.26	638.31	594.39	929.72
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	221.49	201.18	198.95	209.58	218.11	219.13	219.96
% การลดสี	89.40	93.16	91.91	87.78	88.22	89.04	82.85
% การลดลิกนิน	84.05	85.52	85.68	84.91	84.30	84.22	84.16

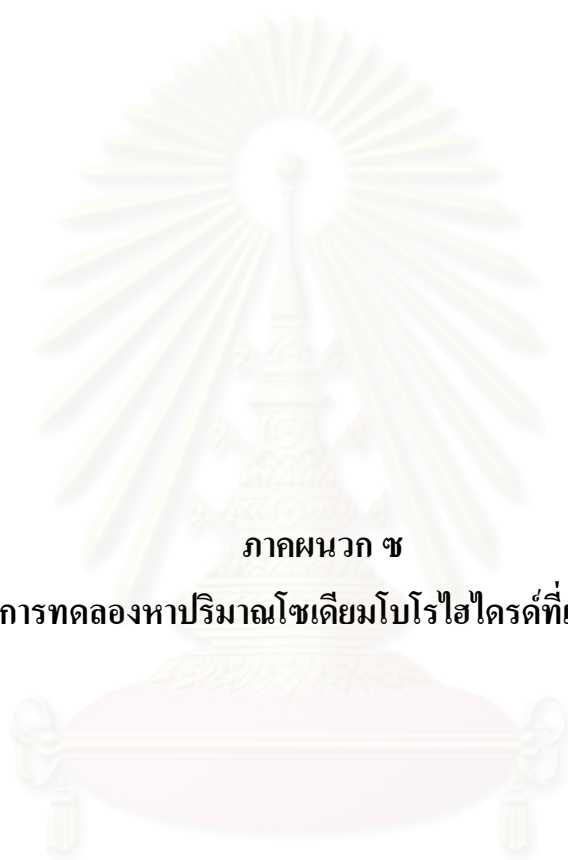
ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง	ชุดควบคุม	1	2	3	4	5	6
พีเอช	7.3	2	4	6	8	10	12
465 นาโนเมตร		0.107	0.106	0.099	0.105	0.096	0.083
280 นาโนเมตร		3.395	3.365	3.347	3.38	3.364	3.322
อัตราเจือจาง		5	5	5	5	5	5
สี PtCo	2990.32	2133.65	2113.69	1973.97	2093.73	1914.09	1654.61
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	1699.66	1069.88	1060.33	1054.60	1065.11	1060.01	1046.64
% การลดสี		28.65	29.32	33.99	29.98	35.99	44.67
% การลดลิกนิน		37.05	37.62	37.95	37.33	37.63	38.42

ตารางที่ ช.10 ผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง	ชุดควบคุม	1	2	3	4	5	6
พีเอช	7.3	2	4	6	8	10	12
465 นาโนเมตร		0.368	0.356	0.357	0.37	0.352	0.343
280 นาโนเมตร	3.731	3.598	3.629	3.622	3.639	3.622	3.652
อัตราเจือจาง	1	1	1	1	1	1	1
สี PtCo	5553.50	1492.83	1444.01	1448.08	1500.97	1427.73	1391.11
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	1,794.47	635.23	809.19	766.15	874.91	766.15	968.38
% การลดสี		73	74	74	73	74	75
% การลดลิกนิน		65	55	57	51	57	46

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข ผลการทดลองหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม น้ำเสีย PH-I

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
NaBH ₄ (โมลต่อลิตร)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
465 นาโนเมตร	0.089	0.042	0.027	0.013	0.016	0.01
280 นาโนเมตร	1.188	1.008	0.891	0.535	0.758	0.517
อัตราเจือจาง	20	20	20	20	20	20
สี PtCo	7097.47	3344.99	2147.39	1029.63	1269.15	790.11
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	1469.18	1239.97	1090.99	637.66	921.63	614.74
% การลดสี	0.00	52.87	69.74	85.49	82.12	88.87
% การลดลิกนิน	0.00	15.60	25.74	56.60	37.27	58.16

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม น้ำเสีย PH-II

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
NaBH ₄ (โมลต่อลิตร)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
465 นาโนเมตร	0.083	0.031	0.023	0.027	0.032	0.033
280 นาโนเมตร	2.049	1.367	1.217	2.519	1.622	1.598
อัตราเจือจาง	5	5	5	5	5	5
สี PtCo	1645.78	607.86	448.18	528.02	627.82	647.78
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	641.39	424.28	376.53	791.01	505.46	497.82
% การลดสี	0.00	63.07	72.77	67.92	61.85	60.64
% การลดลิกนิน	0.00	33.85	41.30	-23.33	21.19	22.38

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม น้ำเสีย SC ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
NaBH ₄ (โมลต่อลิตร)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
465 นาโนเมตร	0.383	0.12	0.074	0.088	0.08	0.048
280 นาโนเมตร	3.593	3.365	3.159	3.198	3.188	3.126
อัตราเงา	1	1	1	1	1	1
สี PtCo	1528.52	478.63	294.99	350.88	318.95	191.20
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	226.58	212.07	198.95	201.43	200.80	196.85
% การลดสี	0.00	68.69	80.70	77.04	79.13	87.49
% การลดลิกนิน	0.00	6.41	12.20	11.10	11.38	13.12

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม น้ำเสีย SC ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
NaBH ₄ (โมลต่อลิตร)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
465 นาโนเมตร	0.073	0.022	0.018	0.074	0.151	0.142
280 นาโนเมตร	0.932	0.471	0.655	3.075	3.435	3.433
อัตราเงา	5	5	5	1	1	1
สี PtCo	1446.18	428.22	348.38	293.23	600.61	564.68
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	285.80	139.04	197.62	193.60	216.52	216.40
% การลดสี	0.00	70.39	75.91	79.72	58.47	60.95
% การลดลิกนิน	0.00	51.35	30.85	32.26	24.24	24.28

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม น้ำเสียสังเคราะห์ ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
NaBH ₄ (โมลต่อลิตร)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
465 นาโนเมตร	0.038	0.016	0.011	0.007	0.003	0.016
280 นาโนเมตร	1.369	1.425	1.467	1.374	1.263	2.281
อัตราเงา	20	20	20	20	20	10
สี PtCo	2990.32	1233.84	834.64	515.28	195.92	616.92
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	1699.66	1770.97	1824.45	1706.03	1564.68	1430.49
% การลดสี	0	58.74	72.09	82.77	93.45	79.37
% การลดลิกนิน	0	-4.20	-7.34	-0.37	7.94	15.84

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองหาปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม น้ำเสียสังเคราะห์ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง	ชุดควบคุม	1	2	3	4	5	6
NaBH ₄ (โมลต่อลิตร)	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
Na ₂ S ₂ O ₅ (โมลต่อลิตร)	0	0.075	0.15	0.225	0.3	0.375	0.45
465 นาโนเมตร	1.234	0.457	0.333	0.323	0.316	0.298	0.31
280 นาโนเมตร	3.713	3.621	3.595	3.609	3.579	3.562	3.55
อัตราเงาจาก สี PtCo	5016.41	1854.96	1350.43	1309.74	1281.26	1208.02	1248.71
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	1,559.19	760.19	620.52	692.20	547.65	479.57	436.68
% การลดสี		63	73	74	74	76	75
% การลดลิกนิน		51	60	56	65	69	72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ฅ

ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฅ ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม

ตารางที่ ฅ.1 ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-I

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนโดยโมล	0	0.5	1	1.5	2	2.5
465 นาโนเมตร	0.038	0.068	0.042	0.042	0.028	0.053
280 นาโนเมตร	1.329	2.423	2.245	2.312	1.712	2.515
อัตราเง็อง	10	10	10	10	10	10
สี PtCo	1495.16	2692.76	1654.84	1654.84	1095.96	2093.96
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	824.36	1520.90	1407.57	1450.23	1068.22	1579.48
% การลดสี	72.42	50.33	69.47	69.47	79.78	61.37
% การลดลิกนิน	94.79	96.38	95.00	95.00	94.26	95.58
ซีโอดี (พีพีเอ็ม)	1143.00	2541.00	2922.00	3684.00	4446.00	5970.00

ตารางที่ ฅ.2 ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย PH-II

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนโดยโมล	0	0.5	1	1.5	2	2.5
465 นาโนเมตร	0.351	0.303	0.307	0.304	0.306	0.304
280 นาโนเมตร	3.52	3.517	3.545	3.503	3.532	3.529
อัตราเง็อง	1	1	1	1	1	1
สี PtCo	1399.01	1207.40	1223.36	1211.39	1219.37	1211.39
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	221.94	221.74	223.53	220.85	222.70	222.51
% การลดสี	16.35	27.81	26.85	27.57	27.09	27.57
% การลดลิกนิน	97.00	94.90	95.07	94.94	95.03	94.94
ซีโอดี (พีพีเอ็ม)	2795	2033	635	3049	1779	445

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฅ.3 ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสีย SC

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนโดยโมล	0	0.5	1	1.5	2	2.5
465 นาโนเมตร	0.208	0.186	0.17	0.088	0.077	0.082
280 นาโนเมตร	3.26	3.318	3.282	3.187	3.208	3.283
อัตราเงื้องาง	1	1	1	1	1	1
สี PtCo	828.16	740.33	676.46	349.12	305.20	325.16
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	205.38	209.07	206.78	200.73	202.07	206.85
% การลดสี	40.64	46.93	51.51	74.98	78.12	76.69
% การลดลิกนิน	34.49	33.31	34.04	35.97	35.54	34.02
ซีโอดี (พีพีเอ็ม)	127	2483	1143	1270	2414	1906

ตารางที่ ฅ.4 ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนโดยโมล	0	0.5	1	1.5	2	2.5
465 นาโนเมตร		0.42	0.331	0.305	0.258	0.233
280 นาโนเมตร		3.59	3.606	3.599	3.582	3.588
อัตราเงื้องาง		1	1	1	1	1
สี PtCo		1674.46	1319.17	1215.38	1027.76	927.96
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)		226.39	227.41	226.96	225.88	226.26
% การลดสี		0.00	21.22	27.42	38.62	44.58
% การลดลิกนิน		0.00	-0.45	-0.25	0.22	0.06
ซีโอดี (พีพีเอ็ม)		3303	3557	6606	6989	6733

ตารางที่ ฅ.5 ผลการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง	ชุดควบคุม	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนโดยโมล	0	0	0.5	1	1.5	2	2.5
465 นาโนเมตร	1.176	0.681	0.310	0.299	0.328	0.375	0.517
280 นาโนเมตร	3.655	3.565	3.539	3.547	3.557	3.615	3.691
สี PtCo	4780.42	2766.37	1256.84	1212.09	1330.08	1521.32	2099.09
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	991.33	490.94	400.74	426.57	461.21	725.40	1313.09
% การลดสี		42	74	75	72	68	56
% การลดลิกนิน		50	60	57	53	27	-32



ภาคผนวก ญ

ผลการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ **100** ถึง **2500** พีพีเอ็ม (อัลคาไลน์ลิคนิน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ญ ผลการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ 100 ถึง 2500 พีพีเอ็ม (อัลคาไลน์ลิทมิ้น)

ตารางที่ ญ.1 สรุปประสิทธิภาพการลดสีและลิทมิ้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 9.8

ตัวอย่าง	อัลคาไลน์ลิทมิ้น (พีพีเอ็ม)	พีเอชก่อน	พีเอช หลัง	%การลดสี	%การลดลิทมิ้น
1	100	9.8	4.8	72.49	-101
2	500	9.8	4.6	79.55	2
3	1000	9.8	4.5	77.02	54
4	1500	9.7	4.5	75.81	71
5	2000	9.7	4.5	76.09	77
6	2500	9.7	4.5	75.44	79

ตารางที่ ญ.2 ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลองที่พีเอช 9.8

อัลคาไลน์ลิทมิ้น (พีพีเอ็ม)	100	500	1000	1500	2000	2500
ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
465 นาโนเมตร	0.064	0.213	0.151	0.115	0	0.189
280 นาโนเมตร	1.621	3.361	2.972	2.404	3	3.327
อัตราเงา	1	2	5	10	10	10
สี PtCo	253.31	1696.23	3003.06	4569.00	6126	7523.08
ลิทมิ้น (พีพีเอ็ม)	101.03	423.62	935.22	1508.80	1917	2096.47
ซีไอดี (พีพีเอ็ม)	207	621	1655	2276	2689	4345

ตารางที่ ญ.3 ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์หลังการทดลองที่พีเอช 9.8

อัลคาไลน์ลิทมิ้น (พีพีเอ็ม)	100	500	1000	1500	2000	2500
ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
465 นาโนเมตร	0.018	0.044	0.087	0.139	0	0.232
280 นาโนเมตร	3.222	3.304	3.398	3.485	4	3.558
อัตราเงา	1	2	2	2	2	2
สี PtCo	69.68	346.94	690.25	1105.42	1465	1847.93
ลิทมิ้น (พีพีเอ็ม)	202.96	416.37	428.33	439.41	446	448.71
ซีไอดี (พีพีเอ็ม)	8482	7861	7448	6827	6206	4965

ตารางที่ ๔.4 สรุปประสิทธิภาพการลดสีและลิกนินของน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 4

ตัวอย่าง	อัลคาไลน์ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	พีเอช ก่อน	พีเอช หลัง	พีเอช หลัง	%การลดสี	%การลดลิกนิน	%การลดซีไอดี
1	100	8.43	3.77	4.75	54	-1.19	-103
2	500	8.98	3.89	4.55	61	3.44	-133
3	1000	9.13	3.91	4.68	60	-10.68	33
4	1500	9.32	3.83	4.75	67	-13.10	60
5	2000	9.31	4.07	4.63	62	-16.94	41
6	2500	-	3.67	4.67	59	2.55	40

ตารางที่ ๕.5 ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลองที่พีเอช 4

อัลคาไลน์ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	100	500	1000	1500	2000	2500
ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
465 นาโนเมตร	0.132	0.306	0.137	0.198	0	0.275
280 นาโนเมตร	3.215	3.554	3.247	3.438	4	3.488
อัตราเงา	1	1	4	4	4	5
สี PtCo	524.76	1219.37	2178.90	3152.94	4367	5478.10
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	202.52	224.10	818.21	866.86	892	1099.49
ซีไอดี (พีพีเอ็ม)	1280	960	1440	2400	1920	1600

ตารางที่ ๕.6 ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์หลังการทดลองที่พีเอช 4

อัลคาไลน์ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	100	500	1000	1500	2000	2500
ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
465 นาโนเมตร	0.061	0.12	0.044	0.053	0	0.114
280 นาโนเมตร	3.253	3.433	2.879	3.114	3	3.4
อัตราเงา	1	1	5	5	5	5
สี PtCo	241.33	476.86	867.34	1046.98	1666	2264.54
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	204.94	216.40	905.62	980.43	1043	1071.47
ซีไอดี (พีพีเอ็ม)	2600	2240	960	960	1120	960

ตารางที่ ๗.7 สรุปประสิทธิภาพการลดสีและลิกนินของน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 7

ตัวอย่าง	อัลคาไลน์ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	พีเอชก่อน	พีเอชหลัง	พีเอชหลัง	%การลดสี	%การลดลิกนิน
1	100	8.68	7.15	2.14	63	0.97
2	500	8.95	7.15	4.03	65	4.83
3	1000	7.5	7.02	5.97	61	72.88
4	1500	9.03	7.14	8.27	57	-17.40
5	2000	9.01	7.05	10.7	64	-16.65
6	2500	10.02	6.99	11.87	62	3.50

ตารางที่ ๗.8 ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลองที่พีเอช 7

อัลคาไลน์ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	100	500	1000	1500	2000	2500
ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
465 นาโนเมตร	0.132	0.306	0.137	0.198	0	0.275
280 นาโนเมตร	3.215	3.554	3.247	3.438	4	3.488
อัตราเงา	1	1	4	4	4	5
สี PtCo	524.76	1219.37	2178.90	3152.94	4367	5478.10
ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	202.52	224.10	818.21	866.86	892	1099.49
ซีโอดี (พีพีเอ็ม)	1280	960	1440	2400	1920	1600

พีเอชหลังทดลองในตาราง ๗.7 มีความแตกต่างกันมากอาจเกิดขึ้นเนื่องจาก น้ำตัวอย่างมีสารบัฟเฟอร์อยู่ การใส่โซเดียมโบโรไฮไดรด์และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนจำนวนไฮดรอกไซด์ไอออนในน้ำตัวอย่างจึงก่อให้เกิดการเปลี่ยนพีเอชเป็นช่วงกว้าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๙.9 ผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์หลังการทดลองที่พีเอช 7

อัลคาไลน์ลิทมิ้น (พีพีเอ็ม)	100	500	1000	1500	2000	2500
ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
465 นาโนเมตร	0.049	0.108	0.214	0.068	0	0.105
280 นาโนเมตร	3.184	3.384	3.52	3.231	3	3.367
อัตราเงอจาง	1	1	1	5	5	5
สี PtCo	193.43	428.96	852.11	1346.38	1586	2084.90
ลิทมิ้น (พีพีเอ็ม)	200.54	213.28	221.94	1017.67	1041	1060.97
ซีโอดี (พีพีเอ็ม)	1440	1280	1600	1920	2560	3040

ตารางที่ ๙.10 ผลการทดลองหาซีโอดีของน้ำกลั่นผสมสารเคมี

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
ซีโอดี (พีพีเอ็ม)	1440	160	640	1280	160	1440
NaBH ₄ (โมล/ลิตร)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.1	0.06
NaBH ₄ (กรัม)	0.756	1.513	2.269	3.026	3.8	4.539
Na ₂ S ₂ O ₅ (โมล/ลิตร)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.1	0.06
Na ₂ S ₂ O ₅ (กรัม)	3.802	7.604	11.406	15.208	19.0	22.812

ตารางที่ ๙.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดสี การลดลิทมิ้น และปริมาณอัลคาไลน์ลิทมิ้นครั้งที่ 1

อัลคาไลน์ลิทมิ้น (พีพีเอ็ม)	100	200	300	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
สี PtCo ก่อน	356	719	1081	1696	3003	4569	6126	7523	10861	12672
ลิทมิ้นก่อน (พีพีเอ็ม)	101	203	304	424	935	1509	1917	2096	3041	3547
สี PtCo หลัง	70	130	205	347	690	1105	1465	1848	2892	2852
ลิทมิ้นหลัง (พีพีเอ็ม)	200	204	211	416	428	439	446	449	2091	2091
%การลดสี	80	82	81	80	77	76	76	75	73	77
%การลดลิทมิ้น	0	0	0	2	54	71	77	79	31	41

ตารางที่ ๑๒. ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดสี การลดลิกนินและปริมาณอัลคาไลน์ลิกนินครั้งที่ 2

อัลคาไลน์ลิกนิน (พีพีเอ็ม)	100	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
สี PtCo ก่อน	211	1680	2600	3841	5444	6668	8121	9378	10432
ลิกนินก่อน (พีพีเอ็ม)	104	743	681	855	1214	1023	1177	4042	3274
สี PtCo หลัง	69	309	622	952	1265	1586	1961	2307	2457
ลิกนินหลัง (พีพีเอ็ม)	209	128	247	368	427	468	514	1039	621
%การลดสี	67	82	76	75	77	76	76	75	76
%การลดลิกนิน	-100	83	64	57	65	54	56	74	81



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายโชคเอื้อ ศรีสุชาติ เกิดเมื่อวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2523 ที่โรงพยาบาลราชวิถี จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสิ่งแวดล้อม จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2544 มีประสบการณ์ทำงาน 2 ปี ที่บริษัท ฟินิกซ์ พลัส แอนด์ เพเพอร์ จำกัด ที่อำเภอป่าพอง จังหวัด ขอนแก่น ทำงานในตำแหน่งวิศวกร มีหน้าที่เป็นผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตในสาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีพ.ศ. 2548



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย