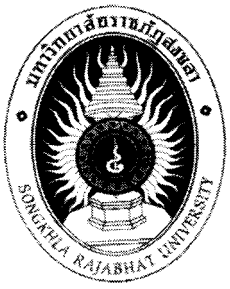


รายงานการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

The Feasibility Study of Patae Dye Removal Using a Commercial Rubber Wood Charcoal

ซูนีตา อูเซ็ง

สุวภัทร แคยิหวา

หะหมะ มะหมัะ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

2561

ใบรับรองงานวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่องงานวิจัย การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

The Feasibility Study of Patae Dye Removal Using a Commercial Rubber Wood Charcoal.

ชื่อผู้ทำงานวิจัย ซูนีตา อูเซ็ง, สุวภัทร แคยิหวา และหะหมะ มะหมัะ

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัย

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์หิญ์ญวดี สุวิบูรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร)

.....ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญกมล ขุนพิทักษ์)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์ ดร. สายสิริ ไชยชนะ)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์นัดดา โปดำ)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์หิญ์ญวดี สุวิบูรณ์)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร)

.....ประธานหลักสูตร
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญกมล ขุนพิทักษ์)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุมัติ เดชนะ)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ชื่อเรื่อง	การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์
ชื่อผู้ทำงานวิจัย	นางสาวซูนีตา อูเซ็ง รหัสนักศึกษา 544291009
	นางสาวสุวภัทร แคยิหวา รหัสนักศึกษา 544291026
	นายหะหมะ หมะมั๊ะ รหัสนักศึกษา 544291043
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต	สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สถาบัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ กำหนดเข้มข้นสีย้อม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และใช้อัตราเร็วเขย่า 100 รอบต่อนาที โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลกับการดูดซับ ได้แก่ ปริมาณถ่านไม้ยางพารา (1, 3, 5, 7 และ 9 กรัม) ระยะเวลาเขย่า (30, 60, 90 และ 120 นาที) และ pH (3, 4, 5, 6, 7 และ 8) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ มีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมสูงสุดร้อยละ 81.84±2.73 ที่สภาวะ คือ ใช้ถ่านไม้ยางพาราปริมาณ 7 กรัม ระยะเวลาเขย่า 60 นาที และที่ pH 5 นอกจากนี้เมื่อนำน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าปาเต๊ะมากำจัดสีย้อมดังกล่าว สามารถกำจัดสีย้อม (สีดำ) ได้ร้อยละ 95.66±5.01 เนื่องจากน้ำทิ้งมีความเข้นของสีย้อมต่ำ

คำสำคัญ: สีย้อมผ้าปาเต๊ะ ถ่านไม้ยางพารา และการดูดซับ

เลข Bib# 11423410
วันที่ - 6 ม.ค. 2563
เวฬุเรียกหนังสือ

Title	The Feasibility Study of Patae Dye Removal Using a Commercial Rubber Wood Charcoal.	
Authors	Miss Sunita Useng	Student Code 544291009
	Miss Suwaphat Kaeyiwa	Student Code 544291026
	Mr. Hamak Mamak	Student Code 544291043
Main Advisor	Miss Hirunwadee Suviboon	
Co-advisor	Mr. Kamonnawin Inthanuchit	
Institution	Songkhla Rajabhat University	
Academic year	2018	

Abstract

The objective of this research was feasibility study the using of commercial rubber wood charcoal to remove dyes in Patae wastewater from black reactive dyes by determined solution concentration 50 mg/L, volume 50 mL and agitation rate 100 rounds per minute. Dyes adsorption influencing factors were the applied rate of rubber wood charcoal (1, 3, 5, 7 and 9 g), agitation time (30, 60, 90 and 120 minute) and pH values (3, 4, 5, 6, 7 and 8). The result showed dyes were removed by commercial rubber wood charcoal in average highest dyes removal 81.84±2.73 %. Under the optimal condition 7 g of adsorbent, 60 min of agitation time and pH 5. In addition test, textile wastewater from Patae factory using rubber wood charcoal can remove dyes solution (black color) at 95.66±5.01% because wastewater have low concentration of the dyes.

key word; Patae Dye, Rubber Wood Charcoal, and Adsorption

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดีนั้น โดยการชี้แนะแนวทางการศึกษา การทดลองในห้องปฏิบัติการ ปรับแก้ไขข้อบกพร่องตลอดการวิจัยโดยอาจารย์ที่ปรึกษาหลักอาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมอาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร รวมทั้งขอขอบคุณอาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และปรับแก้ไขเล่มวิจัยจนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณวรรณฤดี หมื่นผล เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และคุณสุไวดา สัสดี เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ โปรแกรมวิชาชีววิทยาและชีววิทยาประยุกต์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์สำหรับการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณไบซูรา ยูโซะ เจ้าของโรงงานชาโลมาปาเต๊ะ ให้ความอนุเคราะห์สีย้อมผ้าปาเต๊ะชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ รวมถึงให้สัมภาษณ์เกี่ยวกับข้อมูลขั้นตอน และกระบวนการผลิตผ้าปาเต๊ะ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องและมีส่วนช่วยเหลืองานวิจัยในครั้งนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอกราบขอบคุณคุณพ่อคุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่อุปถัมภ์กำลังทรัพย์ และคอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์ใด ๆ ที่พึงได้จากงานวิจัยเล่มนี้ ขอมอบเป็นรางวัลแห่งความภูมิใจแด่ คุณพ่อ คุณแม่ รวมทั้งทุกท่านที่ให้การสนับสนุน

ซูนีตา อูเซ็ง

สุวภัทร แคยิหวา

หะหมะ หมัดมัด

8 กรกฎาคม 2562

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ตัวแปร	2
1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 สมมุติฐาน	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ผ้าปาเต๊ะ	4
2.2 ไม้ยางพารา	12
2.3 การเผาถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์	15
2.4 การดูดซับ	16
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการงานวิจัย	
3.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย	22
3.2 ขอบเขตการวิจัย	23
3.3 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี	23
3.4 การเก็บและเตรียมตัวอย่าง	24
3.5 วิธีการวิเคราะห์	25

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผลการวิจัย	
4.1 ลักษณะของตัวดูดซับถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์	28
4.2 ผลของปริมาณถ่านไม้ยางเชิงพาณิชย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ	28
4.3 ผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ	30
4.4 ผลของระดับความเป็นกรดด่างต่อประสิทธิในภาพการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ	34
4.5 ผลการประยุกต์ใช้งานถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ในการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตผ้าปาเต๊ะ	38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
บรรณานุกรม	42
ภาคพนวก	
ภาคผนวก ก โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง	ผก-1
ภาคผนวก ข ภาพประกอบการวิจัย	ผข-1
ภาคผนวก ค ผลการศึกษา	ผค-1
ภาคผนวก ง สถิติแบบ One-Way ANOVA และ independent samples t-test	ผง-1
ภาคผนวก จ ประวัติผู้วิจัย	ผจ-1

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1-1	เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดสี	12
2.5-1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
4.3-1	ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 7 และ 9 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะที่ระยะเวลาเขย่าต่าง ๆ	33
4.4-1	ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 7 และ 9 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะที่ pH ต่าง ๆ	37
4.5-1	ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ น้ำเสียสังเคราะห์กับน้ำทิ้งจากโรงงาน	38

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1-1	การเตรียมผ้าขาว	5
2.1-2	การพิมพ์ลาย	5
2.1-3	การแต้มสี	6
2.1-4	การลงน้ำยากันสีตก	6
2.1-5	การลอกเทียน	7
2.1-6	การลอกผ้า	7
2.1-7	การตากผ้า	8
2.1-8	ปริมาตรน้ำที่ใช้ในโรงงานซาโลมาปาเต๊ะ	11
2.2-1	ลักษณะโครงสร้างของไม้ยางพารา	13
2.2-2	คุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพารา	14
2.4-1	การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการดูดซับของถ่าน	17
2.4-2	สภาวะสมดุล	18
3.1-1	กรอบแนวคิดในการวิจัย	22
4.1-1	ลักษณะของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการทดสอบ	28
4.2-1	ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์	30
4.2-2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสีย้อมกับปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์	30
4.3-1	ประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 7 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ที่ระยะเวลาเขย่าต่าง ๆ	31
4.3-2	ประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 9 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ที่ระยะเวลาเขย่าต่าง ๆ	32
4.3-3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสีย้อมกับระยะเวลาเขย่าต่าง ๆ ของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.4-1	ประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 7 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะที่ pH ต่าง ๆ	35
4.4-2	ประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 9 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะที่ pH ต่าง ๆ	36
4.4-3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสีย้อมกับค่า pH ต่าง ๆ ของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์	37
4.5-1	การเปรียบเทียบสีย้อมในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าปาเต๊ะ ก่อนการดูดซับและหลังการดูดซับด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์	39

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ผ้าปาเต๊ะ หรือโสร่งปาเต๊ะ เป็นผ้าพื้นเมืองชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย บรูไนดารุสซาลาม รวมถึงในประเทศไทยโดยเฉพาะจังหวัดทางภาคใต้ เช่น ยะลา ปัตตานี สงขลา และนราธิวาส มีลวดลาย สีสัน ที่สะท้อนถึงวิถีชีวิต และวัฒนธรรม สามารถบอกเล่าเรื่องราวถิ่นที่มาได้อย่างดี (พิเชษฐ์ หนูหมื่น, 2557)

การผลิตผ้าปาเต๊ะในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือนขนาดเล็ก สำหรับจังหวัดนราธิวาสมีการจัดตั้งกลุ่มผลิตผ้าปาเต๊ะทั้งหมด 19 กลุ่ม ส่วนใหญ่จะรวมกลุ่มกันภายในชุมชน กระบวนการผลิตใช้เทียนปิดส่วนที่ไม่ต้องการให้ติดสี และใช้วิธีการแต้มหรือย้อมในส่วนที่ต้องการให้ติดสี ซึ่งจะมีการลอกเทียนและการล้างสีออกจากผ้าทุกครั้ง จึงมีน้ำสีส่วนเกินจากการย้อมผสมกับเทียนปนเปื้อนออกมากับน้ำทิ้งเฉลี่ยปริมาณ 4,396 ลิตรต่อวัน (จากการสัมภาษณ์คุณไบซูรา ยูโซ๊ะ เจ้าของโรงงานย้อมผ้าซาโลมาปาเต๊ะ, 2561) น้ำทิ้งเหล่านี้ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรงไม่ได้มีการบำบัด น้ำทิ้งเหล่านี้มีสีเข้มโดยเฉพาะสีดำ และมีค่าพีเอชเป็นด่างอ่อน ซึ่งสีย้อมเป็นสารเคมีสังเคราะห์อาจทำให้เกิดการระคายเคือง เนื่องจากในโครงสร้างของสีส่วนใหญ่มีวงแหวนแอโรมาติกอยู่ในโมเลกุล (รวินิภา ศรีมูล, 2559) รวมทั้งสีย้อมยังไปขัดขวางการกระจายของแสงในน้ำทำให้พืชไม่สามารถสังเคราะห์แสงส่งผลกระทบให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศน์ได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าสีย้อมจะจัดได้ว่ามีความเป็นพิษในระดับที่ต่ำแต่ยังไม่พบว่ามีอัตราการตายหรือเจ็บป่วยของผู้ที่ทำงานในโรงงานผลิตผ้าปาเต๊ะสูงกว่าบุคคลอาชีพอื่น (นิสาพร มูหะมัด และคณะ, 2559) แต่สีย้อมละลายน้ำได้ดี ย่อยสลายยากทางชีวภาพ ทนทานต่อแสงและความเป็นกรดด่าง ทำให้ยากต่อการบำบัด (รวินิภา ศรีมูล, 2559) ส่วนวิธีการกำจัดสีย้อมที่นิยมในอุตสาหกรรมย้อมผ้า หรือผลิตผ้ามีหลายวิธีอาทิเช่น การกรองผ่านเยื่อกรองออสโมซิสย้อนกลับ การใช้โอโซน และการใช้วัสดุธรรมชาติหรือถ่านเป็นวัสดุดูดซับ เป็นต้น โดยการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในกลุ่มของสีย้อมที่มีความสามารถในการละลายสูง (พัชรรินทร์ ฤชุวรารักษ์ และพันธุ์ทิพย์ ตาทอง, 2557) ทั้งยังสามารถกำจัดไอออนของสารที่ปนเปื้อนมาพร้อมกับสีย้อมได้อีกด้วย สำหรับวัสดุที่นิยมนำมาทำเป็นวัสดุดูดซับมีหลากหลายชนิด โดยวัสดุที่นิยมนำมาผลิตเป็นตัวดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นส่วนประกอบของพืช อาทิเช่น เศษวัสดุทางเกษตร (กากถั่วเหลือง ฟางข้าว และขี้เลื่อย เป็นต้น) ดินเหนียว ถ่านจากวัสดุอินทรีย์ (ถ่านกะลามะพร้าว) และถ่านกัมมันต์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบของลิกนิน โฮโมเซลลูโลส และเซลลูโลส

ซึ่งมีองค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชั่นนอลจำนวนมากมาก เมื่อนำไปดูดซับที่รูปของสารละลายจะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับสารละลาย ทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับดี รวมทั้งเซลลูโลสมีลักษณะที่เป็นรูพรุนที่เกิดจากท่อลำเลียวต่างๆ เมื่อนำมาเผาจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่สามารถเกิดการดูดซับเพิ่มขึ้น (อรทัย วิเศษรัตน์, 2554) จึงมีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้วัสดุธรรมชาติมาเป็นตัวดูดซับในการกำจัดสีย้อม เช่น จากการศึกษาของอคปภา สุขอัจจะสกุล (2555) พบว่าผักตบชวาอบแห้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าสูงสุดเฉลี่ย ร้อยละ 76.21 ที่ความเข้มข้นของสีย้อม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 4 ระยะเวลาเขย่า 30 นาที ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที และการศึกษาของบุษยา มากงลาด (2555) พบว่าถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูง โดยเฉลี่ยร้อยละ 93.04 ที่ความเข้มข้นของสีย้อม 40 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 ระยะเวลาเขย่า 15 นาที ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

ไม้ยางพารามีปริมาณเซลลูโลสสูงถึงร้อยละ 50.63 (กัญติยา สดใส, 2555) เมื่อนำมาเผาจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ซึ่งหาได้ง่ายในท้องถิ่นมากำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ เพื่อใช้เป็นแนวทางให้กับผู้ประกอบการในท้องถิ่นโดยการนำผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ไปใช้ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

1.3 ตัวแปร

ตัวแปรต้น : ปริมาณถ่าน, pH, ระยะเวลาเขย่า

ตัวแปรตาม : ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

ตัวแปรควบคุม : ความเร็วรอบในการเขย่า และความเข้มของสีย้อม

1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 สีย้อมผ้า หมายถึง การนำสีย้อมผ้าปาเต๊ะแบบผงมาทำละลายกับน้ำกลั่น โดยการศึกษานี้ใช้สีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อนำไปใช้ในการทดลอง

1.4.2 สีรีแอกทีฟ หมายถึง เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ อยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลส มีโมเลกุลค่อนข้างเล็กจึงแทรกซึมเข้าสู่เส้นใยได้ดี และคงทนต่อแสงและการซักได้ดี (บุษยา มากงลาด, 2555)

1.4.3 ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ หมายถึง ถ่านที่ได้จากการนำไม้ยางพารามาผ่านกระบวนการเผาจนกลายเป็นถ่าน และมีวางจำหน่ายตามท้องตลาด

1.4.4 ผ้าปาเต๊ะ หมายถึง ผ้าชนิดหนึ่งที่มีวิธีการทำโดยใช้เทียนปิดส่วนที่ไม่ต้องการให้ติดสี ลักษณะคล้ายผ้าบาติก แต่ต่างกันที่ลวดลายของผ้า หากเป็นลวดลาบที่ซับซ้อน วิจิตรสวยงาม ตั้งแต่สองลายขึ้นไปบนผ้าผืนเดียว

1.5 สมมุติฐาน

ผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ มากกว่าร้อยละ 70

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

1.6.2 ทราบถึงระยะเวลาแช่และค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์กำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

1.6.3 สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุจากธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายตัวด้วยความร้อนจนได้ถ่านไม้ยางพารามาใช้กำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ

1.6.4 สามารถใช้เป็นทางเลือกให้กับผู้ประกอบการในท้องถิ่นใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ใช้ในบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าปาเต๊ะ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ถ่านไม้ยางพาราซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ดูดซับสีย้อมจากน้ำเสียสังเคราะห์ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ที่นิยมใช้ในการผลิตผ้าปาเต๊ะ เนื่องจากผู้วิจัยเห็นว่าอุตสาหกรรมผลิตผ้าปาเต๊ะส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมชุมชนขนาดย่อม น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีการปนเปื้อนเทียน และสีย้อม ส่วนใหญ่จะไม่ได้บำบัดและปล่อยน้ำทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรง ซึ่งในระยะยาวอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ การศึกษาวัสดุดูดซับสีย้อมที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นจึงเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อลดผลกระทบดังกล่าว สำหรับเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

2.1 ผ้าปาเต๊ะ

ผ้าปาเต๊ะ เป็นคำที่ใช้เรียกผ้าชนิดหนึ่งที่มีการทำโดยใช้เทียนปิดส่วนที่ไม่ต้องการให้ติดสี และใช้วิธีการแต้ม ระบายสี หรือย้อมในส่วนที่ต้องการให้ติดสี ผ้าปาเต๊ะบางชิ้นอาจจะผ่านขั้นตอนการปิดเทียน แต้มสี ระบายสีและย้อมสีนับเป็นสิบ ๆ ครั้ง ส่วนผ้าปาเต๊ะอย่างง่ายอาจทำโดยการเขียนเทียนหรือพิมพ์เทียน แล้วจึงนำไปย้อมสีที่ต้องการ ผ้าชนิดนี้นิยมใช้กันในพื้นที่จังหวัดทางภาคใต้ ได้แก่ นราธิวาส ปัตตานี ยะลา และภูเก็ต เป็นต้น

2.1.1 กระบวนการทำผ้าปาเต๊ะ

สำหรับกระบวนการผลิตผ้าปาเต๊ะ ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การเตรียมผ้า การพิมพ์ลาย การแต้มหรือระบายสี การลงน้ำยากันสีตก การลวกเทียน การล้างผ้า และการตากผ้า ซึ่งมีรายระเอียดดังนี้

1) การเตรียมผ้า ซึ่งผ้าที่ใช้ในการทำผ้าปาเต๊ะเป็นผ้าที่ทำจากธรรมชาติและต้องไม่หนาเกินไป เพราะน้ำเทียนจะไม่สามารถซึมผ่านอีกด้านหนึ่งได้ และก่อนนำไปเขียนเทียนควรนำไปต้มด้วยน้ำด่างโซดาอ่อน เพื่อช่วยขจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนผิวผ้า โดยใช้ โซดาแอซ หรือผงซักฟอก และสบู่เทียม (wetting agent) (**ภาพที่ 2.1-1**)

ภาพที่ 2.1-1 การเตรียมผ้าขาว

2) การพิมพ์ลาย เป็นการปิดส่วนที่ไม่ต้องการให้สีติดแล้วนำไปลงสีในส่วนที่ต้องการให้ติดสี ซึ่งจัดเป็นหัวใจในการทำผ้าปาเต๊ะ การเขียนเทียนด้วยชันตี้งจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด จะทำให้ได้ลายขนาดเล็ก และสามารถเขียนรายละเอียดได้มาก ส่วนการร่างภาพบนผ้าถ้าหากมีแบบอยู่แล้วก็สามารถสอดไว้ใต้ผ้า แล้วเขียนเส้นร่างตามที่มองเห็นจากด้านบนได้เลย ส่วนการพิมพ์ลายจะแกะลวดลายที่ต้องการลงบนผ้าขาว จัดว่าเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายผลิตได้รวดเร็ว แต่ลายที่พิมพ์เป็นลายซ้ำ จะมีลวดลายไม่ซับซ้อนมากนัก (**ภาพที่** 2.1-2)

ภาพที่ 2.1-2 การพิมพ์ลาย

3) การแต้มสี หรือระบายสี จะใช้สีผงที่เป็นสีสำเร็จรูปสำหรับผ้าปาเต๊ะโดยเฉพาะ เป็นสีรีแอกทีฟซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดีวิธีใช้จะนำสีผสมกับน้ำต้มสุกละลายให้เข้ากันแล้ว นำไประบายบนผ้าที่เตรียมไว้ตามต้องการ (**ภาพที่ 2.1-3**)

ภาพที่ 2.1-3 การแต้มสี

4) การลงน้ำยากันสีตก เป็นการทำให้สีติดบนผืนผ้าอย่างถาวร โดยใส่น้ำยากันสีตก (โซเดียมซิลิเกต) ทาด้วยพู่กันให้ทั่วทั้งผืนผ้ามัสลิน ผึ่งให้โซเดียมซิลิเกตแห้งหรือประมาณ 3-6 ชั่วโมง (**ภาพที่ 2.1-4**)

ภาพที่ 2.1-4 การลงน้ำยากันสีตก

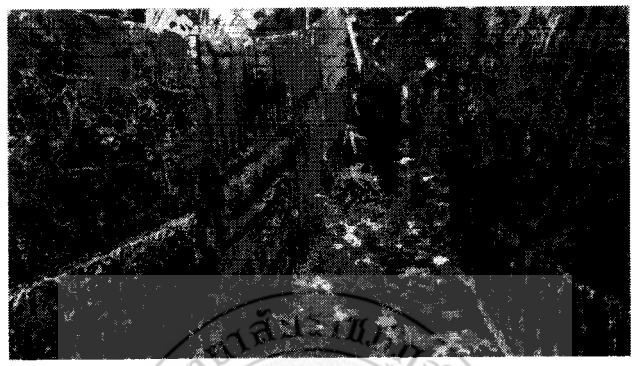
5) การลอกเทียนออกจากผ้า การต้มผ้าเป็นการลอกเอาเส้นเทียนออกจากตัวผ้า โดยต้มในน้ำเดือดใสผงซักผ้าหรือสบู่เหลว โดยจุ่มผ้าลงไปในน้ำเดือดให้จมทั้งผืน แล้วค่อยๆ ยกขึ้นมา ห้ามแช่ไว้นานจะทำให้ผ้าเสียได้ หากมีชิ้นงานเป็นจำนวนมากควรใช้ถังต้ม 2 ใบ โดยถังต้มใบแรกเป็นน้ำเพื่อเอาเทียนออกก่อน แล้วถังต้มใบที่ 2 ใช้น้ำผสมผงซักฟอกเพื่อกำจัดไขมันของเทียนออก หลังจากต้มผ้าเพื่อเอาเทียนออกแล้วจะมีเศษเทียนออกอยู่บ้าง ควรทำการขยี้ผ้าเบาๆ ในน้ำผงซักฟอกเพื่อให้เทียนหลุดออก แช่น้ำเปล่าทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปตากเพื่อให้สีส่วนเกินหลุดออกให้หมด (**ภาพที่ 2.1-5**)

ภาพที่ 2.1-5 การลอกเทียน

6) การล้างผ้า เมื่อได้ผ้าที่แห้งที่ผ่านการล้างเทียนออกแล้วจะทำการล้างผ้าอีกครั้งเพื่อกำจัดสีตกค้างจากการย้อมผ้า โดยซักผ้าปาเต๊ะด้วยความนุ่มนวลและไม่ควรขยี้หรือบิดผ้าแรงๆ เพราะจะทำให้ผ้าเสียทรง หลังจากซักผ้าเสร็จควรสลัดผ้าให้คลายตัวและไม่ย่น จะทำให้รีดผ้าได้ง่ายขึ้น (**ภาพที่ 2.1-6**)

ภาพที่ 2.1-6 การล้างผ้า

7) การตากผ้าและรีดผ้า เมื่อล้างผ้าแล้วจะนำผ้ามาตากให้แห้งโดยบิดน้ำออกพอหมาด แล้วนำไปตาก โดยกางออกทั้งผืน ไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งวางซ้อนกัน การตากควรตากไว้ในที่ร่มหรือผึ่งแดด เมื่อแห้งแล้วให้รีบเก็บอย่าปล่อยทิ้งไว้นานทำให้สีซีด และรีดให้เรียบร้อย (**ภาพที่ 2.1-7**)



ภาพที่ 2.1-7 การตากผ้า

2.1.2 สีย้อมที่นิยมใช้ในกระบวนการย้อมผ้า

สีย้อม (dyestuffs) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมเส้นใยผ้า อาจจะเป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้และบางชนิดไม่สามารถละลายน้ำได้แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใย โดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก (ionic bond) หรือพันธะโควาเลนท์ (covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง ซึ่งสีย้อมที่ปรากฏนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโมเลกุลในสีย้อมนั้นมีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปคตรัมต่างกัน พลังงานที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วงประมาณ 400-700 นาโนเมตร สีย้อมมีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถดูดกลืนพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน ซึ่งสายตาสามารถรับภาพได้ทำให้โมเลกุลสีย้อมต่างกัน แสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาออกมาแตกต่างกันไป การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้โดยพิจารณาจากความคงทนต่อการซัก แสง และความร้อน ซึ่งสีย้อมแต่ละประเภทจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติ ตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการเลือกใช้สีย้อมจึงมีความสำคัญอย่างมากในการย้อมสี เพราะวัตถุที่ต้องการย้อมอาจสามารถย้อมด้วยสีย้อมเพียงชนิดเดียวหรือย้อมด้วยสีย้อมหลายชนิดที่ต่างชนิดกันได้ ซึ่งกลุ่มโรงงานได้จำแนกสีย้อมออกตามวิธีใช้ออกเป็น 11 ประเภท คือ

1) สีแอซิค (acid dye) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนใน

น้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีแอซิคบางตัวสามารถนำไปย้อมเส้นใยเซลโลโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน ใยขนแกะ ไหม และอะคลีลิก ได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีแอซิคไม่ทนต่อการซัก และไม่ทนเหงื่อ

2) สีไดเร็กท์ (direct dye) หรืออาจเรียกว่าสีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสารมารถละลายน้ำได้ดี มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลเส้นใยและยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ สีตกง่าย และทนแสง

3) สีเบสิก (basic cationic) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (Organic base) ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ดี นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอน และใยอะคริลิกได้ดี ในขณะย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติ เพราะจะไม่ทนต่อการซักและแสง

4) สีดิสเพอร์ส (disperse dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเทอร์ ไนลอน และอะคลิลิก ได้ดี การย้อมจะใช้สารพาเพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักพอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดเมื่อถูกควันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนตรัสออกไซด์ สีดิสเพร์สแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาเคมีในตัวย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (azo dye) และสีย้อมแอมมิโนแอนตราคิวโนน (amino antraquinnone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทาโนลามีน (ethanolamine; $NH_2CH_2CH_2CH$) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

5) สีรีแอกทีฟ (reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH^-) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสภาวะที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอกทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิปกติ สีรีแอกทีฟให้สีสดใส และสีติดทนในทุกสภาวะ

6) สีอะโซอิค (azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็นสี (coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพแนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิคใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตท สีอะโซอิคเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขัดถู

7) สีแว็ต (vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแว็ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์สีแว็ตจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็น

เกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศ สีในเส้นใยจะถูกออกซิไดซ์เป็นสีแว็ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่อยู่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (indigoid) และสีแอนทราควินอยด์ (antraquinoid)

8) สีมอร์แดนท์ หรือโครม (mordant or chrome dye) สีย้อมชนิดนี้ต้องใช้สารช่วยติดเข้าไปช่วยเพื่อให้เกิดการติดสีบนเส้นใย สารที่ช่วยติดที่ใช้ คือ สารประกอบออกไซด์ของโลหะ เช่น โครเมียม ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น สีมอร์แดท์ เป็นสีที่มีโมเลกุลใหญ่ซึ่งเกิดจากสีมอร์แดนท์หลายโมเลกุลจับกับโลหะแล้วละลายน้ำได้จึงทำให้ย้อมได้ง่าย ซึ่งใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยพอลีเอไมด์ได้ดี

9) สีอินเกรน (ingrain dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำ สีย้อมชนิดนี้ใช้สำหรับย้อมฝ้าย

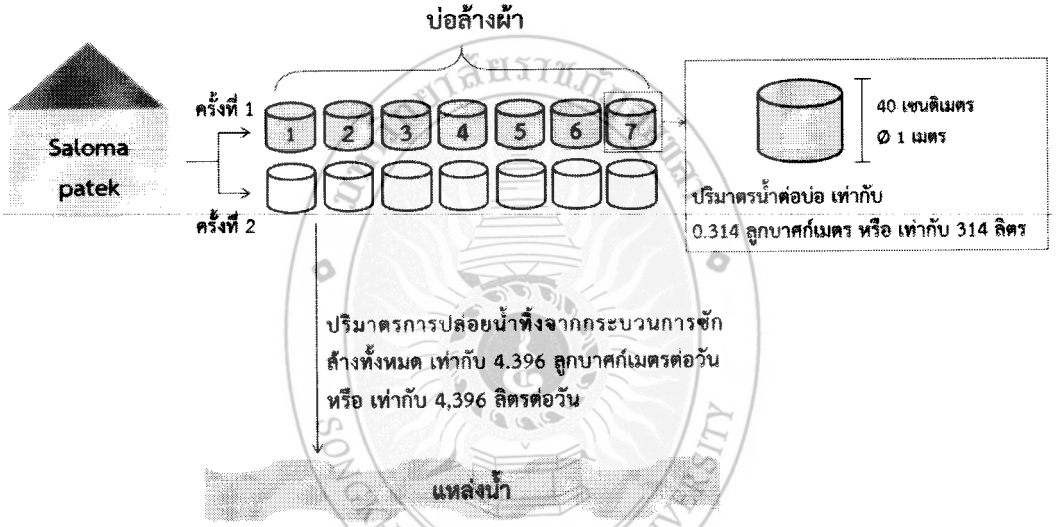
10) สีออกซิเดชัน (oxidation) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำ โดยสีจะติดแน่น อาศัยปฏิกิริยาการตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย ใช้สำหรับย้อมฝ้ายและขนสัตว์

11) สีซัลเฟอร์ (sulfur dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์สีเพื่อให้โมเลกุลอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ แต่ซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ นิยมนำสีซัลเฟอร์มาย้อมฝ้าย สีจะติดทนและยังเป็นสีที่มีราคาถูก แต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก

สำหรับสีที่ใช้ในการทำย้อมผ้ามีอยู่หลายชนิด ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและการใช้งานกับผ้าชนิดต่าง ๆ การเลือกใช้สีย้อมควรเลือกใช้สีที่ติดในสภาพที่เย็น เนื่องจากการย้อมสีผ้าปาเต๊ะไม่ใช้ความร้อนเพราะมีการพิมพ์ลายเทียนจะทำให้เทียนละลายหลุดออก จนทำให้ไม่สามารถกั้นสีได้ อีกทั้งเทียนที่ใช้ในการเขียนไม่ทนต่อสารเคมีที่มีความเข้มข้น สารเคมีเหล่านี้อาจทำปฏิกิริยากับเทียนทำให้เทียนหลุดออกจากผ้าได้ และขั้นตอนสุดท้ายของการทำผ้าปาเต๊ะต้องมีการต้มละลายเทียนในน้ำร้อน เพื่อทำความสะอาดให้เทียนหลุดออก สีบางประเภทไม่ทนต่อความร้อนอาจทำให้สีหลุดหรือจางได้ ซึ่งสีที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตผ้าปาเต๊ะในพื้นที่จังหวัดนราธิวาส ยะลา และปัตตานี เป็นสีรีแอกทีฟ (reactive dyes) เนื่องจากละลายได้ทั้งน้ำร้อนและน้ำเย็น สามารถย้อมเส้นใยเซลลูโลสซึ่งเป็นผ้าที่ใช้ในการผลิตผ้าปาเต๊ะส่วนใหญ่ได้ดี ติดผ้าได้ง่าย สีสดใส ย้อมผ้าติดได้เร็ว ผ้าติดสีสม่ำเสมอ ผสมสีได้ดี รวมถึงโรงงานซาโลมาปาเต๊ะก็ใช้สีย้อมชนิดนี้ด้วย

2.1.3 ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนย้อมล้างผ้า

หากคิดเป็นปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสิ่งทอแล้ว จะพบว่าโดยเฉลี่ยแล้วในการผลิตน้ำหนัก 1 ปอนด์ จะใช้น้ำในกระบวน 20 แกลอน หรือ ผ้า 1 กิโลกรัม จะใช้น้ำ 167 (กัญติยา สดใส, 2555) ในส่วนของโรงงานซาโลมาปาเต๊ะ มีน้ำเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตผ้าปาเต๊ะ 4,396 ลิตรต่อวัน หรือ 77 ลิตร ต่อผ้าปาเต๊ะ 1 ผืน (**ภาพที่ 2.1-8**) และการสัมภาษณ์คุณไบซูรา ยูโซะ นอกจากปริมาณน้ำที่ใช้แล้วยังมีการใช้สารเคมีต่างๆ เช่น สีย้อม เกลือ และโซเดียมซิลิเกต เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากกระบวนการผลิตก็จะกลายเป็นมลพิษในน้ำ ซึ่งต้องทำการกำจัดต่อไป



ภาพที่ 2.1-8 ปริมาตรน้ำที่ใช้ในโรงงานซาโลมาปาเต๊ะ

2.1.4 ความเป็นพิษของสีย้อมที่ใช้ในกระบวนย้อม

สีย้อมเป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษต่ำ โดยไม่พบว่าผู้ที่ทำงานในโรงงานผลิตผ้าปาเต๊ะหรืออุตสาหกรรมสิ่งทอมีอันตราย ตาย หรือเจ็บป่วยสูงกว่าอาชีพอื่นแต่อย่างใด สีย้อมอาจเข้าสู่ร่างกายของผู้ใช้ได้ 3 ทาง คือ ทางจมูกโดยการสูดดม ทางผิวหนังโดยการสัมผัส และทางระบบทางเดินอาหารโดยปนเข้าไปกับอาหารการกิน โดยทั่วไปมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียของโรงงาน มีดังนี้

1) ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (toxic to stream life) น้ำเสียจากการย้อมผ้ามักมีสารพิษ ซึ่งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำและจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา

2) การลดของปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำ (oxygen depletion in stream water) น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง เนื่องจากถูกนำไปใช้

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟต์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสีย้อมบางประเภท

3) ทำให้สภาวะทางกายภาพเสื่อมลง (physical impairment of stream condition) น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิดความรู้สึกน่ารังเกียจต่อผู้พบเห็น ทำให้สภาพคูคลองและลำน้ำไม่น่าดู นอกจากสีย้อมที่มีความเข้มสูงจะขัดขวางการเดินทางของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำนั้น

2.1.5 การกำจัดน้ำเสียของโรงงานย้อมผ้า

สีย้อมและสารเคมีที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ แม้จะมีการโต้เถียงว่าสีย้อมไม่ควรถูกจัดให้เป็นสารก่อมลภาวะในน้ำ แต่ก่อให้เกิดความรู้สึกน่ารังเกียจต่อคนทั่วไป ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าก่อนจะถูกปล่อยออกนอกโรงงานจะต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อทำการกำจัดสารต่างๆ รวมทั้งสีที่ตกค้างก่อน วิธีการต่างๆ ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 5 ประเภทหลัก (กัญติยา สดใส, 2555) (**ตารางที่ 2.1-1**)

ตารางที่ 2.1-1 เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดสี

Process	Color Removal	Capacity	Speed	Cost	Treatment
1) Chemical Coagulation	Good	Large	Good	Large	Solid Removal Nitrification
2) Activated Charcoal	Very Good	Small	Slow	High	Regeneration
3) Ozone Treatment	Good	Large	Medium	High	By Product
4.Membrane Technology	Good	Large	Fast	High	Dyestuff of Dyes in wastewater
5) New Technology (Electrolysis/Inorga nic Adsorption)	Good	Large	Fast	Medium	Adsorption of Dyes in Wastewater

ที่มา: กัญติยา สดใส (2555)

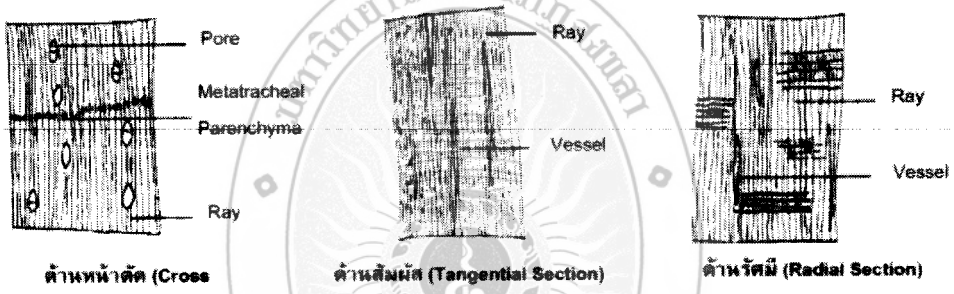
2.2 ไม้ยางพารา

ยางพารา (pará rubber wood หรือนิยมใช้ rubber wood หรือ para wood) บางครั้งเรียกย่อว่า ไม้ยาง เป็นไม้ที่ได้จากต้นยางพารา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (กัญติยา สดใส, 2555) และจัดเป็นไม้ยืนต้นที่จัดเป็นไม้เนื้ออ่อนและหยาบ อยู่ในสกุล (Genus) Hevea

วง (Family) Euphorbiaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบลุ่มแม่น้ำอเมซอน ในทวีปอเมริกาใต้ และนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้

2.2.1 ลักษณะโครงสร้างของไม้ยางพารา

ไม้ยางพาราไม่มีวงเจริญเติบโตให้เห็นเด่นชัดทางด้านหน้าตัด แต่จะเห็นเป็นลายไม้ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความแน่นของไฟเบอร์และปริมาณความหนาแน่นของหมู่เยื่อ parenchyma ด้านข้างพอร์ (pore) เดี่ยวและแฝด 2-3 คละกัน กระจายห่างๆ อย่างสม่ำเสมอ มี metatracheal Parenchyma (concentric) ตัดกับ ray เห็นเป็นลักษณะตาข่ายทางทางด้านหน้าตัด **(ภาพที่ 2.2-1)** (สำนักงานวิชาการป่าไม้, 2543)

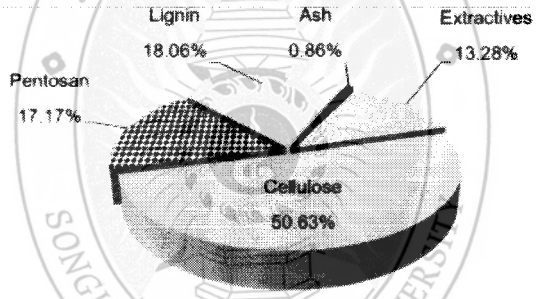


ภาพที่ 2.2-1 ลักษณะโครงสร้างของไม้ยางพารา
ที่มา: สำนักงานวิชาการป่าไม้ (2543)

2.2.2 คุณสมบัติทางเคมี

ไม้ยางพาราเป็นไม้ที่มีลักษณะลำต้นกลม สูงปานกลาง เปลือกสีเทาดำ มองทางด้านหน้าตัดจะเห็นท่อน้ำยาง (latex vessel) ต่อกันเป็นวงตามแนวด้านสัมผัส (tangential) เนื้อไม้มีสีขาวอมเหลือง เมื่อสดและจะมีสีขาวจาง เมื่อแห้งเนื้อจะหยาบปานกลาง เสี้ยนตรงวงรอบปีไม่เห็นชัด ไม่มีแกน ส่วนเรย์ (ray) มีขนาดเล็กมากและมีสีอ่อนกว่าเนื้อไม้ และพอร์ (pore) เป็นแบบ Radial Multiple ซึ่งการเรียงตัวจะตัดกันระหว่างเรย์กับเมตาทราพาเรงคิมา (metatracheal parenchyma) ทำให้มองดูเนื้อไม้คล้ายตาข่าย มีความหนาแน่นพื้นฐาน 0.56-0.65 กรัมต่อลูกบาศก์ สำหรับที่ความชื้นร้อยละ 15 มีความหนาแน่นประมาณ 0.67-0.74 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าใกล้เคียงกับไม้ Soft Maple ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของยางพารานั้น ๆ สำหรับขนาดเส้นใยไม้ยางพารา 1.26 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างประมาณ 0.021 มิลลิเมตร คุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราสดเมื่อคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ประกอบด้วย สารแทรก (extractives) ร้อยละ 13.28 (สำหรับสารแทรกแบ่งเป็นสารที่สามารถละลายในน้ำรวม ร้อยละ 10.36 และละลายได้ในสารละลายรวม ร้อยละ 23.24)

เซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 50.63 (โดยแบ่งเป็น holocellulose ร้อยละ 78.72 และ Alpha Cellulose ร้อยละ 49.41) นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เป็นเพนโตซาน (pentosan) และลินิน (Lignin) คิดเป็นร้อยละ 17.17 และ 18.06 ตามลำดับ (**ภาพที่ 2.2-2**) (โครงการพัฒนาความร่วมมือด้านอุตสาหกรรมกับเพื่อนบ้าน อ้างในถึงบริษัท บูรพากรุ๊ป จำกัด, 2556) บางรายงานพบว่าคุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราแตกต่างไปจากนี้ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของยางพาราและวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยเฉพาะสายแทรก (ร้อยละ 5.59) แม้เป็นองค์ประกอบเพียงส่วนน้อยแต่จะมีบทบาทสำคัญคือ การมีปริมาณสารแทรกชนิดต่างๆ อยู่มากน้อยไม่เท่ากันจะทำให้ไม้นั้นมีสีคล้ำหรือสีแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังทำให้มีความทนทานต่อการทำลายของแมลงและเห็ดราแตกต่างกันด้วย การมีปริมาณสารแทรกอยู่มากนั้นมีส่วนสำคัญที่ทำให้ไม้มีการคงรูปดีขึ้น การหดตัวเมื่อแห้งจะน้อยกว่าปกติและหลังจากแห้งแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างน้อย แม้ว่าจะถูกนำไปใช้งานในสภาวะอากาศที่มีความรุนแรง (กัญติยา สดใส, 2555)



ภาพที่ 2.2-2 คุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพารา
ที่มา: สำนักงานวิชาการป่าไม้ (2543)

วัสดุที่มีองค์ประกอบของลิกนิน โฮโมเซลลูโลส และเซลลูโลส มีองค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชั่นอลจำนวนมากมาก เมื่อนำไปดูดซับที่รูปของสารละลายจะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับสารละลาย ทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับดี รวมทั้งเซลลูโลสมีลักษณะที่เป็นรูพรุนที่เกิดจากท่อลำเลียงต่างๆ เมื่อนำมาเผาจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่สามารถเกิดการดูดซับเพิ่มขึ้น (อรทัย วิเศษรัตน์, 2554)

2.2.3 ลักษณะทางนิเวศวิทยา

ต้นยางพาราชอบขึ้นในดินร่วน ซึ่งมีการระบายน้ำใต้ผิวดินดี และดินนั้นควรมีความเป็นกรดมี pH ระหว่าง 4-5.5 ต้องการฝนพอสมควร ขนาดปีละประมาณ 200-2,500 มิลลิเมตร หรือประมาณ 80-100 นิ้ว เฉลี่ยตกได้สม่ำเสมอกันทุกเดือนได้มากเท่าใดยิ่งดี เพราะยางพาราต้องการความชื้นสูง

อุณหภูมิอยู่ในระดับ 75-80 องศาฟาเรนไฮต์ จึงเหมาะที่จะปลูกในระหว่างเส้นขนาน 28 องศาเหนือ และ 28 องศาใต้ เช่นเดียวกับการที่ขึ้นอยู่ในอเมริกากลางและอเมริกาใต้เป็นถิ่นเดิม ไม่ควรปลูกในที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,000 ฟุต

2.2.4 ประโยชน์

เป็นไม้ที่นิยมนำมาใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ไม้คุณภาพสูง เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นของไม้ยางที่เหมาะสมกับการนำมาทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ เช่น ความหนาแน่นของเนื้อไม้ สีสันที่สวยงาม การหดตัวน้อย และสามารถตกแต่งผิวได้ง่าย นอกจากนี้ไม้ยางพารายังได้ชื่อว่าเป็นไม้ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม้ยางพารานั้นได้มีการนำส่วนต่างๆ ของต้นยางมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนประกอบทั้งหมดสามารถนำมาใช้ได้ทุกส่วนตั้งแต่ยางของต้นไม้จนถึงขั้นตอนสุดท้ายที่ตัดไม้ออกมาทำเป็นเฟอร์นิเจอร์

2.3 การเผาถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

ถ่านเป็นวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้ในการให้ความร้อน เมื่อเผาจนความร้อนอยู่ในระดับหนึ่งไม้ดิบจะกลายเป็นถ่าน ถ้าเป็นการเผาไหม้ในอากาศเปิดกระบวนการเผาไหม้จะดำเนินไปจนกระทั่งเหลือแต่ขี้เถ้า แต่ถ้าถูกเผาไหม้ในสภาพอากาศปิดหรือจำกัดอากาศ ทำให้ออกซิเจนมีน้อย ท่อนไม้ไม่สามารถลุกไหม้ได้จนถึงขั้นตอนสุดท้าย ไม้จึงเปลี่ยนสภาพกลายเป็นก้อนถ่านสีดำ ซึ่งกระบวนการนี้ เรียกว่า คาร์บอไนเซชัน (carbonization) ซึ่งเป็นหลักการเบื้องต้นในการผลิตถ่านตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (กรมอนามัย กระทรวงสิ่งแวดล้อม, 2555) การเผาถ่านให้ได้ถ่านที่ดี คือการให้ความร้อนสูงในระดับที่เหมาะสม เพราะหากให้ความร้อนเป็นเวลานานเกินไปจะทำให้ถ่านไม้เกิดภาวะกรอบและแตกง่าย

สำหรับขั้นตอนการเผาถ่านเริ่มต้นจากการคัดไม้มาทุบเปลือกออกและตัดให้ได้ขนาดที่พอดี จากนั้นนำท่อนไม้ที่ตัดไปเรียงในเตาเผา และเว้นพื้นที่กองท่อนไม้ที่รอเตรียมเผาทางเข้าด้านหน้าเตาไว้ จากนั้นก่ออิฐมอญปิดปากทางเข้าโดยใช้ดินและน้ำเป็นตัวประสานเพื่อเป็นการจำกัดอากาศระหว่างการเผา แต่ทั้งนี้การก่อจะต้องเว้นช่องด้านล่างสุด ไว้ประมาณ 1x1 ตารางฟุต เพื่อเติมเชื้อเพลิงในการเผา ในช่วงระยะการเผาจะต้องมีการใส่เชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเศษไม้ที่มีขนาดเล็ก โดยการเติมเชื้อเพลิงในช่วงแรกความร้อนจะค่อยๆ ไล่ระดับเพิ่มขึ้น จนเมื่อความ ร้อนสูงขึ้นถึง 180 องศาเซลเซียส น้ำที่อยู่ภายในเซลล์ของต้นไม้จะระเหยออกมาก่อน เป็นการไล่ความชื้น หรือการดึงโมเลกุลของน้ำออกจากสาร เรียกว่า ดีไฮเดรชัน (dehydration) เมื่อความร้อนภายในเตาเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิประมาณ 270-400 องศาเซลเซียส เฮมิเซลลูโลส (hermicelluloses) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้จะมีการสลายตัวทำให้เกิดก๊าซ

แม้ว่าท่อนไม้จะเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้กระทั่งกลายเป็นถ่านอย่างสมบูรณ์แล้ว ก็ยังไม่สามารถนำมาใช้ได้ทันที เพราะยังต้องมีการเผาถ่านต่อไปอีกระยะหนึ่งกระทั่งความร้อนเข้าสู่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส เพื่อสลายน้ำมันดินที่ยังคงมีอยู่ในถ่านสลายตัวให้หมด เนื่องจากน้ำมันดินเหล่านี้เมื่อมีการเผาไหม้จะเกิดสารประกอบเบนโซไพรีน (benzopyrene) และไดเบนซาน ทราซีน (dibenzanthracene) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นหากมีการนำถ่านที่ยังมีสารน้ำมันดินสะสมอยู่ไปใช้ประกอบอาหารก็จะเกิดอันตรายต่อได้ ในขั้นตอนนี้เป็นการทำถ่านให้บริสุทธิ์ เรียกว่า รีไฟน์เมนท์ (refinement) หลังจากนั้นก็จะมีการพักถ่านให้เย็นลง โดยจะหยุดให้ความร้อน เปิดช่องทางระบาย เพื่อให้อุณหภูมิลดต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ถ่านสามารถลุกติดไฟเองได้ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ)

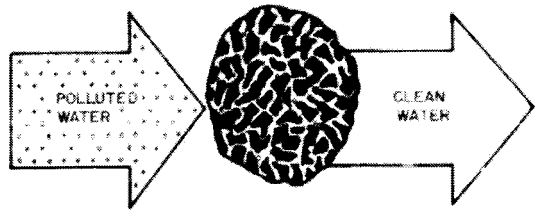
สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่ผลิตโดยวิธีพื้นบ้านในชุมชน จากการสัมภาษณ์ผู้ผลิตถ่านไม้ยางพารารายย่อยในจังหวัดสตูล คุณอัญชรีย์ สะแซเลาะ (2562) ได้กล่าวว่าถ่านไม้ยางพาราที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นปีกไม้หรือเศษปลายไม้ยางพารา ซึ่งหาได้ตามสวนยางพาราที่หักโค่นเป็นเศษไม้มาผ่านกระบวนการเผาจนกลายเป็นถ่าน ที่โรงเผาถ่านแบบชุมชน บ้านบ่อหิน ตำบลเขาขาว อำเภอละงู จังหวัดสตูล ซึ่งใช้วิธีการเผาแบบเตาลาน จำนวน 3 เตา ในการเผาแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการเผาถ่านประมาณ 2-3 วัน และจะได้ถ่านในแต่ละครั้งประมาณ 25-30 กระสอบ กระสอบละ 15 กิโลกรัม ราคาจำหน่ายหน้าเตากระสอบละ 140 บาท แบ่งจำหน่ายเป็นถุงเล็ก ถุงละ 1.5 กิโลกรัม ราคา 15 บาท โดยส่วนใหญ่จะจำหน่ายให้กับพ่อค้าแม่ค้าในพื้นที่

2.4 การดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) เป็นกระบวนการกำจัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ-เคมี การดูดซับเกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิว กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นที่ระหว่างผิวหน้าของสองสภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ของสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีพื้นผิวเป็นที่เกาะจับของสารถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent)

การดูดซับของถ่านถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดีและน้ำเสีย เพื่อใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกที่ละลายน้ำบางชนิด ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกจากน้ำเสีย เช่น บีโอดี ซีโอดี สี กลิ่น รส โลหะหนัก และยาฆ่าแมลง เป็นต้น เนื่องจากการดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มีประสิทธิภาพสูง และระบบมีความทนทานต่อสารพิษซึ่งเป็นข้อจำกัดของระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังไม่มีผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพีเอช อุณหภูมิ หรือปริมาณสารอินทรีย์ (organic load)

ในระบบ ใช้เงินลงทุนต่ำ และระบบมีความยืดหยุ่นสูง สามารถเพิ่มหรือลดขนาดของระบบได้ง่าย การบำบัดโดยใช้การดูดติดผิวมีหลักการ (**ภาพที่ 2.4-1**)



ภาพที่ 2.4-1 การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการดูดซับของถ่าน

ที่มา: ลลิดา นิทัศนจารุกุล (2544)

2.4.1 วัสดุที่นิยมนำมาผลิตเป็นตัวดูดซับ

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 5 ประเภท

1) สารอนินทรีย์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมีหลายชนิด อาทิเช่น ดินเหนียว แมกนีเซียมออกไซด์ ซิลิกากัมมันต์ อะลูมิเนียมกัมมันต์ และถ่านกระดูก เป็นต้น ตัวดูดซับสารอนินทรีย์จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม และดูดซับโมเลกุลสารเพียงกี่ไม่กี่ชนิดทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากสารดูดซับสารอนินทรีย์มีขีดจำกัด

2) ถ่านและถ่านกัมมันต์ เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพและมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านต่าง ๆ เช่น ฟอกสี ใช้ในการกำจัดกลิ่นและรส ใช้ในการกำจัดตะกอนในโรงงานเบียร์ เป็นต้น

3) สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

4) วัสดุชีวภาพ ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางด้านการเกษตร เช่น ขี้เลื่อย เปลือกกุ้ง (นำมาเป็นไคโตซาน) กากกาแฟที่ใช้แล้ว กากถั่วเหลือง และฟางข้าว เป็นต้น

5) สารดูดซับชีวภาพ ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรียยีสต์ หรือราสายพันธุ์ต่าง ๆ และสาหร่าย

2.4.2 รูปแบบการดูดซับ

สำหรับรูปแบบการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

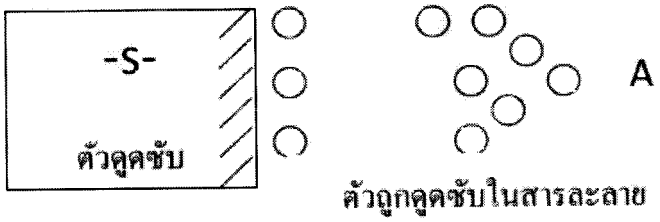
1) การดูดซับทางกายภาพ (physisorption or physical adsorption or van der waals adsorption) เป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะ หรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุล

ของพื้นที่ผิวหน้าของตัวถูกดูดซับ จัดเป็นแรงค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเอดร์วาลส์ แรงไดโพล-ไดโพล และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีทั้งของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะซ้อนกันเป็นหลายชั้น (multilayered) และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น การจัดเรียงตัวของโมเลกุล การกระจายตัว และการเหนี่ยวนำ จัดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไป จะเกิดที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลงทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น

2) การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) จะมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี กล่าวคือ จะต้องมีการสร้างพันธะเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (สร้างพันธะไอออนิก) หรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน (สร้างพันธะโควาเลนต์) ทำให้แรงยึดเหนี่ยวค่อนข้างสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในการดูดซับทางกายภาพ มีผลทำให้การดูดซับทางเคมีโดยส่วนใหญ่จะผันกลับไม่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการดูดซับทางกายภาพที่สามารถจะเกิดการผันกลับได้ภายใต้สภาวะเดียวกัน การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นในบริเวณที่จำเพาะเจาะจงเท่านั้น และโมเลกุลตัวดูดซับเกาะอยู่บริเวณดังกล่าว จะเป็นแบบชั้นเดียวและเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่การดูดซับทางกายภาพเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวตัวดูดซับ

2.4.3 สมดุลการดูดซับ

สมดุลการดูดซับ (adsorption equilibrium) เกิดขึ้นเมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในสารละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้มข้น ในช่วงเริ่มต้นโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลถูกดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายออก พบว่าอัตราการคายจะเกิดน้อยกวาอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายซับ ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่าจำนวนโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่คายออกมามีปริมาณคงที่ (**ภาพที่ 2.4-2**) (บุษยา มากงลาด, 2555)



ภาพที่ 2.4-2 สภาวะสมดุล

ที่มา: บุษยา มากงลาด (2555)

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

สำหรับปัจจัยนี้มีผลกับการดูดซับ (บุษยา มากงลาด, 2555) มีดังนี้

1) ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ film diffusion หรือ pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบาง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วกว่าเคลื่อนที่เข้าหารูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

2) ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ความสารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ สารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้มากกว่าสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราเร็วการดูดซับเป็นอัตราเร็วส่วนผกผันกับขนาดสารดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (powder activated carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกล็ด (granular activated carbon ,GAC)

3) ขนาดและลักษณะของสารถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของสารดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อมีสารขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอดี ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารถูกดูดซับและสารดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความสารถในการดูดซับจะลดลง

4) ความสารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดซับ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถดูดซับได้ดี

5) ค่าความเป็นกรดด่าง pH ของสารตัวทำละลายจะมีผลต่อการดูดซับ เนื่องจาก pH จะมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของตัวถูกละลาย ถ้าสารละลายเป็นกรดจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง

6) อุณหภูมิ มีผลต่ออัตราเร็วและขีดความสารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดลงอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะลดลง

ที่อุณหภูมิสูงและตะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบกระบวนการคายความร้อน

7) เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับและอายุการใช้งานของตัวดูดซับ โดยเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษากำจัดสีย้อมผ้าโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรเป็นวัสดุดูดซับ มีรายละเอียดดังนี้ (**ตารางที่ 2.5-1**)

ตารางที่ 2.5-1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อวิจัย	ผลการศึกษา	อ้างอิง
ศึกษาการกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาดอยตุง ด้วยไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับของไม้ยางพาราอบแห้งและถ่านไม้ยางพารา ผลการศึกษาพบว่า ที่ความเข้มข้นของสีย้อม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ pH 2 และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 10 นาที ถ่านไม้ยางพารามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 80.03 ส่วนไม้ยางพาราอบแห้งมีประสิทธิภาพในกำจัดสีย้อมต่ำกว่าที่ pH 2 ความเร็วรอบในการเขย่า 50 รอบ/นาที และระยะเวลาในการเขย่า 60 นาที โดยกำจัดได้เฉลี่ยร้อยละ 73.85	กัญติยา สดใส (2555)
ศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาดอยตุง ด้วยผผักตบชวาและถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์	ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดของผงใบผักตบชวาอบแห้งและถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์ ผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นของสีย้อม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 7 ความเร็วรอบในการเขย่า 50 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 60 นาที และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 30 นาที เกล็ดถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 93.04 ส่วนผงใบผักตบชวาอบแห้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมต่ำ ที่ pH 5 ความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบ/นาที ระยะเวลาในการเขย่า 30 นาที และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 150 นาที กำจัดสีย้อมได้เฉลี่ยร้อยละ 55.43	บุษยา มากงลาด (2555)

ตารางที่ 2.5-1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ชื่อวิจัย	ผลการศึกษา	อ้างอิง
ศึกษาการกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาดอยตุง โดยใช้ตัวดูดซับจากผักตบ ชวาและกกกลม	ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับของลำต้นผักตบชวาและกกกลมอบแห้ง ผลการศึกษา พบว่า ที่ความเข้มข้นของสีย้อม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่pH 4 ความเร็วรอบในการเขย่า 50 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 30 นาที และระยะเลาเข้าสู่สมดุล 90 นาที ผักตบชวาอบแห้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 76.21 ส่วนกกกลมอบแห้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมต่ำที่ pH 7 ความเร็วรอบในการเขย่า 50 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 15 นาที และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 30 นาที กำจัดสีย้อมได้เฉลี่ยร้อยละ 56.14	อคปภา สุขอัจจะสกุล (2555)

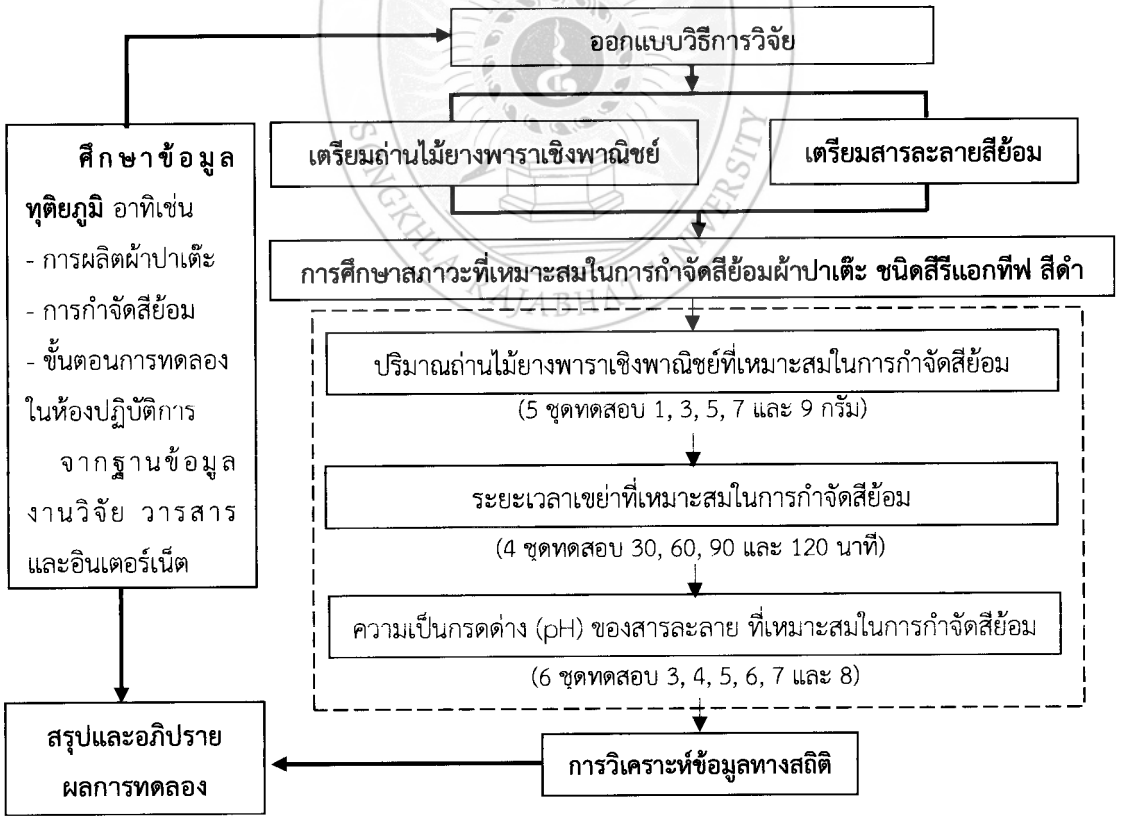
การผลิตผ้าปาเต๊ะ (โสร่งปาเต๊ะ) ในอุตสาหกรรมชุมชน มีการนำสีย้อมมาใช้เพื่อเพิ่มความสวยงามและความคงทนต่อสี ส่วนใหญ่เมื่อใช้งานแล้วจะเทน้ำปนเปื้อนสีย้อมลงดิน หรือลงคูคลอง ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองโดยศึกษาการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ (ขายตามท้องตลาด) มาใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมผ้าปาเต๊ะ แบบสังเคราะห์ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทดสอบสภาวะที่เหมาะสม คือ ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม ระยะเวลาเขย่าที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม สำหรับรายละเอียดวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

3.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ มีกรอบแนวคิดในการวิจัย (**ภาพที่ 3.1-1**)



ภาพที่ 3.1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.2 ขอบเขตการวิจัย

วิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ทำการศึกษาการนำถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์มาใช้กำจัด สีย้อมผ้าปาเต๊ะ ทดสอบโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เป็นชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กำหนดความเร็วรอบในการเขย่า 60 นาที ทดสอบสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ (1, 3, 5, 7 และ 9 กรัม) ระยะเวลาเขย่า (30, 60, 90 และ 120 นาที) และ pH (3, 4, 5, 6, 7 และ 8)

3.2.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

1) สารละลายสีย้อม ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

2) ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

3.2.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

พื้นที่เตรียมผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ และพื้นที่ที่ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

3.3 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.3.1 อุปกรณ์

1) ตะแกรงร่อน (test sieve) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง 0.5 มิลลิเมตร

2) ตู้อบแห้ง (hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น AH-80D2

3) ตู้ดูดความชื้น (desicator chamber) ยี่ห้อ Bossmen รุ่น BK 98 (A)

4) เครื่องเขย่า (orbital shaker) ยี่ห้อ N-Biotek รุ่น NB-1015

5) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Clean รุ่น pH 30

6) เครื่องยูวีวิซิเบิลโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ยี่ห้อ PG Istrument รุ่น T80+

7) เครื่องชั่ง (balance) แบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toled รุ่น PL3002

8) ชุดกรองสุญญากาศพร้อมปั๊ม (suction air pump)

9) เครื่องกวนสารโดยใช้แม่เหล็ก (hotplate stirrer) ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG HS 7

3.3.2 วัสดุ

1) ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

2) โกร่งบด (motar and pestle)

3) กระดาษกรองใยแก้ว GF/C (glass microfiber filter grade GF/C) ขนาด 47 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Whatman

4) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)

5) ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)

6) กระบอกตวง (cylinder)

7) บีกเกอร์ (beaker)

8) หลอดทดลอง (test tube)

9) ปิเปต (pipette)

3.3.3 สารเคมี

1) สีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

2) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid; HCl)

3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH)

3.4 การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

3.4.1 เตรียมถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

นำถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ มาบดด้วยโกร่งบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น หลังจากนั้นเก็บผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ลงไว้ใช้ในการศึกษาต่อไป (**ภาพประกอบการทดสอบแสดงในภาคผนวก ข**)

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

3.4.2 เตรียมสารละลายสีย้อม

นำสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ จากโรงงานซาโลมาปาเต๊ะ สามารถตรวจวัดได้ที่ความยาวคลื่น 594 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (บุษยา มากงลาด, 2555)

1) การเตรียมสารละลายสีย้อมที่ใช้ทดสอบ (เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร) ชั่งสีย้อมชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ปริมาณ 0.05 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร เพื่อใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์

2) เตรียมกราฟมาตรฐาน ใช้สีย้อมความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยดูดสารละลายสีย้อมมาตรฐานที่เตรียมไว้มาจำนวน 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 594 นาโนเมตร แล้วนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมผ้าปาเต๊ะ (**ตัวอย่างกราฟมาตรฐานแสดงในภาคผนวก ค**)

3.5 วิธีการวิเคราะห์

สำหรับวิธีการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านไม้ยางพารากำจัดสีย้อมถ้าปาเต๊ะ ซึ่งสภาวะที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ระยะเวลาเขย่า และ pH พร้อมทั้งนำผลที่ได้ไปทดลองใช้ประโยชน์กับน้ำทิ้ง

3.5.1 การศึกษาปริมาณถ่านที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

ชั่งผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ปริมาณ 1, 3, 5, 7 และ 9 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายสีย้อมเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 60 นาที กรองด้วยชุดกรองสุญญากาศและนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ของผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 594 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.5.2 ศึกษาระยะเวลาเขย่าที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

ชั่งผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ที่ให้ร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองในข้อ 3.5.1 ลงในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายสีย้อมเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาเข ย่าต่างๆ คือ 30, 60, 90 และ 120 นาที กรอง

- 6 ม.ค. 2563

ด้วยชุดกรองสุญญากาศและนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ของผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 594 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.5.3 ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

ชั่งผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่ให้ร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองในข้อ 3.5.1 ลงในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายสีย้อมเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับ pH ให้มีค่าต่างกันคือ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ลงในแต่ละขวด ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่าที่เหมาะสมจากข้อ 3.5.2 กรองด้วยชุดกรองสุญญากาศและนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ของผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ตามสมการที่ (1) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 594 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.5.4 ศึกษาการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์กำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ จากน้ำทิ้ง

นำน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าปาเต๊ะ ของโรงงานซาโลมาปาเต๊ะ วันที่ 27 พฤษภาคม 2562 (ได้รับความอนุเคราะห์จากคุณไบซูรา ยูโซ๊ะ) มาทำการทดสอบการใช้ประโยชน์ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ในการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้ง โดยนำน้ำทิ้งไปกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C เก็บน้ำที่ได้มาทำการทดสอบประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ในการกำจัดสีย้อม โดยชั่งผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำทิ้ง ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 5 นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 60 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 594 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

สูตร การคำนวณประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้า

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad \text{.....สมการที่ (1)}$$

โดยที่ C_0 ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ

C_e ความเข้มข้นหลังการดูดซับ

3.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 ส่วน มีรายละเอียดดังนี้

1) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละ เพื่อนำเสนอผลการศึกษา

2) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติแบบอ้างอิง ได้แก่ One-Way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบชุดทดสอบแต่ละชุดกับร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมตามสภาวะที่ทำการศึกษาในแต่ละชุดทดสอบ และ Independent Samples T-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของถ่าน 7 และ 9 กรัม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการกำจัดสีย้อมผ้าบ่าเต๊ะ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากสีชนิดรีแอกทีฟ สีดำ ด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 0.5 มิลลิเมตร โดยศึกษาสภาวะที่มีผลกับการดูดซับของถ่าน คือ ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ระยะเวลาเขย่า และค่า pH พร้อมทั้งทดสอบการนำไปใช้ประโยชน์กับน้ำทิ้งโรงงานย้อมผ้าปาเต๊ะ ให้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ลักษณะของตัวดูดซับถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นถ่านไม้ยางพาราที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด ขนาด 4×7 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นสีดำ เมื่อนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 0.5 มิลลิเมตร จะได้เป็นผงถ่านสีดำเนื้อละเอียดเป็นผงเหมือนแป้ง (**ภาพที่ 4.1-1**)

(ก) ถ่านไม้ยางพาราแท่ง (ข) ผงถ่านไม้ยางพารา

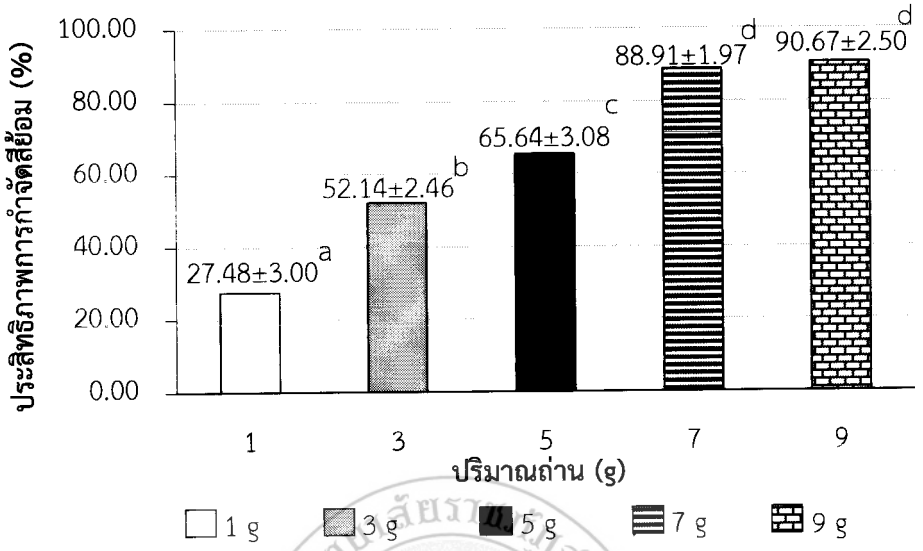
ภาพที่ 4.1-1 ลักษณะของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการทดสอบ

4.2 ผลของปริมาณถ่านไม้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ

ในการศึกษาการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่บดเป็นผง ทดสอบที่ปริมาณ 1, 3, 5, 7 และ 9 กรัม กำหนดระยะเวลาเขย่า 60 นาที ความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบต่อนาที นำไปกรองผ่านกระดาษกรองแบบ GF/C เบอร์ 47 แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 594 นาโนเมตร (บุษยา มากงลาด, 2555) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 9 กรัม จะมี

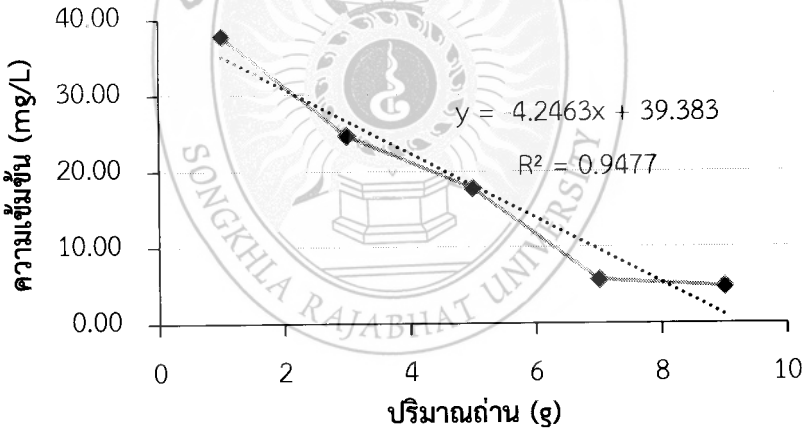
ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 90.67±2.50 รองลงมาคือ การใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ปริมาณ 7, 5, 3 และ 1 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม คิดเป็นร้อยละ 88.91±1.97, 65.64±3.80, 52.14±2.46 และ 27.48±3.00 ตามลำดับ (**ภาพที่ 4.2-1**) แสดงให้เห็นว่าในช่วงปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 1-9 กรัม เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านจะยิ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าป่าเต๊ะได้มากขึ้น มีค่าความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสีย้อมกับปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ (R^2) เท่ากับ 0.9477 (**ภาพที่ 4.2-2**) โดยเฉพาะในช่วง 1-7 กรัม เนื่องจากถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์มีพื้นที่ผิวจำเพาะในการดูดซับประมาณ 500-1,400 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งทำให้ถ่านเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพ (รวินิภา ศรีมูล, 2559) จึงกำจัดสีย้อมได้สี และการเพิ่มปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ทำให้จำนวนถ่านมากขึ้น พื้นที่ผิวของถ่านที่ใช้ในการดูดซับก็มีมากขึ้นด้วย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ เป็น 9 กรัม จะพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของถ่านจะเริ่มคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อรดี ฤทธิชัย และศศิธร มั่นเจริญ (2557) ศึกษาการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปู พบว่าเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ ตั้งแต่ 0-32 กรัม ประสิทธิภาพในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อเพิ่มถ่านกัมมันต์จาก 32-80 กรัม ประสิทธิภาพในการดูดซับสีค่อนข้างคงที่

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณต่าง ๆ ด้วยสถิติแบบ one-way anova (Scf) พบว่าเกือบทุกชุดทดสอบแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อย 95 ($P<0.05$) ยกเว้นชุดทดสอบที่ 7 และ 9 กรัม (**ภาพที่ 4.2-1** และ**ภาคผนวก ง**) ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่ 7 และ 9 กรัม ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงใกล้เคียงกัน (90.67±2.50 และ 88.91±1.97 ตามลำดับ) เป็นปริมาณถ่านที่เหมาะในการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์กำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ และนำไปศึกษาระยะเวลาเขย่าต่อไป



หมายเหตุ อักษรต่างกัน (a, b, c, d, e) หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ภาพที่ 4.2-1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์



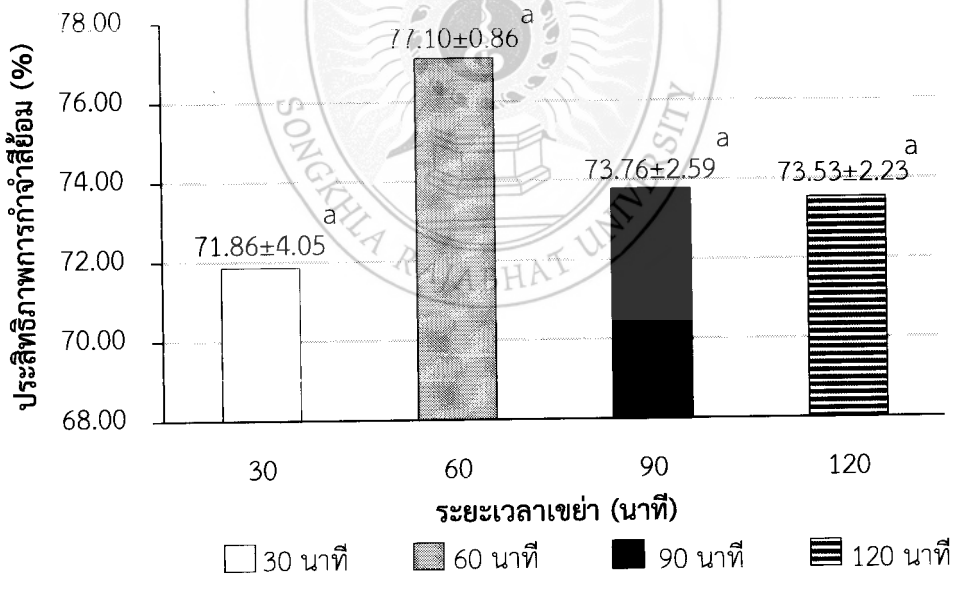
ภาพที่ 4.2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสีย้อมกับปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

4.3 ผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ

สำหรับการศึกษาระยะเวลาเขย่าที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ โดยใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 7 และ 9 กรัม (ซึ่งเป็นปริมาณที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงตามข้อ 4.2) ความเข้มข้นสีย้อม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กำหนดความเร็วรอบเขย่า 100 รอบต่อนาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 594 นาโนเมตร โดยทดสอบระยะเวลาเขย่าที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที ผลการศึกษามีรายเอียดดังนี้

4.3.1 ผลของระยะเวลาเขย่าที่ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม

เมื่อใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ปริมาณ 7 กรัม ทดสอบกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กำหนดความเร็วรอบเขย่า 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาเขย่า 30, 60, 90 และ 120 นาที ผลการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลาเขย่า 60 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 77.10±0.86 รองลงมาคือ ระยะเวลาเขย่า 90, 120 และ 90 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม คิดเป็นร้อยละ 73.76±2.59, 73.53±2.23 และ 71.86±4.05 ตามลำดับ (**ภาพที่ 4.3-1**) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาเขย่าประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในช่วง 30-60 นาที แต่เมื่อระยะเวลาเขย่าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมจะลดลงและคงที่ ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมทุกชุดทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) ด้วยสถิติแบบ one-way anova (Scf) (**ภาคผนวก ง**) ผู้วิจัยจึงเลือกระยะเวลาเขย่า 60 นาที ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุด เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม กำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีอแกทีฟ สีดำ

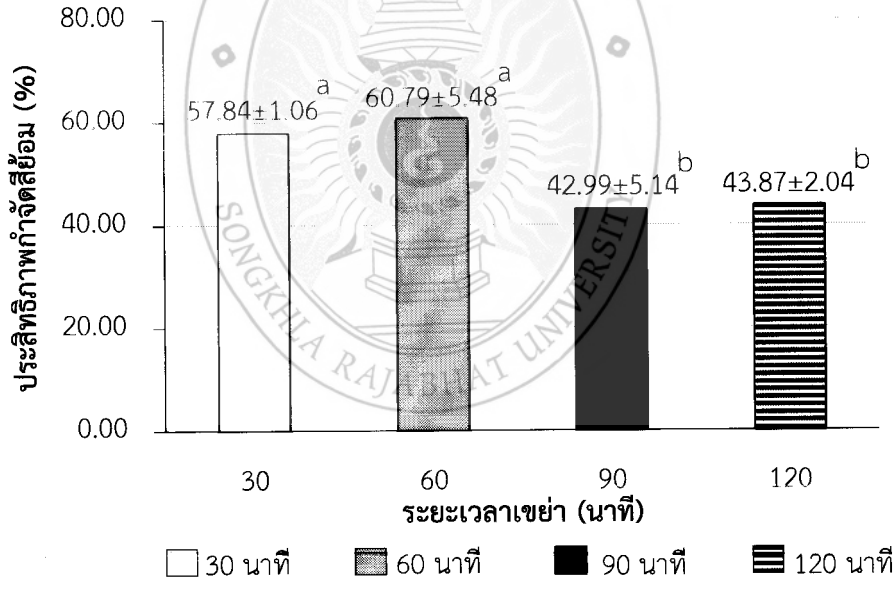


หมายเหตุ อักษรต่างกัน (a, b, c, d, e) หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ภาพที่ 4.3-1 ประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 7 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะที่ระยะเวลาเขย่าต่าง ๆ

4.3.2 ผลของระยะเวลาเขย่าที่ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 9 กรัม

เมื่อใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 9 กรัม ทดสอบกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กำหนดความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาเขย่า 30, 60, 90 และ 120 นาที ผลการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลาเขย่า 60 นาที มีร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 60.79±5.48 รองลงมาที่ระยะเวลาเขย่า 30, 120 และ 90 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม คิดเป็นร้อยละ 57.84±1.06, 43.87±2.04 และ 42.99±5.14 ตามลำดับ (**ภาพที่ 4.3-2**) แสดงให้เห็นที่ช่วงเวลา 30 และ 60 นาที มีประสิทธิภาพสูงกว่าช่วงเวลา 90 และ 120 นาที โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) ด้วยสถิติแบบ one-way anova (Scf) (**ภาคผนวก ง**) ผู้วิจัยจึงเลือกระยะเวลาเขย่าที่ 60 นาที ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุด เป็นระยะเวลาเขย่าที่เหมาะสมในการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 9 กรัม กำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ



หมายเหตุ อักษรต่างกัน (a, b, c, d, e) หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ภาพที่ 4.3-2 ประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณชย์ปริมาณ 9 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะที่ระยะเวลาเขย่าต่าง ๆ

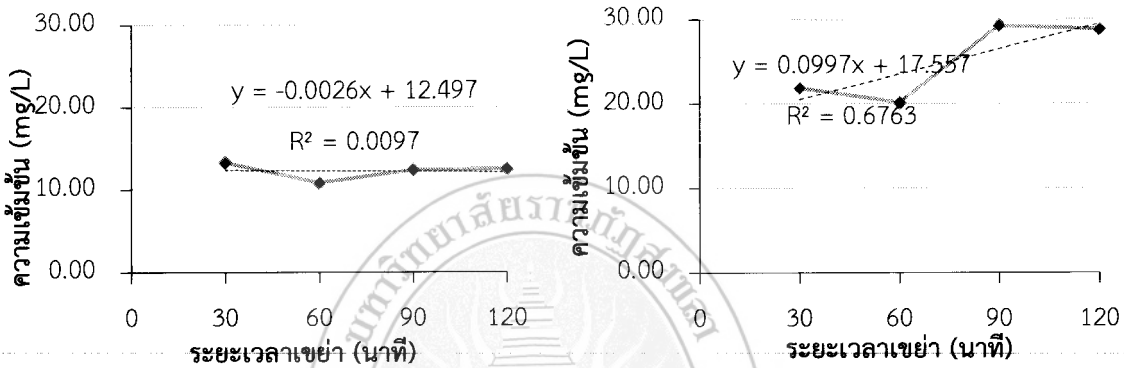
4.3.3 ผลการเปรียบเทียบการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 7 และ 9 กรัม ที่ระยะเวลาเขย่าต่างๆ ในการกำจัดสีย้อม

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ปริมาณ 7 และ 9 กรัม ที่ระยะเวลาเขย่า 30, 60, 90 และ 120 นาที จะพบว่าในช่วงแรกเมื่อเพิ่มระยะเวลาเขย่าทั้ง 2 ชุดทดสอบ ซึ่งที่ปริมาณถ่าน 7 กรัม จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงกว่า 9 กรัม ทุกช่วงระยะเวลาเขย่า (**ตารางที่ 4.3-1**) โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) (โดยใช้สถิติแบบ independent samples t-test) (**ภาคผนวก ง**) อาจเนื่องมาจากในช่วงต้นถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ยังมีพื้นที่ผิวในการดูดซับสีย้อมแต่เมื่อเวลาผ่านไปพื้นที่ผิวในการดูดซับสีย้อมเต็ม ซึ่งลักษณะการดูดซับของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์เป็นแบบชั้นเดียวเมื่อดูดซับแล้วไม่เคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งกับตัวดูดซับอื่น (นิพันธ์ และคณิต, 2550 และ Uddin, Islam and Abedin, 2007) จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์เริ่มคงที่ หรือเข้าสู่สมดุล (อัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายซับ) ซึ่งเมื่อเพิ่มระยะเวลาดูดซับจะเกิดการเริ่มอิ่มตัวและหมดสภาพประสิทธิภาพกำจัดสีย้อมจะเริ่มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของบุษยา มากงลาด (2555) ศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาดอยตุง และการศึกษาของ กัญติยา สดใส (2555) ศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาดอยตุง ซึ่งใช้วัสดุดูดซับสีย้อมได้ดีในช่วงแรกและประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3-1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 7 และ 9 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะที่ระยะเวลาเขย่าต่างๆ

ระยะเวลาเขย่า (นาที)	ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม (%)	
	ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม	ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 9 กรัม
30	71.86±4.05	57.84±1.06
60	77.10±0.86	60.79±5.48
90	73.76±2.59	42.99±5.14
120	73.53±2.23	43.87±2.04
P-value	0.009	

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสีย้อมกับระยะเวลาเขย่า (**ภาพที่ 4.3-3**) พบว่าที่ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม ระยะเวลาเขย่ามีผลต่อการลดลงของความเข้มข้นสีย้อมไม่มากนัก (R^2=0.009) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 9 กรัม ซึ่งมีความสัมพันธ์สูงกว่ามาก (R^2=0.676) อาจเนื่องมาจากที่ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม ปริมาณถ่านมีน้อยกว่าสีย้อมจึงเข้าแทนที่รูพรุนอย่างรวดเร็วกว่า



(ก) ปริมาณถ่าน 7 กรัม (ข) ปริมาณถ่าน 9 กรัม

ภาพที่ 4.3-3 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสีย้อมกับระยะเวลาเขย่า ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

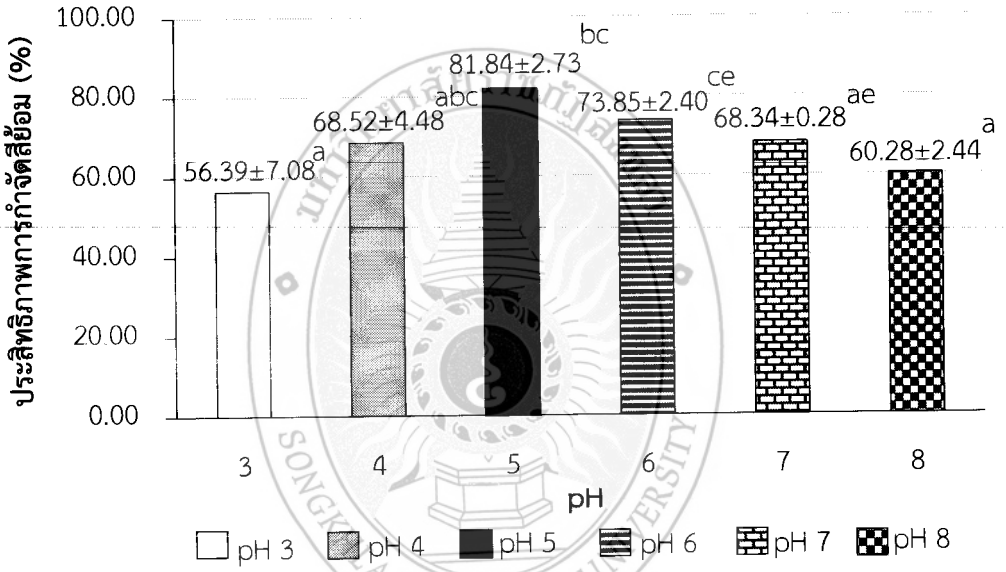
4.4 ผลของระดับความเป็นกรดด่างต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ

สำหรับการศึกษาค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 7 และ 9 กรัม ระยะเวลาเขย่า 60 นาที (ซึ่งเป็นปริมาณและระยะเวลาเขย่าที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงตามข้อ 4.2 และ 4.3) กำหนดความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบต่อนาที โดยทดสอบที่ช่วงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 594 นาโนเมตร ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 ผลของ pH ที่ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม

เมื่อใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม ทดสอบกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสี รีแอกทีฟ สีดำ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กำหนดความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 60 นาที โดยทดสอบที่ช่วง pH 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับ pH 5 มีร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 81.84±2.73 รองลงมาที่ระดับ pH 6, 4, 7, 8 และ 3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมคิดเป็น ร้อยละ 73.85±2.40,

68.52±4.48, 68.34±0.28, 60.28±2.44 และ 56.39±7.08 ตามลำดับ (**ภาพที่ 4.4-1**) แสดงให้เห็นเมื่อเพิ่มระดับ pH ในช่วง 4-6 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมจะเพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อเป็นด่างมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมที่ระดับ pH ต่างๆ ด้วยสถิติแบบ one-way anova (Scf) พบว่าชุดทดสอบที่ใช้ pH 4, 5 และ 6 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) (**ภาพที่ 4.4-1** และ **ภาคผนวก ง**) ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ pH 5 ซึ่งเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุด เป็นช่วง pH ที่เหมาะสม ในการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม กำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ



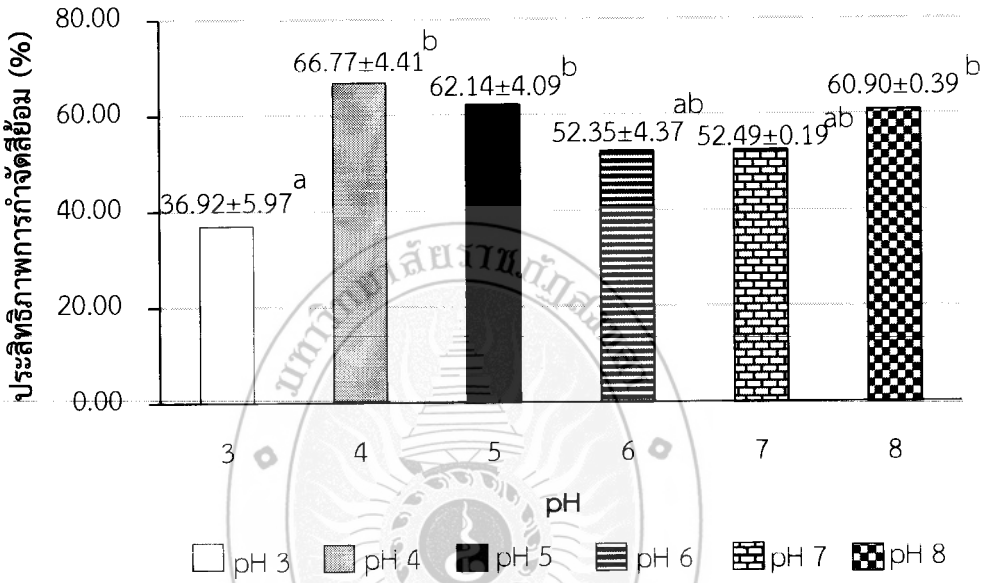
หมายเหตุ อักษรต่างกัน (a, b, c, d, e) หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ภาพที่ 4.4-1 ประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 7 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะที่ pH ต่าง ๆ

4.4.2 ผลของ pH ที่ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 9 กรัม

เมื่อใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม ทดสอบกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กำหนดความเร็วเขย่า 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาเขย่า 60 นาที โดยทดสอบที่ช่วง pH 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับ pH 4 มีร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 66.77±4.41 รองลงมาที่ระดับ pH 5, 8, 7, 6 และ 3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม คิดเป็นร้อยละ 62.14±4.09, 60.90±0.39, 52.49±0.19, 52.35±4.37 และ 36.92±5.97 ตามลำดับ (**ภาพที่ 4.4-2**) เมื่อเปรียบเทียบร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมที่ระดับ pH ต่างๆ ด้วยสถิติแบบ one-way anova (Scf) พบว่าชุดทดสอบที่ใช้

pH 4, 5, 6, 7 และ 8 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) (**ภาพที่ 4.4-2** และ **ภาคผนวก ง**) ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ pH 4 ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุด เป็นช่วง pH ที่เหมาะสมในการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 9 กรัม กำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ



หมายเหตุ อักษรต่างกัน (a, b, c, d, e) หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ภาพที่ 4.4-2 ประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 9 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะที่ pH ต่าง ๆ

4.4.3 ผลการเปรียบเทียบการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงปริมาณ 7 และ 9 กรัม ที่ pH ต่างๆ ในการกำจัดสีย้อม

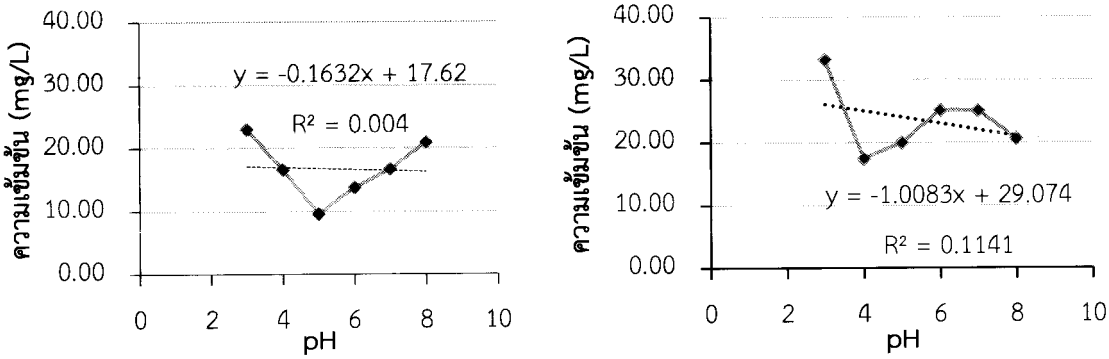
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ปริมาณ 7 และ 9 กรัม ที่ระยะเวลาเขย่า 60 นาที จะพบว่าเมื่อเริ่มต้นสารละลายสีย้อม (ชุดควบคุม) มีค่า pH เฉลี่ย 9.89 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสีย้อม ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ละลายน้ำแล้วมีสมบัติเป็นเบสอ่อน (มีประจุลบ) เมื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ pH 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของถ่านไม้ยางพาราทั้ง 2 ชุดทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลง (สารละลายมีสมบัติเป็นกรด) โดยที่ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงกว่าทุกช่วง pH (**ตารางที่ 4.4-1**) โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) (โดยใช้สถิติแบบ independent samples t-test) (**ภาคผนวก ง**) อาจเนื่องมาจากการดูดซับขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวตัวดูดซับ เมื่อสารละลายมีค่าเป็น

กรดส่งผลให้ไฮโดรเจนเป็นไอออน (H_3O^+) บนพื้นที่ผิวตัวดูดซับมากขึ้นสารละลายสีย้อมซึ่งเป็นไอออนลบ (pH สูง) จึงดูดซับบนผิวถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ประจุบวกได้ (Unmar, 2010; บุษยา มากงลาด, 2555; นิพันธ์ และคณิต, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของรวินิภา ศรีมูล (2559) ที่ศึกษาการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียด้วยกระบวนการดูดซับพบว่าถ่านไม้ยางพาราดูดซับสีย้อมผ้าได้ดีที่ pH เป็นกรด

ตารางที่ 4.4-1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 และ 9 กรัม ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะที่ระดับ pH ต่างๆ

pH	ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม (%)	
	ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม	ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 9 กรัม
3	56.39±7.08	36.92±5.97
4	68.52±4.48	66.77±4.41
5	81.84±2.73	62.14±4.09
6	73.85±2.40	52.35±4.37
7	68.34±0.28	52.49±0.19
8	60.28±2.44	60.90±0.39
P-Value	0.025	

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสีย้อมกับค่า pH **(ภาพที่ 4.4-3)** พบว่าค่า pH ของสารละลายมีผลกับการลดลงของความเข้มข้นสีย้อมไม่มากนักเมื่อใช้ถ่านไม้ยางพาราที่ปริมาณ 9 และ 7 กรัม กำจัดสีย้อมมีค่า R^2 เท่ากับ 0.114 และ 0.004 ตามลำดับ



(ก) ปริมาณถ่าน 7 กรัม (ข) ปริมาณถ่าน 9 กรัม

ภาพที่ 4.4-3 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสีย้อมกับค่า pH

4.5 ผลการประยุกต์ใช้งานถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ในการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตผ้าปาเต๊ะ

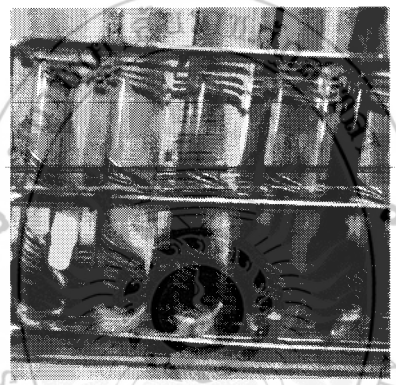
จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ จากชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร (วิธีแบบแบตช์) คือ ใช้ถ่านไม้ยางพาราปริมาณ 7 กรัม ระยะเวลาเขย่า 60 รอบต่อนาที ที่ระดับ pH ของสารละลายเท่ากับ 4 มาประยุกต์ใช้กับน้ำทิ้งสีย้อมผ้าปาเต๊ะของโรงงานซาโลมาปาเต๊ะ จังหวัดนราธิวาส ที่สภาวะเดียวกัน ซึ่งน้ำทิ้งของของโรงงานมีลักษณะขุ่น คล้ำ ถึงดำ จากตะกอนมีน้ำมันจากเทียบผสมอยู่ และเมื่อนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C แยกตะกอนออก น้ำทิ้งมีลักษณะเหลืองใสและมีน้ำมันจากเทียนผสมอยู่ ผลการศึกษาพบว่าถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งจริง เท่ากับร้อยละ 95.66±5.01 ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียสังเคราะห์ (กำจัดได้ร้อยละ 81.84±2.73) อาจเนื่องจากน้ำทิ้ง (น้ำเสียโรงงาน) มีค่าความเข้มข้นของสีต่ำ (ความเข้มข้นเริ่มต้น 1.44 มิลลิกรัมต่อลิตร) กว่าน้ำเสียสังเคราะห์มาก (ความเข้มข้นเริ่มต้น 52.59 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตัวดูดซับจึงมีพื้นที่ผิวเพียงพอกับการดูดซับ (**ตารางที่ 4.5-1** และ**ภาพที่ 4.5-1**) ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปจึงควรลดความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ให้ใกล้เคียงกับน้ำเสียจริง

ตารางที่ 4.5-1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ น้ำเสียสังเคราะห์กับน้ำทิ้งจากโรงงาน

พารามิเตอร์	**น้ำเสียที่ใช้ทดสอบ**	
	น้ำเสียสังเคราะห์	**น้ำทิ้งจากโรงงาน**
ปริมาตร (m/L)	50	50
ความเข้มข้นเริ่มต้นต้น (m/L)	52.59	1.44
ความเข้มข้นหลังการดูดซับ (mg/L)	9.55	0.06
ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม (%)	81.84	95.66

(ก) น้ำทิ้งก่อนกรอง

(ข) น้ำทิ้งหลังกรอง



(ค) น้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วยถ่าน

ภาพที่ 4.5-1 การเปรียบเทียบสีย้อมในน้ำทิ้งของโรงงานย้อมผ้าปาเต๊ะก่อนและหลังการดูดซับด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการนำถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่ผ่านการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 0.5 มิลลิเมตร จนเป็นผงแล้วนำมากำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดรีแอกทีฟ สีดำ ซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์ กำหนดความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ทดสอบแบบแบตช์) ทดสอบสภาวะที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมด้านปริมาณของถ่าน (1, 3, 5, 7 และ 9 กรัม) ระยะเวลาการเขย่า (30, 60, 90 และ 120 นาที) และความเป็นกรดด่าง (3, 4, 5, 6, 7 และ 8) สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

สำหรับการศึกษาปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เป็นสีชนิดรีแอกทีฟ สีดำ จำนวน 5 ชุดทดสอบ (1, 3, 5, 7 และ 9 กรัม) ผลการศึกษาพบว่าที่ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 และ 9 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมใกล้เคียงกัน คือ 88.91±1.97 และ 90.67±2.50 โดยความเข้มข้นของสีย้อมมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ (R^2=0.9477) จึงใช้ปริมาณดังกล่าวไปทดสอบระยะเวลาเขย่าและ pH ที่เหมาะสมในการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ในการกำจัดสีย้อม ซึ่งพบว่าที่ระยะเวลาเขย่า 60 นาที และ pH 5 ปริมาณถ่านไม้ยางพารา 7 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะสูงสุด เท่ากับ 81.84±2.73 ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 9 กรัม ระยะเวลาเขย่า 60 นาที pH 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ เท่ากับ 66.77±4.41 โดยค่า pH และระยะเวลาเขย่ามีผลกับประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมไม่มากนัก ผู้วิจัยจึงเลือกปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม ระยะเวลาเขย่า 60 นาที ที่ pH 5 เป็นระยะสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เป็นสีชนิดรีแอกทีฟ สีดำ

เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมของการศึกษามาทดสอบกับน้ำทิ้งจากการซักล้างผ้าปาเต๊ะ ของโรงงานซาโลมาปาเต๊ะ ซึ่งมีความเข้มข้น 1.44 มิลลิกรัมต่อลิตร (ต่ำกว่าความเข้มข้นที่ใช้ศึกษา) พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 95.66±5.01 ซึ่งสูงกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ (ประสิทธิภาพกำจัดสีย้อม ร้อยละ 81.84±2.73) อาจเนื่องมาจากน้ำทิ้งมีความเข้มข้นต่ำ สีย้อมมีปริมาณน้อยจึงเพียงพอต่อการดูดซับบนพื้นผิวของถ่านไม้ยางพาราได้ดีกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไปมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 ควรศึกษาความเข้มข้นของสีย้อมให้ใกล้เคียงกับน้ำเสียจริง

5.2.2 ควรศึกษาอายุการใช้งานของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ควบคู่ไปด้วย

5.2.3 ควรนำผลการศึกษามาพัฒนาผลิตชุดกรองในรูปแบบคอลัมน์ (fixed-bed adsorption column) และให้มีน้ำเสียไหลผ่านอย่างต่อเนื่อง

5.2.4 ควรศึกษาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการดูดซับสีย้อม และหาได้ง่ายในท้องถิ่น มาใช้เป็นวัสดุดูดซับ

5.2.5 ควรศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านไม้ยางพาราที่ผ่านการใช้งาน ในการดูดซับสีย้อมผ้าปาเต๊ะ เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีย้อมผ้าจะต้องนำถ่านที่หมดประสิทธิภาพมาฟื้นฟูเพื่อสามารถนำมาใช้ได้อีกครั้ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กัญติยา สดใส. (2555). **การกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาดอยตุงด้วยไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กนกวรรณ พลอยดี. (2554). **ประวัติความเป็นมาของผ้าปาเต๊ะ.**, เข้าถึงได้จาก. https://sites.google.com/site/kanokvanschool/prawati-khwam-pen-ma (10 กรกฎาคม 2561)

กำชัย นุ้ยธิติกุล. (2548). **การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับสีย้อมของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน.** โครงการวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ขจรพงศ์ จูมั่น. (2541). **การกำจัดสีจากสีย้อมธรรมชาติด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ขนิษฐา. (2559) **ประเภทของสีย้อม**. เข้าถึงได้จาก: http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=370&pageid=6&read=true&count=true (7 กรกฎาคม 2561)

จักรกฤษณ์ อัมพุช และคณะ. (2560). **การดูดซับสีย้อมรีแอ็คทีฟแบล็ค 5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากผักตบชวา**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

นวัฒน์ ศาสนนันทน์. (2554). **วัสดุดูดซับ จากธรรมชาติ**. เข้าถึงได้จากจาก: www.ssruir.ssru.ac.th (3 กรกฎาคม 2561)

นิสาพร มูหะมัด, สมภพ เภาทอง, อุบล ตันสม, และปิยศิริ สุนทรนนท์. (2559). **การดูดซับด้วยกากชา**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. (2550). **หลักการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญส่ง จุฑารัตน์. (2555). **การกำจัดสีรีแอคทิฟแบล็ค 5 จากสารละลายโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

บุษยา มากงลาด. (2555). **การดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาดอยตุงด้วยผงใบผักตบชวาและถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐยา พูนสุวรรณ. (2545). **การเตรียมและวัดสมบัติถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์และชานอ้อยโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุรนารี.

พัชรินทร์ ฤชุวรารักษ์ และพันธุ์ทิพย์ ตาทอง. (2557). **การเผาถ่านวิถีดั้งเดิมของชุมชนท้องถิ่นสู่เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก**. เข้าถึงได้จาก https://www.tci-thaijo.org/index.php/bruj/article (17 ธันวาคม 2561)

พิเชษฐ์ หนูหมื่น. (2557). **การดูดซับสีในน้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติกด้วยอิฐมอญบด**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

รุ่งนภา สุขสว่าง. (2549). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมและโลหะหนักในน้ำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา.

รวินิภา ศรีมูล. (2559). **การบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการดูดซับ.** สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.

ลลิดา นิทัศนจารุกุล. (2544). **การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วนิดา ชูอักษร. (2555). **เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม.** วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วิรังรอง แสงอรุณเลิศ. (2552). **ปัจจัยการดูดซับสีย้อม.**, เข้าถึงได้จาก https://pradthana. wordpress.com/tag/ปัจจัยการดูดซับ (16 ธันวาคม 2562)

ศศิธร มั่นเจริญ. (2552). **การเตรียมสารละลายสีย้อม.**, เข้าถึงได้จาก https://www.tci-thaijo.org (16 ธันวาคม 2562)

สราวุธ ศรีคุณ. (2550). **การศึกษาการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่ว ด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อรดี ฤทธิชัย และศศิธร มั่นเจริญ. (2557). **การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปู.** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

อรทัย วิเศษรัตน์ และคณะ. (2554). **การดูดซับน้ำมันโดยชานอ้อยและชานอ้อยปรับสภาพ.** คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

Uddin, M.T., M.S. Islam and M.Z. Abedin. 2007. **Adsorption of phenol from aqueous solution by water hyacinth ash.** Department of chemical Engineering and Polymer Science, Bangladesh.

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง

แบบเสนอโครงร่างวิจัยเฉพาะทาง
โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
วิจัยทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม 4003002

1. **ชื่อโครงการ** การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

2. **สาขาวิชา** โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

3. **ชื่อผู้วิจัย**

นางสาวซูนีตา อูเซ็ง รหัส 544291009
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

นางสาวสุวภัทร แคยิหวา รหัส 544291026
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

นายหะหมะ หมะมีน รหัส 544291043
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

4. **คณะกรรมการที่ปรึกษาวิจัยเฉพาะทาง**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์หิรัญวดี สุขวิบูรณ์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

5. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ผ้าปาเต๊ะ หรือโสร่งปาเต๊ะ เป็นผ้าพื้นเมืองชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย บรูไนดารุสซาลาม รวมถึงในประเทศไทยโดยเฉพาะจังหวัดทางภาคใต้ เช่น ยะลา ปัตตานี สงขลา และนราธิวาส มีลวดลาย สีสัน ที่สะท้อนถึงวิถีชีวิต และวัฒนธรรม สามารถบอกเล่าเรื่องราวถิ่นที่มาได้อย่างดี (พิเชษฐ์ หนูหมื่น, 2557)

การผลิตผ้าปาเต๊ะในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือนขนาดเล็ก สำหรับจังหวัดนราธิวาสมีการจัดตั้งกลุ่มผลิตผ้าปาเต๊ะทั้งหมด 19 กลุ่ม ส่วนใหญ่จะรวมกลุ่มกันภายในชุมชน กระบวนการผลิตใช้เทียนปิดส่วนที่ไม่ต้องการให้ติดสี และใช้วิธีการแต้มหรือย้อมในส่วนที่ต้องการให้ติดสี ซึ่งจะมีการลอกเทียนและการล้างสีออกจากผ้าทุกครั้ง จึงมีน้ำสีส่วนเกินจากการย้อมผสมกับเทียนปนเปื้อนออกมากับน้ำทิ้งเฉลี่ยปริมาณ 4,396 ลิตรต่อวัน (จากการสัมภาษณ์คุณไบซูรา ยูโซ๊ะ เจ้าของโรงงานย้อมผ้าซาโลมาปาเต๊ะ, 2561) น้ำทิ้งเหล่านี้ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรงไม่ได้มีการบำบัด น้ำทิ้งเหล่านี้มีสีเข้มโดยเฉพาะสีดำ และมีค่าพีเอชเป็นด่างอ่อน ซึ่งสีย้อมเป็นสารเคมีสังเคราะห์อาจทำให้เกิดการระคายเคือง เนื่องจากในโครงสร้างของสีส่วนใหญ่มีวงแหวนแอโรมาติกอยู่ในโมเลกุล (รวินิภา ศรีมูล, 2559) รวมทั้งสีย้อมยังไปขัดขวางการกระจายของแสงในน้ำทำให้พืชไม่สามารถสังเคราะห์แสงส่งผลกระทบให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศน์ได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าสีย้อมจะจัดได้ว่ามีความเป็นพิษในระดับที่ต่ำแต่ยังไม่พบว่ามีอัตราการตายหรือเจ็บป่วยของผู้ที่ทำงานในโรงงานผลิตผ้าปาเต๊ะสูงกว่าบุคคลอาชีพอื่น (นิสาพร มูหะมัด และคณะ, 2559) แต่สีย้อมละลายน้ำได้ดี ย่อยสลายยากทางชีวภาพ ทนทานต่อแสงและความเป็นกรดด่าง ทำให้ยากต่อการบำบัด (รวินิภา ศรีมูล, 2559) ส่วนวิธีการกำจัดสีย้อมที่นิยมในอุตสาหกรรมย้อมผ้า หรือผลิตผ้ามีหลายวิธีอาทิเช่น การกรองผ่านเยื่อกรองออสโมซิสย้อนกลับ การใช้โอโซน และการใช้วัสดุธรรมชาติหรือถ่านเป็นวัสดุดูดซับ เป็นต้น โดยการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในกลุ่มของสีย้อมที่มีความสามารถในการละลายสูง (พัชรรินทร์ ฤชุวรารักษ์ และพันธุ์ทิพย์ ตาทอง, 2557) ทั้งยังสามารถกำจัดไอออนของสารที่ปนเปื้อนมาพร้อมกับสีย้อมได้อีกด้วย สำหรับวัสดุที่นิยมนำมาทำเป็นวัสดุดูดซับมีหลากหลายชนิด โดยวัสดุที่นิยมนำมาผลิตเป็นตัวดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นส่วนประกอบของพืช อาทิเช่น เศษวัสดุทางเกษตร (กากถั่วเหลือง ฟางข้าว และขี้เลื่อย เป็นต้น) ดินเหนียว ถ่านจากวัสดุอินทรีย์ (ถ่านกะลามะพร้าว) และถ่านกัมมันต์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบของลิกนิน โฮโมเซลลูโลส และเซลลูโลส ซึ่งมีองค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชั่นนอลจำนวนมากมาก เมื่อนำไปดูดซับที่รูปของสารละลายจะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับสารละลาย ทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับดี รวมทั้งเซลลูโลสมีลักษณะที่เป็นรูพรุนที่เกิดจากท่อลำเลียงต่างๆ เมื่อนำมาเผาจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่สามารถเกิดการดูดซับเพิ่มขึ้น (อรทัย วิเศษรัตน์, 2554) จึงมีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้วัสดุธรรมชาติมาเป็นตัวดูดซับในการกำจัดสีย้อม เช่น

จากการศึกษาของอคปภา สุขอัจจะสกุล (2555) พบว่าผักตบชวาอบแห้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าสูงสุดเฉลี่ย ร้อยละ 76.21 ที่ความเข้มข้นของสีย้อม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 4 ระยะเวลาเขย่า 30 นาที ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที และการศึกษาของบุษยา มากงลาด (2555) พบว่าถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูง โดยเฉลี่ยร้อยละ 93.04 ที่ความเข้มข้นของสีย้อม 40 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 ระยะเวลาเขย่า 15 นาที ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

ไม้ยางพารามีปริมาณเซลลูโลสสูงถึงร้อยละ 50.63 (กัญติยา สดใส, 2555) เมื่อนำมาเผาจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ซึ่งหาได้ง่ายในท้องถิ่นมากำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ เพื่อใช้เป็นแนวทางให้กับผู้ประกอบการในท้องถิ่นโดยการนำผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ไปใช้ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะได้จริง

6. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

7. ตัวแปร

ตัวแปรต้น : ปริมาณถ่าน, pH, ระยะเวลาเขย่า
ตัวแปรตาม : ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ
ตัวแปรควบคุม : ความเร็วรอบในการเขย่า และความเข้มของสีย้อม

8. นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

8.1 สีย้อมผ้า หมายถึง การนำสีย้อมผ้าปาเต๊ะแบบผงมาทำละลายกับน้ำกลั่น โดยการศึกษานี้ใช้สีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อนำไปใช้ในการทดลอง

8.2 สีรีแอกทีฟ หมายถึง เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ อยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลส มีโมเลกุลค่อนข้างเล็กจึงแทรกซึมเข้าสู่เส้นใยได้ดี และคงทนต่อแสงและการซักได้ดี (บุษยา มากงลาด, 2555)

8.3 ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ หมายถึง ถ่านที่ได้จากการนำไม้ยางพารามาผ่านกระบวนการเผาจนกลายเป็นถ่าน และมีวางจำหน่ายตามท้องตลาด

8.4 ผ้าปาเต๊ะ หมายถึง ผ้าชนิดหนึ่งที่มีวิธีการทำโดยใช้เทียนปิดส่วนที่ไม่ต้องการให้ติดสี ลักษณะคล้ายผ้าบาติก แต่ต่างกันที่ลวดลายของผ้า หากเป็นลวดลาบที่ซับซ้อน วิจิตรสวยงาม ตั้งแต่สองลายขึ้นไปบนผ้าผืนเดียว

9 สมมุติฐาน

ผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ มากกว่าร้อยละ 70

10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

10.1 ทราบถึงปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

10.2 ทราบถึงระยะเวลาเขย่าและค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์กำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

10.3 สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุจากธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายตัวด้วยความร้อนจนได้ถ่านไม้ยางพารามาใช้กำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ

10.4 สามารถใช้เป็นทางเลือกให้กับผู้ประกอบการในท้องถิ่นใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ใช้ในบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าปาเต๊ะ

11 ขอบเขตการวิจัย

วิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ทำการศึกษาการนำถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์มาใช้กำจัด สีย้อมผ้าปาเต๊ะ ทดสอบโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เป็นชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กำหนดความเร็วรอบในการเขย่า 60 นาที ทดสอบสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ (1, 3, 5, 7 และ 9 กรัม) ระยะเวลาเขย่า (30, 60, 90 และ 120 นาที) และ pH (3, 4, 5, 6, 7 และ 8)

11.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

1) สารละลายสีย้อม ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

2) ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

11.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

พื้นที่เตรียมผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ และพื้นที่ที่ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

12. ตรวจเอกสาร

12.1 ผ้าปาเต๊ะ

ผ้าปาเต๊ะ เป็นคำที่ใช้เรียกผ้าชนิดหนึ่งที่มีการทำโดยใช้เทียนปิดส่วนที่ไม่ต้องการให้ติดสี และใช้วิธีการแต้ม ระบายสี หรือย้อมในส่วนที่ต้องการให้ติดสี ผ้าปาเต๊ะบางชิ้นอาจจะผ่านขั้นตอนการปิดเทียน แต้มสี ระบายสีและย้อมสีนับเป็นสิบ ๆ ครั้ง ส่วนผ้าปาเต๊ะอย่างง่ายอาจทำโดยการเขียนเทียนหรือพิมพ์เทียน แล้วจึงนำไปย้อมสีที่ต้องการ ผ้าชนิดนี้นิยมใช้กันในพื้นที่จังหวัดทางภาคใต้ ได้แก่ นราธิวาส ปัตตานี ยะลา และภูเก็ต เป็นต้น

12.1.1 กระบวนการทำผ้าปาเต๊ะ

สำหรับกระบวนการผลิตผ้าปาเต๊ะ ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การเตรียมผ้า การพิมพ์ลาย การแต้มหรือระบายสี การลงน้ำยากันสีตก การลวกเทียน การล้างผ้า และการตากผ้า ซึ่งมีรายระเอียดดังนี้

1) การเตรียมผ้า ซึ่งผ้าที่ใช้ในการทำผ้าปาเต๊ะเป็นผ้าที่ทำจากธรรมชาติและต้องไม่หนาเกินไป เพราะน้ำเทียนจะไม่สามารถซึมผ่านอีกด้านหนึ่งได้ และก่อนนำไปเขียนเทียนควรนำไปต้มด้วยน้ำด่างโซดาอ่อน เพื่อช่วยขจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนผิวผ้า โดยใช้ โซดาแอซ หรือผงซักฟอก และสบู่เทียม (wetting agent)

2) การพิมพ์ลาย เป็นการปิดส่วนที่ไม่ต้องการให้สีติดแล้วนำไปลงสีในส่วนที่ต้องการให้ติดสี ซึ่งจัดเป็นหัวใจในการทำผ้าปาเต๊ะ การเขียนเทียนด้วยชันติ้งจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด จะทำให้ได้ลายขนาดเล็ก และสามารถเขียนรายละเอียดได้มาก ส่วนการร่างภาพบนผ้าถ้าหากมีแบบอยู่แล้วก็สามารถสอดไว้ใต้ผ้า แล้วเขียนเส้นร่างตามที่มองเห็นจากด้านบนได้เลย ส่วนการพิมพ์ลายจะแกะลวดลายที่ต้องการลงบนผ้าขาว จัดว่าเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายผลิตได้รวดเร็ว แต่ลายที่พิมพ์เป็นลายซ้ำ จะมีลวดลายไม่ซับซ้อนมากนัก

3) การแต้มสี หรือระบายสี จะใช้สีผงที่เป็นสีสำเร็จรูปสำหรับผ้าปาเต๊ะโดยเฉพาะ เป็นสีรีแอกทีฟซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดีวิธีใช้จะนำสีผสมกับน้ำต้มสุกละลายให้เข้ากันแล้ว นำไประบายบนผ้าที่เตรียมไว้ตามต้องการ

4) การลงน้ำยากันสีตก เป็นการทำให้สีติดบนผืนผ้าอย่างถาวร โดยใส่น้ำยากันสีตก (โซเดียมซิลิเกต) ทาด้วยพู่กันให้ทั่วทั้งผืนผ้ามัสลิน ผึ่งให้โซเดียมซิลิเกตแห้งหรือประมาณ 3-6 ชั่วโมง

5) การลอกเทียนออกจากผ้า การต้มผ้าเป็นการลอกเอาเส้นเทียนออกจากตัวผ้า โดยต้มในน้ำเดือดใสผงซักผ้าหรือสบู่เหลว โดยจุ่มผ้าลงไปในน้ำเดือดให้จมทั้งผืน แล้วค่อยๆ ยกขึ้นมา ห้ามแช่ไว้นานจะทำให้ผ้าเสียได้ หากมีชิ้นงานเป็นจำนวนมากควรใช้ถังต้ม 2 ใบ โดยถังต้มใบแรกเป็นน้ำเพื่อเอาเทียนออกก่อน แล้วถังต้มใบที่ 2 ใช้น้ำผสมผงซักฟอกเพื่อกำจัดไขมันของเทียนออก หลังจากต้มผ้าเพื่อเอาเทียนออกแล้วจะมีเศษเทียนออกอยู่บ้าง ควรทำการขยี้ผ้าเบาๆ ในน้ำผงซักฟอกเพื่อให้เทียนหลุดออก แช่น้ำเปล่าทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปตากเพื่อให้สีส่วนเกินหลุดออกให้หมด

6) การล้างผ้า เมื่อได้ผ้าที่แห้งที่ผ่านการล้างเทียนออกแล้วจะทำการล้างผ้าอีกครั้งเพื่อกำจัดสีตกค้างจากการย้อมผ้า โดยซักผ้าปาเต๊ะด้วยความนุ่มนวลและไม่ควรขยี้หรือบิดผ้าแรงๆ เพราะจะทำให้ผ้าเสียทรง หลังจากซักผ้าเสร็จควรสลัดผ้าให้คลายตัวและไม่ย่น จะทำให้รีดผ้าได้ง่ายขึ้น

7) การตากผ้าและรีดผ้า เมื่อล้างผ้าแล้วจะนำผ้ามาตากให้แห้งโดยบิดน้ำออกพอหมาด แล้วนำไปตาก โดยกางออกทั้งผืน ไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งวางซ้อนกัน การตากควรตากไว้ในที่ร่มหรือผึ่งแดด เมื่อแห้งแล้วให้รีบเก็บอย่าปล่อยทิ้งไว้นานทำให้สีซีด และรีดให้เรียบร้อย

12.1.2 สีย้อมที่นิยมใช้ในกระบวนการย้อมผ้า

สีย้อม (dyestuffs) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมเส้นใยผ้า อาจจะเป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้และบางชนิดไม่สามารถละลายน้ำได้แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใย โดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก (ionic bond) หรือพันธะโควาเลนท์ (covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง ซึ่งสีย้อมที่ปรากฏนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโมเลกุลในสีย้อมนั้นมีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปคตรัมต่างกัน พลังงานที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วงประมาณ 400-700 นาโนเมตร สีย้อมมีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถดูดกลืนพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน ซึ่งสายตาสามารถรับภาพได้ทำให้โมเลกุลสีย้อมต่างกัน แสดงสีให้เราเห็น

ด้วยสายตาออกมาแตกต่างกันไป การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้โดยพิจารณาจากความคงทนต่อการซัก แสง และความร้อน ซึ่งสีย้อมแต่ละประเภทจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติ ตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการเลือกใช้สีย้อมจึงมีความสำคัญอย่างมากในการย้อมสี เพราะวัตถุที่ต้องการย้อมอาจสามารถย้อมด้วยสีย้อมเพียงชนิดเดียวหรือย้อมด้วยสีย้อมหลายชนิดที่ต่างชนิดกันได้

สำหรับสีที่ใช้ในการทำย้อมผ้าจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและการใช้งานกับผ้าชนิดต่าง ๆ การเลือกใช้สีย้อมควรเลือกใช้สีที่ติดในสภาพที่เย็น เนื่องจากการย้อมสีผ้าปาเต๊ะไม่ใช้ความร้อนเพราะมีการพิมพ์ลายเทียนจะทำให้เทียนละลายหลุดออก จนทำให้ไม่สามารถกั้นสีได้ อีกทั้งเทียนที่ใช้ในการเขียนไม่ทนต่อสารเคมีที่มีความเข้มข้น สารเคมีเหล่านี้อาจทำปฏิกิริยากับเทียนทำให้เทียนหลุดออกจากผ้าได้ และขั้นตอนสุดท้ายของการทำผ้าปาเต๊ะต้องมีการต้มละลายเทียนในน้ำร้อน เพื่อทำความสะอาดให้เทียนหลุดออก สีบางประเภทไม่ทนต่อความร้อนอาจทำให้สีหลุดหรือจางได้ ซึ่งสีที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตผ้าปาเต๊ะในพื้นที่จังหวัดนราธิวาส ยะลา และปัตตานี เป็นสีรีแอกทีฟ (reactive dyes) เนื่องจากละลายได้ทั้งน้ำร้อนและน้ำเย็น สามารถย้อมเส้นใยเซลลูโลสซึ่งเป็นผ้าที่ใช้ในการผลิตผ้าปาเต๊ะส่วนใหญ่ได้ดี ติดผ้าได้ง่าย สีสดใส ย้อมผ้าติดได้เร็ว ผ้าติดสีสม่ำเสมอ ผสมสีได้ดี รวมถึงโรงงานซาโลมาปาเต๊ะก็ใช้สีย้อมชนิดนี้ด้วย

12.1.3 ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนย้อมล้างผ้า

หากคิดเป็นปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสิ่งทอแล้ว จะพบว่าโดยเฉลี่ยแล้วในการผลิตน้ำหนัก 1 ปอนด์ จะใช้น้ำในกระบวน 20 แกลอน หรือ ผ้า 1 กิโลกรัม จะใช้น้ำ 167 (กัญตียา สดใส, 2555) ในส่วนของโรงงานซาโลมาปาเต๊ะ มีน้ำเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตผ้าปาเต๊ะ 4,396 ลิตรต่อวัน หรือ 77 ลิตร ต่อผ้าปาเต๊ะ 1 ผืน และการสัมภาษณ์คุณไบซูรา ยูโซะ นอกจากปริมาณน้ำที่ใช้แล้วยังมีการใช้สารเคมีต่างๆ เช่น สีย้อม เกลือ และโซเดียมซิลิเกต เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากกระบวนการผลิตก็จะกลายเป็นมลพิษในน้ำ ซึ่งต้องทำการกำจัดต่อไป

12.1.4 ความเป็นพิษของสีย้อมที่ใช้ในกระบวนย้อม

สีย้อมเป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษต่ำ โดยไม่พบว่าผู้ที่ทำงานในโรงงานผลิตผ้าปาเต๊ะหรืออุตสาหกรรมสิ่งทอมีอันตราย ตาย หรือเจ็บป่วยสูงกว่าอาชีพอื่นแต่อย่างใด สีย้อมอาจเข้าสู่ร่างกายของผู้ใช้ได้ 3 ทาง คือ ทางจมูกโดยการสูดดม ทางผิวหนังโดยการสัมผัส และทางระบบทางเดินอาหารโดยปนเข้าไปกับอาหารการกิน โดยทั่วไปมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียของโรงงาน มีดังนี้

1) ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (toxic to stream life) น้ำเสียจากการย้อมผ้ามักมีสารพิษ ซึ่งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำและจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา

2) การลดของปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำ (oxygen depletion in stream water) น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง เนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟต์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสีย้อมบางประเภท

3) ทำให้สภาวะทางกายภาพเสื่อมลง (physical impairment of stream condition) น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิดความรู้สึกน่ารังเกียจต่อผู้พบเห็น ทำให้สภาพคูคลองและลำน้ำไม่น่าดู นอกจากสีย้อมที่มีความเข้มสูงจะขัดขวางการเดินทางของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำนั้น

12.1.5 การกำจัดน้ำเสียของโรงงานย้อมผ้า

สีย้อมและสารเคมีที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ แม้จะมีการโต้เถียงว่าสีย้อมไม่ควรถูกจัดให้เป็นสารก่อมลภาวะในน้ำ แต่ก่อให้เกิดความรู้สึกน่ารังเกียจต่อคนทั่วไป ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าก่อนจะถูกปล่อยออกนอกโรงงานจะต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อทำการกำจัดสารต่างๆ รวมทั้งสีที่ตกค้างก่อน วิธีการต่างๆ ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 5 ประเภทหลัก (กัญติยา สดใส, 2555) (**ตารางที่ 2.1-1**)

ตารางที่ 2.1-1 เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดสี

Process	Color Removal	Capacity	Speed	Cost	Treatment
1) Chemical Coagulation	Good	Large	Good	Large	Solid Removal Nitrification
2) Activated Charcoal	Very Good	Small	Slow	High	Regeneration
3) Ozone Treatment	Good	Large	Medium	High	By Product
4.Membrane Technology	Good	Large	Fast	High	Dyestuff of Dyes in wastewater
5) New Technology (Electrolysis/Inorga nic Adsorption)	Good	Large	Fast	Medium	Adsorption of Dyes in Wastewater

ที่มา: กัญติยา สดใส (2555)

12.2 ไม้ยางพารา

ยางพารา (pará rubber wood หรือนิยมใช้ rubber wood หรือ para wood) บางครั้งเรียกย่อว่า ไม้ยาง เป็นไม้ที่ได้จากต้นยางพารา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (กัญติยา สดใส, 2555) และจัดเป็นไม้ยืนต้นที่จัดเป็นไม้เนื้ออ่อนและหยาบ อยู่ในสกุล (Genus) Hevea วง (Family) Euphorbiaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบลุ่มแม่น้ำอเมซอน ในทวีปอเมริกาใต้ และนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้

12.2.1 ลักษณะโครงสร้างของไม้ยางพารา

ไม้ยางพาราไม่มีวงเจริญเติบโตให้เห็นเด่นชัดทางด้านหน้าตัด แต่จะเห็นเป็นลายไม้ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความแน่นของไฟเบอร์และปริมาณความหนาแน่นของหมู่เยื่อ parenchyma ด้านข้างพอร์ (pore) เดี่ยวและแฝด 2-3 คละกัน กระจายห่างๆ อย่างสม่ำเสมอ มี metatracheal Parenchyma (concentric) ตัดกับ ray เห็นเป็นลักษณะตาข่ายทางทางด้านหน้าตัด (สำนักงานวิชาการป่าไม้, 2543)

12.2.2 คุณสมบัติทางเคมี

ไม้ยางพาราเป็นไม้ที่มีลักษณะลำต้นกลม สูงปานกลาง เปลือกสีเทาดำ มองทางด้านหน้าตัดจะเห็นท่อน้ำยาง (latex vessel) ต่อกันเป็นวงตามแนวด้านสัมผัส (tangential) เนื้อไม้มีสีขาวอมเหลือง เมื่อสดและจะมีสีขาวจาง เมื่อแห้งเนื้อจะหยาบปานกลาง เสี้ยนตรงวงรอบปีไม่เห็นชัด ไม่มีแกน ส่วนเรย์ (ray) มีขนาดเล็กมากและมีสีอ่อนกว่าเนื้อไม้ และพอร์ (pore) เป็นแบบ Radial Multiple ซึ่งการเรียงตัวจะตัดกันระหว่างเรย์กับเมตาทราพาเรงคิมา (metatracheal parenchyma) ทำให้มองดูเนื้อไม้คล้ายตาข่าย มีความหนาแน่นพื้นฐาน 0.56-0.65 กรัมต่อลูกบาศก์ สำหรับที่ความชื้นร้อยละ 15 มีความหนาแน่นประมาณ 0.67-0.74 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าใกล้เคียงกับไม้ Soft Maple ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของยางพารานั้น ๆ สำหรับขนาดเส้นใยไม้ยางพารา 1.26 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างประมาณ 0.021 มิลลิเมตร คุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราสดเมื่อคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ประกอบด้วย สารแทรก (extractives) ร้อยละ 13.28 (สำหรับสารแทรกแบ่งเป็นสารที่สามารถละลายในน้ำรวม ร้อยละ 10.36 และละลายได้ในสารละลายรวม ร้อยละ 23.24) เซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 50.63 (โดยแบ่งเป็น holocellulose ร้อยละ 78.72 และ Alpha Cellulose ร้อยละ 49.41) นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เป็นเพนโตซาน (pentosan) และลินิน (Lignin) คิดเป็นร้อยละ 17.17 และ 18.06 ตามลำดับ (โครงการพัฒนาความร่วมมือด้านอุตสาหกรรมกับเพื่อนบ้านอ้างในถึงบริษัท บูรพากรุ๊ป จำกัด, 2556) บางรายงานพบว่าคุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราแตกต่างไป

จากนี้ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของยางพาราและวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยเฉพาะสายแทรก (ร้อยละ 5.59) แม้เป็นองค์ประกอบเพียงส่วนน้อยแต่จะมีบทบาทสำคัญคือ การมีปริมาณสารแทรกชนิดต่างๆ อยู่มากน้อยไม่เท่ากันจะทำให้ไม้นั้นมีสีคล้ำหรือสีแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังทำให้มีความทนทานต่อการทำลายของแมลงและเห็ดราแตกต่างกันด้วย การมีปริมาณสารแทรกอยู่มากนั้นมีส่วนสำคัญที่ทำให้ไม้มีการคงรูปดีขึ้น การหดตัวเมื่อแห้งจะน้อยกว่าปกติและหลังจากแห้งแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างน้อย แม้ว่าจะถูกนำไปใช้งานในสภาวะอากาศที่มีความรุนแรง (กัญติยา สดใส, 2555)

วัสดุที่มีองค์ประกอบของลิกนิน โฮโมเซลลูโลส และเซลลูโลส มีองค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชั่นนอลจำนวนมากมาก เมื่อนำไปดูดซับที่รูปของสารละลายจะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับสารละลาย ทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับดี รวมทั้งเซลลูโลสมีลักษณะที่เป็นรูพรุนที่เกิดจากท่อลำเลียงต่างๆ เมื่อนำมาเผาจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่สามารถเกิดการดูดซับเพิ่มขึ้น (อรทัย วิเศษรัตน์, 2554)

2.3 การเผาถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

ถ่านเป็นวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้ในการให้ความร้อน เมื่อเผาจนความร้อนอยู่ในระดับหนึ่งไม้ดิบจะกลายเป็นถ่าน ถ้าเป็นการเผาไหม้ในอากาศเปิดกระบวนการเผาไหม้จะดำเนินไปจนกระทั่งเหลือแต่ขี้เถ้า แต่ถ้าถูกเผาไหม้ในสภาพอากาศปิดหรือจำกัดอากาศ ทำให้ออกซิเจนมีน้อย ท่อนไม้ไม่สามารถลุกไหม้ได้จนถึงขั้นตอนสุดท้าย ไม้จึงเปลี่ยนสภาพกลายเป็นก้อนถ่านสีดำ ซึ่งกระบวนการนี้ เรียกว่า คาร์บอไนเซชัน (carbonization) ซึ่งเป็นหลักการเบื้องต้นในการผลิตถ่านตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (กรมอนามัย กระทรวงสิ่งแวดล้อม, 2555) การเผาถ่านให้ได้ถ่านที่ดี คือการให้ความร้อนสูงในระดับที่เหมาะสม เพราะหากให้ความร้อนเป็นเวลานาเกินไปจะทำให้ถ่านไม้เกิดภาวะกรอบและแตกง่าย

สำหรับขั้นตอนการเผาถ่านเริ่มต้นจากการคัดไม้มาทุบเปลือกออกและตัดให้ได้ขนาดที่พอดี จากนั้นนำท่อนไม้ที่ตัดไปเรียงในเตาเผา และเว้นพื้นที่กองท่อนไม้ที่รอเตรียมเผาทางเข้าด้านหน้าเตาไว้ จากนั้นก่ออิฐมอญปิดปากทางเข้าโดยใช้ดินและน้ำเป็นตัวประสานเพื่อเป็นการจำกัดอากาศระหว่างการเผา แต่ทั้งนี้การก่อจะต้องเว้นช่องด้านล่างสุด ไว้ประมาณ 1x1 ตารางฟุต เพื่อเติมเชื้อเพลิงในการเผา ในช่วงระยะการเผาจะต้องมีการใส่เชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเศษไม้ที่มีขนาดเล็ก โดยการเติมเชื้อเพลิงในช่วงแรกความร้อนจะค่อยๆ ไล่ระดับเพิ่มขึ้น จนเมื่อความ ร้อนสูงขึ้นถึง 180 องศาเซลเซียส น้ำที่อยู่ภายในเซลล์ของต้นไม้จะระเหยออกมาก่อน เป็นการไล่ความชื้น หรือการดึงโมเลกุลของน้ำออกจากสาร เรียกว่า ดีไฮเดรชัน (dehydration) เมื่อความร้อนภายในเตาเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิประมาณ 270-400 องศาเซลเซียส เฮมิเซลลูโลส (hermicelluloses) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้จะมีการสลายตัวทำให้เกิดก๊าซ

แม้ว่าท่อนไม้จะเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้กระทั่งกลายเป็นถ่านอย่างสมบูรณ์แล้ว ก็ยังไม่สามารถนำมาใช้ได้ทันที เพราะยังต้องมีการเผาถ่านต่อไปอีกระยะหนึ่งกระทั่งความร้อนเข้าสู่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส เพื่อสลายน้ำมันดินที่ยังคงมีอยู่ในถ่านสลายตัวให้หมด เนื่องจากน้ำมันดินเหล่านี้เมื่อมีการเผาไหม้จะเกิดสารประกอบเบนโซไพรีน (benzopyrene) และไดเบนซาน ทราซีน (dibenzanthracene) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นหากมีการนำถ่านที่ยังมีสารน้ำมันดินสะสมอยู่ไปใช้ประกอบอาหารก็จะเกิดอันตรายต่อได้ ในขั้นตอนนี้เป็นการทำถ่านให้บริสุทธิ์ เรียกว่า รีไฟน์เมนท์ (refinement) หลังจากนั้นก็จะมีการพักถ่านให้เย็นลง โดยจะหยุดให้ความร้อน เปิดช่องทางระบาย เพื่อให้อุณหภูมิลดต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ถ่านสามารถลุกติดไฟเองได้ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ)

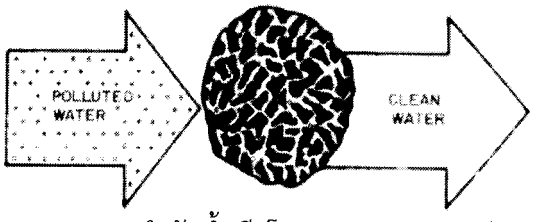
สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่ผลิตโดยวิธีพื้นบ้านในชุมชน จากการสัมภาษณ์ผู้ผลิตถ่านไม้ยางพารารายย่อยในจังหวัดสตูล คุณอัญชรีย์ สะแซเลาะ (2562) ได้กล่าวว่าถ่านไม้ยางพาราที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นปีกไม้หรือเศษปลายไม้ยางพารา ซึ่งหาได้ตามสวนยางพาราที่หักโค่นเป็นเศษไม้มาผ่านกระบวนการเผาจนกลายเป็นถ่าน ที่โรงเผาถ่านแบบชุมชน บ้านบ่อหิน ตำบลเขาขาว อำเภอละงู จังหวัดสตูล ซึ่งใช้วิธีการเผาแบบเตาลาน จำนวน 3 เตา ในการเผาแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการเผาถ่านประมาณ 2-3 วัน และจะได้ถ่านในแต่ละครั้งประมาณ 25-30 กระสอบ กระสอบละ 15 กิโลกรัม ราคาจำหน่ายหน้าเตากระสอบละ 140 บาท แบ่งจำหน่ายเป็นถุงเล็ก ถุงละ 1.5 กิโลกรัม ราคา 15 บาท โดยส่วนใหญ่จะจำหน่ายให้กับพ่อค้าแม่ค้าในพื้นที่

2.4 การดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) เป็นกระบวนการกำจัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ-เคมี การดูดซับเกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิว กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นที่ระหว่างผิวหน้าของสองสภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ของสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีพื้นผิวเป็นที่เกาะจับของสารถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent)

การดูดซับของถ่านถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดีและน้ำเสีย เพื่อใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกที่ละลายน้ำบางชนิด ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกจากน้ำเสีย เช่น บีโอดี ซีโอดี สี กลิ่น รส โลหะหนัก และยาฆ่าแมลง เป็นต้น เนื่องจากการดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มีประสิทธิภาพสูง และระบบมีความทนทานต่อสารพิษซึ่งเป็นข้อจำกัดของระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังไม่มีผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพีเอช อุณหภูมิ หรือปริมาณสารอินทรีย์ (organic load)

ในระบบ ใช้เงินลงทุนต่ำ และระบบมีความยืดหยุ่นสูง สามารถเพิ่มหรือลดขนาดของระบบได้ง่าย การบำบัดโดยใช้การดูดติดผิวมีหลักการ (**ภาพที่ 12.4-1**)



ภาพที่ 12.4-1 การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการดูดซับของถ่าน

ที่มา: ลลิดา นิทัศนจารุกุล (2544)

12.4.1 วัสดุที่นิยมนำมาผลิตเป็นตัวดูดซับ

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 5 ประเภท

1) สารอนินทรีย์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมีหลายชนิด อาทิเช่น ดินเหนียว แมกนีเซียมออกไซด์ ซิลิกากัมมันต์ อะลูมิเนียมกัมมันต์ และถ่านกระดูก เป็นต้น ตัวดูดซับสารอนินทรีย์จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม และดูดซับโมเลกุลสารเพียงกี่ไม่กี่ชนิดทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากสารดูดซับสารอนินทรีย์มีขีดจำกัด

2) ถ่านและถ่านกัมมันต์ เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพและมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านต่าง ๆ เช่น ฟอกสี ใช้ในการกำจัดกลิ่นและรส ใช้ในการกำจัดตะกอนในโรงงานเบียร์ เป็นต้น

3) สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

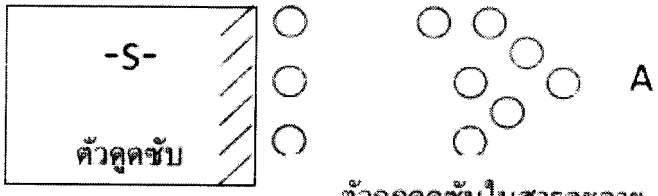
4) วัสดุชีวภาพ ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางด้านการเกษตร เช่น ขี้เลื่อย เปลือกกุ้ง (นำมาเป็นไคโตซาน) กากกาแฟที่ใช้แล้ว กากถั่วเหลือง และฟางข้าว เป็นต้น

5) สารดูดซับชีวภาพ ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรียยีสต์ หรือราสายพันธุ์ต่าง ๆ และสาหร่าย

12.4.2 สมดุลการดูดซับ

สมดุลการดูดซับ (adsorption equilibrium) เกิดขึ้นเมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในสารละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้มข้น ในช่วงเริ่มต้นโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลถูกดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายออก พบว่าอัตราการคายจะ

เกิดน้อยกวาอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายซับ ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่าจำนวนโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่คายออกมามีปริมาณคงที่ (บุษยา มากงลาด, 2555)



ภาพที่ 2.4-2 สภาวะสมดุล

ที่มา: บุษยา มากงลาด (2555)

12.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

สำหรับปัจจัยนี้มีผลกับการดูดซับ (บุษยา มากงลาด, 2555) มีดังนี้

1) ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ film diffusion หรือ pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบาง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วกว่าเคลื่อนที่เข้าหารูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

2) ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ความสารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ สารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้มากกว่าสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราเร็วการดูดซับเป็นอัตราเร็วส่วนผกผันกับขนาดสารดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (powder activated carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกล็ด (granular activated carbon ,GAC)

3) ขนาดและลักษณะของสารถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของสารดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อมีสารขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอดี ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารถูกดูดซับและสารดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความสารถในการดูดซับจะลดลง

4) ความสารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดซับ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถดูดซับได้ดี

5) ค่าความเป็นกรดด่าง pH ของสารตัวทำละลายจะมีผลต่อการดูดซับ เนื่องจาก pH จะมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของตัวถูกละลาย ถ้าสารละลายเป็นกรดจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง

6) อุณหภูมิ มีผลต่ออัตราเร็วและขีดความสารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดลงอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะลดลงที่อุณหภูมิสูงและตะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบกระบวนการคายความร้อน

7) เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับและอายุการใช้งานของตัวดูดซับ โดยเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย

12.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษากำจัดสีย้อมผ้าโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรเป็นวัสดุดูดซับ มีรายละเอียดดังนี้ (**ตารางที่ 12.4-1**)

ตารางที่ 12.4-1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อวิจัย	ผลการศึกษา	อ้างอิง
ศึกษาการกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาดอยตุง ด้วยไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับของไม้ยางพาราอบแห้งและถ่านไม้ยางพารา ผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นของสีย้อม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ pH 2 และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 10 นาที ถ่านไม้ยางพารามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 80.03 ส่วนไม้ยางพาราอบแห้งมีประสิทธิภาพในกำจัดสีย้อมต่ำกว่าที่ pH 2 ความเร็วรอบในการเขย่า 50 รอบ/นาที และระยะเวลาในการเขย่า 60 นาที โดยกำจัดได้เฉลี่ยร้อยละ 73.85	กัญติยา สดใส (2555)

ตารางที่ 2.5-1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

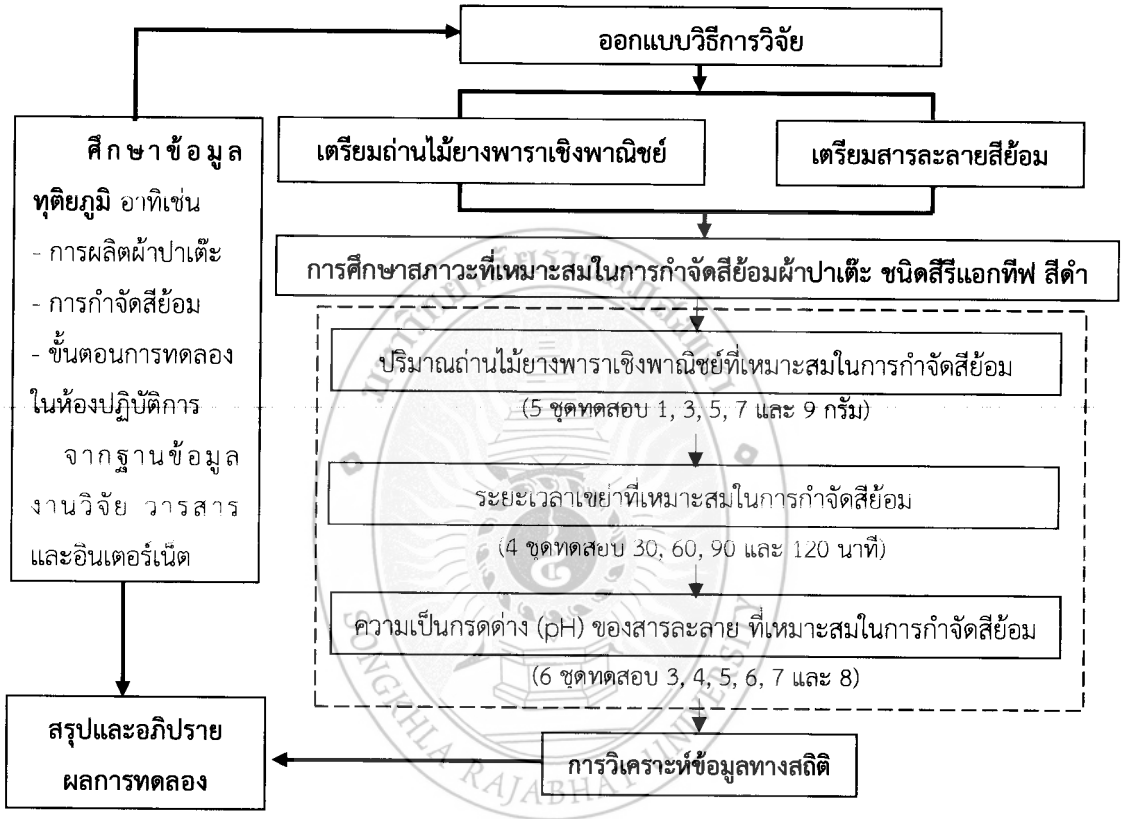
ชื่อวิจัย	ผลการศึกษา	อ้างอิง
ศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาดอยตุง ด้วยผงผักตบชวา และถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์	ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดของผงใบผักตบชวาอบแห้งและถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์ ผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นของสีย้อม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 7 ความเร็วรอบในการเขย่า 50 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 60 นาที และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 30 นาที เกล็ดถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 93.04 ส่วนผงใบผักตบชวาอบแห้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมต่ำ ที่ pH 5 ความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบ/นาที ระยะเวลาในการเขย่า 30 นาที และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 150 นาที กำจัดสีย้อมได้เฉลี่ยร้อยละ 55.43	บุษยา มากงลาด (2555)
ศึกษาการกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาดอยตุง โดยใช้ตัวดูดซับจากผักตบชวาและกกกลม	ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับของลำต้นผักตบชวาและกกกลมอบแห้ง ผลการศึกษา พบว่า ที่ความเข้มข้นของสีย้อม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่pH 4 ความเร็วรอบในการเขย่า 50 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 30 นาที และระยะเลาเข้าสู่สมดุล 90 นาที ผักตบชวาอบแห้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 76.21 ส่วนกกกลมอบแห้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมต่ำที่ pH 7 ความเร็วรอบในการเขย่า 50 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 15 นาที และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 30 นาที กำจัดสีย้อมได้เฉลี่ยร้อยละ 56.14	อคปภา สุขอัจจะสกุล (2555)

การผลิตผ้าปาเต๊ะ (โสร่งปาเต๊ะ) ในอุตสาหกรรมชุมชน มีการนำสีย้อมมาใช้เพื่อเพิ่มความสวยงามและความคงทนต่อสี ส่วนใหญ่เมื่อใช้งานแล้วจะเทน้ำปนเปื้อนสีย้อมลงดิน หรือลงคูคลอง ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

13. วิธีการวิจัย

13.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะด้วยถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ มีกรอบแนวคิดในการวิจัย (**ภาพที่ 13.1-1**)



ภาพที่ 13.1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

13.2 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

13.2.1 อุปกรณ์

1) ตะแกรงร่อน (test sieve) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง 0.5 มิลลิเมตร

2) ตู้อบแห้ง (hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น AH-80D2

3) ตู้ดูดความชื้น (desicator chamber) ยี่ห้อ Bossmen รุ่น BK 98 (A)

4) เครื่องเขย่า (orbital shaker) ยี่ห้อ N-Biotek รุ่น NB-1015

5) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Clean รุ่น pH 30

6) เครื่องยูวีวิซิเบิลโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ยี่ห้อ PG Istrument รุ่น T80+

7) เครื่องชั่ง (balance) แบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toled รุ่น PL3002

8) ชุดกรองสุญญากาศพร้อมปั๊ม (suction air pump)

9) เครื่องกวนสารโดยใช้แม่เหล็ก (hotplate stirrer) ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG HS 7

13.2.2 วัสดุ

1) ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

2) โกร่งบด (motar and pestle)

3) กระดาษกรองใยแก้ว GF/C (glass microfiber filter grade GF/C) ขนาด 47 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Whatman

4) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)

5) ขวดรูปชมพู (erlenmeyer flask)

6) กระบอกตวง (cylinder)

7) บีกเกอร์ (beaker)

8) หลอดทดลอง (test tube)

9) ปิเปต (pipette)

13.2.3 สารเคมี

1) สีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

2) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid; HCl)

3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH)

13.3 การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

13.3.1 เตรียมถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์

นำถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ มาบดด้วยโกร่งบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น หลังจากนั้นเก็บผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ลงไว้ใช้ในการศึกษาต่อไป

13.3.2 เตรียมสารละลายสีย้อม

นำสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ จากโรงงานซาโลมาปาเต๊ะ สามารถตรวจวัดได้ที่ความยาวคลื่น 594 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (บุษยา มากงลาด, 2555)

1) การเตรียมสารละลายสีย้อมที่ใช้ทดสอบ (เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร) ชั่งสีย้อมชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ปริมาณ 0.05 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร เพื่อใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์

2) เตรียมกราฟมาตรฐาน ใช้สีย้อมความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยดูดสารละลายสีย้อมมาตรฐานที่เตรียมไว้มาจำนวน 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 594 นาโนเมตร แล้วนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมผ้าปาเต๊ะ

13.4 วิธีการวิเคราะห์

สำหรับวิธีการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านไม้ยางพารากำจัดสีย้อมถ้าปาเต๊ะ ซึ่งสภาวะที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ระยะเวลาเขย่า และ pH พร้อมทั้งนำผลที่ได้ไปทดลองใช้ประโยชน์กับน้ำทิ้ง

13.4.1 การศึกษาปริมาณถ่านที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

ชั่งผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ปริมาณ 1, 3, 5, 7 และ 9 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายสีย้อมเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 60 นาที กรองด้วยชุดกรองสุญญากาศและนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ของผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 594 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

13.4.2 ศึกษาระยะเวลาเขย่าที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

ชั่งผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ที่ให้ร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองในข้อ 13.4.1 ลงในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายสีย้อมเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่าต่างๆ คือ 30, 60, 90 และ 120 นาที กรองด้วยชุดกรองสุญญากาศและนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ของผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 594 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

13.4.3 ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ

ชั่งผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่ให้ร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองในข้อ 13.4.1 ลงในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายสีย้อมเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับ pH ให้มีค่าต่างกันคือ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ลงในแต่ละขวด ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่าที่เหมาะสมจากข้อ 13.4.2 กรองด้วยชุดกรองสุญญากาศและนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ ของผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ตามสมการที่ (1) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 594 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

13.4.4 ศึกษาการใช้ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์กำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ จากน้ำทิ้ง

นำน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าปาเต๊ะ ของโรงงานซาโลมาปาเต๊ะ มาทำการทดสอบการใช้ประโยชน์ถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ในการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้ง โดยนำน้ำทิ้งไปกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C เก็บน้ำที่ได้มาทำการทดสอบประสิทธิภาพของถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ในการกำจัดสีย้อม โดยชั่งผงถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ 7 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำทิ้ง ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 5 นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 60 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 594 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

สูตร การคำนวณประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้า

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม} = \frac{(C_0-C_e)}{C_0} \times 100 \quad \text{.....สมการที่ (1)}$$

โดยที่ C_0 ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ

C_e ความเข้มข้นหลังการดูดซับ

13.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 ส่วน มีรายละเอียดดังนี้

1) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละ เพื่อนำเสนอผลการศึกษา

2) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติแบบอ้างอิง ได้แก่ One-Way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบชุดทดสอบแต่ละชุดกับร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมตามสภาวะที่ทำการศึกษาในแต่ละชุดทดสอบ และ Independent Samples T-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของถ่าน 7 และ 9 กรัม

14. แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2561				2562						
	ส.ค.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. รวบข้อมูลและตรวจเอกสาร											
2. สอบโครงร่างวิจัย						▲					
3. ทำการทดลองงานวิจัย											
4. วิเคราะห์ข้อมูล											
5. สอบความก้าวหน้า									▲		
6. สรุปผลการทดลอง											
7. สอบจบเล่มวิจัย									▲		
8. เขียนและแก้ไขเล่มวิจัย											

15. งบประมาณ

รายการ	งบประมาณตลอกโครงการ
ค่าใช้สอย	
• ค่าถ่ายเอกสาร การค้นคว้าหาข้อมูล	500
• ค่าใช้จ่ายเกี่ยวเนื่องกับงานวิจัย	500
ค่าวัสดุอุปกรณ์	
• ค่าวัตถุดิบ	100
• ค่าทำเล่มรายงานวิจัย	1,000
• ค่าอุปกรณ์อื่นๆ	1,000
รวม	**3,100**

16. อ้างอิง

กัญติยา สดใส. (2555). **การกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาดอยตุงด้วยไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กนกวรรณ พลอยดี. (2554). **ประวัติความเป็นมาของผ้าปาเต๊ะ.**, เข้าถึงได้จาก. https://sites.google.com/site/kanokvanschool/prawati-khwam-pen-ma (10 กรกฎาคม 2561)

กำชัย นุ้ยธิติกุล. (2548). **การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับสีย้อมของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน.** โครงการวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ขจรพงศ์ จูมั่น. (2541). **การกำจัดสีจากสีย้อมธรรมชาติด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ขนิษฐา. (2559) **ประเภทของสีย้อม**. เข้าถึงได้จาก: http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=370&pageid=6&read=true&count=true (7 กรกฎาคม 2561)

จักรกฤษณ์ อัมพุช และคณะ. (2560). **การดูดซับสีย้อมรีแอ็คทีฟแบล็ค 5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากผักตบชวา**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลับอุบลราชธานี.

นวัฒน์ ศาสนนันทน์. (2554). **วัสดุดูดซับ จากธรรมชาติ**. เข้าถึงได้จากจาก: www.ssruir.ssru.ac.th (3 กรกฎาคม 2561)

นิสาพร มูหะมัด, สมภพ เภาทอง, อุบล ตันสม, และปิยศิริ สุนทรนนท์. (2559). **การดูดซับด้วยกากชา**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. (2550). **หลักการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญส่ง จุฑารัตน์. (2555). **การกำจัดสีรีแอคทิฟแบล็ค 5 จากสารละลายโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

บุษยา มากงลาด. (2555). **การดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาดอยตุงด้วยผงใบผักตบชวาและถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐยา พูนสุวรรณ. (2545). **การเตรียมและวัดสมบัติถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์และชานอ้อยโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุรนารี.

พัชรินทร์ ฤชุวรารักษ์ และพันธุ์ทิพย์ ตาทอง. (2557). **การเผาถ่านวิถีดั้งเดิมของชุมชนท้องถิ่นสู่เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก**. เข้าถึงได้จาก https://www.tci-thaijo.org/index.php/bruj/article (17 ธันวาคม 2561)

พิเชษฐ์ หนูหมื่น. (2557). **การดูดซับสีในน้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติกด้วยอิฐมอญบด.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

รุ่งนภา สุขสว่าง. (2549). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมและโลหะหนักในน้ำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา.

รวินิภา ศรีมูล. (2559). **การบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการดูดซับ.** สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.

ลลิดา นิทัศนจารุกุล. (2544). **การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วนิดา ชูอักษร. (2555). **เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม.** วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วิรังรอง แสงอรุณเลิศ. (2552). **ปัจจัยการดูดซับสีย้อม.**, เข้าถึงได้จาก https://pradthana.wordpress.com/tag/ปัจจัยการดูดซับ (16 ธันวาคม 2562)

ศศิธร มั่นเจริญ. (2552). **การเตรียมสารละลายสีย้อม.**, เข้าถึงได้จาก https://www.tci-thaijo.org (16 ธันวาคม 2562)

สราวุธ ศรีคุณ. (2550). **การศึกษาการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่ว ด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อรดี ฤทธิชัย และศศิธร มั่นเจริญ. (2557). **การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปู.** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

อรทัย วิเศษรัตน์ และคณะ. (2554). **การดูดซับน้ำมันโดยชานอ้อยและชานอ้อยปรับสภาพ.** คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

Uddin, M.T., M.S. Islam and M.Z. Abedin. 2007. **Adsorption of phenol from aqueous solution by water hyacinth ash.** Department of chemical Engineering and Polymer Science, Bangladesh

ภาคผนวก

ภาคผนวก ข

ภาพประกอบการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการศึกษา

(ก) ถ่านไม้ยางพารา

(ข) บดด้วยโกร่งบด

(ค) ร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 0.5 mm

(ง) ผงถ่านไม้ยางพารา

(จ) อบไล่ความชื้น อุณหภูมิ 105°C

(ฉ) ผงถ่านที่ใช้ในการศึกษา

ภาพแสดงการเตรียมตัวอย่างถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการศึกษา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

2. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ คือสารละลายสีย้อม ชนิดรีแอกทีฟ สีดำ เข้มข้น 50 mg/L

(ก) ชั่งสีย้อม 0.05 g

(ข) ปรับปริมาตร 1,000 mL

ภาพแสดงการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม

3. การศึกษาปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ ที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ โดยศึกษา 5 ชุดทดสอบ ได้แก่ 1, 3, 5, 7 และ 9 กรัม

(ก) ชั่งถ่าน และเติมน้ำเสียสังเคราะห์

(ข) เขย่าความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที

(ค) กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C

(ง) วัดค่าการดูดกลืนแสง 594 nm

ภาพแสดงขั้นตอนการทดสอบปริมาณถ่านไม้ยางพารา ที่มีผลกับการดูดซับสีย้อม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4. การศึกษาปัจจัยด้านระยะเวลาย่า ที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ โดยศึกษา 4 ชุดทดสอบ ได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 นาที

(ก) ชั่งถ่าน และเติมน้ำเสียสังเคราะห์

(ข) เขย่าความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที

(ค) กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C

(ง) วัดค่าการดูดกลืนแสง 594 nm

ภาพแสดงขั้นตอนการทดสอบระยะเวลาเขย่า ที่มีผลกับการดูดซับสีย้อม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

5. การศึกษาปัจจัยด้านความเป็นกรดด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมผ้าปาเต๊ะ ชนิดสีรีแอกทีฟ สีดำ โดยศึกษา 6 ชุดทดสอบ ได้แก่ pH 3, 4, 5, 6, 7 และ 8

(ก) ชั่งถ่าน และเติมน้ำเสียสังเคราะห์

(ข) เขย่าความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที

(ค) กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C

(ง) วัดค่าการดูดกลืนแสง 594 nm

ภาพแสดงขั้นตอนการทดสอบความเป็นกรดด่าง ที่มีผลกับการดูดซับสีย้อม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาปริมาณถ่านไม้ยางพาราเชิงพาณิชย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าปาเต๊ะ

ปริมาณผงถ่าน (g)	ABS	ABS-B	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (mg/L)	ประสิทธิภาพ (%)	ประสิทธิภาพเฉลี่ย (%)	SD
0	0.404	0.348	51.66	51.60	-	-	-
	0.405	0.349	51.84		-		
	0.402	0.346	51.30		-		
1	0.322	0.266	37.02	37.79	28.26	27.48	3.00
	0.337	0.281	39.70		23.07		
	0.32	0.264	36.66		28.95		
	0.318	0.262	36.30		29.64		
3	0.253	0.197	24.70	24.70	52.14	52.14	2.46
	0.243	0.187	22.91		55.60		
	0.259	0.203	25.77		50.06		
	0.257	0.201	25.41		50.75		
5	0.207	0.151	16.48	17.73	68.06	65.64	3.08
	0.211	0.155	17.20		66.67		
	0.224	0.168	19.52		62.17		
7	0.155	0.099	7.20	5.72	86.05	88.91	1.97
	0.145	0.089	5.41		89.51		
	0.142	0.086	4.88		90.55		
	0.145	0.089	5.41		89.51		
9	0.138	0.082	4.16	4.82	91.94	90.67	2.50
	0.137	0.081	3.98		92.28		
	0.150	0.094	6.30		87.78		

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKLA RAJABHAT UNIVERSITY

ผลของระยะเวลาเขย่าที่ปริมาณถ่าน 7 กรัม ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

ระยะเวลาเขย่า (นาที)	ABS	ABS-B	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (mg/L)	ประสิทธิภาพ (%)	ประสิทธิภาพเฉลี่ย (%)	SD
0	0.309	0.298	47.21	47.42	-	-	-
	0.311	0.300	47.52		-		
	0.311	0.300	47.52		-		
30	0.1	0.089	14.03	13.34	70.41	71.86	4.05
	0.105	0.094	14.83		68.74		
	0.082	0.071	11.17		76.43		
60	0.077	0.066	10.38	10.86	78.11	77.10	0.86
	0.079	0.068	10.70		77.44		
	0.081	0.070	11.02		76.77		
	0.083	0.072	11.33		76.10		
90	0.089	0.078	12.29	12.44	74.09	73.76	2.59
	0.087	0.076	11.97		74.76		
	0.083	0.072	11.33		76.10		
	0.101	0.090	14.19		70.07		
120	0.083	0.072	11.33	12.55	76.10	73.53	2.23
	0.094	0.083	13.08		72.42		
	0.095	0.084	13.24		72.08		

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ผลของระยะเวลาเขย่าที่ปริมาณถ่าน 9 กรัม ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

ระยะเวลาเขย่า (นาที)	ABS	ABS-B	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (mg/L)	ประสิทธิภาพ (%)	ประสิทธิภาพเฉลี่ย (%)	SD
0	0.342	0.323	51.41	51.36	-	-	-
	0.341	0.322	51.25		-		
	0.342	0.323	51.41		-		
30	0.163	0.144	22.07	21.90	57.04	57.84	1.06
	0.163	0.144	22.07		57.04		
	0.16	0.141	21.57		57.99		
	0.156	0.137	20.92		59.27		
60	0.168	0.149	22.89	20.14	55.44	60.79	5.48
	0.138	0.119	17.97		65.02		
	0.135	0.116	17.48		65.97		
	0.164	0.145	22.23		56.72		
90	0.222	0.203	31.74	29.28	38.21	42.99	5.14
	0.209	0.190	29.61		42.35		
	0.190	0.171	26.49		48.42		
120	0.201	0.182	28.30	28.83	44.91	43.87	2.04
	0.211	0.192	29.93		41.72		
	0.197	0.178	27.64		46.19		
	0.208	0.189	29.44		42.67		

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKLA RAJABHAT UNIVERSITY

ผลของระดับความเป็นกรดด่างของน้ำ ที่ปริมาณถ่าน 7 กรัม ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

ค่า pH	ABS	ABS-B	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (mg/L)	ประสิทธิภาพ (%)	ประสิทธิภาพเฉลี่ย (%)	SD
0 (ควบคุมไม่ปรับ pH)	0.401	0.391	52.59	52.59	-	-	-
	0.401	0.391	52.59		-		
	0.401	0.391	52.59		-		
3	0.169	0.159	18.97	22.93	63.93	56.39	7.08
	0.200	0.190	23.46		55.38		
	0.22	0.210	26.36		49.87		
4	0.134	0.124	13.90	16.56	73.57	68.52	4.48
	0.165	0.155	18.39		65.03		
	0.158	0.148	17.38		66.96		
5	0.097	0.087	8.54	9.55	83.77	81.84	2.73
	0.111	0.101	10.57		79.91		
6	0.127	0.117	12.88	13.75	75.50	73.85	2.40
	0.143	0.133	15.20		71.09		
	0.129	0.119	13.17		74.95		
7	0.154	0.144	16.80	16.65	68.06	68.34	0.28
	0.152	0.142	16.51		68.61		
	0.153	0.143	16.65		68.34		
8	0.175	0.165	19.84	20.89	62.27	60.28	2.44
	0.195	0.185	22.74		56.76		
	0.181	0.171	20.71		60.62		
	0.178	0.168	20.28		61.45		

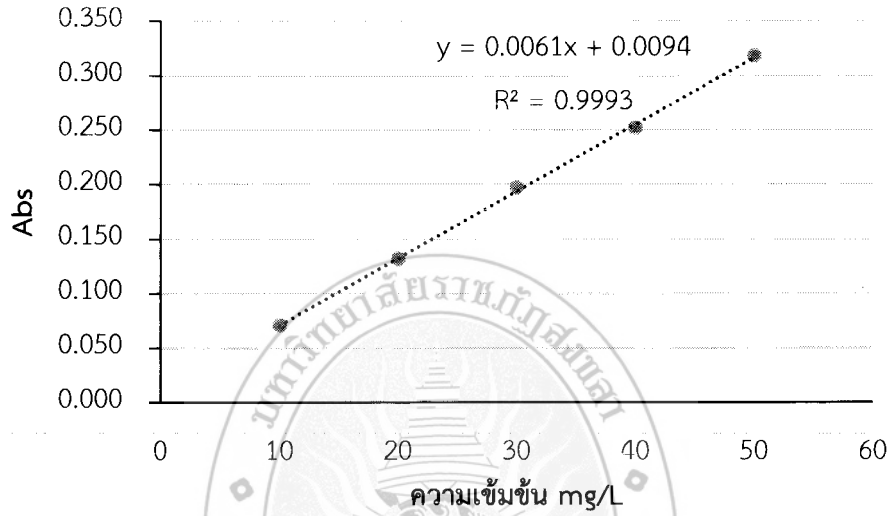
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร SAKON NAKHON RAJABHAT UNIVERSITY

ผลของระดับความเป็นกรดด่างของน้ำ ที่ปริมาณถ่าน 9 กรัม ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

ค่า pH	ABS	ABS-B	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (mg/L)	ประสิทธิภาพ (%)	ประสิทธิภาพเฉลี่ย (%)	SD
0 (ควบคุมไม่ปรับ pH)	0.401	0.391	52.59	52.59	-		
	0.401	0.391	52.59		-		
	0.401	0.391	52.59		-		
3	0.242	0.232	29.55	33.17	43.81	36.92	5.97
	0.279	0.269	34.91		33.61		
	0.28	0.270	35.06		33.34		
4	0.175	0.165	19.84	17.47	62.27	66.77	4.41
	0.143	0.133	15.20		71.09		
	0.158	0.148	17.38		66.96		
5	0.165	0.155	18.39	19.91	65.03	62.14	4.09
	0.186	0.176	21.43		59.24		
6	0.229	0.219	27.67	25.06	47.39	52.35	4.37
	0.205	0.195	24.19		54.01		
	0.199	0.189	23.32		55.66		
7	0.211	0.201	25.06	24.99	52.35	52.49	0.19
	0.210	0.200	24.91		52.63		
8	0.179	0.169	20.42	20.57	61.17	60.90	0.39
	0.181	0.171	20.71		60.62		

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ



มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ง

สถิติแบบ one-way anova และ independent samples t-test

ตารางเปรียบเทียบถ่านปริมาณต่างๆ

Multiple Comparisons

ประสิทธิภาพกำจัดสีย้อม (%)

Scheffe

(I) ปริมาณถ่าน (กรัม)	(J) ปริมาณถ่าน (กรัม)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 กรัม	3 กรัม	-24.65750*	3.87288	.001	-38.4683	-10.8467
	5 กรัม	-43.25750*	3.87288	.000	-57.0683	-29.4467
	7 กรัม	-62.37667*	4.18319	.000	-77.2940	-47.4593
	9 กรัม	-63.18667*	4.18319	.000	-78.1040	-48.2693
3 กรัม	1 กรัม	24.65750*	3.87288	.001	10.8467	38.4683
	5 กรัม	-18.60000*	3.87288	.007	-32.4108	-4.7892
	7 กรัม	-37.71917*	4.18319	.000	-52.6365	-22.8018
	9 กรัม	-38.52917*	4.18319	.000	-53.4465	-23.6118
5 กรัม	1 กรัม	43.25750*	3.87288	.000	29.4467	57.0683
	3 กรัม	18.60000*	3.87288	.007	4.7892	32.4108
	7 กรัม	-19.11917*	4.18319	.010	-34.0365	-4.2018
	9 กรัม	-19.92917*	4.18319	.007	-34.8465	-5.0118
7 กรัม	1 กรัม	62.37667*	4.18319	.000	47.4593	77.2940
	3 กรัม	37.71917*	4.18319	.000	22.8018	52.6365
	5 กรัม	19.11917*	4.18319	.010	4.2018	34.0365
	9 กรัม	-.81000	4.47202	1.000	-16.7573	15.1373
9 กรัม	1 กรัม	63.18667*	4.18319	.000	48.2693	78.1040
	3 กรัม	38.52917*	4.18319	.000	23.6118	53.4465
	5 กรัม	19.92917*	4.18319	.007	5.0118	34.8465
	7 กรัม	.81000	4.47202	1.000	-15.1373	16.7573

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางเปรียบเทียบถ่านปริมาณ 7 กรัม กับระยะเวลาเขย่าต่าง

Multiple Comparisons

ประสิทธิภาพกำจัดสีย้อม (%)

Scheffe

(I) ระยะเวลาเขย่า 7 กรัม	(J) ระยะเวลาเขย่า 7 กรัม	Mean Difference (i-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
30 นาที	60 นาที	-5.24500	1.94881	.127	-11.7450	1.2550
	90 นาที	-1.89500	1.94881	.814	-8.3950	4.6050
	120 นาที	-1.67333	2.08337	.884	-8.6222	5.2755
60 นาที	30 นาที	5.24500	1.94881	.127	-1.2550	11.7450
	90 นาที	3.35000	1.80425	.376	-2.6679	9.3679
	120 นาที	3.57167	1.94881	.387	-2.9284	10.0717
90 นาที	30 นาที	1.89500	1.94881	.814	-4.6050	8.3950
	60 นาที	-3.35000	1.80425	.376	-9.3679	2.6679
	120 นาที	.22167	1.94881	1.000	-6.2784	6.7217
120 นาที	30 นาที	1.67333	2.08337	.884	-5.2755	8.6222
	60 นาที	-3.57167	1.94881	.387	-10.0717	2.9284
	90 นาที	-.22167	1.94881	1.000	-6.7217	6.2784

SUANSUNANDHA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางเปรียบเทียบถ่านปริมาณ 9 กรัม กับระยะเวลาเขย่าต่างๆ

Multiple Comparisons

ประสิทธิภาพกำจัดสีย้อม (%)

Scheffe

(I) ระยะเวลาเขย่า 9 กรัม	(J) ระยะเวลาเขย่า 9 กรัม	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
30 นาที	60 นาที	-2.95250	2.68438	.754	-11.7589	5.8539
	90 นาที	14.84167*	2.89946	.003	5.3297	24.3536
	120 นาที	13.96250*	2.68438	.003	5.1561	22.7689
60 นาที	30 นาที	2.95250	2.68438	.754	-5.8539	11.7589
	90 นาที	17.79417*	2.89946	.001	8.2822	27.3061
	120 นาที	16.91500*	2.68438	.001	8.1086	25.7214
90 นาที	30 นาที	-14.84167*	2.89946	.003	-24.3536	-5.3297
	60 นาที	-17.79417*	2.89946	.001	-27.3061	-8.2822
	120 นาที	-.87917	2.89946	.992	-10.3911	8.6328
120 นาที	30 นาที	-13.96250*	2.68438	.003	-22.7689	-5.1561
dimension 3	60 นาที	-16.91500*	2.68438	.001	-25.7214	-8.1086
	90 นาที	.87917	2.89946	.992	-8.6328	10.3911

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางเปรียบถ่านปริมาณ 7 กรัม ที่ pH ต่างๆ

Multiple Comparisons

ประสิทธิภาพกำจัดสีย้อม (%)

Scheffe

(I) pH 7 กรัม	(J) pH 7 กรัม	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
pH3	pH4	-12.12667	3.14010	.056	-24.5010	.2476
	pH5	-25.44667*	3.51074	.000	-39.2816	-11.6118
	pH6	-17.45333*	3.14010	.005	-29.8276	-5.0790
	pH7	-11.94333	3.14010	.061	-24.3176	.4310
	pH8	-3.88167	2.93730	.873	-15.4568	7.6934
pH4	pH3	12.12667	3.14010	.056	-.2476	24.5010
	pH5	-13.32000	3.51074	.062	-27.1549	.5149
	pH6	-5.32667	3.14010	.718	-17.7010	7.0476
	pH7	18333	3.14010	1.000	-12.1910	12.5576
	pH8	8.24500	2.93730	.240	-3.3301	19.8201
pH5	pH3	25.44667*	3.51074	.000	11.6118	39.2816
	pH4	13.32000	3.51074	.062	-.5149	27.1549
	pH6	7.99333	3.51074	.440	-5.8416	21.8282
	pH7	13.50333	3.51074	.057	-.3316	27.3382
	pH8	21.56500*	3.33058	.001	8.4401	34.6899
pH6	pH3	17.45333*	3.14010	.005	5.0790	29.8276
	pH4	5.32667	3.14010	.718	-7.0476	17.7010
	pH5	-7.99333	3.51074	.440	-21.8282	5.8416
	pH7	5.51000	3.14010	.690	-6.8643	17.8843
	pH8	13.57167*	2.93730	.018	1.9966	25.1468
pH7	pH3	11.94333	3.14010	.061	-.4310	24.3176
	pH4	-.18333	3.14010	1.000	-12.5576	12.1910
	pH5	-13.50333	3.51074	.057	-27.3382	.3316
	pH6	-5.51000	3.14010	.690	-17.8843	6.8643

	pH8	8.06167	2.93730	.259	-3.5134	19.6368
pH8	pH3	3.88167	2.93730	.873	-7.6934	15.4568
	pH4	-8.24500	2.93730	.240	-19.8201	3.3301
	pH5	-21.56500*	3.33058	.001	-34.6899	-8.4401
	pH6	13.57167*	2.93730	.018	25.1468	1.9966
	pH7	-8.06167	2.93730	.259	-19.6368	3.5134

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางเปรียบเทียบปริมาณถ่าน 9 กรัม กับค่า pH ต่างๆ

Multiple Comparisons

ประสิทธิภาพกำจัดสีย้อม (%)

Scheffe

(I) pH 9 กรัม	(J) pH 9 กรัม	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
pH3	pH4	-29.85333*	3.50089	.000	-44.4602	-15.2465
	pH5	-25.21500*	3.91411	.003	-41.5459	-8.8841
	pH6	-15.43333*	3.50089	.037	-30.0402	-.8265
	pH7	-15.57000	3.91411	.064	-31.9009	.7609
	pH8	-23.97500*	3.91411	.005	-40.3059	-7.6441
pH4	pH3	29.85333*	3.50089	.000	15.2465	44.4602
	pH5	4.63833	3.91411	.912	-11.6926	20.9693
	pH6	14.42000	3.50089	.053	-.1868	29.0268
	pH7	14.28333	3.91411	.096	-2.0476	30.6143
	pH8	5.87833	3.91411	.803	-10.4526	22.2093
pH5	pH3	25.21500*	3.91411	.003	8.8841	41.5459
	pH4	-4.63833	3.91411	.912	-20.9693	11.6926
	pH6	9.78167	3.91411	.363	-6.5493	26.1126
	pH7	9.64500	4.28769	.464	-8.2446	27.5346
	pH8	1.24000	4.28769	1.000	-16.6496	19.1296
pH6	pH3	15.43333*	3.50089	.037	.8265	30.0402
	pH4	-14.42000	3.50089	.053	-29.0268	.1868
	pH5	-9.78167	3.91411	.363	-26.1126	6.5493
	pH7	-.13667	3.91411	1.000	-16.4676	16.1943
	pH8	-8.54167	3.91411	.493	-24.8726	7.7893
pH7	pH3	15.57000	3.91411	.064	-.7609	31.9009
	pH4	-14.28333	3.91411	.096	-30.6143	2.0476
	pH5	-9.64500	4.28769	.464	-27.5346	8.2446
	pH6	.13667	3.91411	1.000	-16.1943	16.4676
	pH8	-8.40500	4.28769	.595	-26.2946	9.4846
pH8	pH3	23.97500*	3.91411	.005	7.6441	40.3059

	pH4	-5.87833	3.91411	.803	-22.2093	10.4526
	pH5	-1.24000	4.28769	1.000	-19.1296	16.6496
	pH6	8.54167	3.91411	.493	-7.7893	24.8726
	pH7	8.40500	4.28769	.595	-9.4846	26.2946

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางเปรียบเทียบถ่านปริมาณ 7 และ 9 กรัม ของระยะเวลาที่เหมาะสม

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม	Equal variances assumed	113.774	.000	5.888	6	.001	16.31750	2.77124	9.53652	23.09848
	Equal variances not assumed			5.888	3.150	.009	16.31750	2.77124	7.73061	24.90439

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางเปรียบเทียบถ่านปริมาณ 7 และ 9 กรัม ของ pH ที่เหมาะสม

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม	Equal variances assumed	.348	.597	4.197	3	.025	15.06667	3.59004	3.64155	26.49179
	Equal variances not assumed			4.714	2.987	.018	15.06667	3.19630	4.86926	25.26408

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก จ

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อผู้ทำวิจัย นางสาวซูนีตา อูเซ็ง

ที่อยู่ 132/22 หมู่ที่ 2 ตำบลแว้ง อำเภอแว้ง จังหวัดนราธิวาส 96160

เบอร์โทรศัพท์ 086-460372

โปรแกรมวิชาวิทาศาสตร์สิ่งแวดล้อม(การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

2. ชื่อผู้ทำวิจัย นางสาวสุวภัทร แคยิหวา

ที่อยู่ 139 หมู่ที่ 2 ตำบลน้ำผุด อำเภอละงู จังหวัดสตูล 91110

เบอร์โทรศัพท์ 062-0428598

โปรแกรมวิชาวิทาศาสตร์สิ่งแวดล้อม(การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

3. ชื่อผู้ทำวิจัย นายหะหมะ หมะมัง

ที่อยู่ 7/1 หมู่ที่ 4 ตำบลบ้านนา อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา 90130

เบอร์โทรศัพท์ 062-1808813

โปรแกรมวิชาวิทาศาสตร์สิ่งแวดล้อม(การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY