

การกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยการดูดซับด้วยสาหร่ายปรับสภาพ
Removal of color in wastewater from textile dyeing factories by
Metroxylon Sagu Rottb

ชนาภัทร เสาร์ชัย
Chanaphat Saochai
วิรัตน์ บุษบา
Wirat Butsaba

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
Bachelor of Science Project in Chemistry
Nakhon Si Thammarat Rajabhat University
2549

ชื่อโครงการ	การกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยการดูดซับด้วยสาหร่าย ปรับสภาพ Removal of color in wastewater from textile dyeing factories by <i>Metroxylon Sagu</i> Rottb
ชื่อผู้วิจัย	นายชนาภัทร เสาร์ชัย นายวิรัตน์ บุษบา
สาขาวิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2549

บทคัดย่อ

วิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีรีแอคทีฟในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ โดยใช้กากสาหร่ายปรับสภาพเป็นวัสดุดูดซับ วิธีการปรับสภาพสาหร่ายด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ และกรดซัลฟิวริกในการกำจัดสีรีแอคทีฟสามสี คือสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีรีแอคทีฟได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ พีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับ การศึกษาหา Absorption Isotherm ที่อุณหภูมิห้อง และการศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับสีรีแอคทีฟแบบคอลัมน์ ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการดูดซับสีเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับลดลง ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ พีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีรีแอคทีฟทั้งสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพูด้วยกากสาหร่ายปรับสภาพคือ 2 วัน พีเอชคือ 2.0 ตามลำดับ เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมจากการวิจัยมาหาค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพูด้วยวิธีแบบถังแช่และแบบต่อเนื่องโดยใช้สมการไอโซเทอร์มของฟรอนดริส พบว่ากากสาหร่ายดูดซับสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพูได้สูงสุดเท่ากับ 67.313 17.254 15.856 และ 11.123 14.364 11.586 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ประวิทย์ เนื่องมัจฉา ที่กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนวทางและแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดการวิจัยในครั้งนี้จนรายงานฉบับนี้เสร็จสิ้น สมบูรณ์ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชและเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี ที่ให้การสนับสนุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุก ๆ ท่านที่ได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำงานตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ให้แก่ผู้เขียนด้วยความเมตตากรุณา จนผู้เขียนประสบความสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณพระคุณพ่อ แม่ พี่น้องและเพื่อน ๆ ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ชนาภัทร เสาร์ชัย
วิรัตน์ บุญบา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญภาพ	ง
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	6
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	22
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	22
1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะ	23
2 วิธีการทดลอง	24
2.1 เครื่องมืออุปกรณ์ และสารเคมี	24
2.2 การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของตัวดูดซับการศึกษาสมบัติเบื้องต้น ของตัวดูดซับ	16
2.3 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายสีรีแอคทีฟ	26
2.4 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสีรีแอคทีฟด้วยเทคนิคแบบคอลัมน์	28
3 ผลการทดลองและอภิปราย	29
3.1 ผลการเตรียมวัสดุดูดซับ	29
3.1.1 ผลการปรับสภาพวัสดุดูดซับ	29
3.1.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ	29
3.1.3 ผลการศึกษาหา Absorption Isotherm ที่อุณหภูมิห้องเพื่อหาค่าความจุ	36
3.1.4 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสีรีแอคทีฟด้วยเทคนิคแบบคอลัมน์	43

สารบัญต่อ

หน้า

4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	51
4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ	51
4.1.1 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู แบบเบทซ์	51
4.1.2 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู แบบคอลัมน์	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงเครื่องมือ	14
ตารางที่ 2.2 แสดงสารเคมีและวัสดุดูดซับที่ใช้ในการวิเคราะห์	15
ตารางที่ 3.1 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีน้ำเงิน	19
ตารางที่ 3.2 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีเหลือง	20
ตารางที่ 3.3 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีชมพู	21
ตารางที่ 3.4 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสีน้ำเงิน	22
ตารางที่ 3.5 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสีเหลือง	23
ตารางที่ 3.6 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสีชมพู	24
ตารางที่ 3.7 แสดงค่า $\log X$ (mg/L) และ $\log C$ (mg/L) เพื่อหาค่าความจุการดูดซับของ สารละลายสีน้ำเงินด้วยสาธู	26
ตารางที่ 3.8 แสดงค่า $\log X$ (mg/L) และ $\log C$ (mg/L) เพื่อหาค่าความจุการดูดซับของ สารละลายสีเหลืองด้วยสาธู	28
ตารางที่ 3.9 แสดงค่า $\log X$ (mg/L) และ $\log C$ (mg/L) เพื่อหาค่าความจุการดูดซับของ สารละลายสีชมพูด้วยสาธู	30
ตารางที่ 3.10 แสดงค่าความจุของการดูดซับของวัสดุดูดซับตามวิธีการดูดซับแบบแบทช์ ที่ได้จากการคำนวณ	31
ตารางที่ 3.11 แสดงผลค่าความจุของการดูดซับสีน้ำเงินแบบคอลัมน์	33
ตารางที่ 3.12 แสดงผลค่าความจุของการดูดซับสีเหลืองแบบคอลัมน์	35
ตารางที่ 3.13 แสดงผลค่าความจุของการดูดซับสีชมพูแบบคอลัมน์	37
ตารางที่ 3.14 แสดงผลค่าความจุแบบคอลัมน์ของวัสดุดูดซับแต่ละชนิด	38

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับ	18
ภาพที่ 3.2 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีน้ำเงิน	19
ภาพที่ 3.3 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีเหลือง	20
ภาพที่ 3.4 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีชมพู	21
ภาพที่ 3.5 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสีน้ำเงิน	23
ภาพที่ 3.6 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสีเหลือง	24
ภาพที่ 3.7 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสีชมพู	25
ภาพที่ 3.8 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของสารละลายสีน้ำเงินด้วยสาอู	27
ภาพที่ 3.9 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของสารละลายสีเหลืองด้วยสาอู	29
ภาพที่ 3.10 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของสารละลายสีชมพูด้วยสาอู	31
ภาพที่ 3.11 แสดงผลค่าความจุของการดูดซับสีน้ำเงินแบบคอลัมน์	34
ภาพที่ 3.12 แสดงผลค่าความจุของการดูดซับสีเหลืองอ่อนแบบคอลัมน์	36
ภาพที่ 3.13 แสดงผลค่าความจุของการดูดซับสีชมพู แบบคอลัมน์	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาที่ทำการวิจัย

สาकु ชื่อวิทยาศาสตร์ *Metroxylon Sagu* Rottb ปัจจุบันสาकुเป็นพืชที่กำลังเป็นที่สนใจอย่างแพร่หลาย เพราะมีในบางประเทศ เช่น อินโดนีเซีย และญี่ปุ่น ที่สาकुกลายเป็นพืชเศรษฐกิจ ซึ่งสาकुเป็นแหล่งของอาหารในอนาคตได้ (อรสา จันทร์ทอน.2543) นอกจากนี้โลกในปัจจุบันกำลังมีประชากรเพิ่มขึ้นทุกขณะจึงจำเป็นต้องมีแหล่งอาหารสำรองในการบริโภคเพื่อรองรับประชากรที่เพิ่มมากขึ้น และแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารที่กำลังจะตามมา

โดยทั่วไปสาकुเป็นพืชที่ชาวบ้านทางภาคใต้ของประเทศไทยมักจะรู้จักกันดีเพราะคุ้นเคยกับการนำส่วนต่างๆ มาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เนื้อในส่วนของลำต้นสาकुในการเลี้ยงสัตว์ปีก การนำใบมาใช้ทำเป็นขนมที่ชาวบ้านเรียกกันว่า ขนมจาก การนำใบมาใช้เป็นหลังคาโรงเรือน แขนงใช้ทำจุกขวด เปลือกของต้นสาकुใช้ทำทางเดินร่องสวน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และคณะ,2542) ในทศวรรษที่ผ่านมาประเทศไทยมีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วมีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย และมีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ และทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลายด้าน อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ของประเทศ ประเภทหนึ่งที่สำคัญ คือ อุตสาหกรรมสิ่งทอ และฟอกย้อม ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำปริมาณมากในกระบวนการผลิต ทั้งขั้นตอนการฟอกขาว การย้อมสี การล้างผ้า และการพิมพ์ผ้า (สุรพล คงจันทร์,2534) เมื่อมีการปล่อยน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมากๆ มีผลก่อให้เกิดน้ำเสียและยังมีสารเคมีและสารพิษต่างๆ ซึ่งบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็งปนเปื้อนอยู่ด้วย เนื่องจากเทคโนโลยีปัจจุบันไม่สามารถใช้สีในกระบวนการย้อมผ้าหรือพิมพ์ผ้าได้หมดร้อยเปอร์เซ็นต์ และสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ สีจากขั้นตอนการย้อมผ้าซึ่งมักเป็นสารประกอบอินทรีย์ มีโครงสร้างซับซ้อน และบำบัดให้หมดไปได้ยาก จากการรายงานการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการนำเรซินฝักคบบัวที่ปรับสภาพในการบำบัดสีย้อมผ้า โดยคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยเรซินฝักคบบัวแบบกรดแก่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทุกพารามิเตอร์

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้ จะนำเอากากสาकुปรับสภาพมาใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมผ้าชนิดรีแอกทีฟและไคเรกจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม เพราะสามารถควบคุมความเข้มข้นของสีย้อมผ้าที่ละลายอยู่ในน้ำได้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะเลือกกากสาकु มาใช้บำบัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม อีกทั้งยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

1.2 การตรวจเอกสาร

ในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ได้มีการศึกษาวิจัยถึงการบำบัดน้ำเสียและกำจัดน้ำเสียในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเป็นจำนวนมาก แต่ที่เกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นไหมโดยตรงไม่มี ที่พอเทียบเคียงหรือลักษณะใกล้เคียง สามารถสรุปโดยละเอียดดังนี้

สมชาย เอกธรรมฤทธิ์ (2514) ได้ศึกษาการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยวิธีทางเคมี สารเคมีที่ใช้ คือ อลูมิเนียมซัลเฟต เพอร์คลอไรด์ พร้อมทั้งเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ (p: AC) ช่วยในการฟอกสีและเป็นตัวช่วยตกตะกอน ผลปรากฏว่า การใช้สารเคมีแต่ละตัวรวมกับถ่านกัมมันต์พบว่า การใช้ AC Column แล้วให้น้ำเสียไหลผ่าน ให้ผลดีน่าพอใจกว่าวิธีอื่น ๆ แต่ไม่เหมาะสมในการปฏิบัติเนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาแพง

นวลละออ เนียมสะอึง (2526) ได้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์และสีพร้อมกัน โดยใช้ระบบ PAC- Activated Sludge พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์และสีให้อยู่ในเกณฑ์กำหนดได้ ยกเว้นสีเมททิลลิก ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของระบบฯ นี้ขึ้นอยู่กับประเภทของสี ย้อมและปริมาณผงถ่าน ระบบ ฯ สามารถกำจัดสีเอกทีฟได้ โดยใช้ปริมาณผงถ่าน 0.27 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร (8 บาท/ลูกบาศก์เดซิเมตร) ไม่จำเป็นต้องใส่ผงถ่านก็สามารถกำจัดสีออกได้ในการทดลองกับสีโคเร็กซ์ที่ต้องใช้ปริมาณผงถ่านถึง 0.4 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร (12 บาท/ลูกบาศก์เดซิเมตร) น้ำทิ้งหลังบำบัดจึงอยู่ในเกณฑ์ได้ ส่วนในกรณีของสีรวมระบบฯ สามารถกำจัดสีได้ดี โดยใช้ปริมาณผงถ่าน 0.25 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร (7.50 บาท/ลูกบาศก์เดซิเมตร) และค่าใช้จ่ายของระบบนี้ค่อนข้างสูง โดยขึ้นอยู่กับปริมาณผงถ่านที่ใส่ลงในระบบฯ

ธงชัย พรรณสวัสดิ์, นวลละออ เนียมสะอึง (2530) ได้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์และสีพร้อมกันด้วยระบบ PAC/AS โดยการเติมผงถ่าน(Powder Activated Carbon: PAC) ลงในถังเติมอากาศของระบบแออกทีเวตเตดสลัดจ์ ตัวผงถ่านทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสให้จุลินทรีย์มาเกาะอาศัย เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบฯ ได้ทดลองศึกษากับน้ำเสียสังเคราะห์ที่เกิดจากสีย้อมผ้า 6 ประเภท การทดลองด้วยวิธีการเติมผงถ่านลงในระบบ AS-SBR ที่มีการเติม PAC มีประสิทธิภาพดีกว่าระบบ AS-SBR ปกติ ทั้งในรูปของการกำจัดสารอินทรีย์และลดสีจากที่มีซีไอดีสูงถึง 520 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ระบบพีเอซีสามารถลดค่านี้ลงไว้เหลือเพียงประมาณ 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร และลดสีลงได้เหลือประมาณ 50 ADMI กล่าวคือน้ำเสียสังเคราะห์จาก 1) สีรีแอคทีฟ ในระบบเอเอส สามารถลดสีได้ร้อยละ 7 และ ซีไอดีร้อยละ 90 แต่เมื่อใส่ผงถ่านขนาด 0.27 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะลดสารอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 95 และลดสีได้ลงมาต่ำกว่า 300 ADMI 2) น้ำเสียจากสีย้อมโคเร็กซ์ ระบบ AS ธรรมดาลดซีไอดีได้

ร้อยละ 90 ลดสีให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด สำหรับระบบที่ใส่ถ่านเพียง 0.05 กรัม/ลูกบาศก์ เดซิเมตร แต่น้ำเสียชนิดปกติต้องใส่ผงถ่านถึง 0.4 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร และสารช่วยย้อมของสี ไคเรกต์มีอิทธิพลในการกำจัดสีมาก แต่ไม่มีผลกระทบต่อการจัดสารอินทรีย์ 3) น้ำเสียจากสี ย้อมแว๊ต มีซัลเฟอร์และสีอะโซอิก เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำตกตะกอนได้ ระบบเอเอสธรรมดา สามารถลดสารอินทรีย์และสีในน้ำเสียชนิดควบคุมและปกติให้อยู่ในเกณฑ์กำหนดได้ การเติม PAC จึงไม่จำเป็น 4) น้ำเสียจากสีย้อมเมททลิก เป็นสีอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ น้ำทิ้งยังมีความ เข้มข้นสีและซีไอสูง ถึงแม้จะเติม PAC ลงไป 0.2 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ก็ไม่สามารถลดสี โอดีให้อยู่ในเกณฑ์กำหนดได้ 5) น้ำเสียจากสีย้อมรวม ระบบเอเอสสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ แต่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาเรื่องสีได้เพราะยังมีความเข้มข้นสูง สำหรับน้ำเสียชนิดควบคุมต้องใช้ ปริมาณผงถ่าน 0.2 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ขณะที่น้ำเสียชนิดปกติต้องใช้ปริมาณผงถ่าน 0.25 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร สีในน้ำจึงอยู่ในเกณฑ์กำหนด

Chang, Tung-nien (1988) ได้ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์, Alum และ Ozone ในการกำจัด สีของน้ำชะมูลฝอยจากที่กำจัดขยะซอยอ่อนนุชกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีค่าซีโอดี ระหว่าง 1,600 – 2,100 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพใน การบำบัดซีโอดีร้อยละ 75 Alum มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 72 และ Ozone ที่มีความเข้มข้น 331.2 มิลลิกรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 6 สรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์เป็นวิธีในการกำจัดสีและซีโอดีดีกว่าอีกสองวิธี

สุวรรณ รุ่งเรือง (2532) ได้ศึกษาการลดสี สารแขวนลอย และซีโอดี จากน้ำเสียจาก กองขยะอ่อนนุช โดยใช้ซีโอดีเป็นตัวกรอง ใช้อัตราการกรอง 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อ ชั่วโมงความลึกชั้นกรองที่ 20 40 และ 60 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการลดสีได้ร้อยละ 18.7 36.38 และ 39.29 ส่วนสารแขวนลอย ลดได้ร้อยละ 32.21, 70.75 และ 74.62 และลด ซีโอดี ได้ร้อยละ 14.74 21.46 และ 21.68 ตามลำดับ ส่วนที่อัตราการกรอง 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อ ตารางเมตรต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการลดสีได้ร้อยละ 17.03 21.21 และ 24.84 ส่วนสาร แขวนลอย ลดได้ร้อยละ 28.01 52.51 และ 65.53 และลดซีโอดีได้ร้อยละ 10.23 14.84 และ 18.38 ตามลำดับ และที่ อัตราการกรอง 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการลดสีได้ ส่วนสารแขวนลอย และลดซีโอดีได้ ดีกว่าอัตราการกรอง 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ในทุก ๆ ค่าความลึกของชั้นกรอง ในส่วนของความ ลึกของชั้นกรองที่ระดับ 0.20 เมตร จะมีประสิทธิภาพในการลดสี สารแขวนลอยและซีโอดีได้ น้อยกว่าความลึกของชั้นกรองที่ระดับ 0.40 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p\text{-Value} < 0.05$

ในขณะที่ความลึกของชั้นกรองที่ระดับ 0.06 เมตร เมื่อเปรียบเทียบความลึกของชั้นกรองที่ระดับ 0.40 เมตร จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p\text{-Value} < 0.05$

ทรงศักดิ์ ศรีทุมมาและบุญส่ง ไช้เกษ (2534) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยด้วยระบบถังเกรอะ ถังกรองไร้ออกซิเจนจากบ้านพักอาศัยที่มีสมาชิก 6 คน ระบบประกอบด้วยถังเกรอะ จำนวน 2 ถัง ความจุ 2.87 ลูกบาศก์เดซิเมตร และถังไร้ออกซิเจน จำนวน 1 ถัง มีความจุ 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร ภายในบรรจุหินเส้นผ่าศูนย์กลาง 25-35 มิลลิเมตร หนา 0.90 เมตร ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยวันละ 978 ลิตร และระยะเวลาที่น้ำเก็บ ประมาณ 4 วัน พบว่า น้ำเสียที่ผ่านระบบแล้วมีค่าเฉลี่ยของบีโอดีเท่ากับ 32.04 มิลลิกรัม/ลิตร และสารแขวนลอย 31.54 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2535) ได้ศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้า โดยใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอช ปริมาณโพลีเมอร์ น้ำเสียจากสีย้อม 4 ประการ คือ ประเภทรีแอคทีฟ เอซิด ไคเร็กซ์ และดิสเพิร์ส พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อม นั่นคือ สีไม่ละลายน้ำจะถูกกำจัดได้ง่ายกว่าสีที่ละลายน้ำได้ดีและขึ้นอยู่กับชนิดของโตนีส์ด้วย นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับพีเอชเช่นกัน กล่าวโดยสรุป การใช้ PAC (Powder Activated Carbon) ในการกำจัดสีจากการย้อมผ้า ยังมีประสิทธิภาพที่ไม่เป็นที่พอใจและมีราคาสูงเกินไปสำหรับการนำไปใช้ในการปฏิบัติ

นภวรรณ รัตสุข (2535) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกรองเหล็กออกจากบ่อน้ำบาดาลสังเคราะห์โดยการใช้ตัวกรองที่เป็นทรายไม่กัดขนาด ถ่าน และถั่วแกลบ ผลการศึกษาพบว่า ในทุกความเข้มข้นและทุกอัตราการกรอง ถังกรองที่เป็นถั่วแกลบมีประสิทธิภาพในการกรองเหล็กดีมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ตัวกรอง 3 ชั้น ทรายไม่กัดขนาดและถ่าน ตามลำดับ แต่ในแง่ของอายุการกรอง พบว่า ถ่านมีอายุการกรองที่นานมากที่สุดและถั่วแกลบมีอายุการกรองสั้นที่สุด ดังนั้นตัวกรองที่เหมาะสมที่สุดคือ ตัวกรอง 3 ชั้น

บุญมาพร ชัยวานิชยา (2535) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากหอพักด้วยระบบถังเกรอะ ถังกรองไร้อากาศ ซึ่งประกอบด้วย ถังเกรอะ 2 ถัง และถังกรองไร้อากาศ 1 ถัง โคมีความจุของถังเกรอะ 2.88 ลูกบาศก์เมตร ความจุของถังกรองไร้อากาศ 1.16 ลูกบาศก์เมตร ภายในบรรจุตัวกรองซึ่งเป็นหินบด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-3.5 เซนติเมตร หนา 90 เซนติเมตร ปริมาณน้ำเสียที่บำบัดเท่ากับ 1,230 ลิตร/วัน ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 3.28 วัน ผลการศึกษาพบว่า ระบบสามารถบำบัดบีโอดีและสารแขวนลอยได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของอาคารประเภท ง. ของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีและ

สารแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 74.59 และ 80.37 ในขณะที่ถังเกรอะมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีดี และสารแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 44.09 และ 46.06 และยังพบว่าถังเกรอะ-ถังไร้อากาศสามารถ บำบัดน้ำเสียจากหอพักได้โดยไม่ต้องมีการควบคุมองค์ประกอบและสภาพแวดล้อม

วิไลพร วัฒนชัยวโรดม (2536) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียของน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทสิ่งทอโดยขบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ เตรียมจากสีย้อมประเภทรีแอคทีฟสีแดง และสีน้ำเงิน โดยเตรียมน้ำเสียให้มีค่าซีโอดีเท่ากับ 130 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณสี เท่ากับ 36 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วนำสีที่เตรียมดังกล่าวไปหาค่า Optimum Wave Length (OWL) โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ชนิด Double Beams ปรากฏว่ารีแอคทีฟสีแดง มีค่า OWL = 507 นาโนเมตร และสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน มีค่า OWL = 592 นาโนเมตร ตามลำดับ ทำการทดลองให้น้ำเสียผ่านคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์ ชนิดเกร็ด (Granular Activated Carbon) โดยทำการทดลองที่ค่าอัตราการน้ำล้นผิว (Overflow Rate) ต่าง ๆ ดังนี้ 1.17 2.34 และ 4.68 แกลลอน/ตารางฟุต/วัน ตามลำดับ พบว่า ที่อัตราการน้ำล้นผิวต่ำ มีประสิทธิภาพในการดูดซับสี ซีโอดี มีค่าสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านจะมีค่ามากกว่าที่อัตรา น้ำล้นผิวสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีที่ความลึกของชั้นถ่านต่าง ๆ กัน (20 50 80 เซนติเมตร) สำหรับอัตราการน้ำล้นผิว 1.17 2.34 4.68 แกลลอน/ตารางฟุต/วัน จะพบว่าที่ความลึก 80 เซนติเมตร ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีจะสูงกว่าที่ความลึก 50 และ 20 เซนติเมตร เมื่อช่วงการทำงานของระบบอยู่ตัวก่อนถึงจุดอิ่มตัว

นิพนธ์ ศรีบุญเรืองและคณะ (2538) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจาก โรงแรมโดยใช้ถังเกรอะกับถังกรองไร้ออกซิเจนอิสระ โดยศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงแรม แม่โจรรอยัล จังหวัดหนองคาย ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำก่อนการบำบัดและหลังการบำบัด เป็นดังนี้ ค่าเฉลี่ยบีโอดี 124.8 และ 43.3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยปริมาณสารแขวนลอย 88.2 และ 13.0 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (MPN/100 มิลลิลิตร) 5.859×10 และ 3.227×10 ตามลำดับ ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพในการลดบีโอดี ปริมาณสารแขวนลอยและ MPN/100 มิลลิลิตร ร้อยละ 52.5 , 76.8 และ 56.5 ตามลำดับ

ไพลิน สุพล และสุภารัตน์ สำน้อย (2540) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมไหม โดยใช้ จุลินทรีย์จากดินที่เพาะเลี้ยงจากดินโรงงานย้อมไหมของอำเภอชนบทและดินจากบ่อบำบัดน้ำเสีย แบบธรรมชาติของโรงพยาบาลศรีนครินทร์ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์สีต่าง ๆ คือ สีแดง สีน้ำเงิน สีเหลือง สีเขียว และสีชมพูอมส้ม มาบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ที่แยกจากดินทั้ง 2 แหล่ง ในระบบ แบบถังเดี่ยว (Batch System) เพื่อวิเคราะห์สีและซีโอดี ผลการศึกษาพบว่า จุลินทรีย์จาก ดิน อำเภอชนบท ซึ่งปล่อยน้ำเสียจากการย้อมไหมลงแม่น้ำแสมอ สามารถเจริญเติบโตในน้ำเสีย

สังเคราะห์สีต่าง ๆ คือ สีแดง สีน้ำเงิน สีเหลือง สีเขียว และสีชมพูอมส้ม ได้ดีกว่าจุลินทรีย์จากบ่อคินบ่าบัด ฯ ประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ของจุลินทรีย์จากดินอำเภอชนบทดีกว่าจุลินทรีย์จากดินบ่อคินบ่าบัด ซึ่งจากการทดลองพบว่า จุลินทรีย์จากดิน อำเภอชนบทสามารถบำบัดสีเฉลี่ยได้ร้อยละ 65 ส่วนจุลินทรีย์จากบ่อคินสามารถบำบัดสีเฉลี่ยได้ร้อยละ 58 ในเวลา 10 วัน โดยที่สีที่ลดได้ดีที่สุด คือ สีเหลือง สีแดง สีเขียว สีชมพูอมส้ม และสีน้ำเงิน ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์สีชมพูอมส้มความสามารถในการบำบัดสีของจุลินทรีย์ของดินทั้งสองแหล่งมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับจุลินทรีย์จากดินบ่อคินบ่าบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีเฉลี่ยได้ ร้อยละ 66 ส่วนจุลินทรีย์จากดินอำเภอชนบทสามารถบำบัดค่าซีไอดีเฉลี่ยได้ร้อยละ 60 ใช้เวลาในการบำบัด 7 วัน

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย มีหลายระบบและหลายวิธี ซึ่งก็ให้ประสิทธิภาพแตกต่างกันไปตามข้อจำกัดของแต่ระบบ เช่น การใช้สารเคมีและถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีน้ำเสีย ในระบบต่าง ๆ แต่ในแง่การนำไปใช้แก้ปัญหาในระดับชุมชนและปริมาณสีน้ำไม่มากนัก มักจะมีปัญหาด้านต้นทุนและการดูแลระบบ ฯ ตามมา ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ผู้ซึ่งได้ทำการวิจัยผ่านมจึงมีความสนใจจะศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังเกรอะ ซึ่งเป็นระบบ ฯ ที่นิยมใช้โดยทั่วไป ร่วมกับการใช้ถ่านไม้เป็นตัวดูดซับสีในน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นไหมและระบบ ฯ นี้จะเป็นทางเลือกใหม่ในการแก้ปัญหาน้ำเสียในระดับชุมชนต่อไป

1.3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

1.3.1 หลักการดูดซับ

1.3.1.1 ความเป็นมาของการดูดซับ

นักวิทยาศาสตร์ได้ทราบและรู้จักมาเป็นเวลานานแล้วว่าของแข็งสามารถดูดซับแก๊สได้ เท่าที่บันทึกไว้เป็นหลักฐาน แรกเริ่มในปี 1777 โดยฟอนตานา (Fontana) ได้บันทึกไว้ว่า “ ถ่านหินที่ทำให้เย็นภายใต้ความดันต่ำ จะมีสมบัติดูดซับก๊าซชนิดต่าง ๆ ไว้หลายเท่า” ในเวลาใกล้เคียงกัน ซีเล (Scheele) บันทึกว่า อากาศที่ถูกไล่ออกจากถ่านโดยใช้ความร้อนจะถูกดูดซับกลับคืออีกเมื่อถ่านนั้นมีอุณหภูมิลดลง

จากการค้นพบของฟอนตานา แลซีเล ทำให้การศึกษาดูดซับในระบบอื่น ๆ ได้เริ่มตั้งแต่นั้นมาในปี 1814 เดอ ซูส์ซัวร์ (De Saussurs) ได้เสนอแนะว่า อำนาจการดูดซับของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งกับสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อมาในปี 1843 มิตส์เชอร์ลิช (Mitscherlich) ได้เสนอหลักฐานอย่างหนักแน่นถึงการมีอยู่จริงในรูพรุนในถ่าน เขา

ได้ประมาณค่ารูพรุนของถ่านว่ามีขนาด $1/2400$ นิ้ว นอกจากนี้ยังสรุปว่าคาร์บอนไดออกไซด์เหลวได้เข้าไปควบแน่นในรูพรุนด้วยความหนาแน่นประมาณ 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นสมบัติพื้นฐานของรูพรุน

ในปี 1881 เคเซอร์ (Kayser) ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการดูดซับกับการแพร่ไปในเนื้อสารหรือการดูดกลืน (Absorption) ต่อมาในปี 1906 ออสต์วอลด์ (Ostwald) ก็ได้แสดงความแตกต่างระหว่างการดูดซับกับการควบแน่นในรูพรุน ต่อจากนั้นไม่นาน แมกเบน (McBain) เสนอให้ใช้ “การดูดซับ” (Sorption) เป็นคำกลางเพื่อใช้แทนการดูดซับบนพื้นที่ผิวและการดูดกลืนที่สารถูกดูดซับซึมไปในเนื้อสาร อย่างไรก็ตามมีความหมายรวมถึงการควบแน่นใน รูพรุนด้วย

ความรู้เกี่ยวกับการควบแน่นในรูพรุนได้ถูกได้ค้นคว้าเพิ่มเติมโดย ธรอมสัน (Thomson) ซึ่งต่อมาได้รับพระราชทานกิตติมศักดิ์เป็นลอร์ดเคลวิน (Lord kelrin) เขาได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อระบบอยู่ในสมดุลความดันไอคือที่อุณหภูมิของเหลวปรอทจะมีความดันไออิ่มตัว (P^0) ที่อุณหภูมิของเหลวที่อุณหภูมิเดียวกัน อย่างไรก็ตามสมการของธรอมสันที่แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการดูดซับโดยตรงได้ หลายปีต่อมาผู้ร่วมงานของเขาได้ปรับปรุงใหม่จนได้สมการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ

$$RT \ln (p/p^0) = (1/r_1 + 1/r_2) \gamma v \dots\dots\dots (1)$$

ในเมื่อ y และ v คือแรงตึงผิวปริมาณต่อโมลของสารถูกดูดซับที่เป็นของเหลวตามลำดับ r_1 และ r_2 คือรัศมีหลัก (pricipal radii) ของผิวโค้งของเหลวที่ควบแน่นในรูพรุน ถ้าผิวโค้งนั้นเป็นรูครึ่งทรงกลม $r_1 = r_2 = r$ ดังนั้นสมการ (1) จะกลายเป็น

$$RT \ln (p/p^0) = -2\gamma v/r \dots\dots\dots (2)$$

สมการ (2) เรียกว่า “สมการเคลวิน” ที่ใช้ทำนายค่าความดันไอสัมพันธ์ ที่จะให้เกิดการควบแน่นในรูพรุนที่มีรัศมี r

ในปี 1911 วิกมอนดี (Zsigmondu) ได้นำสมการเคลวินมาใช้ในการทดลองของ แวนเบมม์เลน (Van Bemmeln) ซึ่งได้ทดสอบมาก่อนหน้านั้นเกี่ยวกับการดูดซับน้ำบนซิลิกาเจล วิกมอนดียืนยันความหนักแน่นว่า การเพิ่มของความดันไอจะทำให้จำนวนชั้นของสารถูกดูดซับ (Adsorbate) บนผิวของแข็งเพิ่มขึ้น และในที่สุดจะเกิดการควบแน่นในรูพรุน และสำหรับรูพรุนขนาดเล็กจะเกิดการควบแน่นก่อนรูพรุนขนาดใหญ่ ตามลำดับ และจะเป็นไปตามคำทำนายของ ลอร์ดเคลวิน

ต่อมาฟอสเตอร์ (Foster) ได้ค้นคว้าเพิ่มเติมโดยเขาใช้สมการเคลวินคำนวณการแจกแจงขนาดรูพรุนของสาร ซีโรเจล (Xerogel) หลายชนิด โดยใช้ข้อมูลจากการดูดซับไอโซ

เทอร์ (Adsorption Isotherm) ฟอสเตอร์ได้ย้ำถึงความสำคัญของฟิล์มบาง ๆ ที่เกาะในผนังรูพรุน ก่อนที่จะมีการควบแน่นเกิดขึ้นและเมื่อระบบเกิดการคายซับ (Desorption) โดยการลดความดันไอ สัมพันธ์ ฟิล์มนี้จะเป็นร่องรอยเหลือทิ้งไว้เช่นกัน ดังนั้นการคำนวณการแจกแจงขนาดของรูพรุน จำเป็น ต้องนำเอาความหนาของฟิล์มนี้มาเกี่ยวข้องด้วย อย่างไรก็ตาม องค์ความรู้และเครื่องมือ ใน สมัยของฟอสเตอร์ยังไม่ดีพอ เช่นปัจจุบัน ดังนั้นในการคำนวณหาความหนาของฟิล์มจึงให้ผล ไม่แน่นอน

ในปี 1938 บรูนาเออร์ เอเมตต์ และเทลเลอร์ (Brunauer Emmett and Teller) ได้เสนอวิธีคำนวณพื้นที่ผิวเฉพาะ และความหนาของฟิล์มดูดซับ ซึ่งปรากฏว่า ได้ผลดีเป็นที่ ยอมรับโดยทั่วไป และนิยมเรียกกันว่า “วิธีบีอีที” (BET Method) หลังจากนั้นเป็นต้นมา งานศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับโครงสร้าง รูปร่าง และขนาดของรูพรุนได้กระทำกันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องจาก สมการเคลวินและสมการบีอีทีควบคู่กัน

ในปี 1950 คูบินิน (Dobinin) และเพียร์ซ (Pierce) ต่างคนต่างเสนอพฤติกรรมของ รูพรุนจุลภาค (Micropore) กับสารดูดซับ (adsorbent) ซับมีค่าสูงเนื่องจากรูพรุนมีขนาดเล็กมาก จนเป็นเหตุให้เกิดการควบแน่นได้ที่มีความสัมพันธ์ต่ำ

นับตั้งแต่ซิกมอนดีได้เผยแพร่การทดลองเป็นต้นมา การค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับการ ดูดซับได้กระทำอย่างกว้างขวางและแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาพื้นที่ผิว การควบแน่น ใน รูพรุนและปรากฏการดูดซับฮิสเทอรีซิส (Adsorption hysteresis) ได้ให้ความสนใจกันเป็น พิเศษ ในปัจจุบันมีทฤษฎีใหม่ ๆ เกี่ยวกับการโคยซับขึ้นมาก

1.3.1.2 นิยามการดูดซับ

เมื่อวัตถุภาสองวัตถุ (วัตถุหนึ่งต้องเป็นของเหลวหรือแก๊ส) มาสัมผัสซึ่งกัน และกันแล้วทำให้ความเข้มข้น หรือจำนวนอนุภาคต่อหน่วยปริมาตร บริเวณผิวสัมผัสแตกต่างกัน จากองค์ประกอบของวัตถุภาในส่วนที่ห่างบริเวณผิวสัมผัสหรือรอยต่อออกไปปรากฏการณ์ที่ เกิดขึ้นนี้เรียกว่า การดูดซับ และจะเกิดขึ้นได้ในทุกสถานะของระบบไม่ว่าจะเป็นสถานะที่สมดุล หรือสถานะของการเปลี่ยนแปลง วัตถุภาที่มีอนุภาคของสารอีกวัตถุภาหนึ่งสะสมอยู่เป็นบริเวณ รอยต่อ เรียกว่า สารดูดซับ และวัตถุภาที่ปล่อยให้อนุภาคของมันเองไปสะสมในวัตถุภาอื่น เรียกว่า สารดูดซับ

ในระบบทั่วไป สารถูกดูดซับมักจะเกาะอยู่บริเวณพื้นที่ผิว หรือรอยต่อระหว่างวัตถุ ภาเท่านั้น แต่ก็ยังมีบางระบบที่สารถูกดูดซับสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อ หรือในโครงสร้าง ของสารดูดซับจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบางประการ เช่น ละเหลว หรือ นำไปด้วยสารถูก

ดูดซับ ปรากฏการณ์ตามลักษณะนี้เรียกว่า การดูดกลืน การดูดกลืนและการโดยซับบมีข้อแตกต่างกัน 3 ประการ คือ

1) การดูดซับจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของสารดูดซับ แต่การดูดกลืนจะมีการทะลุทะลวงของสารถูกดูดกลืนเข้าไปในเนื้อของสารถูกดูดกลืน ทำให้สารถูกดูดกลืนมีสภาพผิดไปจากเดิม เช่น เกิดการพองตัว บิดเบี้ยว และเหลว หรือ เปลี่ยนสภาพเป็นอย่างอื่น

2) การดูดซับสามารถทำลายด้วยวิธีการ “ คายซับ ” ซึ่งเป็นกรรมวิธีง่าย ๆ เช่น การให้ความร้อนหรือการลดความดัน การดูดกลืนบางระบบอาจใช้เวลาหลายเดือนกว่าขบวนการจะสิ้นสุด

3) การดูดซับมักจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสิ้นสุดในระยะเวลาอันสั้น แต่ขบวนการดูดกลืนจะใช้เวลาานกว่าหลายเท่าตัว การดูดกลืนบางระบบอาจใช้เวลาหลายเดือนกว่าขบวนการจะสิ้นสุด

การดูดซับและการดูดกลืนสามารถเกิดควบคู่กันได้ในระบบเดียวกัน ทั้งนี้จะเกิดขึ้นกับธรรมชาติของสารในระบบและสภาพแวดล้อม และมักจะใช้คำกลาง ๆ เรียกกันว่า การดูดซับ คำนี้จะพบบ่อย ๆ เมื่อศึกษาเรื่อง การควบแน่นในรูพรุน (Capillary Condensation) ไอออนเอกซ์เชนจ์ (Ionexchange) และโครมาโตกราฟี (Chromatography)

ในระบบบางระบบอาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับการตัดสินใจว่า ระบบเป็นระบบของการดูดซับแต่เพียงอย่างเดียว หรือว่า การดูดซับ แบ่งอยู่ด้วยกัน เช่น การเกิดออกไซด์ของโลหะ เมื่อมีชั้นโมเลกุลของออกไซด์ ที่สร้างอยู่บนพื้นผิวของโลหะในบรรยากาศของออกซิเจน หรือเมื่อชั้นของ คาร์บอนेटสร้างขึ้นบนผิวของออกไซด์ในบรรยากาศของคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น ระบบตามลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่า “ การดูดซับ ” จึงจะเหมาะสมที่สุด แต่เท่าที่ตรวจสอบโดยทั่วไปเรียกว่า “การดูดซับ” (adsorption) แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่ออธิบายถึงการรับโมเลกุลของน้ำของสารกรองโมเลกุลบางอย่าง เช่น ลินด์ 3 เอ (Lindr 3A) คำว่า การดูดซับ กลับเป็นคำที่นำมาใช้ แต่โดยแท้จริงโมเลกุลของน้ำจะถูกขังไว้ในรูพรุนซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวของสารกรองโมเลกุลเท่านั้น โมเลกุลของน้ำไม่สามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อ หรือโมเลกุลของสารกรองโมเลกุลได้เลย

1.3.2 พฤติกรรมการดูดซับ

การดูดซับ คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส โดยเกิดอันตรกิริยาที่ผิวสัมผัส (Interface) ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและแก๊ส ของแข็งและแก๊ส ของแข็ง

และของเหลว ของเหลวและของเหลว สารที่ผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่า วัสดุดูดซับ ส่วนสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ

พฤติกรรมของการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุดูดซับกับตัวถูกดูดซับสามารถจำแนกได้ 4 ชนิด คือ

ก. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เกิดจากการดูดซับโดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนๆ เป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือ พันธะไฮโดรเจนซึ่งมีทิศทาง และพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย สามารถกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวของวัสดุดูดซับได้ง่าย และอาจเกิดการดูดซับแบบเชิงซ้อนได้หลายชั้น

ข. การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับทำปฏิกิริยาต่อกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ เป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมี ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิววัสดุดูดซับจะทำได้ยาก และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

ค. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (Exchange Adsorption) เกิดเมื่อตัวถูกดูดซับและวัสดุดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับที่เป็นไอออนที่มีประจุกับวัสดุดูดซับที่มีประจุตรงข้ามหรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่ผิวของวัสดุดูดซับกับไอออนของตัวดูดซับ

ง. การดูดซับแบบเจาะจง (Specific Adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับวัสดุดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว

1.3.3 ทฤษฎีการดูดซับ

ได้มีการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับ โดยการสร้างแบบจำลองของการดูดซับในลักษณะต่าง ๆ กันปัจจุบันจึงมีการจำลองหลายรูปแบบ ดังนี้

1.3.3.1 แบบจำลองแลงเมียร์ (Langmuir Model)

แบบจำลองแลงเมียร์ ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากการดูดซับโมเลกุลของก๊าซลงบนวัสดุดูดซับของแข็งโดยมีสมมติฐานว่าพลังงานของการดูดซับของสารแต่ละโมเลกุลจะมีค่าคงที่ และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่แน่นอนของพื้นที่ผิว เรียกว่า ตำแหน่งดูดซับ (Adsorption Site) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถดูดซับสารได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ดังนั้นเมื่อตำแหน่งดูดซับถูกปกคลุมด้วยตัวดูดซับ แล้วจะไม่สามารถดูดซับสารเพิ่มได้อีก

เรียกการดูดซับแบบนี้ว่า เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer Adsorption) แบบจำลองของ แลงเมียร์ได้พัฒนาขึ้นจากการดูดซับและการระเหยโมเลกุลของก๊าซจากผิวหน้าของของแข็ง ถ้ากำหนดให้ θ คือ สัดส่วนของพื้นที่ผิวของที่ถูกปกคลุมด้วยสารถูกดูดซับ

$$\begin{aligned} \text{อัตราเร็วของการคายของก๊าซ} &\propto \theta \\ &= K_d \theta \end{aligned}$$

เมื่อ K_d คือ ค่าคงที่ของการคาย (desorption) โมเลกุลของก๊าซอัตราเร็วของการดูดซับจะแปรตามจำนวนตำแหน่งดูดซับที่ว่างอยู่บนผิวหน้า

$$\begin{aligned} \text{อัตราเร็วของการดูดซับ} &\propto (1-\theta) P \\ &= K_a P(1-\theta) \end{aligned}$$

เมื่อ K_a คือค่าคงที่ของการดูดซับ และ P คือความดันของก๊าซที่จุดสมดุล

$$\text{อัตราเร็วของการคายของก๊าซ} = \text{อัตราเร็วของการดูดซับ}$$

$$K_d \theta = K_a P(1-\theta)$$

$$\theta = \frac{K_a P}{K_d + K_a P} = \frac{bP}{1+bP} \quad (1.1)$$

เมื่อ $b = \frac{K_a}{K_d}$ มีชื่อเรียกว่า สัมประสิทธิ์ของการดูดซับ (adsorption coefficient) และมี

$$K_b$$

ความสัมพันธ์กับเอนทาลปีของการดูดซับ (ΔH_{ad}) ดังสมการ

$$b = b_0 e^{-\Delta H_{ad}/RT} \quad (1.2)$$

ในกรณีที่มีการดูดซับเป็นการดูดซับของของเหลวลงบนวัสดุของแข็งที่จุดสมดุล สารละลายมีความเข้มข้น C

ถ้า M คือ จำนวน โมลของตัวถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ $\left[\frac{X}{m} \right]$

$M_{\max}$ คือ จำนวนโมลของการดูดซับที่สามารถที่สามารถปกคลุมผิวหน้าทั้งหมดของหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ

$$\theta = \frac{M}{M_{\max}}$$

ดังนั้น

$$M = M_{\max} BC \quad (1.3)$$

สมการ (3) สามารถเขียนได้ในรูปของสมการเส้นตรงคือ

$$\frac{1}{M} = \frac{1}{M_{\max}} + \frac{1}{BM_{\max}C} \quad (1.4)$$

จากค่าของ $M_{\max}$ และ b ที่ได้จากกราฟสามารถคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ของสารดูดซับได้จากสมการ

$$S = M_{\max} \cdot N \cdot s \quad (1.5)$$

S คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุดูดซับ

N คือ เลขอาโวกาโดรมีค่าเท่ากับ 6.02×10^{23} โมเลกุล

s คือ พื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยสารดูดซับหนึ่งโมเลกุล

1.3.3.2.1.1 แบบจำลอง BET

บรูเนาว์ เอมเมทต์ และเทลเลอร์ ปรับปรุงแบบจำลองแลงเมียร์ให้ครอบคลุมถึงการดูดซับแบบหลายชั้น โดยพิจารณาว่าการดูดซับในชั้นที่สองและชั้นอื่น ๆ ที่อยู่ถัดออกมาเกิดจากการกลั่นตัว (Condensation) ของสารที่ถูกดูดซับลงบนชั้นแรกของการดูดซับ ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการดูดซับของชั้นที่หนึ่งคือ ความร้อนของการดูดซับ ΔH_{ad} ในขณะที่พลังงานที่ใช้ในการดูดซับของชั้นที่อยู่ถัดออกมาคือความร้อนของการกลั่นตัว ΔH_{cond} สมการ BET สำหรับการดูดซับของเหลวคือ

$$M = \frac{BCM_{\max}}{(C-C_s)[1 + (B-1)(C/C_s)]} \quad (1.6)$$

เมื่อ C_s คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่จุดอิ่มตัวของการดูดซับ

B คือ ค่าคงที่ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

$$B = \frac{\exp(\Delta H_{ad} - \Delta H_{cond})}{RT} \quad (1.7)$$

สมการ BET สามารถเขียนได้ในรูปของสมการเส้นตรงดังนี้

$$\frac{C}{M(C_s - C)} = \frac{1}{BM_{max}} + \left(\frac{B-1}{BM_{max}}\right) \left(\frac{C}{C_s}\right) \quad (1.8)$$

และกราฟระหว่าง $\frac{C}{M(C_s - C)}$ และ $\left(\frac{C}{C_s}\right)$ จะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{B-1}{BM_{max}}$

และตัวแกนที่ $\frac{1}{BM_{max}}$

1.3.3.2 เฟรนด์ลิชแอดซอร์พชันไอโซเทอร์ม (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการเฟรนด์ลิชใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่ออธิบายการดูดซับในสารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ ดังสมการ

$$\frac{X}{m} = K C_e^{1/n} \quad (1.9)$$

X = จำนวนตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับ

M = น้ำหนักวัสดุดูดซับ

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล

K และ $\frac{1}{n}$ เป็นค่าคงที่ของระบบนั้น ๆ

n

สมการเฟรนด์ลิชใช้อธิบายได้ดีสำหรับวัสดุที่มีพื้นที่ผิวแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous) และอธิบายการกระจายตามรูพรุน เมื่อทำเป็นสมการเส้นตรงจะได้

$$\log \frac{X}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (1.10)$$

$$m \quad n$$

โดยทั่วไปค่า $\frac{1}{n}$ ของการดูดซับสารอินทรีย์ มีค่าน้อยกว่า 1 แต่ถ้า $\frac{1}{n} \approx 1$ แสดงว่า ความจุของการดูดซับสูง ที่ความเข้มข้นที่สมดุลสูง ๆ นั่นคือการดูดซับเปลี่ยนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความเข้มข้นที่สมดุลต่ำ ทำให้ไอโซเทอรั่มมีค่าสโลปลาดชันมาก ถ้า $\frac{1}{n} \ll 1$ แสดงว่าความจุของการดูดซับค่อย ๆ ลดลงที่ความเข้มข้นที่สมดุล

สมการเฟรนดลิช สามารถใช้คำนวณปริมาณวัสดุดูดซับที่ต้องการใช้เมื่อลดความเข้มข้นเริ่มต้น และหาความเข้มข้นสุดท้าย โดยแทนค่า C_0-C_s ลงในสมการ

$$\text{Log } \frac{C_0-C_s}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (1.11)$$

1.3.3.3 ระบบไดนามิก (Dynamic System)

ระบบไดนามิกหรือคอลัมน์เป็นขบวนการดูดซับแบบไหลต่อเนื่องผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัสดุดูดซับซึ่งจะเกิดไดนามิกแอดซอร์พชัน (dynamic adsorption) ของตัวถูกละลายหรือตัวถูกดูดซับ วิธีการทำแบบคอลัมน์จะต้องมีการศึกษาความจุของการดูดซับ (adsorption capacity) และพบว่ามีความสูงกว่าการดูดซับแบบไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากสารละลายของตัวถูกละลายได้สัมผัสกับวัสดุอย่างต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของสารละลายเท่าเดิมหรืออาจเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยวัสดุดูดซับในคอลัมน์จะมีลักษณะเป็นชั้น แต่ละชั้นจะได้รับสารละลายที่มีความเข้มข้นคงที่

แอดซอร์พชันไอโซเทอรั่ม การดูดซับของตัวถูกดูดซับจากตัวทำละลายไปยังผิวของวัสดุมีการกระจายของตัวถูกละลายจากภูมิภาคของเหลวไปยังของแข็งอัตราการกระจายเป็นขบวนการดูดซับที่สมดุลโดยอธิบายในเทอรั่มของ (จำนวนของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อกรัมวัสดุดูดซับ (Q) เป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่สมดุล (C) เมื่อ Q และ C มีความสัมพันธ์กันตามสมการของแลงเมียร์ซึ่งอาศัยสมมุติฐานว่าการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว พลังงานระหว่างตัวถูกละลายกับวัสดุดูดซับดังสมการที่ 1.12

$$Q = \frac{Q_m b C}{1 + b C} \quad (1.12)$$

เขียนสมการของแรงเฉื่อยเป็นสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$1/Q = 1/Q_m + (1/bQ_m)(1/C) \quad (1.13)$$

และเฟรนคิชได้ปรับปรุงสมการแรงเฉื่อยเพื่อใช้กับผิวของวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและพลังงานมีการเปลี่ยนแปลงดังสมการ

$$Q = KC^{1/n} \quad (1.14)$$

เมื่อ K = ค่าคงที่เรียกว่า ความจุของการดูดซับ

$1/n$ = ค่าคงที่แสดง ความเข้มข้นของการดูดซับ โดยพบว่าถ้าค่า $1/n$ มีค่าลดลง แสดงว่า ความเข้มข้นของการดูดซับเพิ่มขึ้น ทำเป็นสมการเส้นตรง

$$\log Q = \log K + 1/n \log C \quad (1.15)$$

1.3.3.4 Breakthrough Curve และ Mass Transfer Zone

Breakthrough Curve และ Mass Transfer Zone เมื่อผ่านสารละลาย (ตัวถูกดูดซับ) ลงไปในคอลัมน์และพิจารณา wave front ของวัสดุดูดซับเมื่อสัมผัสกับตัวดูดซับ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนผิววัสดุดูดซับแปรตามความลึกของฐาน (Bed depth) ของชั้นแรก วัสดุดูดซับจะดูดซับอย่างรวดเร็วจนถึงสมดุล ส่วนที่สองเป็นการดูดซับแบบไดนามิกเรียกว่าช่วงการถ่ายมวล (Mass transfer zone) หลังจากส่วนนี้ตัวถูกดูดซับมาถึงส่วนล่างสุดความเข้มข้นส่วนนี้เรียกว่าความเข้มข้นที่ Breakthrough ซึ่งสามารถสร้าง Breakthrough Curve ได้โดยพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นที่ผ่านออกมา (Effluent concentration) กับเวลา ดังภาพที่ 1.10 มีวิธีการทดลองโดยให้ตัวถูกดูดซับก่อนผ่านคอลัมน์และออกจากคอลัมน์มีความเข้มข้นเท่ากัน ($C_{in}-C_{out}$) ตามปกติ Breakthrough Curve จะได้รูปร่างตัวเอสที่เรียบ (Smooth S-shape) เมื่อทำการทดลองกับวัสดุดูดซับชนิดเดียว แต่ถ้าตัวดูดซับหลาย ๆ ชนิดผสมกัน การดูดซับจะเกิดการแข่งขัน ทำให้รูปร่างของ Breakthrough Curve เปลี่ยนไปหรืออาจบิดเบี้ยว

1.3.3.5 วิธีการดูดซับ

ก. วิธีการดูดซับแบบแบทช์ (Batch)

วิธีการศึกษาการดูดซับแบบแบทช์หรือแบบแช่สามารถทำให้วัสดุดูดซับกับตัวถูกดูดซับถึงจุดสมดุลได้โดยแบบแช่ตั้งทิ้งไว้ ซึ่งต้องใช้เวลานาน แต่ถ้าทำการเขย่าจะให้การละลายถึงสมดุลเร็วขึ้น อุณหภูมิจะมีผลต่อการดูดซับแบบนี้

ข. วิธีการดูดซับแบบคอลัมน์ (Column)

การดูดซับแบบคอลัมน์โดยนำวัสดุดูดซับมาบรรจุในคอลัมน์แล้วผ่านสารละลายของตัวถูกดูดซับลงไปปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่ อัตราการไหล ขนาดของคอลัมน์ ความสูงของวัสดุที่บรรจุ พบว่าการดูดซับในช่วงแรกของคอลัมน์จะมีปริมาณมากกว่าในช่วงท้าย ในการศึกษาการดูดซับแบบต่อเนื่องจะมีประสิทธิภาพของการดูดซับดีกว่าแบบแบทช์ เนื่องจากสารละลายของตัวถูกดูดซับจะสัมผัสกับวัสดุได้นานกว่า

1.3.4 วัสดุในการดูดซับ

1.3.4.1 สาธุ

ต้นสาธุเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในตระกูลปาล์ม ที่ขึ้นในบ้านเรามี 2 ชนิด คือ ชนิดไม่มีหนาม (Metroxylon sugus Rottb) และชนิดมีหนาม (Metroxylon rumphii Mart) (นพรัตน์, 2524:26) ปาล์มสาธุที่สำรวจพบในประเทศไทยมีอยู่เพียงชนิดเดียว มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ Metroxylon sugus Rottb โดยมีลักษณะเป็นไม้ต้นสูงประมาณ 15-20 เมตรและมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 40-60 เซนติเมตร

- ใบ เป็นใบประกอบเป็นแบบขนนก มีขนาดใหญ่ ยาวประมาณ 2-3 เมตร
- ดอก ออกตรงปลายยอดเหนือลำต้นมีขนาดใหญ่แผ่กว้าง ประมาณ 3-4 เมตร
- ผลมีลักษณะกลมด้านบนแบน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5-5 เซนติเมตรผิวของผลมีเกล็ดหุ้ม บางต้นอาจมีผลมากถึง 7,500-8,000 ผล ในบางต้นอาจเป็นเมล็ดสีปนน้ำตาลทั้งหมด เนื่องจากเมล็ดไม่ได้รับการผสม ผลหนึ่งผลมีน้ำหนักประมาณ 42 กรัม สามารถเลือกเก็บผลได้ตลอดปี และในช่วงชีวิตจะออกดอกผลเพียงครั้งเดียว เมื่อผลร่วงหล่นแล้วต้นแม่ตายระยะเวลาตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงผลสุก ใช้เวลาประมาณ 4-5 ปี

นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าสนใจว่าผลของปาล์มสาธุที่ได้จากต้นแม่เดียวกันเมื่อนำมาเพาะแล้วให้ต้นกล้ามีสองลักษณะ คือ ลำต้นมีหนามและลำต้นไม่มีหนาม โดยลำต้นกล้ามีหนามที่พบ

ในประเทศไทยนั้น เมื่อมีอายุมากขึ้นหนามจะหายไปในขณะที่ต่างประเทศบางพันธุ์ถึงแม้ว่าโตเป็นต้นใหญ่แล้วยังคงมีหนามติดอยู่

ต้นสาकुเป็นพืชตระกูลปาล์ม มีอายุประมาณ 10-11 ปี โดยการเจริญเติบโตเป็น 3 ช่วง (Flach,1984;สมศักดิ์,2536 อ้างถึงใน กล้าณรงค์ และคณะ,2542;4)

1. ระยะเกิดใบ ระยะนี้สาकुจะมีการแตกใบไม่มีลำต้นเหนือพื้นดิน พืชจะอยู่ในระยะนี้ 3 ปีครึ่ง

2. ระยะเกิดลำต้นเมื่อพืชมีอายุ 3 ปีครึ่ง จนแก่เต็มที่ (8-15 ปี)

3. ระยะออกดอกเมื่อแก่เต็มที่ใบจะหลุดร่วงไป แบ่งในลำต้นจะมีการสะสมถึงจุดสูงสุด (8-15 ปี) เมื่อตอนสาकुเริ่มออกดอกและเกิดผลแบ่งในลำต้นก็จะถูกใช้และลดลงส่วนต้นก็จะตาย

1.3.4.2 การใช้ประโยชน์ของต้นสาकुในประเทศไทย

1.3.4.2.1 การใช้สาकुในทางตรง

1) ใบใช้ทำจากมุงหลังคา

ชาวบ้านในภาคใต้ของไทยรู้จักวิธีการนำใบสาकुมาทำจากมุงหลังคาเป็นเวลานานกว่าร้อยปีแล้ว หลังคาที่ทำจากใบสาकुสามารถป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดีและมีความทนทานหลังคาที่ทำมาจากใบของต้นจาก (*Nypa fruticans* Wurm) อย่างไรก็ตามหลังคาที่ทำจากใบสาकु จะมีอายุอยู่ได้ประมาณ 4-6 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาและจำนวนชั้นของใบสาकुที่นำมาเย็บเป็นหลังคา ถ้ามีความหนามากก็จะทนอยู่ได้นานมากขึ้นสำหรับขั้นตอนในการทำจากจากใบสาकुนั้น เริ่มจากการนำใบย่อยของใบสาकुพบที่จุดประมาณหนึ่งในสามจากฐานใบ แล้วนำมาจัดเรียงซ้อนกัน โดยใช้ไม้ไผ่หรือไม้หมากซึ่งผ่าให้มีขนาดความโตประมาณ 2 เซนติเมตร เป็นแกนกลาง แล้วจึงเย็บเป็นเปลือกนอกของต้นกล้า (*Schumannianthus* spp.) หรือหวาย หลังจากนั้นจึงนำไปตากแดด ชาวบ้านมักนิยมใช้มุงหลังคาที่ทำจากใบสาकुนี้ สำหรับมุงที่อยู่อาศัยและเลี้ยงสัตว์ โดยสามารถจะหาซื้อได้ทั่วไปตามบริเวณสองข้างถนนในจังหวัดทางภาคใต้ ในราคาระหว่าง 2.5 - 4 บาทต่อหนึ่งตับ ซึ่งผันแปรตามขนาดความยาวของตับ (ศูนย์วิจัยและศึกษาธรรมชาติป่าพรุสิรินธร,2544 : 10)

2) เนื้อในของส่วนลำต้นสาकुใช้เลี้ยงสัตว์

ลำต้นของสาकुเมื่อโตเต็มที่มักมีลักษณะคล้ายคลึงกับลำต้นของมะพร้าว แต่มีขนาดใหญ่กว่า เนื้อในและประกอบด้วยแป้งจำนวนมาก จึงสามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ เช่น เป็ด ไก่และหมูได้

การนำเนื้อในของส่วนลำต้นสาकुมาใช้เลี้ยงสัตว์ของประชาชนในภาคใต้มี 4 วิธี คือ

1. ตัดลำต้นให้เป็นท่อน ๆ ประมาณ 50 เซนติเมตร และปล่อยให้สัตว์เลี้ยงแทะกินโดยตรง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสัตว์เลี้ยงประเภทเปิด ไร่

2. ทำการผ่าลำต้นให้เป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย ก่อนที่จะให้สัตว์กิน

3. ถากเปลือกนอกออกจากส่วนของลำต้นก่อน แล้วจึงสับหรือขูด หรือบดให้ละเอียดแล้วนำไปผสมกับอาหารชนิดอื่น ก่อนนำไปใช้ให้สัตว์เลี้ยงกิน

4. นำเส้นใยส่วนที่เหลือจากการเอาเปลือกออกแล้ว มาใช้กับการผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่นก่อนนำไปเป็นอาหารสัตว์ ซึ่งการใช้ประโยชน์ทั้งสี่วิธีนี้เป็นที่แพร่หลายมากในจังหวัดปัตตานี ยะลาและนราธิวาส อย่างไรก็ตามงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ในด้านการนำเนื้อในของลำต้นสาकुมาใช้เป็นอาหารสัตว์นี้ยังน้อย ควรมีการศึกษา

5. สกัดเอาเปลือกจากส่วนของลำต้นสาकुมาใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์

ประชาชนชาวไทยโดยเฉพาะที่อยู่อาศัยในพื้นที่ภาคใต้รู้จักคัดเลือกต้นสาकुที่จะนำมาสกัดเอาเปลือกเพื่อใช้ในการบริโภคมานานแล้ว โดยเลือกต้นที่กำลังออกดอก ซึ่งถือได้ว่าในขณะนั้นมีปริมาณของเปลือกที่สะสมอยู่ในส่วนของลำต้นมากที่สุด จากการทดลองตัดลำต้นสาकुที่สมบูรณ์ดังกล่าว ในพื้นที่พิจิตรจังหวัดนราธิวาส พบว่าจากน้ำหนักของลำต้น 250 กิโลกรัม (หลังจากอบ) มีปริมาณเปลือกสะสมอยู่ภายในสูงถึง 60 กิโลกรัม ขั้นตอนการสกัดเอาเปลือก เริ่มจากการคัดเลือกเอาต้นสาकुที่สมบูรณ์ ดังกล่าว แล้วใช้เลื่อยยนต์ตัดโคนลงมาแล้วตัดแบ่งเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 50 เซนติเมตร นำมาผูกเข้าด้วยกัน แล้วทำการขนย้ายโดยการลอยไปตามน้ำกลับไปยังหมู่บ้านแล้วแช่น้ำไว้ หลังจากนั้นถากเปลือกนอกออกแล้วใช้ขวานผ่าเป็นชิ้นเล็ก ๆ และนำไปบดด้วยเครื่องโม่บด จากนั้นนำไปผสมน้ำแยกเปลือกออก โดยการบิด บีบและนำมารองเอาเปลือก การใช้อุปกรณ์ในการกรองที่แตกต่างกัน จะแปะคุณภาพที่ต่าง ๆ กัน จากนั้นนำเปลือกที่แยกได้มาตากแดดให้แห้งโดยวิธีค่อนข้างยุ่งยากและน้ำที่ชะล้างเอาเปลือกออกนั้นมีเปลือกที่แขวนลอยอยู่ เมื่อไหลลงสู่ลำน้ำมักจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม และทำให้แหล่งน้ำน้ำเสียได้ จึงน่าจะคิดหาวิธีการดำเนินการผลิตแปะให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยใช้เครื่องจักรมาช่วยในการแยกสกัดเปลือก ในลักษณะเดียวกันกับการใช้เครื่องจักรช่วยคั้นน้ำกะทิเป็นสิ่งที่น่าจะศึกษาต่อไป

3) นำเปลือกนอกมาทำเชื้อเพลิง

ผลพลอยได้อีกประการหนึ่งของสาकु คือ เปลือกนอกที่ถากออกจากลำต้นในกระบวนการสกัดแปะเมื่อนำไปตากให้แห้งสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้

4) นำเปลือกนอกมาปูพื้น

นอกจากใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงได้แล้ว ในชนบทยังใช้เปลือกของต้นสาकुมาทำเป็น ไม้ปูพื้น สำหรับใช้เป็นทางเดินชั่วคราว หรืออาจนำมาใช้ปูแทนเลื้อยสำหรับการใช้ตากข้าว ตากหมากหรือ ตากแป้งสาकुก็ได้

5) นำส่วนของเปลือกของลำต้นมาทำเป็นกระถางปลูกผักหรือต้นไม้หรือใช้บัง กระถางไม้ประดับ

ส่วนเปลือกนอกของลำต้นท่อนสาकुที่ตัดให้สัตว์เลี้ยงแกะกิน เมื่อสัตว์เลี้ยงแกะกินเนื้อ ในหมดแล้ว จะเลือกแต่เปลือกนอกสามารถนำมาใช้ทำเป็นกระถางสำหรับการปลูกพืชผักหรือไม้ประดับได้ และนอกจากนี้ยังสามารถเนื้อในออกแล้วตกแต่งให้สวยงาม นำมาใช้สวมบังกระถางไม้ประดับสำหรับการตกแต่งอาคารสถานที่

6) นำก้านใบมาใช้สร้างที่พักชั่วคราว

ก้านใบของสาकुขนาดใหญ่เหนียว แข็งแรง และมีความทนทานเพียงพอที่จะนำมาใช้ ทำเป็นที่รองนั่ง หรือทำเป็นโครงสร้างของกระท่อมซึ่งสามารถพบเห็นได้บ้างในบริเวณทุ่งนาใน เขตจังหวัดปัตตานี และจังหวัดนราธิวาส

7) นำเปลือกนอกของก้านใบมาสานทำเสื่อหรือฝ้ายบ้าน

เปลือกของก้านใบสามารถลอกและนำไปเป็นวัตถุดิบในการทำเสื่อได้ อย่างไรก็ตาม เสื่อที่ผลิตได้จากวิธีนี้ไม่สามารถพับได้ ชาวบ้านจึงนิยมนำมาทำเป็นผนังหรือฝ้ายบ้านมากกว่า

8) ใช้น้ำเลี้ยงจากก้านใบมาทำกาว

น้ำเลี้ยงที่ออกมาจากรอยตัดของก้านใบมีสีขุ่นและเหนียวสามารถนำมาใช้ทำกาวได้ กาวนี้ในชนบทนิยมใช้ในการผลิตวาวโดยใช้เชื่อมระหว่างกระดากับโครงสร้างของวาว

9) ใช้ใบย่อยมาห่อขนม

“ขนมจาก” เป็นชื่อขนมหวานที่ทำมาจากแป้ง มะพร้าว และน้ำตาล โดยห่อด้วยใบ จากและใบสาकु เมื่อนำไปปิ้งหรือย่างจะให้กลิ่นที่หอมน่ารับประทาน

10) ใ้ย่อยอ่อนของลำต้นสาकुเป็นอาหาร

ยอดอ่อนของลำต้นสาकुที่มีอายุ 4-5 ปี สามารถนำมารับประทานได้

11) ใ้ย่อยของลำต้นมาทำไม้กวาด

ก้านใบย่อยซึ่งมีขนาดเล็กและยาว สามารถนำมามัดรวมกันและใช้เป็นไม้กวาดได้

12) เก็บตัวอ่อนของด้วงสาควมารับประทาน

เมื่อต้นสาควายพบว่า จะมีแมลงปีกแข็งชนิดหนึ่งมาเจาะและกินแกนในของลำต้น ขณะเดียวกันก็จะวางไข่ไว้ด้วย เมื่อไข่กลายเป็นตัวอ่อนชาวบ้านจะใช้มีดและขวานผ่าลำต้นเพื่อเก็บตัวอ่อนไปรับประทานหรือขายซึ่งได้ราคาดีมาก เป็นอาหารที่หารับประทานได้โดยทั่วไปในจังหวัดภาคใต้ ตัวด้วงสาควินี้เป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง

13) ใช้รากทำยาพื้นบ้าน

บ้างท้องถิ่นในภาคใต้พบว่าประชาชนนำรากของสาความาปรุงเป็นยาโดยเฉพาะรากแขนง (secondary root) ที่เชื่อกันว่าใช้รักษาอาการปวดศีรษะได้ด้วยการนำรากสาความาแช่น้ำและนำน้ำมันมารดหรือพรมศีรษะผู้ป่วย วิธีการนี้ยังมีผู้เชื่อถือและใช้อยู่ในปัจจุบัน

14) ผลปาล์มสาควาใช้รับประทานได้

ผลสุกของสาความีรสเปรี้ยวและฝาดเล็กน้อย และเชื่อกันว่าเป็นยาช่วยลดโรคความดันโลหิตสูงและบรรเทาอาการโรคเบาหวานได้

15) ปลุกสาควาเป็นไม้ประดับ

เนื่องจากสาควาเป็นไม้ตระกูลปาล์ม ซึ่งพืชในตระกูลนี้ส่วนใหญ่นำมาปลูกเป็นไม้ประดับ สาควาก็เช่นเดียวกันสามารถนำมาเป็นไม้ประดับได้อย่างดี

1.3.4.2.2 การใช้สาควาในทางอ้อม

1) ใช้สาควาปลูกเป็นไม้ให้ร่ม

สาควาเป็นพืชขนาดใหญ่ สูงและมีเรือนยอดที่แผ่กว้างจึงเหมาะที่จะนำมาปลูกเป็นไม้ให้ร่มนอกจากนี้สาความีข้อดีอีกประการหนึ่ง คือ มีใบที่อายุยาวนานโดยไม่ร่วงหล่นลงมาง่าย ๆ อีกทั้งมีผลขนาดเล็กไม่อันตรายขณะร่วงหล่นลงมา

2) ใช้สาควาปลูกเป็นแนวกันลม

เนื่องจากสาความีระบบรากที่แข็งแรงอีกทั้งชอบขึ้นเป็นกอและมีความสูงลดหลั่นต่างกันหลายชั้นเรือนยอด จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาปลูกเป็นแนวกันลม

3) ใช้ปลูกกันการกัดเซาะหรือพังทลายของหน้าดิน

ลำต้นสาควาส่วนที่ทอดเลื้อยไปตามพื้นดิน มีประโยชน์ในการช่วยยึดและกันดินไม่ให้ไหลลงสู่แหล่งน้ำ เป็นการช่วยป้องกันดินถูกกัดเซาะและพังทลายลักษณะพิเศษของลำต้นเช่นนี้ยังใช้ในการปักตะกอน และช่วยกรองขยะต่าง ๆ ไว้ไม่ให้ไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง

4) ใช้ปลูกเป็นแถวหรือแนวแสดงแนวเขตพื้นที่อนุรักษ์

ปกติแล้วการหมายแนวเขตพื้นที่ป่าอนุรักษ์มักจะทำการสร้างถนนหรือการขุดคลองล้อมรอบพื้นที่ แต่วิธีดังกล่าวข้างต้นเป็นวิธีการที่ค่อนข้างจะใช้เงินลงทุนเป็นจำนวนมากและอาจถูกใช้เป็นเส้นทางลำเลียงเข้าไปลักลอบตัดฟันไม้ หรือการเข้าไปล่าสัตว์อย่างผิดกฎหมายการขุดคลองทำให้เกิดการระบายน้ำออกจากพื้นที่ เป็นสาเหตุเบื้องต้นที่ก่อให้เกิดไฟไหม้ป่าในทางตรงกันข้ามสาเหตุเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ในหลายสภาพพื้นที่ มีการเจริญเติบโตเร็ว มีลักษณะของใบที่แตกต่างจากไม้ยืนต้นทั่วไปทนของการทำลายของไฟป่าและมีประโยชน์ต่อประชาชนที่อาศัยอยู่รอบ ๆ ป่าหรือพื้นที่นั้น ๆ ดังนั้นสาเหตุจึงเหมาะที่จะใช้พืชที่จะนำมาปลูกเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว โดยเฉพาะนำมาปลูกเป็นแนวเขตอุทยานแห่งชาติหรือเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าที่เป็นพื้นที่พรุซึ่งเป็นวิธีการทางธรรมชาติที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยและมีผลเสียต่อการอนุรักษ์ป่าไม้

การปลูกสาธิตเพื่อการนี้ควรปลูกเป็นแถวให้มีความกว้างเพียงพอที่จะเป็นแนวทางป้องกัน เพื่อแยกพื้นที่ป่าอนุรักษ์ออกจากพื้นราษฎรแล้วหลังจากการปลูกแล้วควรจะมีหน่วยงานหรือองค์กรของรัฐ โดยเฉพาะองค์การบริหารส่วนตำบลเจ้าของพื้นที่เป็นผู้รับผิดชอบในการจัดการ อย่างไรก็ตามการกระทำเช่นนี้ได้ต้องมีกล้าสาธิตที่มีมากพอ ซึ่งปัจจุบันการผลิตต้นสาธิตในปริมาณมาก ๆ ยังขาดเมล็ดพันธุ์ที่มีไม่เพียงพอกับความต้องการจึงจำเป็นต้องมีการวิจัยอย่างรีบด่วนถึงขั้นตอนและเทคนิคในการผลิตกล้าสาธิตให้เพียงพอต่อไป

1.3.5 รายละเอียดเกี่ยวกับสีย้อมแอคทีฟ

1.3.5.1 สีย้อมแอคทีฟ (Reactive dyes)

สีย้อมแอคทีฟเป็นสีย้อมประเภทหนึ่งที่ใช้ย้อมไหมได้ผลดี แม้จะมีความสดใสของสีสูงเท่าสีเบสิกและสีแอสิคก็ตาม แต่ให้สมบัติเกี่ยวกับความคงทนต่อแสงและการซักอยู่ในเกณฑ์ที่ดี มีความคงทนต่อการซัก ฟอกมาก เหมาะสำหรับย้อมชิ้นงานพิเศษ ระดับสีอ่อนมาก ๆ จนถึงระดับสีปานกลางที่ต้องการเน้นสมบัติบางอย่าง เป็นประเภทสีที่ย้อมง่ายแต่การปรับเทียบสีให้เหมือนกับสีตัวอย่างตามใบสั่งค่อนข้างยุ่งยากและผิดพลาดง่ายกว่าการย้อมไหมด้วยประเภทอื่น

สีย้อมแอคทีฟสามารถละลายน้ำได้โดยตรง การละลายจะง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้นในน้ำร้อน โครงสร้างของโมเลกุลของสีประเภทนี้โดยทั่วไปจะประกอบด้วยตัวสี (Chromophore group) และกลุ่มปฏิกิริยา (Reactive group) ตัวสีจะทำหน้าที่เกี่ยวกับการเกิดสี สมบัติในการละลาย สมบัติเกี่ยวกับการย้อม และความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมบางอย่างเป็นสำคัญ สำหรับกลุ่มปฏิกิริยาเป็นกลุ่มที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมี ยึดจับเป็นการถาวร (Permanent covalent linkage) กับหมู่อะมิโน (Side chain amino group) ในโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยไหมและขนสัตว์ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อ

ความคงทนต่อการซักฟอกและการขัดถู เป็นต้น กลุ่มปฏิกิริยา (Reactive group) ดังกล่าวนอกจากจะทำปฏิกิริยากับเส้นใยโปรตีนแล้ว ยังสามารถทำปฏิกิริยาได้กับหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ของเส้นใยเซลลูโลสและน้ำได้ดีด้วยอย่างไรก็ดีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันว่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับที่เกิดกับเส้นใยต่าง ๆ หากทำการย้อมด้วยวิธีการที่ถูกต้องและอาศัยกลไกต่าง ๆ สำหรับการย้อมสีที่เหมาะสม

การย้อมไหมด้วยสีรีแอคทีฟ สามารถกระทำได้ทั้งในสภาวะเป็นกรดและเป็นด่าง การย้อมไหมในสภาวะที่เป็นกรดไม่แนะนำให้ปฏิบัติ เพราะไม่เกิดผลดีเท่าที่ควรและที่สำคัญคือต้นทุนเกี่ยวกับสีย้อมและกรดสูงมาก การย้อมไหมในสภาวะเป็นด่างแม้จะเป็นการเสี่ยงต่อความเสี่ยงต่อความเสียหายอยู่บ้าง แต่หากได้ทำการควบคุมสภาวะต่าง ๆ ให้รัดกุมก็จะเป็นผลดีและประหยัดมากกว่าการย้อมไหมด้วยสีรีแอคทีฟในสภาวะเป็นด่างมีวิธีการดูดซึมเข้าสู่ภายในเส้นใย (Exhaustion) การฟีนิกซี (Fixation) และการซักล้าง กำจัดสีส่วนเกิน (Soaping) ตามลำดับ เว้นแต่ต้องใช้สภาวะเป็นด่างในช่วงทำการฟีนิกซี (Fixation) ต่ำกว่ามากเพื่อลดอันตรายที่สามารถเกิดขึ้นกับเส้นไหม

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับสีด้วยวัสดุสาอู
2. เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของการดูดซับสีโดยใช้วัสดุที่ปรับสภาพ
3. เพื่อศึกษา Adsorption Isotherm ที่อุณหภูมิห้อง

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. การกำจัดสีย้อมโดยการดูดซับด้วยต้นสาอู โดยนำตัวอย่างต้นสาอูจากหมู่บ้านกรุงหยัน ตำบลกรุงหยัน อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช
2. ใช้ต้นสาอูที่มีลักษณะสมบูรณ์ เพื่อในการเตรียมวัสดุดูดซับ
3. ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง เมษายน 2549 - ตุลาคม 2549
4. สีที่ใช้ในการทดลอง คือ สีชมพู สีนํ้าเงิน และสีเหลือง

1.6 สมมติฐาน

วัสดุที่มีเส้นใยสามารถดูดซับสีรีแอคทีฟได้

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

การดูดซับ คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส พื้นที่ผิวของสารอาจเป็นระหว่างของกับของเหลว สารที่พื้นที่ผิวเกิดการดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbant) ส่วนสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) พฤติกรรมการดูดซับระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับที่พบมากได้แก่ การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption)

สิริแอกทีฟ หรือสีย้อมโลหะ ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุดและละลายน้ำได้

ต้นสาถุ คือ เป็นพืชในกลุ่มปารัม Genus Matroxylon ซึ่งมีอยู่ 9 species 12 varieties และ 12 subvarieties (Flach , 1984) มีอายุประมาณ 10-11 ปี โดยการเจริญเติบโตเป็น 3 ช่วง (Flach , 1984-สมศักดิ์ , 2536)

1. ระยะเกิดใบ ระยะนี้สาถุจะมีการแตกใบไม่มีลำต้นเหนือพื้นดิน พืชจะอยู่ในระยะนี้ 3 ปีครึ่ง
2. ระยะเกิดลำต้นเมื่อพืชมีอายุ 3 ปีครึ่ง จนแก่เต็มที่ (8-15 ปี)
3. ระยะออกดอกเมื่อแก่เต็มที่ใบจะหลุดร่วงไป แบ่งในลำต้นจะมีการสะสมถึงจุดสูงสุด (8-15 ปี) เมื่อตอนสาถุเริ่มออกดอกและเกิดผลแบ่งในลำต้นก็จะถูกใช้และลดลงส่วนต้นก็จะตาย ต้นที่อยู่ในระยะนี้จะมีความสูงตั้งแต่ 30-40 เมตร มีเส้นรอบวงตั้งแต่ 50-60 นิ้วการคาดคะเนอายุการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงจะใช้เวลาการสร้างใบและกิ่งค่อนข้างคงที่

บทที่ 2

วิธีการทดลอง

2.1 เครื่องมืออุปกรณ์ และสารเคมี

2.1.1 เครื่องมือ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงเครื่องมือ

ลำดับที่	ชื่อเครื่องมือ	ยี่ห้อ	รุ่น
1	พีเอชมิเตอร์	Oriomn	Model 1260
2	เครื่องอัลตราไวโอเลตและวิชิเบล สเปกโตรสโกปี	Perkin Elmer	Lamda 12
3	ตะแกรง ขนาด 1-180 เมช	-	-
4	โถดูดความชื้น	Hotpack	352602
5	ตู้ควัน	Major	-
6	เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง	Metler Toledo	BP 1520

2.1.2 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. กระบอกตวง
3. ปีเปต
4. ขวดปรับปริมาตร
5. กรวยกรอง
6. หลอดหยด
7. ขวดน้ำกลั่น
8. บิวเรต
9. ที่วางหลอดทดลอง
10. แท่งแก้วคน
11. หลอดทดลอง

12. ขาดัง
13. แคลมป์
14. ถังน้ำเกลือ
15. ขวดพลาสติก
16. กระดาษลิทมัส
17. กระบอก-เข็มฉีดยา
18. กระดาษซังสาร
19. ฟลอยปิด

2.1.3 สารเคมีและวัสดุชุดขับ

สารเคมีและวัสดุชุดขับที่ใช้ในการวิจัยแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสารเคมีและวัสดุชุดขับที่ใช้ในการวิเคราะห์

ลำดับที่	สูตรเคมี	เกรด	บริษัท
1. โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaCl	AR	MERCK
2. กรดซัลฟูริก	H ₂ SO ₄	AR	MERCK
3. กรดไฮโดรคลอริก	HCl	AR	MERCK
4. ฟอर्मลดีไฮด์	-	AR	MERCK
5. กระบุง	-	-	-
6. สารละลายสี	-	-	-

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การปรับสภาพวัสดุชุดขับ

นำเนื้อสาหร่ายมาบดแล้วนำไปตากแดด 3 วัน อบต่อให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงในเตาอบ แล้วนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ถึง 180 ไมโครเมตร แล้วนำมาปรับสภาพด้วยวิธีดังนี้

- ปรับสภาพด้วยสารละลายฟอर्मลดีไฮด์ร้อยละ 37 และกรดซัลฟูริก 0.2 นอร์มอล อัตราส่วน 1:20 (วัสดุชุดขับปรับสภาพด้วยฟอर्मลดีไฮด์)

- นำกากสาธูมาแช่ในสารละลายฟอร์มาลีนร้อยละ 37 และกรดซัลฟูริก 0.2 นอร์มอล อัตราส่วน 1:20 เปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกชั่วโมงจนกระทั่งสารละลายที่แช่ไม่มีสีเหลืองหรือสีน้ำตาลจากวัสดุดูดซับ จากนั้นนำมาแช่ในน้ำกลั่นต่อ เปลี่ยนน้ำกลั่นที่แช่เรื่อย ๆ จนกระทั่ง pH ของน้ำกลั่นที่แช่ไม่ต่ำกว่า 6 แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงในเตาอบ และเก็บวัสดุดูดซับที่ปรับสภาพแล้วไว้ในตู้ดูดความชื้น

2.2 การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของตัวดูดซับ

2.2.1 การเตรียมสารละลายสี 1000 ppm

วิธีการ - สารละลายสีชมพู ชั่งสีชมพูหนัก 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

- สารละลายสีน้ำเงิน ชั่งสีน้ำเงินหนัก 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

- สารละลายสีเหลือง ชั่งสีเหลืองหนัก 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

2.2.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีรีแอคทีฟ

วิธีการ เตรียมสารละลายสีตามลำดับ จากความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วปิเปตมา 4 ความเข้มข้น คือ 2.5 5 7.5 และ 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร นำไปวัด ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

2.3 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายสีรีแอคทีฟ

ในการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายสีรีแอคทีฟทำได้ 2 แบบ คือ แบบแบบแท่ง และแบบคอลัมน์

2.3.1 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีรีแอคทีฟด้วยเทคนิคแบบแท่ง

2.3.1.1 เวลาในการดูดซับ

นำกากสาธูที่ปรับสภาพ 0.5 กรัม และสารละลายสีชมพู สีน้ำเงิน และสีเหลือง ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ส่วนพลาสติกควมคุมจะมีเพียงสารละลายสีชมพู สีน้ำเงิน และสีเหลืองเพียงอย่างเดียว โดยแต่ละชุดการทดลองจะทำ 3 ซ้ำ ทุกพลาสติกจะถูกนำไปแช่ทิ้งไว้ โดยใช้เวลาในการดูดซับที่ 5 วัน และเก็บตัวอย่าง

6 มิลลิลิตร โดยใช้เข็มฉีดยา หาค่าดูดกลืนแสงในแต่ละตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 525 585 และ 399 นาโนเมตร ตามลำดับ

2.3.1.2 pH ของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

นำกากสาเกที่ปรับสภาพที่ดีที่สุดมาใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีชมพู สีนํ้าเงิน และสีเหลือง ที่ pH 1 2 3 4 5 6 7 8 9 และ 10 ทำการปรับ pH โดยสารละลายกรดซัลฟิวริก 5 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ ซึ่งไม่ทำให้สีของสารละลายสีเปลี่ยน ทำการดูดซับในขวดรูปชมพู่ แต่ละขวดรูปชมพู่จะประกอบด้วย กากสาเกปรับสภาพ 0.5 กรัม และสารละลายสีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ส่วนขวดรูปชมพู่ควบคุมจะมีเพียงสารละลายสีชมพู สีนํ้าเงิน และสีเหลืองเพียงอย่างเดียว โดยจะทำการปรับ pH ให้เท่ากับ pH ของระบบของขวดรูปชมพู่ทดลอง แต่ละชุดทดลองจะทำ 3 ซ้ำ เก็บตัวอย่าง 6 มิลลิลิตร โดยใช้เข็มฉีดยา จากเวลาที่ดีที่สุดในการดูดซับ หาค่าดูดกลืนแสงในแต่ละตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 525 สำหรับสีนํ้าเงิน 585 สำหรับสีเหลือง และ 399 นาโนเมตร สำหรับสีชมพู ตามลำดับ

2.3.2 ศึกษาหา Absorption Isotherm ที่อุณหภูมิห้องเพื่อหาค่าความจุ

นำกากสาเกที่ปรับสภาพที่ดีที่สุด ขนาดที่เหมาะสมที่สุด และ pH ของระบบที่ดีที่สุด มาทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง เพื่อศึกษาหา Absorption Isotherm โดยแต่ละขวดรูปชมพู่ทดลองจะประกอบด้วยวัสดุดูดซับปรับสภาพและไม่ปรับสภาพน้ำหนัก 0.5 กรัม และสารละลายสีชมพู สีนํ้าเงิน และสีเหลือง ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 350 400 450 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ขวดรูปชมพู่ควบคุมประกอบด้วยสารละลายสีชมพู สีนํ้าเงิน และสีเหลืองเพียงอย่างเดียว แต่ละชุดทดลองจะทำ 3 ซ้ำ ทุกขวดรูปชมพู่จะถูกนำไปแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่าง 6 มิลลิลิตรโดยใช้เข็มฉีดยา หาค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละตัวอย่างโดยใช้เครื่อง UV-visible spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 525 สำหรับสีนํ้าเงิน 585 สำหรับสีเหลือง และ 399 นาโนเมตร สำหรับสีชมพู ตามลำดับ แล้วแปลงเป็นค่าความเข้มข้นสีโดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐานเพื่อนำไปปรับให้เข้ากับสมการ Absorption Isotherm เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

2.4 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสีรีแอกทีฟด้วยเทคนิคแบบคอลัมน์

ในการศึกษาแบบคอลัมน์ได้ทำการบรรจุวัสดุดูดซับแต่ละชนิดลงในคอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร โดยแต่ละคอลัมน์บรรจุสูง 10 เซนติเมตร พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักวัสดุด้วยเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง และใช้อัตราการไหล (Flow rate) 5 มิลลิลิตรต่อนาที

2.4.1 วิธีการทดลองการหาความจุการดูดซับด้วยวิธีแบบคอลัมน์

เตรียมสีชมพู สีนํ้าเงิน สีเหลืองให้มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ผ่านลงในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยตัวดูดซับกากสาอูที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพ โดยควบคุมอัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที และเก็บสารละลายส่วนที่ผ่านออกมาครั้งละ 50 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์หาค่าการดูดซับสีด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer เก็บสารละลายที่ผ่านออกมาจนกระทั่งมีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น จึงนำข้อมูลที่ได้ไปพล็อตกราฟระหว่าง C_A/C_{A0} กับปริมาตรของสารละลายที่ผ่านออกมาหรือเวลา

บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปราย

3.1 ผลการเตรียมวัสดุดูดซับ

3.1.1 ผลการปรับสภาพวัสดุดูดซับ

นำเนื้อสาธูมาบดแล้วนำไปตากแดด 3 วัน หรืออบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในเตาอบ จากนั้นนำกากสาธูไปร่อนด้วยตะแกรงให้มีขนาดอยู่ในช่วง 1 มิลลิเมตร ถึง 180 ไมโครเมตร นั่นคือสาธูไม่ปรับสภาพ (ดังภาพที่ 3.1 ก.) อีกส่วนหนึ่งนำมาปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ร้อยละ 37 และกรดซัลฟูริก 0.2 นอร์มอล อัตราส่วน 1 : 20 (ดังภาพที่ 3.1 ข.)



ก



ข

ภาพที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับ

ก. วัสดุดูดซับที่ไม่มีการปรับสภาพ

ข. วัสดุดูดซับที่มีการปรับสภาพด้วยสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์และกรดซัลฟูริก

3.1.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

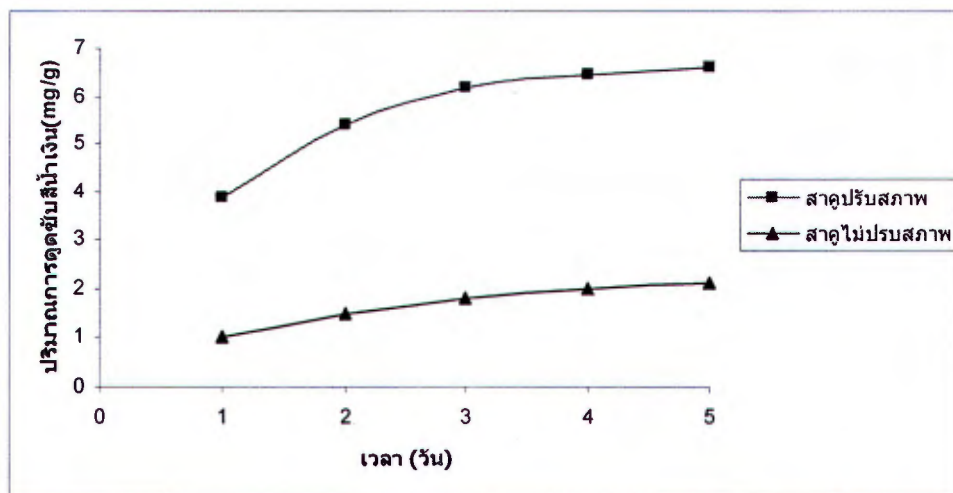
3.1.2.1 ผลของเวลาในการดูดซับ

นำกากสาธูที่ปรับสภาพและกากสาธูที่ไม่ปรับสภาพ 0.5 กรัม แช่ในสารละลายสีที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยทำ 3 ซ้ำ ส่วนขวดรูปชมพู่ควบคุมจะมีสารละลายสีเพียงอย่างเดียว ใช้เวลาในการดูดซับที่ 1 2 3 4 และ 5 วัน พร้อมทั้งหาค่าที่ความยาวคลื่น 585 525 และ 398 นาโนเมตร สำหรับสีน้ำเงิน สีชมพู และ สีเหลือง ตามลำดับ

จากการเปลี่ยนแปลงเวลาในการดูดซับเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมหรือเวลาที่ถึงสมดุล โดยปริมาณการดูดซับสารละลายสี จะคงที่หรืออิ่มตัวโดยแสดงผลดังตารางที่ 3.1 3.2 3.3 และ ภาพที่ 3.2 3.3 3.4

ตารางที่ 3.1 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีน้ำเงิน

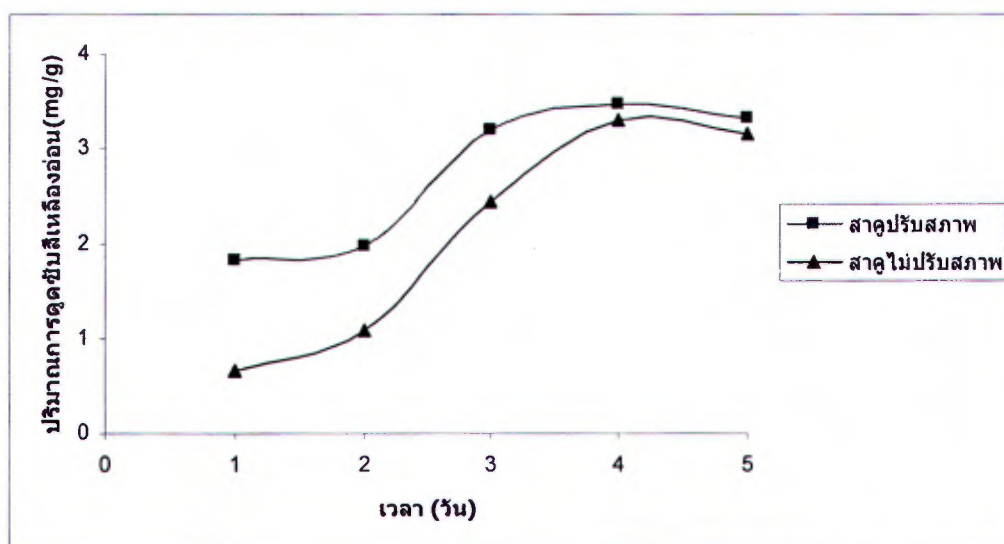
เวลา (วัน)	ปริมาณสีน้ำเงินที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	
	วัสดุปรับสภาพ	วัสดุไม่ปรับสภาพ
1	3.89	1.01
2	5.39	1.47
3	6.18	1.81
4	6.47	2.01
5	6.62	2.10



ภาพที่ 3.2 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีน้ำเงิน

ตารางที่ 3.2 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีเหลือง

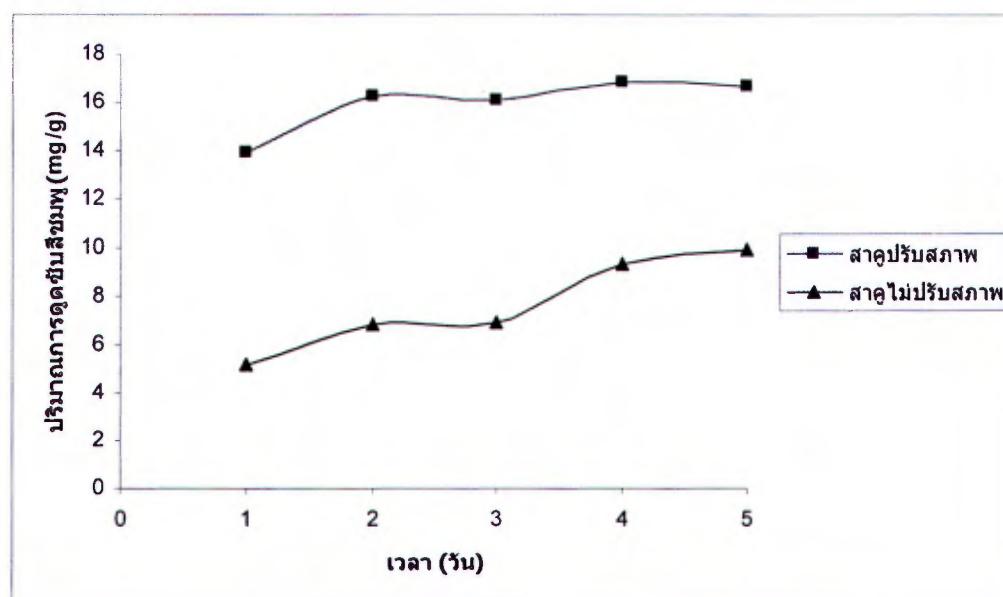
เวลา (วัน)	ปริมาณสีเหลืองอ่อนที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	
	วัสดุปรับสภาพ	วัสดุไม่ปรับสภาพ
1	1.83	0.65
2	1.98	1.08
3	3.19	2.44
4	3.47	3.30
5	3.33	3.15



ภาพที่ 3.3 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีเหลือง

ตารางที่ 3.3 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีชมพู

เวลา (วัน)	ปริมาณสีชมพูที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	
	วัสดุปรับสภาพ	วัสดุไม่ปรับสภาพ
1	13.95	5.20
2	16.21	6.80
3	16.06	6.91
4	16.83	9.36
5	16.96	9.90



ภาพที่ 3.4 แสดงผลของเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณการดูดซับสีชมพู

ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู

จากการศึกษาพบว่า ในช่วง 2 ชั่วโมงแรก กากสาอูสามารถดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพูได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ผิวของกากสาอูยังว่างจากนั้นพบว่าปริมาณสารละลายสีที่ถูกดูดซับเริ่มคงที่ นั่นคือการดูดซับเข้าสู่สมดุล ซึ่งการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน เริ่มเข้าสู่สมดุลที่ 3 วัน ทั้งกากสาอูที่ปรับสภาพและกากสาอูที่ไม่ปรับสภาพ สารละลายสีเหลืองเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ 4 วัน ทั้งกากสาอูที่ปรับสภาพและกากสาอูที่ไม่ปรับสภาพ ส่วนสารละลายสีชมพูเริ่มเข้าสู่

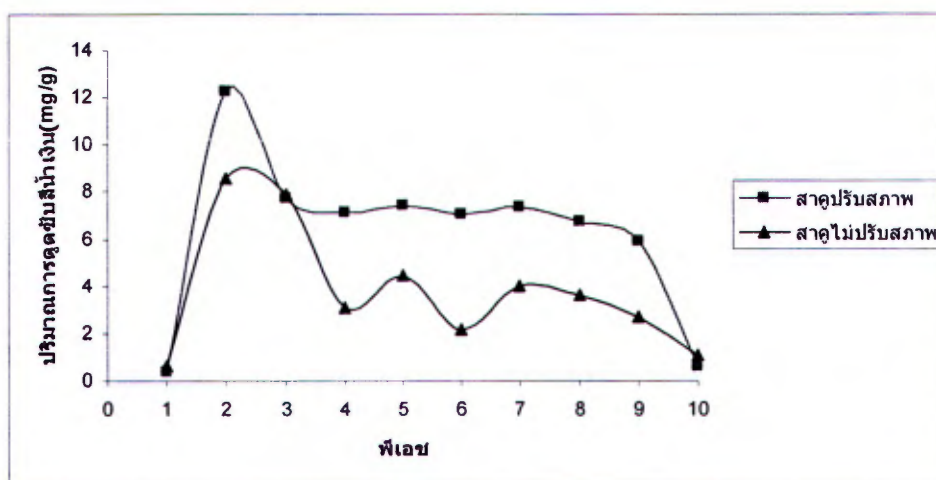
สู่สมคูลที่ 4 วัน ทั้งกากสาธูปรับสภาพและกากสาธูปไม่รับสภาพ ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า ระยะเวลากากสาธูปที่ใช้ในการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู ช้ำกว่าหญาแหมปรับสภาพและหญาแหมไม่ปรับสภาพ (ดวงรัตน์ และคณะ , 2546)

3.1.2.2 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

จากการศึกษาผลของพีเอช เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับ ตั้งแต่ 1 ถึง 10 ว่ามีผลต่อปริมาณการดูดซับสีน้ำเงิน สีเหลืองและสีชมพู ได้ผลแสดงดังตาราง 3.4 , 3.5 , 3.6 และ ภาพที่ 3.5 , 3.6 , 3.7

ตารางที่ 3.4 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสีน้ำเงิน

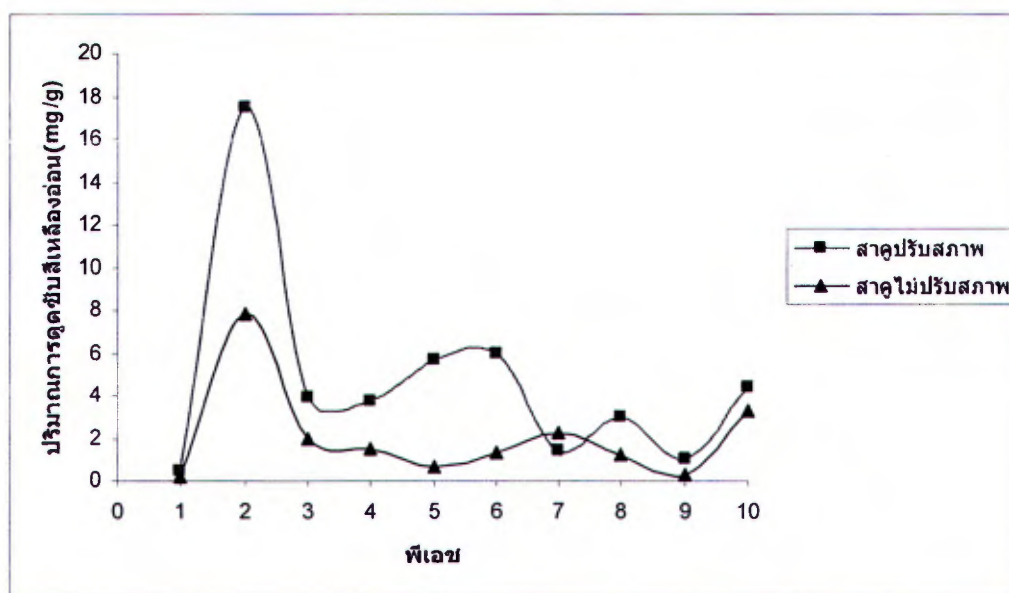
พีเอช	ปริมาณสีน้ำเงินที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	
	วัสดุปรับสภาพ	วัสดุไม่ปรับสภาพ
1	0.36	0.58
2	12.27	8.54
3	7.71	7.84
4	7.08	3.03
5	7.39	4.42
6	7.06	2.15
7	7.35	3.99
8	6.73	3.57
9	5.90	2.68
10	0.61	1.08



ภาพที่ 3.5 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสีน้ำเงิน

ตารางที่ 3.5 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสีเหลือง

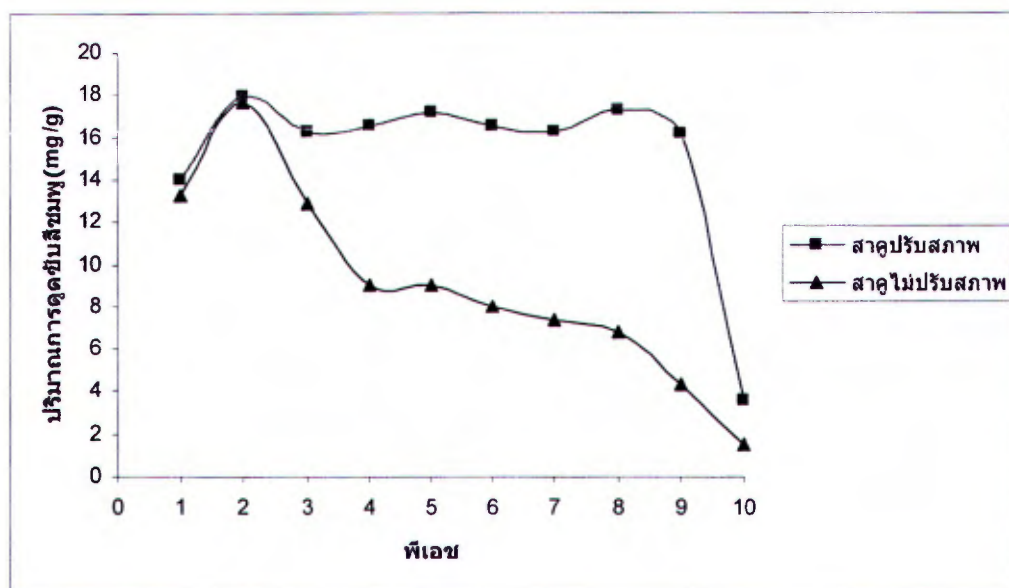
พีเอช	ปริมาณสีเหลืองที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	
	วัสดุปรับสภาพ	วัสดุไม่ปรับสภาพ
1	0.42	0.22
2	17.47	7.79
3	3.95	1.96
4	3.71	1.46
5	5.69	0.68
6	5.93	1.33
7	1.44	2.25
8	2.94	1.18
9	1.03	0.31
10	4.35	3.30



ภาพที่ 3.6 แสดงผลของฟิเอชต่อปริมาณการดูดซับสีเหลือง

ตารางที่ 3.6 แสดงผลของฟิเอชต่อปริมาณการดูดซับสีชมพู

ฟิเอช	ปริมาณสีชมพูที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	
	วัสดุปรับสภาพ	วัสดุไม่ปรับสภาพ
1	14.02	13.24
2	17.97	17.65
3	16.24	12.84
4	16.51	9.04
5	17.16	9.03
6	16.53	7.95
7	16.24	7.31
8	17.23	6.79
9	16.18	4.29
10	3.57	1.47



ภาพที่ 3.7 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสัชมพู่

ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู

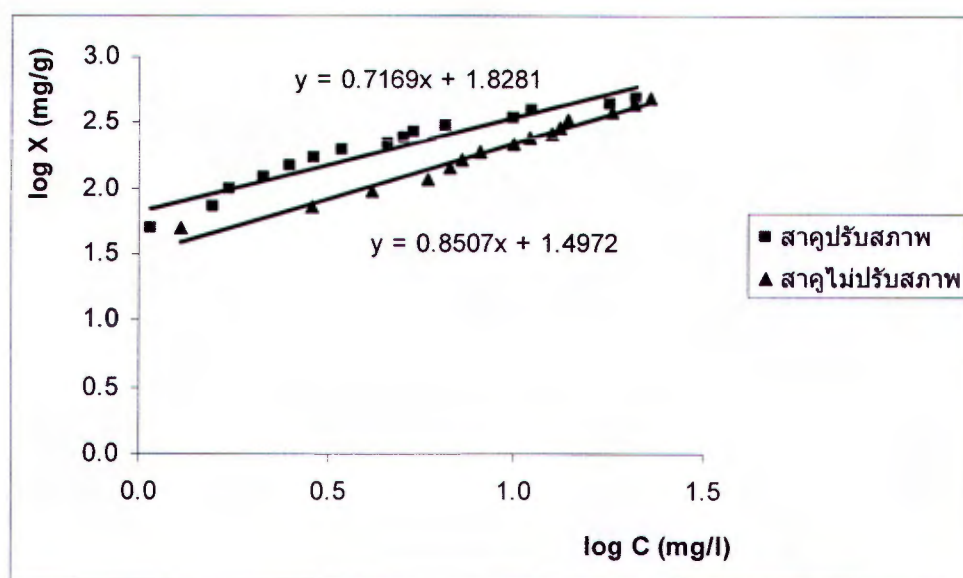
การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาระดับพีเอช 1.0 ถึง พีเอช 10.0 จากผลการศึกษาพบว่าวัสดุจากสาขุปรับสภาพและจากสาขุไม่ปรับสภาพสามารถดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู ได้สูงที่สุดที่พีเอช 2.0 ทั้งสารสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าระดับพีเอชของสารละลายสีที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู มีค่าต่ำกว่าวัสดุหญาสลาบลวง ซึ่งมีลำดับพีเอชที่ 4.0 (มกคล,2535) และจากอ้อย ซึ่งมีพีเอชที่ 5.0 (งามเพ็ญ,2542)

3.1.3 ผลการศึกษาหา Absorption Isotherm ที่อุณหภูมิห้องเพื่อหาค่าความจุ

จากการนำจากสาขุที่ปรับสภาพที่ดีที่สุด ขนาดที่เหมาะสมที่สุด และ pH ของระบบที่ดีที่สุดมาทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้องเพื่อศึกษาหา Absorption Isotherm โดยแต่ละฟลากลทดลองจะประกอบด้วยวัสดุดูดซับปรับสภาพและไม่ปรับสภาพน้ำหนัก 0.5 กรัมและสารละลายสีความเข้มข้น 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 350 400 450 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่าง 6 มิลลิลิตรโดยใช้เข็มฉีดยาหาการดูดกลืนแสงของแต่ละตัวอย่างโดยใช้เครื่อง UV-visible spectrophotometer แล้วแปลงเป็นค่าความเข้มข้นสีโดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐานเพื่อนำไปปรับให้เข้ากับสมการ Absorption Isotherm เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ผลแสดงดังตาราง 3.7 3.8 3.9 และ ภาพที่ 3.8 3.9 3.10

ตารางที่ 3.7 แสดงค่า $\log X$ (mg/L) และ $\log C$ (mg/L) เพื่อหาค่าความจุการดูดซับของสารละลายสีน้ำเงินด้วยสาหร่าย

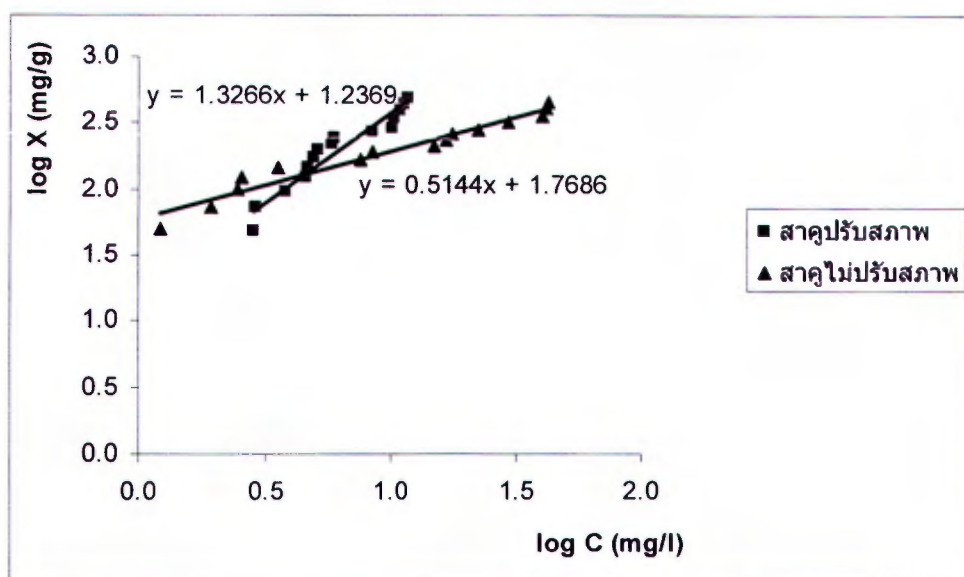
ความเข้มข้น (มิลลิกรัม)	สาหร่ายปรับสภาพ		สาหร่ายไม่ปรับสภาพ	
	$\log C$ (mg/L)	$\log X$ (mg/L)	$\log C$ (mg/L)	$\log X$ (mg/L)
50	0.030	1.690	0.115	1.688
75	0.199	1.866	0.461	1.858
100	0.239	1.992	0.620	1.982
125	0.329	2.089	0.769	2.076
150	0.401	2.169	0.827	2.156
175	0.463	2.236	0.858	2.225
200	0.537	2.293	0.908	2.283
225	0.660	2.343	0.996	2.333
250	0.704	2.389	1.040	2.378
275	0.730	2.431	1.100	2.419
300	0.817	2.468	1.120	2.458
350	0.998	2.532	1.143	2.526
400	1.049	2.590	1.258	2.582
450	1.256	2.635	1.316	2.633
500	1.326	2.680	1.360	2.679



ภาพที่ 3.8 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของสารละลายสีน้ำเงินด้วยสาकु

ตารางที่ 3.8 แสดงค่า $\log X$ (mg/L) และ $\log C$ (mg/L) เพื่อหาค่าความจุการดูดซับของสารละลายสีเหลืองด้วยสาธู

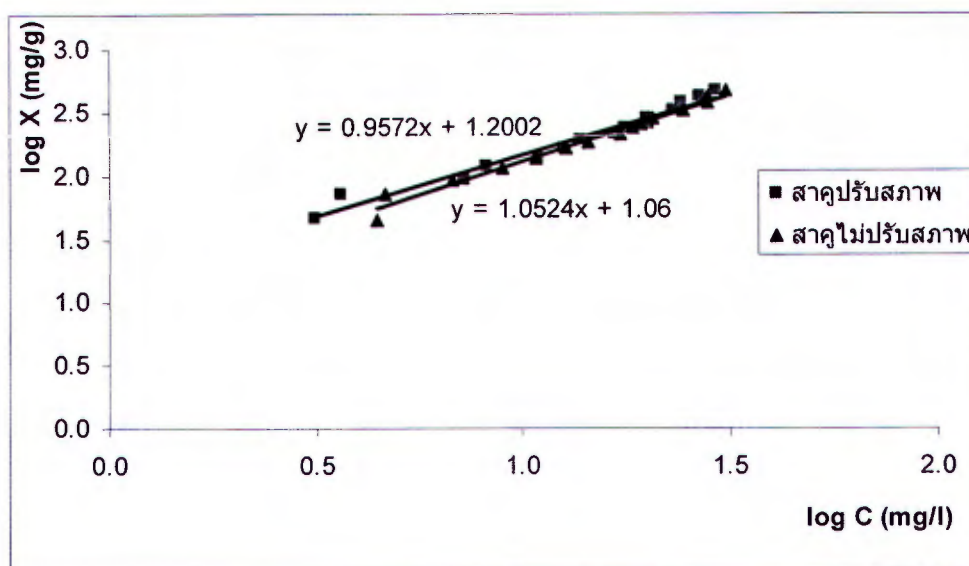
ความเข้มข้น (มิลลิลิตร)	สาธูปรับสภาพ		สาธูไม่ปรับสภาพ	
	$\log C$ (mg/L)	$\log X$ (mg/L)	$\log C$ (mg/L)	$\log X$ (mg/L)
50	0.452	1.674	0.090	1.688
75	0.461	1.858	0.285	1.864
100	0.586	1.983	0.392	1.989
125	0.663	2.081	0.409	2.088
150	0.671	2.162	0.549	2.166
175	0.698	2.230	0.877	2.224
200	0.711	2.290	0.927	2.282
225	0.767	2.341	1.175	2.322
250	0.774	2.387	1.223	2.368
275	0.930	2.426	1.247	2.410
300	1.012	2.462	1.350	2.443
350	1.013	2.531	1.472	2.506
400	1.039	2.590	1.612	2.555
450	1.054	2.642	1.628	2.610
500	1.075	2.689	1.630	2.660



ภาพที่ 3.9 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของสารละลายสีเหลืองด้วยสาหร่าย

ตารางที่ 3.9 แสดงค่า $\log X$ (mg/L) และ $\log C$ (mg/L) เพื่อหาค่าความจุการดูดซับของสารละลายสีชมพูด้วยสาหร่าย

ความเข้มข้น (มิลลิกรัม)	สาหร่ายปรับสภาพ		สาหร่ายไม่ปรับสภาพ	
	$\log C$ (mg/L)	$\log X$ (mg/L)	$\log C$ (mg/L)	$\log X$ (mg/L)
50	0.558	1.666	0.665	1.657
75	0.497	1.856	0.643	1.849
100	0.862	1.967	0.830	1.970
125	0.912	2.068	0.951	2.065
150	1.038	2.143	1.035	2.144
175	1.104	2.210	1.108	2.210
200	1.140	2.270	1.161	2.268
225	1.224	2.319	1.237	2.318
250	1.245	2.366	1.267	2.365
275	1.306	2.406	1.286	2.408
300	1.299	2.447	1.314	2.446
350	1.365	2.514	1.388	2.513
400	1.384	2.575	1.447	2.571
450	1.426	2.627	1.448	2.625
500	1.464	2.673	1.492	2.671



ภาพที่ 3.10 แสดงจุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับของสารละลายสีชมพูด้วยสาตุ

จากภาพที่ 3.8 3.9 3.10 เป็นการพล็อตข้อมูลตามสมการของเฟรนดลิช ซึ่งจุดตัดแกนที่ได้ก็คือ ค่า K ตามสมการของเฟรนดลิช ซึ่งสามารถบอกถึงค่าความจุของการดูดซับของสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลืองและสีชมพู ผลจากการคำนวณหาความจุของการดูดซับของสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลืองและสีชมพู แสดงดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 แสดงค่าความจุของการดูดซับของวัสดุดูดซับตามวิธีการดูดซับแบบแบทช์ที่ได้จากการคำนวณ

สีของสารละลาย	ค่าความจุของวัสดุดูดซับ	
	ปรับสภาพ	ไม่ปรับสภาพ
น้ำเงิน	67.313	31.419
เหลือง	17.254	58.694
ชมพู	15.856	11.415

ผลการศึกษาค่าความจุของกากสาธูปปรับสภาพและกากสาธูปไม่ปรับสภาพ ในการดูดซับ สารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู แบบแบทช์

จากการศึกษาค่าความจุของกากสาธูปปรับสภาพและกากสาธูปไม่ปรับสภาพ ในการดูดซับ สารละลายสี โดยที่มีความเข้มข้นตั้งต้นของสีที่แตกต่างกัน พบว่าค่าความจุในการดูดซับสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพูด้วยกากสาธูปปรับสภาพเท่ากับ 67.313 17.254 และ 15.856 ตามลำดับ และค่าความจุการดูดซับสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพูด้วยกากสาธูปที่ไม่ปรับสภาพเท่ากับ 31.419 58.694 และ 11.415 ตามลำดับ

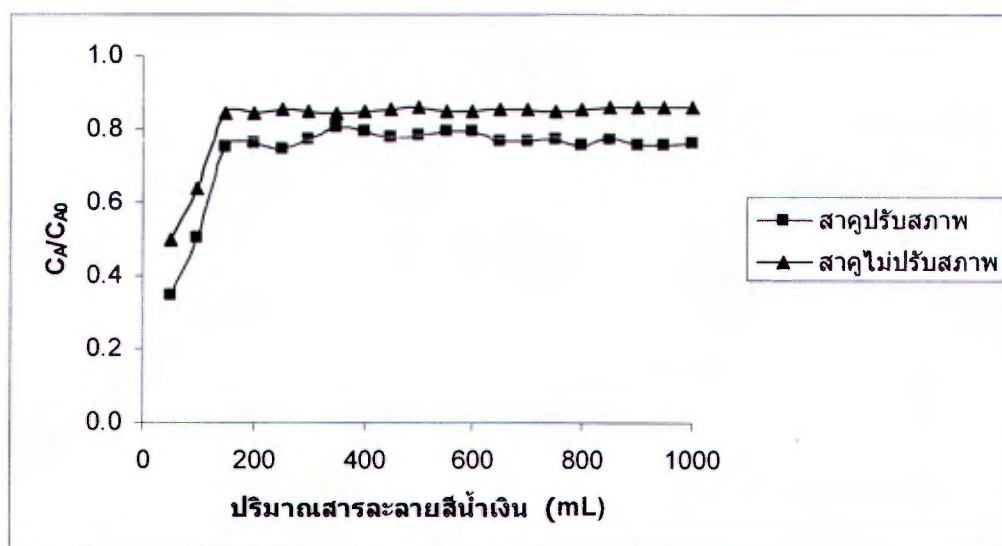
3.1.4 การศึกษาพฤติกรรมในการดูดซับสีรีแอกทีฟด้วยเทคนิคแบบคอลัมน์

3.1.4.1 ผลการทดลองการหาความจุการดูดซับด้วยวิธีแบบคอลัมน์

เมื่อเตรียมสารละลายสีทั้ง 3 สี ให้มีความเข้มข้น 200 ppm ให้อยู่ในช่วง ที่เหมาะสมผ่าน ละลายลงในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัสดุดูดซับที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพที่ความสูง 10 cm เก็บ สารละลายส่วนที่ผ่านออกมาครั้งละ 50 ml (3 ข้ว) แล้วนำสารละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ความยาวคลื่น 585 525 และ 398 นาโนเมตร สำหรับสีน้ำเงิน สีชมพู และ สีเหลือง ผลการ ทดลองแสดงดังตารางที่ 3.11 3.12 3.13 และ ภาพที่ 3.11 3.12 3.13

ตารางที่ 3.11 แสดงผลค่าความจุของการดูดซับสีน้ำเงินแบบคอลัมน์

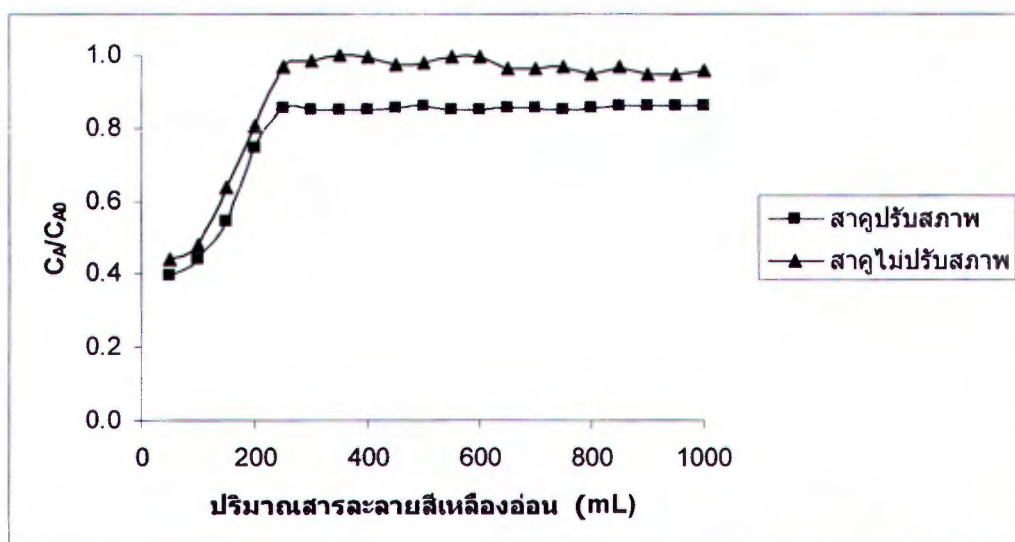
ปริมาณสารละลายสีน้ำเงิน (มิลลิลิตร)	ค่า C_A/C_{A0}	
	วัสดุปรับสภาพ	วัสดุไม่ปรับสภาพ
50	0.346	0.495
100	0.503	0.638
150	0.750	0.841
200	0.762	0.844
250	0.748	0.852
300	0.772	0.848
350	0.806	0.846
400	0.796	0.847
450	0.777	0.853
500	0.783	0.859
550	0.796	0.857
600	0.795	0.850
650	0.768	0.857
700	0.770	0.849
750	0.774	0.858
800	0.758	0.853
850	0.773	0.860
900	0.755	0.855
950	0.757	0.850
1000	0.765	0.856



ภาพที่ 3.11 แสดงผลค่าความจุของการดูดซับสีน้ำเงินแบบคอลัมน์

ตารางที่ 3.12 แสดงค่าความจุของการดูดซับสีเหลืองแบบคอลัมน์

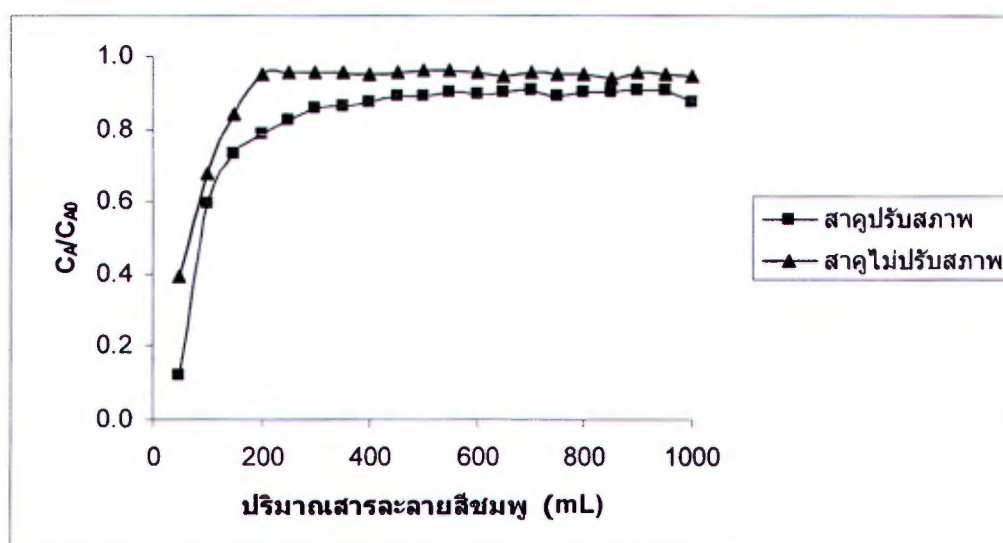
ปริมาณสารละลายสีเหลืองอ่อน (มิลลิลิตร)	ค่า C_A/C_{A0}	
	วัสดุปรับสภาพ	วัสดุไม่ปรับสภาพ
50	0.395	0.438
100	0.438	0.479
150	0.541	0.637
200	0.744	0.803
250	0.852	0.965
300	0.848	0.985
350	0.846	1.000
400	0.847	0.995
450	0.853	0.971
500	0.859	0.978
550	0.850	0.995
600	0.849	0.994
650	0.853	0.960
700	0.855	0.962
750	0.850	0.968
800	0.856	0.947
850	0.857	0.967
900	0.857	0.943
950	0.858	0.947
1000	0.860	0.956



ภาพที่ 3.12 แสดงค่าความจุของการดูดซับสีเหลืองแบบคอถัมน์

ตารางที่ 3.13 แสดงค่าความจุของการดูดซับสีกัมพูแบบคอลัมน์

ปริมาณสารละลายสีกัมพู (มิลลิลิตร)	ค่า C_A/C_{A0}	
	วัสดุปรับสภาพ	วัสดุไม่ปรับสภาพ
50	0.118	0.392
100	0.597	0.675
150	0.731	0.842
200	0.789	0.953
250	0.827	0.957
300	0.855	0.958
350	0.865	0.958
400	0.875	0.953
450	0.888	0.57
500	0.889	0.61
550	0.899	0.962
600	0.896	0.957
650	0.901	0.945
700	0.905	0.955
750	0.891	0.952
800	0.902	0.949
850	0.902	0.941
900	0.909	0.954
950	0.909	0.951
1000	0.876	0.947



ภาพที่ 3.13 แสดงค่าความจุของการดูดซับสีชมพูแบบคอลัมน์

จากตารางที่ 3.10 3.11 3.12 สามารถนำข้อมูลไปพล็อตกราฟระหว่าง C_A / C_{A0} กับ ปริมาตรสารละลายสีชนิดต่าง ๆ ได้ผลดังภาพที่ 3.11 3.12 3.13 และหาจุดตัดจากกราฟเพื่อหา ปริมาตรของสารละลายสีที่ทำให้ค่า C_A / C_{A0} เท่ากับ 0.5 เพื่อนำค่าปริมาตรที่ได้ไปคำนวณหา ค่าความจุของวัสดุแต่ละชนิด ได้ผลแสดงดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 แสดงค่าความจุแบบคอลัมน์ของวัสดุดูดซับแต่ละชนิด

สีของสารละลาย	ค่าความจุของวัสดุดูดซับ	
	ปรับปรุงสภาพ	ไม่ปรับปรุงสภาพ
น้ำเงิน	11.123	5.730
เหลือง	14.364	12.044
ชมพู	11.586	8.965

ผลการศึกษาค่าความจุของกากสาकुปรับสภาพและกากสาकुไม่ปรับสภาพ ในการดูดซับ สารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู แบบคอลัมน์ (Column)

การหาค่าความจุของกากสาकुปรับสภาพและกากสาकुไม่ปรับสภาพในการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพูแบบคอลัมน์ โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_A / C_{A0} และปริมาณของสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ (มิลลิลิตร) เมื่อ C_A / C_{A0} เมื่อ C_A คือ ความเข้มข้นของสีในสารละลายหลังผ่านคอลัมน์ และ C_{A0} คือ ความเข้มข้นของสีในสารละลายก่อนผ่านคอลัมน์ ความสามารถในการดูดซับสารละลายสีของกากสาकुด้วยวิธีการดูดซับแบบคอลัมน์หาได้จาก ปริมาตรของสารละลายที่ทำให้ค่า C_A / C_{A0} เท่ากับ 0.5 ผลการศึกษาพบว่าปริมาตรสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู ที่ถูกดูดซับด้วยกากสาकुปรับสภาพที่ทำให้ค่า C_A / C_{A0} เท่ากับ 0.5 คือ 100 150 และ 75 ตามลำดับ และปริมาตรสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู ที่ถูกดูดซับด้วยกากสาकुไม่ปรับสภาพที่ทำให้ค่า C_A / C_{A0} เท่ากับ 0.5 คือ 50 125 และ 90 ตามลำดับ เมื่อคำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู ของกากสาकुปรับสภาพเท่ากับ 11.123 14.364 และ 11.586 ตามลำดับ และเมื่อคำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีชมพู ของกากสาकुไม่ปรับสภาพเท่ากับ 5.730 12.044 และ 8.965 ตามลำดับ พบว่าความสามารถในการดูดซับสีด้วยวิธีแบบคอลัมน์มีค่าความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าแบบเบตซ์ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราในการไหลของสารละลายสีอาจเร็วเกินไป ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการดูดซับโลหะหนักด้วยกากสาकु (องศา, 2546)

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ

4.1.1 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู แบบแบทช์

ผลการศึกษานาไดอโนภาคพบว่า ถ้าขนาดอนุภาคเล็กลงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้น เนื่องจากขนาดอนุภาคของสารละลายจะสัมผัสกับพื้นที่ผิวของวัสดุมากขึ้นทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น เวลาในการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู พบว่า วัสดุดูดซับสามารถดูดซับสารละลายสีได้ดีที่เวลาผ่านไป 2 วัน พิเศษต่อการดูดซับ พบว่า ที่พิเศษเท่ากับ 2 ความสามารถของวัสดุในการดูดซับจะดูดซับได้ดีที่สุด แต่ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาที่พิเศษ 1.0 ถึง พิเศษ 10.0

ผลการศึกษาความจุของวัสดุดูดซับสีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู ด้วยสาอูปรับสภาพและไม่ปรับสภาพ พบว่า สาอูปรับสภาพสามารถดูดซับสีน้ำเงิน 67.313 สีเหลือง 17.254 สีชมพู 15.856 ส่วนความจุของวัสดุดูดซับสาอูไม่ปรับสภาพ พบว่า สาอูไม่ปรับสภาพสามารถดูดซับสีน้ำเงิน 31.419 สีเหลือง 58.694 สีชมพู 11.415

4.1.2 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู แบบคอลัมน์

ผลการศึกษาความจุของวัสดุดูดซับสารละลายสีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู ด้วยสาอูปรับสภาพและไม่ปรับสภาพ พบว่า สาอูปรับสภาพสามารถดูดซับสีน้ำเงิน 11.123 สีเหลือง 14.364 สีชมพู 11.586 ส่วนความจุของวัสดุดูดซับด้วยสาอูไม่ปรับสภาพสามารถดูดซับสีน้ำเงิน 5.73 สีเหลือง 12.044 สีชมพู 8.965

เมื่อนำการศึกษาของวัสดุดูดซับทั้งแบบแบทช์และแบบคอลัมน์มาเปรียบเทียบกัน พบว่าการดูดซับแบบแบทช์มีความสามารถในการดูดซับมากกว่าแบบคอลัมน์ อาจเป็นเพราะว่าการศึกษาแบบคอลัมน์ มีอัตราการไหลที่เร็ว ดังนั้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นควรลดอัตราการไหลให้ช้าลง

บรรณานุกรม

- ทรงศักดิ์ ศรีทุมมาและบุญส่ง ไช้เกษ. ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยด้วยระบบถังเกรอะ
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหิดล. 2543.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. ศึกษาศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้า
โดยใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสาร โพอลิลูมิเนียมคลอไรด์. ภาควิชา
เคมีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร. 2535
- นภวรรณ รัตสุข. ศึกษาประสิทธิภาพการกรองเหล็กออกจากบ่อน้ำบาดาลสังเคราะห์โดยใช้ตัว
กรองที่เป็นทรายไม่คัดขนาด. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2538.
- ประวิทย์ เนื่องมัจฉาและปิยวรรณ เนื่องมัจฉา. 2548. การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสีย
โดยใช้กากสาเกเป็นวัสดุดูดซับ. ภาควิชาเคมีและภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- แม่น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ: พิมพ์
; 2539.
- อรสา จันทร์ทอน. 2543. สมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการของดินบริเวณป่าสาธุ
สาขาเคมีชีวะ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- องศา พงศ์พิทักษ์ดำรงและปณิษฐา ฤทธิพรัด. 2546. การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว
โครเมียม และแคดเมียม ด้วยต้นสาเก ลำต้นตาล ลำต้นหมาก ลำต้นตาล และ
ลำต้นปาล์ม. สาขาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- [http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/\[in=book2.par\]/?^t2006=102369&^t2003=1&^t2000=เรซิน](http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/[in=book2.par]/?^t2006=102369&^t2003=1&^t2000=เรซิน)
- [http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/\[in=book2.par\]/?^t2006=86696&^t2003=61&^t2000=การดูดซับ](http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/[in=book2.par]/?^t2006=86696&^t2003=61&^t2000=การดูดซับ)

ภาคผนวก

เค้าโครงงานวิจัย

ชื่อโครงการ การกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยการดูดซับด้วยสาอู

Removal of color in wastewater from textile dyeing factories by *Metroxylon Sagu*

Rottb

ประเภทของงานวิจัย วิจัยเพื่อพัฒนา

สาขาที่ทำการวิจัย เคมี

ผู้ดำเนินการวิจัย นายชนาภทรร เสาร์ชัย

Mr. CHANAPHAT SAOCHAI

นายวิรัตน์ นุชบา

Mr. WIRAT BUTSABA

โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา

สถานที่ทำวิจัย ภาควิชาเคมี และศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาที่ทำการวิจัย

สาอู ชื่อวิทยาศาสตร์ *Metroxylon Sagu* Rottb ปัจจุบันสาอูเป็นพืชที่กำลังเป็นที่สนใจอย่างแพร่หลาย เพราะมีในบางประเทศ เช่น อินโดนีเซีย และญี่ปุ่น ที่สาอูกลายเป็นพืชเศรษฐกิจ ซึ่งสาอูเป็นแหล่งของอาหารในอนาคตได้ (อรสา จันทรทอน.2543) นอกจากนี้โลกในปัจจุบันกำลังมีประชากรเพิ่มขึ้นทุกขณะจึงจำเป็นต้องมีแหล่งอาหารสำรองในการบริโภคเพื่อรองรับประชากรที่เพิ่มมากขึ้น และแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารที่กำลังจะตามมา

โดยทั่วไปสาอูเป็นพืชที่ชาวบ้านทางภาคใต้ของประเทศไทยมักจะรู้จักกันดีเพราะคุ้นเคยกับการนำส่วนต่างๆ มาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เนื้อในส่วนของลำต้นสาอูในการเลี้ยงสัตว์ปีก การนำใบมาใช้ทำเป็นขนมที่ชาวบ้านเรียกกันว่า ขนมจาก การนำใบมาใช้เป็นหลังคาโรงเรือน แกนใช้ทำจุกขวด เปลือกของต้นสาอูใช้ทำทางเดินร่องสวน (กล้าณรงค์ ศรีรอดและคณะ,2542) ในทศวรรษที่ผ่านมาประเทศไทยมีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วมีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย และมีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ และทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลายด้าน อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ของประเทศ ประเภทหนึ่งที่สำคัญ คือ อุตสาหกรรมสิ่งทอ และฟอกย้อม ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำปริมาณมากในกระบวนการผลิต ทั้งขั้นตอนการฟอกขาว การย้อมสี การล้างผ้า และการพิมพ์ผ้า (สุรพล คงจันทร์,2534) เมื่อมีการปล่อยน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมากๆ มีผลก่อให้เกิดน้ำเสียและยังมีสารเคมีและ

สารพิษต่างๆ ซึ่งบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็งปนเปื้อนอยู่มากมาย เนื่องจากเทคโนโลยีปัจจุบันไม่สามารถใช้สีในกระบวนการย้อมผ้าหรือพิมพ์ผ้าได้หมดร้อยเปอร์เซ็นต์ และสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ สีจากขั้นตอนการย้อมผ้าซึ่งมักเป็นสารประกอบอินทรีย์ มีโครงสร้างซับซ้อน และบำบัดให้หมดไปได้ยาก จากการรายงานการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการนำเรซินผัดบดขาวที่ปรับสภาพในการบำบัดสีย้อมผ้า โดยคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยเรซินผัดบดขาวแบบกรดแก่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทุกพารามิเตอร์

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้ จะนำเอากากสาธูปปรับสภาพมาใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมผ้าชนิดรีแอกทีฟและไคเรกจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม เพราะสามารถควบคุมความเข้มข้นของสีย้อมผ้าที่ละลายอยู่ในน้ำได้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะเลือกกากสาธูป มาใช้บำบัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม อีกทั้งยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกทางด้วย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับจากสาธูปในการดูดซับสี
2. เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของการดูดซับโดยใช้วัสดุที่ปรับสภาพ
3. เพื่อศึกษา Adsorption Isotherm ที่อุณหภูมิห้อง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ก่อให้เกิดการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับสีจากโรงงาน
2. สามารถฝึกอบรมและพัฒนานักวิจัยให้มีประสบการณ์ในด้านอุตสาหกรรมเคมีเพิ่มขึ้น
3. เป็นการเพิ่มคุณค่าจากสาธูปที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้มากขึ้น
4. ทราบถึงเทคนิคในการปรับสภาพวัสดุดูดซับจากโรงงานน้ำทิ้ง

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมชาย เอกธรรมฤทธิ์ (2514) ได้ศึกษาการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยวิธีทางเคมี สารเคมีที่ใช้คือ อลูมิเนียมซัลเฟต เพอริกคลอไรด์ พร้อมทั้งเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ (p: AC) ช่วยในการฟอกสีและเป็นตัวช่วยตกตะกอน ผลปรากฏว่า การใช้สารเคมีแต่ละตัวรวมกับถ่านกัมมันต์ พบว่า การใช้ AC Column แล้วให้น้ำเสียไหลผ่าน ให้ผลดีน่าพอใจกว่าวิธีอื่น ๆ แต่ไม่เหมาะสมในการปฏิบัติเนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาแพง

นวลละออง เนียมสะอึง (2526) ได้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์และสีพร้อมกัน โดยใช้ระบบ PAC-Activated Sludge พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์และสีให้อยู่ในเกณฑ์กำหนดได้ ยกเว้นสีเมททาลิก ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของระบบ ฯ นี้ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมและปริมาณผงถ่านระบบ ฯ สามารถกำจัดสีแอกทีฟได้ โดยใช้ปริมาณผงถ่าน 0.27 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร (8 บาท/ลูกบาศก์เดซิเมตร) ไม่จำเป็นต้องใส่ผงถ่านก็สามารถกำจัดสีออกได้ในการทดลองกับสีไคเร็กที่ต้องใช้

ปริมาณผงถ่านถึง 0.4 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร (12 บาท/ลูกบาศก์เดซิเมตร) น้ำทิ้งหลังบำบัดจึงอยู่ในเกณฑ์ได้ ส่วนในกรณีของสีรวม ระบบฯสามารถกำจัดสีได้ดี โดยใช้ปริมาณผงถ่าน 0.25 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร (7.50 บาท/ลูกบาศก์เดซิเมตร) และค่าใช้จ่ายของระบบนี้ค่อนข้างสูง โดยขึ้นอยู่กับปริมาณผงถ่านที่ใส่ลงในระบบฯ

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และนวนลระออ เนียมสะอิ่ง (2530) ได้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์และสีพร้อมกันด้วยระบบ PAC/AS โดยการเติมผงถ่าน(Powder Activated Carbon: PAC) ลงในถังเดิมอากาศของระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ ตัวผงถ่านทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสให้จุลินทรีย์มาเกาะอาศัยเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ ฯ ได้ทดลองศึกษากับน้ำเสียสังเคราะห์ที่เกิดจากสีย้อมผ้า 6 ประเภท การทดลองด้วยวิธีการเติมผงถ่านลงในระบบ AS-SBR ที่มีการเติม PAC มีประสิทธิภาพดีกว่าระบบ AS-SBR ปกติ ทั้งในรูปของการกำจัดสารอินทรีย์และลดสี จากที่มีซีโอดีสูงถึง 520 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ระบบพีเอซีสามารถลดค่านี้ลงไว้เหลือเพียงประมาณ 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร และลดสีลงได้เหลือประมาณ 50 ADMI กล่าวคือ น้ำเสียสังเคราะห์จาก 1) สีรีแอคทีฟ ในระบบเอเอส สามารถลดสีได้ 7% และ ซีโอดี 90% แต่เมื่อใส่ผงถ่านขนาด 0.27 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะลดสารอินทรีย์ได้ถึง 95% และลดสีได้ลงมาต่ำกว่า 300 ADMI 2) น้ำเสียจากสีย้อมไคเรกท์ ระบบ AS ธรรมดาลดซีโอดีได้ 90% ลดสีให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด สำหรับระบบที่ใส่ถ่านเพียง 0.05 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร แต่น้ำเสียชนิดปกติต้องใส่ผงถ่านถึง 0.4 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร และสารช่วยย้อมของสีไคเรกท์มีอิทธิพลในการกำจัดสีมาก แต่ไม่มีผลกระทบต่อ การกำจัดสารอินทรีย์ 3) น้ำเสียจากสีย้อมเวิร์ด มีซัลเฟอร์และสีอะโซอิก เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ ตกตะกอนได้ ระบบเอเอสธรรมดาสามารถลดสารอินทรีย์และสีในน้ำเสียชนิดควบคุมและปกติให้อยู่ในเกณฑ์กำหนดได้ การเติม PAC จึงไม่จำเป็น 4) น้ำเสียจากสีย้อมเมททาลิก เป็นสีอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ น้ำทิ้งยังมีความเข้มข้นสีและซีโอสูง ถึงแม้ว่าจะเติม PAC ลงไป 0.2 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ก็ไม่สามารถลดซีโอดีให้อยู่ในเกณฑ์กำหนดได้ 5) น้ำเสียจากสีย้อมรวม ระบบเอเอสสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ แต่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาร่องสีได้เพราะยังมีความเข้มข้นสูง สำหรับน้ำเสียชนิดควบคุมต้องใช้ปริมาณผงถ่าน 0.2 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ขณะที่น้ำเสียชนิดปกติต้องใช้ปริมาณผงถ่าน 0.25 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร สีในน้ำจึงอยู่ในเกณฑ์กำหนด

Chang, Tung-nien (1988) ได้ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์, Alum และ Ozone ในการกำจัดสีของน้ำชะมูลฝอยจากที่กำจัดขยะซอยอ่อนนุชกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีค่าซีโอดี ระหว่าง 1,600 – 2,100 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 20 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี 75%, Alum มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี 72% และ Ozone ที่มีความเข้มข้น 331.2 มิลลิกรัม/

ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี 6% สรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์เป็นวิธีในการกำจัดซีโอดีที่ดีกว่าอีกสองวิธี

สุวรรณ รุ่งเรือง (2532) ได้ศึกษาการลดสี สารแขวนลอย และซีโอดี จากน้ำเสียจากกองขยะอ่อนนุช โดยใช้ขี้เถ้าเป็นตัวกรอง ใช้อัตราการกรอง 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ความลึกชั้นกรองที่ 20, 40 และ 60 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการลดสีได้ 18.7, 36.38 และ 39.29% ส่วนสารแขวนลอย ลดได้ 32.21, 70.75 และ 74.62% และลดซีโอดีได้ 14.74, 21.46 และ 21.68% ตามลำดับ ส่วนที่อัตราการกรอง 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการลดสีได้ 17.03, 21.21 และ 24.84% ส่วนสารแขวนลอย ลดได้ 28.01, 52.51 และ 65.53% และลดซีโอดีได้ 10.23, 14.84 และ 18.38% ตามลำดับ และที่อัตราการกรอง 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการลดสีได้ ส่วนสารแขวนลอย และลดซีโอดีได้ ดีกว่าอัตราการกรอง 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ในทุก ๆ ค่าความลึกของชั้นกรอง ในส่วนของความลึกของชั้นกรองที่ระดับ 0.20 เมตร จะมีประสิทธิภาพในการลดสี สารแขวนลอยและซีโอดีได้น้อยกว่าความลึกของชั้นกรองที่ระดับ 0.40 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p\text{-Value} < 0.05$ ในขณะที่ความลึกของชั้นกรองที่ระดับ 0.06 เมตร เมื่อเปรียบเทียบความลึกของชั้นกรองที่ระดับ 0.40 เมตร จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p\text{-Value} < 0.05$

ธงชัย พรหมสวัสดิ์ (2535) ได้ศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้า โดยใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารโพตัสซูมเนียมคลอไรด์ ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอช ปริมาณโพลิเมอร์ น้ำเสียจากสีย้อม 4 ประการ คือ ประเภทรีแอคทีฟ เอลิต ไคเร็กซ์ และคิสเพิร์ส พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อม นั่นคือ สีไม่ละลายน้ำจะถูกกำจัดได้ง่ายกว่าสีที่ละลายน้ำได้ดีและขึ้นอยู่กับชนิดของโตนีสด้วย นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับพีเอชเช่นกัน กล่าวโดยสรุป การใช้ PAC (Powder Activated Carbon) ในการกำจัดสีจากการย้อมผ้า ยังมีประสิทธิภาพที่ไม่เป็นที่พอใจและมีราคาสูงเกินไปสำหรับการนำไปใช้ในการปฏิบัติ

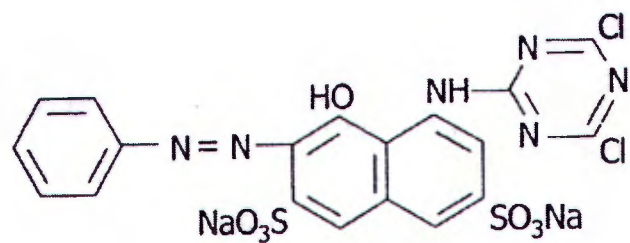
วิไลพร วณิชฌ์วโรดม (2536) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียของน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอโดยขบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากสีย้อมประเภทรีแอคทีฟสีแดง และสีน้ำเงิน โดยเตรียมน้ำเสียให้มีค่าซีโอดีเท่ากับ 130 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณสี เท่ากับ 36 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วนำสีที่เตรียมดังกล่าวไปหาค่า Optimum Wave Length (WOL) โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ชนิด Double Beams ปรากฏว่ารีแอคทีฟสีแดง มีค่า OWL = 507 นาโนเมตร และสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน มีค่า OWL = 592 นาโนเมตร ตามลำดับ ทำการทดลองให้น้ำเสียผ่านคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์ชนิดเกร็ด (granular Activated Carbon) โดยทำการ

ทดลองที่ค่าอัตราการน้ำล้นผิว (Overflow Rate) ต่าง ๆ ดังนี้ 1.17, 2.34 และ 4.68 แกลลอน/ตารางฟุต/วัน ตามลำดับ พบว่า ที่อัตราการน้ำล้นผิวค่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับสี ซีโอดี มีค่าสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านจะมีค่ามากกว่าที่อัตราการน้ำล้นผิวสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีที่ความลึกของชั้นถ่านต่าง ๆ กัน (20, 50, 80 เซนติเมตร) สำหรับอัตราการน้ำล้นผิว 1.17, 2.34, 4.68 แกลลอน/ตารางฟุต/วัน จะพบว่าที่ความลึก 80 เซนติเมตร ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีจะสูงกว่าที่ความลึก 50 และ 20 เซนติเมตร เมื่อช่วงการทำงานของระบบอยู่ตัวก่อนถึงจุดอิ่มตัว

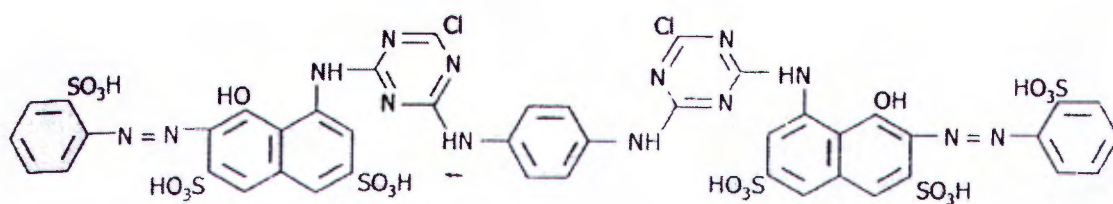
ไพลิน สุพล และสุภารัตน์ สาน้อย (2540) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมไหมโดยใช้จุลินทรีย์จากดินที่เพาะเลี้ยงจากดินโรงงานย้อมไหมของอำเภอชนบทและดินจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติของโรงพยาบาลศรีนครินทร์ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์สีต่าง ๆ คือ สีแดง สีนํ้าเงิน สีเหลือง สีเขียว และสีชมพูอมส้ม มาบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ที่แยกจากดินทั้ง 2 แหล่ง ในระบบแบบถังเดี่ยว (Batch System) เพื่อวิเคราะห์สีและซีโอดี ผลการศึกษาพบว่า จุลินทรีย์จากดิน อำเภอชนบท ซึ่งปล่อยน้ำเสียจากการย้อมไหมลงสม่ำเสมอ สามารถเจริญเติบโตในน้ำเสียสังเคราะห์สีต่าง ๆ คือ สีแดง สีนํ้าเงิน สีเหลือง สีเขียว และสีชมพูอมส้ม ได้ดีกว่าจุลินทรีย์จากบ่อดินบำบัด ๆ ประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ของจุลินทรีย์จากดินอำเภอชนบทดีกว่าจุลินทรีย์จากดินบ่อบำบัด ซึ่งจากการทดลองพบว่า จุลินทรีย์จากดิน อำเภอชนบท สามารถบำบัดสีเฉลี่ยได้ 65% ส่วนจุลินทรีย์จากบ่อดินสามารถบำบัดสีเฉลี่ยได้ 58% ในเวลา 10 วัน โดยที่สีที่ลดได้ดีที่สุด คือ สีเหลือง สีแดง สีเขียว สีชมพูอมส้ม และสีนํ้าเงิน ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์สีชมพูอมส้มความสามารถในการบำบัดสีของจุลินทรีย์ของดินทั้งสองแหล่งมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับจุลินทรีย์จากดินบ่อบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีเฉลี่ยได้ 66% ส่วนจุลินทรีย์จากดินอำเภอชนบทสามารถบำบัดซีโอดีเฉลี่ยได้ 60% ใช้เวลาในการบำบัด 7 วัน

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย มีหลายระบบและหลายวิธี ซึ่งก็ให้ประสิทธิภาพแตกต่างกันไปตามข้อจำกัดของแต่ละระบบ เช่น การใช้สารเคมีและถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีน้ำเสีย ในระบบต่าง ๆ แต่ในแง่การนำไปใช้แก้ปัญหาในระดับชุมชนและปริมาณสีน้ำไม่มากนัก มักจะมีปัญหาในด้านต้นทุนและการดูแลระบบ ฯ ตามมา ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจจะศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังแช่และระบบคอลัมน์ ซึ่งเป็นระบบ ฯ ที่นิยมใช้โดยทั่วไป และระบบ ฯ นี้จะเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาน้ำเสียในระดับชุมชนต่อไป

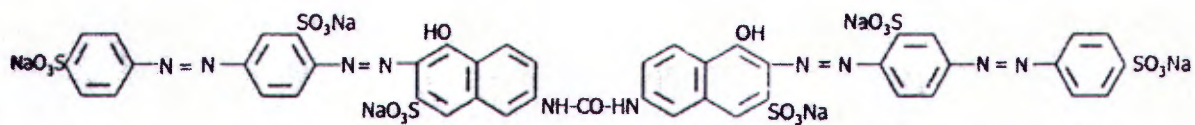
สูตรโครงสร้างสี



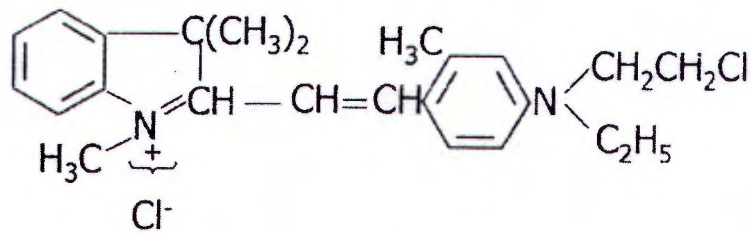
รูปที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างสี Basilen Red M-5B (C.I. Reactive Red 2)



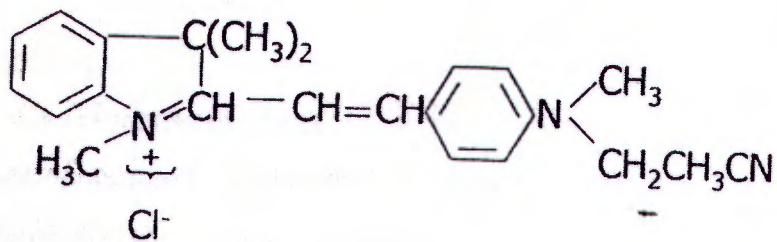
รูปที่ 2 แสดงสูตรโครงสร้างสี Basilen Red E-B (C.I. Reactive Red 120)



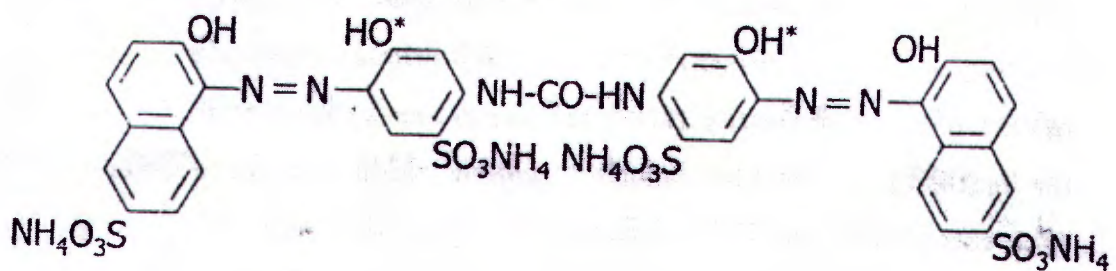
รูปที่ 3 แสดงสูตรโครงสร้างสี Percion Red H-E7B (C.I. Reactive Red 141)



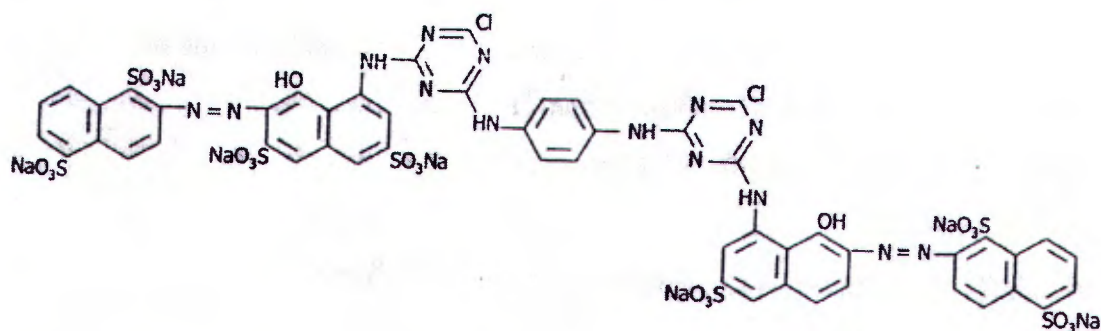
รูปที่ 4 แสดงสูตรโครงสร้างสี Astrazon Red 6B (C.I. Basic Violet 7): Dystar Thai Co. , Ltd.



รูปที่ 5 แสดงสูตรโครงสร้างสี Astrazon Brilliant Red 4G (C.I. Basic Red 14)



รูปที่ 6 แสดงสูตรโครงสร้างสี Sirius Red Violet RL (C.I. Direct Violet 47);Dystar Thai Co. , Ltd.



รูปที่ 7 แสดงสูตรโครงสร้างสี Sirius Red F3b (C.I. Direct Red 80);Dystar Thai Co. , Ltd.

เอกสารอ้างอิง

อรสา จันทร์ทอน. 2543. สมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการของดินบริเวณป่าสาธุ

(Some Chemical and Physical Properties of Soil at Sago Palm). สาขาเคมีชีวะ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

[http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/\[in=book2.par\]/?^t2006=102369](http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/[in=book2.par]/?^t2006=102369)

&^t2003=1&^t2000=เรซิน

[http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/\[in=book2.par\]/?^t2006=86696&](http://www.riclib.nrct.go.th/scripts/wwwi32.exe/[in=book2.par]/?^t2006=86696&)

^t2003=61&^t2000=การดูดซับ

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การปรับสภาพวัสดุดูดซับ

นำเนื้อสาธูมาบดแล้วนำไปตากแดด 3 วัน อบต่อให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
ในเตาอบ แล้วนำไปร่อนด้วยตะแกรงให้มีขนาด 1 มิลลิเมตร ถึง 180 ไมโครเมตร แล้วนำมาปรับ
สภาพด้วยวิธีดังนี้

- ปรับสภาพด้วยสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 37 % และกรดซัลฟูริก 0.2 N อัตราส่วน 1:20 (วัสดุ
ดูดซับปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์)

นำกากสาธูมาแช่ในสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 37 % และกรดซัลฟูริก 0.2 N อัตราส่วน 1:20
เปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกชั่วโมงจนกระทั่งสารละลายที่แช่ไม่มีสีเหลืองหรือสีน้ำตาลจากวัสดุดูดซับ
จากนั้นนำมาแช่ในน้ำกลั่นต่อ เปลี่ยนน้ำกลั่นที่แช่เรื่อย ๆ จนกระทั่ง pH ของน้ำกลั่นที่แช่ไม่ต่ำกว่า 6

แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงในเตาอบ และเก็บวัสดุดูดซับที่ปรับสภาพแล้วไว้ใน desiccator

2. ศึกษาสภาวะเหมาะสมต่อการดูดซับ

2.1 เวลาในการดูดซับ

นำกากสาเกที่ปรับสภาพ 0.5 กรัม และสารละลายสี ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ส่วนพลาสติกควมจะมีเพียงสารละลายสีเพียงอย่างเดียว โดยแต่ละชุดการทดลองจะทำ 3 ซ้ำ ทุกพลาสติกจะถูกนำไปแช่ทิ้งไว้ โดยใช้เวลาในการดูดซับที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 วัน และเก็บตัวอย่าง 6 มิลลิลิตร โดยใช้เข็มฉีดยา หาค่าดูดกลืนแสงในแต่ละตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

2.2 pH ของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

นำกากสาเกที่ปรับสภาพที่ดีที่สุดมาใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีที่ pH 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ทำการปรับ pH โดยสารละลายกรดซัลฟริก 5 M และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ซึ่งไม่ทำให้สีของสารละลายสีเปลี่ยน ทำการดูดซับในพลาสติก แต่ละพลาสติกจะประกอบด้วยกากสาเกปรับสภาพ 0.5 กรัม และสารละลายสีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ส่วนพลาสติกควมจะมีเพียงสารละลายสีเพียงอย่างเดียว โดยจะทำการปรับ pH ให้เท่ากับ pH ของระบบของพลาสติกทดลอง แต่ละชุดทดลองจะทำ 3 ซ้ำ เก็บตัวอย่าง 6 มิลลิลิตร โดยใช้เข็มฉีดยา จากเวลาที่ดีที่สุดในการดูดซับ หาค่าดูดกลืนแสงในแต่ละตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

3. ศึกษาหา Absorption Isotherm ที่อุณหภูมิห้อง

นำกากสาเกที่ปรับสภาพที่ดีที่สุด ขนาดที่เหมาะสมที่สุด และ pH ของระบบที่ดีที่สุดมาทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง เพื่อศึกษาหา Absorption Isotherm โดยแต่ละพลาสติกทดลองจะประกอบด้วยวัสดุดูดซับปรับสภาพน้ำหนัก 0.5 กรัม และสารละลายสี ความเข้มข้น 30 - 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร พลาสติกควมประกอบด้วยสารละลายสีเพียงอย่างเดียว แต่ละชุดทดลองจะทำ 3 ซ้ำ ทุกพลาสติกจะถูกนำไปแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่าง 6 มิลลิลิตร โดยใช้เข็มฉีดยา หาค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละตัวอย่างโดยใช้เครื่อง UV-visible spectrophotometer แล้วแปลงเป็นค่าความเข้มข้นสีโดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐานเพื่อนำไปปรับให้เข้ากับสมการ Absorption Isotherm เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

4. การดูดซับน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

นำกากสาธูปปรับสภาพฟอร์มัลดีไฮด์ไปใช้เป็นวัสดุดูดซับในการดูดซับน้ำเสียที่มีสีแต่ละชนิดจากโรงงานฟอกย้อม 2 ประเภท ได้แก่ น้ำเสียก่อนบำบัด และน้ำเสียหลังบำบัด ทำการดูดซับในฟาสก์ 250 มิลลิลิตร โดยใช้เข็มฉีดยา หาค่าดูดกลืนแสงของแต่ละตัวอย่างโดยใช้เครื่อง UV-visible spectrophotometer แล้วแปลงเป็นค่าความเข้มข้นสีโดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐาน

ขอบเขตของการวิจัย

1. การกำจัดสีย้อมโดยการดูดซับด้วยต้นสาธูป โดยนำตัวอย่างต้นสาธูปจากหมู่บ้านกรุงหยัน ตำบลกรุงหยัน อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช
2. ใช้ต้นสาธูปที่มีลักษณะสมบูรณ์ เพื่อในการเตรียมวัสดุดูดซับ
3. ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง เมษายน 2549 - ตุลาคม 2549
4. สีชมพู สีนํ้าเงิน และสีเหลือง

แผนดำเนินงานวิจัย

กิจกรรมการวิจัย	2549										2550		
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง	←→												
2.เขียนเค้าโครงการวิจัย		←→											
3.เก็บรวบรวมวัสดุดูดซับ			←→										
4.เตรียมอุปกรณ์พร้อมเครื่องมือและทำการทดลอง			←→										
5.รวบรวมผลการทดลอง									←→				
6.วิเคราะห์ข้อมูลแปรผลและสรุปงานวิจัย											←→		
7.จัดทำเอกสารเสนองานวิจัย												←→	

สถานที่ทำวิจัย

ศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ลงชื่อ.....ผู้ทำวิจัย
(นายชนาภัทร เสาร์ชัย)

ลงชื่อ.....ผู้ทำวิจัย
(นายวิรัตน์ บุษบา)

ความเห็นของอาจารย์ที่ปรึกษา

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา)

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อ	นายชนาภัทร เสาร์ชัย
เกิด	วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2527
อายุ	23 ปี
ภูมิลำเนา	16 หมู่ 5 ตำบลตันหยงลิมอ อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส 96130
ประวัติการศึกษา	ระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านป่าไผ่ ตำบลตันหยงลิมอ อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนตันหยงมัส ตำบลตันหยงมัส อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนตันหยงมัส ตำบลตันหยงมัส อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อ	นายวิรัตน์ บุษบา
เกิด	วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2527
อายุ	23 ปี
ภูมิลำเนา	297 หมู่ 1 ตำบลกรุงหยัน อำเภอกู่ใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240
ประวัติการศึกษา	ระดับประถมศึกษา โรงเรียนเจริญวิทยา ตำบลลำใหญ่ อำเภอกู่ใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเสมีดจวนวิทยาคม ตำบลตันกูแหร อำเภอกู่ใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเสมีดจวนวิทยาคม ตำบลตันกูแหร อำเภอกู่ใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช