

การกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าออกจากน้ำเสีย
ด้วยซีเถ้าแกลบดำ

REMOVAL OF HEAVY METALS, PHENOL AND DYES FROM
WASTEWATER BY BLACK RICE HUSK ASH



จรรยา คงฤทธิ์
CHUNYA KONGRIT

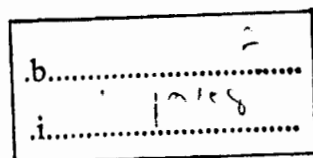
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีประยุกต์
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2546

ISBN 974-324-759-9

เลขที่...
เลขทะเบียน... 48367
ฉบับ, เดือน, ปี 24 ต.ค. 2546



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งในการนำไปใช้

**REMOVAL OF HEAVY METALS, PHENOL AND DYES FROM
WASTEWATER BY BLACK RICE HUSK ASH**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN THE APPLIED CHEMISTRY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2003

ISBN 974-324-759-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าออกจากน้ำเสียด้วย ซีเถ้าแกลบดำ
นักศึกษา	นางสาวจรรยา คงฤทธิ์
รหัสประจำตัว	39065109
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีประยุกต์
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงความสามารถของซีเถ้าแกลบดำในการกำจัดโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม (VI)) ฟีนอล สีย้อมผ้ารีแอคทีฟ (สีย้อมรีแอคทีฟโพเรเซียนชมพู 8B และสีย้อมรีแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX) และสีย้อมผ้าไคเร็กซ์ (สีย้อมรีแอคทีฟน้ำเงินและสีย้อมรีแอคทีฟเรด) ออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยเทคนิคการศึกษาการดูดซับแบบแบทช์ โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ ดังนี้ ค่าพีเอช ปริมาณสารดูดซับ เวลาสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้น และอุณหภูมิของสารละลาย จากผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชของสารละลายมีอิทธิพลต่อการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าของซีเถ้าแกลบดำ โดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว และแคดเมียมมีค่าสูงสุดในช่วงค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 3 - 5 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดเกือบร้อยละ 100 ส่วนโครเมียม ฟีนอล และสีย้อมผ้า ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเมื่อค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพในการกำจัดสูงอยู่ในช่วงพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ 1-2 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม ฟีนอล สีย้อมรีแอคทีฟโพเรเซียนชมพู 8B สีย้อมรีแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX สีย้อมรีแอคทีฟน้ำเงิน และสีย้อมรีแอคทีฟเรด อยู่ในช่วงร้อยละ 59.78 - 70.33 88.18 - 92.64 97.49 - 99.07 95.29 - 99.30 99.78 - 99.80 และ 99.38 - 99.69 ตามลำดับ (ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร) การเพิ่มปริมาณซีเถ้าแกลบดำและการเพิ่มขึ้นของเวลาสัมผัส พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่ากระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 5 นาทีแรกที่ซีเถ้าแกลบดำสัมผัสกับน้ำเสีย โดยพบว่าในเวลา 5 นาทีแรกการกำจัดตะกั่ว และแคดเมียมมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าร้อยละ 90 สำหรับอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้น พบว่าการเพิ่มความเข้มข้น (ในช่วง 10 - 50 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไม่มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และ สีย้อมผ้าไคเร็กซ์มากนัก แต่มีผลกับประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม ฟีนอล และ สีย้อมผ้ารีแอคทีฟ โดยพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนอิทธิพลของอุณหภูมิของสารละลาย (25 30 และ 40 องศาเซลเซียส) พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล ซีรีแอคทีฟ และซีไคเร็กทีฟเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดซีไคเร็กทีฟลดลงเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น จากผลการทดสอบความสามารถในการกำจัดของซีไคเร็กทีฟได้แก่กลบดำกับน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และฟีนอลประมาณร้อยละ 90 ส่วนโครเมียมประมาณร้อยละ 50 และซีไคเร็กทีฟประมาณร้อยละ 70



Thesis Title	Removal of Heavy Metals, Phenol and Dyes from Wastewater by Black Rice Husk Ash
Student	Miss Chunya Kongrit
Student ID.	39065109
Degree	Master of Science
Programme	Applied Chemistry
Year	2003
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr.Suwan Chaiyasith

ABSTRACT

This study focused on the ability of black rice husk ash to remove heavy metals (lead, cadmium and chromium (VI)), phenol, reactive dyes (reactive procion pink 8B, and reactive procion blue 7RX), and direct dyes (direct blue and direct red) from synthesis wastewater by using batch's adsorption techniques using the following factors to determine the most suitable conditions: pH value, dosage of adsorbent, contact time, initial concentration, and temperature of solution. The study showed that removal of heavy metals, phenol, reactive dyes and direct dyes was dependent on the pH of synthesis wastewater. Maximum removal efficiencies of almost 100 % of lead and cadmium were found at pH range 3 – 5 of synthesis wastewater. Whereas, removal efficiencies of chromium, phenol, reactive dyes and direct dyes decreased with increasing pH of synthesis wastewater. Their maximum removal efficiency were found at pH range 1 – 2 of synthesis wastewater. Removal efficiencies ranged from 59.78 - 70.33 % for chromium, 88.18 -92.64 % for phenol, 97.49 - 99.07 % for reactive procion pink 8B, 95.26 - 99.30 % for reactive procion blue 7RX, 99.78 - 99.80 % for direct blue and 99.38 - 99.69 % for direct red, (at 10 mg/l concentration of synthesis wastewater). Removal efficiency of heavy metals, phenol, reactive dyes and direct dyes increased with the increase of black rice husk ash and contact time, their removal process was rapid on the first five minutes of contact time. It was also found that removal of lead and cadmium was more than 90 % on the first five minutes of contact time. Initial concentration at a range of 10 – 50 mg/l did not have a significant effect on the removal efficiency of lead, cadmium and direct dyes. However, this concentration decreased the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

removal efficiency of chromium, phenol and reactive dyes. In addition, it was found that on increased in solution temperature (25°C, 30°C and 40°C) also increased the removal efficiency of heavy metals, phenol and dyes (two reactive dyes and direct blue), although the removal efficiency of direct red decreased.

The test of capacity of black rice husk ash using raw industrial wastewater showed the following removal efficiencies: approximately 90 % for lead, cadmium and phenol; approximately 50 % for chromium; and approximately 70 % for reactive dyes and direct dyes.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษาและแนวทางในการแก้ปัญหาที่ดีในช่วงการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา จาก ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และ ผศ.ดร.สุนทร พูนพิพัฒน์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ ตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี เครื่องมือ และสถานที่สำหรับทำวิจัยในครั้งนี้

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ บุคคลในครอบครัว และผู้ร่วมงาน ที่ได้ให้ความรัก ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

จรรยา คงฤทธิ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	XV
สารบัญรูป.....	XVIII

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โลหะหนัก.....	4
2.1.1 กรรมวิธีการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย.....	6
2.1.1.1 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation).....	6
2.1.1.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange, IE).....	7
2.1.1.3 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction).....	7
2.1.1.4 รีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis).....	7
2.1.1.5 การระเหย (Evaporation).....	8
2.1.1.6 อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis).....	8
2.1.1.7 การแยกกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery).....	8
2.1.1.8 การดูดซับ (Adsorption).....	8
2.2 สีย้อมผ้า (Dye).....	9
2.2.1 กรรมวิธีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม.....	12
2.2.1.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (Primary Treatment).....	12
2.2.1.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ (Secondary Treatment).....	13
2.2.1.3 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้า.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ฟีนอล (Phenol).....	13
2.3.1 กรรมวิธีการกำจัดฟีนอลในน้ำเสีย	14
2.4 การดูดซับ (Adsorption).....	14
2.4.1 ประเภทสารดูดซับ.....	15
2.4.2 กลไกการดูดซับ.....	15
2.4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ.....	16
2.4.4 สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium).....	17
2.4.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	18
2.5 ขี้เถ้าแกลบดำ.....	20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	27
3.2 ตัวอย่างและสารเคมี.....	28
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	28
3.3.1 การศึกษาส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ ของขี้เถ้าแกลบดำ.....	29
3.3.1.1 วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของขี้เถ้าแกลบดำ.....	29
3.3.1.2 การหาพื้นที่ผิวจำเพาะความหนาแน่น และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของขี้เถ้าแกลบดำ.....	29
3.3.1.3 การศึกษาลักษณะรูปร่างทางกายภาพของขี้เถ้าแกลบดำ.....	29
3.3.2 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยขี้เถ้าแกลบดำ.....	29
3.3.2.1 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การกำจัดโลหะหนัก.....	29
3.3.2.2 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การกำจัดฟีนอล.....	30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.2.3 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด สีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ.....	30
3.3.2.4 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด สีย้อมผ้าไคเร็กซ์.....	31
3.3.3 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลบดำและเวลาสัมผัส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า.....	32
3.3.3.1 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลบดำ และเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก.....	32
3.3.3.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลบดำ และเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอล.....	32
3.3.3.3 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลบดำและเวลาสัมผัส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ.....	32
3.3.3.4 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลบดำและเวลาสัมผัส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าไคเร็กซ์.....	33
3.3.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเถ้ากลบดำ.....	33
3.3.5 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดด้วยซีเถ้ากลบดำ.....	33
3.3.5.1 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก.....	33
3.3.5.2 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล.....	34
3.3.5.3 การศึกษาอิทธิพลของ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ.....	34
3.3.5.4 การศึกษาอิทธิพลของ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้าไคเร็กซ์.....	34
3.3.6 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด โลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเถ้ากลบดำ.....	34
3.3.6.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.6.2 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอล.....	35
3.3.6.3 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ.....	35
3.3.6.4 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าไคเร็กซ์.....	35
3.3.7 การศึกษาการคายออกจากผิวซีเถ้าแอลบด้าของโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า.....	36
3.3.8 การศึกษาความสามารถของซีเถ้าแอลบด้าในการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของซีเถ้าแอลบด้า.....	39
4.1.1 ผลการศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของซีเถ้าแอลบด้า.....	39
4.1.2 ผลการศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะความหนาแน่น และความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของซีเถ้าแอลบด้า.....	39
4.1.3 ผลการศึกษาลักษณะรูปร่างทางกายภาพของซีเถ้าแอลบด้า.....	40
4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพ การกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเถ้าแอลบด้า.....	40
4.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก.....	40
4.2.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การกำจัดตะกั่ว.....	40
4.2.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การกำจัดแคดเมียม.....	42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าที่เอชที่มีต่อประสิทธิภาพ	
การจัดโครเมียม.....	43
4.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าที่เอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพ	
การจัดฟีนอล.....	50
4.2.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าที่เอชที่มีต่อประสิทธิภาพ	
การจัดสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ.....	51
4.2.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าที่เอชที่มีต่อประสิทธิภาพ	
การจัดสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B.....	51
4.2.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าที่เอชที่มีต่อประสิทธิภาพ	
การจัดสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX.....	53
4.2.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าที่เอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพ	
การจัดสีย้อมผ้าไดเรกต์.....	54
4.2.4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าที่เอชที่มีต่อประสิทธิภาพ	
การจัดสีย้อมผ้าไดเรกต์น้ำเงิน.....	54
4.2.4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าที่เอชที่มีต่อประสิทธิภาพ	
การจัดสีย้อมผ้าไดเรกต์เรด.....	55
4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณที่เข้ากลับดำและเวลาสัมผัส	
ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า.....	60
4.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณที่เข้ากลับดำ	
และ เวลาสัมผัสในการกำจัดโลหะหนัก.....	60
4.3.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณที่เข้ากลับดำ	
และเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว.....	61
4.3.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณที่เข้ากลับดำ	
และเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม.....	62
4.3.1.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณที่เข้ากลับดำ	
และเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม.....	64

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลับดำและเวลาสัมผัส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล.....	65
4.3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลับดำและเวลาสัมผัส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ.....	66
4.3.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลับดำและเวลาสัมผัส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด สีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟโพเรเนียนชมพู 8B.....	67
4.3.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลับดำและเวลาสัมผัส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด สีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟโพเรเนียนน้ำเงิน 7 RX.....	68
4.3.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลับดำและเวลาสัมผัส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าไคเรกซ์.....	70
4.3.4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลับดำและเวลาสัมผัส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าไคเรกซ์น้ำเงิน.....	70
4.3.4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลับดำและเวลาสัมผัส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าไคเรกซ์แดง.....	70
4.4 ไอโซเทอมการดูดซับโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเถ้ากลับดำ.....	73
4.4.1 ไอโซเทอมการดูดซับโลหะหนัก.....	73
4.4.1.1 ไอโซเทอมการดูดซับตะกั่ว.....	73
4.4.1.2 ไอโซเทอมการดูดซับแคดเมียม.....	74
4.4.1.3 ไอโซเทอมการดูดซับโครเมียม.....	76
4.4.2 ไอโซเทอมการดูดซับฟีนอล.....	77
4.4.3 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ.....	77
4.4.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟโพเรเนียนชมพู 8B.....	78
4.4.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟโพเรเนียนน้ำเงิน 7 RX.....	80
4.4.4 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมผ้าไคเรกซ์.....	81
4.4.4.1 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมผ้าไคเรกซ์น้ำเงิน.....	81
4.4.4.2 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมผ้าไคเรกซ์แดง.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 ผลการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดด้วยซีเढ़้าแกลบดำ.....	85
4.5.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก.....	85
4.5.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว.....	85
4.5.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม.....	86
4.5.1.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม.....	87
4.5.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล.....	88
4.5.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ.....	88
4.5.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟโพเรเนียนชมพู 8B.....	89
4.5.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟโพเรเนียนน้ำเงิน 7RX.....	89
4.5.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้าไดเรกต์.....	90
4.5.4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้าไดเรกต์น้ำเงิน.....	90
4.5.4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสีย้อมผ้าไดเรกต์เรด.....	91
4.6 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเढ़้าแกลบดำ.....	93
4.6.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก.....	93
4.6.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว.....	93
4.6.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม.....	93
4.6.1.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม.....	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพ	
การจัดฟันอล.....	95
4.6.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพ	
การจัดสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ.....	96
4.6.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อ	
ประสิทธิภาพการจัดสีรีแอ็คทีฟโพเรเนียนชมพู 8B.....	96
4.6.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพ	
การจัดสีรีแอ็คทีฟโพเรเนียนน้ำเงิน 7RX.....	97
4.6.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพ	
การจัดสีไดเรกต์.....	98
4.6.4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพ	
การจัดสีไดเรกต์น้ำเงิน.....	98
4.6.4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพ	
การจัดสีไดเรกต์เรด.....	99
4.7 ผลการศึกษาการชะละลายออกจากผิวที่เข้าแถบดำของโลหะหนัก	
ฟันอล และสีย้อมผ้า.....	100
4.8 ผลการศึกษาการทดลองกับน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	102
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	103
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	105
บรรณานุกรม.....	106
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผล	
ต่อประสิทธิภาพการจัดโลหะหนัก ฟันอล และสีย้อมผ้า.....	112
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณที่เข้าแถบดำที่มีผล	
ต่อประสิทธิภาพการจัดโลหะหนัก ฟันอล และสีย้อมผ้า.....	119

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค. ข้อมูลการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด.....	137
ภาคผนวก ง. ข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผล ต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า.....	146
ภาคผนวก จ. วิเคราะห์ฟีนอล วิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมผ้า.....	155
ประวัติผู้เขียน.....	161



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม	12
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของซีเถ้ากลบ.....	21
4.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของซีเถ้ากลบดำ.....	39
4.2 แสดงพื้นที่ผิวจำเพาะความหนาแน่น และความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของซีเถ้ากลบดำ.....	39
4.3 แสดงค่าคงที่ของสมการแลงมัวร์และสมการฟรุนดลิชสำหรับการดูดซับตะกั่ว แคดเมียม ฟีนอล สไตรีนไคทีฟและสไตรีนไคทีฟ.....	84
4.4 ปริมาณโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าที่ถูกชะละลายออกจากผิว ซีเถ้ากลบดำ.....	101
4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดของซีเถ้ากลบดำ กับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	102
ก - 1 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว 1-5.....	113
ก - 2 ผลการทดลองการกำจัดแคดเมียมที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียม 1-5.....	113
ก - 3 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม 1-5.....	114
ก - 4 ผลการทดลองการกำจัดฟีนอลที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ฟีนอล 1-7.....	114
ก - 5 ผลการทดลองการกำจัดสไตรีนไคทีฟโพเรเซียนชมพู 8B ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สไตรีนไคทีฟโพเรเซียนชมพู 8B 1-12.....	115
ก - 6 ผลการทดลองการกำจัดสไตรีนไคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สไตรีนไคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX 1-12.....	116
ก - 7 ผลการทดลองการกำจัดสไตรีนไคทีฟน้ำเงิน ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สไตรีนไคทีฟน้ำเงิน 1-12.....	117
ก - 8 ผลการทดลองการกำจัดสีย้อมผ้าไดเรกต์เรด ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สไตรีนไคทีฟเรด 1-12.....	118
ข - 1 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่ว ที่ใช้ปริมาณซีเถ้ากลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	120
ข - 2 ผลการทดลองการกำจัดแคดเมียม ที่ใช้ปริมาณซีเถ้ากลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-3 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียม ที่ใช้ปริมาณซีเถ้าแกลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	124
ข-4 ผลการทดลองการกำจัดฟีนอล ที่ใช้ปริมาณซีเถ้าแกลบดำแตกต่างกัน 5 ระดับ (2 5 7 10 และ 15 กรัมต่อลิตร).....	126
ข-5 ผลการทดลองการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเชียนชมพู 8B ที่ใช้ปริมาณซีเถ้าแกลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	129
ข-6 ผลการทดลองการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเชียนน้ำเงิน 7RX ที่ใช้ปริมาณซีเถ้าแกลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	131
ข-7 ผลการทดลองการกำจัดสีไดเรกต์น้ำเงิน ที่ใช้ปริมาณซีเถ้าแกลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	133
ข-8 ผลการทดลองการกำจัดสีไดเรกต์เรด ที่ใช้ปริมาณซีเถ้าแกลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	135
ค-1 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ของน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	138
ค-2 ผลการทดลองการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ของน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียม 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	139
ค-3 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	140
ค-4 ผลการทดลองการกำจัดฟีนอลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ของน้ำเสียสังเคราะห์ฟีนอล 1 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	141
ค-5 ผลการทดลองการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเชียนชมพู 8B ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟไฟโพรเชียนชมพู 8B 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	142
ค-6 ผลการทดลองการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเชียนน้ำเงิน 7RX ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟไฟโพรเชียนน้ำเงิน 7RX 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	143
ค-7 ผลการทดลองการกำจัดสีไดเรกต์น้ำเงินที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ของน้ำเสียสังเคราะห์สีไดเรกต์น้ำเงิน 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	144

เอกสารนี้เป็นของน้ำเสียสังเคราะห์สีไดเรกต์น้ำเงิน 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ประโยชน์ได้ 144 คำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค-8 ผลการทดลองการกำจัดสีไดเรกต์เรดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ของน้ำเสียสังเคราะห์สีไดเรกต์เรด 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	145
ง-1 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	147
ง-2 ผลการทดลองการกำจัดแคดเมียมที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	148
ง-3 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	149
ง-4 ผลการทดลองการกำจัดฟีนอลที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	150
ง-5 ผลการทดลองการกำจัดสีรีแอคทีฟไฟโพรเชียนชมพู 8B ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	151
ง-6 ผลการทดลองการกำจัดสีรีแอคทีฟไฟโพรเชียนน้ำเงิน 7RX ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	152
ง-7 ผลการทดลองการกำจัดสีไดเรกต์เรดน้ำเงิน ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	153
ง-8 ผลการทดลองการกำจัดสีไดเรกต์เรด ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	154

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสียไดเร็กท์.....	10
2.2 โครงสร้างทางเคมีของสียรีแอ็คทีฟโพเรเนียนน้ำเงิน.....	11
2.3 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับแบบกายภาพ.....	17
3.1 ขั้นตอนการศึกษาการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยซีเถ้าแกลบดำ.....	30
3.2 ขั้นตอนการศึกษาการดูดซับฟีนอลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยซีเถ้าแกลบดำ.....	31
3.3 ขั้นตอนการศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยซีเถ้าแกลบดำ.....	31
4.1 แสดงลักษณะรูปร่างทางกายภาพของซีเถ้าแกลบดำ.....	40
4.2 อิทธิพลของค่าพีเอช (5 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ที่ความเข้มข้นตะกั่ว 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	41
4.3 อิทธิพลของค่าพีเอช (5 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม ที่ความเข้มข้นแคดเมียม 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	42
4.4 อิทธิพลของค่าพีเอช (5 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม ที่ความเข้มข้นโครเมียม 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	43
4.5 เปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังเติมซีเถ้าแกลบดำ.....	45
4.6 แสดงกราฟการละลายน้ำของตะกั่วที่ค่าพีเอชต่างๆ	47
4.7 แสดงกราฟการละลายน้ำของแคดเมียมที่ค่าพีเอชต่าง ๆ.....	48
4.8 แสดงสารประกอบโครเมียม(VI) ในสารละลายที่ค่าพีเอชต่างๆ	49
4.9 อิทธิพลของค่าพีเอช (7 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอล ที่ความเข้มข้นฟีนอล 1 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	51
4.10 อิทธิพลของค่าพีเอช (12 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสียรีแอ็คทีฟโพเรเนียนชมพู 8B ที่ความเข้มข้นสียรีแอ็คทีฟโพเรเนียนชมพู 8B 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	52
4.11 อิทธิพลของค่าพีเอช (12 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสียรีแอ็คทีฟโพเรเนียน น้ำเงิน 7RX ที่ความเข้มข้นสียรีแอ็คทีฟโพเรเนียนน้ำเงิน 7RX 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร	53
4.12 อิทธิพลของค่าพีเอช (12 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสียไดเร็กท์น้ำเงิน ที่ความเข้มข้นสียไดเร็กท์น้ำเงิน 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 อิทธิพลของค่าพีเอช (12 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสโไตรก์เรด ที่ความเข้มข้นสโไตรก์เรด 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	56
4.14 แสดงรูปแบบการดูดซับที่พื้นผิวสารดูดซับออกไซด์.....	58
4.15 แสดงปฏิกิริยาการแทนที่ของสารดูดซับที่โมเลกุลสตรัคเจอร์ที่ฟิโพรเซียน.....	60
4.16 แสดงปริมาณตะกั่วที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเถ้ากลบดำ แตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	61
4.17 แสดงปริมาณแคดเมียมที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเถ้ากลบดำ แตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	63
4.18 แสดงปริมาณโครเมียมที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเถ้ากลบดำ แตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	64
4.19 แสดงปริมาณฟีนอลที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเถ้ากลบดำ แตกต่างกัน 5 ระดับ (2 5 7 10 และ 15 กรัมต่อลิตร).....	66
4.20 แสดงปริมาณสตรัคเจอร์ที่ฟิโพรเซียนชมพู 8B ที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเถ้ากลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	67
4.21 แสดงปริมาณสตรัคเจอร์ที่ฟิโพรเซียนน้ำเงิน 7RX ที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเถ้ากลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	69
4.22 แสดงปริมาณสโไตรก์เรดน้ำเงินที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเถ้ากลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	71
4.23 แสดงปริมาณสโไตรก์เรดที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเถ้ากลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร).....	72
4.24 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับตะกั่วด้วยซีเถ้ากลบดำ.....	74
4.25 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับแคดเมียมด้วยซีเถ้ากลบดำ.....	75
4.26 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับโครเมียมด้วยซีเถ้ากลบดำ.....	76
4.27 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับฟีนอลด้วยซีเถ้ากลบดำ.....	78
4.28 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับ สตรัคเจอร์ที่ฟิโพรเซียนชมพู 8B ด้วยซีเถ้ากลบดำ.....	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับ สำหรับแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX ด้วยซีเถ้าแอลบดำ.....	80
4.30 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับซีไคเรกท์น้ำเงินด้วยซีเถ้าแอลบดำ.....	82
4.31 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับซีไคเรกท์เรดด้วยซีเถ้าแอลบดำ.....	83
4.32 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วยซีเถ้าแอลบดำ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	85
4.33 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมด้วยซีเถ้าแอลบดำ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	86
4.34 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมด้วยซีเถ้าแอลบดำ. ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	87
4.35 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลด้วยซีเถ้าแอลบดำ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล 1 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	88
4.36 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสำหรับแอคทีฟโพเรเซียนชมพู 8B ด้วยซีเถ้าแอลบดำที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสำหรับแอคทีฟโพเรเซียนชมพู 8B 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	89
4.37 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสำหรับแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX ด้วยซีเถ้าแอลบดำที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสำหรับแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	90
4.38 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีไคเรกท์น้ำเงินด้วยซีเถ้าแอลบดำ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของซีไคเรกท์น้ำเงิน 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	91
4.39 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีไคเรกท์เรดด้วยซีเถ้าแอลบดำ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของซีไคเรกท์เรด 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	92
4.40 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วยซีเถ้าแอลบดำ ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	93
4.41 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมด้วยซีเถ้าแอลบดำ ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.42 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมด้วยซีเถ้ากลบดำ ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	95
4.43 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลด้วยซีเถ้ากลบดำ ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	96
4.44 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสรีแอกทีฟโพรเซียนชมพู 8B ด้วยซีเถ้ากลบดำ ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	97
4.45 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสรีแอกทีฟโพรเซียนน้ำเงิน 7RX ด้วยซีเถ้ากลบดำที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	98
4.46 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีไคเร็กท์น้ำเงินด้วยซีเถ้ากลบดำ ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	99
4.47 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีไคเร็กท์เรดด้วยซีเถ้ากลบดำ ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส.....	99

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยเน้นการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมมากขึ้น ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย เพื่อแปรรูปวัตถุดิบและผลิตสินค้าเพื่อสนองความต้องการของการอุปโภคบริโภค และการค้ากับต่างประเทศ กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ก่อให้เกิดของเสียมากมายและนับวันจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ของเสียบางชนิดเป็นสารมลพิษที่ก่อให้เกิดผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ เช่นพวกโลหะหนัก ฟีนอล สารประกอบฟีนอล และ สีย้อมผ้า เป็นต้น

โลหะหนักเป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่ใช้ในกิจกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวาง โลหะหนักบางประเภท เช่น โครเมียม ตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น เป็นสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดพิษต่อมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ แหล่งที่มาของโลหะหนักที่สำคัญได้แก่น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้โลหะหนักดังกล่าว เช่น อุตสาหกรรมสี ทาวัสดุ อุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ อุตสาหกรรมผลิตโลหะ อุตสาหกรรมชุบโลหะ เป็นต้น น้ำเสียจากโรงงานบางประเภทที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักในปริมาณสูงจำเป็นต้องมีการบำบัดให้อยู่ในปริมาณที่ได้ตามกำหนดมาตรฐานที่ปลอดภัยก่อนถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ดังนั้นการพัฒนาวิธีการบำบัดโลหะในน้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญ และจะต้องมีการพัฒนาอย่างเหมาะสม ต้นทุนในการผลิตต่ำ ง่ายต่อการดูแล โดยปกติ วิธีที่ใช้ในการบำบัดโลหะในน้ำทั้ง ได้แก่ การตกตะกอน การระเหย การแลกเปลี่ยนประจุ การทำให้บริสุทธิ์ด้วยความเย็น รีเวิร์สออสโมซิส การแยกด้วยไฟฟ้า การทำให้ลอย การดูดซับ และการใช้วิธีอิเล็กโทรไดอะไลซิส เป็นต้น

อุตสาหกรรมสิ่งทอจัดเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่อุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศไทย มีบทบาทสำคัญในการส่งออกนารายได้เข้าสู่ประเทศสูง อุตสาหกรรมสิ่งทอประกอบด้วยอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตเส้นใย ปั่นด้าย ถักทอผ้า ฟอกย้อมและพิมพ์ตกแต่งสำเร็จ โดยการผลิตในขั้นตอนต่างๆ มีความเกี่ยวเนื่องกัน ขนาดของอุตสาหกรรมสิ่งทอมีความหลากหลาย โดยอาจมีขนาดเล็กเป็นหัตถกรรมในครอบครัวจนถึงเป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ แต่สิ่งหนึ่งที่เหมือนกันในทุกขนาดอุตสาหกรรม คือ การใช้น้ำและเคมีในกระบวนการฟอกย้อมและพิมพ์ ซึ่งทำให้เกิดน้ำทิ้งอันอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ถ้ามิได้ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำที่ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมสิ่งทอที่เห็นเด่นชัด ได้แก่มลพิษทางน้ำ ซึ่งเกิดจากการปล่อยน้ำที่ผ่านระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพต่ำ ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำทิ้งเหล่านี้ประกอบด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ สารแขวนลอย น้ำมัน น้ำทิ้งจากกระบวนการมีอุณหภูมิสูง มีฤทธิ์เป็นด่าง กลิ่นแรง และมีความเข้มข้นของสีสูง สิ่งเหล่านี้เองก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง โรงงานฟอกย้อมผ้ามีการใช้น้ำในปริมาณสูง โดยมีอัตราการใช้น้ำปริมาณ 200 - 2000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ดังนั้นน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมจึงก่อปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมเป็นอย่างมากเนื่องจากมีปริมาณค่อนข้างมาก มีความเข้มข้นสูง และมีสารอินทรีย์ปนอยู่ (กาญจนา คลองธรรมชาติ. 2536) ปัญหาที่สำคัญของโรงงานฟอกย้อมในขณะนี้คือ ไม่สามารถกำจัดสีที่เกิดจากกระบวนการผลิตให้หมดได้

ฟีนอลเป็นอนุพันธ์ไฮดรอกซีของเบนซิน โดยทั่วไปฟีนอลที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมาจากบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตน้ำเสียที่มีฟีนอลปนเปื้อนได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตถ่านโค้ก (Coke manufacture) อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ (paper mill industries) อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน (refinery industries) อุตสาหกรรมผลิตไม้อัด (plywood industries) (Munaf et al. 1997) อุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมผลิตเรซิน ฟีนอลและสารประกอบฟีนอลเป็นสารมลพิษชนิดหนึ่ง ที่ถูกกำหนดอยู่ในรายการสารมลพิษของ U.S. Environmental Protection Agency

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีเด้าแกลบดำ

1.2.2 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีเด้าแกลบดำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก 3 ชนิด (ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม (VI)) ฟีนอล และสีย้อมผ้า 2 ชนิด (สีย้อมรีแอคทีฟ 2 โทนส์ คือ สีย้อมรีแอคทีฟโพรเชียนชมพู 8B (reactive procion pink 8B) และรีแอคทีฟโพรเชียนน้ำเงิน 7RX (reactive procion blue 7RX) และสีย้อมรีแอคทีฟ 2 โทนส์ คือ ไคเร็กทีฟน้ำเงิน (direct blue) และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไต่เร็กท์เรด (direct red) ออกจากน้ำเสียด้วยซีเถ้ากลบดำ โดยใช้เทคนิคการศึกษาการดูดซับแบบแบรท์ ซึ่งขอบเขตของงานวิจัยมีดังนี้

1.3.1 ศึกษาอิทธิพลของค่าที่เอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเถ้ากลบดำ

1.3.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า

1.3.3 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเถ้ากลบดำ

1.3.4 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเถ้ากลบดำ

1.3.5 ทดสอบการชะละลายออกจากผิวซีเถ้ากลบดำของโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าที่ถูกดูดซับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้มีการนำซีเถ้ากลบดำซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตรน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก

1.4.2 ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าปนเปื้อนได้จริง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โลหะหนัก

ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่วเป็นธาตุหมู่ 4A ทุกธาตุในหมู่นี้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว ตะกั่วมีสถานะออกซิเดชัน +2 ที่เสถียร มีรัศมีอะตอม (โคเวเลนต์) 154 พิโกเมตร (pm) มีรัศมีไอออน M^+ เป็น 120 พิโกเมตร

ปัจจุบันได้มีการนำตะกั่วมาใช้ผลิตวัสดุอุปกรณ์เพื่อใช้งานกันมาก ทำให้มีอุตสาหกรรมประเภทที่ต้องใช้ตะกั่วเป็นวัตถุดิบมีจำนวนมาก เช่น อุตสาหกรรมผลิตสีทาวัสดุ อุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ อุตสาหกรรมผลิตโลหะ เป็นต้น อุตสาหกรรมเหล่านี้ได้ปล่อยตะกั่วออกสู่สิ่งแวดล้อม และมีผลกระทบต่อคุณภาพของสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติอย่างรุนแรง ตัวอย่างสารตะกั่วที่พบบ่อย และก่อให้เกิดเป็นปัญหาต่อสุขภาพของมนุษย์ ได้แก่

- ตะกั่วโมโนออกไซด์ (Lead Monoxide, PbO) หรือ Litharge ใช้เป็นสารสีเหลืองผสมสีทาสีบ้าน
- ตะกั่วไดออกไซด์ (Lead Dioxide, PbO_2) ใช้ทำเป็นขั้วบวกของแบตเตอรี่รถยนต์ และเครื่องจักร
- ตะกั่วคาร์บอเนต (Lead Carbonate, $PbCO_3$) ผสมกับตะกั่วไฮดรอกไซด์ (Lead Hydroxide, $Pb(OH)_2$) เรียกว่า "White Lead" ผสมในฝุ่นสีขาว สีน้ำมัน หมึกพิมพ์ สีพลาสติค
- ตะกั่วออกไซด์ (Lead Oxide, Pb_3O_4) หรือ ตะกั่วแดง (Red Lead) ใช้ผสมสีทาโลหะเพื่อกันสนิม

ตะกั่วที่เจือปนอยู่ในอากาศอาจแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้สองทาง ได้แก่ ทางตรง โดยมนุษย์หรือสัตว์หายใจหรือกินอาหารที่มีตะกั่วปนเปื้อนเข้าไป ส่วนทางอ้อมนั้นตะกั่วจะเข้ารกวนหรือทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร การกระจายของตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายอาจเป็นไปอย่างช้าๆ และหลังจากที่ถูกดูดซึมจากลำไส้แล้วตะกั่วถูกพาผ่านทางเส้นเลือดดำอย่างรวดเร็วเข้าสู่ตับ และบางส่วนถูกขับออกมาทางน้ำดีและทางอุจจาระ ถ้าหากเข้าในปอด ตะกั่วจะเข้าสู่กระแสเลือดโดยตรง กระแสไหลเวียนเลือดจะนำตะกั่ววนเวียนไปทั่วร่างกาย ตะกั่วจะสะสมอยู่ในตับและไตมากที่สุด ต่อมาเคลื่อนที่ไปตามกระแสเลือดไปเกาะสะสมที่กระดูกในสภาพเกลือที่ละลายยาก เช่น ตะกั่วฟอสเฟต (Pb_3PO_4) ตะกั่วเป็นสารที่ขับออกจากร่างกายได้ช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก ครึ่งชีวิตของตะกั่ว (^{210}Pb) ในร่างกายเท่ากับ 1940 วัน หรือ 3 - 5 ปี นั้นหมายความว่าตะกั่วจะถูกเก็บไว้นานมากในกระดูก และเนื้อเยื่อประมาณห้าปีจึงจะเหลือเพียงครั้งเดียว (ไมตรี สุทธจิตต์. 2534)

แคดเมียม (Cd)

แคดเมียมเป็นโลหะหนักแต่เนื้ออ่อนมีน้ำหนักอะตอม 112.4 อยู่ในกลุ่ม IIB ของตารางธาตุ มีสถานะออกซิเดชัน +2 จุดหลอมเหลวต่ำระเหิดกลายเป็นไอได้ง่าย ในธรรมชาติแคดเมียมมีอยู่น้อย ส่วนมากมักจะรวมอยู่กับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ และแร่สังกะสีซัลไฟด์ ในทางอุตสาหกรรมได้มีการนำแคดเมียมมาใช้แทนอลูมิเนียม เหล็กสแตนเลสและสังกะสีในการฉาบวัสดุอุปกรณ์ที่เป็นโลหะต่างๆ เช่น เครื่องมือไฟฟ้า อุปกรณ์การผลิตพลาสติก พีวีซี โลหะผสมต่างๆ ท่อโลหะทองแดง น้ำยาเคลือบไม้ สีและน้ำยากันสนิม

เมื่อร่างกายได้รับพิษเนื่องจากการสูดหรือหายใจเอาควันที่มีแคดเมียมเข้าไป จะมีอาการคอแห้ง ระคายคอ แน่นหน้าอก ปวดศีรษะ เมื่อได้รับแคดเมียมปริมาณมากๆจะมีอาการหายใจไม่ออก ไอ และอาจถึงตายได้ พิษแบบเรื้อรังของแคดเมียมทำให้เกิดโรคอิไต-อิไต (Itai-Itai Disease) อาการของโรคนี้คือทำให้เกิดความเจ็บปวดทรมานมากเนื่องจากแคดเมียมทำให้กระดูกและไตพิการ ทำให้ความดันโลหิตสูง อาการของโรคอิไต-อิไตส่วนมากมักจะเกิดในเพศหญิง โดยเฉพาะในผู้หญิงที่ตั้งครรภ์ อาการระยะเริ่มต้นของโรคผู้ป่วยจะมีอาการปวดบริเวณสะโพก แขน และขา ส่วนในกรณีผู้ป่วยที่ได้รับแคดเมียมสะสมมานานจะมีอาการรุนแรงมากคือ เจ็บปวดทั่วร่างกาย แรงกดของน้ำหนักตัวที่มีต่อกระดูกสันหลังทำให้ร่างกายเตี้ยหรือค่อมลง กระดูกเปราะ ในระยะสุดท้ายผู้ป่วยจะสูญเสียแคลเซียมออกทางปัสสาวะมาก จนกระดูกผุกร่อนและเสียชีวิตในที่สุด (ไมตรี สุทธจิตต์. 2534)

โครเมียม (Cr)

โครเมียมเป็นโลหะหนักที่มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 52.01 อยู่ในกลุ่ม VIB มีสถานะออกซิเดชัน +3 และ +6 โลหะโครเมียมถูกนำมาใช้มากในการชุบเคลือบโลหะเพื่อกันสนิมและให้เป็นเงางาม ใช้ใส่ในโลหะผสมทั้งหลายโดยเฉพาะเหล็กกล้า สารประกอบโครเมต (Chromate) ถูกใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง สารพวกไดโครเมต (Dichromate) เป็นส่วนประกอบของสีย้อมวัสดุต่างๆ และผสมในน้ำกรดแบตเตอรี่ สังกะสีโครเมตใช้เป็นสีรองพื้นก่อนเคลือบด้วยสีอย่างอื่น

ความเป็นพิษของโครเมียม เมื่อสัมผัสกรดโครมิกหรือสารโครเมตจะทำให้เป็นแผลพุพองตามผิวหนังซึ่งเรียกว่า "Chromic Holes" ทำให้โพรงจมูก (Nasal Septum) เบ่งบวม ไชของสารโครมิกทำให้เกิดการระคายเคืองตาและทางเดินลมหายใจ ถ้าได้รับสารประกอบโครเมตเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดเวลาทางปาก จะทำให้ปวดท้อง กระเพาะลำไส้เป็นแผลอักเสบ มีอาการอ่อนเพลียและปวดตามข้อ ตับอักเสบซึ่งอาจร่วมกับดีซ่านได้ สารโครเมียมถือว่าเป็นสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง เพราะจะไปรบกวนการสังเคราะห์ DNA ในเซลล์ (ไมตรี สุทธจิตต์. 2534)

2.1.1 กรรมวิธีการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย

จันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์ (2539) ได้กล่าวถึงกระบวนการที่ใช้ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียอยู่หลายวิธี การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่างๆ ดังนี้คือ คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพของน้ำที่ต้องการ พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้

2.1.1.1 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานานแล้ว ทำโดยการเติมสารเคมีลงไปในน้ำทิ้ง เพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่เกิดตะกอนแยกออกจากน้ำได้ ซึ่งการตกตะกอนด้วยสารเคมีมีหลายวิธีด้วยกันแต่วิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 แบบคือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation) และการตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation)

1) การตกตะกอนไฮดรอกไซด์

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ จัดเป็นการตกตะกอนแบบดั้งเดิมโดยเติมสารเคมีคือ ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกิดปฏิกิริยาตามสมการดังนี้



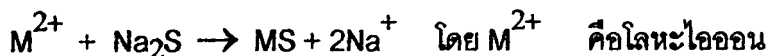
การตกตะกอนไฮดรอกไซด์สามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่มีข้อจำกัดคือ โลหะไฮดรอกไซด์จะมีคุณสมบัติ Amphoteric คือไม่สามารถตกตะกอนที่พีเอชใดพีเอชหนึ่ง แต่จะตกตะกอนเป็นช่วงพีเอชกว้างโดยทั่วไปโลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 8 - 11 และโลหะไฮดรอกไซด์นี้จะสามารถละลายกลับมาได้อีกถ้าค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงไปจากค่าพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอน

2) การตกตะกอนซัลไฟด์

การตกตะกอนซัลไฟด์ สารเคมีที่นิยมใช้ในการตกตะกอนคือ โซเดียมซัลไฟด์

(Na_2S) โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข้อดีของการตกตะกอนซัลไฟด์ คือ การละลายของโลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ แต่การตกตะกอนซัลไฟด์ มีข้อจำกัด คือเรื่องของกลิ่นก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มากเกินไปจึงต้องมีการป้องกันก๊าซที่เกิดขึ้น โดยบำบัดน้ำเอาซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง

2.1.1.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange, IE)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้ โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกดูดซับโดยเรซิน (Resin) ไม่เท่ากัน ซึ่งสารแลกเปลี่ยนไอออนนี้จะมีทั้งแบบที่ได้จากธรรมชาติ และชนิดสังเคราะห์ เรซินมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงกันข้าม ซึ่งไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามเป็นไอออนที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวกจะเรียกว่าแคตไอออนเอ็กเชนเจอร์ (Cation Exchanger) และถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบ จะเรียกว่า แอนไอออนเอ็กเชนเจอร์ (Anion Exchanger) วิธีการนี้จะเหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง กล่าวคือถ้ามีสารปนเปื้อนที่มีประจุชนิดอื่นอยู่จะต้องถูกกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซิน เพื่อจะทำให้การกำจัดมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.1.1.3 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction)

เป็นวิธีการทางเคมีที่นิยมใช้กันมาก ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่างๆเจือปนอยู่ ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไปเพื่อให้ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับสารประกอบที่ต้องการกำจัด ทำให้สารประกอบนั้นเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดออกซิเดชัน ได้แก่ ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮโปคลอไรต์ เปอร์แมงกาเนต โครเมตและไนเตรต ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดรีดักชัน ได้แก่ เฟอริกซัลเฟต โซเดียมเมตาไบซัลเฟต ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

2.1.1.4 รีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis)

วิธีนี้เป็นการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนที่ทำด้วยสารเซลลูโลสอะซีเตต และโพลีเอมิด ซึ่งจะให้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน (Semipermeable Membrane) เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้น วิธีนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องใช้แรงดันสูง โดยอาจสูงกว่า 100 บรรยากาศ ดังนั้นแผ่นเมมเบรนที่ใช้ต้องทนต่อแรงดันสูง และต้องมีการบำบัดชั้นต้นโดยการปรับค่าพีเอช แยกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงออก และกรองสารแขวนลอยออกก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน วิธีนี้เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า น้ำเสียจากการล้างภาพ

2.1.1.5 การระเหย (Evaporation)

วิธีการระเหยนํ้าออกนี้เป็นวิธีง่ายๆ ที่ใช้ในการทำให้สารมีความเข้มข้นสูงขึ้น การระเหยมีทั้งการระเหยที่บรรยากาศธรรมดา (Atmospheric Evaporation) และการระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Evaporation) วิธีการบำบัดแบบนี้จะได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูงเท่านั้น แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง

2.1.1.6 อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

วิธีการนี้เป็นการแยกไอออนออกจากสารละลาย ด้วยกระแสไฟฟ้าตรงรวมกับการใช้เมมเบรนที่เลือกเฉพาะสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion Selective Membrane) กลไกของวิธีการนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย และน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีนี้มีต้นทุนการก่อสร้างและดำเนินงานสูง แต่มีข้อดีคือสามารถกำหนดชนิดของไอออนที่ต้องการได้

2.1.1.7 การแยกกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)

วิธีนี้เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทดและเกิดก๊าซออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่วิธีนี้มักไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

2.1.1.8 การดูดซับ (Adsorption)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการในการกำจัดสารมลพิษที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล และสารดูดซับที่นิยมนำมาใช้ในระบบบำบัดคือ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งเป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากเท่าที่จะทำได้ รูพรุนหรือโพรงมีขนาดตั้งแต่ 20 อังสตรอม ($\text{\AA}$) ถึง 20,000 อังสตรอม การดูดซับสามารถกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย ที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาศัยกลไกทางเคมีกายภาพ สำหรับสิ่งเจือปนในน้ำเสียที่กระบวนการดูดซับกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น สี กลิ่น บีโอดี ยารักษาแมลง เป็นต้น (Metcalf and Addy. 1991) การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มีประสิทธิภาพที่ดี และระบบมีความทนทานต่อสารพิษซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดี เมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพ คือ ต้องการพื้นที่น้อย ไม่มีกลิ่นที่น่ารังเกียจ เงินลงทุนต่ำ และระบบมีความยืดหยุ่นสูง สามารถเพิ่มหรือลดขนาดของระบบได้ง่าย

2.2 สีย้อมผ้า (Dye)

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2527) กล่าวว่าสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมหรือพิมพ์ผ้าเกิดจากสีย้อม (dye) ที่ใช้ไม่หมดในกระบวนการย้อมหรือพิมพ์ผ้า สีย้อมที่เหลือจากการย้อมหรือพิมพ์ผ้าเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้น้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมมีสีออกมาในเกณฑ์ค่อนข้างสูง นอกจากนี้สีย้อมบางส่วนอาจจะหลุดออกมาในขณะที่ทำการซักล้างหรือปรงแต่งวัสดุสิ่งทอที่ผ่านการย้อมแล้วอีกด้วย สีย้อมที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานฟอกย้อมมักจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างใหญ่ และซับซ้อนและมักจะเป็นสารประกอบที่มีพิษ เมื่อถูกระบายลงสู่ลำรางสาธารณะแล้วนอกจากจะทำให้เกิดความรู้สึกรังเกียจต่อผู้พบเห็นยังจะไปทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำได้ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม อนุภาคของสีย้อมบางชนิดจะไปขัดขวางการแผ่กระจายของแสงทำให้สมดุลของระบบนิเวศวิทยาเปลี่ยนไป

ลิลี โกศยยานนท์ ได้กล่าวไว้ว่าการจำแนกสีย้อมผ้า (Dye Classification) มีหลายระบบด้วยกัน เช่น จำแนกตามแหล่งกำเนิด ตามกลุ่มเคมีภายในโครงสร้าง หรือการใช้งาน ระบบที่ใช้กันมากในปัจจุบันเป็นระบบที่ใช้ดัชนีสี (Color Index) ที่แบ่งตามการใช้งานดังนี้

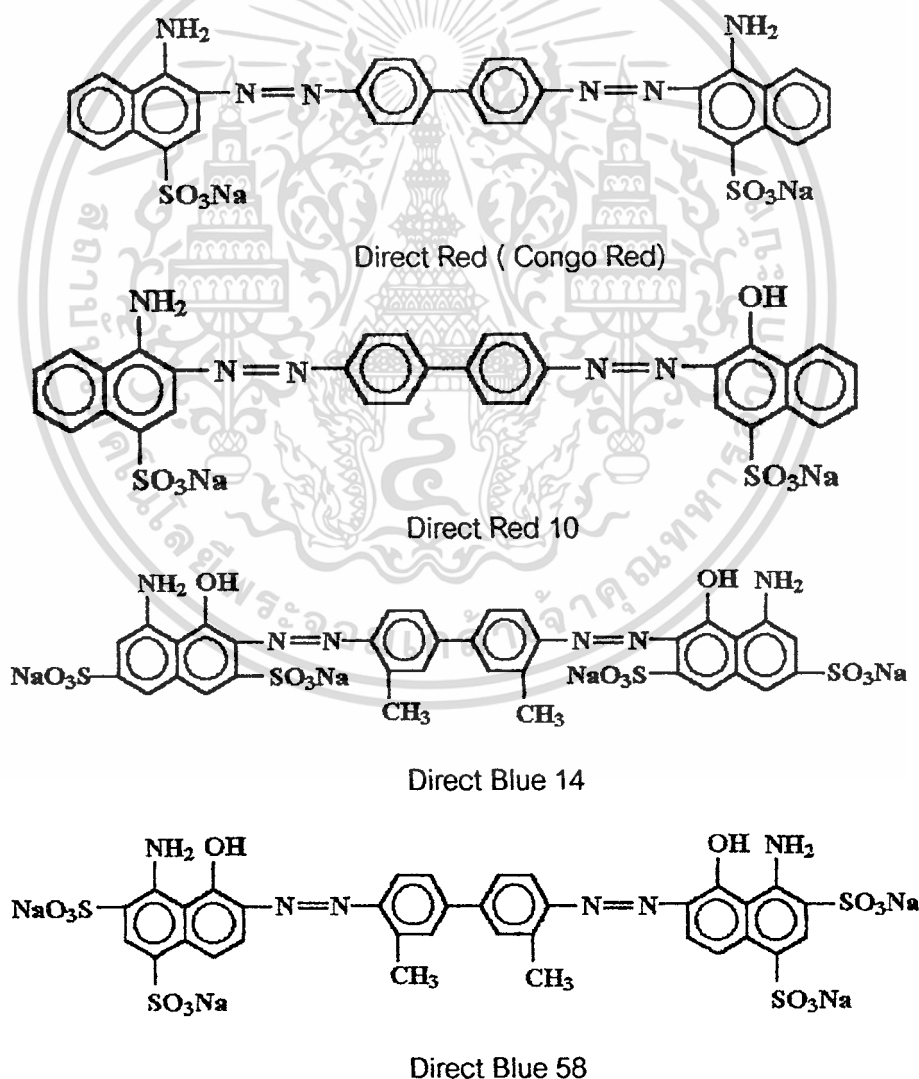
- สีแอซิด (Acid Dyes)
- สีเอโซอิก (Azoic Dyes)
- สีเบสิก (Basic Dyes)
- สีไดเรกต์ (Direct Dyes)
- สีดีสเพอซ (Disperse Dyes)
- สารสี (Pigment)
- สีรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)
- สีซัลเฟอร์ (Sulphur Dyes)
- สีแวต (Vat Dyes)

ในที่นี่จะกล่าวถึงสีย้อมที่ได้เลือกมาศึกษา 2 ชนิด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) สีย้อมตรง (Direct Dyes)

สีย้อมตรงมีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวก dis- tris- หรือ polyazo มีหมู่ที่ละลายน้ำได้เป็นพวก sulfonic acid carboxylic acid หรือ hydroxyl ละลายน้ำได้ดีมากและแสดงประจุลบเมื่ออยู่ในสภาพสารละลาย มักจะใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส เป็นสีที่ไม่คงทนต่อการซัก เนื่องจากเชื่อกันว่าการที่สีย้อมตรงยึดติดกับเส้นใยเซลลูโลสนั้น เกิดจากแรงดึงดูดจำนวนมากของพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonds) และแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals forces) ซึ่งแรงดึงดูดเหล่านี้ไม่แข็งแรง ประกอบกับคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ของสีย้อมตรง จึงมีแนวโน้มที่สีจะหลุดออกมาจากภายในเส้นใยได้ง่าย ผ้าที่ย้อมด้วยสีย้อมตรงนี้สีจึงซีดจางง่าย ในการย้อมสีย้อมตรงนี้ทำได้ง่ายเพียงแต่ให้ความร้อนและมีสารช่วยย้อมเพียงชนิดเดียวคือ เกลือ เช่น เกลือแกง (NaCl) หรือ เกลือโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) (ลิลี โกศยานนท์) ตัวอย่างสีย้อมผ้าโดยตรงแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมตรง (Merck & Co. 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สิริแอคทีฟ (Reactive Dyes)

ลี้ โคชัยยานนท์ ได้กล่าวถึงสิริแอคทีฟไว้ดังนี้ (เช่น โพรเซียน ไดแอคทีฟ คีแอคทีฟ) สิริแอคทีฟเป็นสีที่มีประจุลบที่ละลายน้ำได้ใช้ย้อมเส้นใยประเภทเดียวกับสีไดเรกต์ สีชนิดนี้สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ในเส้นใยเซลลูโลสได้พันธะโคเวเลนต์ที่แข็งแรงกว่าพันธะไฮโดรเจนที่เกิดระหว่างสีไดเรกต์กับเส้นใยเซลลูโลสมาก จึงมีความทนต่อการซักดี โครงสร้างของสิริแอคทีฟประกอบด้วย

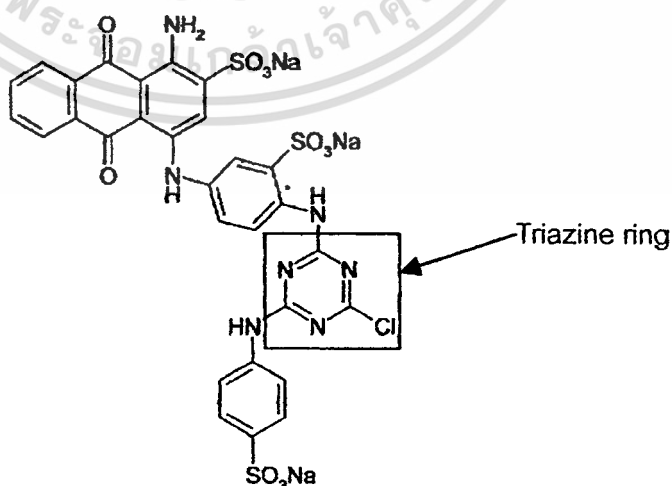
1) หมู่โครโมฟอร์ (chromophore group) ซึ่งอาจเป็น azo (monoazo หรือ disazo) anthraquinone phthalocyanine (หรือ triphenodiozaine)

2) หมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive group) เป็นหมู่ฟังก์ชันที่จะทำปฏิกิริยากับเส้นใย ได้แก่ six-membering heterocyclic หรือ aromatic ring ที่มีการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมด้วยหมู่ฮาโลเจน สำหรับหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาที่นิยมนำมาใช้ในสิริแอคทีฟ ได้แก่ Triazines (Procion) Pyrimidine (Levafix Drimarene Cibaron) และ Vinylsulphones (Remazol)

3) ตัวเชื่อม (bridging group) ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่าง หมู่โครโมฟอร์ และ หมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยทั่วไปตัวเชื่อมจะเป็นหมู่อะมิโน (amino group, $-NH-$)

4) หมู่ที่ละลายน้ำได้ (water solubilizing group) เป็นหมู่ที่ช่วยให้สีมีการละลายน้ำได้ดี ซึ่งได้แก่ พวก ionic group โดยมากจะเป็น sulphonate salts

สิริแอคทีฟโพรเซียน แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ 1) โพรเซียน M (procion M) เป็นสิริแอคทีฟโพรเซียนที่วง Triazine มีคลอรีน 2 อะตอม เรียกว่า dichlorotriazine dyes และ 2) โพรเซียน H (procion H) สิริแอคทีฟโพรเซียนที่วง Triazine มีคลอรีน 1 อะตอม เรียกว่า monochlorotriazine dyes (Khatri. 2003) ตัวอย่างสิริแอคทีฟโพรเซียนประเภท monochlorotriazine dyes แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของสิริแอคทีฟโพรเซียนน้ำเงิน (Foord et al. 2001)

2.2.1 กรรมวิธีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

การย้อมผ้าเป็นกระบวนการที่ใช้สีย้อมเป็นวัตถุดิบสำคัญ ร่วมกับน้ำและสารเคมีอื่นๆ ทำให้มีการปล่อยน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนขององค์ประกอบต่างๆ ในกระบวนการผลิต ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ตัวอย่างสิ่งที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียย้อมผ้าประกอบด้วย บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) สารแขวนลอย (SS) สี และอื่นๆ ขึ้นอยู่กับสภาพและวิธีการในกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงาน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม (Gaeta and Fedeles. 1991 อ้างโดย อภิชาติ หิรัญจิตต์. 2539)

พารามิเตอร์	ช่วงที่พบ
อุณหภูมิ	10 – 90 °ซ.
COD	80 – 4000 มก./ล.
BOD	50 – 2000 มก./ล.
TSS	20 – 500 มก./ล.
Color	สังเกตเห็น
NH ₃	0 – 36 มก./ล.
Phenol	0 – 12 มก./ล.
pH	2 – 12 มก./ล.
Cr (VI)	0 – 1 มก./ล.
Cr (III)	0 – 1 มก./ล.

สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2542) ได้กล่าวถึงวิธีการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมไว้ ซึ่งมีขั้นตอนการบำบัดดังนี้

2.2.1.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (Primary Treatment) เป็นการแยกเอาตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย เช่น เศษผ้า และเศษด้าย นอกจากนี้ยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทุติยภูมิต่อไป ขั้นตอนบำบัดน้ำเสียขั้นต้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ได้แก่ การกำจัดของแข็งแขวนลอยด้วยตะแกรง การปรับสภาพสมดุล และการปรับสภาพความเป็นกรด - ด่าง (pH)

2.2.1.2 การบำบัดขั้นทุติยภูมิ (Secondary Treatment) เป็นระบบบำบัดที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ และตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ หรือเป็นระบบบำบัดทางเคมีแล้วตามด้วยระบบทางชีวภาพ ระบบบำบัดขั้นทุติยภูมิมีหลายระบบ เช่น ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ ระบบตะกอนเร่ง ระบบบ่อบำบัดแบบไร้อากาศ ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ เป็นต้น สำหรับระบบบำบัดที่เหมาะสมและนิยมใช้กันมาก ได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ และระบบตะกอนเร่ง

2.2.1.3 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้า

สีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้าสามารถถูกกำจัดไปบางส่วนจากการบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิไม่ว่าจะเป็นกระบวนการบำบัดทางเคมี หรือ ทางชีวภาพ ความพยายามที่จะกำจัดสีย้อมที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งให้หมดไปหรือมีเหลืออยู่น้อยที่สุดได้ถูกคิดค้นมาเป็นเวลานาน และวิธีที่มีการศึกษาวิจัยและรวบรวมไว้เป็นเอกสารที่ปรากฏอยู่มีดังต่อไปนี้

- โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) (Judkins *et al.* 1978 ; กาญจนिता คล่องธรรมชาติ. 2536)
- การดูดซับ (Adsorption) (Poots *et al.* 1976 ; McKay *et al.* 1985 ; Gupta *et al.* 1990 ; Al-Degs *et al.* 2000 ; Morais *et al.* 2000 ; Basibuyuk *et al.* 2002 ; Garg *et al.* 2003 ; Malik. 2003)
- โอโซนเนชัน (Ozonation) (Kabda *et al.* 2002 ; Konsowa. 2003)
- คลอรีเนชัน (Chlorination) (Chen *et al.* 2001)
- การใช้แผ่นเมมเบรน (Membrane Technology) (Gholani *et al.* 2003)
- ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical)

2.3 ฟีนอล (Phenol)

ฟีนอลเป็นอนุพันธ์ไฮดรอกซีของเบนซีน มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว มีกลิ่นฉุน มีคุณสมบัติเป็นกรด มีจุดหลอมเหลวต่ำคือ 41 องศาเซลเซียส มีจุดเดือด 182 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ประเภทอะโรเมติก เช่น อะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน คีโตน เป็นต้น ในแหล่งน้ำธรรมชาติและในน้ำดื่มถ้ามีฟีนอลปนเปื้อนอยู่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ ความเป็นพิษของฟีนอลที่มีต่อมนุษย์ คือ เป็นสารก่อเกิดมะเร็ง เมื่อฟีนอลสัมผัสผิวหนังส่วนที่ว่างไวฟีนอลจะเข้าสู่กระแสเลือดได้โดยตรง และทำให้ผิวหนังบริเวณที่สัมผัสนั้นไหม้ เนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟีนอลเป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นกรด และถ้ารับประทานเข้าทางปากจะมีผลในการทำลายตับ ไต และระบบประสาทส่วนกลาง ความเป็นพิษแบบเรื้อรังของฟีนอล คือ ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย น้ำหนักลด ไตผิดปกติ (ปัสสาวะมีสีดํา) และตับพองตัว ถ้าได้รับฟีนอลเข้าไปเพียง 1 กรัมอาจทำให้ถึงตายได้ (Buzzi. 1992)

2.3.1 กรรมวิธีการกำจัดฟีนอลในน้ำเสีย

เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลมีหลายวิธี ได้แก่ การสกัด (Extraction) การใช้กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological treatment) การใช้สารเคมีออกซิไดส์ และการใช้วิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Rosfjord *et al.* 1976) เป็นต้น

2.4 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ (Adsorption) ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Scheele ในปี ค.ศ.1773 ซึ่งเป็นการดูดซับของก๊าซ และต่อมาในปี ค.ศ. 1785 Lowitz ได้ค้นพบการดูดซับของสารละลาย การดูดซับเป็นความสามารถของสารดูดซับในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะติดบนพื้นผิว การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิว หรือระหว่างพื้นผิว (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของ 2 วัสดุ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับ เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารถูกดูดซับ เรียกว่าสารดูดซับ (Adsorbent) การดูดซับบนของแข็งโดยเฉพาะอย่างยิ่งบนถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดีและน้ำเสีย กระบวนการดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption)

1) การดูดซับทางกายภาพ ซึ่งการดูดซับทางกายภาพที่เกิดขึ้นมีผลมาจากความแตกต่างของพลังงานและ/หรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (แรงแวนเดอร์วาลส์) ซึ่งมีค่าน้อย โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นแบบหลายชั้น (Multilayers) แต่ละชั้นของโมเลกุลจะติดอยู่กับชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับก่อนหน้านี้ โดยจำนวนของชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับหรือตัวถูกละลาย จำนวนชั้นของโมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพโดยทั่วไปจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับ

ทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าแรงดึงดูดมีค่าน้อยการหลุดออกของสารถูกดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย

2) การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับกับสารถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบทางเคมีซึ่งแตกต่างจากการดูดซับแบบกายภาพ กระบวนการนี้จะมี ความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียวและไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้เอง เนื่องจากมีการ จับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีที่อุณหภูมิสูงจะเกิดเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง (Faust and Aly. 1987 ; Kenneth *et al.* 1992)

2.4.1 ประเภทสารดูดซับ

Kenneth *et al.* (1992) ได้รวบรวมสารดูดซับที่มีอำนาจดูดซับโมเลกุลต่างๆ มาติดผิวไว้หลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

- ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และ แอลูมินา เติตติลิกา สารธรรมชาติเหล่านี้มักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 - 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสียคือ มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุล หรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิดทำให้การใช้ประโยชน์ จากสารดูดซับประเภท สารอนินทรีย์มีจำกัดมาก
- ถ่านกัมมันต์ เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกรัม
- ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้น เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น เรซินแลกเปลี่ยนประจุ สารเรซินมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 - 500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.4.2 กลไกการดูดซับ

Kenneth *et al.* (1992) ได้อธิบายการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับในระหว่างเกิดการดูดซับไว้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) การแพร่ภายนอก (External Diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายในสารละลายภายนอก (Bulk Solution) เข้าถึงผิวด้านนอกสารดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวด้านนอกของสารดูดซับมีช่องเหลวห่อหุ้ม โดยโมเลกุลของสารถูกดูดซับแทรกตัวผ่านชั้นของเหลว เข้าถึงผิวน้ำสารดูดซับ

2) การแพร่ภายใน (Internal or Pore Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแพร่เข้าสู่ภายในรูเล็กๆจำนวนมากภายในเนื้อสารดูดซับ รูเล็กๆดังกล่าวจะก่อให้เกิดพื้นที่ผิวปริมาณมากมายในสารดูดซับ

3) ปฏิกริยาพื้นผิว (Surface Reaction) ปฏิกริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายถูกดูดติดที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่

2.4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

Faust and Aly. (1987) ได้กล่าวถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับไว้สามารถนำมาสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ความดันป้อน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ Film Diffusion และ Pore Diffusion ซึ่งแล้วแต่ความดันป้อนของระบบ ถ้าน้ำมีความดันป้อนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้ Film Diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความดันป้อนสูงทำให้ Pore Diffusion เป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2) ขนาดของสารดูดซับ อัตราการดูดซับเป็นส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ การลดขนาดของสารดูดซับให้มีขนาดเล็กทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเร็วขึ้นกว่าสารที่มีขนาดใหญ่

3) พื้นที่ผิวของสารดูดซับ พื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) ยกเว้นในกรณีที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของสารดูดซับ

4) ความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำ และเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้หรือแตกตัวเป็นไอออนได้จะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูง จึงเป็นสารที่ยากในการดูดซับ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยจะสามารถเกาะติดบนผิวสารดูดซับได้ดี

5) ขนาดของสารที่ถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ โดยเฉพาะการดูดซับที่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของสารดูดซับ

6) ค่าพีเอช ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องมาจากค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการดูดซับมาก

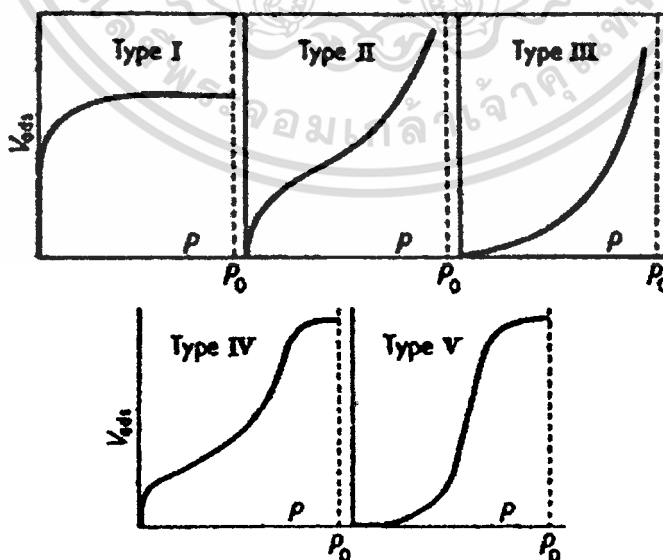
7) อุณหภูมิ ในกรณีการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน พบว่าเมื่ออุณหภูมิลดลงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลงแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนช่วยให้ความหนาของฟิล์มน้ำลดลงการเคลื่อนย้ายสารถูกดูดซับจากสารละลายภายนอก (Bulk Solution) เคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็วขึ้น

2.4.4 สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)

การดูดซับจากสารละลายก็คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายมารวมกันอยู่บนพื้นผิวของของแข็ง ในขณะที่กระบวนการการดูดซับดำเนินไปข้างหน้า ตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับมีแนวโน้มที่จะหลุดออกมาสู่สารละลาย เมื่ออัตราการดูดซับและอัตราการคายสารออกเข้าสู่สภาวะสมดุล (Equilibrium State) เรียกว่า สมดุลของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium) ที่จุดสมดุลนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของสารดูดซับ หรือในของเหลว สมดุลนี้เป็นลักษณะเฉพาะของระบบทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นตัวถูกละลาย สารดูดซับ ตัวทำละลาย พืช เชื้อ อุณหภูมิ และอื่นๆ ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล โดยปกติจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย การแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของสารดูดซับ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ เรียกว่า ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm) รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับในสารละลายมี 5 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ไอโซเทอมแบบที่ 1 เป็นไอโซเทอมที่การดูดซับเกิดขึ้นแบบขั้นเดียว (ไอโซเทอมแบบแลงมัวร์) ส่วนแบบอื่นๆ เป็นไอโซเทอมการดูดซับที่เกิดแบบหลายชั้น (Faust and Aly, 1987)



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะไอโซเทอมการดูดซับแบบกายภาพ (Faust and Aly, 1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Faust and Aly.(1987) ได้กล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลายรูปแบบ ที่นำมาใช้อธิบายถึงข้อมูลของการดูดซับที่จุดสมดุล ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาทางทฤษฎีและผลจากการทดลอง ซึ่งรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมนำมาใช้อธิบายการดูดซับมีดังต่อไปนี้

ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมุติฐานพื้นฐานของแบบจำลองแลงมัวร์ ที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model คือ

1. โมเลกุลถูกดูดซับอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของสารดูดซับ
2. แต่ละบริเวณสามารถดูดซับได้เพียงโมเลกุลเดียว
3. พื้นที่ของบริเวณที่ดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
4. พลังงานการดูดซับแต่ละบริเวณมีค่าเท่ากัน

การดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลาย โดยสารดูดซับของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ แสดงดังสมการที่ (2.1)

$$X = \frac{X_m b C_e}{1 + b C_e} \quad (2.1)$$

โดยที่ X = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ มีหน่วยเป็น mg/g หรือ mol/g

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ ที่ใช้ในการสร้างแผ่นชั้นเดียว (Monolayer) มีหน่วยเป็น mg/g หรือ mol/g

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุลมีหน่วยเป็น mg/l หรือ mol/l

b = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

จากสมการที่ (2.1) เมื่อ X เข้าใกล้ X_m และ C_e เข้าใกล้อินฟินิตี้ (Infinity) สมการที่ (2.1) สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{C_e}{X} = \frac{1}{b X_m} + \frac{C_e}{X_m} \quad (2.2)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า C_e/X กับ C_e จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/X_m$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $1/bX_m$ และสามารถเขียนสมการเส้นตรงได้อีกแบบโดยนำ C_e ไปหารสมการที่ (2.2) จะได้สมการที่ (2.3)

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_m} + \frac{1}{bX_mC_e} \quad (2.3)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C_e$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/bX_m$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $1/X_m$

ไอโซเทอมการดูดซับแบบเบท (BET , Brunauer Emmerett - Teller Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมแบบเบทพัฒนามาจากไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ นำมาใช้สำหรับอธิบายการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer) ซึ่งมีสมมุติฐานพื้นฐานของแบบจำลอง คือ แต่ละโมเลกุลในชั้นแรกจะเป็นแหล่งที่เกิดการดูดซับของโมเลกุลในชั้นที่สอง และชั้นต่อไป สมการการดูดซับแบบเบท แสดงในสมการที่ (2.4)

$$X = \frac{X_m B C_e}{(C_s - C_e)[1 + (B - 1)(C_e / C_s)]} \quad (2.4)$$

โดยที่ X = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ มีหน่วยเป็น mg/g หรือ mol/g

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ใช้ในการสร้างแผ่นชั้นเดียว มีหน่วยเป็น mg/g หรือ mol/g

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล มีหน่วยเป็น mg/l หรือ mol/l

C_s = ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายในน้ำที่อุณหภูมิหนึ่งๆ มีหน่วยเป็น mg/l หรือ mol/l

B = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

สมการที่ (2.4) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{C_e}{(C_s - C_e)X} = \frac{1}{X_mB} + \left(\frac{B-1}{X_mB}\right) \left(\frac{C_e}{C_s}\right) \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C_e / (C_s - C_e) \times$ กับ C_e / C_s จะได้เส้นตรงที่มีความชัน $(B-1) / X_m B$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $1/X_m B$

ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการอธิบายการดูดซับในระบบของของเหลว ซึ่งมีสมการดังสมการที่ (2.6)

$$\frac{x}{m} = K C_e^{1/n} \quad (2.6)$$

โดยที่ x = จำนวนของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ มีหน่วยเป็น mg/l หรือ mol/l

m = น้ำหนักของสารดูดซับ มีหน่วยเป็น g

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุลมีหน่วยเป็น mg/l หรือ mol/l

$K, 1/n$ = ค่าคงที่ของระบบ

เนื่องจากสมการฟรุนดลิชเป็นฟังก์ชันแบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ ดังนี้

$$\log \left(\frac{x}{m} \right) = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.7)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log (x/m)$ กับ $\log C_e$ จะได้เส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ $1/n$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log K$

2.5 ซี้เก๊าแกลบดำ

แกลบข้าวเป็นส่วนของเปลือกข้าวที่ได้มาจากการสีข้าวเพื่อนำเมล็ดไปบริโภค ซึ่งนับว่าเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร เปลือกข้าวมีองค์ประกอบหลักคือสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 85 ซึ่งประกอบด้วย เซลลูโลส ลิกนิน D-ไฮโดร และ กรดกลูโคโรนิก และ D- กาแลคโตส จำนวนเล็กน้อย แกลบข้าวมีเถ้าประกอบอยู่ร้อยละ 13-29 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและภูมิประเทศที่ปลูก เถ้าของแกลบข้าวมีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกา (ร้อยละ 80 – 97) การเผาแกลบข้าวที่อุณหภูมิไม่เกิน 300 องศาเซลเซียสจะได้เถ้าที่มีสีดำ ซึ่งประกอบด้วยเถ้าซิลิกาที่มีโครงสร้างของซิลานอลกรุป (Si-OH) และคาร์บอนที่มีหมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวเป็นออกซิเจน และแกลบข้าวที่ถูกเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียสคาร์บอนจะถูกเผาไหม้ไปจะได้เถ้าสีขาวของซิลิกาที่

เอกลี เป็นเป็นเอกลี... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในรูปของผลึก cristobalite และ trydymite (Nakbanpote *et al.* 2000 ; Krishnarao *et al.* 2001)

สำหรับซีเถ้าแกลบดำที่นำมาใช้ในการศึกษานี้มีลักษณะเป็นสีดำ เป็นซีเถ้าแกลบดำที่นำมาจากโรงสีข้าวที่มีการเผาแกลบข้าวเป็นเชื้อเพลิงต้มน้ำเพื่อใช้แรงดันไอน้ำเดินเครื่องสีข้าว สำหรับซีเถ้าแกลบดำได้มีการนำมาใช้ประโยชน์มากมายดังที่ได้มีรายงานไว้ เช่น ใช้ผลิตซีลิกาเจล (โสภณ เริงสำราญ และคณะ. 2540) ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อผลิตซีเมนต์ (บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ ทวีสันนท์ คงทรัพย์. 2544) และการนำซีเถ้าแกลบดำมาใช้เป็นสารสำหรับกรองและดูดซับ เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ ความชุ่ม แบนคทีเรีย สี แอมกานีส และตะกั่วออกจากน้ำเสีย (สรวิมล วัชรินทร์. 2542; สุนทรีย์ สุภาภรณ์. 2542 ; อัจฉรา ดวงเดือน. 2546)

โสภณ เริงสำราญ และคณะ (2540) ได้ทำการวิจัยเพื่อผลิตซีลิกาเจลจากซีเถ้าแกลบและได้วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของซีเถ้าแกลบ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของซีเถ้าแกลบ

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
SiO ₂	88.28
C	6.004
K ₂ O	3.300
CaO	2.540
Moisture	1.143
MnO ₂	0.225
Fe ₂ O ₃	0.049
MgO	0.027
Na ₂ O	0.013
ZnO	0.005
CuO	0.010
อื่นๆ	0.040

ปัจจุบันกระบวนการดูดซับเป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการกำจัดสารมลพิษต่างๆมากมายทั้ง สารอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยตัวดูดซับที่นิยมใช้ เช่น อลูมินา ซิลิกา และถ่านกัมมันต์ ซึ่งถ่านกัมมันต์เป็นสารที่มีความสามารถในการดูดซับสารมลพิษต่างๆได้ดี แต่มีราคาค่อนข้างแพง จึงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการศึกษาสารชนิดอื่นๆ เป็นตัวดูดซับแทน ในงานวิจัยนี้ได้นำซีได้อากลบดำ ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้เป็นสารดูดซับโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าแทนสารดูดซับดังกล่าว โดยใช้วิธีการศึกษาแบบแบทช์

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จะเห็นได้ว่าปัญหามลพิษของ ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม ฟีนอล และสีย้อมผ้าในสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องที่สำคัญและมีผู้ให้ความสนใจศึกษาค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดสารมลพิษดังกล่าวอย่างกว้างขวาง ดังรายงานการวิจัยที่จะกล่าวดังต่อไปนี้

Poots *et al.* (1976) ได้ทำการศึกษากำจัดสีย้อม Teflon blue (Acid Blue 25) ด้วยถ่านพีท (Peat) โดยใช้เทคนิคแบบแบทช์ ซึ่งได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น และ ขนาดอนุภาคของถ่านพีท การทดลองใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมในช่วง 10 - 200 มิลลิกรัม/ลิตร เวลาสัมผัส 4 ชม. ใช้ถ่านพีท 0.5 กรัมต่อน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร การวิเคราะห์ปริมาณสีย้อมใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร จากการศึกษาโดยแปรผันขนาดของอนุภาคจากขนาด 150 - 1000 ไมโครเมตร พบว่าที่ขนาดอนุภาคเล็กที่สุดการดูดซับจะมีค่าสูงที่สุด และ เวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง การดูดซับถึงจุดสมดุล

Huang and Wu (1977) ได้ทำการศึกษากำจัดโครเมียม (VI) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ ชนิด Filtrasorb 400 การศึกษาใช้วิธีแบบแบทช์ จากการศึกษาพบว่า พีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม (VI) ของถ่านกัมมันต์อยู่ในช่วง 5 ถึง 6 และพบว่าขนาดอนุภาคของถ่านกัมมันต์ไม่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ไม่เปลี่ยนแปลง ในกรณีนี้ที่ในสารละลายมีไฮยาโนที่ไอออนอยู่ด้วยพบว่าไม่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม ทั้งนี้เนื่องมาจากโครเมียมจะถูกดูดซับที่พีเอชต่ำกว่า 6 แต่ไฮยาโนจะถูกดูดซับที่พีเอชมากกว่า 7

Srivastava *et al.* (1988) ได้ทำการศึกษากำจัดตะกั่วและแคดเมียม โดยใช้ Hydrous Ferric Oxide gel (HFO) และ Hydrous Aluminium Oxide gel (HAO) โดยได้ทำการศึกษาดัชนีแปรต่างๆ ดังนี้ พีเอชของสารละลายโลหะหนักทั้งสองเท่ากับ 2 และ 4 อุณหภูมิที่ทำการศึกษากับ 30 และ 45 องศาเซลเซียส ขนาดของสารดูดซับ 50 - 100 และ 100 - 200 เมช ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักทั้งสองเท่ากับ $0.4 - 9 \times 10^{-3}$ โมลาร์ เวลาสัมผัส 48 ชั่วโมง และได้

ทำการศึกษามลของสารลดแรงตึงผิวที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักทั้งสอง โดยใช้ Cetyl trimethyl เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ammonium bromide (CTAB) เป็นสารลดแรงตึงผิวประจุบวก (cationic detergent) (ความเข้มข้นที่ใช้ $1 \times 10^{-5} - 9 \times 10^{-4}$ โมลาร์) และใช้ Sodium alkyl benzene sulfonate (ABS) เป็นสารลดแรงตึงผิวประจุลบ anionic detergent (ความเข้มข้นที่ใช้ $1 \times 10^{-6} - 9 \times 10^{-5}$ โมลาร์) ซึ่งทำการศึกษาที่พีเอชของสารละลายโลหะหนักเริ่มต้นเท่ากับ 4 ความเข้มข้นเท่ากับ 8×10^{-3} โมลาร์ จากการศึกษพบว่าตะกั่วและแคดเมียมถูกดูดซับได้ดีเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยที่พีเอชเท่ากับ 4 พบว่า HFO สามารถดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้ดีกว่า HAO ความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 230 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 71.68 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับ HAO ความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมเท่ากับ 33 และ 31 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับโลหะหนักทั้งสองชนิดของ HFO ลดลง สำหรับการดูดซับโลหะหนักทั้งสองชนิดด้วย HAO ไม่เป็นไปตามไอโซเทอมการดูดซับทั้งของแลงมัวร์และของฟรุนดลิช แต่การดูดซับโลหะหนักทั้งสองชนิดด้วย HFO เหมาะกับไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ โดยสามารถคำนวณค่า Q_{∞} ได้เท่ากับ 248 และ 98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนผลของสารลดแรงตึงผิวพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CTAB ความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมลดลง และ ABS ทำให้การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของ HFO เพิ่มขึ้น

Tan *et al.* (1988) ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และ สังกะสีด้วยใบชา โดยใช้เทคนิคแบบแบทช์ จากการศึกษพบว่าปริมาณการดูดซับขึ้นอยู่กับ พีเอช ความแรงไอออน (Ionic Strength) ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารรบกวน และสารลดแรงตึงผิว ความสามารถในการดูดซับตะกั่ว แคดเมียม และ สังกะสีของใบชาเท่ากับ 0.38 0.28 และ 0.18 มิลลิโมลต่อกรัมของใบชา ตามลำดับ

Sharma and Forster (1993) ได้ทำการศึกษการกำจัดโครเมียม(VI) โดยใช้ Shagmum Moss Peat การทดลองใช้วิธีแบบแบทช์ และใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) ในช่วง 4 - 40 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม(VI) ของ Shagmum Moss Peat อยู่ในช่วงพีเอช 1.5 - 3 และความสามารถในการดูดซับโครเมียม(VI) เท่ากับร้อยละ 50

Tan *et al.* (1993) ได้ทำการศึกษการกำจัดโครเมียม(VI) โดยใช้โยมะพร้าว (Coconut Husk) และโยปาล์ม (Palm Pressed Fiber) โดยใช้การทดลองแบบแบทช์ พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม (VI) สำหรับโยมะพร้าวเท่ากับพีเอช 1.5 - 5 และโยเส้นปาล์มเท่ากับ 1.5 - 3 ส่วนความสามารถในการดูดซับโครเมียม(VI) ของโยมะพร้าว และโยปาล์ม

(Adsorption Capacity) ประมาณ 29 และ 14 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ ตามลำดับ ที่พีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 2

Ramos *et al.* (1994) ได้ทำการศึกษา การกำจัดโครเมียม (VI) โดยใช้ถ่านกัมมันต์การศึกษาใช้วิธีแบบแบทช์ ซึ่งพบว่าโครเมียม (VI) จะถูกดูดซับได้ที่พีเอช ต่ำกว่า 6 และที่พีเอช 6 จะพบการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 88 - 90 เปอร์เซ็นต์ โดยสภาวะที่ทดลองคืออุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 2 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ่านกัมมันต์ที่ใช้ 2 กรัมต่อลิตรของน้ำเสีย

Srivastava and Tyagi (1995) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารประกอบฟีนอล 4 ตัว ได้แก่ 2,4,6 - ไตรไนโตรฟีนอล 4 - ไนโตรฟีนอล 4 - คลอโรฟีนอล และ 1,3 - ไดไฮดรอกซีเบนซีน โดยใช้ถ่านกัมมันต์ (Active Carbon) ที่ผลิตจากของเสียลักษณะเป็นของเหลวชั้นจากการเผาเชื้อเพลิงเหลวของโรงงานผลิตปุ๋ย จากการศึกษาพบว่า 2,4,6 - ไตรไนโตรฟีนอล จะถูกดูดซับได้ดีที่สุด และตามมาด้วย 4 - ไนโตรฟีนอล และ 4 - คลอโรฟีนอล สำหรับ 1,3 - ไดไฮดรอกซีเบนซีนถูกดูดซับน้อย ซึ่งที่ลำดับเป็นดังนี้เพราะหมู่ไนโตรและคลอไรด์เป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอน ส่วนหมู่ไฮดรอกซีเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอน การเกิดการดูดซับที่ผิวของคาร์บอนเกิดกลไกแบบ Donor - Acceptor Complex โดยหมู่คาร์บอกซิบนพื้นผิวคาร์บอนเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนและวงอะโรมาติกจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งถ้าหมู่แทนที่บนวงเบนซีนเป็นแบบหมู่ดึงอิเล็กตรอนจะทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในวงเบนซีนลดลงการรับอิเล็กตรอนจึงเกิดได้ดี

Munaf *et al.* (1997) ได้ทำการศึกษาการกำจัดฟีนอลจากน้ำเสียโดยใช้แกลบข้าวขนาด 240 ไมโครเมตร การศึกษาใช้เทคนิคแบบคอลัมน์ โดยบรรจุแกลบข้าว 3 กรัมลงในคอลัมน์ให้น้ำเสีย 250 มิลลิลิตร พบว่าสามารถกำจัดฟีนอลจากน้ำเสียของโรงงานผลิตไม้อัดได้ 59.9 เปอร์เซ็นต์ (ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย 1.3 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสามารถกำจัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลได้ 37.5 เปอร์เซ็นต์ (ความเข้มข้นเริ่มต้น 3.29 มิลลิกรัมต่อลิตร)

Low and Lee (1997) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอ็คทีฟโดยใช้ Quaternized Rice Husk (MH) เป็นสารดูดซับ สำหรับ MH เตรียมโดยนำแกลบข้าวมาเติม 5 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 12.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นเติม 4 โมลาร์ N - (3-chloro - 2 - hydroxy propyl) - trimethylammonium chloride 10 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วนำไปใส่ในเตาอบที่อุณหภูมิ 60 - 70 องศาเซลเซียส พร้อมกับคนเป็นครั้งคราว ทำการบ่มเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้ว

เอกลัสนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในนามของมูลนิธิเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยมูลนิธิฯ ขอสงวนสิทธิ์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง สุดท้ายล้างด้วยน้ำกลั่นที่มีพีเอช 2 แล้วนำไปทำให้แห้ง โดยการศึกษาใช้สีย้อมรีแอคทีฟ 3 โทเนส คือ สีนํ้าเงิน (Reactive Blue 2) สีส้ม (Reactive Orange 16) และสีเหลือง (Reactive Yellow 2) ผลปรากฏว่า MH ดูดซับสีย้อมทั้ง 3 โทเนสได้เกือบร้อยละ แปดสิบแปด และทดสอบความสามารถในการดูดซับที่ในสารละลายสีย้อมมีอิเล็กโตรไลต์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต และโซเดียมคาร์บอเนต ที่ความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ดังกล่าวในช่วง 0.1 - 1 โมลาร์ พบว่าสีย้อมโทเนสสีน้ำเงินจะถูกดูดซับลดลงในขณะที่เพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และจากการทดสอบความเสถียรของสีที่ถูกดูดซับ โดยล้างด้วย 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่พบสีหลุดออกมาจากสารดูดซับ

Basibuyuk et al. (2002) ได้ทำการศึกษากำจัดสีย้อมผ้าออกจากน้ำเสีย โดยใช้สไลด์ที่ได้จากการบำบัดน้ำที่มีการใช้เฟอริกคลอไรด์ในการ coagulation/flocculation โดยได้ทำการศึกษาสีย้อมผ้า 5 ชนิด คือ สีย้อมรีแอคทีฟน้ำเงิน 29 สีย้อมรีแอคทีฟน้ำเงิน 71 สีย้อมเพอสน้ำตาล 19 สีย้อมเบสิคม่วง 16 และสีย้อมแอซิดน้ำเงิน 40 พบว่าสไลด์สามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟน้ำเงิน 71 สีย้อมเพอสน้ำตาล 19 และสีย้อมเบสิคม่วง 16 ได้ดี โดยที่เอชทีที่เหมาะสมในการกำจัดเท่ากับ 5 และเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดลดลง และพบว่าค่าพีเอชมีผลน้อยต่อการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟน้ำเงิน 71 สีย้อมเพอสน้ำตาล 19 และสีย้อมเบสิคม่วง 16 ส่วนสีย้อมรีแอคทีฟน้ำเงิน 29 และสีย้อมแอซิดน้ำเงิน 40 ประสิทธิภาพการกำจัดต่ำ สำหรับผลของปริมาณสไลด์พบว่าสีย้อมรีแอคทีฟน้ำเงิน 71 และสีย้อมเพอสน้ำตาล 19 ปริมาณสไลด์ไม่มีผลต่อการกำจัด ผลการกำจัดสีย้อมเพอสสูงที่สุดที่ปริมาณสไลด์ 2 กรัมต่อลิตร สำหรับสีย้อมแอซิดน้ำเงิน 40 การเพิ่มปริมาณสไลด์ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น ส่วนสีย้อมรีแอคทีฟน้ำเงิน 29 ประสิทธิภาพการกำจัดไม่ดี

Malik (2003) ได้ศึกษาการกำจัดสีย้อมผ้า Acid yellow 36 ออกจากสารละลาย โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขี้เลื่อยและแกลบข้าว ผลการทดลองพบว่าการดูดซับสี Acid yellow 36 เกิดได้ดีที่พีเอชของสารละลายเท่ากับ 3 และจากการศึกษาไคเนติกของการดูดซับ พบว่าขึ้นกำหนดอัตราการดูดซับเป็นแบบการแพร่ภายใน (intraparticle diffusion) ความสามารถในการดูดซับสี Acid yellow 36 ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขี้เลื่อยและแกลบข้าวมีค่าเท่ากับ 183.8 และ 86.9 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารดูดซับ ตามลำดับ จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขี้เลื่อยและแกลบข้าว เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีราคาถูกที่สามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียสำหรับการกำจัดสีย้อมผ้าแอซิดได้

Garg *et al.* (2003) ได้ศึกษาการดูดซับ malachite green โดยใช้ซีลีออยที่ปรับปรุงด้วยฟอสฟอริกแอซิดและกรดซัลฟูริก ปัจจัยที่ทำการศึกษได้แก่ ความเข้มข้นของสี ปริมาณของสารดูดซับ พีเอชของสารละลาย และเวลาแช่ ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของซีลีออยที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟูริกสูงกว่าซีลีออยที่ปรับปรุงด้วยฟอสฟอริกแอซิด และค่าพีเอชเริ่มต้นที่การดูดซับด้วยสารดูดซับทั้งสองเกิดได้ดี คือช่วงพีเอช 6-9 ซึ่งการกำจัด malachite green เกิดได้ดีกับสารละลายที่เจือจาง



บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer ยี่ห้อ Philips รุ่น PW 2400
2. เครื่อง CHNS/O Analyser ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น PE2400 SERIES II
3. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AA-680
4. เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-1601
5. เครื่อง Autosorb ยี่ห้อ Quantachrome รุ่น 1
6. เครื่อง Ultrapycnometer ยี่ห้อ Quantachrome รุ่น 1000
7. เครื่อง Scanning Electron Microscope ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 5410
8. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิพร้อมการเขย่า (Temperature – controlled Shaking water – bath) ยี่ห้อ tecator
9. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ Mettler toledo รุ่น 320
10. เครื่องหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifuge) ยี่ห้อ Zigma รุ่น 202
11. เครื่องบดตัวอย่าง Ball Mill ยี่ห้อ Retsch รุ่น ZM-1
12. เครื่องแยกอนุภาค ยี่ห้อ Retsch และ Sieve ขนาดต่างๆ
13. เครื่องชั่งวิเคราะห์ (Analytical Balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น AC 210S
14. ขวดรูปหม้อขนาด 250 มิลลิลิตร
15. ขวดวัดปริมาตรขนาดต่างๆ
16. เตาแผ่นให้ความร้อนพร้อมกับคนสารละลาย
17. ไปเปิด
18. บีกเกอร์
19. กระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 และเมมเบรนไนลอน 66 ขนาด 0.45 ไมครอน
20. Holder filter ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 และ 25 มิลลิเมตร
21. ขวดพลาสติกพร้อมฝาขนาด 60 500 และ 1,000 มิลลิลิตร

3.2 ตัวอย่างและสารเคมี

1. ตัวอย่างซีเฝ้าแอลบดำจากโรงสีข้าว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
2. แคดเมียมไนเตรต ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) Analytical Reagent Grade ของบริษัท Carlo ERBA
3. เลดไนเตรต ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) Analytical Reagent Grade ของบริษัท Carlo ERBA
4. โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) Analytical Reagent Grade ของบริษัท Carlo ERBA
5. ฟีนอล ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) Analytical Reagent Grade ของบริษัท Merck
6. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) Analytical Reagent Grade ของบริษัท แล็บสแกนเอเชีย
7. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) Analytical Reagent Grade ของบริษัท Merck
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) Analytical Reagent Grade ของบริษัท Merck
9. กรดไนตริก (HNO_3) Analytical Reagent Grade ของบริษัท Carlo ERBA
10. สีย้อมผ้ารีแอคทีฟ และ สีย้อมผ้าไดเรกต์ ของบริษัทเอเซียสีย้อม
11. สารละลายมาตรฐาน ตะกั่ว แคดเมียม Spectro grade
12. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 7 และ pH 4 ของบริษัท Merck
13. ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) Analytical Reagent Grade ของบริษัท Merck
14. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) Analytical Reagent Grade ของบริษัท Ajax Finechem
15. 4 – Aminoantipyrine Analytical Reagent Grade ของบริษัท Fluka
16. โพแทสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) Analytical Reagent Grade ของบริษัท Fluka
17. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) Analytical Reagent Grade ของบริษัท Merck

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

ในโครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยซีเฝ้าแอลบดำ โดยใช้เทคนิคการทดลองการดูดซับแบบแบทช์ ซึ่งสารมลพิษที่นำมาศึกษา ได้แก่ โลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า โดยดำเนินการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การศึกษาส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์แกลบดำ

เก็บซีเมนต์แกลบดำจากเตาที่นำแกลบข้าวไปเผาเป็นเชื้อเพลิงต้มน้ำเพื่อให้แรงดันไอน้ำเดินเครื่องสีข้าวจากโรงสีข้าวแห่งหนึ่ง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร วางทิ้งไว้ให้เย็น 1 คืน จากนั้นนำมาบดผ่านตะแกรงขนาด 1 และ 0.25 มิลลิเมตร แล้วนำมาแยกขนาดโดยใช้เครื่องแยกขนาดอนุภาคและเก็บซีเมนต์แกลบดำที่ผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช มาใช้ในการศึกษา ซึ่งจะได้ซีเมนต์แกลบดำที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร จากนั้นนำซีเมนต์แกลบดำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและศึกษาสมบัติทางกายภาพต่อไป

3.3.1.1 วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของซีเมนต์แกลบดำ

ทำการวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของซีเมนต์แกลบดำด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer และเครื่อง CHNS/O Analyser (วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน)

3.3.1.2 การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ ความหนาแน่น และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของซีเมนต์แกลบดำ

ศึกษาหาพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ตามทฤษฎีของ BET โดยใช้เครื่อง Autosorb 1 และการศึกษาหาความหนาแน่นด้วยเครื่อง Ultrapycnometer 1000 และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกด้วยวิธีแอมโมเนียมอะซิเตท (Black, 1965)

3.3.1.3 การศึกษาลักษณะรูปร่างทางกายภาพของซีเมนต์แกลบดำ

ศึกษาลักษณะรูปร่างทางกายภาพของซีเมนต์แกลบดำด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope

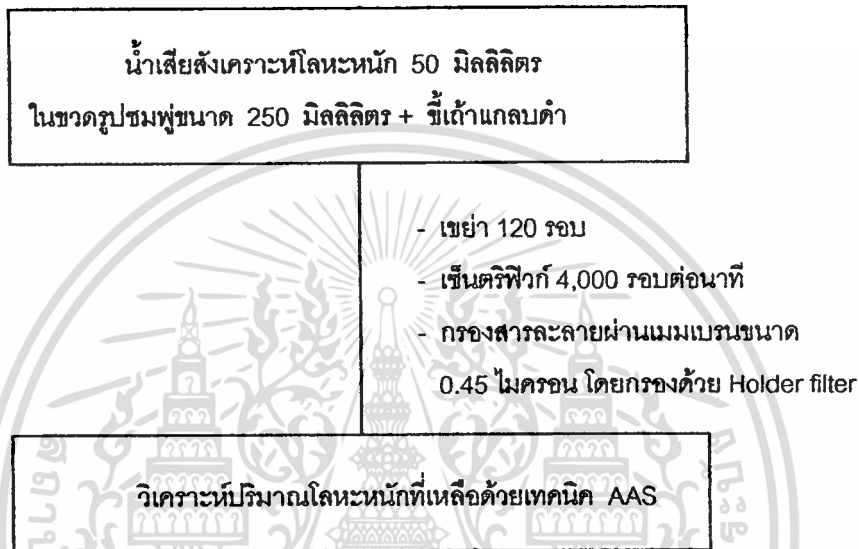
3.3.2 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเมนต์แกลบดำ

3.3.2.1 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก

ทำการศึกษาการดูดซับโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม (VI) โดยทำการศึกษาแบบแบทช์ ด้วยการแปรเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในช่วง 1 ถึง 5 โดยใช้ 2.0 N HNO₃ 0.1 N HNO₃ และ 0.1N NaOH ในการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ของตะกั่วและแคดเมียมสำหรับโครเมียมใช้ 2.0 N H₂SO₄ 0.1N H₂SO₄

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ในองค์กรภายในเท่านั้น เมื่อเข้าสู่ระบบเอกสารฉบับนี้แล้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 0.1N NaOH ในการปรับค่าพีเอช ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเริ่มต้นเท่ากับ 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณซีเด้้าแกลบดำที่ใช้ 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ เวลาสัมผัส 120 นาที อัตราเร็วรอบในการทำงานของเครื่องเขย่า 120 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเทคนิคอะตอมมิก แอ็บซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมทรี (AAS) ตามวิธีใน Standard Method for the Environment of Water and Wastewater (1995) โดยทดสอบการดูดซับตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยซีเด้้าแกลบดำ

3.3.2.2 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอล

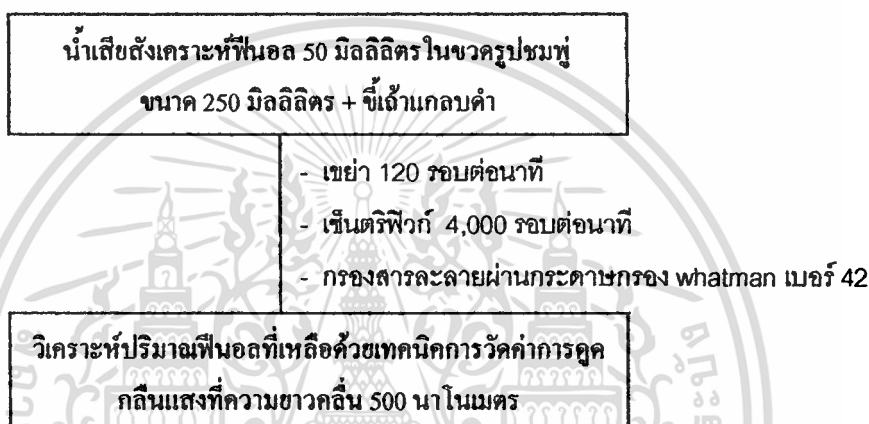
ทำการศึกษาโดยแปรเปลี่ยนพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ฟีนอลในช่วง 1 ถึง 7 ด้วย 2.0 N H_2SO_4 0.1 N H_2SO_4 และ 0.1 N NaOH ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น 1 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณซีเด้้าแกลบดำ 5 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ เวลาสัมผัส 120 นาที ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส โดยทำการดูดซับตามรูปที่ 3.2 จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธี 4 – Aminoantipyrine วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร โดยใช้วิธีตาม Standard Method for the Environment of Water and Wastewater (1995)

3.3.2.3 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ

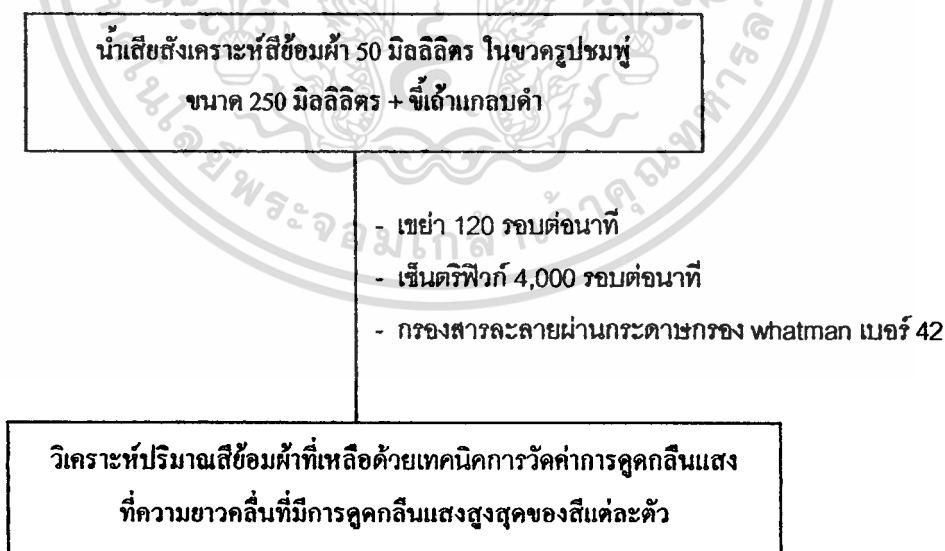
โดยทำการศึกษาด้วยสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ 2 ชนิด คือสีรีแอ็คทีฟโพเรเนียนชมพู 8B และสีรีแอ็คทีฟโพเรเนียนน้ำเงิน 7RX ทำการศึกษาโดยแปรเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีแอคทีฟโพรเซียนทั้ง 2 ชนิด ในช่วง 1 ถึง 12 ด้วย $2.0\text{NH}_2\text{SO}_4$ $0.1\text{NH}_2\text{SO}_4$ 0.1NNaOH และ 2.0NNaOH ความเข้มข้นเริ่มต้นรีแอคทีฟ 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณซีเถ้า แกลบดำที่ใช้ 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ เวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองตามขั้นตอนในรูปที่ 3.3 จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณสีย้อมผ้าที่เหลือด้วยเทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยรีแอคทีฟโพรเซียนชมพู 8B วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร ส่วนรีแอคทีฟโพรเซียนน้ำเงิน 7RX วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษาการดูดซับฟีนอลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยซีเถ้าแกลบดำ



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยซีเถ้าแกลบดำ

3.3.2.4 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าไดเร็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทำการศึกษากับสีย้อมผ้าไตรเร็กซ์ 2 ชนิด ได้แก่ สีย้อมผ้าไตรเร็กซ์น้ำเงินและสีย้อมผ้าไตรเร็กซ์แดง ทำการศึกษาโดยแปรเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมผ้าไตรเร็กซ์ทั้ง 2 ชนิด ในช่วงพีเอช 1 ถึง 12 ด้วย $2.0\text{NH}_2\text{SO}_4$ $0.1\text{NH}_2\text{SO}_4$ 0.1NNaOH และ 2.0NNaOH ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมผ้าไตรเร็กซ์เท่ากับ 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณซีเถ้ากลบดำที่ใช้ 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ เวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองตามขั้นตอนในรูปที่ 3.3 จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณสีย้อมผ้าที่เหลือด้วยเทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยสีย้อมผ้าไตรเร็กซ์น้ำเงินวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ส่วนสีย้อมผ้าไตรเร็กซ์แดงวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร

3.3.3 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า

3.3.3.1 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก

ทำการศึกษากับโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และ โครเมียม (VI) โดยแปรเปลี่ยนปริมาณซีเถ้ากลบดำที่ 5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตรของน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักที่ใช้ศึกษา 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาสัมผัส 5 - 240 นาที พีเอชของสารละลายเลือกจากค่าพีเอชที่เหมาะสม จากหัวข้อที่ 3.3.2.1 ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการศึกษาคาดูดซับดังรูปที่ 3.1

3.3.3.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล

ทำการศึกษาโดยแปรเปลี่ยนปริมาณซีเถ้ากลบดำที่ 2 5 7 10 และ 15 กรัมต่อลิตรของน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นเริ่มต้นฟีนอลที่ใช้ศึกษา 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาสัมผัส 5 - 240 นาที พีเอชของสารละลายเลือกจากค่าพีเอชที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.3.2.2 ความเร็วรอบในการเขย่า 120 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการศึกษาคาดูดซับดังรูปที่ 3.2

3.3.3.3 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อ

ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าไตรเร็กซ์การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษาโดยแปรเปลี่ยนปริมาณซีเด้าแกลบดำที่ 5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตรของน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นเริ่มต้นสรีรแอคทีฟ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเลือกจากค่าพีเอชที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.3.2.3 เวลาสัมผัส 5 - 240 นาที ความเร็วรอบในการเขย่าเท่ากับ 120 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส ทำการศึกษากับสีย้อมผ้ารีแอคทีฟ 2 ชนิด ได้แก่ สรีแอคทีฟโพเรเนียนชมพู 8B และสรีแอคทีฟโพเรเนียนน้ำเงิน 7RX โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการศึกษาคาดูระดับดังรูปที่ 3.3

3.3.3.4 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเด้าแกลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าไคเร็กซ์

ทำการศึกษาด้วยสีย้อมผ้าไคเร็กซ์ 2 ชนิด ได้แก่ สีย้อมผ้าไคเร็กซ์น้ำเงินและสีย้อมผ้าไคเร็กซ์แดง โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการศึกษาคาดูระดับดังรูปที่ 3.3 โดยแปรเปลี่ยนปริมาณซีเด้าแกลบดำที่ 5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตรของน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นสีย้อมผ้าเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชของสารละลายเลือกจากค่าพีเอชที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.3.2.4 ความเร็วรอบในการเขย่าเท่ากับ 120 รอบต่อนาที เวลาสัมผัส 5 - 240 นาที และอุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส

3.3.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเด้าแกลบดำ

นำข้อมูลจากการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณซีเด้าแกลบดำและเวลาสัมผัสในหัวข้อ 3.3.3.1 – 3.3.3.4 โดยนำผลการทดลองที่สมดุลการดูดซับมาทำการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับโลหะหนัก ฟีนอลและสีย้อมผ้า และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับ

3.3.5 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดด้วยซีเด้าแกลบดำ

3.3.5.1 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก

ทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม (VI) โดยใช้เวลาสัมผัส 5 - 240 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเท่ากับ 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชของสารละลายเลือกจากค่าพีเอชที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.3.2.1 ใช้ปริมาณซีเด้าแกลบดำ 5 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ ตะกั่ว และ 10 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียมและน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ใช้อัตราเร็วรอบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเย่าที่ 120 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.1

3.3.5.2 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล

ทำการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ฟีนอลเท่ากับ 1 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชของสารละลายเลือกจากค่าพีเอชที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.3.2.2 ปริมาณซีเढ़้าแกลบดำที่ใช้ 5 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ เวลาสัมผัส 5 – 240 นาที ใช้อัตราเร็วรอบของเครื่องเย่าที่ 120 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.2

3.3.5.3 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ

ทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ของสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ 2 ชนิด ได้แก่ สีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟโพรเชียนชมพู 8B และสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟโพรเชียนน้ำเงิน 7RX โดยใช้เวลาสัมผัส 5 - 240 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟทั้ง 2 ชนิดเท่ากับ 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชของสารละลายเลือกจากค่าพีเอชที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.3.2.3 ปริมาณซีเढ़้าแกลบดำที่ใช้เท่ากับ 10 กรัมต่อลิตรของน้ำเสียสังเคราะห์ ใช้อัตราเร็วรอบของเครื่องเย่าที่ 120 รอบต่อนาที และอุณหภูมิเท่ากับ 30 ± 2 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.3

3.3.5.4 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้าไคเร็กซ์

ทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมผ้าไคเร็กซ์ 2 ชนิด ได้แก่ สีย้อมผ้าไคเร็กซ์น้ำเงินและสีย้อมผ้าไคเร็กซ์เรด โดยใช้เวลาสัมผัสเท่ากับ 5 - 240 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้าไคเร็กซ์ทั้ง 2 ชนิด เท่ากับ 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชของสารละลายเลือกจากค่าพีเอชที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.3.2.4 ปริมาณซีเढ़้าแกลบดำที่ใช้เท่ากับ 10 กรัมต่อลิตรของน้ำเสียสังเคราะห์ ใช้อัตราเร็วรอบของเครื่องเย่าเท่ากับ 120 รอบต่อนาที และอุณหภูมิเท่ากับ 30 ± 2 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.3

3.3.6 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเढ़้าแกลบดำ

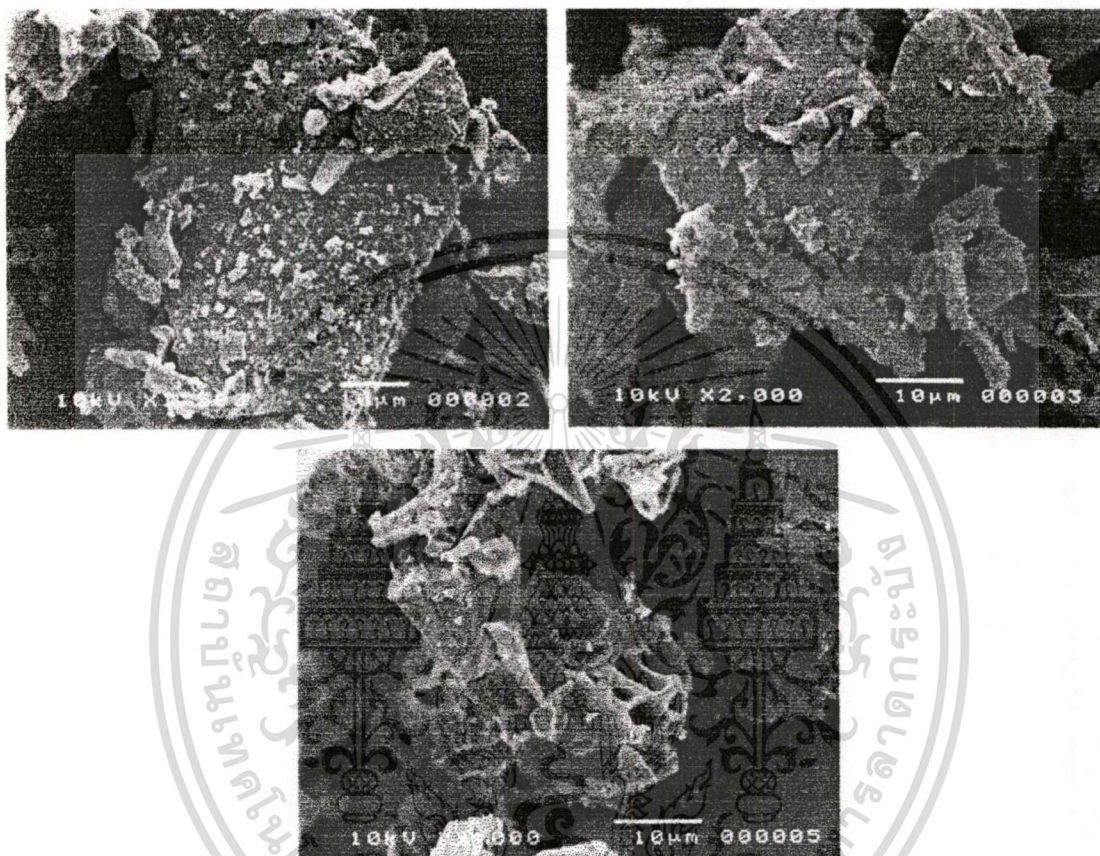
3.3.6.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก

2. ทดสอบการดูดซับ โดยปรับค่าที่เอชของน้ำเสียให้เท่ากับ 2 ใช้ปริมาณจีดำ แกลบดำ 5 กรัมต่อลิตรของน้ำเสียที่นอล เวลาสัมผัส 120 นาที อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของเครื่องเขย่า 120 รอบต่อนาทีและ ทดสอบการดูดซับดังรูปที่ 3.2
3. จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลที่เหลือ ด้วยเทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยทำการวิเคราะห์เหมือนข้อ 1



4.1.3 ผลการศึกษาลักษณะรูปร่างทางกายภาพของซีเถ้ากลบดำ

จากการศึกษาลักษณะรูปร่างทางกายภาพของซีเถ้ากลบดำด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope พบว่าซีเถ้ากลบดำมีรูปร่างเป็นแบบอสัณฐาน (amorphous) เป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะรูปร่างทางกายภาพของซีเถ้ากลบดำ

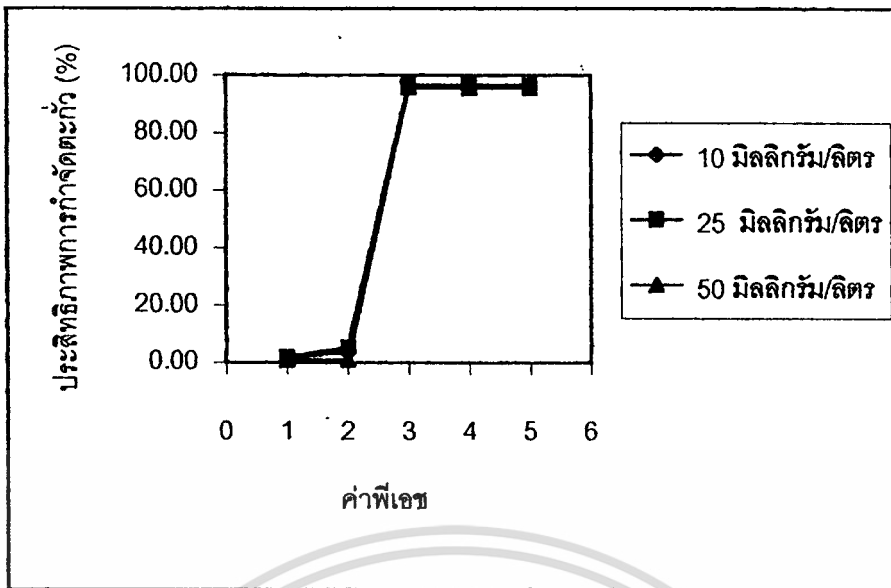
4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเถ้ากลบดำ

4.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก

4.2.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว

จากผลการทดลองการกำจัดตะกั่วที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นในช่วง 1 – 5 ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก - 1 ของภาคผนวก ก สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัด ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

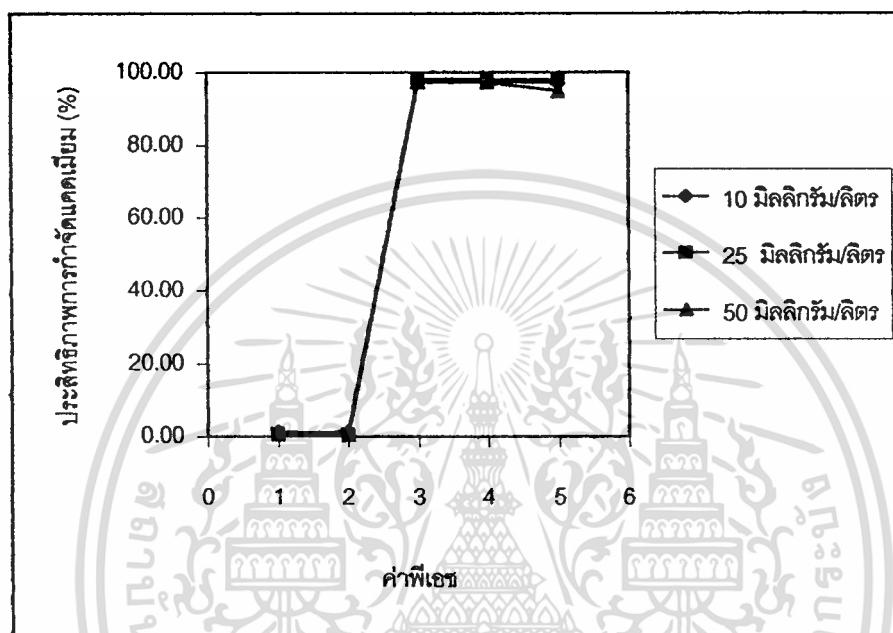


รูปที่ 4.2 อิทธิพลของค่าพีเอช (5 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ที่ความเข้มข้นตะกั่ว 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ค่าพีเอชต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของซีเมนต์กลบดำเป็นดังนี้ เมื่อค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นเป็น 3 4 และ 5 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเพิ่มขึ้นเกือบเป็นร้อยละ 100 ซึ่งสังเกตได้จากความชันของเส้นกราฟในรูปที่ 4.2 โดยที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นต่ำที่ 1 และ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของซีเมนต์กลบดำต่ำ เมื่อค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเพิ่มเป็น 3 4 และ 5 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 96.52 96.33 และ 96.19 ส่วนที่ความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับร้อยละ 96.58 96.79 และ 96.63 และที่ความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับร้อยละ 95.97 95.79 และ 95.71 ที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 3 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการกำจัดตะกั่วด้วย Hydrous Iron และ Aluminium Oxide ของ Srivastava *et al.* (1988) การศึกษาการกำจัดตะกั่วด้วยไบโอของ Tan *et al.* (1988) การศึกษาการกำจัดตะกั่วด้วยกากของเสียจากโรงงานผลิตปุ๋ยของ Srivastava *et al.* (1989) และ การศึกษาการกำจัดตะกั่วด้วย Treated fly ash ของ ชุตติมา เสงฆ์ธรรม (2542) ที่พบว่าตะกั่วจะถูกกำจัดได้ดีที่ค่าพีเอชของสารละลายมีค่ามากกว่า 3 เป็นต้นไป โดยสามารถกำจัดได้ร้อยละ 98 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นตะกั่ว 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด แคลเมียม

จากผลการทดลองการกำจัดแคลเมียมที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นในช่วง 1 - 5 ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก - 2 ของภาคผนวก ก สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัด ดังรูปที่ 4.3



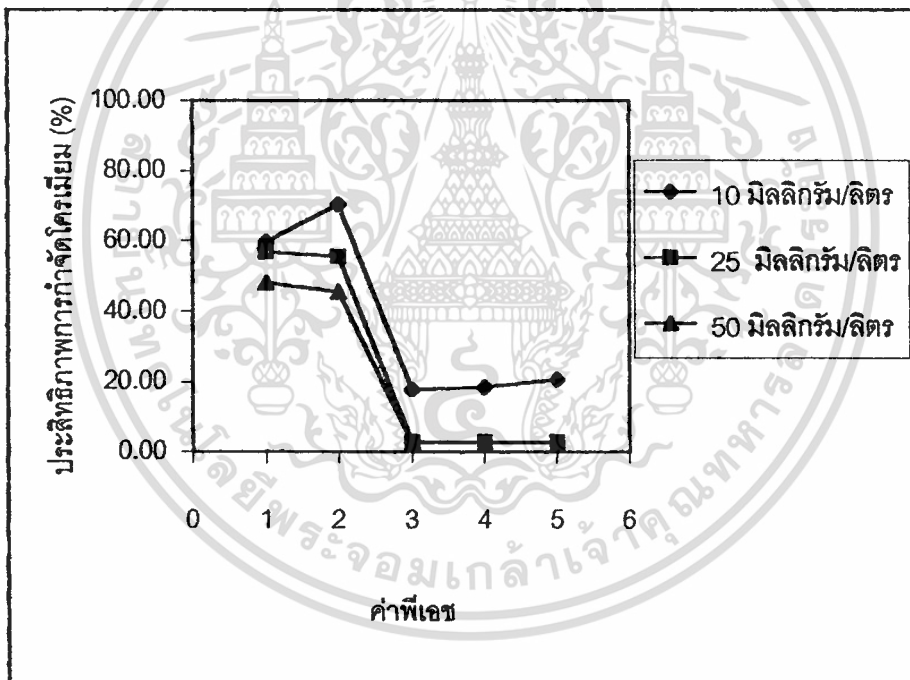
รูปที่ 4.3 อิทธิพลของค่าพีเอช (5 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคลเมียม ที่ความเข้มข้น แคลเมียม 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ก - 2 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแคลเมียมที่ค่าพีเอชต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) และจากรูปที่ 4.3 และตารางผนวกที่ ก - 2 พบว่าที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 1 และ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดแคลเมียมต่ำ เมื่อพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเพิ่มขึ้นเป็น 3 4 และ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ความเข้มข้นแคลเมียมเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 97.63 97.54 และ 97.12 ส่วนที่ความเข้มข้นแคลเมียม 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 98.26 98.07 และ 98.01 และ ที่ความเข้มข้นแคลเมียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 97.21 97.18 และ 94.87 ที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 3 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการกำจัดแคลเมียมโดยใช้โคโคซานของ Jha *et al.* (1988) สอดคล้องกับการศึกษาของ Manivasakan (1988) ที่ทำการทดลองโดยใช้ดินในการเอกสตรานเป็นเอกสตรที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำเอาดินไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำจัดแคดเมียมและใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ศึกษาผลกระทบการดูดซับแคดเมียม ซึ่ง Manivasakan รายงานว่าการกำจัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นและพบว่าเมื่อค่าพีเอชของสารละลายมากกว่า 7 มีการตกตะกอนของแคดเมียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นด้วย และสอดคล้องกับการกำจัดแคดเมียมโดยใช้ treated fly ash ของชุตินา เสงฆ์ธรรม (2542) ที่พบว่ากำจัดแคดเมียมได้ดีที่ค่าพีเอชของสารละลายมากกว่า 3

4.2.1.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม

จากผลการทดลองการกำจัดโครเมียมที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นในช่วง 1 – 5 ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก - 3 ของภาคผนวก ก สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัด ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 อิทธิพลของค่าพีเอช (5 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม ที่ความเข้มข้นโครเมียม 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

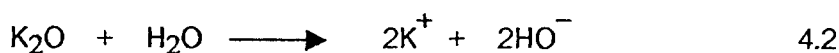
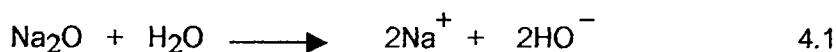
จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ก - 3 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่ค่าพีเอชต่างๆ มีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) จากตารางผนวกที่ ก - 3 และ รูปที่ 4.4 พบว่าซีเฝ้ากลบดำสามารถดูดซับโครเมียมได้ดีเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นมีค่าความเป็นกรดสูงที่ 1 และ 2

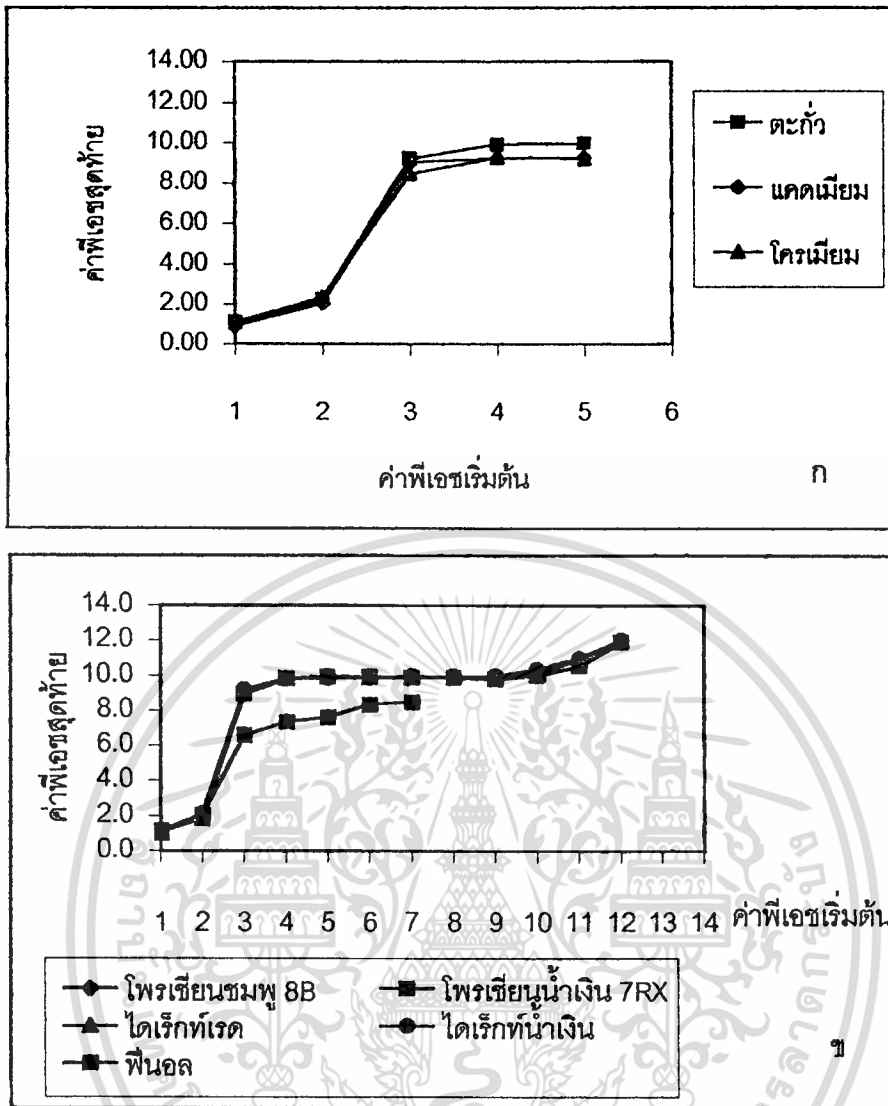
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ความเข้มข้นโครเมียมเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถ้าแกลบดำสามารถกำจัดโครเมียมได้มากที่สุดที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 โดยสามารถกำจัดได้ร้อยละ 70.33 เมื่อพีเอชของสารละลายสูงขึ้นพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมลดลง โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ค่าพีเอชของสารละลายมากกว่า 2 โดยสังเกตได้จากความชันของเส้นกราฟในรูปที่ 4.4 สำหรับที่ความเข้มข้นโครเมียม 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถ้าแกลบดำสามารถกำจัดโครเมียมได้มากที่สุดที่ค่าพีเอชเท่ากับ 1 โดยสามารถกำจัดได้เท่ากับร้อยละ 56.84 และร้อยละ 51.84 ตามลำดับ เมื่อค่าพีเอชของสารละลายสูงขึ้นพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ค่าพีเอชของสารละลายมากกว่า 2 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของอิชิฮะ นพแก้ว (2539) ที่ใช้ถ่านกัมมันต์ 3 ชนิดในการกำจัดโครเมียมจากน้ำชะมูลฝอย ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดโครเมียมได้ดีที่สุด เมื่อพีเอชของระบบมีค่าความเป็นกรดสูง การศึกษาของ Shama and Forster (1993) โดยใช้ Sphagnum Moss Peat ศึกษาการดูดซับโครเมียม พบว่า Sphagnum Moss Peat สามารถกำจัดโครเมียมได้ดีที่สุดในช่วงพีเอช 1.5 ถึง 3 และการศึกษาของ Tan et al. (1993) ที่ใช้ Coconut Husk และ Palm Pressed Fibres ศึกษาการดูดซับโครเมียมพบว่า Coconut Husk และ Palm Pressed Fibres สามารถดูดซับโครเมียมได้ดีที่สุดที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2

จากการศึกษาค่าพีเอชของสารละลายก่อนและหลังการทดลองในการกำจัดโลหะหนัก ฟินอล และสีย้อมผ้า พบว่าถ้าแกลบดำเมื่อเติมลงไป ในสารละลายที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นในช่วง 3 – 5 จะทำให้ค่าพีเอชของสารละลายสุดท้ายมีค่ามากขึ้น เมื่อเทียบกับค่าพีเอชของสารละลายก่อนเติมซึ่งถ้าแกลบดำ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

จากการศึกษาคุณสมบัติของซีเถ้าแกลบดำพบว่าเมื่อเติมซีเถ้าแกลบดำลงในน้ำพบว่าค่าพีเอชของน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุของค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นของน้ำภายหลังการเติมซีเถ้าแกลบดำนั้น เนื่องจากส่วนประกอบของซีเถ้าแกลบดำมีเบสออกไซด์ เช่น โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งออกไซด์เหล่านี้เมื่อละลายในน้ำได้ไฮดรอกไซด์ไอออน จึงทำให้ค่าพีเอชของน้ำเพิ่มขึ้น ดังแสดงในสมการที่ 4.1 และ 4.2 (Akhmetov. 1983)





รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังเติมซีเถ้าแอลบด (น้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักและสีย้อมผ้าจำนวนซีเถ้าแอลบดที่ใช้ 10 กรัมต่อลิตร ส่วนฟีนอล 5 กรัมต่อลิตร)

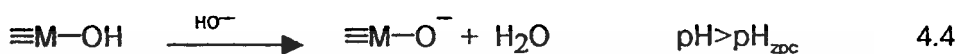
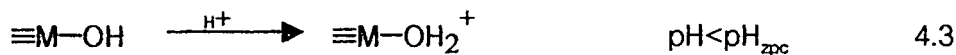
กลไกการดูดซับโลหะหนัก

เนื่องจากส่วนประกอบหลักของซีเถ้าแอลบดเป็นสารออกไซด์ ซึ่งสารประเภทออกไซด์หรือออกซีไฮดรอกไซด์ เช่น ซิลิกา (SiO_2) จีไทท์ ($\alpha\text{-FeOOH}$) ยิบไซต์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) เมื่ออยู่ในสารละลายที่ค่าพีเอชต่างๆ จะเกิดการ โพร โตนเตและดีโพร โตนเตโปรตอนที่พื้นผิวทำให้ที่พื้นผิวแสดงประจุบวกและประจุลบขึ้น ทั้งนี้ที่พื้นผิวของออกไซด์จะแสดงประจุบวกหรือประจุลบขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลาย โดยค่าพีเอชของสารละลายที่พื้นผิวของออกไซด์แสดงปริมาณของสปีชีส์ $\equiv\text{M}-\text{OH}_2^+$ เท่ากับ สปีชีส์ $\equiv\text{M}-\text{O}^-$ พื้นผิวของออกไซด์จะไม่แสดงประจุหรือมีประจุเป็นศูนย์ เรียก ค่าพีเอชของสารละลายที่ทำให้พื้นผิวออกไซด์ไม่แสดงประจุนี้ว่า pH of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

zero point of charge หรือ pH_{zpc} เมื่อสารออกไซด์อยู่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำกว่าค่า pH_{zpc} ของออกไซด์นั้นๆ พื้นผิวของออกไซด์จะมีสปีชีส์ $\equiv M-OH_2^+$ มากกว่า $\equiv M-O^-$ พื้นผิวออกไซด์จะแสดงประจุบวก แต่เมื่อค่าพีเอชของสารละลายมีค่าพีเอชสูงกว่าค่า pH_{zpc} ของออกไซด์พื้นผิวของออกไซด์จะมีสปีชีส์ $\equiv M-O^-$ มากกว่า $\equiv M-OH_2^+$ พื้นผิวออกไซด์จะแสดงประจุลบ (Schwarzenbach, 2003) ดังสมการที่ 4.3 และ 4.4



เมื่อ $\equiv M$ แทนอะตอมของ Si Fe และ Al

Panday *et al.* (1986) ได้แสดงค่า pH_{zpc} ของออกไซด์ของซิลิคอน (Si) อลูมิเนียม (Al) และ แคลเซียม (Ca) ไว้ดังนี้ ซิลิกามีค่า pH_{zpc} เท่ากับ 2.2 ส่วนอลูมิเนียมและแคลเซียม มีค่า pH_{zpc} 8.3 และ 11.0 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อออกไซด์เหล่านี้อยู่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำกว่าค่า pH_{zpc} พื้นผิวของออกไซด์เหล่านี้จะแสดงประจุบวก ($\equiv M-OH_2^+$) และที่ค่าพีเอชของสารละลายมีค่าสูงกว่า pH_{zpc} พื้นผิวของออกไซด์เหล่านี้จะแสดงประจุเป็นลบ ($\equiv M-O^-$)

จากผลการทดลองอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ค่าพีเอชของสารละลายตะกั่วในช่วง 1 – 5 พบว่าที่ค่าพีเอชของสารละลายตะกั่วที่ 1 และ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วต่ำ แต่เมื่อค่าพีเอชของสารละลายตะกั่วเริ่มต้นมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 3 4 และ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเพิ่มขึ้นเกือบเป็นร้อยละ 100 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 สำหรับกลไกการกำจัดตะกั่วที่ค่าพีเอชต่างๆ สามารถพิจารณาได้จากกราฟการละลายน้ำของตะกั่วที่ค่าพีเอชต่างๆ (Lead hydroxy species) ดังแสดงในรูปที่ 4.6

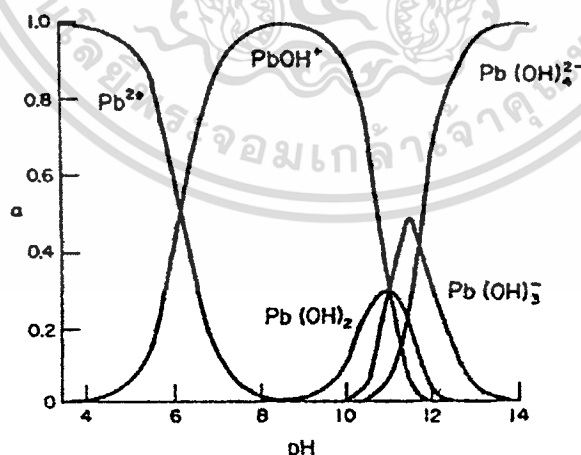
สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ค่าพีเอชของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 1 และ 2 มีค่าต่ำนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อพิจารณาจากกราฟการแตกตัวของตะกั่วในน้ำที่ค่าพีเอชต่าง ๆ พบว่าที่ค่าพีเอชของสารละลายมีค่าต่ำกว่า 6 ตะกั่วอยู่ในรูป Pb^{2+} ซึ่งที่สภาวะของสารละลายเท่ากับ 1 และ 2 ซิลิกา (มีค่า pH_{zpc} ประมาณ 2) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของซีเมนต์เคลือบดำมีประจุที่พื้นผิวเป็นบวก ($SiOH_2^+$) จึงเกิดการผลักกันระหว่างประจุบวกของ Pb^{2+} และ $SiOH_2^+$ เป็นผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่สภาวะดังกล่าวมีค่าต่ำ แต่เมื่อเพิ่มค่าพีเอชของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายตะกั่วเป็น 3 4 และ 5 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเพิ่มขึ้นเกือบเป็นร้อยละ 100 ซึ่งที่ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีค่าสูงในช่วงพีเอชดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้ จากผลการศึกษาค่าพีเอชของสารละลายก่อนและหลังการเติมซีเถ้าแอลบดำพบว่าที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นในช่วง 3 - 5 เมื่อเติมซีเถ้าแอลบดำลงไปค่าพีเอชของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นไปที่พีเอชอยู่ในช่วง 9 - 10 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ก ซึ่งจากกราฟการแตกตัวของตะกั่วในน้ำที่พีเอชต่างๆ ดังรูปที่ 4.6 ในสารละลายที่มีค่าพีเอชดังกล่าวตะกั่วอยู่ในรูปของ $PbOH^+$ และตะกอน $Pb(OH)_2$ ซึ่งที่ค่าพีเอชของสารละลายสูงกว่า 2 ซิลิกาที่มีประจุที่พื้นผิวเป็นลบ (SiO^-) ดังนั้นกลไกการกำจัดตะกั่วในช่วงพีเอชของสารละลายมีค่าเป็นต่างอาจเป็นดังสมการที่ 4.5



นอกจากนี้กลไกการกำจัดตะกั่วอาจเนื่องจาก Pb^{2+} รวมตัวกับ HO^- ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาของสารออกไซด์กับน้ำเกิดเป็นตะกอน $Pb(OH)_2$ ตกตะกอนแยกตัวออกจากสารละลาย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Reed *et al.* (1995) ที่ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์แบบเม็ด จากการศึกษา Reed รายงานว่าตะกั่วจะเริ่มมีการตกตะกอนที่ค่าพีเอช 5.5 และสรุปว่าเมื่อค่าพีเอชของสารละลายสูงขึ้นการกำจัดตะกั่วที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการตกตะกอนบนพื้นผิวหรือรูพรุนของคาร์บอน

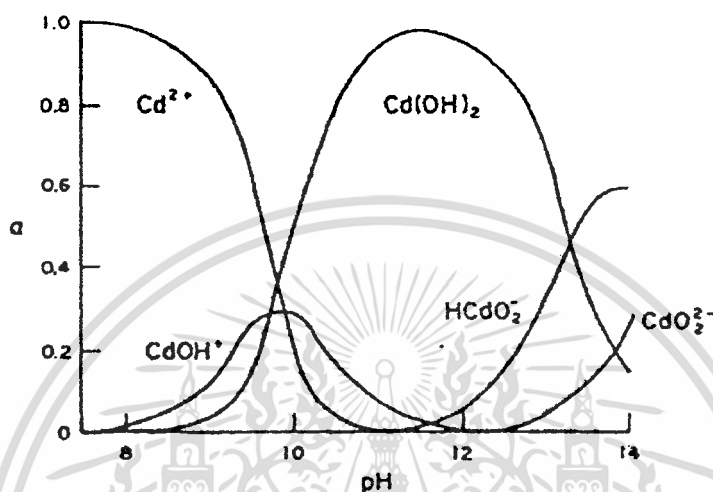


รูปที่ 4.6 แสดงกราฟการละลายน้ำของตะกั่วที่ค่าพีเอชต่างๆ (Fergusson. 1990)

สำหรับผลการศึกษาอิทธิพลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมที่ค่า

พีเอชของสารละลายแคดเมียมในช่วง 1 - 5 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไปในทิศทางเดียวกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

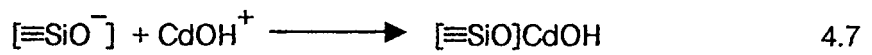
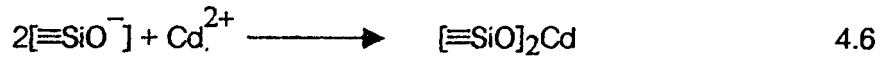
ตะกั่ว คือ ที่ค่าพีเอชของสารละลายแคลเซียมเท่ากับ 1 และ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดแคลเซียมมีค่าต่ำแต่เมื่อเพิ่มค่าพีเอชของสารละลายแคลเซียมเป็น 3 4 และ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นเกือบเป็นร้อยละ 100 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 กลไกการกำจัดแคลเซียมที่ค่าพีเอชต่างๆ สามารถพิจารณาได้จากกราฟการละลายน้ำของแคลเซียม (Cadmium hydroxy species) ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟการละลายน้ำของแคลเซียมที่ค่าพีเอชต่างๆ (Fergusson, 1990)

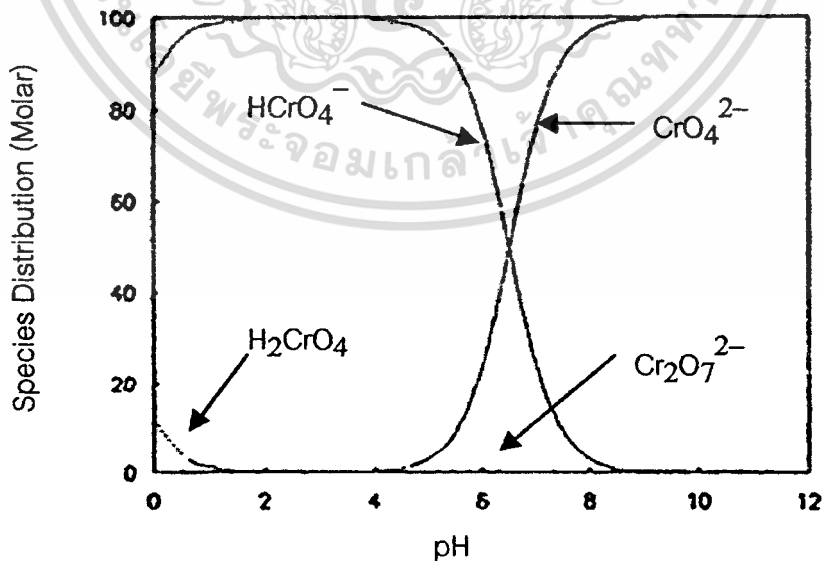
จากผลการทดลองการกำจัดแคลเซียมพบว่าที่ค่าพีเอชของสารละลายแคลเซียมเท่ากับ 1 และ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดแคลเซียมมีค่าต่ำนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อพิจารณาจากกราฟการละลายของแคลเซียมที่พีเอชต่างๆ ดังรูปที่ 4.7 พบว่าที่ค่าพีเอชของสารละลายแคลเซียมเท่ากับ 1 และ 2 แคลเซียมอยู่ในรูปของ Cd^{2+} ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวซิลิกา (มีค่า pH_{zpc} ประมาณ 2) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของซีเมนต์แกลบดำมีประจุที่พื้นผิวเป็นบวก (SiOH_2^+) จึงเกิดการผลักกันระหว่างประจุบวกของ Cd^{2+} และ SiOH_2^+ เป็นผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดแคลเซียมที่สภาวะดังกล่าวมีค่าต่ำ แต่เมื่อเพิ่มค่าพีเอชของสารละลายแคลเซียมเป็น 3 4 และ 5 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแคลเซียมเพิ่มขึ้นเกือบเป็นร้อยละ 100 ซึ่งที่ประสิทธิภาพการกำจัดแคลเซียมมีค่าสูงในช่วงพีเอชดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้ จากผลการศึกษาค่าพีเอชของสารละลายก่อนและหลังการเติมซีเมนต์แกลบดำพบว่าที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นในช่วง 3 - 5 เมื่อเติมซีเมนต์แกลบดำลงไปค่าพีเอชของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นไปที่พีเอชประมาณ 9 ซึ่งจากกราฟการละลายของแคลเซียมที่พีเอชต่างๆ ดังรูปที่ 4.7 ในสภาวะดังกล่าวแคลเซียมอยู่ในรูปของ Cd^{2+} และ CdOH^+ และที่ค่าพีเอชดังกล่าวซิลิกามีประจุที่พื้นผิวเป็นลบ (SiO^-) ดังนั้นกลไกการกำจัดแคลเซียมในช่วงพีเอชดังกล่าวอาจเป็นดังสมการที่ 4.6 และ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



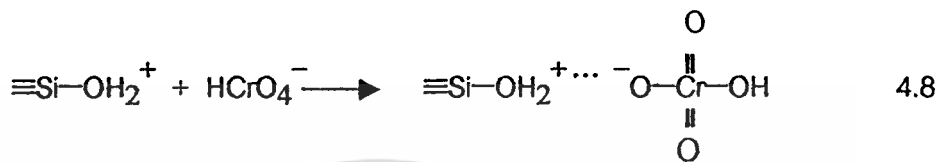
ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Yadava *et al.* (1987) ที่พบว่ากรดซัลฟิวริกของโลหะออกไซด์ จะขึ้นอยู่กับกับการสร้างประจุที่พื้นผิวของสารดูดซับ และประจุที่พื้นผิวออกไซด์จะดูดซับไอออนจากสารละลายเพื่อที่จะรักษาสสมดุลของประจุได้ นอกจากนี้กลไกการกำจัดแคดเมียมอาจเนื่องจาก Cd^{2+} รวมตัวกับ HO^- ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาของสารออกไซด์กับน้ำเกิดเป็นตะกอน $\text{Cd}(\text{OH})_2$ ตกตะกอนแยกตัวออกจากสารละลาย

สำหรับผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่ค่าพีเอชของสารละลายโครเมียมในช่วง 1 – 5 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมที่ค่าพีเอชของสารละลายโครเมียมเริ่มต้นเท่ากับ 1 และ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด แต่เมื่อค่าพีเอชของสารละลายโครเมียมเริ่มต้นมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 3 4 และ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง และลดลงอย่างรวดเร็วที่ค่าพีเอชเท่ากับ 3 ซึ่งสามารถอธิบายกลไกการกำจัดโครเมียม (VI) ได้จากกราฟการละลายน้ำของโครเมียมที่ค่าพีเอชต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

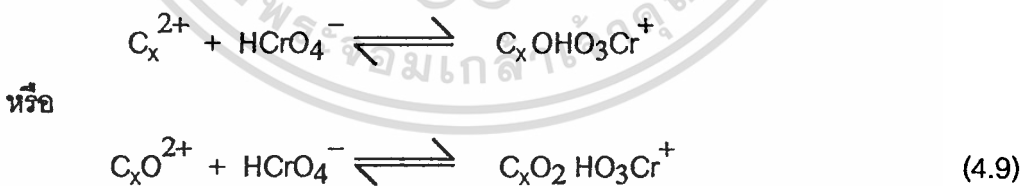


รูปที่ 4.8 แสดงสารประกอบโครเมียม(VI) ในสารละลายที่ค่าพีเอชต่างๆ (Ramos *et al.* 1994)

เมื่อพิจารณาจากกราฟการละลายน้ำของโครเมียมที่ค่าพีเอชต่างๆพบว่า ภายใต้สภาวะของสารละลายที่มีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 ไบโครเมตไอออน (HCrO_4^-) เป็นรูปแบบของโครเมียมที่มีปริมาณมากที่สุด และในสภาวะเดียวกันซิลิกาซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของซีเมนต์แบบธรรมดาที่มีประจุที่พื้นผิวเป็นบวก ดังนั้นกลไกการกำจัดโครเมียมในสภาวะดังกล่าวเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างประจุลบของไบโครเมตไอออนกับประจุบวกที่พื้นผิวของซิลิกา ดังสมการ 4.8



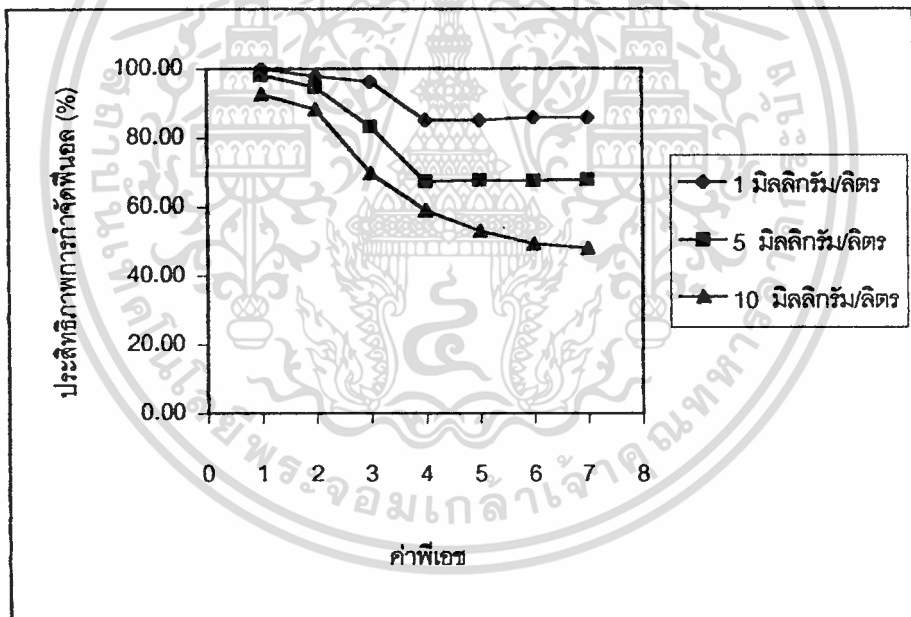
แต่เมื่อสารละลายโครเมียมมีค่าพีเอชเป็นด่างประสิทธิภาพการกำจัดลดลงทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของไบโครเมตไอออนลดลงในสารละลายมีสปีชีส์ของ CrO_4^{2-} และ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ และในสภาวะเดียวกันประจุที่พื้นผิวของซิลิกาเป็นลบ ทำให้เกิดการผลักกันระหว่างประจุลบของ CrO_4^{2-} และ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ และประจุลบของสารดูดซับ ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม (VI) จึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Huang and Wu (1975) ที่พบว่ากลไกการกำจัดโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์ได้ดีที่สภาวะของสารละลายที่มีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวพื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีประจุบวกดังนั้นกลไกการดูดซับโครเมียม(VI) เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่เป็นประจุบวกและประจุลบของไบโครเมตไอออน ดังแสดงในสมการที่ 4.9



4.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอล

จากผลการทดลองการกำจัดฟีนอลที่ค่าพีเอชของสารละลายฟีนอลในช่วง 1 - 7 ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก - 4 ของภาคผนวก ก สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัด ดังรูปที่ 4.9

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ก - 4 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลที่ค่าพีเอชต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ก - 4 และ รูปที่ 4.9 พบว่าอิทธิพลของค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลเป็นดังนี้ เมื่อค่าพีเอชของสารละลายฟีนอลเริ่มต้นมีค่าความเป็นกรดสูง 1 และ 2 ซีดีแอลบด้าสามารถดูดซับฟีนอลได้สูง และเมื่อค่าพีเอชของสารละลายฟีนอลเริ่มต้นสูงขึ้นพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลของซีดีแอลบด้าลดลง โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นฟีนอลเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1 และ 2 พบว่าสามารถกำจัดฟีนอลได้ร้อยละ 100 และ 97 ตามลำดับ ส่วนที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นในช่วง 3 - 7 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 85 - 96 ส่วนที่ความเข้มข้นเริ่มต้นฟีนอลเพิ่มขึ้น พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลของซีดีแอลบด้ามีค่าลดลง กล่าวคือ ที่ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเป็นร้อยละ 98.08 และ 92.64 ตามลำดับ ที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1



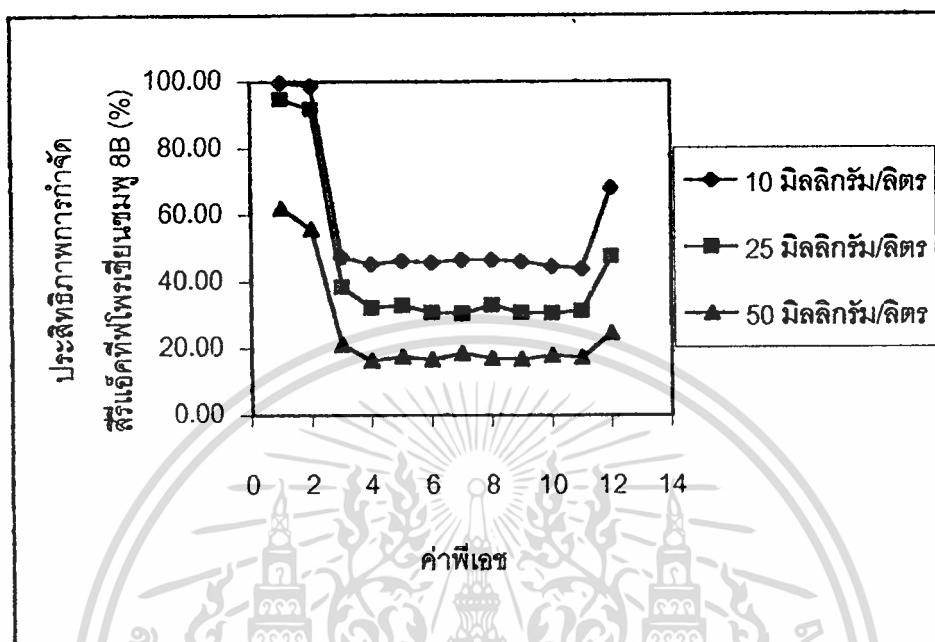
รูปที่ 4.9 อิทธิพลของค่าพีเอช (7 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอล ที่ความเข้มข้นฟีนอล 1 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ

4.2.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอ็คทีฟโพรียานทอมู 8B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองการกำจัดสรีรแอคทีฟไฟโรเซียนชมพู 8B ที่ค่าพีเอชในช่วง 1 - 12 แสดงดังตารางผนวกที่ ก - 5 ของภาคผนวก ก สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัด ดังรูปที่ 4.10



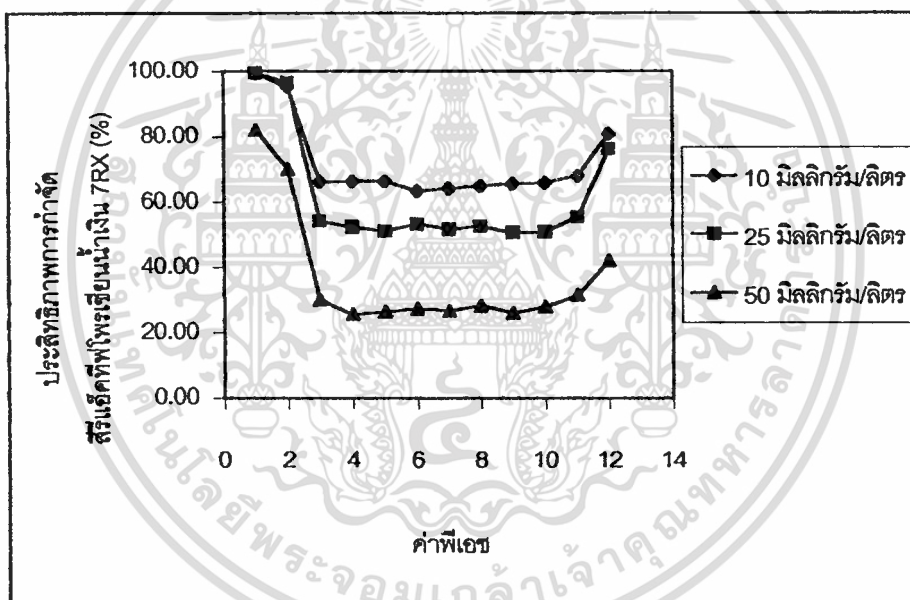
รูปที่ 4.10 อิทธิพลของค่าพีเอช (12 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสรีรแอคทีฟไฟโรเซียนชมพู 8B ที่ความเข้มข้นสรีรแอคทีฟไฟโรเซียนชมพู 8B 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ก - 5 และ รูปที่ 4.10 พบว่าค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสรีรแอคทีฟไฟโรเซียนชมพู 8B ดังนี้ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสรีรแอคทีฟไฟโรเซียนชมพู 8B ที่ค่าพีเอชต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นมีความเป็นกรดสูงเท่ากับ 1 และ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดสรีรแอคทีฟไฟโรเซียนชมพู 8B มีค่าสูง และเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเพิ่มขึ้นพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดลดลง โดยลดลงอย่างรวดเร็วที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นมากกว่า 2 โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของสรีรแอคทีฟไฟโรเซียนชมพู 8B 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอชของสารละลายเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1 และ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.07 และ 97.49 ตามลำดับ และที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเพิ่มขึ้นในช่วง 3 - 11 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสรีรแอคทีฟไฟโรเซียนชมพู 8B มีค่าลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 43 - 47 ส่วนที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดลดลง โดยที่ความเข้มข้นเท่ากับ 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 94.69 และ 61.88 ตามลำดับ ที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 1 ส่วนที่ค่าพีเอชของสารละลายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นเพิ่มขึ้นในช่วง 3 -11 ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 38 – 39 และ 16 - 21 ตามลำดับ และที่พีเอชของสารละลายเท่ากับ 12 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเซียนชมพู 8B สูงขึ้นกว่าที่พีเอชช่วง 3 ถึง 11 แต่ก็ยังต่ำกว่าที่ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 1 และ 2 โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ ร้อยละ 67.91 47.41 และ 24.59 ตามลำดับ

4.2.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเซียนน้ำเงิน 7RX

จากผลการทดลองการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเซียนน้ำเงิน 7RX ที่ค่าพีเอชในช่วง 1 – 12 แสดงดังตารางผนวกที่ ก - 6 ของภาคผนวก ก สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช กับประสิทธิภาพการกำจัด ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 อิทธิพลของค่าพีเอช (12 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเซียนน้ำเงิน 7RX ที่ความเข้มข้นสีรีแอกทีฟไฟโพรเซียนน้ำเงิน 7RX 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ก - 6 และรูปที่ 4.11 พบว่าค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเซียนน้ำเงิน 7RX ดังนี้ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเซียนน้ำเงิน 7RX ที่ค่าพีเอชต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเซียนน้ำเงิน 7RX มีแนวโน้มเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเซียนชมพู 8B กล่าวคือ การกำจัดสีรีแอกทีฟไฟโพรเซียนน้ำเงิน 7RX เกิดได้ดีเมื่อพีเอชของสารละลายเป็นเอ็กสโตนิก (pH > 7) สำหรับปฏิกิริยาในเฟสของแข็ง (adsorption) เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด (pH < 7) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายเริ่มต้นมีค่าความเป็นกรดที่ 1 และ 2 แต่เมื่อค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นสูงขึ้นพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง โดยลดลงอย่างรวดเร็วที่พีเอชของสารละลายมากกว่า 2 ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟในรูปที่ 4.11 โดยพบว่าที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1 และ 2 ที่ความเข้มข้นของสีย้อมฟิโพรเซียนน้ำเงิน 7RX 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.30 และ 95.29 ตามลำดับ และที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3 - 11 ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 66 - 68 ส่วนที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเท่ากับ 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.40 และ 81.94 ที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 1 ส่วนที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3 - 11 ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 50 - 55 และ 25 - 31 ตามลำดับ และที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 12 ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้นไปกว่าที่พีเอชช่วง 3 - 11 แต่ก็ยังต่ำกว่าที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 1 และ 2 โดยที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 80.81 76.22 และ 42.07 ตามลำดับ

จากผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมฟิโพรเซียนน้ำเงินที่พบเข้าแถบดำพบว่ามีความสูงสุดในช่วงพีเอชของสารละลายเป็นกรดสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Morais *et al.* (2000) ที่ใช้เปลือกยูคาลิปตัสเป็นสารดูดซับสีย้อมฟิโพรเซียนน้ำเงิน ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2

4.2.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าไคเร็กท์

4.2.4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าไคเร็กท์น้ำเงิน

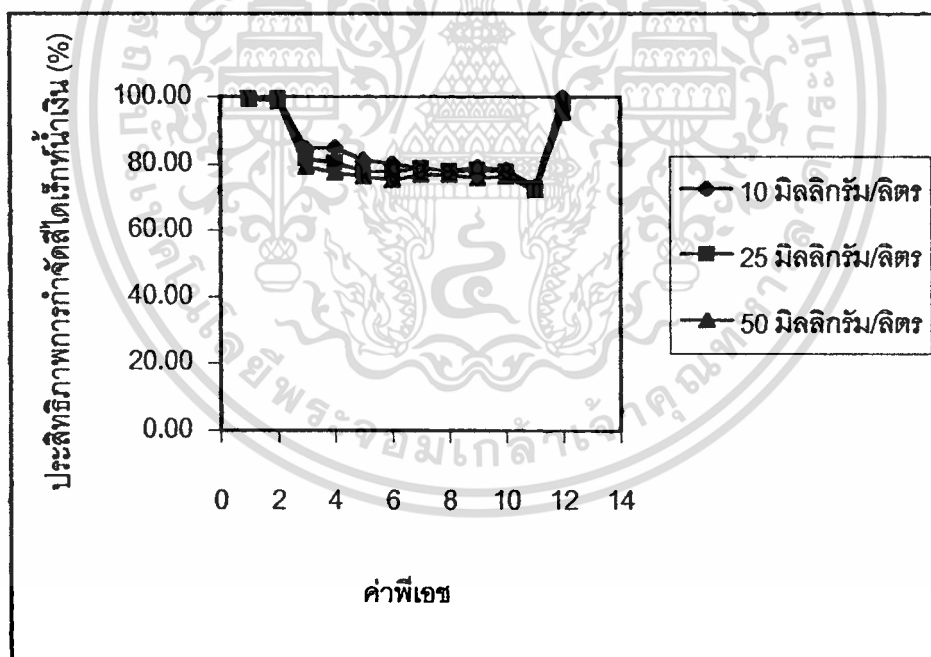
จากผลการทดลองการกำจัดสีย้อมผ้าไคเร็กท์น้ำเงินที่ค่าพีเอชในช่วง 1 - 12 แสดงดังตารางผนวกที่ ก - 7 ของภาคผนวก ก สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัด ดังรูปที่ 4.12

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ก - 7 และรูปที่ 4.12 พบว่าค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าไคเร็กท์น้ำเงิน ดังนี้ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าไคเร็กท์น้ำเงิน ที่ค่าพีเอชต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าไคเร็กท์น้ำเงิน มีแนวโน้มเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมฟิโพรเซียนชมพู 8B และสีย้อมฟิโพรเซียนน้ำเงิน 7RX กล่าวคือ ที่ค่าพีเอชต่ำสามารถดูดซับสีย้อมผ้าไคเร็กท์น้ำเงินได้ดีเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นมีค่าความเป็นกรดสูงที่ 1 และ 2 และที่ค่าพีเอชเป็นด่างสูง คือที่ค่าพีเอชเท่ากับ 12 ซึ่งสังเกตได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการกำจัดในรูปที่ 4.12 โดยที่ค่าความเข้มข้นของสีไดเรกต์น้ำเงินเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 1 และ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.80 และ 99.78 ตามลำดับ และที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 12 สามารถกำจัดได้เท่ากับร้อยละ 99.85 ส่วนที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นอยู่ในช่วง 3 - 11 ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 73 - 84 สำหรับที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดลดลง โดยที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.59 และ 99.46 ส่วนที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นอยู่ในช่วง 3 - 11 ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 73 - 81 และ 73 - 79 ตามลำดับ

จากการสังเกตค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ของสีทั้ง 4 สี พบว่าสีไดเรกต์น้ำเงินมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่าสีย้อมผ้าตัวอื่นๆ แสดงว่าสีไดเรกต์น้ำเงินมีเปอร์เซ็นต์ความเข้มของสีต่ำกว่าสีย้อมผ้าตัวอื่นจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าสูงกว่า

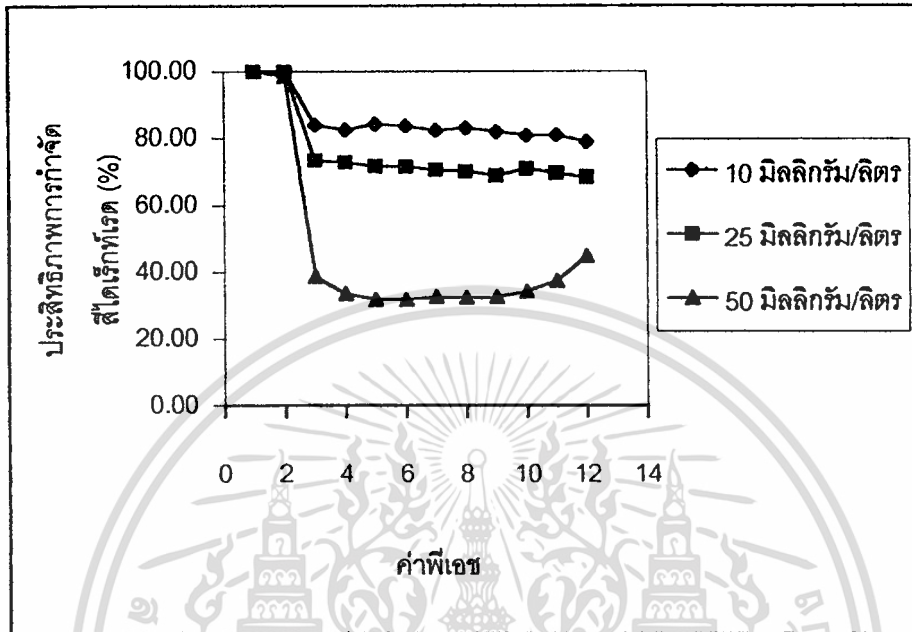


รูปที่ 4.12 อิทธิพลของค่าพีเอช (12 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกต์น้ำเงิน ที่ความเข้มข้นสีไดเรกต์น้ำเงิน 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2.4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกต์เรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองการกำจัดสไลโดเร็กซ์เรดที่ค่าพีเอชในช่วง 1 – 12 ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก - 8 ของภาคผนวก ก สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัด ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 อิทธิพลของค่าพีเอช (12 ระดับ) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสไลโดเร็กซ์เรด ที่ความเข้มข้นสไลโดเร็กซ์เรด 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ก - 8 และรูปที่ 4.13 พบว่าค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสไลโดเร็กซ์เรด ดังนี้ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสไลโดเร็กซ์เรด ที่ค่าพีเอชต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสไลโดเร็กซ์เรดมีแนวโน้มเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมฟิโพรเซียนชมพู 8 B สีย้อมฟิโพรเซียนน้ำเงิน 7RX และสไลโดเร็กซ์น้ำเงิน กล่าวคือ ซีโต้ไกลบด้าสามารถดูดซับสไลโดเร็กซ์เรดได้ดีที่พีเอชของสารละลายเริ่มต้นมีค่าความเป็นกรดสูงที่ 1 และ 2 ซึ่งสังเกตได้จากประสิทธิภาพการกำจัดในรูปที่ 4.13 ซึ่งพบว่าซีโต้ไกลบด้าสามารถกำจัดสไลโดเร็กซ์เรดได้มากที่สุดที่ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 1 โดยที่ความเข้มข้นสไลโดเร็กซ์เรดเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.69 ส่วนที่ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 2 สามารถกำจัดได้ร้อยละ 99.38 และเมื่อค่าพีเอชของสารละลายสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลง โดยประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นมีค่ามากกว่า 2 เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมฟิโพรเซียนชมพู 8 B สีย้อมฟิโพรเซียนน้ำเงิน 7 RX และสไลโดเร็กซ์น้ำเงิน โดยที่ค่าพีเอชของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นอยู่ในช่วง 3 - 12 ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 78 - 84 ที่ความเข้มข้นเดียวกัน ส่วนที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดลดลง โดยที่ความเข้มข้นเท่ากับ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 1 และ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.64 และ 99.58 ตามลำดับ และที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นอยู่ในช่วง 3 - 12 ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 62 - 73 และที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 1 และ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 98.63 และ 98.60 ตามลำดับ ส่วนที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นอยู่ในช่วง 3 - 12 ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 27 - 38

สำหรับสไลโดเรกซ์เรดเมื่อปรับค่าพีเอชของสารละลายในช่วง 1 - 6 จะมีการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้น โดยในช่วงค่าพีเอช 3 - 6 สีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงและไม่มีการเกิดเป็นคอลลอยด์ ส่วนในช่วงค่าพีเอช 1 - 2 สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้มและเมื่อวางทิ้งไว้ 30 นาที จะมีคอลลอยด์เกิดขึ้นและมีการตกตะกอนบางส่วน สำหรับการวัดปริมาณสไลโดเรกซ์เรดเริ่มต้นหลังจากปรับค่าพีเอชและปริมาณสีที่เหลือหลังการดูดซับในช่วงค่าพีเอช 1 - 6 จะต้องมีการปรับค่าพีเอชของสารละลายให้เป็นกลางเพื่อเปลี่ยนสีกลับมาเป็นสีแดงเหมือนเดิม โดยที่ค่าพีเอช 1 - 2 ใช้ 5 N NaOH ในการปรับพีเอช ส่วนในช่วงค่าพีเอช 3 - 6 ใช้สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6.9 (สำหรับการทดลองกับสไลโดเรกซ์เรดหลังจากปรับพีเอชของสารละลายจะต้องไปเปิดสารละลายใส่ฟลาสและทำการทดลองทันที) ดังนั้นการกำจัดสไลโดเรกซ์เรดในช่วงค่าพีเอช 1 และ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงอาจเนื่องมาจากการตกตะกอนของโมเลกุลของสีที่จับตัวเป็นคอลลอยด์ร่วมด้วย

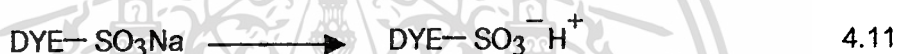
กลไกการดูดซับฟีนอลและสีย้อมผ้า

Schwarzenbach et al. (2003) ได้กล่าวถึงการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไอออนิก (เช่น $-\text{COO}^-$ $-\text{NH}_3^+$ $-\text{SO}_3^-$) ในโครงสร้างโมเลกุลอย่างน้อยหนึ่งชนิด จะถูกดูดซับที่พื้นผิวของสารดูดซับประเภทออกไซด์ได้สองแบบ คือ แบบที่ 1 เกิดการละลายแล้วเข้าไปจับที่พื้นผิวของสารดูดซับที่มีประจุตรงกันข้ามด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (electrostatic attractions) และแบบที่ 2 สร้างพันธะขึ้นระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.14

กลไกการดูดซับสีย้อมผ้า

จากผลการทดลองการกำจัดสีรีแอคทีฟโพเรเนียนและสีไดเรกต์ด้วยซีเถ้าแอลบด้าในช่วงพีเอช 1 - 12 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าสูงที่ค่าพีเอชของสารละลายมีความเป็นกรดสูงที่ค่าพีเอช 1 และ 2 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Gupta *et al.* (1990) ที่ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีย้อมผ้า Omega Chrome red ME ซึ่งเป็นสีที่มีประจุลบด้วยสารดูดซับผสมระหว่างเถ้าลอยและถ่านหิน ซึ่งมีโลหะออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก พบว่าการดูดซับสี Omega Chrome red ME มีค่าสูงที่พีเอชของสารละลายเท่ากับ 2

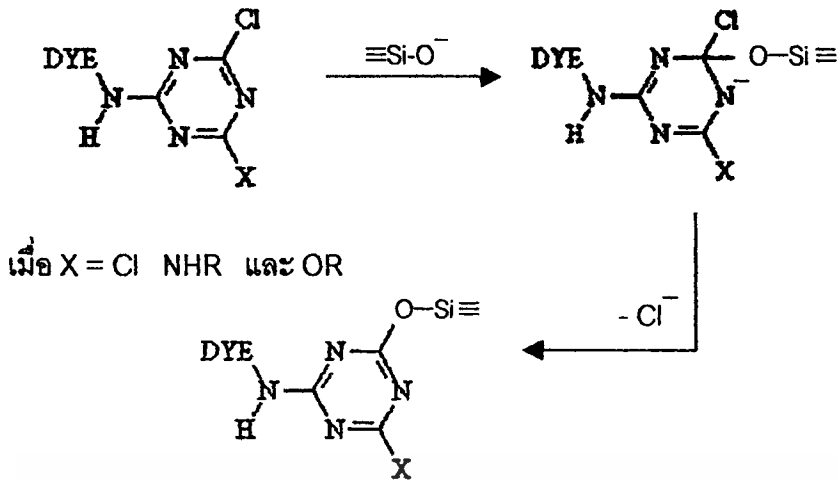
สำหรับสีรีแอคทีฟโพเรเนียนและสีไดเรกต์ เป็นสีประเภทแอนไอออน โครงสร้างโมเลกุลมีหมู่ไอออนิก $-\text{SO}_3\text{Na}$ อย่างต่ำหนึ่งหมู่ ดังรูปที่ 2.1 และ 2.2 ซึ่งสีดังกล่าวจะละลายน้ำและแตกตัวในสารละลายที่มีพีเอชเป็นกรดเป็นโซเดียมไอออน (Na^+) และโมเลกุลสีที่มีประจุลบ ($\text{SO}_3^- - \text{DYE}$) (Kulkarni *et al.* 1986) ดังสมการ 4.11



ซึ่งในสถานะเดียวกันนี้ซีเถ้าแอลบด้าซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นซิลิกาพื้นผิวจะแสดงประจุบวก ดังนั้นกลไกการดูดซับสีทั้งสองชนิดในสถานะดังกล่าวจะเกิดการดูดซับแบบที่ 1 มากกว่าแบบที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.14 เนื่องจากโมเลกุลสีเกิดการละลายและมีประจุเป็นลบจึงเกิดการดึงดูดระหว่างประจุบวกของสารดูดซับกับประจุลบของสี ดังสมการที่ 4.12



สำหรับการกำจัดสีรีแอคทีฟโพเรเนียนในสถานะที่สารละลายมีค่าพีเอชเริ่มต้น 3-12 เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.5 ข ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นในช่วงดังกล่าวเมื่อเติมซีเถ้าแอลบด้าพบว่าพีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 9 - 12 ซึ่งในช่วงพีเอชดังกล่าวซิลิกา (pH_{zpc} ประมาณ 2) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของซีเถ้าแอลบด้าที่พื้นผิวจะแสดงประจุลบ ประจุลบของสารดูดซับอาจเข้าทำปฏิกิริยาการแทนที่คลอไรด์อะตอม (leaving group) ที่ triazine ring (reactive group) ของโมเลกุลสี ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงปฏิกิริยาการแทนที่ของสารดูดซับที่โมเลกุลสีรีแอคทีฟโพเรเซียน
(Chemistry of dye. 2003)

สำหรับปฏิกิริยาการแทนที่ที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่สารละลายมีค่าพีเอชเป็นด่างซึ่งมีไฮดรอกไซด์ไอออน (HO^-) จำนวนมาก การเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ที่จะเกิดแข่งขันระหว่างประจุลบของสารดูดซับกับไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลาย ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการกำจัดในสภาวะดังกล่าวมีค่าต่ำ

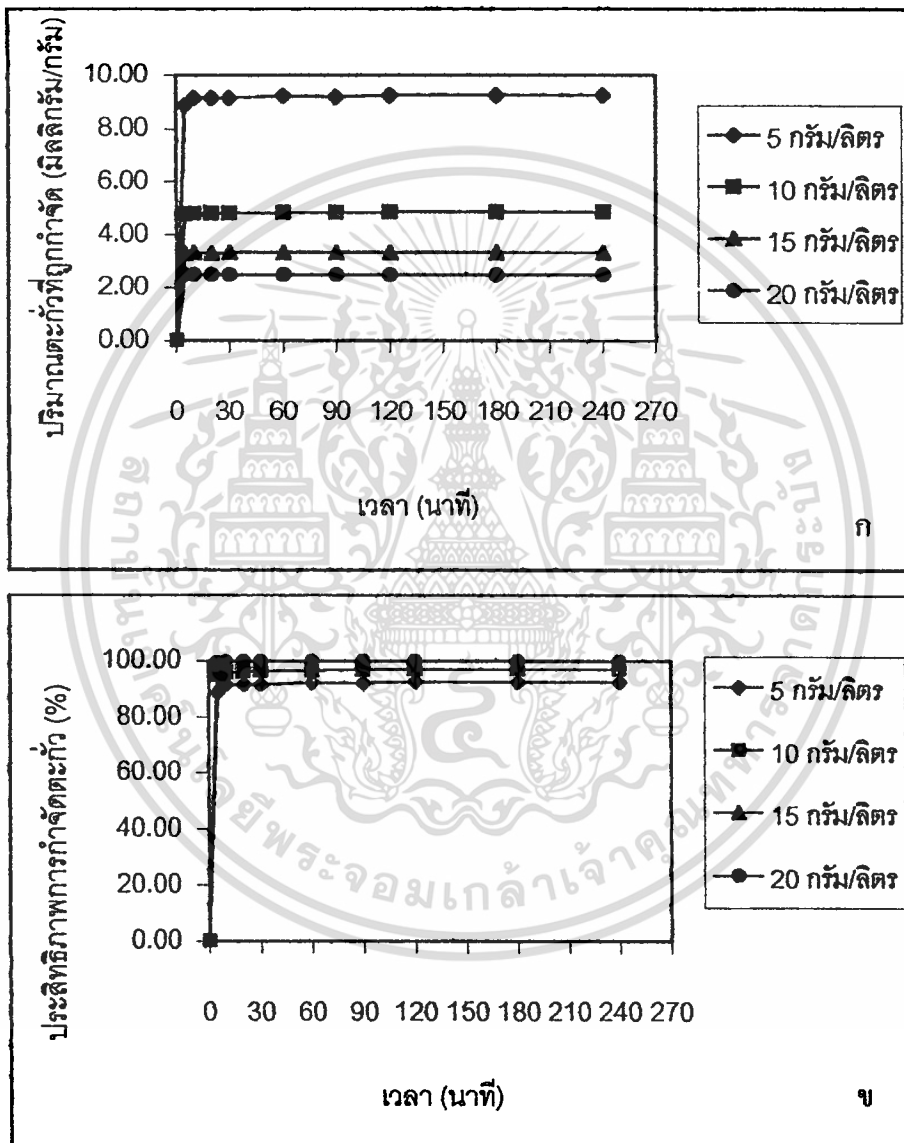
สำหรับการกำจัดสีไดเรกทีในสภาวะที่สารละลายมีค่าพีเอชตั้งแต่ 3 ขึ้นไปมีประสิทธิภาพการกำจัดลดลง อาจมีสาเหตุมาจากที่สภาวะดังกล่าวซิลิกาซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของซีเถ้าแกลบดำนั้นที่พื้นผิวจะแสดงประจุลบ และโมเลกุลสีไดเรกทีซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) จะเกิดปฏิกิริยาดิโปรเตนต์ให้สีที่เป็นประจุลบในสภาวะที่สารละลายมีค่าเป็นด่าง จึงเกิดการผลักกันระหว่างประจุลบของโมเลกุลของสีย้อมและประจุลบของสารดูดซับ ประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกทีจึงมีค่าลดลง

4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้าแกลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า

4.3.1 อิทธิพลของปริมาณซีเถ้าแกลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก

4.3.1.1 อิทธิพลของปริมาณซีเมนต์แกลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว

ทำการศึกษาโดยแปรเปลี่ยนปริมาณซีเมนต์แกลบดำที่ 5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 3 จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ข - 1 ในภาคผนวก ข สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วที่ถูกกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงปริมาณตะกั่วที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์แกลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร)

ก. ปริมาณตะกั่วที่ถูกกำจัด ข. ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ข - 1 และรูปที่ 4.16 ก พบว่าการดูดซับ ตะกั่วของซีเถ้าแกลบดำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 5 นาที ซึ่งสังเกตได้จากความชันของเส้น กราฟที่มีความชันสูงสุดในช่วงเวลาดังกล่าว โดยพบว่าที่ปริมาณซีเถ้าแกลบดำ 5 กรัมต่อลิตร การ ดูดซับตะกั่วเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที ความหนาแน่นของตะกั่วบนซีเถ้าแกลบดำเท่ากับ 9.23 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับที่ปริมาณซีเถ้าแกลบดำ 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร ภายในเวลา 20 นาที การดูดซับตะกั่วเข้าสู่สมดุล ความหนาแน่นของตะกั่วบนซีเถ้าแกลบดำลดลงเป็น 4.80 3.32 และ 2.49 มิลลิกรัมต่อกรัมซีเถ้าแกลบดำ ตามลำดับ

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วดังรูปที่ 4.16 ข และผลการทดลองในตาราง ผนวกที่ ข - 1 พบว่าปริมาณซีเถ้าแกลบดำที่ใช้ในการกำจัดตะกั่วที่ 5 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพ การกำจัดเท่ากับร้อยละ 92.50 เมื่อเพิ่มปริมาณซีเถ้าแกลบดำเป็น 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร พบ ว่าประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มเป็นร้อยละ 96.10 99.52 และ 99.76 และการเพิ่มปริมาณซีเถ้า แกลบดำจาก 15 เป็น 20 กรัมต่อลิตร พบว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วอีกต่อไป และ ปริมาณซีเถ้าแกลบดำ 5 กรัมต่อลิตรก็เพียงพอให้กำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้าแกลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผล ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม

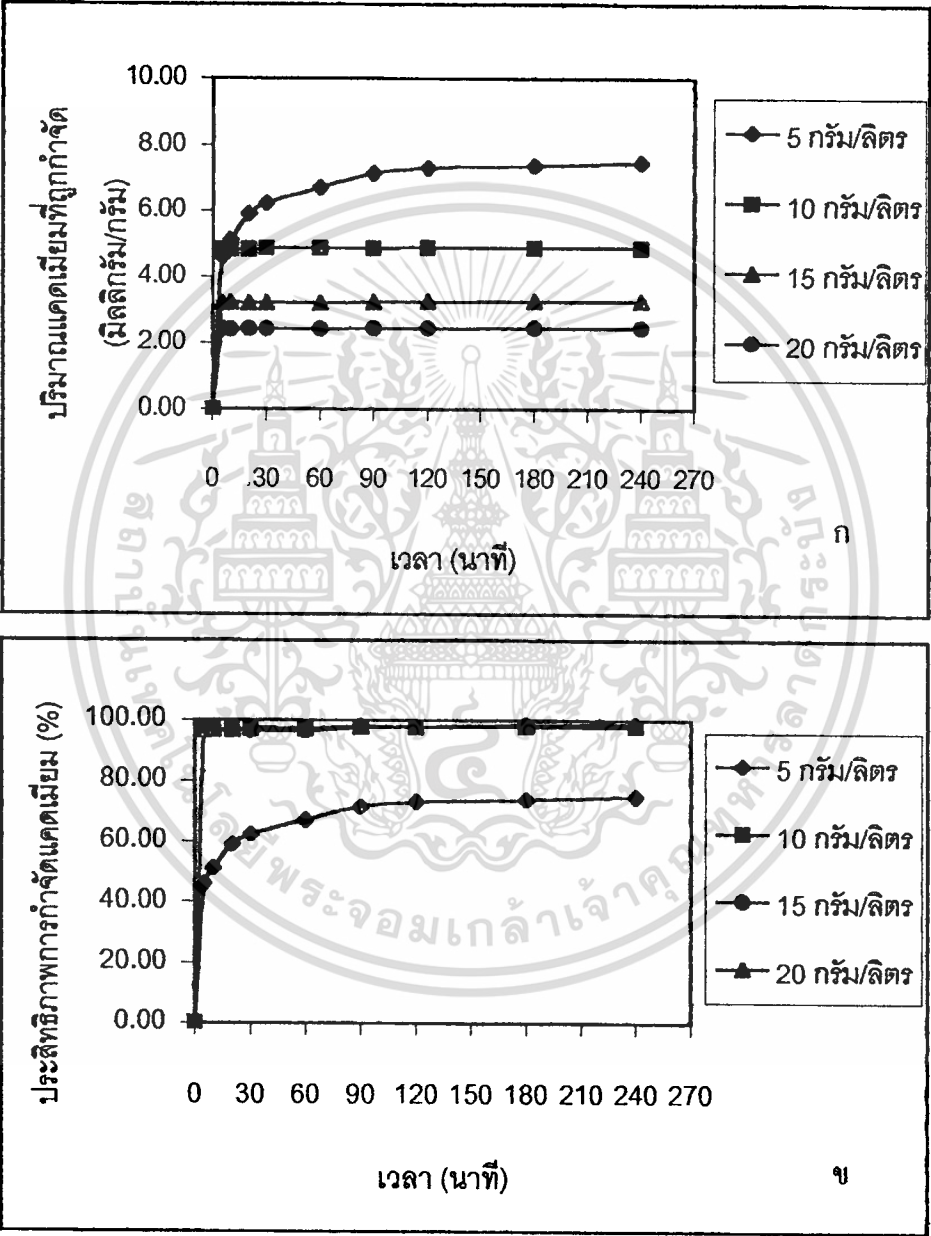
ทำการศึกษาโดยแปรเปลี่ยนปริมาณซีเถ้าแกลบดำที่ 5 10 15 และ 20 กรัมต่อ ลิตร ที่พีเอชของสารละลายแคดเมียมเท่ากับ 3 จากผลของการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ข - 2 ในภาคผนวก ข สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียมที่ถูก กำจัดกับเวลา ดังในรูปที่ 4.17

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ข - 2 และรูปที่ 4.17 ก พบว่าการดูดซับ แคดเมียมของซีเถ้าแกลบดำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 5 นาที เช่นเดียวกับตะกั่ว ซึ่งสังเกต ได้จากความชันของเส้นกราฟ ที่มีความชันสูงสุดในช่วงเวลา 0 - 5 นาที โดยพบว่าที่ปริมาณซีเถ้า แกลบดำ 5 กรัมต่อลิตร ภายในเวลา 90 นาที การดูดซับแคดเมียมเข้าสู่สมดุล ความหนาแน่น ของแคดเมียมบนซีเถ้าแกลบดำที่จุดสมดุลดเท่ากับ 7.15 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับที่ปริมาณซีเถ้า แกลบดำ 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร การดูดซับแคดเมียมเข้าสู่สมดุลที่เวลา 30 นาที โดย ความหนาแน่นของแคดเมียมบนซีเถ้าแกลบดำที่จุดสมดุลดลดลงเป็น 4.87 3.22 และ 2.43 มิลลิกรัมต่อกรัมซีเถ้าแกลบดำ ตามลำดับ

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม พบว่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีเถ้าแกลบดำที่ ใช้ในการดูดซับเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.17 ข และผลการทดลองในตารางผนวกที่ ข - 2 โดยที่ ปริมาณซีเถ้าแกลบดำ 5 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 71.51 เมื่อปริมาณซีเ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าغللبด่ำที่ใช้ในการดูดซับเพิ่มเป็น 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มเป็นร้อยละ 97.47 96.51 และ 97.24 ตามลำดับ ซึ่งที่ปริมาณซี้غللبด่ำ 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกันสังเกตได้จากเส้นกราฟที่เกือบจะซ้อนทับกัน ดังนั้นการเพิ่มปริมาณซี้غللبด่ำจาก 10 เป็น 15 และ 20 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมอีกต่อไป

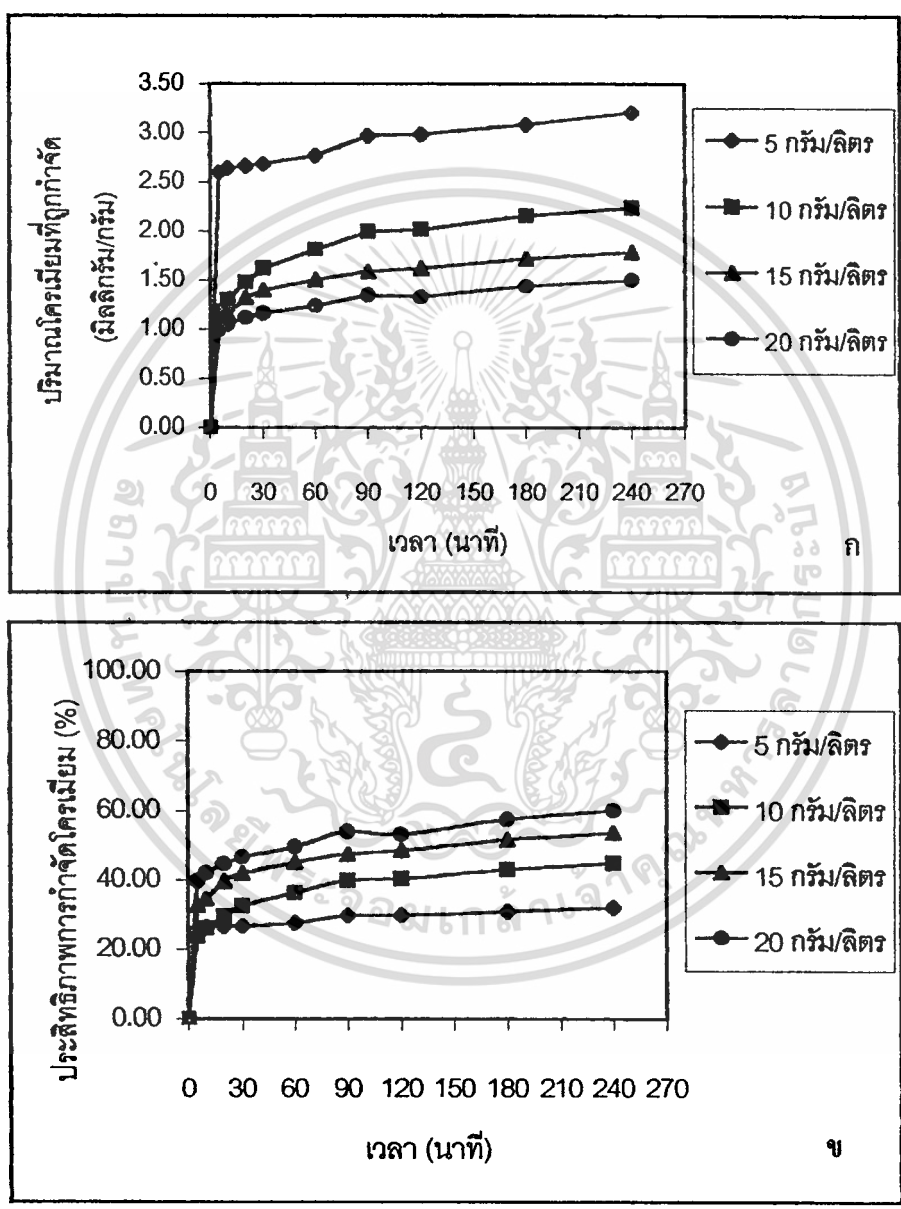


รูปที่ 4.17 แสดงปริมาณแคดเมียมที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซี้غللبด่ำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร)

ก. ปริมาณแคดเมียมที่ถูกกำจัด ข. ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม

4.3.1.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเมนต์ที่เคลือบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม

ทำการศึกษาโดยแปรเปลี่ยนปริมาณซีเมนต์ที่เคลือบดำที่ 5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร ที่พีเอชของสารละลายโครเมียมเท่ากับ 2 จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ข – 3 ในภาคผนวก ข สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมที่ถูกกำจัดกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงปริมาณโครเมียมที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์เคลือบดำต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร)
ก. ปริมาณโครเมียมที่ถูกกำจัด ข. ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ๒ - 3 และรูปที่ 4.18 ก พบว่าการดูดซับโครเมียมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 5 นาที เช่นเดียวกับการดูดซับตะกั่ว และ แคดเมียม ซึ่งสังเกตได้จากความชันของเส้นกราฟที่มีความชันสูงสุดในช่วงเวลา 0 - 5 นาที จากนั้นปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลการดูดซับ ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับจึงจะไม่เปลี่ยนแปลง โดยที่ปริมาณซีเด้าแกลบดำ 5 กรัมต่อลิตร ที่เวลาสัมผัส 180 นาที พบว่าการดูดซับเริ่มคงที่ ความหนาแน่นของโครเมียมบนซีเด้าแกลบดำเท่ากับ 3.08 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อเพิ่มปริมาณซีเด้าแกลบดำเป็น 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร ความหนาแน่นของโครเมียมบนซีเด้าแกลบดำลดลงเป็น 2.15 1.72 และ 1.44 ตามลำดับ ที่เวลาสัมผัส 180 นาทีเช่นเดียวกัน

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมแสดงดังรูปที่ 4.18 ข และผลการทดลองในตารางผนวกที่ ๒ - 3 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณซีเด้าแกลบดำ โดยที่ปริมาณซีเด้าแกลบดำ 5 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 30.84 เมื่อเพิ่มปริมาณซีเด้าแกลบดำเป็น 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 43.09 51.66 และ 57.41 ตามลำดับ ที่เวลาสัมผัส 180 นาที

4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเด้าแกลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล

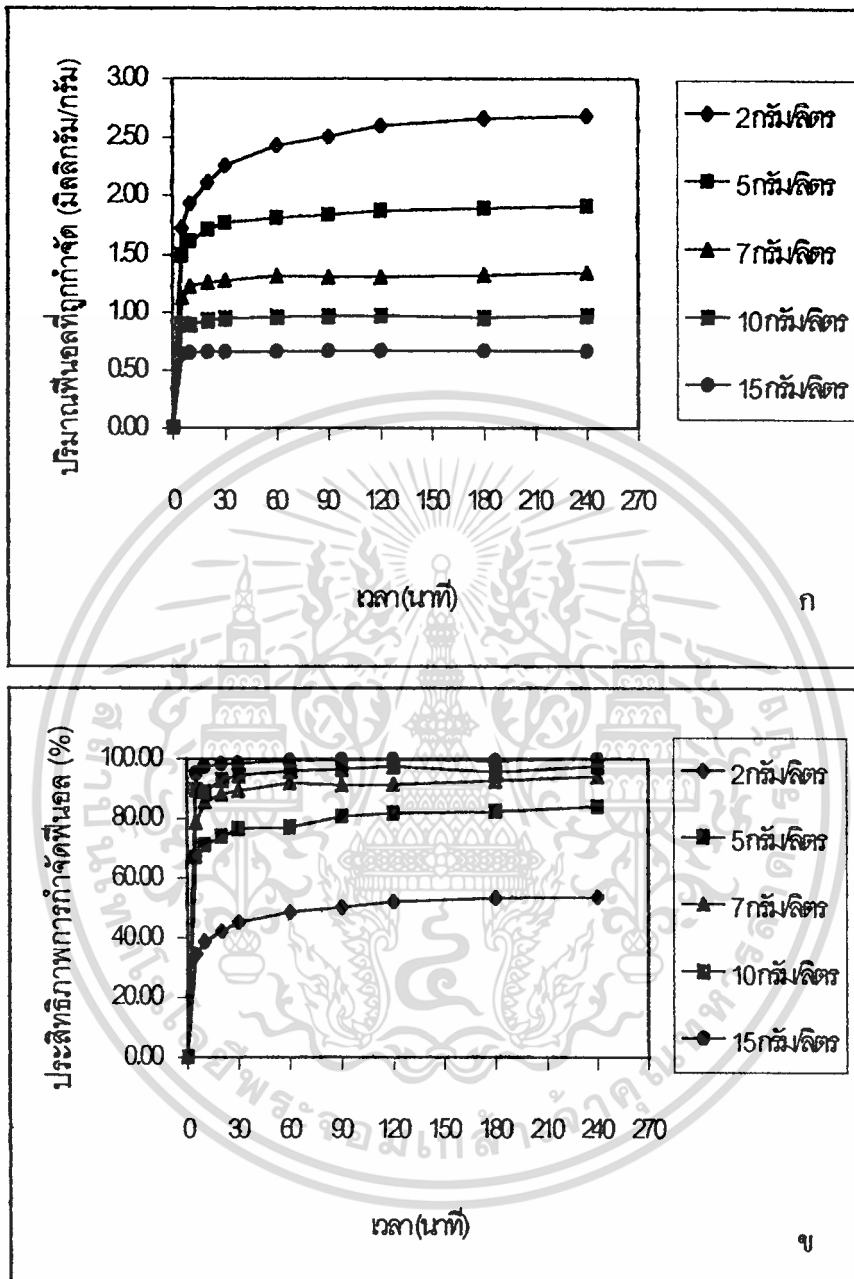
ทำการศึกษาโดยแปรเปลี่ยนปริมาณซีเด้าแกลบดำที่ 2 5 7 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 2 จากผลการทดลองแสดงดังตารางผนวกที่ ๒ - 4 ในภาคผนวก ข สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลที่ถูกกำจัดกับเวลาดังรูปที่ 4.19

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ๒ - 4 และรูปที่ 4.19 ก พบว่าการดูดซับฟีนอลจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 5 นาที ต่อจากนั้นปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ปริมาณซีเด้าแกลบดำเท่ากับ 2 กรัมต่อลิตร ที่เวลาสัมผัส 120 นาที การดูดซับฟีนอลเข้าสู่สมดุล ความหนาแน่นฟีนอลบนซีเด้าแกลบดำที่จุดสมดุลเท่ากับ 2.60 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนที่ปริมาณซีเด้าแกลบดำ 5 7 10 และ 15 กรัมต่อลิตร พบว่าการดูดซับฟีนอลเข้าสู่สมดุลที่เวลาสัมผัส 90 นาที โดยความหนาแน่นฟีนอลที่ถูกดูดซับบนซีเด้าแกลบดำเท่ากับ 1.63 1.30 0.97 และ 0.66 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีเด้าแกลบดำเพิ่มขึ้นซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 4.19 ข และผลการทดลองในตารางผนวกที่ ๒ - 4 โดยที่ปริมาณซีเด้าแกลบดำ 2 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลที่จุดสมดุลเท่ากับร้อยละ 52.04 เมื่อเพิ่มปริมาณซีเด้าแกลบดำเป็น 5 7 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 68.00 78.00 84.00 และ 88.00 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้ากลบดำเป็น 5 7 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดที่จุดสมดุลเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 81.63 91.33 97.67 และ 99.80 ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 แสดงปริมาณฟีนอลที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเถ้ากลบดำแตกต่างกัน 5 ระดับ (2 5 7 10 และ 15 กรัมต่อลิตร)

ก. ปริมาณฟีนอลที่ถูกกำจัด ข. ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอล

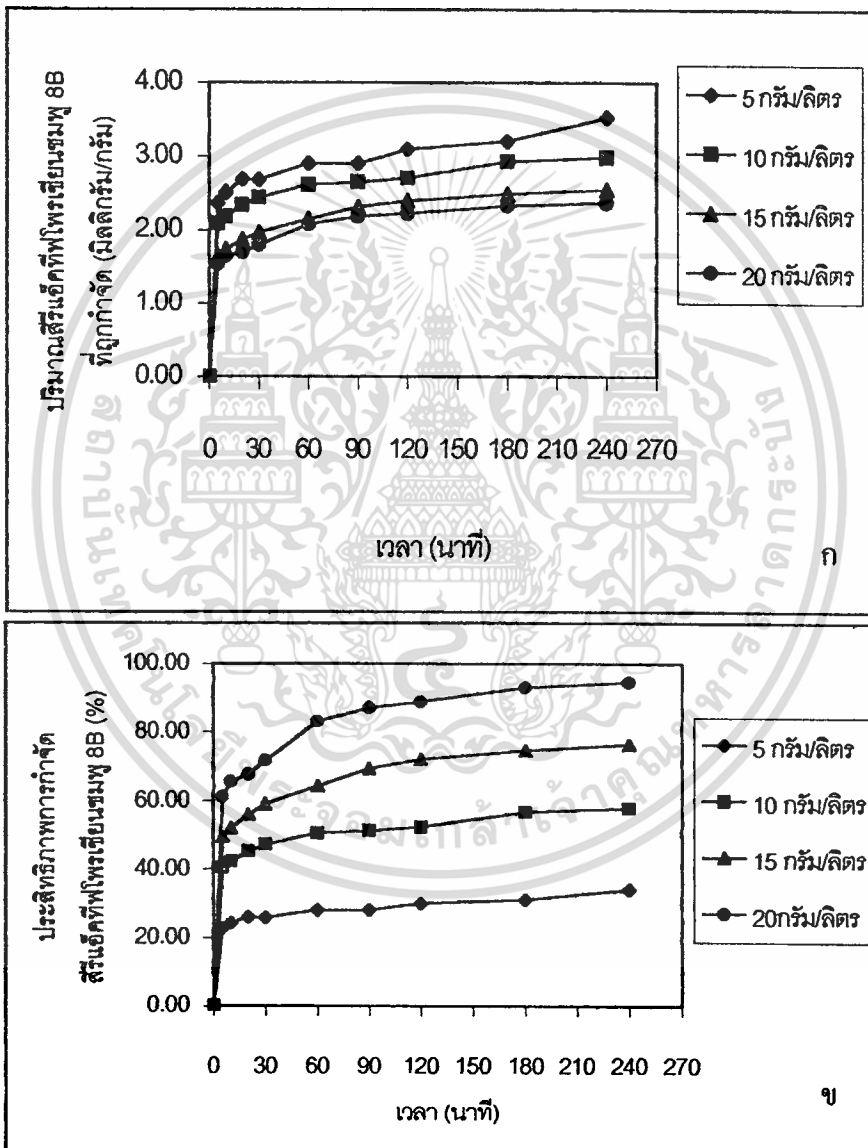
4.3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษาโดยแปรเปลี่ยนปริมาณซีเढ़้าแกลบดำที่ 5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชของสารละลายซีเढ़้าอีคทีฟเท่ากับ 2

4.3.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเढ़้าแกลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีเढ़้าอีคทีฟโพรเซียนชมพู 8B

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ๑ - 5 ในภาคผนวก ๑ สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเढ़้าอีคทีฟโพรเซียนชมพู 8B ที่ถูกกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงปริมาณซีเढ़้าอีคทีฟโพรเซียนชมพู 8B ที่ถูกกำจัดที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณซีเढ़้าแกลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร)

ก. ปริมาณซีเढ़้าอีคทีฟโพรเซียนชมพู 8B ที่ถูกกำจัด

ข. ประสิทธิภาพการกำจัดซีเढ़้าอีคทีฟโพรเซียนชมพู 8B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีไธ้แกลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าไดเร็กซ์

ทำการศึกษาซีไธ้ 2 โทนสี ได้แก่ซีไธ้สีน้ำเงินและซีไธ้สีเรด โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณซีไธ้แกลบดำที่ 5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 2

4.3.4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีไธ้แกลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีไธ้สีน้ำเงิน

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ข – 7 ในภาคผนวก ข สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีไธ้สีน้ำเงินที่ถูกกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.22

จากรูปที่ 4.22 ก และผลการทดลองในตารางผนวกที่ ข – 7 พบว่าแนวโน้มของการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณซีไธ้แกลบดำและเวลาสัมผัส ไปในทิศทางเดียวกับการกำจัดฟีนอลและสีย้อมผ้าไดเร็กซ์ 2 ชนิด กล่าวคือ การดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 5 นาที จากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณซีไธ้แกลบดำ 5 และ 10 กรัมต่อลิตร พบว่าการดูดซับซีไธ้สีน้ำเงินเข้าสู่สมดุลที่เวลา 90 นาที มีความหนาแน่นของซีไธ้สีน้ำเงินบนซีไธ้แกลบดำเท่ากับ 7.20 และ 3.81 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับที่ปริมาณซีไธ้แกลบดำ 15 และ 20 กรัมต่อลิตร พบว่าการดูดซับซีไธ้สีน้ำเงินเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที ความหนาแน่นของซีไธ้สีน้ำเงินบนซีไธ้แกลบดำเท่ากับ 2.76 และ 2.04 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดซีไธ้สีน้ำเงิน พบว่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีไธ้แกลบดำเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.22 ข และผลการทดลองในตารางผนวกที่ ข – 7 โดยประสิทธิภาพการกำจัดที่จุดสมดุลที่ปริมาณซีไธ้แกลบดำเท่ากับ 5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร เท่ากับร้อยละ 90.70 96.01 99.95 และ 99.95 ตามลำดับ

4.3.4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีไธ้แกลบดำและเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีไธ้สีเรด

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ข – 8 ในภาคผนวก ข สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีไธ้สีเรดที่ถูกกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.23

จากรูปที่ 4.23 ก และผลการทดลองในตารางผนวกที่ ข – 8 พบว่าการดูดซับซีไธ้สีเรดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 5 นาที จากนั้นการดูดซับจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันมากที่สุดในช่วงเวลา 0 - 5 นาที โดยที่ปริมาณซีไธ้แกลบดำ 5 และ 10 กรัมต่อลิตร พบว่าการดูดซับซีไธ้สีเรดเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที

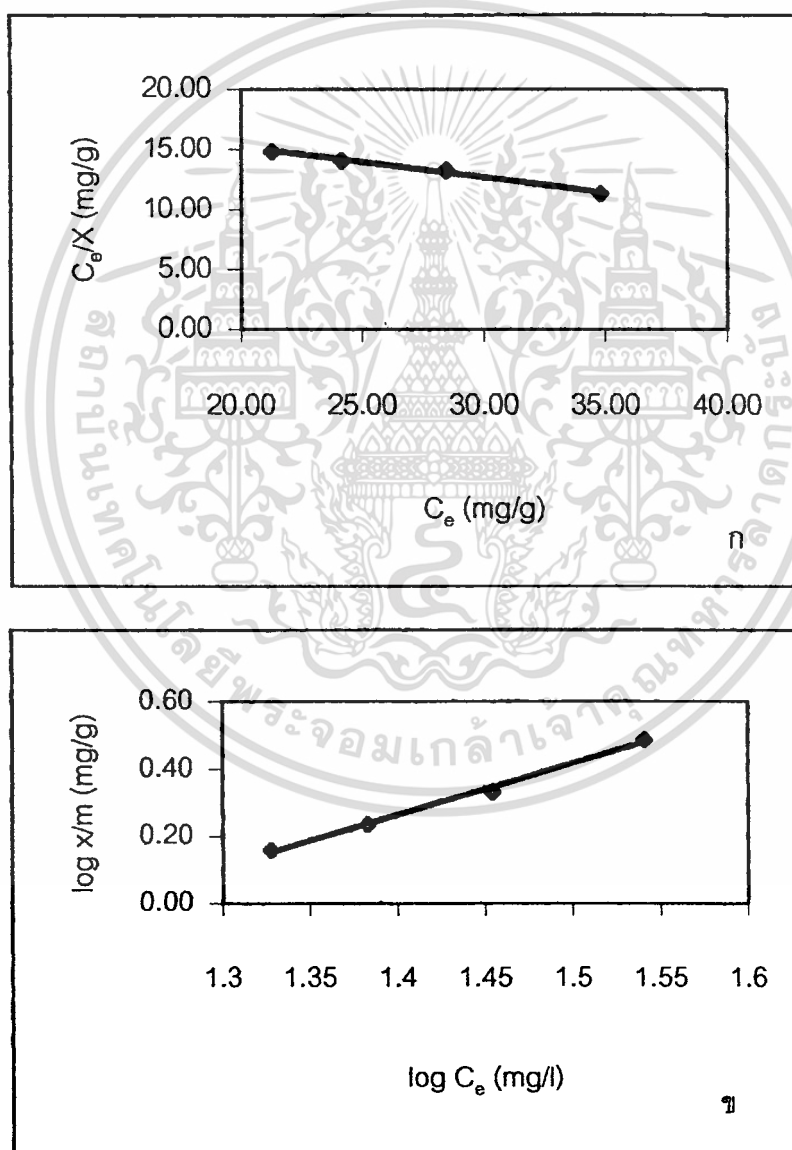
ความหนาแน่นของซีไธ้สีเรดที่ถูกดูดซับบนซีไธ้แกลบดำเท่ากับ 7.39 และ 3.74 มิลลิกรัมต่อ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.3 ไอโซเทอมการดูดซับโครเมียม

จากผลการทดลองการแปรเปลี่ยนปริมาณซี้ได้แก่ลบดำ ในช่วง 5 – 20 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้นของโครเมียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาสัมผัส 180 นาที ดังแสดงในตารางผนวกที่ ข – 3 ในภาคผนวก ข สามารถนำมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับโครเมียมได้ดังนี้

จากความสัมพันธ์สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ ดังแสดงในสมการ 4.13 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_e/X กับค่า C_e ได้กราฟเส้นตรงของไอโซเทอมการดูดซับโครเมียม ดังแสดงในรูปที่ 4.26 ก และจากความสัมพันธ์สมการไอโซเทอมการดูดซับ



รูปที่ 4.26 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับโครเมียมด้วยซี้ได้แก่ลบดำ

ก. ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ ข. ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบพหุนาม ดังแสดงในสมการ 4.14 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log x/m$ กับค่า $\log C_e$ ได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.26 ข ซึ่งพบว่าการดูดซับโครเมียมของซีเด้ากลบดำ เหมาะกับไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนามมากกว่าไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ทั้งนี้เนื่องจากความชันของเส้นกราฟของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์มีค่าเป็นลบ จากรูปที่ 4.26 ข ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนามในการดูดซับโครเมียม ดังสมการ 4.19

$$\log \left(\frac{x}{m} \right) = 1.5407 \log C_e - 1.8941 \quad (4.19)$$

4.4.2 ไอโซเทอมการดูดซับฟีนอล

ในการหาไอโซเทอมการดูดซับฟีนอลใช้ผลการทดลองจากการแปรเปลี่ยนปริมาณซีเด้ากลบดำในช่วง 2 – 15 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้นของฟีนอล 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลาสัมผัสที่ 180 นาที ในการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ

จากผลการทดลองการดูดซับฟีนอลในตารางผนวกที่ ข – 4 ในภาคผนวก ข สามารถนำมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนามได้ดังนี้ จากความสัมพันธ์สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ ดังแสดงในสมการ 4.13 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_e/X กับค่า C_e ได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.27 ก และจากความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนาม ดังแสดงในสมการ 4.41 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log x/m$ กับค่า $\log C_e$ ได้กราฟเส้นตรงของไอโซเทอมการดูดซับฟีนอล ดังแสดงในรูปที่ 4.27 ข

จากรูปที่ 4.27 ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนามในการดูดซับฟีนอล ดังสมการ 4.20 และสมการ 4.21 ตามลำดับ

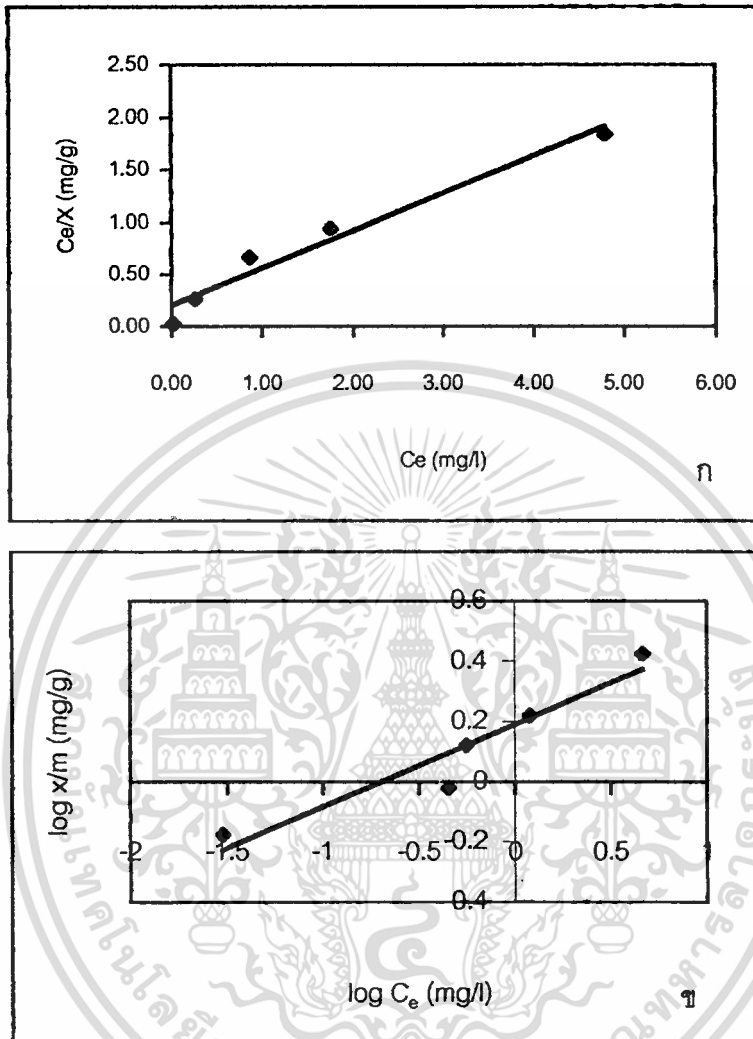
$$\frac{C_e}{X} = 0.3409 C_e + 0.2481 \quad (4.20)$$

$$\log \left(\frac{x}{m} \right) = 0.2730 \log C_e + 0.1890 \quad (4.21)$$

4.4.3 ไอโซเทอมการดูดซับซีรีแอ็คทีฟ

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับซีรีแอ็คทีฟโพเรเซียน 2 โทนส์ คือ ซีรีแอ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B และซีรีแอ็คทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX โดยใช้ผลการทดลองจากการเอกซสเรย์เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองการแปรเปลี่ยนปริมาณซีเด้าแกลบดำในช่วง 5 – 20 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้นของสีย้อมทั้ง 2 ชนิดเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาสัมผัส 180 นาที



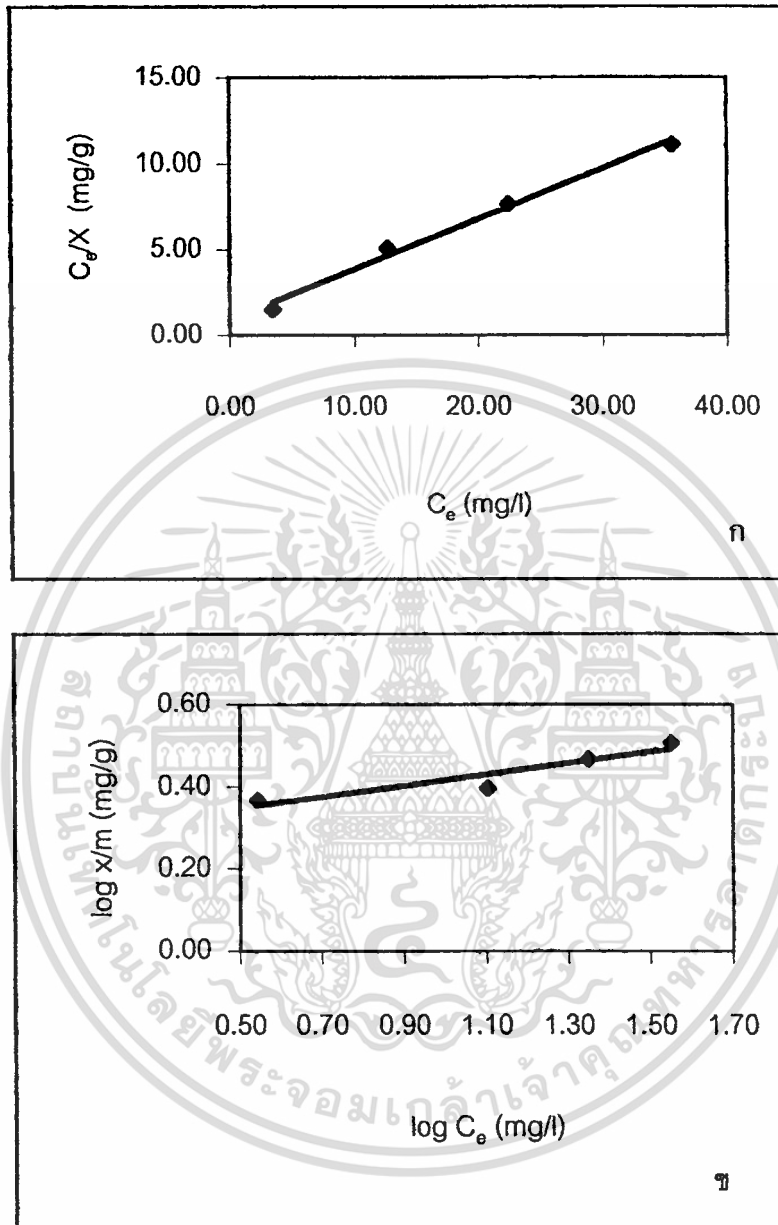
รูปที่ 4.27 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับฟีนอลด้วยซีเด้าแกลบดำ

ก. ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ ข. ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช

4.4.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับสรีแอคทีฟโพเรเนียนชมพู 8B

จากผลการทดลองการดูดซับสรีแอคทีฟโพเรเนียนชมพู 8B ในตารางผนวกที่ ข - 5 ในภาคผนวก ข ที่เวลาสัมผัส 180 นาที สามารถนำมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชได้ดังนี้ จากความสัมพันธ์สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ ดังแสดงในสมการ 4.13 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_e/X กับค่า C_e ได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.28 ก และจากความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับ

แบบพหุนดลิต ดังแสดงในสมการ 4.14 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log x/m$ กับค่า $\log C_e$ ได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.28 ข



รูปที่ 4.28 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับสรีแอคทีฟโพเรเซียนชมพู 8B ด้วยซีเถ้ากลบดำ
ก. ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ ข. ไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนดลิต

จากรูปที่ 4.28 ก และ 4.28 ข ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนดลิตในการดูดซับสรีแอคทีฟโพเรเซียนชมพู 8B ดังสมการ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ

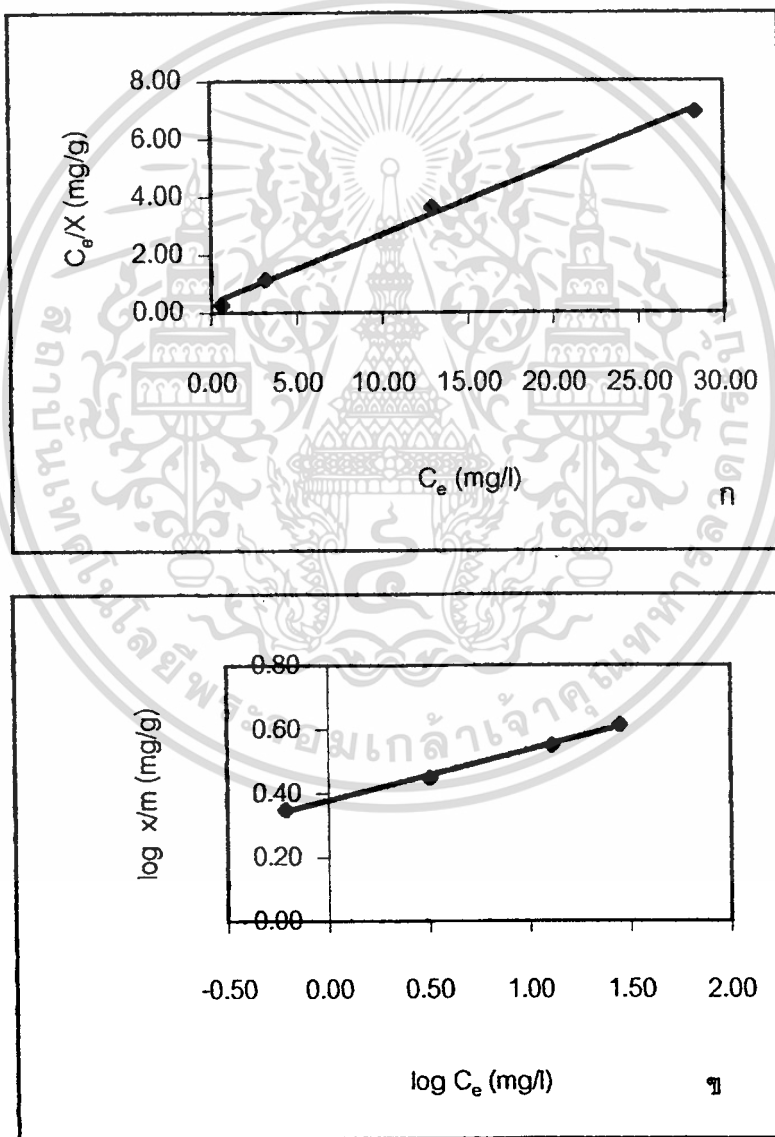
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{C_e}{X} = 0.2933 C_e + 0.8930 \quad (4.22)$$

$$\log \left(\frac{x}{m} \right) = 0.1364 \log C_e + 0.2792 \quad (4.23)$$

4.4.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับสรีรแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX

จากผลการทดลองการดูดซับสรีรแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX ในตารางผนวกที่ ๗ - 6 ในภาคผนวก ๗ สามารถนำมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชได้ดังนี้



รูปที่ 4.29 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับสรีรแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX ด้วยซี้แก้วกลบดำ

ก. ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์

ข. ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ ดังแสดงในสมการ

4.13 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_e/X กับค่า C_e ได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.29 ก และจากความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช ดังแสดงในสมการ 4.14 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log x/m$ กับค่า $\log C_e$ ได้กราฟเส้นตรงของไอโซเทอมการดูดซับสรีแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX ดังแสดงในรูปที่ 4.29 ข

จากรูปที่ 4.29 ก และ 4.29 ข ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชในการดูดซับสรีแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX ดังสมการ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ

$$\frac{C_e}{X} = 0.2367 C_e + 0.3244 \quad (4.24)$$

$$\log \left(\frac{x}{m} \right) = 0.1586 \log C_e + 0.3769 \quad (4.25)$$

4.4.4 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมผ้าไคเร็กซ์

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสีย้อมผ้าไคเร็กซ์ 2 โทนสี คือ สีไคเร็กซ์น้ำเงินและสีไคเร็กซ์เรด โดยใช้ผลการทดลองจากการแปรเปลี่ยนปริมาณที่เข้าแลกเปลี่ยนในช่วง 5 – 20 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้นของสีย้อมทั้ง 2 ชนิดเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาสัมผัส 120 นาที มาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ เนื่องจากที่เวลาสัมผัส 120 นาที สีไคเร็กซ์เข้าสู่สมดุลการดูดซับ

4.4.4.1 ไอโซเทอมการดูดซับสีไคเร็กซ์น้ำเงิน

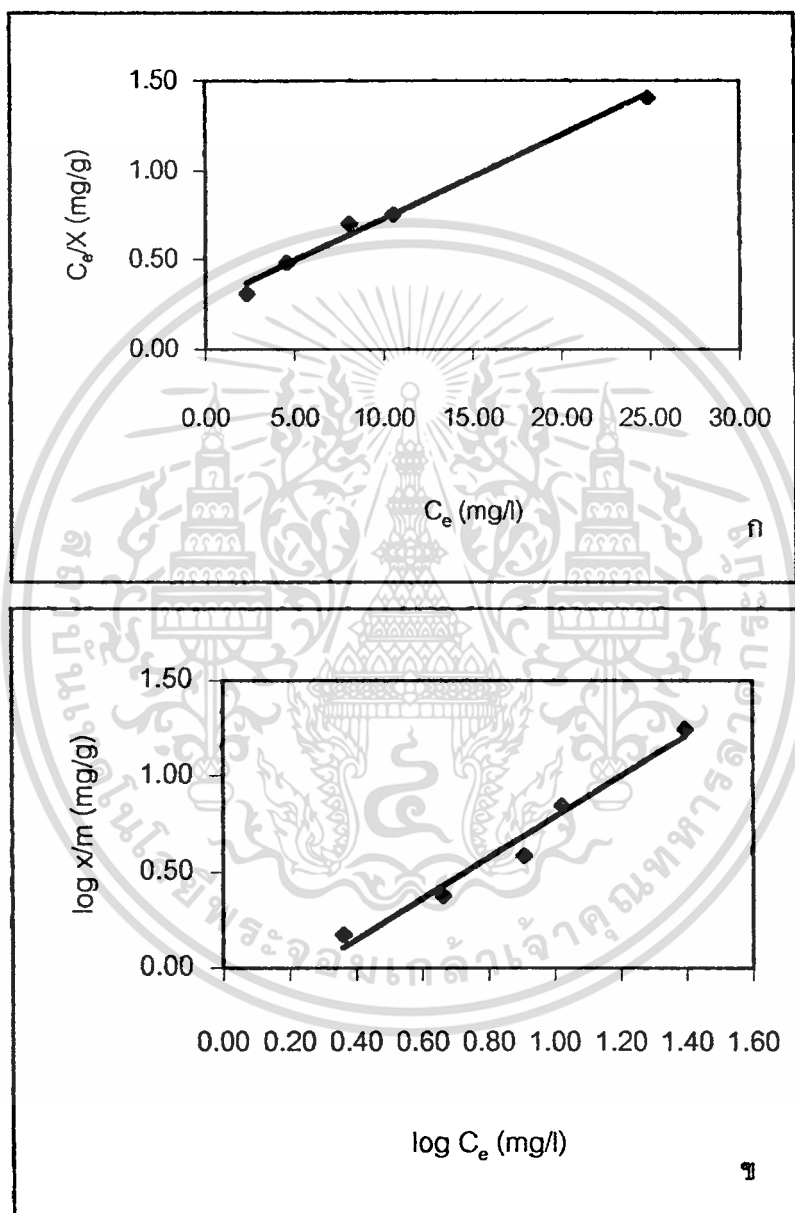
จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ข – 7 ในภาคผนวก ข สามารถนำมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชได้ดังนี้ จากความสัมพันธ์สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ ดังแสดงในสมการ 4.13 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_e/X กับค่า C_e ได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.30 ก และจากความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช ดังแสดงในสมการ 4.14 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log x/m$ กับค่า $\log C_e$ ได้กราฟเส้นตรงของไอโซเทอมการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.30 ข

จากรูปที่ 4.30 ก และ 4.30 ข ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชในการดูดซับสีไคเร็กซ์น้ำเงิน ดังสมการ 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{C_e}{X} = 0.0468 C_e + 0.2601 \quad (4.26)$$

$$\log \left(\frac{x}{m} \right) = 1.0615 \log C_e + -0.2789 \quad (4.27)$$



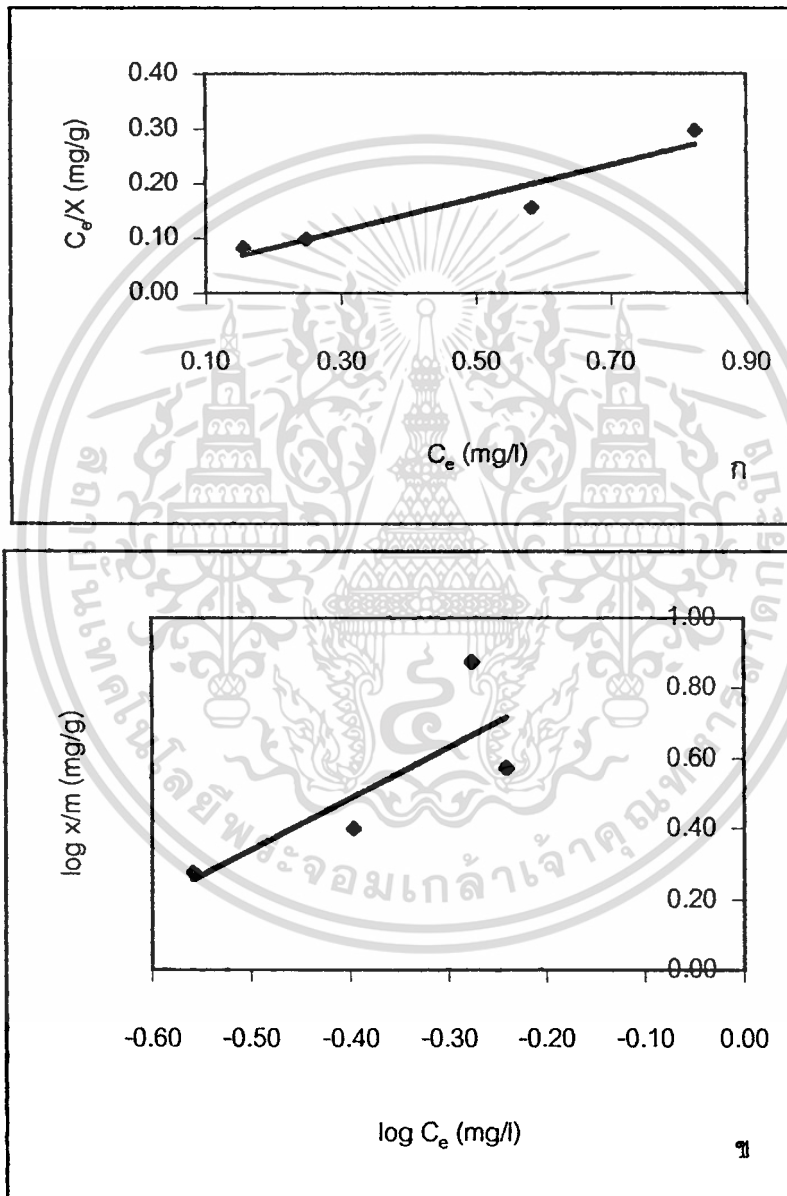
รูปที่ 4.30 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับสปีโดเร็กซ์น้ำเงินด้วยซีเถ้ากลบดำ

ก. ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ ข. ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช

4.4.4.2 ไอโซเทอมการดูดซับสปีโดเร็กซ์เรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลทดลองในตารางผนวกที่ ข-8 ในภาคผนวก ข สามารถนำมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์และไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชได้ดังนี้ จากความสัมพันธ์สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ ดังแสดงในสมการ 4.13 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_e/X กับค่า C_e ได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.31 ก และจากความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช ดังแสดงในสมการ 4.14 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log x/m$ กับค่า $\log C_e$ ได้กราฟเส้นตรงของไอโซเทอมการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.31 ข



รูปที่ 4.31 แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับสี่ไดเรกต์เรดด้วยซีเด้ากลบดำ

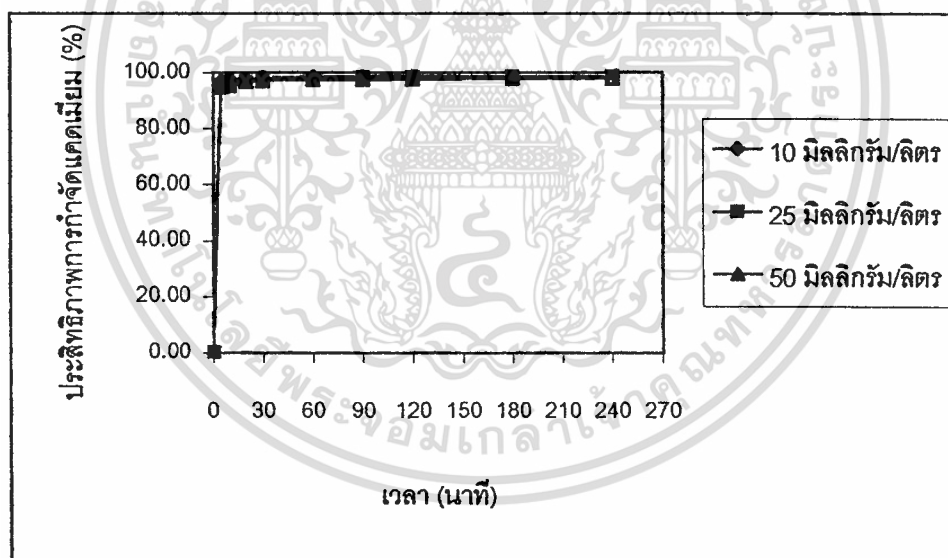
ก. ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์

ข. ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช

จากผลการทดลองดังตารางผนวกที่ ค – 1 ในภาคผนวก ค และในรูปที่ 4.32 พบว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดลดลง โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับตะกั่วเข้าสู่สมดุลใช้เวลา 20 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 94.31 สำหรับที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับตะกั่วเข้าสู่สมดุลใช้เวลา 30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 92.10 และที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับตะกั่วเข้าสู่สมดุลใช้เวลา 60 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 92.31

4.5.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม

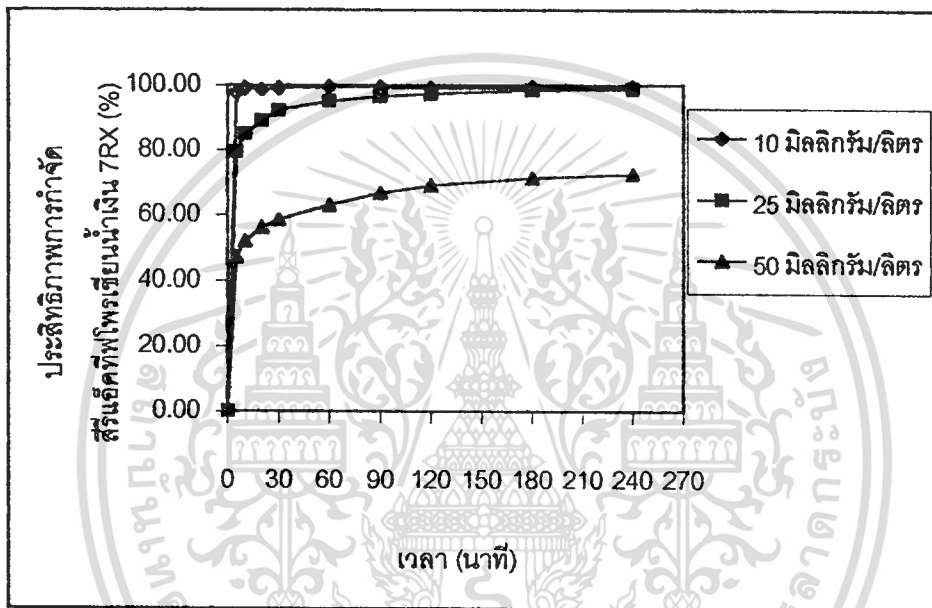
โดยทำการศึกษาที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียมเริ่มต้นเท่ากับ 3 จากผลการทดลองอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมของซีเถ้าแอลบด้า ดังแสดงในตารางผนวกที่ ค – 2 ในภาคผนวก ค สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมด้วยซีเถ้าแอลบด้าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ค – 2 ในภาคผนวก ค และรูปที่ 4.33 พบว่า ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมไม่แตกต่างกัน โดยการดูดซับแคดเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่สมดุลที่เวลาสัมผัส 30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 98.13 สำหรับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับสรีรแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX จะเข้าสู่สมดุลที่เวลาสัมผัส 30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.12 และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับจะเข้าสู่สมดุลที่เวลาสัมผัส 180 นาที โดยประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 98.56 สำหรับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับสรีรแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น แต่ลักษณะการเพิ่มเป็นการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และที่เวลาสัมผัส 240 นาที ซึ่งเป็นเวลาสุดท้ายที่สังเกตการดูดซับ ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 74.49



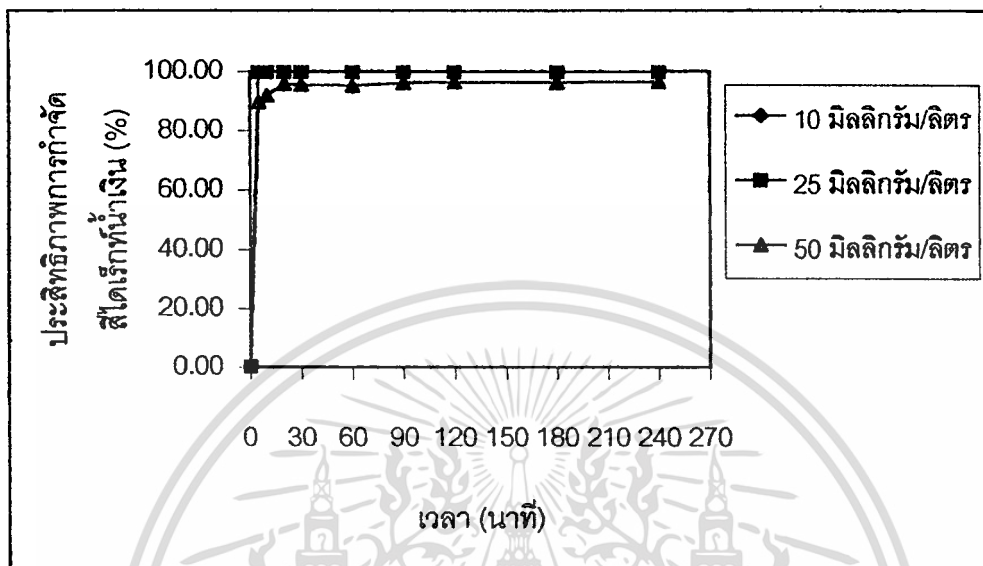
รูปที่ 4.37 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสรีรแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX ด้วยซีเถ้ากลบดำที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสรีรแอคทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.5.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้าไดเร็กซ์

ในการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กซ์ทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์สีไดเร็กซ์ 2 ชนิด ได้แก่ สีไดเร็กซ์น้ำเงินและสีไดเร็กซ์เรด โดยทำการทดลองที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสีไดเร็กซ์ทั้ง 2 ชนิด เท่ากับ 2 ปริมาณซีเถ้ากลบดำที่ใช้ดูดซับเท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร

4.5.4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้าไดเร็กซ์น้ำเงิน

จากผลการทดลองอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสียูเรทรีทน้ำเงิน ดังแสดงในตารางผนวกที่ ค – 7 ในภาคผนวก ค สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.38



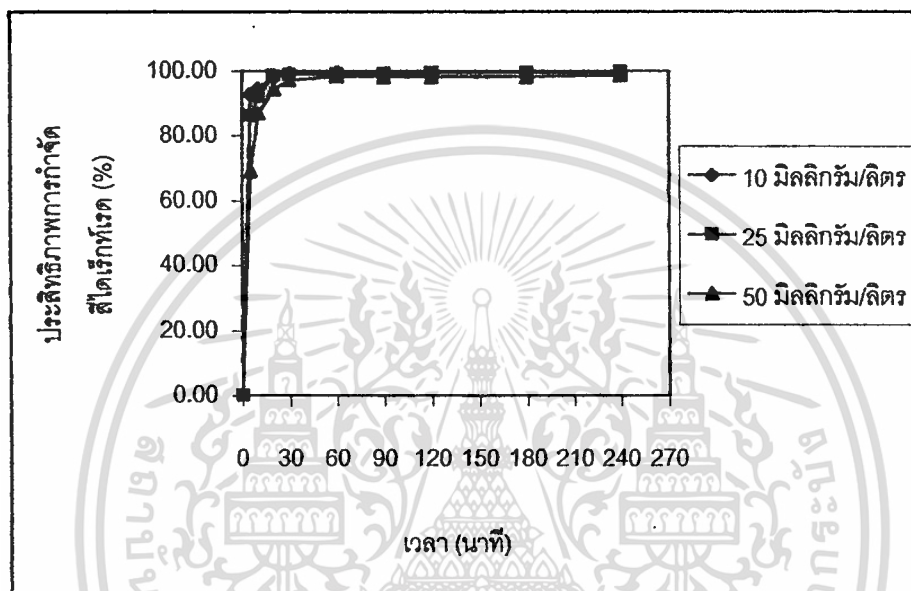
รูปที่ 4.38 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสียูเรทรีทน้ำเงินด้วยซีเถ้าแอลบด้าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสียูเรทรีทน้ำเงิน 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ค – 7 ในภาคผนวก ค และรูปที่ 4.38 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสียูเรทรีทน้ำเงินลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้น โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับสียูเรทรีทน้ำเงินของซีเถ้าแอลบด้าจะถึงสมดุลที่เวลาสัมผัส 10 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.98 สำหรับที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับสียูเรทรีทน้ำเงินของซีเถ้าแอลบด้าถึงสมดุลที่เวลาสัมผัส 20 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.84 และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับสียูเรทรีทน้ำเงินของซีเถ้าแอลบด้าจะถึงสมดุลที่เวลาสัมผัส 90 นาที โดยประสิทธิภาพการกำจัดที่สมดุลการดูดซับเท่ากับร้อยละ 96.01

4.5.4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสียูเรทรีทเรด

จากผลการทดลองอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสียูเรทรีทเรดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของซีเถ้าแอลบด้า ดังแสดงในตารางผนวกที่ ค – 8 ในภาคผนวก ค สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.39

จากผลการทดลองในตารางที่ ค – 8 ในภาคผนวก ค และรูปที่ 4.39 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกต์เรดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดมากนัก โดยพบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับสีไดเรกต์เรดของซีเถ้ากลบดำถึงสมดุลภายในเวลา 30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.30 สำหรับที่ความเข้มข้น 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.09 และ 98.28 ตามลำดับ



รูปที่ 4.39 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกต์เรดด้วยซีเถ้ากลบดำที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเรกต์เรด 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

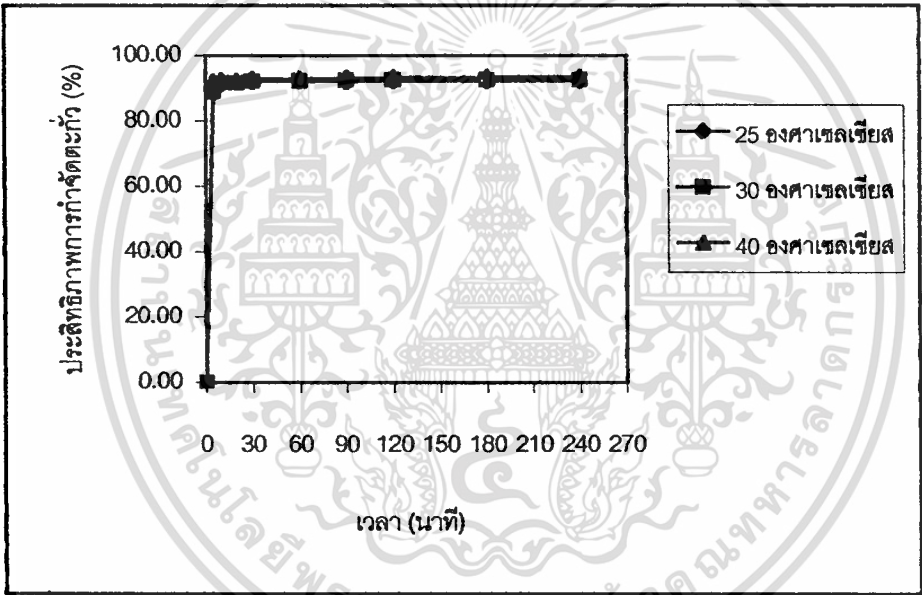
จากการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า พบว่าเมื่อค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้นเวลาสัมผัสที่การดูดซับเข้าสู่สมดุลจะเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัดลดลง ยกเว้นตะกั่ว แคดเมียมและสีไดเรกต์เรดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกละลายไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการดูดซับสารทั้งสามชนิดนี้มีการตกตะกอนเกิดร่วมด้วย ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อการศึกษาค่าพีเอชของสารละลายสำหรับสาเหตุที่ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นนั้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่ำปริมาณของพื้นที่ที่ใช้ในการดูดซับมีมาก เมื่อเทียบกับปริมาณของตัวถูกละลายในสารละลาย แต่เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกละลายในสารละลายเพิ่มขึ้น อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ที่ใช้ในการดูดซับกับปริมาณของตัวถูกละลายในสารละลายน้อยลง เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง

4.6 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าด้วยซีเถ้าแกลบดำ

4.6.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก

4.6.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว

โดยทำการทดลองที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วเท่ากับ 3 และความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ง – 1 ในภาคผนวก ง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.40



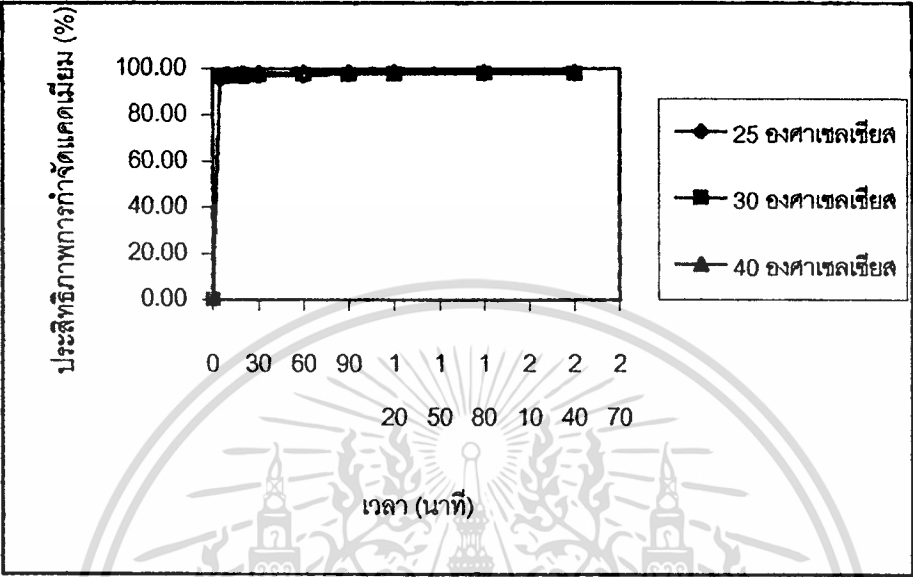
รูปที่ 4.40 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วยซีเถ้าแกลบดำที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ง – 1 ในภาคผนวก ง และรูปที่ 4.40 พบว่า อุณหภูมิของสารละลายมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเล็กน้อยมาก ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟ ในรูปที่ 4.40 ที่เกือบจะซ้อนทับกันสนิทตั้งแต่เวลาสัมผัส 10 นาที จนถึงเวลาสัมผัส 240 นาที โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 92

4.6.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์แคว้นเมี่ยมเท่ากับ 3 และความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ง – 2 ในภาคผนวก ง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.41



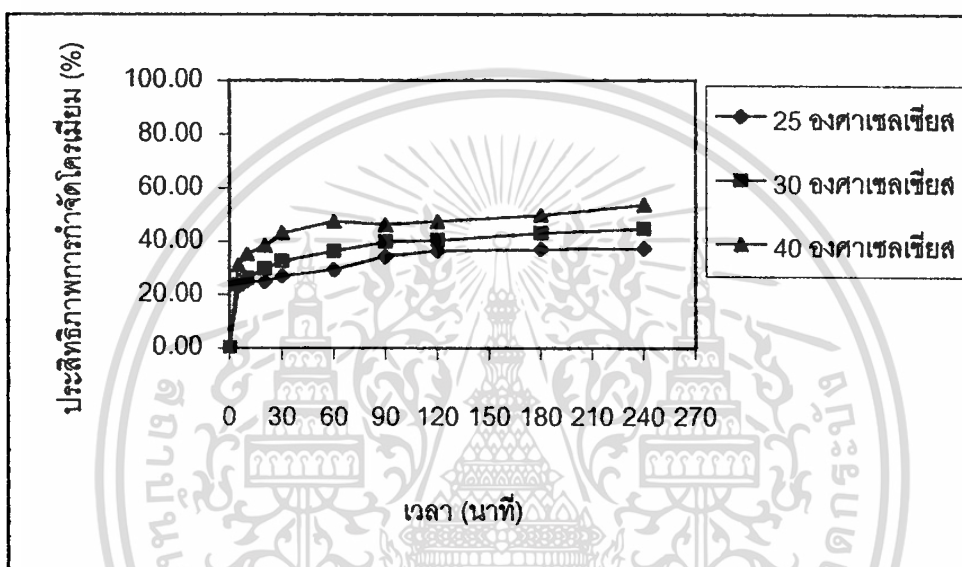
รูปที่ 4.41 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดแคว้นเมี่ยมด้วยซีเถ้ากลบดำที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ง – 2 ในภาคผนวก ง และรูปที่ 4.41 พบว่า อุณหภูมิของสารละลายมีผลต่อการดูดซับแคว้นเมี่ยมดังนี้ โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการดูดซับแคว้นเมี่ยมเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส การดูดซับแคว้นเมี่ยมเข้าสู่สมดุลใช้เวลา 60 นาที โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 97.01 สำหรับที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30 และ 40 องศาเซลเซียส การดูดซับแคว้นเมี่ยมเข้าสู่สมดุลใช้เวลา 30 และ 20 นาที ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 97.30 และ 98.12 ตามลำดับ

4.6.1.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม

ทำการทดลองที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมเท่ากับ 2 และความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ง – 3 ในภาคผนวก ง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.42

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ง – 3 ในภาคผนวก ง และรูปที่ 4.42 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมของซีไธ้เก่ากลับดำเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยพบว่าการดูดซับโครเมียมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น แต่เป็นลักษณะการเพิ่มขึ้น เพียงเล็กน้อย มีแนวโน้มที่จะเข้าสู่สมดุลโดยที่เวลาสัมผัส 180 นาที โดยที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 41.73 สำหรับที่ อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30 และ 40 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 43.09 และ 43.50 ตามลำดับ



รูปที่ 4.42 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมด้วยซีไธ้เก่ากลับดำที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

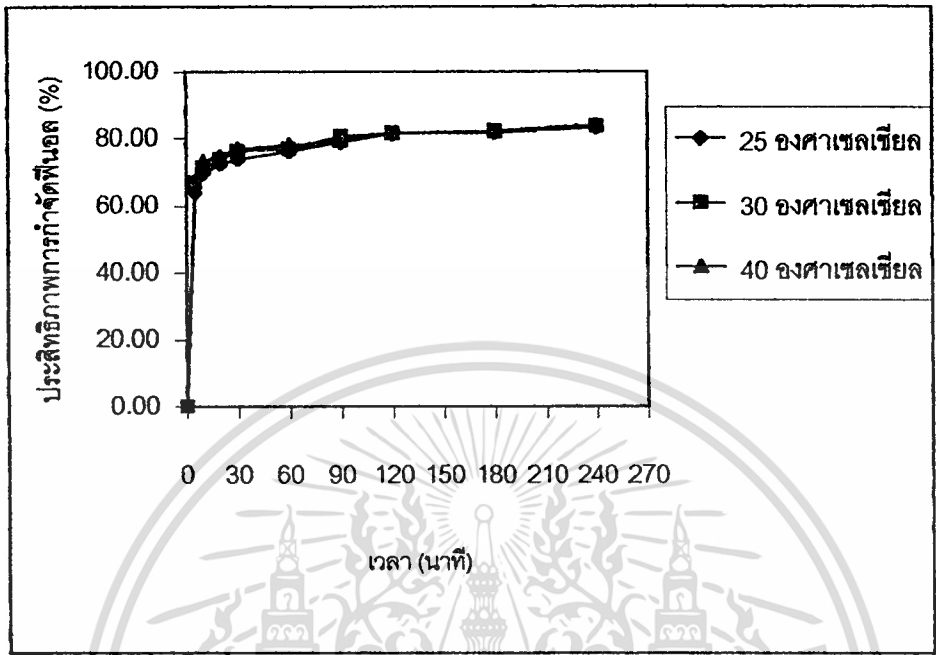
4.6.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอล

ทำการทดลองที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ฟีนอลเท่ากับ 2 และความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ง – 4 ในภาคผนวก ง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.43

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ง – 4 ในภาคผนวก ง และรูปที่ 4.43 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลเพิ่มขึ้น และพบว่าทุกอุณหภูมิประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลของซีไธ้เก่ากลับดำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น และที่เวลาสัมผัส 180 นาที การดูดซับเข้าสู่สมดุล โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียสเท่ากับร้อยละ 81.80 82.27 และ 82.20 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้อง

กับการทดลองของ Tutem et al. (1998) ที่ได้ศึกษาการกำจัดคลอโรฟีนอลด้วย bittuminous เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

shale โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 25 35 45 55 และ 65 องศาเซลเซียส พบว่าการดูดซับเป็นแบบดูดความร้อน โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.43 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลด้วยซีเถ้าแกลบดำที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

4.6.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ

โดยทำการศึกษากับสีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟ 2 ชนิด ได้แก่ สีรีแอ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B และ สีรีแอ็คทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอ็คทีฟเท่ากับ 2 และความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

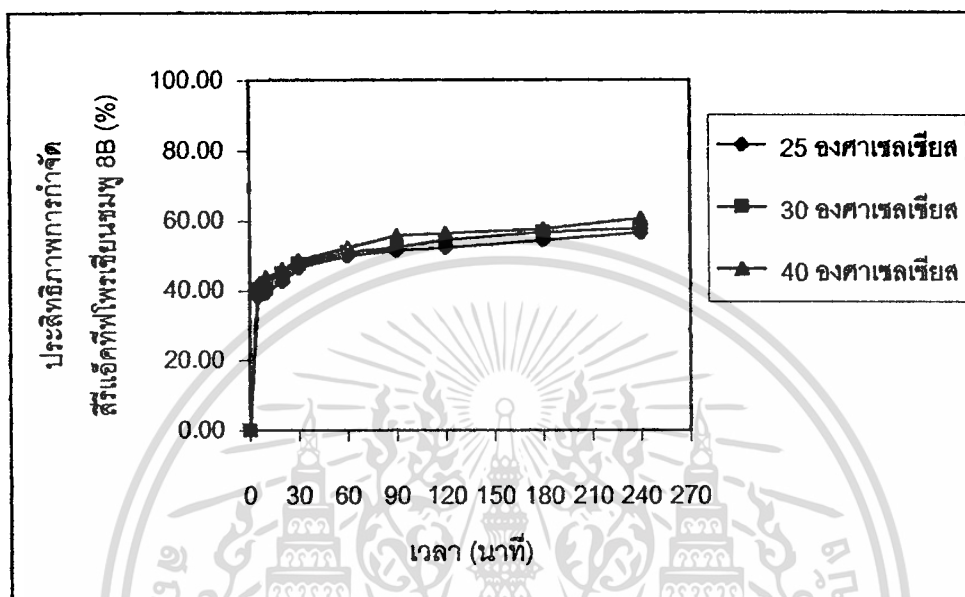
4.6.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ง – 5 ในภาคผนวก ง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.44

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ง – 5 ในภาคผนวก ง และรูปที่ 4.44 พบว่า อุณหภูมิของสารละลายมีผลต่อการดูดซับสีรีแอ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B ดังนี้ โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

และพบว่า การดูดซับสีรีแอ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไป และพบว่า การดูดซับสีรีแอ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไป

สัมผัสเพิ่มขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟที่ยังคงมีความชันเพิ่มขึ้น แต่ลักษณะการเพิ่มขึ้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยที่เวลาสัมผัส 180 นาที ซึ่งการดูดซับเริ่มคงที่ ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟโพเรเซียนชมพู 8B เท่ากับร้อยละ 54.32 56.63 และ 57.58 ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

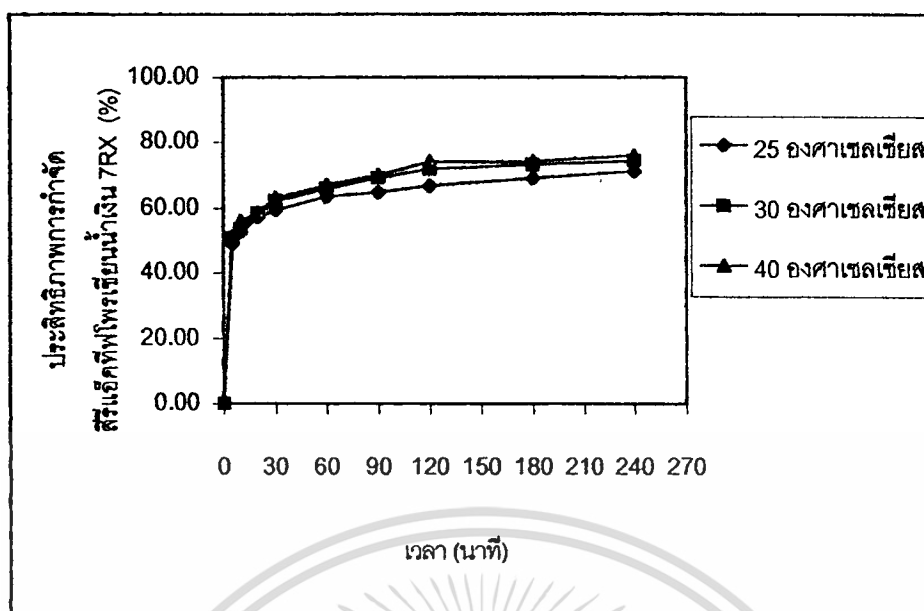


รูปที่ 4.44 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟโพเรเซียนชมพู 8B ด้วยขี้เถ้าแกลบดำที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

4.6.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ง - 6 ในภาคผนวก ง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.45

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ง - 6 ในภาคผนวก ง และรูปที่ 4.45 พบว่า อุณหภูมิของสารละลายมีผลต่อการดูดซับสีรีแอกทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX ดังนี้ โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟโพเรเซียนน้ำเงิน 7RX เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟที่ยังคงมีความชันเพิ่มขึ้น แต่ลักษณะการเพิ่มขึ้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และที่เวลาสัมผัส 180 นาที การดูดซับเข้าสู่สมดุล โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 69.05 73.30 และ 74.19 ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.45 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสรีรเอ็กส์แทร็กต์ที่ฟิโรว์เชียนน้ำเงิน 7RX ด้วยซีเถ้าเกลบดำที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

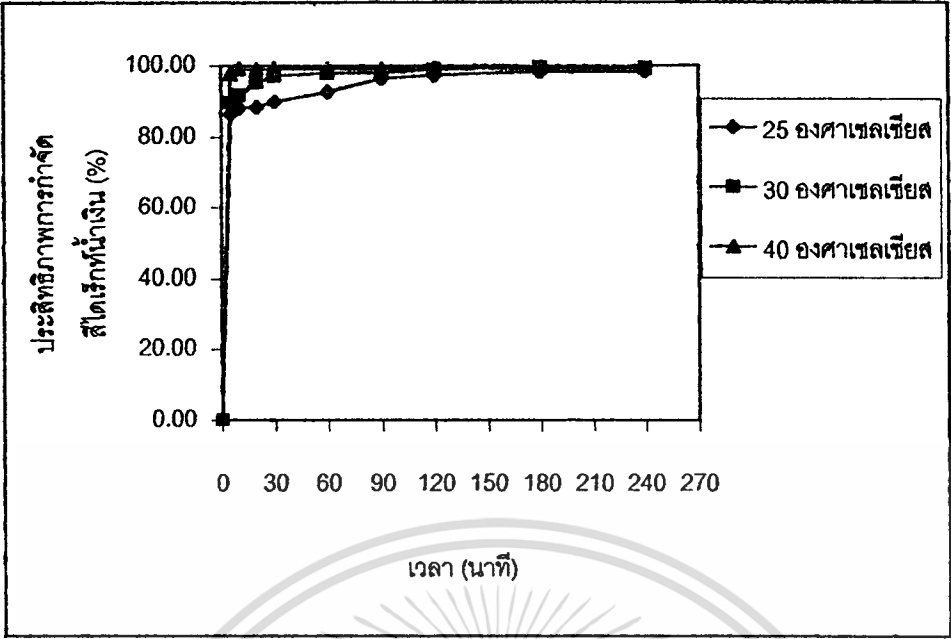
4.6.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าไโดเร็กท์

โดยทำการศึกษากับสีย้อมผ้าไโดเร็กท์ 2 ชนิด ได้แก่ สีย้อมผ้าสีน้ำเงิน และสีย้อมผ้าสีแดง ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมผ้าไโดเร็กท์เท่ากับ 2 และความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6.4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อผลประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าสีน้ำเงิน

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ง - 7 ในภาคผนวก ง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.46

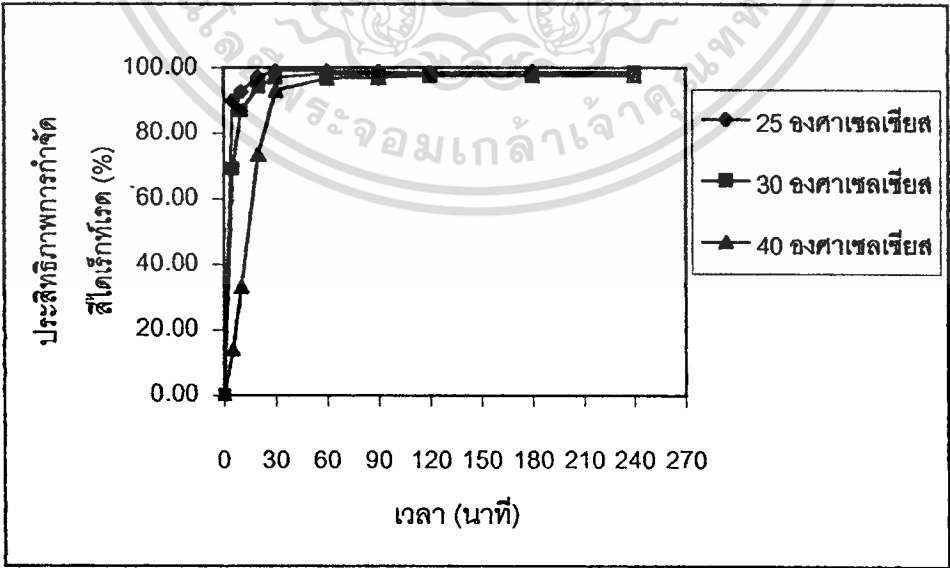
จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ง - 7 ในภาคผนวก ง และรูปที่ 4.46 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมผ้าสีน้ำเงิน มีแนวโน้มเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการกำจัดสรีรเอ็กส์แทร็กต์ที่ฟิโรว์เชียนน้ำเงิน กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น โดยพบว่าการดูดซับสีย้อมผ้าสีน้ำเงินเข้าสู่สมดุลที่เวลาสัมผัส 120 นาที โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 93.99 ในขณะที่ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มเป็นร้อยละ 96.35 และ 97.24 ตามลำดับ



รูปที่ 4.46 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเร็ทน้ำเงินด้วยซีเถ้าแกลบดำที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

4.6.4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อผลประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเร็ทเรด

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ง – 8 ในภาคผนวก ง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเร็ทเรดด้วยซีเถ้าแกลบดำที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ง-8 ในภาคผนวก ง และรูปที่ 4.47 พบว่า แนวโน้มประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกต์เรดแตกต่างกันไปจากสีไดเรกต์น้ำเงิน กล่าวคือ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกต์เรดลดลงเมื่ออุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้น โดยพบว่าที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส เวลาสัมผัส 5 และ 10 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดต่ำเพียงร้อยละ 13.98 และ 32.95 ตามลำดับ และสมมูลการดูดซับอยู่ที่ 90 นาที โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดที่จุดสมมูลเท่ากับร้อยละ 97.04 ส่วนที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 25 และ 30 องศาเซลเซียส สมมูลการดูดซับอยู่ที่เวลาสัมผัส 90 นาที โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดที่จุดสมมูลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 98.88 และ 98.27 ตามลำดับ สำหรับการดูดซับสีไดเรกต์เรดที่อุณหภูมิสูงมีค่าต่ำกว่าอาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิสูงการละลายของสารจะละลายได้ดี เป็นผลให้การสร้างคอลลอยด์ของสีไดเรกต์เรดเกิดขึ้นได้น้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกต์เรดลดลง

สำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล สีย้อมผ้ารีแอคทีฟ และสีย้อมผ้าไดเรกต์น้ำเงินด้วยซีเถ้าแอลบดดำ สามารถอธิบายได้ดังนี้ พบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นแสดงว่ากระบวนการดูดซับเป็นแบบดูดความร้อน ซึ่งจะสังเกตความแตกต่างเห็นได้ชัดช่วง 5 - 30 นาทีแรก เมื่อการดูดซับเข้าสู่สมมูล ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟที่เข้าใกล้และ/หรือซ้อนทับกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ McKay *et al.* (1985) ที่ได้อธิบายถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมผ้า Astrazone blue ด้วย fuller 's earth ไว้ว่าที่อุณหภูมิของสารละลายแตกต่างกัน การดูดซับสีย้อมผ้า Astrazone blue จะแตกต่างกันในช่วง 30 นาทีแรก จากนั้นเส้นกราฟการดูดซับจะใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงอัตราการดูดซับจะเกิดเร็ว เนื่องจากการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายจากสารละลายภายนอกเข้าหาสารดูดซับเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น และฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบสารดูดซับมีความหนาลดลง

4.7 การศึกษาการชะละลายออกจากผิวของซีเถ้าแอลบดดำของโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า

การศึกษาการชะละลายออกจากผิวของซีเถ้าแอลบดดำของโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า ทำการทดลองโดยนำกากตะกอนของซีเถ้าแอลบดดำที่ผ่านการดูดซับโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าจากการทดลองการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า ในหัวข้อ 4.5.1 4.5.2 4.5.3 และ 4.5.4 ตามลำดับ ที่เวลาสัมผัส 120 นาที มาใช้ในการทดสอบผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณโลหะหนัก ฟีนอลและสีย้อมผ้าที่ถูกชะละลายออกจากผิวของซีढ़้าแกลบดำ

ชนิดของกาก ตะกอน	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณที่ถูกชะละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ กรมโรงงานอุตสาหกรรม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ตะกั่ว	10	0.450	ไม่มากกว่า 5
	25	0.511	
	50	0.610	
แคดเมียม	10	0.057	ไม่มากกว่า 1
	25	0.071	
	50	0.087	
โครเมียม	10	0.334	ไม่มากกว่า 5
	25	0.408	
	50	0.475	
ฟีนอล	1	0.151	-
	5	0.182	
	10	0.346	
สีย้อมฟิโพร เขียนชมพู 8B	10	1.397	-
	25	1.892	
	50	1.592	
สีย้อมฟิโพร เขียนน้ำเงิน 7RX	10	1.250	-
	25	3.543	
	50	5.149	
สีย้อมเร็กทีน้ำเงิน	10	0.293	-
	25	1.131	
	50	6.215	
สีย้อมเร็กทีเรด	10	1.096	-
	25	2.131	
	50	20.47	

จากการทดลองในตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณสารมลพิษที่ถูกชะละลายออกมาจากผิวของซีढ़้าแกลบดำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่ถูกดูดซับ โดยพบว่าปริมาณการชะละลายสาร
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มลพิษออกจากพื้นผิวสารดูดซับมีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่ถูกดูดซับ จากตารางที่ 4.4 ตะกั่วแคดเมียม และโครเมียมมีการชะละลายออกมาไม่เกินค่าเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษกรมโรงงานอุตสาหกรรมทุกความเข้มข้นเริ่มต้น สำหรับสีย้อมผ้ามีแนวโน้มที่จะถูกชะละลายออกจากผิวซีเมนต์แกลบดำสูง โดยเฉพาะสีไดเรกต์เรด พบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ถูกชะละลายออกจากผิวซีเมนต์แกลบดำถึง 20.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงไม่ได้มีเพียงกระบวนการดูดซับแต่มีการตกตะกอนของสีไดเรกต์เรดร่วมด้วย เมื่อชะละลายด้วยสารละลายที่มีค่าพีเอชสูงจึงเกิดการละลายออกมาสู่สารละลาย

4.8 ผลการศึกษาการทดลองกับน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรม

ผลการทดลองการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าออกจากน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยซีเมนต์แกลบดำ แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดของซีเมนต์แกลบดำกับน้ำทิ้งจริงจากโรงงานอุตสาหกรรม

ชนิดของอุตสาหกรรม	พารามิเตอร์	ลักษณะของน้ำเสียก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ปริมาณซีเมนต์แกลบดำที่ใช้ (กรัมต่อลิตร)
		ค่าพีเอช	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
ชุบโครเมียม	โครเมียม	3.14	66.66	30.53	54.20	20
ชุบโลหะ	ตะกั่ว	2.03	1.805	0.067	96.29	5
ชุบโลหะ	แคดเมียม	2.13	19.82	1.036	94.77	10
ผลิตแบตเตอรี่	ตะกั่ว	2.53	20.52	0.516	97.48	5
ฟอกย้อม	สีรีแอคทีฟโทนสีชมพู	8.42	2.368	0.203	91.44	10
ฟอกย้อม	สีรีแอคทีฟโทนสีน้ำเงิน	8.36	18.69	4.086	78.14	10
ฟอกย้อม	ไดเรกต์น้ำเงิน	4.10	32.42	8.703	73.15	10
ฟอกย้อม	ไดเรกต์เรด	4.38	13.76	4.172	69.69	10
ผลิตเครื่องสำอางค์	ฟีนอล	-	0.933	0.038	95.89	5
ผลิตเรซิน	ฟีนอล	-	0.345	0.002	99.51	5

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม (VI)) ฟีนอล และสีย้อมผ้า 2 ชนิด (สีย้อมฟิโพรเชียน 2 โทนส์ และสีย้อมไคเร็กซ์ 2 โทนส์) ด้วยซีเถ้าแอลบด้า โดยให้เทคนิคการทดลองการดูดซับแบบแบทช์ โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ค่าพีเอช ปริมาณซีเถ้าแอลบด้า เวลาสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกละลาย และอุณหภูมิของสารละลาย ซึ่งสามารถสรุปผลต่างๆได้ดังนี้

จากผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชของสารละลายในการกำจัดโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม โดยได้ทำการศึกษาที่ค่าพีเอชของสารละลายของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักในช่วง 1 – 5 พบว่าค่าพีเอชที่ซีเถ้าแอลบด้าสามารถกำจัดตะกั่วและแคดเมียมได้สูงคือ ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นในช่วง 3 – 5 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเกือบร้อยละ 100 สำหรับการกำจัดโครเมียมพบว่าค่าพีเอชที่สามารถกำจัดโครเมียมได้สูงคือ ที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 1 และ 2 โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 59 และ 70 ตามลำดับ สำหรับผลการทดลองการกำจัดฟีนอลในช่วงพีเอช 1 – 7 พบว่าสามารถกำจัดฟีนอลได้สูง ที่ค่าพีเอชของสารละลายฟีนอลเริ่มต้นเท่ากับ 1 และ 2 โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 92 และ 88 ตามลำดับ ส่วนการกำจัดสีย้อมฟิโพรเชียนและสีย้อมไคเร็กซ์ด้วยซีเถ้าแอลบด้าในช่วงค่าพีเอชของสารละลาย 1 – 12 พบว่าสามารถกำจัดสีย้อมฟิโพรเชียนและสีย้อมไคเร็กซ์ได้สูงที่ค่าพีเอชของสารละลายเริ่มต้นเท่ากับ 1 และ 2 โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมผ้าทั้งสองชนิดเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมฟิโพรเชียนชมพู 8B ร้อยละ 99.07 และ 97.49 สีย้อมฟิโพรเชียนน้ำเงิน 7RX ร้อยละ 99.30 และ 95.29 สีย้อมไคเร็กซ์น้ำเงินร้อยละ 99.80 และ 99.78 และ สีย้อมไคเร็กซ์เรดร้อยละ 99.69 และ 99.38 ตามลำดับ

สำหรับอิทธิพลของปริมาณซีเถ้าแอลบด้า โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับโลหะหนัก และสีย้อมผ้า ส่วนฟีนอลทำการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการเพิ่มปริมาณซีเถ้าแอลบด้าในช่วง 5 – 20 กรัมต่อลิตร มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วไม่มากนัก (ประสิทธิภาพการกำจัดที่จุดสมดุลอยู่ในช่วงร้อยละ 92-99) ส่วนแคดเมียมการเพิ่มปริมาณซีเถ้าแอลบด้าในช่วง 10 - 20 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม (ประสิทธิภาพการกำจัดที่จุดสมดุลอยู่ในช่วงร้อยละ 96-97) ทั้งนี้

เนื่องจากการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมทำการทดลองที่พีเอช 3 ซึ่งในช่วงพีเอชของสารละลายเริ่มแรกไม่ต่ำกว่า 3 ถึงแม้ว่ากรณีนี้อย่างไรก็ตาม ก็ยังจำเป็นต้องมีการนำเอาข้อมูลที่ได้มาพิจารณาถึงข้อดีข้อเสียของวิธีการบำบัดน้ำเสีย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นเท่ากับ 3 - 5 พบว่าเมื่อเติมซีเถ้ากลับดำลงไป 5 - 10 กรัมต่อลิตร ที่เอชของสารละลายเพิ่มขึ้นไปถึงค่าพีเอชที่ตะกั่วและแคดเมียมมีการตกตะกอน การกำจัดตะกั่วและแคดเมียมในช่วงที่เอชดังกล่าวจึงมีทั้งการดูดซับและการตกตะกอนเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ การเพิ่มปริมาณซีเถ้ากลับดำจึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดมากนัก สำหรับโครเมียม สิริแอคทีฟ และซีไคเร็กซ์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีเถ้ากลับดำช่วง 5 - 20 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดที่จุดสมดุลเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการกำจัดของโครเมียมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30 ถึง 57 สิริแอคทีฟโพเรเนียนชมพู 8B เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 31 ถึง 93 สิริแอคทีฟโพเรเนียนน้ำเงิน 7RX เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 41 ถึง 98 ตามลำดับ ส่วนซีไคเร็กซ์การเพิ่มปริมาณซีเถ้ากลับดำที่ 20 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดอีกต่อไป เนื่องจากพบว่าที่ปริมาณซีเถ้ากลับดำ 15 กรัมต่อลิตร ภายในเวลาสัมผัส 30 นาที สามารถกำจัดซีไคเร็กซ์ได้เกือบร้อยละ 100 (มากกว่าร้อยละ 99) สำหรับฟีนอลพบว่าการเพิ่มปริมาณซีเถ้ากลับดำในช่วง 2 - 15 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลเพิ่มขึ้นจาก 53 ถึง 99 %

ส่วนอิทธิพลของเวลาสัมผัสพบว่าเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากระบวนการกำจัดของซีเถ้ากลับดำจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 5 นาที จากนั้นจะค่อยเพิ่มขึ้นจนถึงที่จุดสมดุล ซึ่งจากการทดลองพบว่าเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วและซีไคเร็กซ์ ใช้เวลาประมาณ 30 นาที สามารถกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และ ซีไคเร็กซ์เรดได้เกือบร้อยละ 100 ส่วนโครเมียม ฟีนอล และสีย้อมผ้ารีแอคทีฟ เวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดประมาณ 120 - 180 นาที (ในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกละลาย 10 - 50 มิลลิกรัมต่อลิตร) สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกละลาย พบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดลดลง และอิทธิพลของอุณหภูมิพบว่ากระบวนการดูดซับตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม ฟีนอล สิริแอคทีฟ และซีไคเร็กซ์น้ำเงินเป็นแบบดูดความร้อน โดยพบว่าที่อุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ในช่วง 5 - 30 นาทีแรก สำหรับซีไคเร็กซ์เรดพบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นการดูดซับลดลง แสดงว่ากระบวนการดูดซับเป็นแบบคายความร้อน และจากการทดสอบการชะละลายออกจากผิวของซีเถ้ากลับดำ พบว่าสีย้อมผ้าถูกละลายออกจากผิวซีเถ้ากลับดำสูงกว่าโลหะหนัก และฟีนอล โดยพบว่าตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียมถูกละลายออกจากผิวซีเถ้ากลับดำอยู่ในช่วง 0.06 - 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการชะละลายสารมีพิษที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ (ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ผลการศึกษาเบื้องต้นในครั้งนี้สามารถนำมาศึกษาการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าโดยใช้เทคนิคการทดลองแบบต่อเนื่องได้
2. กากตะกอนที่ได้อาจนำมาใช้ผ่านการดูดซับสารมลพิษจัดอยู่ในข่ายเป็นของเสียอันตรายชนิดหนึ่ง ซึ่งควรจะต้องมีการนำไปทำลายฤทธิ์ต่อไป โดยสามารถนำไปเผาในเตาเผาขยะและนำเถ้าที่ได้จากการเผามาเป็นส่วนผสมในการทำซีเมนต์ดังที่มีการวิจัยการใช้เถ้าแกลบขาวและเถ้าแกลบดำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำซีเมนต์ (บุรฉัตร ฉัตรวีระและ ทวีศักดิ์ คงทรัพย์. 2545) หรือทำลายฤทธิ์โดยใช้กระบวนการทำให้เป็นก้อน (solidification) โดยของเสียประเภทสัณ้หรือฝุ่นที่มีแคลเซียม ตะกั่ว และโครเมียม ปนอยู่ ทำลายฤทธิ์โดยใช้ปูนขาวหรือสารละลายไฮดรอกไซด์ที่มีค่าพีเอชประมาณ 11 จากนั้นปล่อยให้แห้ง หรือทำให้เป็นก้อนโดยใช้ซีเมนต์เพื่อยึดสารต่างๆไว้ไม่ให้แสดงคุณสมบัติทางเคมีออกมาได้ก่อนที่จะนำไปฝังกลบให้ถูกต้องตามหลักวิชาการต่อไป



บรรณานุกรม

- กาญจนา คลองธรรมชาติ. 2536. "การกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารโพสโบลูมิเนียมคลอไรด์." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์. 2539. "การกำจัดโลหะหนักในน้ำโดยใช้ซีเมนต์ลอย." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชุติมา เสพธรรม. 2543. "การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยถ่านลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2527. "การกำจัดสีน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าโดยวิธีแมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรทเบสิด (MCHB)." เล่มที่ 3. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลและสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุรฉัตร จัตรวีระ และ ทวีศักดิ์ คงทรัพย์. 2545. "ความคงทนของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว." วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 25(4) : 373-389.
- ไมตรี สุทธจิตต์. 2534. สารพิษรอบตัวเรา. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่ : ดาวคอมพิวกราฟิค : หน้า 64 - 102
- ลี้ โกศัยยานนท์. ม.ป.ป. คู่มือวิชาการสิ่งทอ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ : หน้า 242 - 255.
- โสมณ เรืองสำราญ และคณะ. 2540. "การผลิตซิลิกาเจลดูดความชื้นจากซีเมนต์แกลบ." สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สรุณี วัชรนันท์. 2542. "ประสิทธิภาพของระบบทรายกรองและเถ้าแกลบดำในการกำจัดสารลดแรงตึงผิว ฟอสเฟต และสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากกิจการซักย้อมผ้า." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สุนทรี สุภาภรณ์. 2542. "การลดปริมาณแมงกานีสในน้ำสังเคราะห์โดยการกรองด้วยเถ้าแกลบดำ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.

- อริชัย นพแก้ว. 2539. "การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อกักเก็บ." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิชาติ หิรัญจิตต์. 2539. "การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าด้วยกระบวนการดูดซับและโคแอกูเลชัน." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อัจฉรา ดวงเดือน. 2546. "การกำจัดตะกั่วโดยใช้เถ้าแกลบดำ." วิศวกรรมสาร มก. 48 : 10 - 17.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2531. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 เรื่องหน้าที่ของผู้ได้รับอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2542. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม : หน้า 5-3 - 5-26.
- Akhmetov, N. S. 1983. General and Inorganic Chemistry. Moscow : Mir : p 18.
- AL-Degs, Y., Khraisheh, M. A. M., Allen, S. J. Ahmad, M. N. 2000. "Effect of Carbon Surface Chemistry on the Removal of Reactive Dyes from Textile Effluent." Wat. Res. 34(3) : 927 – 935.
- APHA, AWWA, WPCF. 1995. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. : pp 3-1 – 3-17 ; pp 5-36 – 5-39.
- Basibuyuk, M., Yilmaz, T., Kayranli, B., Yuceer, A., Forster, C. F. 2002. "The Use of Waterworks Sludge for the Treatment of Dye Wastes." Environ. Tech. 23 : 345 – 351.
- Black, C. A. 1965. Method of Soil Analysis Part II. American Society of Agronomy Monograph No.9. Wisconsin, U.S.A. : Medison : pp 891 - 900.
- Buzzi, R. A. 1992. Chemical Hazards at Water and Wastewater Treatment Plants. United States of America : Lewis : p 57.
- Chen, C. M., Shih, M. L., Lee, S. Z., Wang, J. S. 2001. "Increased Toxicity of Textile Effluents by a Chlorination Process Using Sodium Hypochlorite." Wat. Sci. & Tech. 43(2) : 1 - 8.

Chemistry of dyes. 2003. Fiber-Reactive Dyes. [online]. Available :

<http://www.chm.bris.ac.uk/webprojects2002/price/reactive.htm>.

Faust, S. D. and Aly, O. M. 1987. **Adsorption Processes for Water Treatment.**

United States of America : Butterworth : pp 1 – 100.

Foord, J. S., Holt, K. B., Compton, R. G., Marken, F., Kim, D. H. 2001. "Mechanistic Aspects of the Sonoelectrochemical Degradation of the Reactive Dye Procion Blue at Boron-Doped Diamond Electrodes." **Diamond and Related Materials.** 10 : 662 - 666.

Fergusson, J. E. 1990. **The Heavy Element : Chemistry Environmental Impact and Health Effects.** Great Britain : Pergamon Press : pp 41-50 ; pp 57 - 63.

Garg, V. K., Gupta, R., Yadav, A. B., Kumar, R. 2003. "Dye Removal from Aqueous Solution by Adsorption on Treated Sawdust." **Bioresource Tech.** 89(2) : 121 - 124.

Gholami, M., Nasser, S., Alizadehfard, M. R., Mesdaghinia, A. 2003. "Textile Dye Removal by Membrane Technology and Biological Oxidation." **Wat. Quality Res. J. of Canada.** 38(2) : 379 - 391.

Gupta, G. S., Prasad, G., Singh, V. N. 1990. "Removal of Chrome Dye from Aqueous Solution by Mixed Adsorbent : Fly Ash and Coal." **Wat. Res.** 24(1) : 45 – 50.

Huang, C. P. and Wu, M. H. 1975. "Chromium Removal by Carbon Adsorption." **J. Wat. Pollut. Contr. Fed.** 43 : 2437 - 2446.

Huang, C. P. and Wu, M. H. 1977. "The Removal of Chromium(VI) from Dilute Aqueous Solution by Activated Carbon." **Wat. Res.** 11 : 673 - 679.

Jha, I. N., Iyengar, L., Prabhakara Rao, A. V. S. 1988. "Removal of Cadmium Using Chitosan." **J. Environ. Eng.** 114(4) : 962 - 974.

Judkins, J. F., and Homsby, J. S. 1978. "Color Removal from Textile Dye Wastes Using Magnesium Carbonate." **J. Wat. Pollut. Contr. Fed.** 50 : 2446 - 2456.

Kabda, I. Olmez, T., Tunay, O. 2002. "Factors Affecting Colour Removal From Reactive Dye Bath by Ozonation." **Wat. Sci. & Tech.** 45 (12) : 261 - 270.

Kenneth, E., Gounaris, V., Hau Wain-Sue. 1992. **Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control.** Michigan : Lewis : pp 1 - 45.

Konsowa, A. H. 2003. "Decolorization of Wastewater Containing Direct Dye by Ozonation in a Batch Bubble Column Reactor." **Desalination.** 158 : 233 - 240.

- Krishnarao, R. V., Subrahmanyam, J., Jagadish Kumar, T. 2001. "Studies on the Formation of Black Particles in Rice Husk Silica Ash." *J. Euro. Ceramic Society*. 21(1) : 99 - 104.
- Kulkarni, S. V., Blackwell, C. D., Blackard A. L., Stackhouse, C. W., Alexander, M. W. 1986. *Textile Dyeing Operations Chemistry, Equipment Procedures and Environmental Aspects*. America : pp 27 - 37.
- Low, K. S. and Lee, C. K. 1997. "Quaternized Rice Husk as Sorbent for Reactive Dyes." *Bioresource Tech*. 61 : 121 – 125.
- Malik, P. K. 2003. "Use of Activated Carbons Prepared from Sawdust and Rice Husk for Adsorption of Acid dyes : a Case Study of Acid Yellow 36." *Dyes and Pigment*. 56(3) : 239 - 249.
- Manivasakan, M. 1988. "Investigation of Cadmium Transport Mechanisms Mathematical Models and Experiments." Bachelor of the Science Engineer. AIT Thesis Bangkok Thailand.
- McKay, G., Otterburn, M. S., Aga, J. A. 1985. "Fuller's Earth and Fired Clay as Adsorbents for Dyestuffs Equilibrium and Rate Studies." *Wat. Air and Soil Pollut*. 24 : 307 - 322.
- Metcalf & Eddy. 1991. *Wastewater Engineering*. 3rd ed. New York : McGraw-Hill : pp 324 -325.
- Merck & Co. 2003. "The Merck Index." [Online]. Available :
<http://members.pgonline.com/~bryand/StainsFile/dyes/22120.htm>.
- Morais, L. C., Goncalves, E. P., Vasconcelos, L.T., Gonzalez Beca, C. G. 2000. "Reactive Dyes Removal from Wastewater by Adsorption on Eucalyptus Bark – Adsorption equilibria." *Environ. Tech*. 21 : 577 - 583.
- Munaf, E., Zein, R., Kurniadi, R., Kurniadi, I. 1997. "The Use of Rice Husk for Removal of Phenol from Wastewater as Studied Using 4-Aminoantipyrine Spectrophotometric Method." *Environ. Tech*. 18 : 355 - 358.
- Nakbanpote, W., Thiravetyan, P., Kalambaheti, C. 2000. "Preconcentration of Gold by Rice Husk Ash." *Minerals Eng*. 13(4) : 391 - 400.
- Panday, K. K., Prasad, G., Singh, V. N. 1986. "Mixed Adsorbents for Cu(II) Removal from Aqueous Solutions." *Environ. Tech. Letters*. 7 : 547 - 554.

- Poots, V. J. P., McKay, G., Healy, J. J. 1976. "The Removal of Acid Dye from Effluent Using Natural Adsorbent". **Wat. Res.** 10 : 1061 - 1066.
- Ramos, L. R., Martinez, J. A., Guerrero Coronado, R. M. 1994. "Adsorption of Chromium (VI) from Aqueous Solutions on Activated Carbon." **Wat. Sci. Tech.** 30(9) : 191 - 197.
- Reed, B. E. 1995. "Regeneration of Granular Activated Carbon (GAC) Columns Used for Removal of Lead." **J. Environ. Eng.** 121(9) : 653 - 662.
- Rosfjord, E., Trattner, B., Cheremisinoff, N. 1976. "Phenols a Water Pollution Control Assessment." **Water and Sew. Works.** 123(3) : 96 - 99.
- Schwarzenbach, R. P., Gschwend, P. M., Imboden, D. M. 2003. **Environmental Organic Chemistry**. 2nd ed. New Jersey : John Wiley & Sons : pp 389 - 421.
- Sharma, D. C. and Forster, C. F. 1993. "Removal of Hexavalent Chromium Using Sphagnum Moss Peat." **Wat. Res.** 27(7) : 1201 - 1208.
- Sharma, D. C. and Forster, C. F. 1994. "A Preliminary Examination into the Adsorption of Hexavalent Chromium Using Low - Cost Adsorbents." **Bioresource Tech.** 47 : 257 - 264.
- Srivastava, S. K., Bhattacharjee, G., Tyagi, R., Pant, N., Pal, N. 1988. "Studies on the Removal of some Toxic Metal Ions from Aqueous Solution and Industrial Waste." Part I (Removal of Lead and Cadmium by Hydrous Iron and Aluminium Oxide)." **Environ. Tech. Letters.** 9 : 1173 - 1185.
- Srivastava, S. K., Tyagi, R., Pant, N. 1989. "Adsorption of Heavy Metal Ions on Carbonaceous Material Developed from the Waste Slurry Generated in Local Fertilizer Plants. **Wat. Res.** 23(9) : 1161 - 1165.
- Srivastava, S. K. and Tyagi, R. 1995. "Competitive Adsorption of Substituted Phenols by Activated Carbon Developed from the Fertilizer Waste Slurry." **Wat. Res.** 29(2) : 483 - 488.
- Tan, W. T and Abd. Rahman, M. K. 1988. "Removal of Lead, Cadmium and Zinc by Waste Tea Leaves." **Environ. Tech. Letters.** 9 : 1223 - 1232 .
- Tan, W. T., Ooi, S. T. and Lee, C. K. 1993. " Removal of Chromium(VI) from Solution by Coconut Husk and Palm Pressed Fibres." **Environ. Tech.** 14 : 277 - 282.

- Tutem, E., Apak, R. and Unal, C. F. 1998. "Adsorptive-Removal of Chlorophenols from Water by Bituminous Shale." *Wat. Res.* 32(8) : 2315 – 2324.
- Yadava, K. P., Tyagi, B. S., Panday, K. K., and Sing, V. N. 1987. "Fly Ash for the Treatment of Cd (II) Rich Effluents." *Environ. Tech. Letters.* (8) : 225 - 234.



ภาคผนวก ก.

ตารางแสดงผลการทดลองอิทธิพลของค่าพีเอช
ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า



ตารางผนวกที่ ก - 1 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โต๊ะที่ 1-5

ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตร										ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 25 มิลลิกรัมต่อลิตร										ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 50 มิลลิกรัมต่อลิตร									
ค่าพีเอช	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ค่าพีเอช	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ค่าพีเอช	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)									
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
1	10.73	10.86	10.85	10.813	0.072	1.74	1	24.59	24.55	24.34	24.49	0.134	2.03	1	49.58	49.65	49.43	49.553	0.112	0.89									
2	8.126	9.002	8.976	8.701	0.498	3.55	2	23.59	23.55	23.89	23.68	0.186	5.29	2	49.87	49.62	49.35	49.613	0.260	0.77									
3	0.385	0.313	0.345	0.348	0.036	96.52	3	0.858	0.864	0.84	0.855	0.011	96.58	3	2.011	2.000	2.030	2.014	0.015	95.97									
4	0.374	0.347	0.379	0.367	0.017	96.33	4	0.737	0.839	0.825	0.800	0.055	96.80	4	2.012	2.100	2.210	2.107	0.099	95.79									
5	0.364	0.392	0.387	0.381	0.015	96.19	5	0.845	0.843	0.845	0.844	0.001	96.62	5	2.152	2.122	2.156	2.143	0.019	95.71									

ตารางผนวกที่ ก - 2 ผลการทดลองการกำจัดแคดเมียมที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียม 1-5

ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร										ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม 25 มิลลิกรัมต่อลิตร										ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร									
ค่าพีเอช	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ค่าพีเอช	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ค่าพีเอช	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)									
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
1	10.60	10.88	10.86	10.78	0.156	1.37	1	25.56	24.49	25.36	25.14	0.572	0.98	1	48.40	49.70	49.60	49.23	0.723	0.44									
2	10.82	10.67	10.83	10.77	0.087	1.51	2	25.80	25.65	25.83	25.76	0.095	0.69	2	50.19	50.13	50.03	50.12	0.084	0.26									
3	0.247	0.257	0.291	0.265	0.023	97.63	3	0.499	0.466	0.452	0.472	0.024	98.26	3	1.384	1.755	1.252	1.464	0.261	97.21									
4	0.276	0.272	0.281	0.276	0.005	97.54	4	0.506	0.523	0.517	0.515	0.009	98.07	4	1.388	1.649	1.397	1.478	0.148	97.18									
5	0.309	0.329	0.327	0.322	0.011	97.12	5	0.557	0.560	0.544	0.554	0.009	98.01	5	2.983	2.820	2.092	2.632	0.474	94.87									

ตารางผนวกที่ ก - 3 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม 1-5

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) 10 มิลลิกรัมต่อลิตร					ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) 25 มิลลิกรัมต่อลิตร					ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) 50 มิลลิกรัมต่อลิตร				
ค่าพีเอช	ปริมาณโครเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	ค่าพีเอช	ปริมาณโครเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	ค่าพีเอช
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย			
1	4.428	4.412	4.289	4.376	0.076	0.076	1	11.10	11.24	11.00	11.113	0.121	0.121	1
2	3.296	3.228	3.161	3.228	0.068	0.068	2	11.56	11.33	11.42	11.435	0.116	0.116	2
3	8.967	8.967	8.862	8.932	0.061	0.061	3	25.22	24.92	24.94	25.027	0.168	0.168	3
4	8.998	8.791	8.814	8.868	0.113	0.113	4	25.02	25.02	25.02	25.018	0.000	0.000	4
5	8.828	8.814	8.846	8.829	0.016	0.016	5	25.02	25.02	25.02	25.018	0.000	0.000	5

ตารางผนวกที่ ก - 4 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม 1-7

ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล 1 มิลลิกรัมต่อลิตร					ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล 5 มิลลิกรัมต่อลิตร					ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล 10 มิลลิกรัมต่อลิตร				
ค่าพีเอช	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	ค่าพีเอช	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	ค่าพีเอช
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย			
1	0.000	0.000	0.000	0.000	100.00	0.000	1	0.102	0.083	0.083	0.089	98.08	0.011	1
2	0.020	0.035	0.030	0.028	97.73	0.008	2	0.159	0.235	0.146	0.180	94.71	0.048	2
3	0.040	0.060	0.062	0.054	96.22	0.012	3	0.712	0.700	0.725	0.712	83.20	0.013	3
4	0.180	0.190	0.180	0.183	85.09	0.006	4	1.317	1.247	1.253	1.272	67.29	0.039	4
5	0.170	0.170	0.210	0.183	85.09	0.023	5	1.374	1.368	1.336	1.359	67.64	0.020	5
6	0.180	0.160	0.190	0.177	85.87	0.015	6	1.380	1.317	1.349	1.349	67.50	0.032	6
7	0.142	0.140	0.162	0.148	85.77	0.012	7	1.285	1.368	1.336	1.330	67.96	0.042	7

ตารางผนวกที่ ก - 5 ผลการทดลองการกำจัดสรีเอ็นเคทีพีโพเรียมรวม 8B ที่ค่าพีเอชของน้ำเลี้ยงสรีเอ็นเคทีพีโพเรียมรวม 8B 1-12

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสรีเอ็นเคทีพีโพเรียมรวม 8B 10 มิลลิกรัมต่อลิตร										ความเข้มข้นเริ่มต้นของสรีเอ็นเคทีพีโพเรียมรวม 8B 25 มิลลิกรัมต่อลิตร										ความเข้มข้นเริ่มต้นของสรีเอ็นเคทีพีโพเรียมรวม 8B 50 มิลลิกรัมต่อลิตร									
ค่าพีเอช	ปริมาณสรีเอ็นเคทีพีโพเรียมรวม 8B ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ค่าพีเอช	ปริมาณสรีเอ็นเคทีพีโพเรียมรวม 8B ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	ค่าพีเอช	ปริมาณสรีเอ็นเคทีพีโพเรียมรวม 8B ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)									
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
1	0.079	0.079	0.119	0.093	0.023	99.07	1	1.125	1.426	1.125	1.225	0.174	94.69	1	18.88	18.92	19.39	19.06	0.287	61.88									
2	0.238	0.278	0.238	0.251	0.023	97.49	2	2.115	1.986	2.159	2.087	0.090	91.58	2	21.89	22.41	22.28	22.19	0.269	55.61									
3	5.635	5.079	5.079	5.265	0.321	47.35	3	14.78	15.43	15.56	15.26	0.415	38.43	3	39.73	39.17	39.34	39.41	0.287	21.17									
4	5.714	5.595	5.119	5.476	0.315	45.24	4	17.11	17.15	17.02	17.09	0.066	32.19	4	41.67	41.97	41.80	41.81	0.151	16.38									
5	5.159	5.357	5.595	5.370	0.219	46.30	5	17.11	17.28	17.20	17.20	0.086	32.82	5	41.37	41.02	41.32	41.24	0.188	17.53									
6	5.198	5.437	5.675	5.437	0.238	45.63	6	17.58	17.97	17.67	17.74	0.204	30.69	6	41.80	41.62	41.67	41.70	0.090	16.61									
7	5.397	5.198	5.437	5.344	0.128	46.56	7	17.76	17.86	17.84	17.83	0.066	30.35	7	40.93	40.18	40.98	40.70	0.451	18.61									
8	5.873	5.714	5.595	5.728	0.139	46.54	8	16.16	17.71	17.58	17.15	0.861	32.99	8	39.99	40.07	39.30	39.79	0.425	17.11									
9	5.714	5.873	5.714	5.767	0.092	46.17	9	17.80	17.67	17.80	17.76	0.075	30.64	9	39.60	40.12	39.90	39.87	0.260	16.71									
10	5.873	5.754	5.833	5.820	0.061	44.65	10	17.84	17.86	17.58	17.77	0.160	30.59	10	39.69	39.94	39.81	39.81	0.129	17.79									
11	6.111	6.032	6.071	6.071	0.040	43.75	11	17.80	17.37	17.76	17.64	0.237	31.08	11	39.94	40.33	39.73	40.00	0.306	17.27									
12	3.135	3.373	3.730	3.413	0.300	67.91	12	12.89	13.40	14.09	13.46	0.605	47.41	12	36.20	36.15	35.20	35.85	0.560	24.59									

ตารางผนวกที่ ก - 6 ผลการทดลองการกำจัดสรีรแอคทีฟโพรเซียมน้ำเงิน 7RX ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สรีรแอคทีฟโพรเซียมน้ำเงิน 7RX 1-12

10 มิลลิกรัมต่อลิตร												25 มิลลิกรัมต่อลิตร												50 มิลลิกรัมต่อลิตร											
ค่าพีเอช	ปริมาณสรีรแอคทีฟโพรเจียนน้ำเงิน 7RX ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	SD	ค่าพีเอช	ปริมาณสรีรแอคทีฟโพรเจียนน้ำเงิน 7RX ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	SD	ค่าพีเอช	ปริมาณสรีรแอคทีฟโพรเจียนน้ำเงิน 7RX ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)															
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย																	
1	0.041	0.084	0.084	0.070	99.30	0.025	1	0.170	0.127	0.127	0.141	99.40	0.025	1	8.340	8.254	8.297	8.297	0.043	81.94															
2	0.428	0.471	0.514	0.471	95.29	0.043	2	0.858	0.772	0.858	0.829	98.55	0.050	2	14.02	13.98	14.66	14.22	0.385	70.14															
3	3.266	3.578	3.266	3.370	66.30	0.180	3	10.62	11.44	11.01	11.02	54.14	0.409	3	33.40	33.81	33.63	33.61	0.207	30.12															
4	3.137	3.481	3.481	3.366	68.34	0.199	4	11.61	11.74	11.61	11.65	52.33	0.074	4	35.79	35.51	35.74	35.68	0.148	25.67															
5	3.395	3.438	3.266	3.366	66.34	0.090	5	12.30	12.25	12.12	12.22	51.09	0.090	5	35.33	35.33	35.79	35.48	0.269	26.49															
6	3.696	3.739	3.567	3.667	63.33	0.090	6	11.39	10.92	11.82	11.38	53.18	0.452	6	35.14	35.00	35.64	35.26	0.333	27.45															
7	3.825	3.567	3.395	3.595	64.05	0.216	7	12.04	12.08	11.99	12.04	51.56	0.043	7	35.97	35.92	35.14	35.68	0.464	26.72															
8	3.527	3.425	3.553	3.502	64.98	0.068	8	11.61	11.91	11.61	11.71	52.54	0.174	8	35.46	35.19	35.28	35.31	0.140	28.35															
9	3.437	3.309	3.580	3.442	65.58	0.136	9	12.51	11.87	12.42	12.27	50.48	0.350	9	35.82	36.38	36.43	36.21	0.340	26.04															
10	3.223	3.494	3.508	3.408	65.92	0.161	10	12.51	12.21	11.99	12.24	50.77	0.259	10	35.42	35.83	35.83	35.69	0.239	27.95															
11	3.051	3.395	3.137	3.194	68.06	0.179	11	10.88	11.74	10.88	11.16	55.42	0.496	11	34.09	33.54	33.95	33.86	0.287	31.56															
12	2.062	1.847	1.847	1.919	80.81	0.124	12	5.631	5.029	5.072	5.244	76.22	0.336	12	26.97	26.74	26.51	26.74	0.230	42.07															

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมการกำจัดสรีรแอคทีฟโพรเซียมน้ำเงิน 7RX ที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สรีรแอคทีฟโพรเซียมน้ำเงิน 7RX 1-12
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ห้ามมิให้คัดลอกข้อมูลนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมการกำจัดสรีรแอคทีฟโพรเซียมน้ำเงิน 7RX 1-12

ตารางผนวกที่ ก - 7 ผลการทดลองการกำจัดสีไดเรกทีฟน้ำเงินที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สีไดเรกทีฟน้ำเงิน 1-12

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเรกทีฟน้ำเงิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร										ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเรกทีฟน้ำเงิน 25 มิลลิกรัมต่อลิตร										ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเรกทีฟน้ำเงิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร									
ค่าพีเอช	ปริมาณสีที่ย้อมผ้าไดเรกทีฟน้ำเงินที่เฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	SD	ค่าพีเอช	ปริมาณสีที่ย้อมผ้าไดเรกทีฟน้ำเงินที่เฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	SD	ค่าพีเอช	ปริมาณสีที่ย้อมผ้าไดเรกทีฟน้ำเงินที่เฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	SD									
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
1	0.020	0.021	0.020	0.020	99.80	0.001	1	0.101	0.105	0.102	0.103	0.002	1	0.213	0.211	0.215	0.213	0.002	1	0.423	0.429	0.482	0.445	0.033					
2	0.022	0.021	0.023	0.022	99.78	0.001	2	0.102	0.107	0.103	0.104	0.003	2	0.423	0.429	0.482	0.445	0.033	2	0.423	0.429	0.482	0.445	0.033					
3	1.857	1.347	1.449	1.551	84.49	0.270	3	4.714	4.714	4.306	4.578	0.236	3	8.286	8.388	8.796	8.490	0.270	3	8.286	8.388	8.796	8.490	0.270					
4	1.245	1.755	1.551	1.517	84.83	0.257	4	5.020	4.918	4.816	4.916	0.102	4	10.02	9.816	10.02	9.952	0.118	4	10.02	9.816	10.02	9.952	0.118					
5	2.061	1.857	1.755	1.891	81.09	0.156	5	5.531	5.429	5.531	5.497	0.059	5	10.43	10.33	10.53	10.43	0.102	5	10.43	10.33	10.53	10.43	0.102					
6	1.959	1.959	2.061	1.993	80.07	0.059	6	5.735	5.327	5.633	5.565	0.212	6	11.04	10.94	10.84	10.94	0.102	6	11.04	10.94	10.84	10.94	0.102					
7	2.265	2.061	2.061	2.129	78.71	0.118	7	5.833	5.122	5.224	5.327	0.270	7	10.22	10.02	10.43	10.22	0.204	7	10.22	10.02	10.43	10.22	0.204					
8	2.061	2.367	2.163	2.197	78.03	0.156	8	5.429	5.531	5.531	5.497	0.059	8	10.62	10.43	10.63	10.56	0.116	8	10.62	10.43	10.63	10.56	0.116					
9	2.061	2.265	1.959	2.095	79.05	0.156	9	5.429	5.327	5.531	5.429	0.102	9	10.84	10.84	10.73	10.80	0.059	9	10.84	10.84	10.73	10.80	0.059					
10	2.265	1.959	2.265	2.163	78.37	0.177	10	5.531	5.633	5.429	5.531	0.102	10	10.84	10.84	10.43	10.70	0.236	10	10.84	10.84	10.43	10.70	0.236					
11	2.878	2.469	2.673	2.673	73.27	0.204	11	6.755	6.857	6.653	6.755	0.102	11	11.04	11.65	11.35	11.35	0.305	11	11.04	11.65	11.35	11.35	0.305					
12	0.022	0.011	0.013	0.015	99.85	0.006	12	0.531	0.531	0.633	0.565	0.059	12	2.265	1.959	1.857	2.027	0.212	12	2.265	1.959	1.857	2.027	0.212					

ตารางผนวกที่ ก - 8 ผลการทดลองการกำจัดสีไดเรกทรีดที่ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สีไดเรกทรีด 1-12

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเรกทรีด 10 มิลลิกรัมต่อลิตร					ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเรกทรีด 25 มิลลิกรัมต่อลิตร					ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเรกทรีด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร										
ค่าพีเอช	ปริมาณสีที่ยอมผ่านไดเรกทรีดที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	SD	พีเอช	ปริมาณสีที่ยอมผ่านไดเรกทรีดที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	SD	พีเอช	ปริมาณสีที่ยอมผ่านไดเรกทรีดที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	SD
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย		
1	0.031	0.033	0.029	0.031	99.69	0.002	1	0.092	0.090	0.090	0.091	0.001	99.64	1	0.658	0.698	0.695	0.684	0.022	98.63
2	0.057	0.077	0.052	0.062	99.38	0.013	2	0.109	0.108	0.101	0.106	0.005	99.58	2	0.703	0.717	0.674	0.698	0.022	98.60
3	1.613	1.483	1.721	1.606	83.94	0.120	3	5.976	6.128	6.106	6.070	0.082	73.40	3	24.89	25.72	23.67	24.76	1.031	38.52
4	1.721	1.678	1.873	1.758	82.42	0.103	4	6.367	6.280	6.323	6.323	0.043	72.83	4	28.17	27.61	27.65	27.81	0.309	33.47
5	1.721	1.504	1.504	1.577	84.23	0.125	5	6.670	6.475	6.584	6.576	0.098	71.67	5	28.26	28.62	27.43	28.10	0.611	31.77
6	1.613	1.635	1.656	1.635	83.65	0.022	6	5.998	6.996	6.844	6.613	0.538	71.51	6	27.68	27.37	28.01	27.69	0.321	31.77
7	1.808	1.765	1.721	1.765	82.35	0.043	7	7.039	6.605	6.887	6.844	0.220	70.51	7	27.58	27.40	27.22	27.40	0.183	32.48
8	1.765	1.765	1.569	1.700	83.00	0.113	8	6.822	7.126	6.931	6.960	0.154	70.09	8	28.38	27.71	27.52	27.87	0.451	32.34
9	1.830	1.721	1.895	1.815	81.85	0.088	9	6.345	6.809	7.061	6.772	0.377	71.01	9	27.86	28.10	28.01	27.99	0.124	31.54
10	1.873	1.982	1.917	1.924	80.76	0.055	10	7.061	6.605	7.018	6.895	0.252	70.87	10	27.16	26.79	27.28	27.07	0.255	34.27
11	2.004	1.917	1.830	1.917	80.83	0.087	11	7.430	7.2348	7.408	7.419	0.015	67.78	11	28.10	27.43	27.86	27.80	0.341	33.00
12	2.069	2.264	2.025	2.119	78.81	0.127	12	8.950	8.754	8.798	8.834	0.103	62.73	12	28.75	28.59	28.96	28.77	0.184	27.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาคผนวก ข.

ตารางแสดงผลการทดลองอิทธิพลของปริมาณซีเถ้ากลับดำ
ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข - 1 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วที่ใช้ปริมาณซีเมนต์แตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร)

ปริมาณซีเมนต์ 5 กรัมต่อลิตร										ปริมาณซีเมนต์ 10 กรัมต่อลิตร									
เวลา (นาที)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณตะกั่วที่ถูก กำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณตะกั่วที่ถูก กำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)				
	1	2	3	เฉลี่ย					1	2	3	เฉลี่ย							
5	5.560	5.578	5.589	5.576	0.015	8.88	88.85	5	2.447	2.620	2.447	2.505	0.100	4.75	94.99				
10	4.212	4.230	4.201	4.214	0.015	9.16	91.57	10	2.170	2.000	2.102	2.091	0.086	4.79	95.82				
20	4.212	4.211	4.230	4.218	0.011	9.16	91.56	20	1.945	1.965	1.942	1.951	0.013	4.80	96.10				
30	3.956	3.966	3.947	4.218	0.011	9.16	91.56	30	1.823	1.825	1.864	1.837	0.023	4.82	96.33				
60	3.842	3.856	3.844	3.847	0.008	9.23	92.31	60	1.743	1.742	1.755	1.747	0.007	4.83	96.51				
90	3.768	3.745	3.755	3.856	0.010	9.21	92.09	90	1.625	1.599	1.594	1.606	0.017	4.84	96.79				
120	3.742	3.745	3.756	3.748	0.007	9.25	92.50	120	1.521	1.522	1.540	1.528	0.011	4.85	96.94				
180	3.748	3.765	3.766	3.760	0.010	9.25	92.48	180	1.520	1.523	1.511	1.518	0.008	4.85	96.96				
240	3.789	3.745	3.742	3.759	0.026	9.25	92.48	240	1.506	1.518	1.520	1.515	0.008	4.85	96.97				

ตารางผนวกที่ ข - 1 (ต่อ)

ปริมาณที่ได้แก่ผลบวก 15 กรัมต่อลิตร										ปริมาณที่ได้แก่ผลบวก 20 กรัมต่อลิตร						
เวลา (นาที)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณตะกั่วที่ตก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	กำจัด (%)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณตะกั่วที่ตก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)
	1	2	3	เฉลี่ย						1	2	3	เฉลี่ย			
5	0.266	0.262	0.265	0.264	0.002	3.32	99.47		5	0.255	0.265	0.233	0.251	0.016	2.49	99.50
10	0.199	0.147	0.190	0.179	0.028	3.32	99.64		10	0.145	0.188	0.156	0.163	0.022	2.49	99.67
20	0.260	0.216	0.239	0.238	0.022	3.32	99.52		20	0.123	0.124	0.120	0.122	0.002	2.49	99.76
30	0.168	0.183	0.185	0.172	0.010	3.32	99.66		30	0.122	0.123	0.122	0.122	0.001	2.49	99.76
60	0.173	0.176	0.186	0.178	0.007	3.32	99.64		60	0.124	0.110	0.122	0.119	0.008	2.49	99.76
90	0.147	0.171	0.144	0.154	0.015	3.32	99.69		90	0.098	0.100	0.094	0.097	0.003	2.50	99.81
120	0.127	0.123	0.148	0.133	0.013	3.32	99.73		120	0.099	0.096	0.076	0.090	0.013	2.50	99.82
180	0.121	0.125	0.123	0.123	0.002	3.33	99.75		180	0.066	0.083	0.089	0.086	0.003	2.50	99.83
240	0.131	0.124	0.122	0.126	0.005	3.32	99.75		240	0.066	0.079	0.098	0.088	0.010	2.50	99.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีผู้ใดที่นำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข - 2 ผลการทดลองการกำจัดแคดเมียมที่ใช้ปริมาณน้ำได้แก่ลดต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร)

ปริมาณน้ำได้แก่ลด 5 กรัมต่อลิตร										ปริมาณน้ำได้แก่ลด 10 กรัมต่อลิตร					
เวลา (นาท)	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณแคดเมียมที่ ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาท)	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณแคดเมียมที่ ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)
	1	2	3	เฉลี่ย					1	2	3	เฉลี่ย			
5	26.36	26.93	27.54	26.94	0.59	4.61	46.11	5	1.856	1.502	1.825	1.728	0.196	4.83	96.54
10	24.60	24.46	24.06	24.37	0.28	5.13	51.25	10	1.425	1.656	1.778	1.620	0.179	4.84	96.76
20	21.06	20.20	20.10	20.45	0.53	5.81	59.09	20	1.688	1.808	1.602	1.699	0.103	4.83	96.60
30	18.70	18.10	19.58	18.79	0.74	6.24	62.41	30	1.260	1.256	1.285	1.267	0.016	4.87	97.47
60	16.64	16.52	16.12	16.43	0.27	6.71	67.15	60	1.248	1.578	1.076	1.300	0.255	4.87	97.40
90	14.02	14.41	14.30	14.24	0.20	7.15	71.51	90	1.248	1.235	1.346	1.276	0.061	4.87	97.45
120	13.16	13.54	13.70	13.47	0.28	7.31	73.07	120	0.972	1.165	1.369	1.169	0.199	4.88	97.66
180	13.01	13.11	13.12	13.08	0.08	7.38	73.84	180	1.084	1.091	1.041	1.072	0.027	4.89	97.86
240	12.67	12.45	12.68	12.60	0.13	7.48	74.80	240	1.085	1.052	1.032	1.056	0.027	4.89	97.89

ตารางผนวกที่ ข - 2 (ต่อ)

ปริมาณน้ำใต้ดินบาดาล										ปริมาณน้ำใต้ดินบาดาล									
15 กรัมต่อลิตร										20 กรัมต่อลิตร									
เวลา (นาที)	ปริมาณแคะดเมี่ยมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณแคะดเมี่ยมที่ ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณแคะดเมี่ยมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณแคะดเมี่ยมที่ ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)				
	1	2	3	เฉลี่ย					1	2	3	เฉลี่ย							
5	1.607	1.643	1.857	1.702	0.135	3.22	96.60	5	1.674	1.504	1.880	1.619	0.100	2.42	96.76				
10	1.637	1.726	1.590	1.651	0.069	3.22	96.70	10	1.574	1.501	1.682	1.586	0.091	2.42	96.83				
20	1.738	1.564	1.970	1.757	0.204	3.22	98.49	20	1.532	1.360	1.740	1.544	0.190	2.42	96.91				
30	1.822	1.791	1.625	1.746	0.106	3.22	98.51	30	1.498	1.351	1.297	1.382	0.104	2.43	97.24				
60	1.718	1.824	1.724	1.755	0.060	3.22	98.49	60	1.392	1.360	1.392	1.381	0.018	2.43	97.24				
90	1.271	1.232	1.169	1.224	0.051	3.25	97.55	90	1.016	1.062	0.995	1.024	0.034	2.45	97.95				
120	1.037	1.032	1.167	1.079	0.077	3.26	97.84	120	1.174	1.120	1.120	1.138	0.031	2.44	97.72				
180	0.864	0.878	0.853	0.865	0.013	3.28	98.27	180	0.805	0.762	0.770	0.779	0.023	2.46	98.44				
240	0.832	0.840	0.817	0.830	0.012	3.28	98.34	240	0.793	0.755	0.721	0.756	0.036	2.46	98.49				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ในการค้าหรือการโฆษณาโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ผู้ที่นำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมายของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข - 3 ผลการทดลองการกำจัดไทรเนียมที่ใช้ปริมาณน้ำได้แก่ลบค่าแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร)

ปริมาณน้ำได้แก่ลบค่า										ปริมาณน้ำได้แก่ลบค่า									
5 กรัมต่อลิตร										10 กรัมต่อลิตร									
เวลา (นาท)	ปริมาณไนโตรเจนที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณไนโตรเจนที่ถูก กำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาท)	ปริมาณไนโตรเจนที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณไนโตรเจนที่ถูก กำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)				
	1	2	3	เฉลี่ย					1	2	3	เฉลี่ย							
5	36.76	36.88	37.42	37.02	0.35	2.60	25.96	5	37.92	38.72	37.88	38.17	0.47	1.18	23.65				
10	36.22	36.64	37.56	36.81	0.69	2.64	26.39	10	37.48	36.70	36.72	36.97	0.44	1.30	26.07				
20	36.24	36.50	37.34	36.69	0.57	2.66	26.61	20	34.88	35.70	35.00	35.19	0.44	1.48	29.61				
30	36.22	36.48	37.04	36.58	0.42	2.68	26.84	30	34.00	33.58	33.84	33.81	0.21	1.62	32.39				
60	36.24	35.70	36.60	36.18	0.45	2.76	27.64	60	31.90	31.88	31.86	31.88	0.02	1.81	36.24				
90	35.00	34.50	35.92	35.14	0.72	2.97	28.72	90	29.85	30.05	30.26	30.05	0.21	1.99	39.89				
120	35.32	34.80	35.12	35.08	0.26	2.98	28.84	120	29.68	29.46	30.30	29.81	0.44	2.02	40.37				
180	34.44	34.48	34.82	34.58	0.21	3.08	30.84	180	28.22	28.51	28.64	28.46	0.22	2.15	43.09				
240	33.96	33.78	34.18	33.97	0.20	3.21	32.05	240	28.13	27.47	27.19	27.60	0.48	2.24	44.81				

ตารางผนวกที่ ข - 3 (ต่อ)

ปริมาณน้ำใต้ดินดิบ										ปริมาณน้ำใต้ดินดิบ									
15 กรมชลประทาน										20 กรมชลประทาน									
เวลา (นาท.)	ปริมาณโครเมียมที่เหลือง (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณโครเมียมที่ถูก (มิลลิกรัมต่อกรัม)	กำจัด (%)	ประสิทธิภาพการ	เวลา (นาท.)	ปริมาณโครเมียมที่เหลือง (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณโครเมียมที่ถูก (มิลลิกรัมต่อกรัม)	กำจัด (%)	ประสิทธิภาพการ		
	1	2	3	เฉลี่ย						1	2	3	เฉลี่ย						
5	33.15	33.4	34.45	33.67	0.69	1.09	32.67		5	28.45	30.66	30.25	30.12	0.62	0.99	39.76			
10	32.17	33.02	33.04	32.74	0.50	1.15	34.51		10	28.53	28.8	29.53	28.95	0.52	1.05	42.09			
20	29.78	30.55	30.06	30.13	0.39	1.32	39.74		20	27.15	27.51	28.25	27.64	0.56	1.12	44.73			
30	28.78	28.76	29.55	29.03	0.45	1.40	41.94		30	26.63	26.52	26.91	26.69	0.20	1.17	46.63			
60	26.97	27.36	27.88	27.40	0.46	1.51	45.19		60	24.76	25.43	25.4	25.20	0.38	1.24	49.61			
90	25.9	26.72	26	26.21	0.45	1.59	47.59		90	23.54	22.23	23.29	23.02	0.70	1.35	53.96			
120	25.8	25.35	25.81	25.65	0.28	1.62	48.69		120	23.29	23.16	23.77	23.41	0.32	1.33	53.19			
180	23.89	24.66	23.96	24.17	0.43	1.72	51.66		180	21.37	21.2	21.31	21.29	0.09	1.44	57.41			
240	23.00	23.60	23.08	23.23	0.33	1.78	53.55		240	19.00	20.80	20.20	20.00	0.92	1.50	60.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ผู้ที่นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ดำเนินการต่อไป

ตารางผนวกที่ ข - 4 ผลการทดลองการกำจัดฟีนอลที่ใช้ปริมาณน้ำแตกต่างกัน 5 ระดับ (2 5 7 10 และ 15 กรัมต่อลิตร)

ปริมาณน้ำได้แก่ลบด้า										ปริมาณน้ำได้แก่ลบด้า									
2 กรัมต่อลิตร										5 กรัมต่อลิตร									
เวลา (นาท)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณฟีนอลที่ถูก กำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาท)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณฟีนอลที่ถูก กำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)				
	1	2	3	เฉลี่ย					1	2	3	เฉลี่ย							
5	6.527	6.527	6.609	6.554	0.048	1.72	34.46	5	3.136	3.133	3.202	3.157	0.039	1.37	67.00				
10	6.128	6.113	6.173	6.138	0.031	1.93	38.62	10	2.721	2.858	2.723	2.768	0.078	1.45	71.07				
20	5.714	5.782	5.834	5.777	0.080	2.11	42.23	20	2.500	2.524	2.470	2.498	0.027	1.50	73.89				
30	5.496	5.541	5.398	5.478	0.073	2.26	45.22	30	2.267	2.282	2.255	2.261	0.006	1.55	76.36				
60	5.097	5.195	5.135	5.142	0.049	2.43	48.58	60	2.213	2.202	2.222	2.213	0.010	1.56	76.87				
90	5.052	4.954	4.932	4.979	0.064	2.51	50.21	90	1.818	1.773	1.970	1.853	0.104	1.63	80.63				
120	4.819	4.901	4.668	4.786	0.118	2.60	52.04	120	1.756	1.762	1.755	1.758	0.004	1.65	81.63				
180	4.631	4.751	4.638	4.673	0.067	2.66	53.27	180	1.721	1.663	1.704	1.696	0.030	1.66	82.27				
240	4.555	4.721	4.623	4.633	0.083	2.68	53.67	240	1.536	1.566	1.555	1.552	0.015	1.69	83.77				

ตารางผนวกที่ ข - 4 (ต่อ)

ปริมาณซีเมนต์ลดค่า										ปริมาณซีเมนต์ลดค่า									
7 กรัมต่อลิตร										10 กรัมต่อลิตร									
เวลา (นาที)	ปริมาณที่นอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณที่นอลที่ถูก กำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณที่นอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณที่นอลที่ถูก กำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)				
	1	2	3	เฉลี่ย					1	2	3	เฉลี่ย							
5	2.213	2.037	2.232	2.160	0.108	1.12	78.40	5	1.137	0.922	1.072	1.043	0.11031	0.90	89.57				
10	1.469	1.450	1.450	1.456	0.011	1.22	85.44	10	1.072	1.111	1.098	1.093	0.01992	0.89	89.07				
20	1.189	1.228	1.169	1.196	0.030	1.26	88.04	20	0.654	0.831	0.654	0.713	0.10162	0.83	92.87				
30	1.196	1.039	0.987	1.074	0.109	1.28	89.26	30	0.557	0.537	0.557	0.550	0.01129	0.94	94.50				
60	0.726	0.980	0.720	0.809	0.149	1.31	91.91	60	0.322	0.413	0.465	0.400	0.07259	0.96	96.00				
90	0.883	0.935	0.798	0.872	0.069	1.30	91.28	90	0.296	0.329	0.381	0.335	0.04275	0.97	96.65				
120	0.993	0.765	0.844	0.867	0.116	1.30	91.33	120	0.250	0.244	0.283	0.259	0.02096	0.97	97.41				
180	0.596	0.896	0.726	0.739	0.150	1.32	92.61	180	0.381	0.446	0.472	0.433	0.04701	0.96	95.67				
240	0.439	0.876	0.478	0.598	0.242	1.34	94.02	240	0.153	0.374	0.257	0.261	0.11089	0.97	97.39				

ตารางผนวกที่ ข - 4 (ต่อ)

ปริมาณน้ำใต้ดินบาดาล						
15 กรมชลประทาน						
เวลา (นาฬิกา)	ปริมาณน้ำที่เก็บ			SD	ปริมาณน้ำที่เก็บ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)
	1	2	3			
5	0.426	0.446	0.596	0.093	0.63	95.11
10	0.298	0.298	0.222	0.044	0.66	97.27
20	0.211	0.159	0.146	0.034	0.66	98.28
30	0.113	0.146	0.198	0.043	0.66	98.47
60	0.055	0.055	0.059	0.003	0.66	99.44
90	0.035	0.033	0.034	0.001	0.66	99.66
120	0.016	0.029	0.016	0.008	0.67	99.80
180	0.029	0.013	0.016	0.009	0.67	99.81
240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.67	100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ถ้าหากมีให้คัดลอกโดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมายของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข - 5 ผลการทดลองการกำจัดสรีรเอคทีฟโพเรียมรวมพฐ 88 ที่ใช้ปริมาณน้ำเ้าแกลบต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร)

ปริมาณน้ำเ้าแกลบต่ำ										ปริมาณน้ำเ้าแกลบต่ำ									
5 กรัม/ลิตร										10 กรัม/ลิตร									
เวลา (นาทึ)	ปริมาณสรีเ้าทีฟโพเรียมรวมพฐ 88ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณสรีเ้าทีฟ โพเรียมรวมพฐ 88ที่ ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาทึ)	ปริมาณสรีเ้าทีฟโพเรียมรวมพฐ 88ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD	ปริมาณสรีเ้าทีฟ โพเรียมรวมพฐ 88ที่ ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)							
	1	2	3	เฉลี่ย									1	2	3	เฉลี่ย			
5	39.987	39.642	40.030	39.887	0.213	2.36	22.82	5	30.498	31.301	30.596	30.798	0.568	2.09		40.41			
10	39.125	39.125	39.212	39.154	0.050	2.51	24.24	10	29.888	29.782	29.880	29.850	0.075	2.18		42.24			
20	38.479	38.134	38.178	38.264	0.188	2.68	25.96	20	28.266	28.326	28.425	28.339	0.042	2.33		45.17			
30	38.221	38.436	38.221	38.282	0.124	2.68	25.91	30	27.368	27.278	27.230	27.292	0.064	2.44		47.19			
60	37.402	36.842	37.316	37.187	0.302	2.90	28.05	60	25.578	25.640	25.614	25.610	0.045	2.61		50.45			
90	36.971	37.488	37.057	37.172	0.277	2.90	28.07	90	25.253	25.201	25.241	25.232	0.037	2.64		51.18			
120	36.196	36.454	35.980	36.210	0.237	3.09	29.94	120	24.744	24.692	24.621	24.686	0.037	2.70		52.23			
180	35.506	35.679	35.765	35.650	0.132	3.21	31.02	180	22.204	22.502	22.537	22.414	0.037	2.93		56.63			
240	34.084	33.998	34.041	34.041	0.043	3.53	34.13	240	21.869	21.869	21.798	21.852	0.014	2.98		57.72			

ตารางผนวกที่ ข - 5 (ต่อ)

ปริมาณน้ำใต้ดินกลบดำ														ปริมาณน้ำใต้ดินกลบดำ													
15 กรัม/ลิตร														20 กรัม/ลิตร													
เวลา (นาที)	ปริมาณสารสกัดที่โพเรียมชมพู 8Bที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณสารสกัดที่ ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณสารสกัดที่โพเรียมชมพู 8Bที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณสารสกัดที่ ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)												
	1	2	3	เฉลี่ย					1	2	3	เฉลี่ย															
5	25.467	25.037	24.606	25.252	0.304	1.65	49.50	5	19.522	19.438	19.349	19.479	0.081	1.53	61.04												
10	23.960	24.089	23.916	24.024	0.091	1.73	51.95	10	17.195	17.324	17.368	17.260	0.091	1.64	65.48												
20	22.107	21.935	22.021	22.021	0.122	1.87	55.96	20	15.472	16.894	16.204	16.183	1.005	1.69	67.63												
30	20.556	20.427	20.297	20.491	0.091	1.97	59.02	30	14.610	13.662	14.222	14.136	0.670	1.79	71.73												
60	17.971	17.712	17.885	17.841	0.183	2.14	64.32	60	8.492	8.406	8.578	8.449	0.061	2.08	83.10												
90	15.472	15.256	15.386	15.364	0.152	2.31	69.27	90	6.338	6.553	6.252	6.445	0.152	2.18	87.11												
120	14.265	13.835	13.748	14.050	0.305	2.40	71.90	120	5.519	5.848	5.390	5.584	0.091	2.22	88.83												
180	13.059	12.327	12.973	12.693	0.518	2.49	74.61	180	3.238	3.753	3.710	3.494	0.366	2.33	93.01												
240	11.853	11.766	12.370	11.810	0.061	2.55	76.38	240	2.632	2.805	2.719	2.719	0.122	2.36	94.56												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีผู้ใดฝ่าฝืนจะถือว่าผิดกฎหมายและต้อง chịuโทษตามกฎหมาย

ตารางผนวกที่ ข - 6 ผลการทดลองการกำจัดสรีเ็ดที่โพรเรียนน้ำเงิน 7RX ที่ใช้ปริมาณซีเ็ดแก่กลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร)

ปริมาณซีเ็ดแก่กลบดำ 5 กรัมต่อลิตร										ปริมาณซีเ็ดแก่กลบดำ 10 กรัมต่อลิตร									
เวลา (นาทึ)	ปริมาณซีเ็ดมั่วรีเ็ดที่โพรเรียนน้ำเงิน 7RX ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณซีเ็ดมั่วรี เ็ดที่โพรเรียนน้ำ เงิน 7RX ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด %	เวลา (นาทึ)	ปริมาณซีเ็ดมั่วรีเ็ดที่โพรเรียนน้ำเงิน 7RX ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณซีเ็ดมั่วรี เ็ดที่โพรเรียนน้ำ เงิน 7RX ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด %				
	1	2	3	เฉลี่ย					1	2	3	เฉลี่ย							
5	34.31	34.40	34.35	34.35	0.043	2.82	29.08	5	23.90	23.82	23.65	23.79	0.130	2.46	50.89				
10	32.98	32.98	32.72	32.89	0.149	3.11	32.09	10	22.49	22.50	22.54	22.51	0.028	2.59	53.53				
20	31.95	31.56	32.16	31.89	0.305	3.31	34.17	20	20.07	20.17	20.06	20.10	0.065	2.83	58.50				
30	31.39	31.56	30.91	31.29	0.334	3.43	35.41	30	18.41	18.06	18.53	18.33	0.246	3.01	62.15				
60	29.67	29.71	30.14	29.84	0.262	3.72	38.40	60	16.42	16.51	16.51	16.48	0.049	3.20	65.98				
90	28.98	29.24	29.49	29.24	0.258	3.84	39.64	90	14.90	14.83	14.88	14.87	0.035	3.36	69.30				
120	28.51	28.51	28.68	28.56	0.099	3.97	41.03	120	13.28	13.59	13.76	13.54	0.239	3.49	72.04				
180	28.42	28.25	28.42	28.36	0.099	4.01	41.45	180	12.94	12.98	12.87	12.93	0.058	3.55	73.30				
240	27.99	27.60	27.65	27.75	0.212	4.14	42.72	240	12.04	12.21	12.25	12.17	0.114	3.63	74.88				

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมการก้ำจัดสรีเ็ดที่โพรเรียนน้ำเงิน 7RX ที่ใช้ปริมาณซีเ็ดแก่กลบดำแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร) ไม่ว่ากันใดทั้งนี้ อีกทั้งยังมีให้คัดลอกเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางผนวกที่ ข - 6 (ต่อ)

ปริมาณซีเมนต์แบบค้ำ										ปริมาณซีเมนต์แบบค้ำ									
15 กรัมต่อลิตร										20 กรัมต่อลิตร									
เวลา (นาที)	ปริมาณซีเมนต์ที่โพธิ์เงินน้ำเงิน 7RX ที่				SD	ปริมาณซีเมนต์ที่โพธิ์เงินน้ำเงิน 7RX ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการกำจัด %	เวลา (นาที)	ปริมาณซีเมนต์ที่โพธิ์เงินน้ำเงิน 7RX ที่				SD	ปริมาณซีเมนต์ที่โพธิ์เงินน้ำเงิน 7RX ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการกำจัด %				
	1	2	3	เฉลี่ย					1	2	3	เฉลี่ย							
5	14.32	14.06	15.31	14.56	0.658	2.05	67.84	5	7.437	7.437	7.222	7.365	0.124	1.90	83.73				
10	11.87	12.17	11.99	12.01	0.151	2.22	73.48	10	5.330	5.502	4.900	5.244	0.310	2.00	88.42				
20	9.199	9.285	9.414	9.300	0.108	2.40	79.46	20	3.352	3.266	3.309	3.309	0.043	2.10	92.69				
30	8.340	8.211	8.383	8.311	0.090	2.46	81.64	30	2.492	2.406	2.191	2.363	0.155	2.15	94.78				
60	6.147	5.803	6.706	6.218	0.456	2.60	88.27	60	1.718	1.847	1.675	1.747	0.090	2.18	96.14				
90	4.599	4.599	4.513	4.570	0.050	2.71	89.91	90	0.901	1.503	1.202	1.202	0.301	2.20	97.35				
120	4.040	4.384	4.685	4.369	0.323	2.73	90.35	120	0.987	0.944	0.858	0.930	0.066	2.22	97.95				
180	3.137	3.180	3.266	3.194	0.066	2.81	92.95	180	0.643	0.557	0.643	0.614	0.050	2.23	98.64				
240	3.352	2.783	2.535	2.893	0.418	2.83	93.61	240	0.643	0.600	0.686	0.643	0.043	2.23	98.58				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ผู้อื่นที่มีใจคิดปลอมแปลง และเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมายของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข - 7 ผลการทดลองการกำจัดสไลด์เร็กที่น้ำเงินที่ใช้ปริมาณรีเถ้าเกลบดต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร)

ปริมาณรีเถ้าเกลบดต่ำ														ปริมาณรีเถ้าเกลบดต่ำ													
5 กรัมต่อลิตร														10 กรัมต่อลิตร													
เวลา (นาที)	ปริมาณสไลด์เร็กที่น้ำเงินที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณสไลด์เร็กที่น้ำเงิน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณสไลด์เร็กที่น้ำเงินที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณสไลด์เร็กที่น้ำเงิน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)												
	1	2	3	เฉลี่ย					1	2	3	เฉลี่ย															
5	11.24	11.14	11.35	11.24	0.102	5.69	71.68	5	4.000	4.204	4.204	4.136	0.118	3.56	89.58												
10	10.12	10.63	10.53	10.43	0.270	5.86	73.74	10	3.388	3.082	3.286	3.252	0.156	3.65	91.81												
20	7.980	7.163	7.878	7.673	0.445	6.41	80.68	20	1.857	1.449	1.755	1.687	0.212	3.80	95.75												
30	4.816	5.020	4.918	4.918	0.102	6.96	87.61	30	1.857	1.959	1.653	1.823	0.156	3.79	95.41												
60	4.000	4.102	4.204	4.102	0.102	7.12	89.67	60	1.857	2.061	1.857	1.925	0.118	3.78	95.15												
90	3.796	3.592	3.694	3.694	0.102	7.20	90.70	90	1.857	1.041	1.857	1.585	0.471	3.81	96.01												
120	3.490	3.490	3.388	3.456	0.059	7.25	91.30	120	1.551	1.449	1.347	1.449	0.102	3.83	96.35												
180	1.857	2.163	1.653	1.891	0.257	7.56	95.24	180	1.449	1.551	1.449	1.483	0.059	3.82	96.27												
240	1.653	1.959	1.551	1.721	0.212	7.60	95.67	240	1.347	1.449	1.347	1.381	0.059	3.83	96.52												

ตารางผนวกที่ ข - 7 (ต่อ)

ปริมาณน้ำใต้ดินบาด										ปริมาณน้ำใต้ดินบาด									
15 กรมชลประทาน										20 กรมชลประทาน									
เวลา (นาท.)	ปริมาณน้ำใต้ดินบาดที่เก็บ				SD	ปริมาณน้ำใต้ดินบาดที่เก็บ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาท.)	ปริมาณน้ำใต้ดินบาดที่เก็บ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	SD	ปริมาณน้ำใต้ดินบาดที่เก็บ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	เวลา (นาท.)	ปริมาณน้ำใต้ดินบาดที่เก็บ				ปริมาณน้ำใต้ดินบาดที่เก็บ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)
	1	2	3	เฉลี่ย										1	2	3	เฉลี่ย		
5	1.041	1.041	1.087	1.056	0.027	2.69	97.45	5	1.041	1.041	0.939	1.007	0.059	1.041	1.041	0.939	1.007	1.99	97.53
10	0.837	0.833	0.735	0.735	0.102	2.71	98.23	10	0.633	0.735	0.735	0.701	0.059	0.633	0.735	0.735	0.701	2.01	98.28
20	0.327	0.429	0.327	0.361	0.059	2.74	99.13	20	0.837	0.633	0.633	0.701	0.118	0.837	0.633	0.633	0.701	2.01	98.28
30	0.531	0.429	0.327	0.429	0.102	2.73	98.97	30	0.429	0.531	0.429	0.463	0.059	0.429	0.531	0.429	0.463	2.02	98.87
60	0.020	0.020	0.020	0.020	0.000	2.76	99.95	60	0.022	0.020	0.020	0.021	0.001	0.022	0.020	0.020	0.021	2.04	99.95
90	0.024	0.020	0.020	0.022	0.002	2.76	99.95	90	0.020	0.000	0.020	0.014	0.012	0.020	0.000	0.020	0.014	2.04	99.97
120	0.021	0.020	0.022	0.021	0.001	2.76	99.95	120	0.020	0.000	0.020	0.014	0.012	0.020	0.000	0.020	0.014	2.04	99.97
180	0.020	0.020	0.024	0.021	0.002	2.76	99.95	180	0.022	0.000	0.020	0.014	0.012	0.022	0.000	0.020	0.014	2.04	99.97
240	0.026	0.020	0.020	0.022	0.003	2.76	99.95	240	0.000	0.020	0.022	0.014	0.012	0.000	0.020	0.022	0.014	2.04	99.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในทางใดก็ตาม ผู้อ่านควรตรวจสอบข้อมูลก่อนใช้ และต้องอ้างอิงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข - 8 ผลการทดลองการกำจัดไนโตรเจนที่ไร่บริเวณนี้ได้แก่ผลบดแตกต่างกัน 4 ระดับ (5 10 15 และ 20 กรัมต่อลิตร)

ปริมาณที่ได้นาถบด									
ปริมาณที่ได้นาถบด 5 กรัมต่อลิตร					ปริมาณที่ได้นาถบด 10 กรัมต่อลิตร				
เวลา (นาท)	ปริมาณที่ได้นาถบดที่เฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณที่ได้นาถบดที่เฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	SD	ปริมาณที่ได้นาถบดที่เฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการ กำจัด (%)
	1	2	3	เฉลี่ย					
5	14.46	15.65	14.94	15.02	0.602	4.601	0.602	4.601	60.508
10	7.725	8.078	7.640	7.814	0.232	6.042	0.232	6.042	79.448
20	3.425	3.774	3.499	3.566	0.184	6.891	0.184	6.891	90.621
30	1.952	1.914	1.999	1.955	0.042	7.214	0.042	7.214	94.859
60	1.097	1.086	1.093	1.092	0.006	7.386	0.006	7.386	97.128
90	1.089	1.078	1.082	1.083	0.006	7.388	0.006	7.388	97.152
120	1.064	1.077	1.065	1.069	0.007	7.391	0.007	7.391	97.189
180	1.065	1.057	1.064	1.062	0.004	7.392	0.004	7.392	97.207
240	1.047	1.040	1.044	1.044	0.004	7.396	0.004	7.396	97.255

ตารางผนวกที่ ข - 8 (ต่อ)

ปริมาณซีเมนต์มาตรฐาน										ปริมาณซีเมนต์มาตรฐาน									
15 กรัมต่อลิตร										20 กรัมต่อลิตร									
เวลา (นาที)	ปริมาณซีเมนต์ที่เรกที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณซีเมนต์ที่เรกที่เรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณซีเมนต์ที่เรกที่เรด (%)	ปริมาณซีเมนต์ที่เรกที่เรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เวลา (นาที)	ปริมาณซีเมนต์ที่เรกที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ปริมาณซีเมนต์ที่เรกที่เรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณซีเมนต์ที่เรกที่เรด (%)	ปริมาณซีเมนต์ที่เรกที่เรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เวลา (นาที)	ปริมาณซีเมนต์ที่เรกที่เรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	1	2	3	เฉลี่ย						1	2	3	เฉลี่ย						
5	8.584	9.296	9.026	8.968	0.360	1.94	76.41		5	8.943	8.372	8.762	8.692	0.292	1.47	77.40			
10	5.337	5.432	4.818	5.196	0.331	2.19	86.33		10	4.723	4.715	4.726	4.721	0.006	1.67	87.72			
20	1.326	1.372	1.315	1.337	0.030	2.45	96.48		20	1.372	1.125	1.342	1.280	0.135	1.84	96.67			
30	0.386	0.332	0.329	0.349	0.032	2.51	99.08		30	0.315	0.339	0.388	0.347	0.037	1.88	99.10			
60	0.284	0.251	0.235	0.257	0.025	2.52	99.32		60	0.281	0.286	0.223	0.263	0.035	1.89	99.32			
90	0.302	0.233	0.234	0.256	0.039	2.52	99.33		90	0.234	0.234	0.237	0.235	0.002	1.89	99.39			
120	0.294	0.201	0.252	0.249	0.046	2.52	99.35		120	0.150	0.152	0.149	0.150	0.002	1.89	99.61			
180	0.201	0.201	0.236	0.213	0.020	2.52	99.44		180	0.152	0.150	0.150	0.151	0.001	1.89	99.61			
240	0.202	0.205	0.210	0.205	0.004	2.52	99.46		240	0.156	0.152	0.149	0.152	0.004	1.89	99.60			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ให้สาธารณชนได้รับทราบโดยไม่คิดค่าลิขสิทธิ์ และเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตารางแสดงผลการทดลองอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้น
ของโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ค - 1 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตร							ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 25 มิลลิกรัมต่อลิตร							ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 50 มิลลิกรัมต่อลิตร						
เวลา (นาที)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย		
5	0.781	0.783	0.784	0.783	0.002	92.17	5	2.125	2.123	2.185	2.144	0.035	91.42	5	5.560	5.578	5.589	5.576	0.015	88.85
10	0.623	0.622	0.645	0.630	0.013	93.70	10	2.001	2.002	2.012	2.005	0.006	91.98	10	4.212	4.230	4.201	4.214	0.015	91.57
20	0.620	0.643	0.621	0.628	0.013	93.72	20	1.987	1.967	1.968	1.974	0.011	92.10	20	4.212	4.211	4.230	4.218	0.011	91.56
30	0.612	0.600	0.601	0.604	0.007	93.96	30	1.972	1.979	1.899	1.950	0.044	92.20	30	3.956	3.966	3.947	3.956	0.010	92.09
60	0.587	0.577	0.543	0.569	0.023	94.31	60	1.882	1.895	1.845	1.874	0.026	92.50	60	3.842	3.856	3.844	3.847	0.008	92.31
90	0.564	0.543	0.521	0.543	0.022	94.57	90	1.787	1.789	1.784	1.787	0.003	92.85	90	3.768	3.745	3.755	3.756	0.012	92.49
120	0.567	0.543	0.523	0.544	0.022	94.56	120	1.726	1.775	1.777	1.759	0.029	92.96	120	3.742	3.745	3.756	3.748	0.007	92.50
180	0.521	0.543	0.562	0.542	0.021	94.58	180	1.765	1.764	1.772	1.767	0.004	92.93	180	3.748	3.765	3.766	3.760	0.010	92.48
240	0.523	0.519	0.545	0.529	0.014	94.71	240	1.787	1.726	1.772	1.762	0.032	92.95	240	3.789	3.745	3.742	3.759	0.026	92.48

ตารางผนวกที่ ค - 2 ผลการทดลองการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร										ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม 25 มิลลิกรัมต่อลิตร										ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร									
เวลา (นาที)	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)									
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
5	0.298	0.282	0.280	0.287	0.010	97.13	5	1.377	1.315	1.325	1.339	0.033	94.64	5	1.856	1.902	1.825	1.861	0.039	96.28									
10	0.220	0.217	0.223	0.220	0.003	97.80	10	1.286	1.269	1.217	1.257	0.036	94.97	10	1.425	1.656	1.778	1.620	0.179	96.76									
20	0.248	0.255	0.258	0.254	0.005	97.46	20	0.913	0.745	0.849	0.836	0.085	96.66	20	1.688	1.808	1.602	1.699	0.103	96.60									
30	0.200	0.237	0.124	0.187	0.058	98.13	30	0.844	0.630	0.768	0.747	0.108	97.01	30	1.260	1.505	1.285	1.350	0.135	97.30									
60	0.148	0.182	0.103	0.144	0.040	98.56	60	0.447	0.575	0.452	0.491	0.073	98.03	60	1.246	1.578	1.076	1.300	0.255	97.40									
90	0.122	0.137	0.126	0.128	0.008	98.72	90	0.464	0.439	0.495	0.466	0.028	98.14	90	1.248	1.235	1.346	1.276	0.061	97.45									
120	0.107	0.138	0.135	0.127	0.017	98.73	120	0.471	0.469	0.370	0.437	0.058	98.25	120	0.972	1.165	1.369	1.169	0.199	97.66									
180	0.148	0.141	0.148	0.146	0.004	98.54	180	0.377	0.391	0.361	0.376	0.015	98.49	180	1.084	1.032	1.041	1.052	0.028	97.90									
240	0.136	0.152	0.172	0.153	0.018	98.47	240	0.398	0.394	0.396	0.396	0.002	98.42	240	1.085	1.052	1.032	1.056	0.027	97.89									



ตารางผนวกที่ ค - 3 ผลการทดลองการกำจัดโคโรนาที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์โคโรนา 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคโรนา 10 มิลลิกรัมต่อลิตร						ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคโรนา 25 มิลลิกรัมต่อลิตร						ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคโรนา 50 มิลลิกรัมต่อลิตร					
	ปริมาณโคโรนาที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณโคโรนาที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณโคโรนาที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	
	1	2	3				1	2	3				1	2	3			
5	5.928	6.040	5.939	0.062	40.43	5	16.50	16.56	16.78	0.147	33.55	5	37.92	38.72	37.88	0.47	23.65	
10	5.084	5.108	5.090	0.012	49.16	10	15.59	15.78	15.52	0.135	37.48	10	37.48	36.70	36.72	0.44	26.07	
20	4.189	4.430	4.284	0.121	57.08	20	14.38	14.05	13.20	0.609	44.50	20	34.88	35.70	35.00	0.44	29.61	
30	4.040	4.065	4.040	0.014	59.60	30	13.17	12.83	13.22	0.212	47.72	30	34.00	33.58	33.84	0.21	32.39	
60	3.848	3.928	3.884	0.040	61.21	60	11.65	12.23	13.52	0.957	50.15	60	31.90	31.88	31.86	0.02	36.24	
90	3.500	3.550	3.504	0.028	64.89	90	11.51	11.48	11.42	0.046	54.13	90	29.85	30.05	30.26	0.21	39.89	
120	3.536	3.459	3.295	0.123	65.77	120	11.56	11.33	11.42	0.116	54.26	120	29.68	29.46	30.30	0.44	40.37	
180	3.039	3.122	3.031	0.050	69.42	180	11.00	11.05	10.65	0.218	56.41	180	28.22	28.51	28.64	0.22	43.09	
240	2.911	2.986	2.947	0.038	70.59	240	10.37	10.35	10.20	0.093	58.78	240	28.13	27.47	27.19	0.48	44.81	

ตารางผนวกที่ ค - 4 ผลการทดลองการกำจัดฟีนอลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ฟีนอล 1 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล 1 มิลลิกรัมต่อลิตร							ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล 5 มิลลิกรัมต่อลิตร							ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล 10 มิลลิกรัมต่อลิตร						
เวลา (นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย		
5	0.070	0.170	0.080	0.107	0.055	89.33	5	1.180	1.170	1.190	1.180	0.010	76.40	5	3.136	3.133	3.202	3.157	0.039	67.00
10	0.090	0.050	0.020	0.053	0.035	94.67	10	1.050	0.990	1.030	1.023	0.031	79.53	10	2.721	2.758	2.723	2.734	0.020	71.42
20	0.000	0.120	0.000	0.040	0.069	96.00	20	0.860	0.880	0.860	0.867	0.012	82.67	20	2.500	2.524	2.470	2.498	0.027	73.89
20	0.090	0.000	0.020	0.037	0.047	96.33	30	0.540	0.580	0.620	0.580	0.040	88.40	30	2.267	2.262	2.255	2.261	0.006	76.36
60	0.000	0.040	0.040	0.027	0.023	97.33	60	0.410	0.470	0.430	0.437	0.031	91.27	60	2.213	2.202	2.222	2.213	0.010	76.87
90	0.000	0.000	0.040	0.013	0.023	98.67	90	0.360	0.330	0.320	0.337	0.021	93.27	90	1.816	1.773	1.970	1.853	0.104	80.63
120	0.000	0.000	0.030	0.010	0.017	99.00	120	0.330	0.350	0.330	0.337	0.012	93.27	120	1.756	1.762	1.755	1.758	0.004	81.63
180	0.030	0.000	0.000	0.010	0.017	99.00	180	0.230	0.240	0.220	0.230	0.010	95.40	180	1.721	1.663	1.704	1.696	0.030	82.27
240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.00	240	0.250	0.260	0.220	0.243	0.021	95.13	240	1.536	1.566	1.555	1.552	0.015	83.77

ตารางผนวกที่ ค - 5 ผลการทดลองการกำจัดสีย้อมที่โพรเซียมชมพู 8B ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมที่โพรเซียมชมพู 8B 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่โพรเซียมชมพู 8B										ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่โพรเซียมชมพู 8B										ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่โพรเซียมชมพู 8B									
10 มิลลิกรัมต่อลิตร										25 มิลลิกรัมต่อลิตร										50 มิลลิกรัมต่อลิตร									
เวลา (นาที)	ปริมาณสีย้อมที่โพรเซียมชมพู 8B ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณสีย้อมที่โพรเซียมชมพู 8B ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณสีย้อมที่โพรเซียมชมพู 8B ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)									
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
5	1.111	1.548	1.706	1.455	0.308	85.45	5	9.612	9.698	9.311	9.540	0.204	61.84	5	30.50	31.30	30.60	30.80	0.438	40.41									
10	0.992	1.429	1.270	1.230	0.221	87.70	10	9.354	8.966	9.224	9.181	0.197	63.27	10	29.89	29.78	29.88	29.85	0.059	42.24									
20	1.230	0.556	0.794	0.860	0.342	91.40	20	7.717	7.458	7.329	7.501	0.197	70.00	20	28.27	28.33	28.43	28.34	0.080	45.17									
30	0.754	0.714	0.794	0.754	0.040	92.46	30	7.027	6.596	6.812	6.812	0.215	72.75	30	27.37	27.28	27.23	27.29	0.070	47.19									
60	0.833	0.952	0.714	0.833	0.119	91.67	60	8.728	6.338	6.381	6.481	0.213	74.07	60	25.58	25.64	25.61	25.61	0.032	50.45									
90	0.556	0.595	0.556	0.569	0.023	94.31	90	5.950	5.692	4.787	5.476	0.611	78.10	90	25.25	25.20	25.24	25.23	0.027	51.18									
120	0.516	0.556	0.317	0.463	0.128	95.37	120	4.925	4.405	4.697	4.676	0.261	81.30	120	24.74	24.69	24.62	24.69	0.062	52.23									
180	0.595	0.278	0.198	0.357	0.210	96.43	180	4.451	4.623	4.311	4.462	0.156	82.15	180	22.20	22.50	22.54	22.41	0.183	56.63									
240	0.437	0.317	0.278	0.344	0.083	96.56	240	3.891	3.920	3.936	3.916	0.023	84.34	240	21.87	21.89	21.80	21.85	0.048	57.72									

ตารางผนวกที่ ค - 6 ผลการทดลองการกำจัดสรีรแอ็คทีฟโพรเซียมน้ำเงิน 7RX ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์สรีรแอ็คทีฟโพรเซียมน้ำเงิน 7RX 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสรีรแอ็คทีฟโพรเซียมน์น้ำเงิน 7RX										ความเข้มข้นเริ่มต้นของสรีรแอ็คทีฟโพรเซียมน์น้ำเงิน 7RX										ความเข้มข้นเริ่มต้นของสรีรแอ็คทีฟโพรเซียมน์น้ำเงิน 7RX									
10 มิลลิกรัมต่อลิตร										25 มิลลิกรัมต่อลิตร										50 มิลลิกรัมต่อลิตร									
เวลา (นาที)	ปริมาณสรีรแอ็คทีฟโพรเซียมน์น้ำเงิน 7RX ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	เวลา (นาที)	ปริมาณสรีรแอ็คทีฟโพรเซียมน์น้ำเงิน 7RX ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	เวลา (นาที)	ปริมาณสรีรแอ็คทีฟโพรเซียมน์น้ำเงิน 7RX ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD									
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
5	0.213	0.213	0.213	0.21	97.78	0.000	5	5.072	5.029	4.857	4.89	79.50	0.114	5	23.90	23.82	23.65	23.79	50.89	0.130									
10	0.127	0.084	0.084	0.10	99.12	0.025	10	3.782	3.825	3.567	3.72	84.94	0.138	10	22.49	22.50	22.54	22.51	53.53	0.028									
20	0.127	0.127	0.127	0.13	98.67	0.000	20	2.664	2.621	2.621	2.64	88.94	0.025	20	20.07	20.17	20.06	20.10	58.50	0.065									
30	0.041	0.041	0.041	0.06	99.12	0.025	30	1.976	1.976	1.847	1.93	92.20	0.074	30	18.41	18.06	18.53	18.33	62.15	0.246									
60	0.041	0.084	0.041	0.06	99.57	0.025	60	1.202	1.202	1.159	1.19	95.11	0.025	60	16.42	16.51	16.51	16.48	65.98	0.049									
90	0.084	0.084	0.041	0.07	99.57	0.025	90	0.815	0.772	0.815	0.80	96.56	0.025	90	14.90	14.83	14.88	14.87	69.30	0.035									
120	0.084	0.084	0.084	0.08	99.12	0.000	120	0.600	0.600	0.600	0.60	97.47	0.000	120	13.28	13.59	13.76	13.54	72.04	0.239									
180	0.041	0.041	0.041	0.04	99.57	0.000	180	0.428	0.385	0.342	0.38	98.56	0.043	180	12.94	12.98	12.87	12.93	73.30	0.058									
240	0.041	0.041	0.041	0.04	99.57	0.000	240	0.299	0.213	0.256	0.28	98.92	0.043	240	12.04	12.78	12.25	12.36	74.49	0.382									

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งยังห้ามคัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางผู้จัดทำเอกสาร

ตารางผนวกที่ ค - 7 ผลการทดลองการกำจัดสีไดเรกท์น้ำเงินที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์สีไดเรกท์น้ำเงิน 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเรกท์น้ำเงิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร				ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเรกท์น้ำเงิน 25 มิลลิกรัมต่อลิตร				ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเรกท์น้ำเงิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร			
เวลา (นาที)	ปริมาณสีไดเรกท์น้ำเงินที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	เวลา (นาที)	ปริมาณสีไดเรกท์น้ำเงินที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD
	1	2	3				1	2	3		
5	0.021	0.023	0.020	99.79	0.002	5	0.038	0.037	0.035	99.85	0.002
10	0.002	0.003	0.002	99.98	0.001	10	0.023	0.025	0.022	99.91	0.002
20	0.002	0.002	0.003	99.98	0.001	20	0.017	0.016	0.015	99.94	0.001
30	0.001	0.002	0.001	99.99	0.001	30	0.012	0.013	0.011	99.95	0.001
60	0.002	0.003	0.001	99.98	0.001	60	0.011	0.011	0.013	99.95	0.001
90	0.001	0.002	0.003	99.98	0.001	90	0.011	0.011	0.010	99.96	0.001
120	0.002	0.001	0.001	99.99	0.001	120	0.010	0.011	0.010	99.96	0.001
180	0.001	0.002	0.001	99.99	0.001	180	0.011	0.011	0.010	99.96	0.001
240	0.002	0.003	0.001	99.98	0.001	240	0.011	0.011	0.010	99.96	0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมการแพทย์และสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร
ไม่ว่าในกรณีใดๆ ก็ตาม ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางผนวกที่ ค - 8 ผลการทดลองการกำจัดสีไดเร็กต์เรดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์สีไดเร็กต์เรด 10 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กต์เรด 10 มิลลิกรัมต่อลิตร					ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กต์เรด 25 มิลลิกรัมต่อลิตร					ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีไดเร็กต์เรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร								
เวลา (นาที)	ปริมาณสีไดเร็กต์เรดที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	เวลา (นาที)	ปริมาณสีไดเร็กต์เรดที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณสีไดเร็กต์เรดที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	
	1	2	3				เฉลี่ย	1	2				3	เฉลี่ย	1			2
5	0.6175	0.6749	0.8462	0.713	0.119	92.87	3.450	3.453	3.448	3.450	0.003	86.20	12.17	11.40	12.17	11.91	0.45	69.19
10	0.5873	0.5329	0.5106	0.544	0.039	94.56	2.105	1.742	2.002	1.949	0.187	92.20	4.821	5.378	4.981	5.060	0.29	86.91
20	0.141	0.179	0.106	0.142	0.036	98.58	0.397	0.343	0.336	0.359	0.033	98.57	2.015	2.124	2.442	2.193	0.22	94.33
30	0.0785	0.054	0.0785	0.070	0.014	99.30	0.286	0.248	0.276	0.270	0.020	98.92	1.069	1.085	1.240	1.131	0.09	97.07
60	0.0484	0.0326	0.0353	0.039	0.008	99.61	0.236	0.218	0.227	0.227	0.009	99.09	0.667	0.649	0.675	0.664	0.01	98.28
90	0.0952	0.0979	0.0906	0.095	0.004	99.05	0.196	0.190	0.197	0.194	0.004	99.22	0.704	0.641	0.657	0.667	0.03	98.27
120	0.0569	0.0773	0.0523	0.062	0.013	99.38	0.098	0.107	0.101	0.102	0.004	99.59	0.510	0.518	0.574	0.534	0.03	98.62
180	0.0399	0.0353	0.034	0.036	0.003	99.64	0.083	0.089	0.085	0.086	0.003	99.66	0.529	0.568	0.532	0.543	0.02	98.60
240	0.0333	0.0336	0.038	0.035	0.003	99.65	0.080	0.087	0.077	0.081	0.006	99.67	0.477	0.421	0.444	0.447	0.03	98.84

ภาคผนวก ง.

ตารางแสดงผลการทดลองอิทธิพลของอุณหภูมิ
ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 - 1 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 25 องศาเซลเซียส							อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 30 องศาเซลเซียส							อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 40 องศาเซลเซียส						
เวลา (นาที)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	เวลา (นาที)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	เวลา (นาที)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย		
5	5.756	5.720	5.711	5.729	88.54	0.024	5	5.580	5.578	5.589	5.576	88.85	0.015	5	3.987	3.911	3.975	3.951	0.035	92.10
10	4.310	4.321	4.330	4.320	91.36	0.010	10	4.212	4.230	4.201	4.214	91.57	0.015	10	3.907	3.074	4.074	3.685	0.536	92.63
20	4.212	4.256	4.203	4.224	91.55	0.028	20	4.212	4.211	4.230	4.218	91.56	0.011	20	3.843	3.875	3.865	3.861	0.016	92.28
30	4.001	4.023	4.120	4.048	91.90	0.063	30	3.956	3.966	3.947	3.956	92.09	0.010	30	3.559	3.583	3.596	3.579	0.019	92.64
60	3.917	3.987	3.950	3.951	92.10	0.035	60	3.842	3.856	3.844	3.847	92.31	0.008	60	3.527	3.540	3.524	3.530	0.009	92.94
90	3.992	4.004	3.995	3.997	92.01	0.006	90	3.768	3.745	3.755	3.756	92.49	0.012	90	3.320	3.453	3.426	3.400	0.070	93.20
120	3.910	3.915	3.912	3.912	92.18	0.003	120	3.742	3.745	3.756	3.748	92.50	0.007	120	3.300	3.289	3.298	3.296	0.006	93.41
180	3.902	3.983	3.972	3.952	92.10	0.044	180	3.748	3.765	3.766	3.760	92.48	0.010	180	3.256	3.288	3.287	3.277	0.018	93.45
240	4.032	3.946	3.940	3.973	92.05	0.051	240	3.789	3.745	3.742	3.759	92.48	0.026	240	3.245	3.256	3.278	3.260	0.017	93.48

อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในกรณีใดๆก็ตามโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 - 3 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 25 องศาเซลเซียส										อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 30 องศาเซลเซียส										อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 40 องศาเซลเซียส									
เวลา (นาที)	ปริมาณโครเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	เวลา (นาที)	ปริมาณโครเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	เวลา (นาที)	ปริมาณโครเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)								
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
5	38.85	39.00	38.56	38.80	22.39	0.224	5	37.92	38.72	37.88	38.17	0.47	23.65	5	37.92	38.12	37.88	37.97	0.129	24.05									
10	38.09	38.13	37.98	38.07	23.87	0.078	10	37.48	36.70	36.72	36.97	0.44	26.07	10	36.25	35.84	35.69	35.93	0.290	28.15									
20	35.73	35.92	36.00	35.88	28.23	0.139	20	34.88	35.70	35.00	35.19	0.44	29.61	20	33.59	34.26	34.51	34.12	0.476	31.76									
30	35.04	34.98	34.56	34.86	30.28	0.262	30	34.00	33.58	33.84	33.81	0.21	32.39	30	33.58	33.35	32.76	33.23	0.423	33.54									
60	31.98	32.34	32.56	32.29	35.41	0.293	60	31.90	31.88	31.86	31.88	0.02	36.24	60	32.46	32.42	32.56	32.48	0.072	35.04									
90	31.00	30.87	30.65	30.84	38.32	0.177	90	29.85	30.05	30.26	30.05	0.21	39.89	90	29.34	29.64	29.53	29.50	0.152	40.99									
120	29.88	30.26	30.00	30.05	39.91	0.194	120	29.68	29.46	30.30	29.81	0.44	40.37	120	28.88	28.05	28.52	28.48	0.416	43.03									
180	29.30	29.12	28.98	29.13	41.73	0.160	180	28.22	28.51	28.64	28.46	0.22	43.09	180	28.23	28.35	28.12	28.23	0.115	43.53									
240	28.69	28.74	27.84	28.42	43.15	0.506	240	28.13	27.47	27.19	27.60	0.48	44.81	240	27.02	27.86	27.67	27.52	0.440	44.97									

ตารางผนวกที่ 4 - 4 ผลการทดลองการกำจัดฟีนอลที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของน้ำเสียสัปดาห์ที่ 25 องศาเซลเซียส										อุณหภูมิของน้ำเสียสัปดาห์ที่ 30 องศาเซลเซียส										อุณหภูมิของน้ำเสียสัปดาห์ที่ 40 องศาเซลเซียส									
เวลา (นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)									
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
5	3.440	3.408	3.441	3.430	0.019	64.05	5	3.136	3.133	3.202	3.157	0.039	67.00	5	3.246	3.147	3.067	3.153	0.089	67.28									
10	2.888	2.877	2.886	2.884	0.006	69.77	10	2.721	2.758	2.723	2.734	0.020	71.42	10	2.560	2.562	2.575	2.566	0.008	73.38									
20	2.610	2.612	2.624	2.615	0.008	72.59	20	2.500	2.524	2.470	2.498	0.027	73.89	20	2.465	2.340	2.492	2.432	0.081	74.77									
30	2.454	2.612	2.426	2.497	0.100	73.83	30	2.267	2.262	2.255	2.261	0.006	76.36	30	2.210	2.204	2.218	2.211	0.007	77.06									
60	2.313	2.291	2.213	2.272	0.052	76.18	60	2.213	2.202	2.222	2.213	0.010	76.87	60	2.123	2.124	2.106	2.118	0.010	78.03									
90	2.090	2.004	1.926	2.007	0.082	78.97	90	1.816	1.773	1.970	1.853	0.104	80.63	90	1.972	1.987	1.992	1.984	0.011	79.42									
120	1.786	1.784	1.757	1.776	0.016	81.39	120	1.756	1.762	1.755	1.758	0.004	81.63	120	1.768	1.783	1.776	1.775	0.007	81.58									
180	1.737	1.750	1.724	1.737	0.013	81.80	180	1.721	1.663	1.704	1.696	0.030	82.27	180	1.722	1.716	1.708	1.715	0.007	82.20									
240	1.599	1.569	1.620	1.602	0.016	83.20	240	1.536	1.566	1.555	1.552	0.015	83.77	240	1.489	1.600	1.570	1.553	0.058	83.89									

ตารางผนวกที่ ง - 5 ผลการทดลองการกำจัดสรีเ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของน้ำเสียส่งเคราะห์ 25 องศาเซลเซียส										อุณหภูมิของน้ำเสียส่งเคราะห์ 30 องศาเซลเซียส										อุณหภูมิของน้ำเสียส่งเคราะห์ 40 องศาเซลเซียส									
เวลา (นาท)	ปริมาณสรีเ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาท)	ปริมาณสรีเ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาท)	ปริมาณสรีเ็คทีฟโพเรเซียนชมพู 8B ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)									
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
5	31.94	31.95	31.75	31.88	0.114	38.31	5	30.50	31.30	30.60	30.80	0.438	40.41	5	30.28	30.26	30.17	30.24	0.061	41.49									
10	31.78	31.77	30.43	31.33	0.780	39.38	10	29.89	29.78	29.88	29.85	0.059	42.24	10	28.67	29.60	28.95	29.07	0.477	43.74									
20	30.43	29.38	29.07	29.63	0.710	42.67	20	28.27	28.33	28.43	28.34	0.080	45.17	20	27.53	28.02	28.38	27.98	0.427	45.87									
30	27.42	27.43	27.94	27.60	0.301	46.60	30	27.07	27.08	27.02	27.06	0.029	47.65	30	26.29	26.61	26.75	26.55	0.235	48.63									
60	25.88	25.89	25.91	25.89	0.020	49.90	60	25.38	25.36	25.31	25.35	0.033	50.95	60	24.78	24.84	24.58	24.73	0.136	52.14									
90	24.55	25.56	25.14	25.08	0.504	51.47	90	24.64	24.69	24.62	24.65	0.036	52.30	90	22.57	23.24	22.98	22.93	0.335	55.63									
120	24.95	24.29	24.93	24.72	0.372	52.16	120	23.56	23.44	23.66	23.55	0.110	54.43	120	22.77	22.78	22.23	22.59	0.313	56.28									
180	23.57	23.69	23.57	23.61	0.070	54.32	180	22.20	22.50	22.54	22.41	0.070	56.63	180	22.15	21.76	21.86	21.92	0.202	57.58									
240	22.20	22.21	23.04	22.48	0.480	56.50	240	21.87	21.89	21.80	21.85	0.183	57.72	240	20.51	20.03	20.46	20.34	0.264	60.65									

ตารางผนวกที่ ๕ - 6 ผลการทดลองการกำจัดสีน้ำเงิน 7RX ที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 25 องศาเซลเซียส										อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 30 องศาเซลเซียส										อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 40 องศาเซลเซียส									
เวลา (นาที)	ปริมาณสีรีเอคทีฟโพรเซียมน้ำเงิน 7RX ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณสีรีเอคทีฟโพรเซียมน้ำเงิน 7RX ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณสีรีเอคทีฟโพรเซียมน้ำเงิน 7RX ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)									
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
5	25.748	25.784	25.669	25.734	0.059	49.06	5	23.90	23.82	23.65	23.79	0.130	50.89	5	23.90	23.99	23.90	23.93	0.054	51.07									
10	23.598	23.588	24.496	23.894	0.521	52.70	10	22.49	22.50	22.54	22.51	0.028	53.53	10	21.80	21.62	21.13	21.52	0.344	56.01									
20	21.446	21.453	22.172	21.690	0.417	57.06	20	20.07	20.17	20.06	20.10	0.065	58.50	20	20.38	20.31	20.03	20.24	0.188	58.61									
30	20.724	20.381	20.356	20.487	0.206	59.44	30	18.41	18.06	18.53	18.33	0.246	62.15	30	17.75	17.76	17.77	17.76	0.006	63.69									
60	18.549	18.555	18.034	18.379	0.299	63.62	60	16.42	16.51	16.51	16.48	0.049	65.98	60	16.00	16.15	16.13	16.10	0.081	67.09									
90	17.805	17.788	17.812	17.802	0.012	64.76	90	14.90	14.83	14.88	14.87	0.035	69.30	90	14.83	14.83	14.10	14.59	0.421	70.17									
120	16.449	16.838	16.832	16.706	0.223	66.93	120	13.28	13.59	13.76	13.54	0.239	72.04	120	12.43	12.70	12.79	12.64	0.185	74.15									
180	15.991	14.818	16.088	15.632	0.707	69.05	180	12.94	12.88	12.87	12.93	0.058	73.30	180	12.55	12.73	12.60	12.62	0.092	74.19									
240	14.257	14.26	14.99	14.502	0.422	71.29	240	12.04	12.78	12.25	12.36	0.382	74.49	240	11.80	11.50	11.78	11.69	0.167	76.10									

ตารางผนวกที่ ๕ - 7 ผลการทดลองการกำจัดสปีชีส์ไทรเร็กน้ำเงินที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของน้ำเลี้ยงสังเคราะห์ 25 องศาเซลเซียส										อุณหภูมิของน้ำเลี้ยงสังเคราะห์ 30 องศาเซลเซียส										อุณหภูมิของน้ำเลี้ยงสังเคราะห์ 40 องศาเซลเซียส									
เวลา (นาที)	ปริมาณสปีโดเร็กน้ำเงินที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณสปีโดเร็กน้ำเงินที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณสปีโดเร็กน้ำเงินที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)									
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย											
5	5.027	5.240	5.253	5.173	0.127	86.96	5	4.000	4.204	4.204	4.138	0.118	89.58	5	2.413	2.413	2.433	2.420	0.012	93.62									
10	4.093	4.081	4.052	4.075	0.021	89.73	10	3.388	3.082	3.286	3.252	0.156	91.81	10	2.388	2.333	2.345	2.355	0.029	93.79									
20	3.561	3.651	3.688	3.633	0.065	90.84	20	1.857	1.449	1.755	1.687	0.212	95.75	20	1.523	1.587	1.623	1.578	0.051	95.84									
30	3.101	3.024	3.033	3.053	0.042	92.30	30	1.857	1.959	1.653	1.823	0.158	95.41	30	1.390	1.325	1.330	1.348	0.036	96.44									
60	2.858	2.973	2.850	2.894	0.069	92.70	60	1.857	2.061	1.857	1.925	0.118	95.15	60	1.279	1.236	1.220	1.245	0.031	96.72									
90	2.575	2.524	2.537	2.545	0.027	93.58	90	1.857	1.408	1.857	1.707	0.259	95.70	90	1.134	1.115	1.210	1.153	0.050	96.96									
120	2.331	2.484	2.334	2.383	0.088	93.99	120	1.551	1.449	1.347	1.449	0.102	96.35	120	1.095	1.064	1.082	1.047	0.015	97.24									
180	2.043	2.056	2.086	2.062	0.022	94.80	180	1.449	1.551	1.449	1.483	0.059	96.27	180	1.043	1.035	1.064	1.080	0.015	97.15									
240	2.041	2.055	2.057	2.051	0.009	94.83	240	1.347	1.449	1.347	1.381	0.059	96.52	240	1.039	1.035	1.046	1.040	0.005	97.26									

อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในทางใดก็ตามที่มีผลต่อการนำข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ง - 8 ผลการทดลองการกำจัดสีไดเร็กต์เรดที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 25 องศาเซลเซียส							อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 30 องศาเซลเซียส							อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 40 องศาเซลเซียส						
เวลา (นาที)	ปริมาณสีไดเร็กต์เรดที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	เวลา (นาที)	ปริมาณสีไดเร็กต์เรดที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD	เวลา (นาที)	ปริมาณสีไดเร็กต์เรดที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	SD
	1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย				1	2	3	เฉลี่ย		
5	4.236	4.362	3.664	4.087	89.995	0.372	5	12.17	11.40	12.17	11.91	0.449	69.19	5	31.44	31.65	31.54	31.55	0.107	13.98
10	2.735	2.533	2.640	2.636	92.790	0.101	10	4.821	5.378	4.981	5.060	0.287	86.91	10	24.34	24.37	24.59	24.43	0.134	32.95
20	1.048	1.050	0.958	1.019	97.383	0.052	20	2.015	2.124	2.442	2.193	0.222	94.33	20	9.805	9.765	9.774	9.781	0.021	73.35
30	0.311	0.360	0.344	0.338	99.062	0.025	30	1.069	1.085	1.240	1.131	0.094	97.07	30	2.510	2.539	2.552	2.534	0.022	93.04
60	0.328	0.329	0.362	0.339	99.013	0.019	60	0.667	0.649	0.675	0.664	0.013	98.28	60	1.128	1.125	1.212	1.155	0.050	96.69
90	0.411	0.409	0.411	0.410	98.879	0.001	90	0.704	0.641	0.657	0.667	0.033	98.27	90	1.065	1.079	1.086	1.077	0.011	97.04
120	0.560	0.446	0.525	0.510	98.567	0.058	120	0.510	0.518	0.574	0.534	0.035	98.62	120	0.930	0.928	0.897	0.919	0.018	97.55
180	0.492	0.446	0.433	0.457	98.819	0.031	180	0.529	0.568	0.532	0.543	0.022	98.60	180	0.856	0.889	0.875	0.919	0.017	97.61
240	0.446	0.443	0.464	0.451	98.733	0.011	240	0.477	0.421	0.444	0.447	0.028	98.84	240	0.799	0.805	0.894	0.833	0.053	97.56

ภาคผนวก จ.

วิธีวิเคราะห์ฟีนอล วิธีวิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
และสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมผ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 - 2 ผลการทดลองการกำจัดแคดเมียมที่อุณหภูมิ 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 25 องศาเซลเซียส						อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 30 องศาเซลเซียส						อุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ 40 องศาเซลเซียส					
	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	เวลา (นาที)
	1	2	3				1	2	3				1	2	3			
5	1.916	2.425	2.256	2.199	0.259	95.60	1.856	1.502	1.825	1.728	0.196	96.54	1.706	1.442	1.593	1.580	0.132	96.84
10	1.620	1.736	1.798	1.718	0.090	96.56	1.425	1.656	1.778	1.620	0.179	96.76	1.243	1.161	1.042	1.149	0.101	97.70
20	1.816	1.622	1.645	1.694	0.106	96.61	1.688	1.808	1.602	1.699	0.103	96.60	0.933	0.898	0.996	0.942	0.050	98.12
30	1.428	1.803	1.543	1.591	0.192	96.82	1.26	1.505	1.285	1.350	-0.135	97.30	0.998	0.989	0.875	0.954	0.069	98.09
60	1.415	1.640	1.423	1.493	0.128	97.01	1.246	1.578	1.076	1.300	0.255	97.40	0.835	0.786	0.875	0.832	0.045	98.34
90	1.250	1.294	1.236	1.260	0.030	97.48	1.248	1.235	1.346	1.276	0.061	97.45	0.885	0.712	0.742	0.780	0.092	98.44
120	1.170	1.183	1.098	1.150	0.046	97.70	0.972	1.165	1.369	1.169	0.199	97.66	0.733	0.879	0.765	0.792	0.077	98.42
180	1.003	1.078	1.052	1.044	0.038	97.91	1.084	1.032	1.041	1.052	0.028	97.90	0.781	0.733	0.806	0.773	0.037	98.45
240	1.070	1.098	0.996	1.055	0.053	97.89	1.085	1.052	1.032	1.056	0.027	97.89	0.811	0.717	0.847	0.792	0.067	98.42



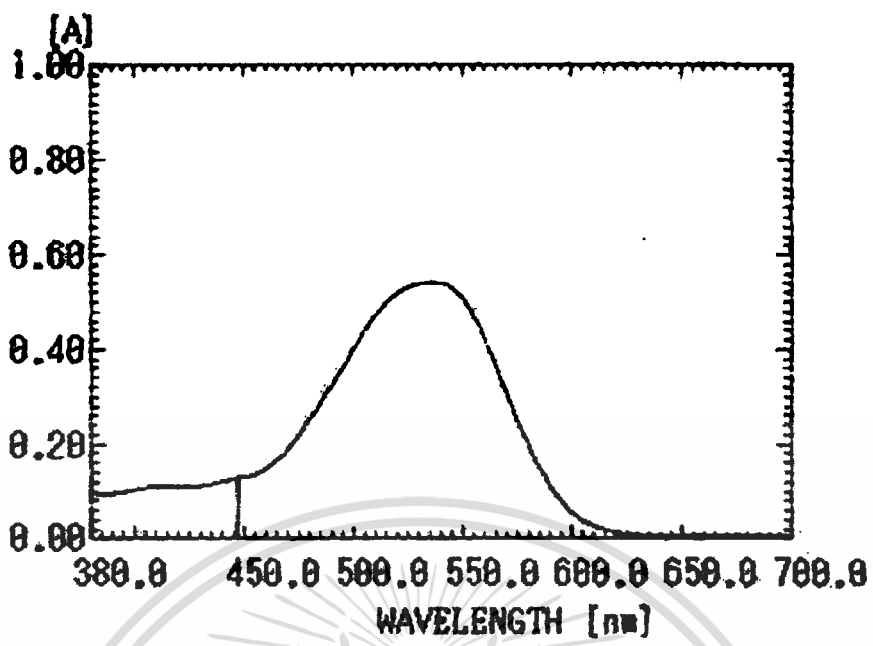
การวิเคราะห์หาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)

สารเคมี

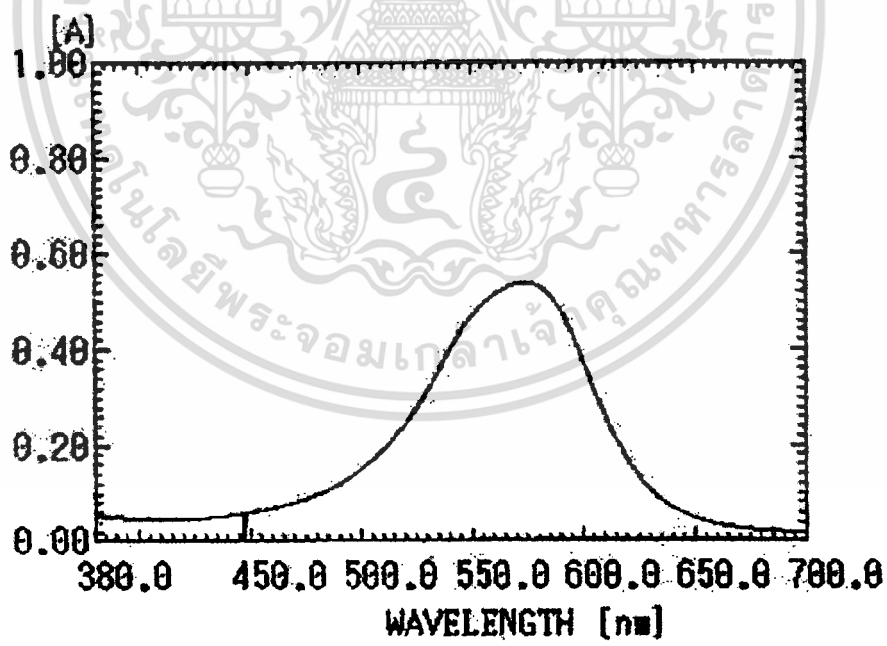
1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) 1 N ที่เลข 7
2. สารละลายแอมโมเนียมออกซาเลท (Ammonium oxalate) 10 %
3. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 50 %
4. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1 N ที่เลข 7
5. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 0.25 N ที่เลข 7
6. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 0.1 N
7. เอธิลแอลกอฮอล์ 95 %
8. สารละลาย โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 0.1 N
9. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 %
10. กรดซัลฟูริก 0.1 N
11. อินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator) ละลายโบรโมครีโซลกรีน 0.22 กรัม และเมธิลเรด 0.075 กรัม ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95 % 96 มล. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ลงไป 3.5 มล.
12. สารละลาย โซเดียมคลอไรด์ 10 % (Acidified NaCl 10%) โดยเตรียมสารละลาย NaCl 10% แล้วทำให้เป็นกรดด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น

วิธีวิเคราะห์

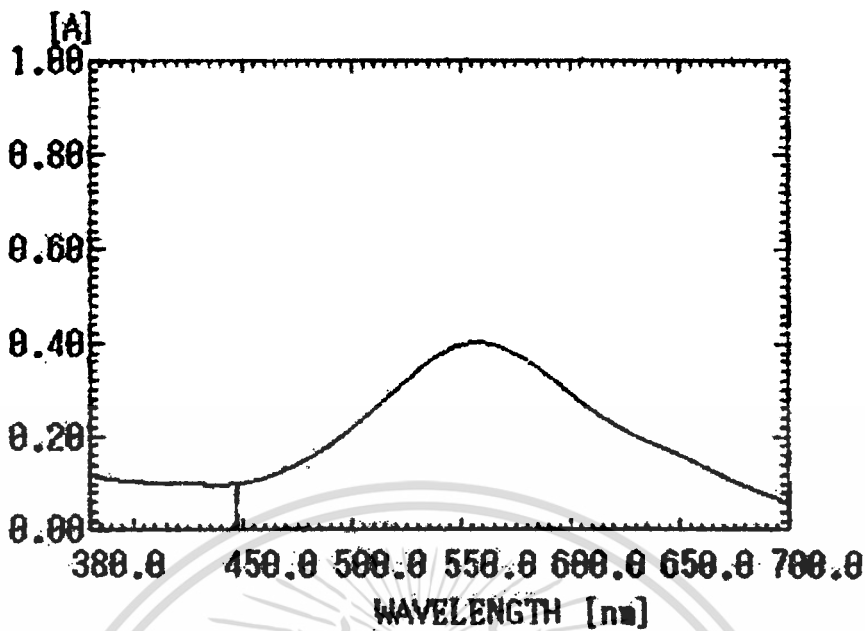
1. ชั่งตัวอย่างที่แห้งและบดละเอียด 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล. เติม 1 N NH_4OAc 250 มล. เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน
2. กรองด้วย suction โดยใช้กรวยบุชเนอร์ ระวังอย่าให้ตัวอย่างแห้งด้วย suction ในขณะที่ต้องระวังอย่าให้ตัวอย่างแห้ง
3. ทำการชะที่แห้งและบดละเอียดด้วย NH_4OAc จนกระทั่งไม่มี Ca ออกมาในสารละลาย (การทดสอบ Ca ใช้ 1 N NH_4Cl , 10 % Ammonium oxalate และ NH_4OH เจือจาง อย่างละ 2-3 หยด ใส่ลงในสารละลายที่จะทดสอบ นำไปต้มให้เดือด ถ้ามี Ca จะเห็นตะกอนขาวเกิดขึ้น)



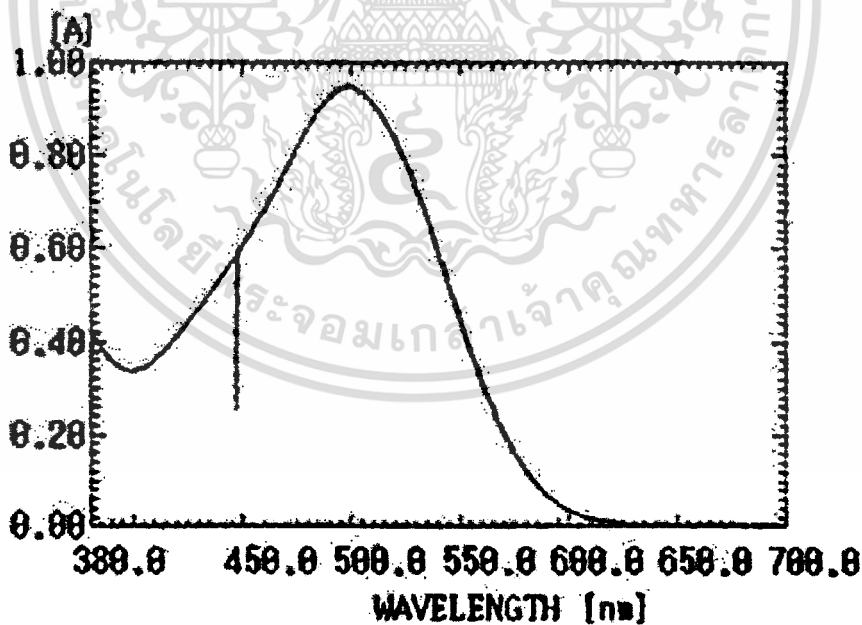
สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสิริอัคทีฟโพรเรียนรุมพู 8B (λ_{max} 530 nm)



สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสิริอัคทีฟโพรเรียนน้ำเงิน 7RX (λ_{max} 570 nm)



สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีไดโอรีกท์น้ำเงิน (λ_{max} 550 nm)



สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีไดโอรีกท์เรด (λ_{max} 500 nm)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจรรยา คงฤทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2510 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2534 ในปี พ.ศ.2535 เข้ารับราชการในตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 3 สังกัดภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และปัจจุบันดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้