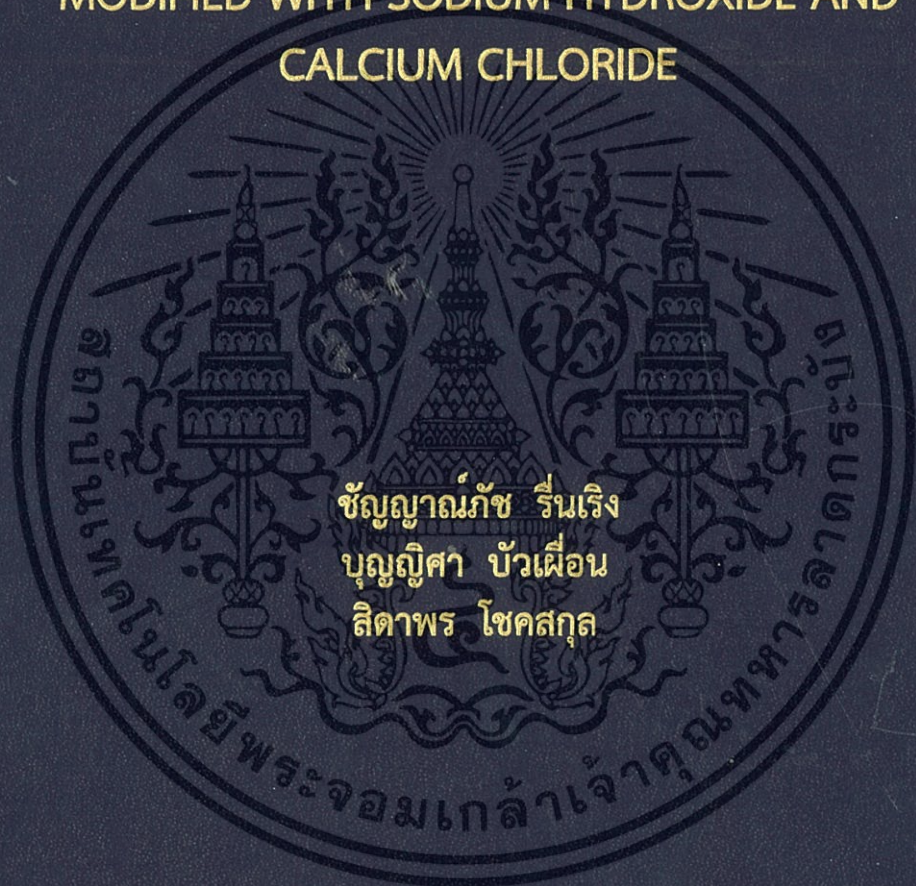


การดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไดเรกต์เรด 83 ในน้ำเสีย
สังเคราะห์ โดยใช้เปลือกส้มปรีดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย
โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมคลอไรด์

ADSORPTION OF BASIC RED 9 AND DIRECT RED 83 IN
SYNTHETIC WASTEWATER USING PINEAPPLE PEEL
MODIFIED WITH SODIUM HYDROXIDE AND
CALCIUM CHLORIDE

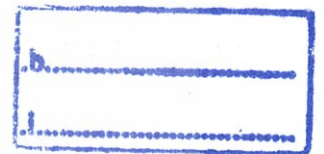


ชัญญาณ์ภักษ์ รื่นเริง
บุญญา บัวเพื่อน
ลิตาพร โชคสกุล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไดเรกต์เรด 83 ในน้ำเสีย
สังเคราะห์ โดยใช้เปลือกส้มประรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย
โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมคลอไรด์

ADSORPTION OF BASIC RED 9 AND DIRECT RED 83 IN
SYNTHETIC WASTEWATER USING PINEAPPLE PEEL
MODIFIED WITH SODIUM HYDROXIDE AND
CALCIUM CHLORIDE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTION OF BASIC RED 9 AND DIRECT RED 83 IN
SYNTHETIC WASTEWATER USING PINEAPPLE PEEL
MODIFIED WITH SODIUM HYDROXIDE AND
CALCIUM CHLORIDE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL
CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การดูดซับน้ำเสียสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไดเรกต์เรด 83 ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เปลือกสับประรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมคลอไรด์

Adsorption of Basic red 9 and Direct red 83 in Synthetic wastewater using Pineapple Peel Modified with Sodium Hydroxide and Calcium Chloride

ชื่อนักศึกษา

นางสาวชญาน์ภัช รื่นเริง รหัสนักศึกษา 56050683

นางสาวบุญญา บัวเฟื่อน รหัสนักศึกษา 56050716

นางสาวสิตาพร โชคสกุล รหัสนักศึกษา 56050769

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ประธานกรรมการ	
ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมคลอไรด์	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชญญาณ์ภัช รื่นเริง	รหัสนักศึกษา 56050683
	นางสาวบุญญา บัวเฟื่อน	รหัสนักศึกษา 56050716
	นางสาวสิตาพร โชคสกุล	รหัสนักศึกษา 56050769
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)	
ภาควิชา	เคมี	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ปีการศึกษา	2559	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้้นำเปลือกสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากร้านขายผลไม้ มาทำการทดลองการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการแปรผันความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการปรับปรุงเปลือกสับปะรด นำเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงแล้วไปทำการศึกษาอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ และอุณหภูมิของน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ จลนศาสตร์ของการดูดซับ และเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับ

ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) คือ 1.25 โมลาร์ น้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรดต่างเป็น 7 จะส่งผลให้การดูดซับสีทั้งสองได้ดีเมื่อปริมาณเปลือกสับปะรดเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับจะสูงขึ้นจากการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์พบว่าที่ความเข้มข้น 120 มก/ล และ 60 มก/ล มีการดูดซับสูงสุดของสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิประสิทธิภาพการดูดซับจะสูงขึ้นทั้งของสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 โดยไอโซเทอร์มของการดูดซับของสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 สอดคล้องกับสมการ Temkin และ Langmuir ตามลำดับ จลนศาสตร์ของการดูดซับของสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 สอดคล้องกับสมการ Pseudo second-order การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของตัวดูดซับในสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 มีค่าเป็นบวก แสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการดูดความร้อน การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีมีค่าเป็นบวกทั้งสองชี้แสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นมีความไม่เป็นระเบียบมากที่บริเวณผิวรอยต่อของแข็ง-ของเหลว การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการดูดซับสีย้อมเบสิก 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 มีค่าเป็นลบ ซึ่งอธิบายได้ว่าการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ

คำสำคัญ: การดูดซับ, สีย้อมเบสิกเรด 9, สีย้อมไโดเร็กต์เรด 83, เปลือกสับปะรด, การปรับปรุงคุณภาพเปลือกสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Adsorption of Basic Red 9 and Direct Red 83 in Synthetic Dye Wastewater Using Pineapple Peel Modified with Sodium Hydroxide and Calcium Chloride
Students	Miss Chanyapat Ruenroeng Student ID 56050683 Miss Bunyisa Buaphuan Student ID 56050716 Miss Sidaporn Choksakul Student ID 56050769
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Asst.Prof.Dr. Chompoonut Chaiyaraksa

Abstract

This special project has brought pineapple peel, a fruit shop waste, to do the experiment on absorbing basic red 9 and direct red 83. The concentration of sodium hydroxide (NaOH) and calcium chloride (CaCl₂) were varied to find suitable concentration to improve the adsorption of pineapple peel. The effect of pH, amount of sorbent, concentration of synthetic dye wastewater and temperature to the adsorption were observed. The study was also on adsorption isotherm, kinetic and thermodynamic.

The results indicated that the optimum concentration of calcium chloride (CaCl₂) was 1.25 molar. The pH 7 gave the best absorption of both colors. The higher the amount of pineapple peel, the better the adsorption. The adsorption were highest when the concentration of basic red 9 and direct red 83 were 120 mg/L and 60 mg/L, respectively. Increasing of temperature resulted in the increase of both dye adsorption. The adsorption data of basic red 9 and direct red 83 fitted well with Temkin and Langmuir isotherm, respectively. The Pseudo second-order was best explain the kinetic of both dye. The changing of enthalpy was positive indicating that the adsorption process was endothermic. The changing of enthalpy was positive indicating that the adsorption occurs with the disorder at the boundary surface solid-liquid. The Gibb free energy of the adsorption was negative the absorption can occur naturally.

Keywords : Adsorption, Basic red 9, Direct red 83, Pineapple peel, Modified pineapple peel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำและให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยติดตามแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆอย่างใกล้ชิดจนโครงการชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมี เจ้าหน้าที่ห้องธุรการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีทุกท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือและช่วยเหลืออย่างเต็มที่ ทำให้การทดลองสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมถึงรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโท และเพื่อนๆที่ห้องปฏิบัติการทุกคนที่ช่วยเหลือกันอย่างดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณคุณแม่ที่เป็นกำลังใจสำคัญยิ่งของลูก ที่อบรมเลี้ยงดู ให้การศึกษา และให้การสนับสนุนอย่างดี ทำให้ลูกมีกำลังใจที่จะทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมกลุ่มโครงการพิเศษที่คอยช่วยเหลือกันมาตลอด ให้กำลังใจซึ่งกันและกันในการฝ่าฟันอุปสรรค และทำงานกันอย่างเต็มที่และไม่ย่อท้อ จนทำให้โครงการพิเศษชิ้นนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ชญานัญภัช รื่นเรียง
บุญญา บัวเพื่อน
สิตาพร โชคสกุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
สัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 อุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	4
2.1.1 กระบวนการฟอกย้อม.....	4
2.1.2 การใช้วัตถุติด.....	5
2.1.3 การใช้น้ำ.....	5
2.2 น้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	5
2.2.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย.....	5
2.2.2 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย.....	6
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสีย.....	7
2.2.4 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม.....	8
2.3 สีย้อม.....	9
2.3.1 ความหมายของสีย้อม.....	9
2.3.2 ประเภทของสีย้อม.....	9
2.4 สีย้อมเบสิก.....	11
2.5 สีย้อมไตรเร็กต์.....	12
2.6 กระบวนการดูดซับ.....	12
2.6.1 ทฤษฎีการดูดซับ.....	12
2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	14
2.6.3 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ.....	15
2.6.4 จลนศาสตร์ของการดูดซับ.....	18
2.6.5 เทอร์โมไดนามิกส์.....	19
2.7 องค์ประกอบของเปลือกสับปรด.....	19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.1	สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	23
3.1.1	สารเคมี	23
3.1.2	อุปกรณ์	23
3.2	วิธีการทดลอง	24
3.2.1	การเตรียมตัวกลางในการดูดซับที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ	24
3.2.2	การเตรียมน้ำเสียสี่ย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 และสี่ย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83	25
3.2.3	การเตรียมตัวกลางในการดูดซับที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl ₂)	25
3.2.4	การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ ทั้งแบบปรับปรุงคุณภาพและไม่ปรับปรุงคุณภาพ	26
3.2.5	การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ในการดูดซับสี่ย้อม	27
3.2.6	การศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสี่ย้อม โดยวัดค่า ADMI ของน้ำเสียทั้งก่อนและหลังการดูดซับด้วยสภาวะที่ดีที่สุด	28
3.2.7	การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ	29
3.2.8	การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับ	29
3.2.9	การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์	29
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	30
4.1	การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ	30
4.1.1	การศึกษาลักษณะพื้นผิวของเปลือกสับปะรด ทั้งก่อนและหลัง การปรับปรุงคุณภาพ รวมทั้งก่อนและหลังการดูดซับสี่ย้อม	30
4.1.2	การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารองค์ประกอบในเปลือกสับปะรดทั้งก่อนและ หลังการปรับปรุงคุณภาพ รวมทั้งก่อนและหลังการดูดซับสี่ย้อม	32
4.2	การเตรียมตัวกลางในการดูดซับ	33
4.2.1	การศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เหมาะสม สำหรับการปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับ	33
4.2.2	การศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl ₂) ที่เหมาะสม สำหรับการปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับ	34
4.3	การศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อการดูดซับ	35
4.4	การศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับ	36
4.4.1	การศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับ สี่ย้อมเบสิกเรด 9	36
4.4.2	การศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับ สี่ย้อมไคเร็กซ์เรด 83	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับ	37
4.5.1 การศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับ สี่อ้อมเบสิกเรต 9.....	37
4.5.2 การศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับ สี่อ้อมไตรีคต์เรต 83.....	38
4.6 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ	39
4.6.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ สี่อ้อมเบสิกเรต 9.....	39
4.6.2 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ สี่อ้อมไตรีคต์เรต 83.....	39
4.7 ค่าหน่วยสีมาตรฐาน ADMI.....	40
4.8 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ	41
4.8.1 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Langmuir.....	41
4.8.2 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Freundlich	42
4.8.3 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Temkin	44
4.8.4 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Dubinin-Radushkevich (D-R).....	45
4.9 การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับ	48
4.9.1 การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับแบบ Pseudo first order.....	48
4.9.2 การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับแบบ Pseudo second order.....	51
4.9.3 การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับแบบ Elovich.....	54
4.9.4 การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับแบบ Intraparticle diffusion	56
4.10 การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์.....	61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1 สรุปผลการวิจัย	64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	65
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก.....	68
ภาคผนวก ก มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม	69
ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐาน.....	77
ภาคผนวก ค ตารางแสดงผลการวิจัย.....	86
ภาคผนวก ง การคำนวณไอโซเทอร์ม จลนศาสตร์ และเทอร์โมไดนามิกส์.....	124
ภาคผนวก จ การสแกนความยาวคลื่นสูงสุดของสี่อ้อม	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์	8
2.2 สมบัติของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี	14
2.3 องค์ประกอบของเปลือกสับประดแบบแห้ง (Dry) แบบสด (Fresh) และแบบหมัก (Ensiled)	20
4.1 ค่า ADMI ของสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ทั้งก่อนบำบัดและหลังบำบัด	40
4.2 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83	47
4.3 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9	59
4.4 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83	60
4.5 ค่าพารามิเตอร์ทางเทอร์โมเคมีของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83	62
ก.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม	69
ค.1 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย NaOH 0.5 M	86
ค.2 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย NaOH 0.6 M	86
ค.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย NaOH 0.7 M	87
ค.4 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย NaOH 0.8 M	87
ค.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย NaOH 1.0 M	88
ค.6 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย NaOH 1.25 M	88
ค.7 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ 0.8 M	89
ค.8 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ 1.0 M	89
ค.9 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ 1.25 M	90
ค.10 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ 1.50 M	90
ค.11 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ ที่ pH 2	91
ค.12 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ ที่ pH 3	91
ค.13 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ ที่ pH 4	92
ค.14 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ ที่ pH 5	92
ค.15 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ ที่ pH 6	93
ค.16 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ ที่ pH 7	93
ค.17 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ ที่ pH 8	94
ค.18 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ ที่ pH 9	94
ค.19 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ ที่ pH 10	95
ค.20 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับประดที่ปรับปรุ้งด้วย CaCl ₂ ปริมาณ 1.25 g	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.21 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ปริมาณ 2.50 g.....	98
ค.22 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ปริมาณ 3.75 g.....	100
ค.23 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ปริมาณ 5.00 g.....	102
ค.24 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ปริมาณ 6.25 g.....	104
ค.25 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ปริมาณ 7.50 g.....	106
ค.26 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้น 60 mg/L โดยใช้เปลือกสับปะรด ที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2	108
ค.27 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้น 80 mg/L โดยใช้เปลือกสับปะรด ที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2	110
ค.28 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้น 100 mg/L โดยใช้เปลือกสับปะรด ที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2	112
ค.29 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้น 120 mg/L โดยใช้เปลือกสับปะรด ที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2	114
ค.30 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เปลือกสับปะรด ที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2	116
ค.31 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่อุณหภูมิ 40 °C โดยใช้เปลือกสับปะรด ที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2	118
ค.32 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่อุณหภูมิ 50°C โดยใช้เปลือกสับปะรด ที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2	120
ค.33 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่อุณหภูมิ 60°C โดยใช้เปลือกสับปะรด ที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2	122
ง.1 ผลการศึกษาไอโซเทอมของน้ำเสียสังเคราะห์เบสิกเรด 9.....	126
ง.2 ผลการศึกษาจลนศาสตร์ความเข้มข้นน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9.....	126
ง.3 ผลการศึกษาจลนศาสตร์ของความเข้มข้นน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ไดเร็กเรด 83.....	128
ง.4 ผลการศึกษาจลนศาสตร์อุณหภูมิ น้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9.....	133
ง.5 ผลการศึกษาจลนศาสตร์อุณหภูมิ น้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ไดเร็กเรด 83.....	138
ง.6 ผลการศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์น้ำเสียสังเคราะห์เบสิกเรด 9.....	143
ง.7 ผลการศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์น้ำเสียสังเคราะห์ไดเร็กเรด 83.....	148
ง.8 ผลการศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์น้ำเสียสังเคราะห์ไดเร็กเรด 83.....	149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างสีย้อมเบสิกเรด 9	11
2.2 สูตรโครงสร้างสีย้อมไคเร็กต์เรด 83	12
4.1 ลักษณะพื้นผิวของเปลือกสับปะรด เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	31
4.2 สเปกตรัมของเปลือกสับปะรดเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR.....	32
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับ (%) และความเข้มข้นของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับ.....	33
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับ (%) และความเข้มข้นของ แคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับ.....	34
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับ (%) และความเป็นกรดต่าง ของน้ำเสี้ยวสีย้อมสังเคราะห์.....	35
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 (%) และปริมาณตัวดูดซับที่เวลาต่างๆ.....	36
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 (%) และปริมาณตัวดูดซับที่เวลาต่างๆ.....	37
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 (%) และความเข้มข้นของน้ำเสี้ยวที่เวลาต่างๆ.....	38
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 (%) และความเข้มข้นของน้ำเสี้ยวที่เวลาต่างๆ.....	38
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 (%) และอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ.....	39
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 (%) และอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ.....	40
4.12 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Langmuir.....	41
4.13 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 แบบ Langmuir	42
4.14 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Freundlich	43
4.15 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 แบบ Freundlich.....	43
4.16 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Temkin	44
4.17 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 แบบ Temkin.....	45
4.18 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Dubinin-Radushkevich(D-R).....	46
4.19 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 แบบ Dubinin-Radushkevich (D-R).....	46
4.20 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Pseudo first-order	49
4.21 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 แบบ Pseudo first-order.....	49
4.22 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Pseudo first-order	50
4.23 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 แบบ Pseudo first-order.....	51

เอกสาร 4.24 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Pseudo second-order ใช้โปรแกรม 52 การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.25 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 แบบ Pseudo second-order	52
4.26 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Pseudo second-order	53
4.27 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 แบบ Pseudo second-order	53
4.28 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Elovich	54
4.29 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 แบบ Elovich	55
4.30 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Elovich	55
4.31 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 แบบ Elovich	56
4.32 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Intraparticle diffusion	57
4.33 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 แบบ Intraparticle diffusion	57
4.34 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Intraparticle diffusion	58
4.35 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 แบบ Intraparticle diffusion	58
4.36 เทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9	61
4.37 เทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83	62
ข.1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ NaOH ที่เหมาะสม (Basic red 9).....	77
ข.2 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ NaOH ที่เหมาะสม (Direct red 83).....	77
ข.3 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ CaCl ₂ ที่เหมาะสม (Basic red 9).....	78
ข.4 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ CaCl ₂ ที่เหมาะสม (Direct red 83).....	78
ข.5 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)	79
ข.6 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83).....	79
ข.7 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)	80
ข.8 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)	80
ข.9 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)	81
ข.10 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83).....	81
ข.11 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83).....	82
ข.12 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83).....	82
ข.13 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของน้ำเสี่ย้อมสังเคราะห์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)	83
ข.14 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของน้ำเสี่ย้อมสังเคราะห์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83).....	83
ข.15 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลอุณหภูมิของน้ำเสี่ย้อมสังเคราะห์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9) 84

ข.16 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลอุณหภูมิของน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์
ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9) 84

ข.17 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลอุณหภูมิของน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์
ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83)..... 85

จ.1 การสแกนความยาวคลื่นสูงสุดของสีย้อมเบสิกเรด 9 150

จ.2 การสแกนความยาวคลื่นสูงสุดของสีย้อมไดเร็กต์เรด 83..... 150



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
SB2-SB7	สารละลายที่มีส่วนผสมของ EtOH 95% NaOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ และ น้ำกลั่น ในอัตราส่วน 2:1:1
SB1 และ SB8	น้ำกลั่น
SB2	EtOH 95% : 0.5 M NaOH : น้ำกลั่น
SB3	EtOH 95% : 0.6 M NaOH : น้ำกลั่น
SB4	EtOH 95% : 0.7 M NaOH : น้ำกลั่น
SB5	EtOH 95% : 0.8 M NaOH : น้ำกลั่น
SB6	EtOH 95% : 1.0 M NaOH : น้ำกลั่น
SB7	EtOH 95% : 1.25 M NaOH : น้ำกลั่น
SB9-SB13	สารละลายที่มีส่วนผสมของ EtOH 95% NaOH ที่เหมาะสม และ CaCl ₂ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในอัตราส่วน 2:1:1
SB9	EtOH 95% : NaOH ที่เหมาะสม : 0.8 M CaCl ₂
SB10	EtOH 95% : NaOH ที่เหมาะสม : 1.0 M CaCl ₂
SB11	EtOH 95% : NaOH ที่เหมาะสม : 1.25 M CaCl ₂
SB12	EtOH 95% : NaOH ที่เหมาะสม : 1.50 M CaCl ₂
SB13	EtOH 95% : NaOH ที่เหมาะสม : 1.75 M CaCl ₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันรัฐบาลไทยได้มีการรณรงค์ให้ประชาชนใส่เสื้อผ้าที่ทำจากผ้าไหมและผ้าฝ้าย ซึ่งในปัจจุบันผ้าทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นสินค้าส่งออกไปยังต่างประเทศมากขึ้น จึงทำให้อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มในประเทศไทยมีการขยายตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ และมีบทบาทสำคัญในการนำเข้าเงินตราต่างประเทศ จึงส่งผลให้อุตสาหกรรมฟอกย้อมซึ่งเป็นอุตสาหกรรมชั้นกลางในอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นขยายตัวสูงขึ้นตามไปด้วย โดยกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกย้อมจะต้องใช้วัตถุดิบที่เป็นสารเคมี เพื่อให้ได้ผ้าหรือเส้นด้ายที่มีสีสันทสวยงาม คงทน ตลอดจนเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค และจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมฟอกย้อมดังกล่าวทำให้น้ำและสารเคมีที่ใช้ ซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง มีสภาพเป็นด่าง มีกลิ่นแรงและมีสีที่นํารังเกียจ เมื่อนําน้ำเสียถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะทำให้เกิดผลเสียตามมาคือ ทำให้ความสวยงามทางธรรมชาติถูกทำลาย และทำให้สมดุลทางธรรมชาติเสียไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2557) สำหรับสารเคมีอย่างหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมแล้วจัดว่าเป็นปัญหาก็คือ สีย้อมสังเคราะห์ ซึ่งสีย้อมสังเคราะห์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อน และยากต่อการกำจัด เป็นที่เชื่อกันว่าโรงงานฟอกย้อมนั้นเป็นผู้รับผิดชอบสำหรับการปล่อยสีย้อม 100 ตันต่อปีที่จะออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งสีย้อม 5-10 เปอร์เซ็นต์ที่ปล่อยออกจากโรงงานและการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันนั้นถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญ (Rodrigues *et al.*, 2016) และประเภทของสีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างหนึ่งก็คือ สีเบสิก ซึ่งสีเบสิกเป็นสีที่มีประจุบวก สีมืดความสดใสมาก และสามารถเห็นสีได้ชัดเจนเมื่ออยู่ในสภาพสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำมาก (Humelnicu *et al.*, 2016) และอีกสีหนึ่งที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมก็คือ สีไดเรกต์ ซึ่งสีไดเรกต์เป็นสีที่มีประจุลบ และสามารถละลายได้ในน้ำ (Kallel *et al.*, 2016)

ที่ผ่านมาได้มีผู้ทำการศึกษาถึงวิธีการกำจัดสีย้อมอยู่มาก โดยวิธีที่ใช้ในการกำจัดสีย้อม ได้แก่ วิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ในการใช้วิธีทางกายภาพและเคมีนั้น มีข้อจำกัด เนื่องจากมีการใช้สารเคมีในการกำจัด นอกจากจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายแล้ว ตะกอนที่เกิดขึ้นนั้นมีปริมาณมาก และเป็นการเพิ่มสารเคมีในสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ส่วนการใช้วิธีทางชีวภาพนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องความสะดวกในการใช้งาน การเก็บรักษา การขนส่ง รวมถึงการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและการย่อยสลาย แต่เป็นวิธีที่ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าวิธีทางกายภาพและเคมี (วนิดา, 2555) ซึ่งทางเลือกที่ดีของวิธีการกำจัดสีย้อมทางชีวภาพอย่างหนึ่งก็คือ การดูดซับสีย้อมโดยใช้ตัวดูดซับทางชีวภาพ ซึ่งในการวิจัยได้มีผู้ทำการศึกษาโดยนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและครัวเรือน เช่น เปลือกกล้วย เปลือกส้ม แกลบ เปลือกถั่ว เป็นต้น (De Gisi *et al.*, 2016) ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการเลือกใช้เปลือกสับประตมาเป็นตัวดูดซับทางชีวภาพ เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตสับประตมรายใหญ่ติดอันดับ 1 ใน 5 ของโลก และมีผลผลิตสับประตมรวม 2.3-2.5 ล้านตันโดยประมาณ (สถาบันอาหาร, 2558) ทำให้เปลือกสับประตมเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยจะเกิดเศษเปลือกสับประตมประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของผลสับประตม หรือประมาณ 6 แสนตันต่อปี และหากปล่อยเปลือกสับประตมเหล่านี้ทิ้งไว้ก็จะทำให้เกิดก๊าซมีเทน ซึ่งส่งกลิ่นรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และก๊าซมีเทนนี้ยังเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งที่สูงผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนอีกด้วย (ธนาพล และคณะ, 2558)

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เห็นถึงประโยชน์ของการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จึงมุ่งเน้นศึกษาการบำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดมาเป็นตัวดูดซับทางชีวภาพ ซึ่งมีทั้งการปรับปรุงคุณภาพเปลือกสับปะรดทางเคมีด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมคลอไรด์ และแบบที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพเปลือกสับปะรด โดยมีการบำบัดสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ตลอดจนหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของเปลือกสับปะรดทั้งแบบปรับปรุงคุณภาพและไม่ปรับปรุงคุณภาพ

1.2.2 เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเปลือกสับปะรดที่ใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ในน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์

1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของพีเอชน้ำเสีย ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของน้ำเสีย และอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ในน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์

1.2.4 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดสีย้อมที่สูงที่สุดโดยวัดในหน่วย ADMI

1.2.5 เพื่อศึกษาไอโซเทอร์ม จลนศาสตร์ และเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เตรียมตัวกลางในการดูดซับที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ

1.3.2 สังเคราะห์น้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ที่ความเข้มข้น 60, 80, 100, และ 120 mg/L

1.3.3 สแกนความยาวคลื่นเพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 (200-800 นาโนเมตร)

1.3.4 ปรับปรุงคุณภาพเปลือกสับปะรดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, และ 1.25 M และแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0, 0.8, 1.0, 1.25, 1.50, และ 1.75 M

1.3.5 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพ และไม่ปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เครื่องมือ Scanning Electron Microscope (SEM) และศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของสารองค์ประกอบโดยใช้เครื่องมือ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

1.3.6 ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 โดยทำการแปรผันพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

- แปรผันค่า pH ที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, และ 10

- แปรผันปริมาณตัวดูดซับที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (W/V) เท่ากับ 2.5, 5.0, 7.5,

10.0, 12.5, และ 15.0 kg/m³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แปรผันความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 60, 80, 100, และ 120 mg/L
- แปรผันอุณหภูมิในการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส

1.3.7 ศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสีย้อม โดยวัดค่า ADMI ของน้ำเสียทั้งก่อนและหลังจากการดูดซับด้วยสถานะที่ดีที่สุด

1.3.8 ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Langmuir Freundlich Temkin และ Dubinin-Radushkevich (D-R) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของอิทธิพลปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83

1.3.9 ศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับแบบ Pseudo first-order Pseudo second-order Elovich และ Intraparticle diffusion โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของอิทธิพลความเข้มข้นของน้ำเสียและอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83

1.3.10 ศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (ΔH°) การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (ΔS°) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ (ΔG°) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของอิทธิพลอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อเป็นแนวทางในการช่วยลดปริมาณของเสียจำพวกเปลือกสับปะรด ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งให้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารดูดซับที่มีราคาถูก โดยมีการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม

1.4.2 เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอที่ใช้สีย้อมชนิดอื่นได้

1.4.3 เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมฟอกย้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางหรืออุตสาหกรรมชั้นกลางในกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนวัตถุดิบสิ่งทอจำพวกเส้นด้ายดิบและผ้าดิบให้กลายเป็นวัสดุสำเร็จ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมขั้นปลาย (อุตสาหกรรมรวมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป) หรือจำหน่ายให้กับผู้บริโภคโดยตรง ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าผลิตภัณฑ์สิ่งทอและลดปัญหาการนำเข้าวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป อุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบอุตสาหกรรมสิ่งทอและเศรษฐกิจของประเทศ

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางเคมีที่ทำการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเส้นใย โดยการใช้สารเคมีและสีย้อมที่เหมาะสม โดยอาศัยน้ำเป็นตัวกลาง โรงงานฟอกย้อมจึงจำเป็นต้องใช้น้ำในปริมาณมากในกระบวนการผลิต รวมถึงการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงสำหรับการเดินเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางน้ำ

การนำการผลิตที่สะอาด (Cleaner Production-CP) หรือเทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology-CT) มาใช้บริหารจัดการและปรับปรุงกิจกรรมต่างๆ ของโรงงานฟอกย้อมเพื่อให้มีการใช้น้ำ พลังงาน สารเคมี และทรัพยากรอื่นๆ อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพสูงสุด ลดการสูญเสียต่างๆที่ไม่จำเป็น และทำให้เกิดของเสียและน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ทั้งผู้ประกอบการโรงงานฟอกย้อมและหน่วยงานภาครัฐให้ความสนใจนำมาใช้เป็นกลไกในการเพิ่มขีดความสามารถในการผลิต ลดต้นทุนการผลิต เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ตลอดจนป้องกันและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกัน

2.1.1 กระบวนการฟอกย้อม

กระบวนการฟอกย้อมเป็นขั้นตอนสำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ผ้าหรือเส้นด้ายมีสีสดใสสวยงาม คงทนต่อสภาวะแวดล้อมและทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบาย กระบวนการฟอกย้อมประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การเตรียมวัตถุดิบ (Preparation) เป็นขั้นตอนการนำเส้นด้ายหรือผ้ามาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเตรียมเส้นด้ายหรือผ้าดิบนั้นให้อยู่ในสภาพที่สามารถนำไปย้อมสีหรือตกแต่งสำเร็จต่อไป จึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2) การย้อมสี (Dyeing) เส้นด้ายและผ้าดิบที่ผ่านการเตรียมและทำความสะอาดแล้วจะถูกนำไปย้อมสีในเครื่องย้อม (Dyeing machine) โดยการย้อมให้อยู่ในรูปของสารละลายเพื่อให้สามารถถูกดูดซึมและเกาะติดผิวภายในเส้นใยด้วยแรงทางเคมี

3) การตกแต่งสำเร็จ (Textile Finishing) เป็นขั้นตอนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุง/เปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มเติมคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้หรือลูกค้า เช่น ควบคุมการหดตัวของผ้า ทำให้ผ้านุ่มเป็นมันเงา เป็นต้น สามารถทำได้ทั้งโดยการใช้สารเคมี และกรรมวิธีเชิงกล เช่น การตะกรุยขน ตัดขน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การใช้วัตถุดิบ

วัตถุดิบสำคัญของกระบวนการพอกย้อมประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ คือ

1) ด้ายดิบ หรือผ้าดิบ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามที่มาของเส้นใย คือ เส้นใยธรรมชาติ เช่น ฝ้าย ขนสัตว์ ไหม เป็นต้น และเส้นใยประดิษฐ์ เช่น เรยอน ไนลอน อะคริลิก พอลิเอสเตอร์ และอะซิเตต เป็นต้น

2) สีย้อม สีที่ใช้ย้อมเส้นใยมีหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ การเลือกใช้สีย้อมจะต้องคำนึงถึงชนิดของเส้นใย เนื่องจากเส้นใยแต่ละประเภทจะมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมแตกต่างกัน

3) สารเคมีช่วยย้อม ในการใช้สีย้อมบางชนิดต้องมีการเติมสารเคมีช่วยย้อมบางประเภทลงไปด้วย เช่น เกลือ กรดฟอร์มิก กรดฟอสฟอรัส เป็นต้น เพื่อให้สีย้อมติดกับเส้นใยอย่างสม่ำเสมอคงทน เมื่อกำหนดนำไปใช้งาน และการเลือกใช้สารเคมีช่วยย้อมจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่จะย้อมและสีที่ใช้ย้อม

2.1.3 การใช้น้ำ

กระบวนการพอกย้อมเป็นการใช้สารเคมีและสีย้อมที่อาศัยน้ำเป็นตัวกลางตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมผ้า การย้อมสี การตกแต่งสำเร็จ และการชำระล้างทำความสะอาดเครื่องจักรและอุปกรณ์ของแต่ละขั้นตอน นอกจากนี้ยังต้องการน้ำสำหรับใช้ในหม้อไอน้ำและน้ำหล่อเย็นด้วย ดังนั้นอุตสาหกรรมพอกย้อมจึงเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำในปริมาณมาก

2.2 น้ำเสียอุตสาหกรรมพอกย้อม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมพอกย้อมส่วนใหญ่เกิดจากการทิ้งน้ำเสีย น้ำเสียจากการพอกย้อมมีแหล่งกำเนิดในเกือบทุกขั้นตอนของการพอกย้อม ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมผ้า ขั้นตอนการให้สี และขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะในกระบวนการชำระล้างทำความสะอาดของแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้น้ำในอัตราที่สูงมาก ซึ่งสิ่งที่สามารถพบได้ในน้ำเสียเสมอ ได้แก่ เศษเส้นใย เศษผ้า สารเคมี กรดต่าง ไขมัน สบู่ สีย้อม และตัวทำละลาย ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณสารมลพิษในน้ำเสียมีปริมาณสูงและเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

สภาพการเกิดและการระบายน้ำเสียจะเริ่มจากอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ถ่ายน้ำเสียลงในรางระบายน้ำภายในโรงงาน หลังจากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานก่อนระบายทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป

2.2.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมพอกย้อมมีที่มาจากแหล่งต่างๆที่สำคัญ 5 แหล่ง คือ

1) น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการพอกย้อม น้ำที่ใช้ในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

ก. น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการพอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนโดยรวมแล้วต่ำกว่าน้ำเสียในประเภทแรก

2) น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อมมักจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อน แก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมโดยตรง ก็จะเป็นการเพิ่มปริมาตรของสารละลายสีย้อม และจะถูกรวมเป็นน้ำเสียในที่สุด

3) น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น ในกระบวนการฟอกย้อม มีบ่อยครั้งที่ทางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมลงในเวลาอันสั้น ซึ่งจะทำให้โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นส่วนใหญ่จะเป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

4) น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน น้ำส่วนนี้นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม และในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมากด้วย เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

5) น้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ นอกจากน้ำเสียจากแหล่งต่างๆดังกล่าวข้างต้นแล้ว โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังมีน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆอีก เช่น น้ำใช้ของคนงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น

2.2.2 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้นมีทั้งสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ ตัวอย่างของสารอนินทรีย์ เช่น ด่างและกรดอนินทรีย์ ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต ($2\text{Na}_2\text{OSiO}_2$) โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_3) และสารฟอกขาวธรรมดา ส่วนสารอินทรีย์นั้นมีการใช้อย่างกว้างขวาง ซึ่งประกอบด้วยกรดอินทรีย์ เช่น กรดฟอร์มิก (HCOOH) กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดไขมัน พวกสบู่ แป้ง สารอินทรีย์ที่ใช้แทนแป้ง ผงซักฟอก สารที่ทำให้เกิดความอ่อนนุ่ม สีย้อม สารนำพา และสารเคมีอื่นๆ เช่น สารป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ ซึ่งล้วนแต่นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อฝ่ายระหว่างกระบวนการตกแต่งสำเร็จทั้งสิ้น

สารเคมีบางตัวอาจมีค่าบีโอดีสูง ซึ่งในขณะเดียวกันสารเคมีอื่นๆที่มีค่าบีโอดีต่ำและมีความสมบัติคล้ายกันก็สามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ จึงนิยมใช้สารเคมีที่มีค่าบีโอดีต่ำ เช่น การใช้ Carboxyl methyl Cellulose แทนแป้ง ซึ่งมีประโยชน์และไม่เป็นอันตราย หรือหาทางขจัดออกไปได้ง่ายโดยวิธีทางเคมีหรือทางฟิสิกส์ แต่ทั้งนี้ก็อาจมีสารเคมีบางตัวที่ใช้ทดแทนแล้วทำให้เกิดผลต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลเสียหลายต่อสัตว์น้ำหรือการใช้น้ำในอนาคต และทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

เมื่อนำน้ำใช้ไปผ่านกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้สารเคมีหลายชนิดและปริมาณต่างๆกัน หลังจากนั้นน้ำใช้ผ่านเข้าไปในกระบวนการผลิตแล้วก็จะกลายเป็นน้ำเสีย ซึ่งจะต้องนำไปปรับปรุงให้มีคุณภาพที่เหมาะสมก่อนที่จะปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ โดยน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการฟอกย้อมนั้นมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่หลายประเภท ซึ่งอาจจำแนกออกเป็นประเภทที่สำคัญๆ ดังนี้

1) สีย้อม ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น สีย้อมที่เหลือจะคงอยู่ในสารละลายสีย้อม และจะถูกปล่อยออกมาไปกับน้ำเสียในที่สุด โดยปริมาณสีย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย่อมจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของสี ย่อมที่ใช้

2) สารเคมีที่ใช้ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ โดย สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมและการตกแต่งนั้นมีหลายประเภท ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

- สารช่วยย้อม (Auxiliaries Chemicals) ได้แก่ สารช่วยขจัดสิ่งสกปรก (Scouring Agent) สารช่วยเปียก (Wetting Agent) และสารที่ช่วยในการย้อมสีเพื่อให้ได้สีที่สม่ำเสมอ (Leveling Agent)

- สารเคมีพื้นฐาน (Basic Chemicals) เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ต่าง บัฟเฟอร์ เกลือ สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง

- สารเคมีตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ สารที่ป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ ฯลฯ ซึ่ง สารเคมีต่างๆที่กล่าวข้างต้นเมื่อนำมาใช้ในกระบวนการฟอกย้อม สารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่จะคง เหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมหรือน้ำซักล้าง และจะถูกปล่อยปนไปกับน้ำเสีย

3) สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย วัสดุสิ่งทอที่ถูกนำมาผ่านกระบวนการฟอกย้อมล้วนแต่มีสิ่ง สกปรกเจือปนมาบ้างไม่มากก็น้อย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใย สังเคราะห์ เพราะนอกจากจะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมาระหว่างกระบวนการผลิตแล้วยังมีสิ่งสกปรก เจือปนที่ติดมากับธรรมชาติซึ่งมีปริมาณค่อนข้างมากด้วย เช่น เส้นใยขนแกะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติด มากับธรรมชาติที่ต้องขจัดออกไปในขั้นตอนการเตรียมผ้าถึงร้อยละ 10 โดยสิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้มี ทั้งที่เป็นสารซีฟิ่ง ไนมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่างๆ นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตยังม การเติมสารเคมีต่างๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น พวกสารหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายยืน เป็นต้น ซึ่งสิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้จะถูกขจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการฟอก ย้อม และจะหลุดติดมาในน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมผ้า

4) เศษเส้นใย ในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมีองค์ประกอบอย่างหนึ่งที่จะหลีกเลี่ยง ไม่ได้คือ เศษเส้นใยที่หลุดออกมา ซึ่งถ้ามีเศษเส้นใยในปริมาณมากก็อาจทำให้เกิดปัญหาการอุดตัน ของน้ำเสียในเครื่องย้อมได้ นอกจากนี้ ในกรณีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ยังมีสารโอลิโกเมอร์ (Oligomer) ที่อาจหลุดออกมาจากเส้นใยและปะปนในน้ำเสียด้วย

5) สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ นอกจากสิ่งสกปรกเจือปนต่างๆดังกล่าวข้างต้นแล้ว น้ำเสียจา กระบวนการฟอกย้อมอาจมีสิ่งสกปรกชนิดอื่นๆเจือปนอีก เช่น สารเคมีพิเศษที่ใช้ในการขจัดรอย เปรอะเปื้อนบนผ้า ซึ่งมักจะเป็นสารประกอบพวก Chlorinated Benzene และสารเคมีที่ใช้ในการ ล้างเครื่อง เป็นต้น ซึ่งสารเคมีบางตัวก็อาจมีผลอย่างมากต่อลักษณะสมบัติน้ำเสียในภายหลัง

จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า สิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมนั้นมีความ หลากหลายอย่างยิ่งในแง่ขององค์ประกอบทางเคมี แต่น้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ก็ยังมี ข้อดีอยู่บ้าง ตรงที่สารส่วนใหญ่เป็นสารที่ง่ายต่อการบำบัด และมีค่าความเป็นพิษต่ำ

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นน้ำเสียที่มีความหลากหลายอย่างยิ่งในแง่ของ ส่วนประกอบของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย ซึ่งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือ

1) กระบวนการฟอกย้อมผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการใหญ่ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ก. กระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย กระบวนการนี้เริ่มจากนำเส้นด้ายดิบไปผ่านกระบวนการเตรียมแล้วจึงทำการย้อมสี
- ข. กระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ กระบวนการนี้เริ่มต้นจากการลอกแป้ง การทำความสะอาด การชุบมัน การฟอกขาว จากนั้นจึงทำการย้อมสีก่อนทำการตกแต่งสำเร็จ
- ค. กระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก มีลักษณะคล้ายคลึงกับการฟอกย้อมผ้าทอ แตกต่างกันที่การฟอกย้อมผ้าถักจะไม่มีขั้นตอนการลอกแป้ง
- 2) ชนิดสารลงแป้งบนผ้าทอ มีผลอย่างมากต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสีย โดยเฉพาะแป้งที่ใช้กับผ้าฝ้าย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแป้งธรรมชาติซึ่งมีค่าบีโอดีสูง
- 3) ชนิดและความสกปรกของเส้นใย โดยทั่วไป น้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นใยธรรมชาติจะมีความสกปรกมากกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เนื่องจากมีสิ่งสกปรกเจือปนติดมากมายนอกจากนี้
- 4) ชนิดของสีย้อมและกรรมวิธีการย้อม เส้นใยแต่ละชนิดจะมีสีย้อมให้เลือกใช้ได้หลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทมีกรรมวิธีการย้อม และมีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีในการช่วยย้อมที่แตกต่างกันไป

2.2.4 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม

จากการประเมินผลการสำรวจของบริษัท ช. รุ่งเลิศ แอสโซซิเอท จำกัด โดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวน 100 ตัวอย่าง ซึ่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสียได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงตัก (Grab Sample) ที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีค่าที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ความสกปรกในรูปของค่าบีโอดี (BOD) ค่าซีโอดี (COD) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และค่าปริมาณสี โดยใช้วิธีการเทียบสี (Platinum Cobalt Method) ซึ่งได้ผลสรุปค่าประเมินต่างๆ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ฟอกย้อม	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด					จำนวนข้อมูล
	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	สี (หน่วย PtCo)	
ฟอกย้อมด้าย	8.2	120	300	43	450	13
ฟอกย้อมผ้าถัก	9.0	110	370	50	570	16
ฟอกย้อมผ้าทอ	8.6	400	1,200	140	670	41
ฟอกย้อมด้ายและผ้า หรือ อื่นๆ	9.1	230	713	65	400	30

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สีย้อม (กัณฑ์ และจุฬาลักษณ์, 2554)

2.3.1 ความหมายของสีย้อม

สีย้อมหมายถึง สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมวัสดุสิ่งทอ ซึ่งจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ โดยมีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียดที่สร้างมาเพื่อดูดซึม หรือดูดซับแสง โดยการทำให้อยู่บนหรือในผิวหน้าของวัตถุ แล้วเกิดการแพร่แทรกซึมเข้าสู่ภายในโครงสร้างของวัตถุ เพื่อที่จะทำให้วัตถุนั้นมีสีขึ้นมา ซึ่งสีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดไม่สามารถละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ และเมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใยโดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก(Ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง ซึ่งสีย้อมจะมีความสามารถของการดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมที่ต่างกัน โดยพลังงานแสงที่ตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร ซึ่งสีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถของการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งสีย้อมออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) สีย้อมธรรมชาติ (Natural dyestuffs) เป็นสีย้อมที่มาจากแหล่งธรรมชาติโดยเฉพาะพืชและสัตว์ ตัวอย่างสีย้อมที่มาจากพืช เช่น ส่วนลำต้น ดอก เปลือก และใบของพืช เป็นต้น ส่วนสีย้อมที่มาจากสัตว์ เช่น สีม่วงแดงของครั่ง สีม่วงจากหอยสังข์หนาม เป็นต้น

2) สีย้อมสังเคราะห์ (Synthetic dyestuffs) เป็นสีย้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางเคมี ตัวอย่างเช่น สีไดเรกต์ (Direct dye) สีรีแอกทีฟ (Reactive dye) สีเอซิด (Acid dye) และสีเบสิก (Basic dye) เป็นต้น

2.3.2 ประเภทของสีย้อม

สีย้อมสามารถจำแนกได้หลายประเภท เช่น

1) จำแนกตามการแตกตัวให้ประจุ

- ประจุลบ ได้แก่ สีไดเรกต์ สีรีแอกทีฟ สีเอซิด สีแว็ต และสีซัลเฟอร์

- ประจุบวก ได้แก่ สีเบสิก

- ไม่มีประจุ ได้แก่ สีดิสเพอร์ส

2) จำแนกตามเส้นใยที่ใช้อย้อม

- เส้นใยเซลลูโลส เช่น ฝ้าย ลินิน ปอ ป่าน และสีที่ใช้อย้อม ได้แก่ สีไดเรกต์ สีรีแอกทีฟ สีแว็ต และสีซัลเฟอร์

- เส้นใยโปรตีน เช่น ไหม ขนสัตว์ และสีที่ใช้อย้อม ได้แก่ สีเอซิด และสีเบสิก

- เส้นใยสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์ ไนลอน อะคริลิก และสีที่ใช้อย้อม ได้แก่ สีเอซิด และสีเบสิก

3) จำแนกตามหมู่ช่วยละลาย

- หมู่ช่วยละลายถาวร (Permanent solubilising) เช่น $-SO_3Na$ $-COOH$ $-NHR$ $-NR_2$ $-N^+R_4-NH_2$ $-OH$ เป็นต้น

- หมู่ช่วยละลายชั่วคราว (Temporary solubilising) เช่น ฟีนอกไซด์ (Phenoxide) ซัลเฟต (Sulfate) ไทโอซัลเฟต (Thiosulfate) เป็นต้น

4) จำแนกตามชื่อสีที่เรียก เช่น สีไดเรกต์ สีเอซิด สีรีแอกทีฟสีดิสเพอร์ส สีมอแดนท์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) จำแนกตามโครงสร้างทางเคมีของสี เช่น โครงสร้างเอโซ โครงสร้างแอนทราควิโน โครงสร้างสตีวบิน เป็นต้น

6) จำแนกตามสีที่มองเห็น เช่น สีน้ำเงิน สีแดง สีส้ม สีดำ สีเหลือง สีชมพู สีฟ้า สีน้ำตาล เป็นต้น

7) จำแนกตามการนำไปใช้ ซึ่งเป็นการจำแนกสีย้อมที่ใช้กันมากที่สุด เพราะสีย้อมจะต้องมีความคงทนในการซัก มีความคงทนต่อแสงและยังต้องมีความคงทนต่อความร้อน ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของสีย้อมออกเป็นดังนี้

ก. สีไตรง์ (Direct dye) หรืออาจเรียกว่าสีย้อมฝ้าย ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเอโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งสีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีชนิดนี้ไม่ทนต่อการซักน้ำ เกิดสีตกได้ง่าย และมีความทนต่อแสง

ข. สีรีแอกทีฟ (Reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นเบส สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสภาวะเบส สีรีแอกทีฟจะให้สีที่สดใสทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

ค. สีแวต (vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมที่ทำให้สีแวตละลายได้ โดยการทำให้ปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแวตจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแวตซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิดคือ สีอินดิโก (Indigoid) และสีแอนทราควิโนอยด์ (Antraquinoid)

ง. สีซัลเฟอร์ (Sulfur dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์เพื่อให้โมเลกุลอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ แต่สีซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์แล้วจะละลายน้ำได้ สีซัลเฟอร์ถูกนิยมนำมาใช้ในการย้อมฝ้าย สีจะติดทน และยังเป็นสีที่มีราคาถูก แต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก

จ. สีเอซิด (Acid dye) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีจะเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง บางชนิดสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอนใยขนแกะ ไหม และอะคริลิกได้ดี วิธีการใช้คือนำสีย้อมชนิดนี้ไปละลายในน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง แต่สีเอซิดไม่ทนต่อการซักและเห้งือ

ฉ. สีดีสเพอร์ส (Disperse dye) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งพิจารณาจากอนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกันคืออนุพันธ์ของเอทราโนลามีน ได้แก่ สีย้อมเอโซ (Azo dye) และสีย้อมแอมมิโนแอนทราควิโนน (Amino anthraquinone) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลี เอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารช่วยพาเพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใย หรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง สีดีสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกคว้นหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนตรัสออกไซด์

ช. สีเบสิก (Basic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ มีประจุบวก ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอน และใยอะคริลิกได้ดี สีเบสิกเป็นสีที่ติดทน แต่ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติเพราะจะไม่ทนต่อการซักและแสง

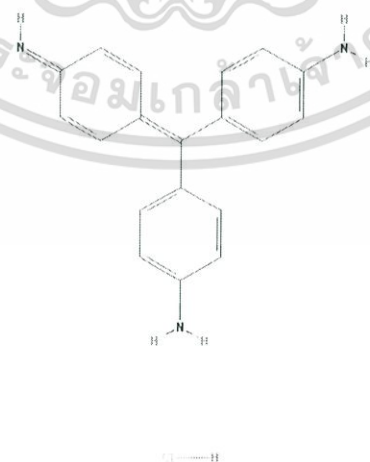
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซ. สีอะโซอิก (Azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็นสี (Coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพเนนท์ จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตทสีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซักแต่ไม่ทนต่อการขัดถู

2.4 สีย้อมเบสิก (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2547)

สีเบสิกหรือบางครั้งเรียกสีแคทไอออนิก (Cationic dyes) ทั้งนี้เพราะเวลาสีอยู่ในน้ำ สีจะแสดงประจุบวกบนโครงสร้างโมเลกุลของสี และใช้ส่วนประจุบวกนี้ในการเกิดพันธะกับเส้นใยที่แสดงประจุลบเป็นพันธะไอออนิก เริ่มแรกสีเบสิกถูกใช้เพื่อย้อมเส้นใยไหมและขนแกะ ต่อมาใช้ย้อมเส้นใยอะคริลิกเป็นหลัก ปัจจุบันสามารถใช้ย้อมเส้นใยพอลิเอสเตอร์ชนิด Cationic dyeable polyester ที่ถูกดัดแปลงโครงสร้างให้มีหมู่แสดงประจุลบบนสายโซ่พอลิเมอร์ของพอลิเอสเตอร์ การย้อมด้วยสีเบสิกจะให้เฉดสีที่สดใสมาก สีมักมีความคงทนต่อแสงต่ำ แต่ปัจจุบันได้ปรับปรุงให้สีมีความคงทนต่อแสงได้มากขึ้น น้ำที่ใช้ในการย้อมไม่ควรมีภาวะเป็นเบสเพราะจะทำให้สีตกตะกอนได้ สีเบสิกมีพลังยึดเหนี่ยวกับเส้นใยอะคริลิกดีมาก สีถูกดูดซึมและยึดติดกับสายโซ่พอลิเมอร์ของเส้นใยได้เร็วมากจนทำให้การย้อมไม่สม่ำเสมอ จึงต้องมีการเติมสารชะลอการติดสี (Retarder) นิยมใช้สารชะลอการติดสีที่มีหมู่แสดงประจุบวกและมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าโมเลกุลสีย้อม เพื่อช่วยชะลออัตราเร็วในการแพร่ของสีเข้าสู่เส้นใยและในการยึดติดของสีกับสายโซ่พอลิเมอร์ของเส้นใย การย้อมใยอะคริลิกด้วยสีเบสิกและมีสารชะลอการติดสีอยู่ด้วย เมื่อสีแพร่เข้าสู่เส้นใยได้มากถึงระดับหนึ่ง ความสมดุลทางไดนามิกส์ของการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสารหน่วงขนาดเล็กที่ยึดกับสายโซ่พอลิเมอร์แบบชั่วคราวหลุดออกจากสายโซ่ และโมเลกุลสีย้อมที่มีขนาดใหญ่กว่าจะเข้ามายึดเกาะกับสายโซ่แทน ปรากฏการณ์นี้ทำให้สามารถย้อมใยอะคริลิกได้สีเข้มสม่ำเสมอทั่วทุกที่

สำหรับโครงการพิเศษนี้ ได้ใช้สีย้อมเบสิกเรด 9 (Basic red 9) ในการทดลอง โดยสีย้อมเบสิกเรด 9 มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{19}H_{18}ClN_3$ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 323.824 g/mol และมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างสีย้อมเบสิกเรด 9 (Pubchem, 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สีย้อมไดเร็กต์ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555)

สีไดเร็กต์ (direct dye) หมายถึง สีย้อมสังเคราะห์ซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัวให้อนุมูลสีที่มีประจุลบ จับติดเส้นใยจำพวกเซลลูโลสได้โดยตรง ปกติใช้ย้อมในน้ำที่มีเกลือเป็นอิเล็กโทรไลต์

สีไดเร็กต์แบ่งเป็น 3 ประเภท (หรือที่เรียกว่าหมู่สี) คือ

- ประเภท A เคลื่อนตัวง่าย
- ประเภท B เคลื่อนตัวยาก
- ประเภท C เคลื่อนตัวยากมาก

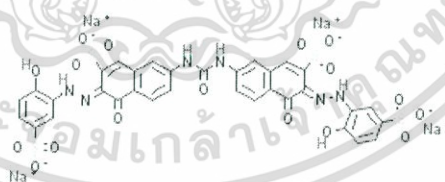
สีไดเร็กต์แต่ละประเภทแบ่งตามลักษณะความคงทนของสีเป็น 3 ชั้นคุณภาพ คือ

- ชั้นคุณภาพ 1 (ดี) ได้แก่ สีที่มีระดับความคงทนของสีต่อแสงที่ระดับความเข้มของสีมาตรฐาน 1/1 ไม่ต่ำกว่า 5 และมีระดับความคงทนของสีต่อการซักที่ระดับความเข้มของสีมาตรฐาน 1/1 ไม่ต่ำกว่า 3

-ชั้นคุณภาพ 2 (ปานกลาง) ได้แก่ สีที่มีระดับความคงทนของสีต่อแสงที่ระดับความเข้มของสีมาตรฐาน 1/1 ไม่ต่ำกว่า 3 และมีระดับความคงทนของสีต่อการซักที่ระดับความเข้มของสีมาตรฐาน 1/1 ไม่ต่ำกว่า 2

- ชั้นคุณภาพ 3 (ต่ำ) ได้แก่ สีที่มีระดับความคงทนของสีต่อแสงที่ระดับความเข้มของสีมาตรฐาน 1/1 ไม่ต่ำกว่า 2 และมีระดับความคงทนของสีต่อการซักที่ระดับความเข้มของสีมาตรฐาน 1/1 ไม่ต่ำกว่า 1-2

สำหรับโครงการพิเศษนี้ ได้ใช้สีย้อมไดเร็กต์เรด83 (Direct red 83) ในการทดลอง ซึ่งสีย้อมไดเร็กต์เรด83 มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{33}H_{20}N_6Na_4O_{17}S_4$ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 992.747g/mol และมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างสีย้อมไดเร็กต์เรด83 (Pubchem, 2016)

2.6 กระบวนการดูดซับ

2.6.1 ทฤษฎีการดูดซับ (วรวิทย์, 2558)

การดูดซับ (Adsorption) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับตัวดูดซับ (Adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิว (Surface free energy) ต่ำจะถูกดูดซับได้ แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ

เอกสารเป็นเอกสารที่สวางเวสการเชิงเคมีการกักเก็บเท่านั้น เมื่ออนุภาคพื้นผิวอิสระจะยึดเหนี่ยวกับสารอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ ปริมาณการดูดซับขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ พลังงานกระตุ้นของตัวดูดซับ และสภาวะการดูดซับ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้น ความดัน และพลังงานศักย์ของอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกดูดซับ (อาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส) กับตัวดูดซับ (ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง) ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง

การดูดซับเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวสัมผัส (Interface) โดยมีวัฏภาคหนึ่งเป็นของแข็งเสมอ และเป็นวัฏภาคคายความร้อน โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกาะอยู่บนผิวหน้าของของแข็งของตัวดูดซับ ดังนั้นการดูดซับด้วยของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงดูดที่พื้นที่ผิวของของแข็งซึ่งเป็นตัวดูดซับนั้นมีค่ามากกว่าค่าพลังงานจลน์ของโมเลกุลของของเหลวนั้น การดูดซับบนผิวของแข็ง แบ่งออกได้ตามแรงที่ดูดซับระหว่างพื้นผิวโมเลกุลเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1) การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) อาศัยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าอย่างอ่อนๆ เรียกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) หรือพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) แรงดึงดูดระหว่างสารที่อยู่ในของเหลวกับตัวดูดซับมีมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างสารในของเหลวกับของเหลว ทำให้สารที่อยู่ในของเหลวเข้าติดอยู่ที่ตัวดูดซับแทน การดูดซับทางกายภาพไม่มีแรงกระตุ้น (Activation energy) มาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อยทำให้การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับได้ง่ายและการดูดซับเกิดขึ้นกันได้หลายชั้น (Multilayer) โดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับกันอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารและเกิดขึ้นได้ไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำ

2) การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวถูกดูดซับเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมและกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมชั้นใหม่โดยมีพันธะเคมีที่แข็งแรง แรงที่ใช้ดูดซับเป็นพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) มักเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของตัวถูกดูดซับ โดยมีพลังงานกระตุ้น (Activation energy) เข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับได้ยากและการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว

ตารางที่ 2.2 สมบัติของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี

การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
ค่าความร้อนของการดูดซับประมาณ 20 kJ/mol หรือน้อยกว่า	ค่าความร้อนของการดูดซับ 50-400 kJ/mol
เกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ	เกิดได้ที่อุณหภูมิสูง
เกิดการผันกลับได้เป็นส่วนใหญ่	ไม่เกิดการผันกลับ
เกิดการดูดซับหลายชั้น	เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว
ไม่มีพลังงานก่อกัมมันต์เกี่ยวข้องในกระบวนการ	มีพลังงานก่อกัมมันต์เกี่ยวข้อง
แรงดึงดูดของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดที่อ่อนๆ (แรงแวนเดอร์วาลส์)	แรงดึงดูดของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดที่แข็งแรง (เกิดพันธะเคมี)

ที่มา : วรวิทย์, 2558

นอกจากแบ่งประเภทการดูดซับเป็นการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมีแล้ว ยังอาจแบ่งประเภทการดูดซับตามกลไกเพิ่มเติมได้อีก คือ การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Exchange adsorption) เป็นการดูดซับที่อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิตบริเวณผิว เมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม และการดูดซับแบบเฉพาะเจาะจง (Specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับ พฤติกรรมการดูดซับนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพและเคมี

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (พรสวรรค์ และวีระวัฒน์, 2553)

1) ความเข้มข้นของสารละลายการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะที่สมดุลเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนให้การถ่ายเทมวลซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างปริมาณของสีย้อมบนตัวดูดซับกับสารละลายทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะที่สมดุลของตัวดูดซับมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นในขณะที่ปริมาณตัวดูดซับคงที่นั้นทำให้ร้อยละของการกำจัดสีย้อมมีค่าลดลงเนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นทำให้ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสีย้อมทั้งหมดในสารละลายที่เพิ่มขึ้น

2) ระยะเวลาในการดูดซับการเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะณเวลาใดๆมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกเนื่องจากแรงขับเคลื่อนที่มากอันเนื่องมาจากผลต่างของความเข้มข้นของสีย้อมในสารละลายกับปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับหลังจากนั้นปริมาณดูดซับจำเพาะณเวลาใดๆจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลซึ่งภายหลังจากเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วระยะเวลาจะไม่มีผลกระทบใดๆกับระบบ

3) อัตราส่วนของตัวดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อมการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับในขณะที่ปริมาตรของสารละลายคงที่ส่งผลทำให้ร้อยละของการกำจัดสีย้อมมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลายมีค่าเพิ่มมากขึ้นแต่การเพิ่มเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่นับญาติเห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณตัวดูดซับทำให้ค่าปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าลดลงเนื่องจากน้ำหนักของสีย้อมต่อน้ำหนักของตัวดูดซับมีค่าลดลง

4) ความเป็นกรดต่างของสารละลายการที่ pH ของสารละลายมีค่าต่ำกว่า pH_{ZPC} (pH of Zero point of the charge) บนพื้นผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุบวกของ H^+ และการที่ pH ของสารละลายมีค่ามากกว่า pH_{ZPC} บนพื้นผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุลบของ OH^- โดยตัวดูดซับที่ประจุบวกบนพื้นผิวจะสามารถดึงดูดโมเลกุลของสารที่ประจุลบได้ดีดังนั้นการดูดซับสีย้อมกรดจึงเกิดได้ดีในสารละลายที่มี pH ต่ำและเมื่อเพิ่ม pH ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีแนวโน้มที่ลดลงในขณะที่ตัวดูดซับสีย้อมประเภทสีย้อมเบสจะเกิดได้ดีในสารละลายที่มี pH สูงเนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างประจุลบบนพื้นผิวของตัวดูดซับและประจุบวกบนโมเลกุลของสีย้อมและการลด pH ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีแนวโน้มลดลง

5) อุณหภูมิของการดูดซับการเพิ่มอุณหภูมิทำให้การเกิดการกระตุ้นหมู่ฟังก์ชันเช่นหมู่แอลกอฮอล์ (Alcoholic) คาร์บอนิลิก (Carbonylic) และฟีนอลิก (Phenolic) ซึ่งอยู่บนพื้นผิวของการดูดซับทำให้เกิดแรงดึงดูดกับระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนตัวดูดซับกับประจุบวกบนโมเลกุลของสีย้อมบ้างชนิดนอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (Mass transfer coefficient) มีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

6) ขนาดของตัวดูดซับจากการทดลองที่ใช้ปริมาณตัวดูดซับที่เท่ากันแต่มีขนาดต่างกันพบว่าตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่าสามารถดูดซับปริมาณสีย้อมได้มากกว่าเนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารละลายมากการดูดซับจึงเกิดได้ดี

7) ความเร็วรอบในการปั่นกวนการปั่นกวนด้วยความเร็วรอบสูงทำให้ลักษณะการผสมของสารละลายเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent) แต่หากใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวนต่ำอาจจะพบได้ว่าความเร็วรอบมีผลต่อระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับได้เนื่องจากการผสมของสารละลายอาจจะเกิดไม่สมบูรณ์

2.6.3 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (วรวิทย์, 2558)

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherm) เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ที่มีการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิใดๆ

การคำนวณหาความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับโดยใช้สมการ

$$q = \frac{V(C_0 - C_e)}{W} \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ q_t = The amount of adsorbed dye per unit mass of adsorbent at time t (mg/g)

q_e = The amount of adsorbed dye per unit mass of adsorbent at equilibrium (mg/g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่ส่งไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_0 = The initial dye concentrations in solution at equilibrium (mg/L)

C_e = The dye concentrations in solution at equilibrium (mg/L)

V = The volume of the solution (L)

W = The mass of dry adsorbent (g)

1) Langmuir isotherm

ในปี ค.ศ 1916 แลงเมียร์ (Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอร์มแบบง่ายที่สุดโดยมีสมมติฐาน ดังนี้
ก. ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption)

ข. โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน

ค. ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุกๆพื้นที่ของตัวดูดซับ

ง. โมเลกุลที่จะดูดซับไม่สามารถที่จะขยายพื้นผิวหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียงได้

สมการแลงเมียร์เป็นสมการง่ายๆ แบบจำลองเป็นพื้นฐานทางฟิสิกส์และสามารถนำมาใช้งานได้ในช่วงที่กว้าง ในขณะที่สมการของแลงเมียร์มีข้อจำกัดของการใช้งานได้แก่ พลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับการควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อนๆ ที่สามารถผันกลับได้และจะใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น สมการเส้นตรง คือ

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m C_e} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

เมื่อ q_m = The maximum adsorption capacity (mg/g)

K_L = Langmuir constants (L/mg)

จากสมการไอโซเทอร์มแลงเมียร์(สมการ 2.2) เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{q_e}$ กับ $\frac{1}{C_e}$ ค่า K_L และ

q_m สามารถหาได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน (Intercept) สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ยังอาจแสดงได้ด้วยปัจจัยของการแยกหรือค่าตัวแปรที่สภาวะสมดุล (Separation factor or Equilibrium parameter, R_L) ดังสมการ

$$R_L = \frac{1}{(1+K_L C_0)} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

ค่า R_L จะเป็นตัวบอกรูปร่างของไอโซเทอร์มว่าสอดคล้องกับการดูดซับหรือไม่ ถ้า $R_L > 1$ การดูดซับไม่ดี (Unfavorable) $R_L = 1$ การดูดซับเป็นเส้นตรง (Linear) $0 < R_L < 1$ การดูดซับดี (Favorable) และ $R_L = 0$ การดูดซับเกิดผันกลับได้ (Irreversible)

2) Freundlich isotherm

สมการของฟรอนด์ลิช มีสมมติฐานของการดูดซับว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นที่ของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นที่ผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ใช้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ไอโซเทอร์มแบบฟรอนด์ลิชเป็นไอโซเทอร์มที่พัฒนาจากแลงเมียร์ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer)

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

เมื่อ K_f = Freundlich constant related to the adsorption capacity (L/g)

$1/n$ = the value related to the adsorption intensity

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log K_f$ จากสมการการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช ความสามารถในการดูดซับพิจารณาจากความชันของกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ โดยถ้าเส้นกราฟที่ได้มีค่าความชันมาก แสดงว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความเข้มข้นสูงๆ แต่เกิดขึ้นได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำ ค่า $1/n$ อธิบายถึงไอโซเทอร์มของการดูดซับ ถ้าเท่ากับ 1 ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นเส้นตรง แต่ถ้าค่ามากกว่า 1 จะอธิบายถึงบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับที่มีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับ และถ้าน้อยกว่า 1 จะอธิบายถึงปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับที่มีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ

3) Temkin isotherm

ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Temkin จะแตกต่างจาก Langmuir และ Freundlich ซึ่งไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Temkin สามารถนำไปใช้ได้กับการดูดซับทางเคมี เนื่องจากในสมการจะพิจารณาถึงพลังงานกระตุ้นของตัวดูดซับ ไอโซเทอร์มนี้มีสมมติฐานว่าพลังงานการดูดซับจะลดลงเป็นเส้นตรงเมื่อปริมาณผิวหน้าของตัวดูดซับถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับ (Adsorbent-adsorbate interactions) สมการเส้นตรงของ Temkin เขียนได้ดังนี้

$$q_e = \frac{RT}{b_0} \ln A + \frac{RT}{b_0} \ln C_e \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

เมื่อ A = Temkin isotherm constants (L/g)

b_0 = Temkin constant related to heat of sorption (J/mol)

R = The gas constant (8.314 J/mol.K)

T = The absolute temperature (K)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง q_e กับ $\ln C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{RT}{b_0}$ และมีจุดตัด

แกนเท่ากับ $\frac{RT}{b_0} \ln A$ จากสมการการดูดซับแบบ Temkin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) Dubinin–Radushkevich isotherm

Dubinin–Radushkevich ได้เสนอไอโซเทอร์มการดูดซับเพื่อประเมินกลไกการดูดซับของตัวดูดซับเป็นการดูดซับทางเคมีหรือทางกายภาพ สมการเส้นตรงของ Dubinin–Radushkevich เขียนได้ดังนี้

$$\ln q_e = \ln q_D - K_{DR} [RT \ln(1+C_e)]^2 \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

เมื่อ q_D = The adsorption capacity (mg/g)

K_{DR} = A constant related to mean free energy of adsorption per mole of the adsorbate (mol^2/KJ^2)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\ln q_e$ กับ $[RT \ln(1+C_e)]^2$ สามารถหาค่า K_{DR} และ $\ln q_e$ ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า K_{DR} จากสมการ Dubinin–Radushkevich เกี่ยวข้องกับพลังงานดูดซับอิสระ (E) ของการดูดซับต่อโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ เมื่อเกิดการเคลื่อนที่จากสารละลายสู่พื้นผิวของตัวดูดซับซึ่งพลังงานดูดซับอิสระหาได้จากสมการ

$$E = 1/\sqrt{2K_{DR}} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

จากสมมติฐานเกี่ยวกับค่าพลังงานอิสระ ถ้าน้อยกว่า 8 kJ/mol กลไกการดูดซับจะเป็นแบบกายภาพ แต่ถ้าอยู่ในช่วง 8 ถึง 16 kJ/mol กลไกการดูดซับจะเป็นแบบเคมี

2.6.4 จลนศาสตร์ของการดูดซับ (วรวิทย์, 2558)

การศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาของการดูดซับโดยใช้แบบจำลอง Pseudo first-order Pseudo second-order Elovich และ Intraparticle diffusion

สมการเส้นตรงของแบบจำลอง Pseudo first-order สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

เมื่อ k_1 = The rate constant for pseudo-first order adsorption (1/min)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log(q_e - q_t)$ กับ t สามารถหาค่า $k_1/2.303$ และ $\log q_e$ ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน

สมการเส้นตรงของแบบจำลอง Pseudo second-order สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง t/q_t กับ t สามารถหาค่า q_e และ k_2 ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน

สมการเส้นตรง Elovich model สามารถเขียนได้ดังนี้

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

เมื่อ α = The initial adsorption rate (mg/g.min)

β = The constant related to the extent or surface coverage and the activation energy for chemisorptions (g/mg)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง q_t กับ $\ln t$ สามารถหาค่า β และ α ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน

สมการเส้นตรง Intraparticle diffusion model สามารถเขียนได้ดังนี้

$$q_t = K_{id}(t)^{1/2} + C \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

เมื่อ K_{id} = The intraparticle diffusion rate constant (mg/g.min)

เขียนกราฟระหว่าง q_t กับ $(t)^{1/2}$ สามารถหาค่า K_{id} ได้จากความชัน (Slope)

2.6.5 เทอร์โมไดนามิกส์ (โกวิทย์ และ รวิินทร์, 2554)

พารามิเตอร์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับได้แก่ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของการดูดซับ (ΔH°) การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการดูดซับ (ΔS°) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ (ΔG°) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

$$K_c = q_e / C_e \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

เมื่อค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของการดูดซับ (ΔH°) มีค่าเป็นลบแสดงว่าการดูดซับเป็นแบบปฏิกิริยาคายความร้อนการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการดูดซับ (ΔS°) มีค่าเป็นบวกแสดงว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นอย่างไม่เป็นระเบียบ และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ (ΔG°) มีค่าเป็นลบสามารถอธิบายได้ว่าปฏิกิริยาการดูดซับเกิดขึ้นได้เอง

2.7 องค์ประกอบของเปลือกสับปรอด (Rani and Nand, 2004)

จากตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของเปลือกสับปรอดแบบแห้ง (Dry) แบบสด (Fresh) และแบบหมัก (Ensiled)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของเปลือกสับปรอดแบบแห้ง (Dry) แบบสด (Fresh) และแบบหมัก (Ensiled)

Parameters	Ensiled	Fresh	Dry
Moisture (%)	72.49	71.07	27.43
Total solids (%)	27.51	29.03	72.57
Volatile solids (%)	87.12	96.12	95.90
pH	4.00	4.70	4.70
Ash (%)	12.88	3.88	4.10
% on dry weight basis			
Cellulose	9.00	11.20	12.00
Hemicellulose	4.70	7.00	6.50
Pectin	5.10	6.70	7.10
Ether-soluble solids	4.00	6.10	6.70
Protein	0.91	3.13	3.30
Reducing sugars	5.00	25.80	27.80
Non-reducing sugars	1.70	5.70	4.90
Lignin	9.00	11.52	11.00
VFA (mg/L)	1375	800	650

ที่มา : Rani and Nand, 2004

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chin-Huang Weng และคณะ (2009) ศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูจากสารละลายในน้ำ โดยใช้ผงใบสับปรอดเป็นตัวดูดซับสีย้อม ซึ่งอาศัยการกระจายตัวของอนุภาคภายในที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับ และข้อมูลทางจลนศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสมการ Pseudo second-order ในส่วนของพารามิเตอร์ที่แสดงให้เห็นถึงอัตราการดูดซับที่เพิ่มขึ้นและลดลงในความเข้มข้นของสีย้อม และค่าความแรงของไอออนลดลงขณะที่เกิดการผสมกันอย่างรวดเร็วซึ่งไม่เป็นผลกระทบที่มีนัยสำคัญกับการดูดซับ สำหรับการดูดซับในสภาวะที่เหมาะสมอยู่ที่พีเอชมากกว่า 7 และข้อมูลสภาวะสมดุลที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณโดยไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์นั้นแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับสูงสุดอยู่ระหว่าง 4.68×10^{-4} ถึง 9.28×10^{-4} mol/g เมื่อเพิ่มพีเอชจาก 3.5 ถึง 9.5 พารามิเตอร์ของเทอร์โมไดนามิกส์ที่แนะนำสำหรับกระบวนการดูดซับคือกระบวนการทางกายภาพ ปฏิริยาที่เกิดขึ้นเอง และปฏิริยาแบบคายความร้อนในธรรมชาติ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าของเสียทางการเกษตรสามารถใช้เป็นตัวดูดซับที่ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูจากสารละลายในน้ำ

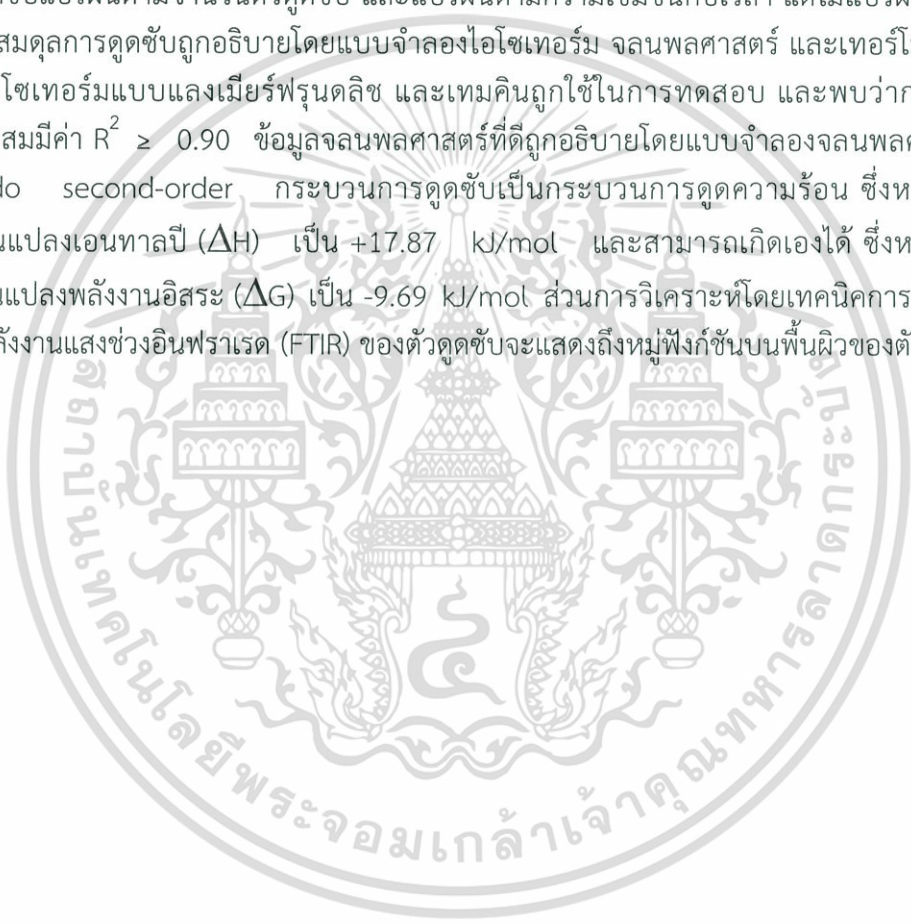
Clovis Antonio Rodrigues และคณะ (2016) ศึกษาการดูดซับสีย้อมประจุบวกที่ประกอบด้วยสีย้อมโรดามีนบี และสีย้อมเมทิลีนบลู โดยเศษเมล็ดโพธิสัตว์ถูกใช้สำหรับการศึกษาในระบบแบดซ์ ซึ่งตัวดูดซับถูกจำแนกโดยเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงอินฟราเรด (FTIR) เทคนิควิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุ (TGA) การหาประจุที่ผิวเป็นศูนย์ (Point of zero charge) และวิธีการไทเทรตของโบห์ม ผลกระทบของระยะเวลาสัมผัส และพีเอชถูกทดสอบสำหรับการกำจัดสีย้อมประจุบวก เมื่อเพิ่มพีเอชจาก 3 ถึง 9 ซึ่งถูกประกอบโดยการเพิ่มขึ้นสามส่วนโดยประมาณในปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับ ค่าสมมูลการดูดซับถูกวิเคราะห์โดยใช้สมการแบบแลงเมียร์ฟรุนดลิช ชิปล์และเรดลิก-เพเทอร์สัน ซึ่งไอโซเทอร์มแบบชิปล์เป็นสิ่งที่ถูกแสดงให้เห็นถึงสหสัมพันธ์ที่ดีที่สุดกับค่าที่ได้จากการทดลอง ส่วนความสามารถในการดูดซับสูงสุดของสีย้อมเมทิลีนบลูเท่ากับ 178 mg/g และของสีย้อมโรดามีนบีเท่ากับ 117 mg/g จลนศาสตร์การดูดซับถูกประเมินผลโดยแบบจำลอง Pseudo first-order แบบจำลอง Pseudo second-order และแบบจำลองการแพร่กระจายภายในสารดูดซับในการศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์ถูกแสดงให้เห็นถึงกระบวนการดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองและเป็นกระบวนการดูดความร้อน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเศษเมล็ดโพธิสัตว์สามารถใช้เป็นตัวดูดซับต้นทุนต่ำสำหรับการกำจัดสีย้อมประจุบวกจากน้ำเสีย

Flavio Andre Pavan และคณะ (2007) การกำจัดสีย้อมออกจากระบบน้ำในธรรมชาติที่เกิดจากการปรากฏตัวของสีสังเคราะห์เป็นสิ่งสำคัญมากจากมุมมองด้านสิ่งแวดล้อม เพราะสีย้อมส่วนใหญ่มีความเป็นพิษ เป็นสารเปื่อยเบนพันธุกรรม และเป็นสารก่อมะเร็งในการศึกษาครั้งนี้ผงเปลือกเสาวรสีเหลืองที่เป็นของเสียถูกนำมาใช้ทดลองเป็นตัวดูดซับต้นทุนต่ำซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับการกำจัดสีย้อมเบื้องต้นออกจากสารละลายในน้ำ การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยตัวดูดซับทางธรรมชาติได้ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับที่อุณหภูมิห้องศึกษาผลกระทบของเวลาในการเขย่า และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมที่ในการดูดซับค่าความเป็นกรด-ด่างที่มากกว่า 7 เหมาะสมสำหรับการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูระยะเวลาสัมผัสสูงสุดที่ทำให้มีการดูดซับสีย้อมได้ปริมาณมากที่สุดคือ 56 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเปลือกเสาวรสีเหลืองจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูออกจากสารละลายในน้ำ

Kowit Piyamongkala และ Rawin Suttanan (2011) ทดลองใช้เกลบดตัดแปรทำปฏิริยากับกรดไนตริก นำมาใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ทำการทดลองแบบแบดซ์ ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นและอุณหภูมิของสีย้อมเมทิลีนบลู นอกจากนั้นยังทำการศึกษาไอโซเทอร์ม จลนศาสตร์ และข้อมูลเทอร์โมเคมี ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นและอุณหภูมิของสีย้อมเมทิลีนบลูมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น และไอโซเทอร์มของการดูดซับ ศึกษาจากแบบจำลองแลงเมียร์และฟรุนดลิช พบว่าสอดคล้องกับสมการแบบฟรุนดลิชมากกว่าสมการแบบแลงเมียร์ จลนศาสตร์ของการดูดซับศึกษาจากแบบจำลอง Pseudo first-order และ Pseudo second-order พบว่าจลนศาสตร์ในการดูดซับสอดคล้องกับสมการ Pseudo second-order อัตราเร็วของการดูดซับในช่วงเริ่มต้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.308 ถึง 0.388 เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.965 mg/g-min เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูจาก 20 ถึง 100 mg/L ตามลำดับ กลไกการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้แกลบดัดแปรเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน สำหรับข้อมูลทางเทอร์โมเคมี พบว่า การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนมีค่าเท่ากับ -23.322 kJ/mol การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีมีค่าเท่ากับ 67.585 J/mol-K และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ -44.856 kJ/mol ซึ่งมีค่าเป็นลบ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับสามารถเกิดขึ้นเองได้

S.A. Umoren และคณะ (2016) ศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูจากสารละลายในน้ำ ไปยังขุยมะพร้าวที่เป็นของเสียทางการเกษตรต้นทุนต่ำในระบบแบดซ์ ในเรื่องของการดูดซับที่ถูกนำมาศึกษานั้นมีความสัมพันธ์กับจำนวนตัวดูดซับ พีเอช และความเข้มข้นกับเวลา พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับแปรผันตามจำนวนตัวดูดซับ และแปรผันตามความเข้มข้นกับเวลา แต่ไม่แปรผันตามพีเอช ข้อมูลสมมูลการดูดซับถูกอธิบายโดยแบบจำลองไอโซเทอร์ม จลนพลศาสตร์ และเทอร์โมไดนามิกส์ โดยไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ฟรุนดลิช และเทมคินถูกใช้ในการทดสอบ และพบว่าการดูดซับที่เหมาะสมมีค่า $R^2 \geq 0.90$ ข้อมูลจลนพลศาสตร์ที่ดีถูกอธิบายโดยแบบจำลองจลนพลศาสตร์แบบ Pseudo second-order กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการดูดความร้อน ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (ΔH) เป็น +17.87 kJ/mol และสามารถเกิดเองได้ ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ (ΔG) เป็น -9.69 kJ/mol ส่วนการวิเคราะห์โดยเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงอินฟราเรด (FTIR) ของตัวดูดซับจะแสดงถึงหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวดูดซับ



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

- 1) ผงสีแดงเร็กซ์เรด 83 (Direct red 83) เกรด Commercial บริษัท เอกสราค์ เน็ตเวิร์ค จำกัด ประเทศไทย
- 2) ผงสีเบสิกเรด 9 (Basic red 9) เกรด Commercial บริษัท พี.เค.เอส. 2000 ประเทศไทย
- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรด RPE บริษัท Carlo Erba Reagents ประเทศอิตาลี
- 4) แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เกรด RPE บริษัท Carlo Erba Reagents ประเทศอิตาลี
- 5) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกรด RPE บริษัท Carlo Erba Reagents ประเทศอิตาลี
- 6) เอทานอล (EtOH) เข้มข้น 95% เกรด Commercial องค์การสุรา กรมสรรพสามิต จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย
- 7) น้ำกลั่น (Distilled water)
- 8) เปลือกสับปะรด (Pineapple peel)

3.1.2 อุปกรณ์

- 1) เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น Genesis 10S UV-Vis ยี่ห้อ Thermo Scientific บริษัท Thermo Fisher Scientific Inc. ประเทศอังกฤษ
- 2) เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น T60 ยี่ห้อ PG Instruments บริษัท PG Instruments Limited ประเทศอังกฤษ
- 3) เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope) รุ่น 1455 VP ยี่ห้อ Leo บริษัท Carl Zeiss ประเทศเยอรมนี
- 4) เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน (Autosorb) รุ่น Autosorb-1 ยี่ห้อ Quantachrome บริษัท Quantachrome Instruments ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 5) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) รุ่น Spectrum GX ยี่ห้อ Perkin Elmer บริษัท Perkin Elmer Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 6) เตาเผา (Furnace) รุ่น 6000 Furnace ยี่ห้อ Thermolyne บริษัท Barnstead Thermolyne ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 7) เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Orbital shaker ยี่ห้อ Gallenkamp บริษัท Jebsen & Jessen Technology ประเทศเยอรมนี
- 8) เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) รุ่น 827 pH lab ยี่ห้อ Metrohm บริษัท Metrohm Siam ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 9) ตู้อบ (Oven) รุ่น UN55 ยี่ห้อ Memmert บริษัท Jebsen & Jessen Technology ประเทศเยอรมนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10) เตาให้ความร้อน (Hot plate) รุ่น IP 21 KLO ยี่ห้อ Fisher Scientific บริษัท Thermo Fisher Scientific Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

11) เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) รุ่น MS204TS ยี่ห้อ Mettler Toledo บริษัท Mettler-Toledo GmbH ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

12) เครื่องกรองสูญญากาศ (Suction pump) รุ่น Aspirator A-3s ยี่ห้อ Eyela บริษัท Tokyo Rikakikai Co., LTD. U.S.A. branch office ประเทศสหรัฐอเมริกา

13) เครื่องบดสับ (Grinder) รุ่น CP-390 ยี่ห้อ Otto บริษัท ออโต้ คิงส์กลาส จำกัด ประเทศไทย

14) ไมโครปิเปต (Micropipet) ขนาด 1,000 μL รุ่น Pipet-Lite XLS+ ยี่ห้อ Rainin บริษัท Rainin Instrument, LLC ประเทศสหรัฐอเมริกา

15) กระดาษกรอง (Filter paper) ขนาด 42 ยี่ห้อ Whatman บริษัท GE Healthcare Life Sciences สหราชอาณาจักร

16) กระดาษวัดพีเอช (Universal indicator) บริษัท Merck KGaA ประเทศเยอรมนี

17) เซลล์ควอตซ์ (Quartz cell)

18) ตะแกรงร่อน (Sieved) ขนาด 35 mesh

19) กรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel)

20) เดซิเคเตอร์ (Desiccator)

21) ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash bottle)

22) เครื่องแก้ว (Glassware) ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

23) ชามระเหย (Evaporating dish)

24) ครุชีเปิล (Crucible)

25) ครกหินและสากหิน (Mortar and Pestle)

26) ผ้าขาวบาง (Cheesecloth)

27) ถาดสแตนเลส (Stainless steel tray)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวกลางในการดูดซับที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ

1) นำเปลือกสับปะรดมาล้างแล้วตัดเป็นชิ้นๆ นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2) นำเปลือกสับปะรดที่ได้ไปบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 mesh (Rodrigues *et al.*, 2016) มาล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้งจนกระทั่งวัดค่า pH ของสารละลายให้มีค่ามีใกล้เคียงเท่ากับค่า pH ของน้ำกลั่น แล้วนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง

3) อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

3.2.2 การเตรียมน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 และสีย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83

3.2.2.1 การเตรียมน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 และสีย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 60, 80, 100, และ 120 mg/L

ตัวอย่างวิธีการเตรียมน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 100 mg/L

ซังสีย้อม 100 mg นำไปละลายในน้ำกลั่น 1 L จะได้น้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L

3.2.2.2 การสแกนค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 และสีย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83

นำน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L มาสแกนหาความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (200-800 นาโนเมตร)

3.2.3 การเตรียมตัวกลางในการดูดซับที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

3.2.3.1 การศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เหมาะสม (Ning-chuan and Xue-yi, 2012)

1) ซังเปลือกสับปะรดที่บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 mesh มา 10 g นำไปแช่ในสารละลายที่มีส่วนผสมของ EtOH 50 mL NaOH 0.5 M 25 mL และน้ำกลั่น 25 mL จะได้สารละลาย SB2 แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

2) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของ NaOH เป็น 0, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, และ 1.25 M จะได้สารละลาย SB1, SB3, SB4, SB5, SB6, และ SB7 ตามลำดับ

3) นำเปลือกสับปะรดที่แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มากรองและล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งวัดค่า pH ของสารละลายให้มีค่าใกล้เคียงกับ pH ของน้ำกลั่น แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

4) ซังเปลือกสับปะรด SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, SB6, และ SB7 มาอย่างละ 0.25 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL แต่ละขวดเติมน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L ลงไป 25 mL

5) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าอัตโนมัติ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที

6) นำสารละลายที่ได้ไปกรองแบบลดความดัน และนำสารละลายไปวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

7) ทำเช่นเดียวกับข้อ 4-6 ซ้ำอีก 2 ครั้ง

8) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1-7 แต่เปลี่ยนจากน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 เป็นสีย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83

3.2.3.2 การศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่เหมาะสม (Ning-chuan and Xue-yi, 2012)

- 1) ชั่งเปลือกสับประดที่บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 mesh มา 10 g นำไปแช่ในสารละลายที่มีส่วนผสมของ EtOH 50 mL NaOH ที่ความเข้มข้นเหมาะสม (จากการทดลอง 3.2.3.1) 25 mL และ CaCl_2 0.8 M 25 mL จะได้สารละลาย SB9 แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
- 2) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของ CaCl_2 เป็น 0, 1.0, 1.25, 1.50, และ 1.75 M จะได้สารละลาย SB8, SB10, SB11, SB12, และ SB13 ตามลำดับ
- 3) นำเปลือกสับประดที่แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มากรองและล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้ง จนกระทั่ง วัดค่า pH ของสารละลายให้มีความใกล้เคียงเท่ากับค่า pH ของน้ำกลั่น แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์
- 4) ชั่งเปลือกสับประด SB8, SB9, SB10, SB11, SB12, และ SB13 มาอย่างละ 0.25 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL แต่ละขวดเติมน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเกรด 9 ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L ลงไป 25 mL
- 5) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าอัตโนมัติ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที
- 6) นำสารละลายที่ได้ไปกรองแบบลดความดันและนำสารละลายไปวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer
- 7) ทำเช่นเดียวกับข้อ 4-6 ซ้ำอีก 2 ครั้ง
- 8) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1-7 แต่เปลี่ยนจากน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเกรด 29 เป็นสีย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เกรด 83

3.2.4 การศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับทั้งแบบปรับปรุงคุณภาพและไม่ปรับปรุงคุณภาพ

3.2.4.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวและขนาดของอนุภาคของเปลือกสับประดที่ปรับปรุงคุณภาพและไม่ปรับปรุงคุณภาพ

- 1) นำเปลือกสับประดที่ปรับปรุงคุณภาพโรยลงบนแผ่นรองรับให้มีการกระจายตัวที่ดี
- 2) ทำการเคลือบทองกับเปลือกสับประดเป็นเวลา 180 วินาที โดยให้กระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ และควบคุมให้อยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ
- 3) นำเปลือกสับประดที่ผ่านการเคลือบทองแล้วใส่ลงไปในที่วางชิ้นงานที่อยู่ภายในเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อศึกษาลักษณะพื้นฐานของวัสดุดูดซับ
- 4) ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนเป็นเปลือกสับประดที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ
- 5) เปรียบเทียบลักษณะรูปร่างพื้นผิวและขนาดของอนุภาคของวัสดุดูดซับทั้งแบบปรับปรุงคุณภาพและไม่ปรับปรุงคุณภาพ

3.2.4.2 การศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของสารองค์ประกอบในเปลือกสับปะรดทั้งก่อนการดูดซับสีย้อม และหลังการดูดซับสีย้อม

1) นำเปลือกสับปะรดมาศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของสารองค์ประกอบโดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

2) นำสเปกตรัมที่ได้มาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

3.2.5 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม

3.2.5.1 การศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม

1) ชั่งเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพ 0.25 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL

2) เติมน้ำเสียดีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L ซึ่งได้ปรับค่า pH ให้เท่ากับ 2 ลงในขวดรูปชมพู่ ปริมาณ 25 mL

3) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที

4) นำสารละลายที่ได้ไปกรองโดยใช้ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน และนำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

5) ทำการทดลองข้อ 1) ถึงข้อ 4) ซ้ำอีก 2 ครั้ง

6) ทำการทดลองข้อ 1) ถึงข้อ 6) โดยเปลี่ยนค่า pH จาก 2 เป็น 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, และ 10 ตามลำดับ

7) ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) ถึงข้อ 6) แต่ไม่ใส่วัสดุดูดซับ

8) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1) ถึง 7) แต่เปลี่ยนจากน้ำเสียดีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 เป็นสีย้อมสังเคราะห์ไดเรกต์เรด 83

3.2.5.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม

1) เตรียมน้ำเสียดีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L ปรับ pH ให้เหมาะสมจากการทดลอง 3.2.5.1 ปริมาณ 500 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 mL ใส่เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพ 1.25 g

2) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 2 mL ที่เวลา 0, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 90, 120, และ 150 นาที มาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

3) ทำการทดลองข้อ 1) และ 2) ซ้ำ โดยเปลี่ยนปริมาตรเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพจาก 1.25 g เป็น 2.50, 3.75, 5.00, 6.25, และ 7.50 g ตามลำดับ

4) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1) ถึง 3) แต่เปลี่ยนจากน้ำเสียดีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 เป็นสีย้อมสังเคราะห์ไดเรกต์เรด 83

3.2.5.3 การศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของน้ำเสียดีย้อมสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม

1) เตรียมน้ำเสียดีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 ที่มีความเข้มข้น 60 mg/L ปรับ pH ให้เหมาะสมจากการทดลอง 3.2.5.1 ปริมาณ 500 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 mL ใส่เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นปริมาณที่ทำให้เกิดการดูดซับสูงสุด (จากการทดลองข้อ 3.2.5.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 2 mL ที่เวลา 0, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 90, 120 และ 150 นาที มาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

3) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1) และ 2) โดยเปลี่ยนความเข้มข้นน้ำเสียที่ย้อมสังเคราะห์จาก 60 mg/L เป็น 80, 100, และ 120 mg/L ตามลำดับ

4) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1) ถึง 3) แต่เปลี่ยนจากน้ำเสียที่ย้อมสังเคราะห์เบสิเกรด 9 เป็นสีย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83

3.2.5.4 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของน้ำเสียที่ย้อมสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม

1) เตรียมน้ำเสียที่ย้อมสังเคราะห์เบสิเกรด 9 ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L ปรับ pH ให้เหมาะสมจากการทดลอง 3.2.5.1 ปริมาณ 500 mL ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 mL ที่อุณหภูมิห้อง ใส่เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นปริมาณที่ทำให้เกิดการดูดซับสูงสุด (จากการทดลอง 3.2.5.2)

2) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 2 mL ที่เวลา 0, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 90, 120, และ 150 นาที มาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

3) ทำการทดลองข้อ 1) ถึง 2) ซ้ำ โดยเปลี่ยนอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องเป็น 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

4) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1) ถึง 3) แต่เปลี่ยนจากน้ำเสียที่ย้อมสังเคราะห์เบสิเกรด 9 เป็นสีย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83

3.2.6 การศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสีย้อม โดยวัดค่า ADMI ของน้ำเสียทั้งก่อนและหลังจากการดูดซับด้วยสภาวะที่ดีที่สุด

3.2.6.1 การศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสีย้อมสังเคราะห์เบสิเกรด 9 ในหน่วย ADMI

1) เตรียมน้ำเสียที่ย้อมสังเคราะห์เบสิเกรด 9 ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L ปรับ pH ให้เหมาะสมจากการทดลอง 3.2.5.1 ปริมาณ 500 mL ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 mL ที่อุณหภูมิห้อง ใส่เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นปริมาณที่ทำให้เกิดการดูดซับสูงสุด (จากการทดลอง 3.2.5.2)

2) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่จุดสมดุลของการดูดซับ

3) นำน้ำเสียที่ย้อมสังเคราะห์เบสิเกรด 9 ที่เตรียมจากข้อ 2) มาเจือจาง 250 เท่า เพื่อให้สีของสารละลายมีสีใกล้เคียงกับสารละลายมาตรฐาน

4) ทำการวัดค่าสีในหน่วย ADMI ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)

3.2.6.2 การศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสีย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83 ในหน่วย ADMI

1) เตรียมน้ำเสียที่ย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83 ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L ปรับ pH ให้เหมาะสมจากการทดลอง 3.2.5.1 ปริมาณ 500 mL ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 mL ที่อุณหภูมิห้อง ใส่เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นปริมาณที่ทำให้เกิดการดูดซับสูงสุด (จากการทดลอง 3.2.5.2)

2) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่จุดสมดุลของการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) นำน้ำเสียที่ย้อมสีครามที่ได้อีก 83 ที่เตรียมจากข้อ 2) มาเจือจาง 250 เท่า เพื่อให้สีของสารละลายมีสีใกล้เคียงกับสารละลายมาตรฐาน

4) ทำการวัดค่าสีในหน่วย ADMI ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)

3.2.7 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

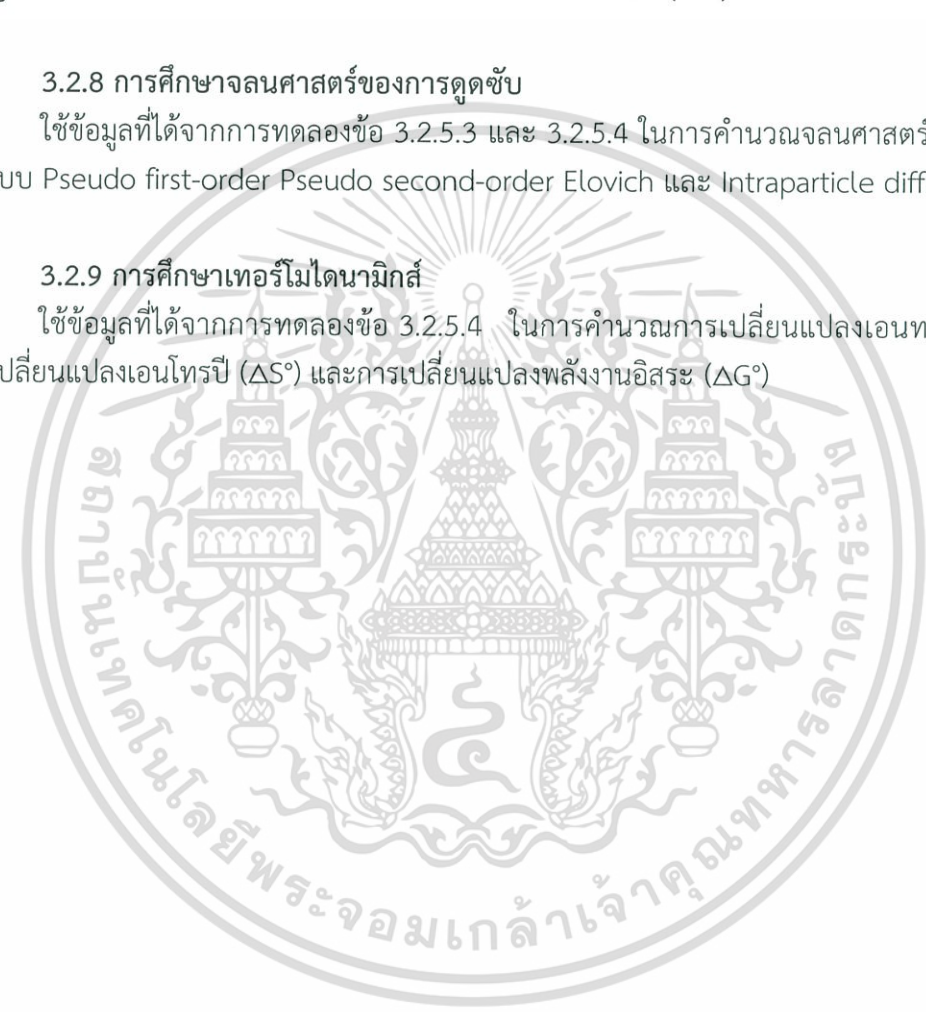
ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองข้อ 3.2.5.2 ในการคำนวณไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Langmuir Freundlich Temkin และ Dubinin-Radushkevich (D-R)

3.2.8 การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับ

ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองข้อ 3.2.5.3 และ 3.2.5.4 ในการคำนวณจลนศาสตร์ของการดูดซับแบบ Pseudo first-order Pseudo second-order Elovich และ Intraparticle diffusion

3.2.9 การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์

ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองข้อ 3.2.5.4 ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (ΔH°) การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (ΔS°) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ (ΔG°)



บทที่ 4

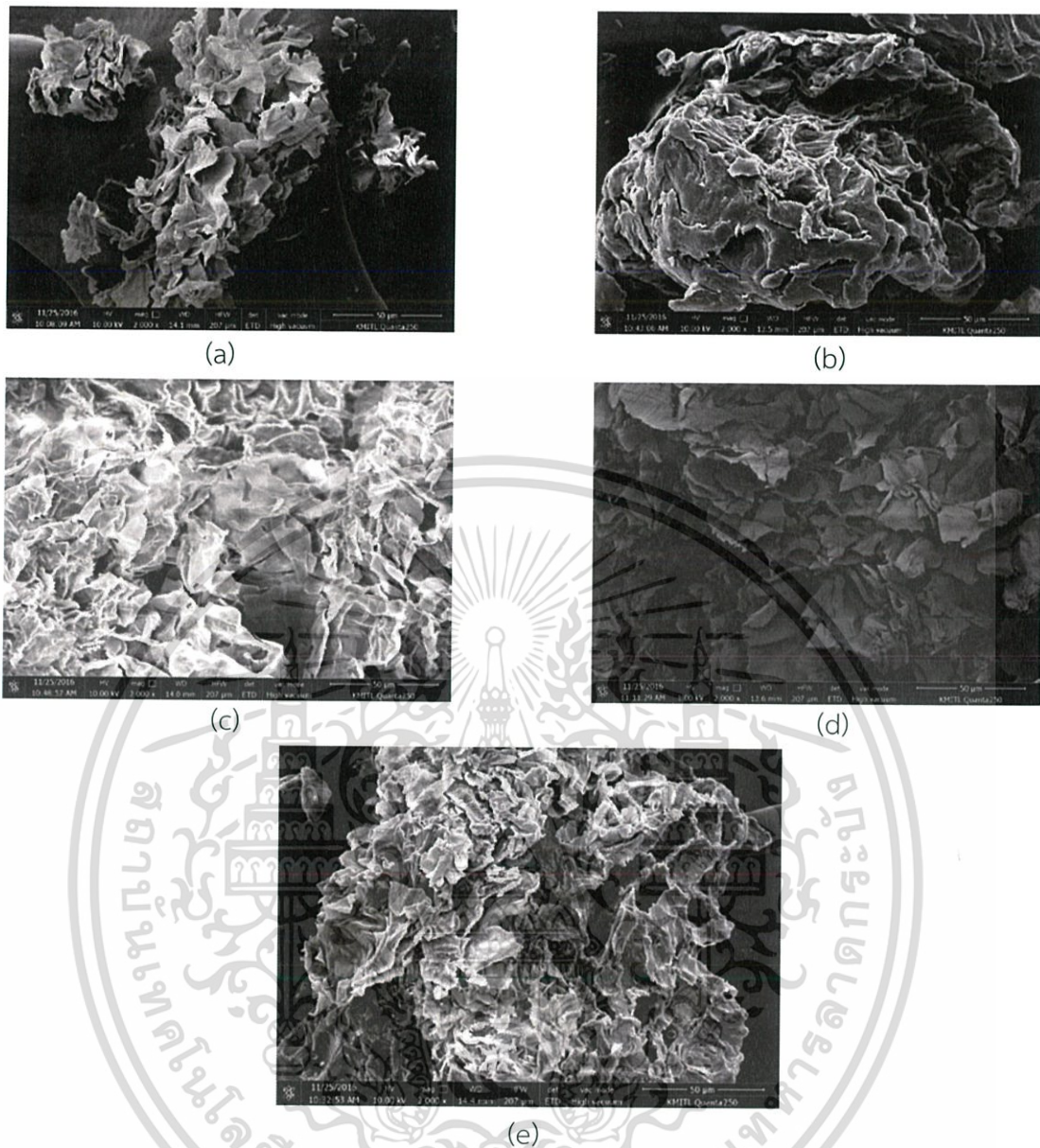
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษเรื่องการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไตรเร็กเรด 83 ในน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์โดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ซึ่งทำการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งอย่างเปลือกสับปะรดมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยได้นำสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไตรเร็กเรด 83 ไปสแกนหาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (200-800 nm) ได้ความยาวคลื่นที่ 532 nm และ 554 nm ตามลำดับ (รูปอยู่ในภาคผนวก จ.) มีการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเปลือกสับปะรดทั้งก่อนและหลังดูดซับน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ศึกษาหาพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของตัวดูดซับโดยใช้เครื่อง Autosorb และศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของสารองค์ประกอบในเปลือกสับปะรดทั้งก่อนและหลังดูดซับโดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) หลังจากนั้นทำการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการปรับปรุงเปลือกสับปะรด และศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของน้ำเสีย และอุณหภูมิ จากนั้นทำการศึกษาไอโซเทอร์มจลนศาสตร์ และเทอร์โมไดนามิกส์

4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ

4.1.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของเปลือกสับปะรดทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพรวมทั้งก่อนและหลังการดูดซับสีย้อม

นำเปลือกสับปะรดที่ผ่านการคัดแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 35 mesh ไปฉาบผิวด้วยทองคำ จากนั้นทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเปลือกสับปะรดโดยการนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1



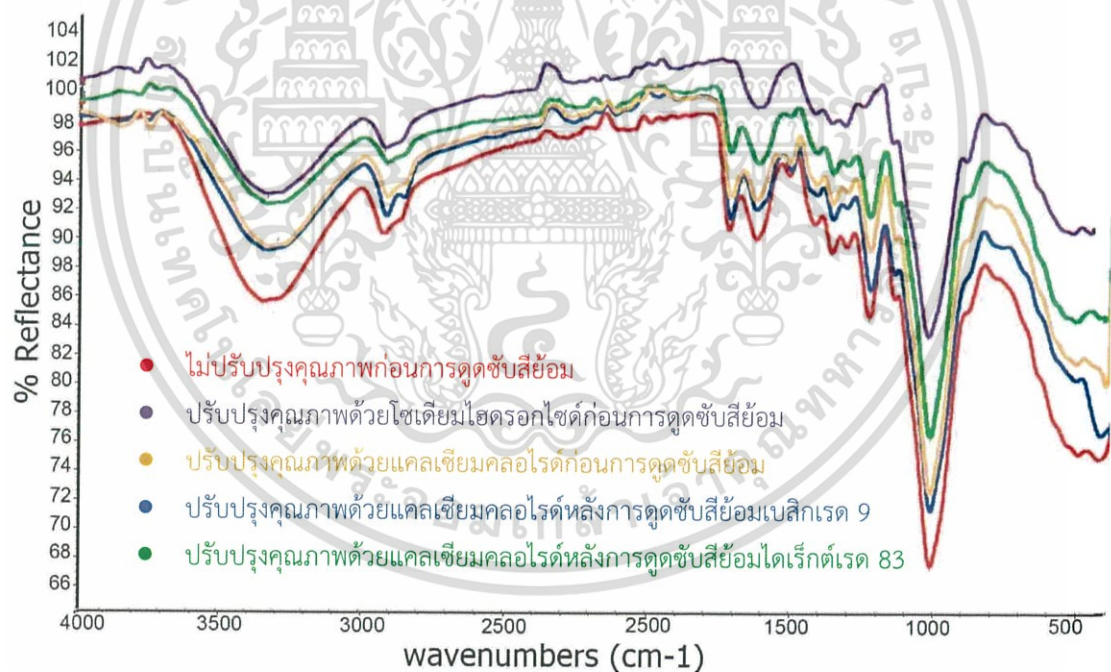
- รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของเปลือกสับปะรด เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) โดยใช้กำลังขยาย 2000X
- (a) เปลือกสับปะรดแบบไม่ปรับปรุงคุณภาพก่อนการดูดซับสีย้อม
 - (b) เปลือกสับปะรดแบบปรับปรุงคุณภาพด้วยไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์ก่อนการดูดซับสีย้อม
 - (c) เปลือกสับปะรดแบบปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์ก่อนการดูดซับสีย้อม
 - (d) เปลือกสับปะรดแบบปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์หลังการดูดซับสีย้อม เบลิกเรต 9
 - (e) เปลือกสับปะรดแบบปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์หลังการดูดซับสีย้อม ไตเร็กซ์เรต 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.1 พบว่าลักษณะพื้นผิวของเปลือกสับปะรดแบบไม่ปรับปรุงคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์นั้นมีโครงสร้างความเป็นรูพรุนมากกว่าลักษณะพื้นผิวของเปลือกสับปะรดแบบปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยลักษณะโครงสร้างของอนุภาคที่มีความเป็นรูพรุนมากกว่าจะมีความสามารถในการดูดซับมากกว่าลักษณะโครงสร้างของอนุภาคที่มีความเป็นรูพรุนน้อยกว่า (Ning-chuan and Xue-yi, 2012) เมื่อนำเปลือกสับปะรดไปดูดซับสีย้อม จะพบว่าลักษณะความเป็นรูพรุนของพื้นผิวเปลือกสับปะรดลดลง เนื่องจากสีย้อมได้เข้าไปแทนที่ปิดความเป็นรูพรุน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเปลือกสับปะรดที่ผ่านการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และเปลือกสับปะรดที่ผ่านการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 จะพบว่าลักษณะความเป็นรูพรุนของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 น้อยกว่าเปลือกสับปะรดที่ผ่านการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 นั้นแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีกว่า

4.1.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารองค์ประกอบในเปลือกสับปะรดทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ รวมทั้งก่อนและหลังการดูดซับสีย้อม

นำเปลือกสับปะรดมาศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของสารองค์ประกอบโดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ผลการทดลองแสดงดังสเปกตรัมในรูปที่ 4.2



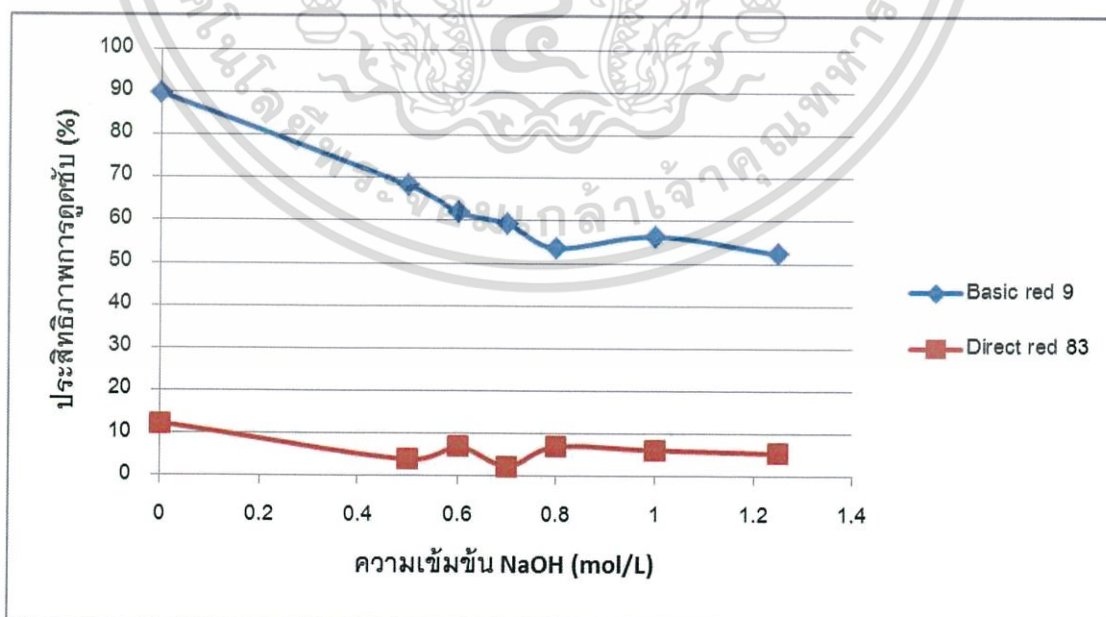
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของเปลือกสับปะรด เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

จากผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.2 เมื่อวิเคราะห์สเปกตรัมของเปลือกสับปรดแบบไม่ปรับปรุงคุณภาพก่อนการดูดซับสีย้อม พบว่าพีคที่ 3331.82 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน Hydroxy (O—H) ที่มีการสั่นของโมเลกุลแบบยืดหด (Stretching vibrations) ในสารประกอบ Cellulose Pectin Hemicellulose และ Lignin (Ning-chuan and Xue-yi, 2012) พีคที่ 2916.61 cm^{-1} แสดงถึงพันธะ C—H ของหมู่ Methyl และ Methylene ที่มีการสั่นของโมเลกุลแบบยืด-หด และแบบงอ (Stretching and bending vibration) ในสารประกอบ Cellulose และ Hemicellulose (Vucurovic et al., 2014) และพีคที่ 1724.77 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน Ester carbonyl (C=O) ในสารประกอบ Pectin (Ning-chuan and Xue-yi, 2012) เมื่อปรับปรุงคุณภาพของเปลือกสับปรดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเกิดการลดลงของหมู่ฟังก์ชัน Ester carbonyl (C=O) ซึ่งสังเกตได้จากการลดลงของความเข้มพีคที่ 1724.77 cm^{-1} และเมื่อปรับปรุงคุณภาพของเปลือกสับปรดด้วยแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าเกิดพีคของหมู่ฟังก์ชัน Carboxaldehyde (—CHO) ที่ 1725.17 cm^{-1}

4.2 การเตรียมตัวกลางในการดูดซับ

4.2.1 การศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับ

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 และน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ไดเรกต์เรด 83 ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L โดยแปรค่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับเป็น 0, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, และ 1.25 mol/L ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไดเรกต์เรด 83 โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3



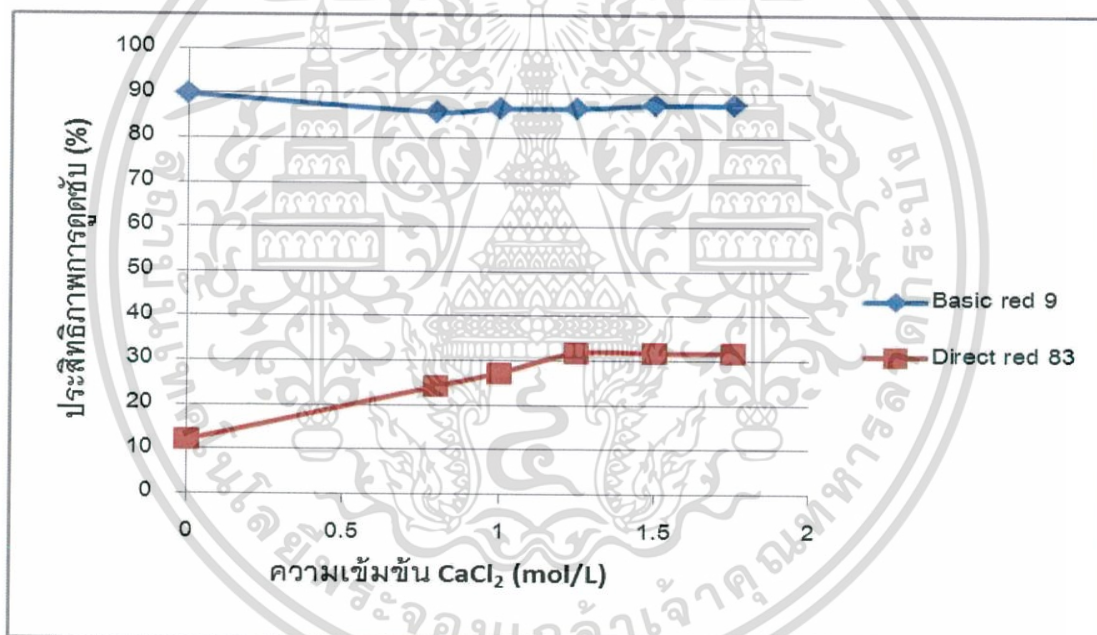
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับ (%) และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อใช้ตัวดูดซับที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะส่งผลให้การดูดซับมีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งในการดูดซับสี้อมเบสิกเรด 9 คือได้ร้อยละ 89.6 และสี้อมไโดเร็กต์เรด 83 คือได้ร้อยละ 12.31 แต่เมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลง ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวดูดซับที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับการทดลองต่อไป

4.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับ

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียสี้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 และน้ำเสียสี้อมสังเคราะห์ไโดเร็กต์เรด 83 ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L โดยแปรค่าความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับเป็น 0, 0.8, 1.0, 1.25, 1.50, และ 1.75 mol/L พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสี้อมเบสิกเรด 9 และสี้อมไโดเร็กต์เรด 83 โดยใช้ค่าความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ต่างๆ ได้ผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.4



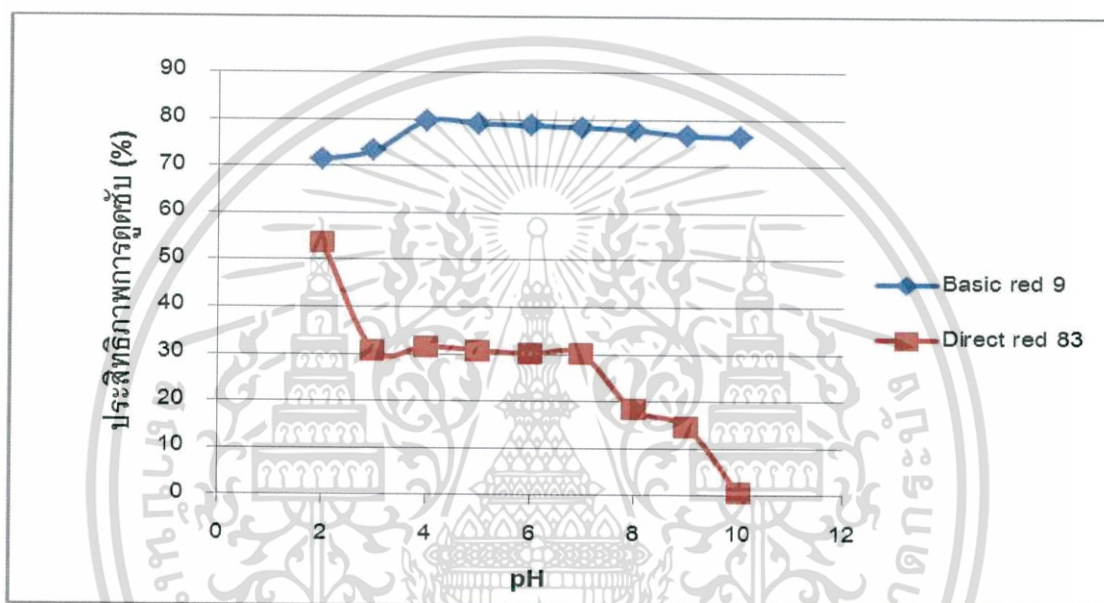
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับ (%) และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อใช้ตัวดูดซับที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์จะส่งผลให้การดูดซับมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการดูดซับสี้อมเบสิกเรด 9 คือได้ร้อยละ 89.73 และจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับที่ 1.25 mol/L ส่งผลให้เกิดการดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการดูดซับสี้อมไโดเร็กต์เรด 83 คือได้ร้อยละ 31.76 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับสี้อมไโดเร็กต์เรด 83 ก็จะเพิ่มขึ้น จากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับเริ่มคงที่เมื่อใช้ความเข้มข้น

1.25 mol/L ขึ้นไป การใช้เปลือกสับประรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์แล้วส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 เพิ่มขึ้น

4.3 การศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อการดูดซับ

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 และน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83 ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L นำมาแปรค่า pH ที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, และ 10 ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 ที่ค่า pH ต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.5



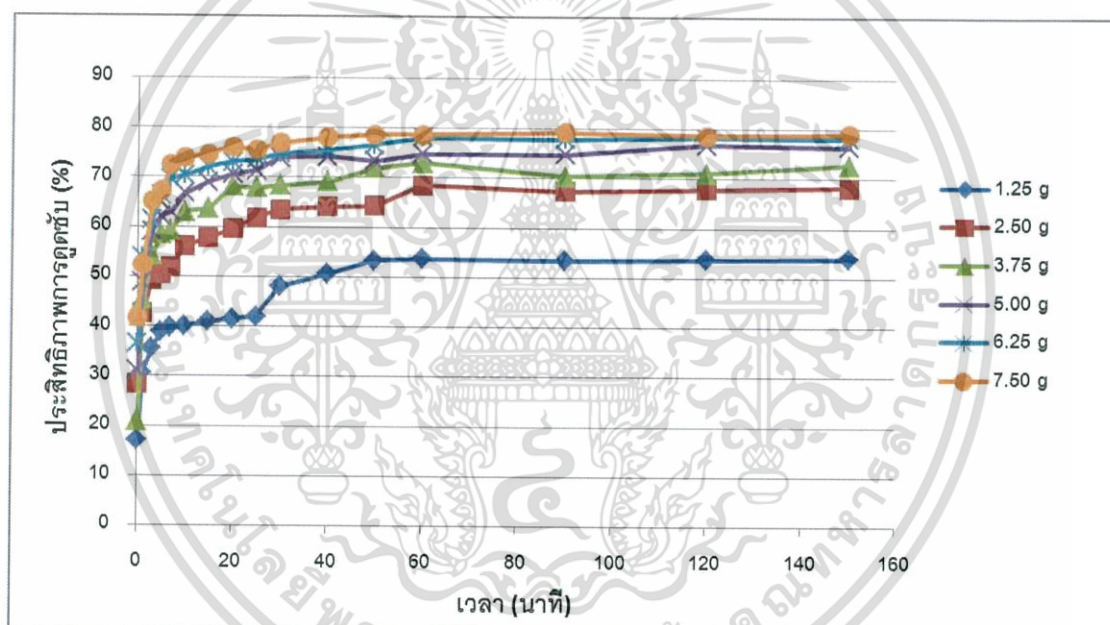
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับ (%) และความเป็นกรดต่างของน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.5 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 เกิดขึ้นได้ดีที่สุดที่ pH 4 ร้อยละ 79.62 โดยประสิทธิภาพการดูดซับที่ pH 4-7 มีความใกล้เคียงกัน และประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 เกิดขึ้นเมื่อ pH ของน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เท่ากับ 2 คือมีค่าร้อยละ 53.66 เนื่องจากไคเร็กซ์เรด 83 เป็นสีที่มีประจุลบ เมื่อน้ำเสียอยู่ในสภาวะเป็นกรดมาก คือมี H^+ มาก ผิวของตัวดูดซับจะเป็นบวก ส่งผลให้ดูดซับสีที่มีประจุลบได้ดี ส่วนประสิทธิภาพในการดูดซับเมื่อน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83 มี pH 3, 4, 5, 6, และ 7 ใกล้เคียงกัน และหลังจาก pH 7 ประสิทธิภาพการดูดซับลดลงอย่างเห็นได้ชัด เพราะในสภาวะเบส ผิวของตัวดูดซับจะมีประจุลบ ส่งผลให้เกิดการผลักสีที่มีประจุลบออก ดังนั้นจึงเลือก pH 7 เป็นสภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากเป็น pH ที่ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเกิดขึ้นได้ดีทั้งของสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83

4.4 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับ

4.4.1 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9

ผลการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 ความเข้มข้น 100 mg/L ปริมาณ 500 mL ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรผันปริมาณตัวดูดซับเป็น 1.25, 2.50, 3.75, 5.00, 6.25, และ 7.50 g ดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่าสมดุลการดูดซับเกิดขึ้นที่เวลา 60 นาที โดยมีร้อยละการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 เท่ากับ 53.73, 68.47, 72.98, 74.80, 78.07, และ 78.69 ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์มีผลทำให้ร้อยละการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีมากขึ้นและบริเวณที่เกิดการดูดซับมีสูงขึ้น โดยพื้นที่ผิวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์ จึงมีผลทำให้ร้อยละการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 เพิ่มสูงขึ้น (โกวิทย์ และ รวิินทร์, 2554) จากผลการทดลองนี้จึงเลือกใช้ปริมาณของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์ 7.50 g สำหรับทำการทดลองต่อไป



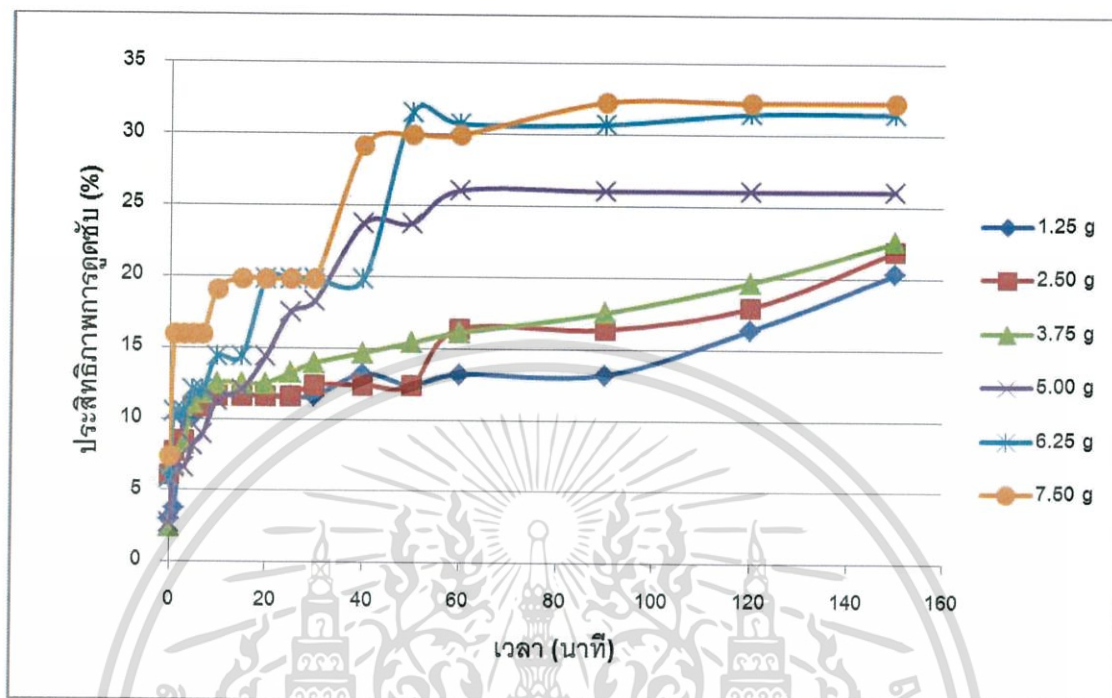
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 (%) และปริมาณตัวดูดซับที่เวลาต่างๆ

4.4.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83

ผลการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 ความเข้มข้น 100 mg/L ปริมาณ 500 mL ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรผันปริมาณตัวดูดซับเป็น 1.25, 2.50, 3.75, 5.00, 6.25, และ 7.50 g ดังแสดงในรูปที่ 4.7 เมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1.25, 2.50, และ 3.75 g พบว่ากราฟไม่คงที่ภายในเวลา 150 นาที จึงไม่สามารถหาสมดุลการดูดซับได้ อาจต้องใช้เวลามากขึ้นกว่าที่ทำการทดลอง และเมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับ 5.00, 6.25, และ 7.50 g สมดุลการดูดซับเกิดขึ้นที่เวลา 90 นาที โดยมีร้อยละการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 เท่ากับ 26.05, 30.72, และ 32.28 ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์มีผลทำให้ร้อยละการดูดซับสีย้อม ไคเร็กซ์เรด 83 เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับที่อธิบายไว้แล้วด้านบน จากผลการทดลองนี้จึงเลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใบแจ้งประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์ 7.50 g สำหรับทำการทดลองต่อไป

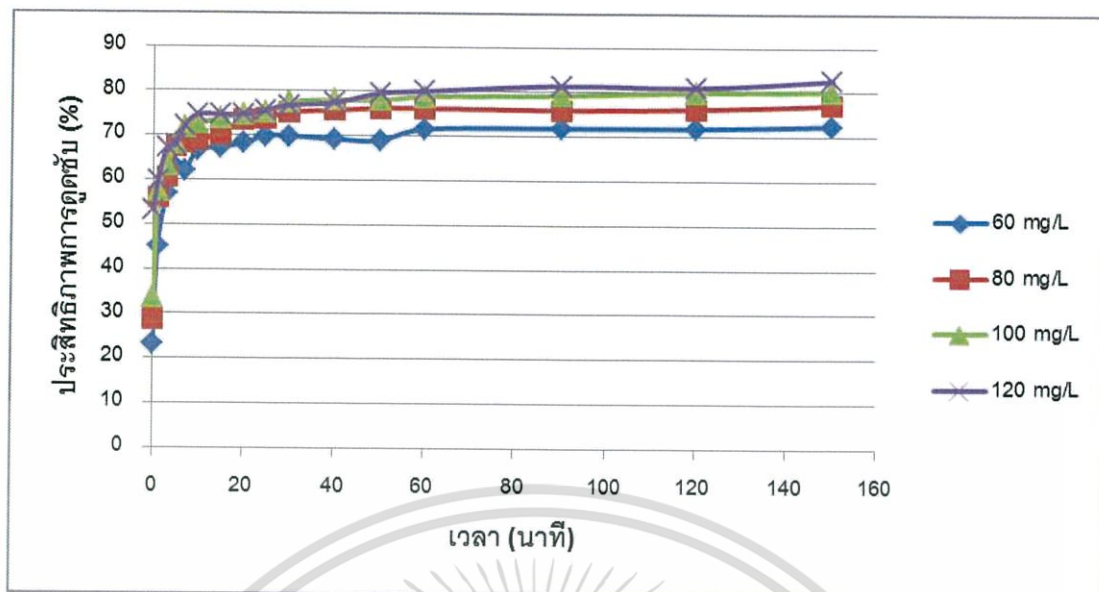


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 (%) และปริมาณตัวดูดซับที่เวลาต่างๆ

4.5 การศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับ

4.5.1 การศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9

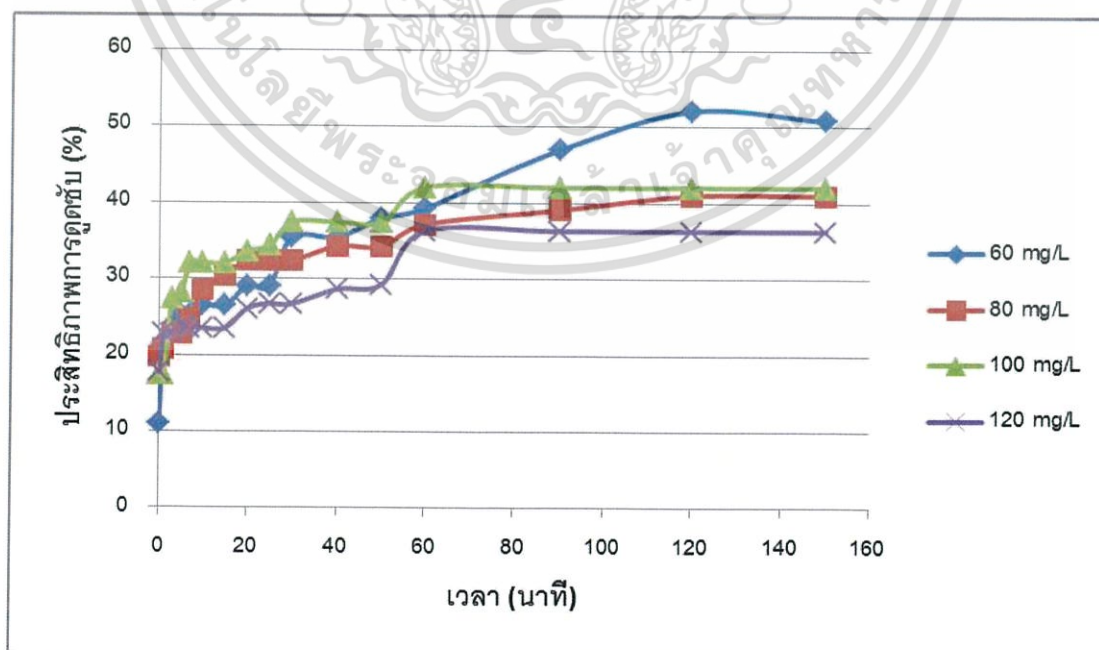
ผลการใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 7.50 g ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง แปรผันความเข้มข้นของสีย้อมเบสิกเรด 9 ที่ 60, 80, 100, และ 120 mg/L ปริมาณ 500 mL ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อเริ่มใส่ตัวดูดซับลงไป จะเกิดการดูดซับในทันที ดังจะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 จะได้อ้อยละ 23.32, 28.72, 33.54, และ 52.97 ตามลำดับ สมดุลการดูดซับเกิดขึ้นที่เวลา 60 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 ร้อยละ 71.49, 76.16, 78.76, และ 80.00 ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมเบสิกเรด 9 มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมเบสิกเรด 9 เป็นผลทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสีย้อมเบสิกเรด 9 ในสารละลายกับบริเวณผิวของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้น เกิดแรงขับเคลื่อน (Driving Force) ที่เพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 ของเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์จึงสูงขึ้น (โกวิทย์ และ รวิรินทร์, 2554)



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 (%) และความเข้มข้นของน้ำเสียที่เวลาต่างๆ

4.5.2 การศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83

ผลการใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 7.50 g ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง แปรผันความเข้มข้นของสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 ที่ 60, 80, 100, และ 120 mg/L ปริมาณ 500 mL ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อเริ่มใส่ตัวดูดซับลงไป จะเกิดการดูดซับในทันที ดังจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 จะได้อัตรา 11.03, 19.81, 17.38, และ 17.69 ตามลำดับ และสมดุลการดูดซับเกิดขึ้นที่เวลา 90 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 ได้อัตรา 46.92, 39.04, 42.00, และ 36.28 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 (%) และความเข้มข้นของน้ำเสียที่เวลาต่างๆ

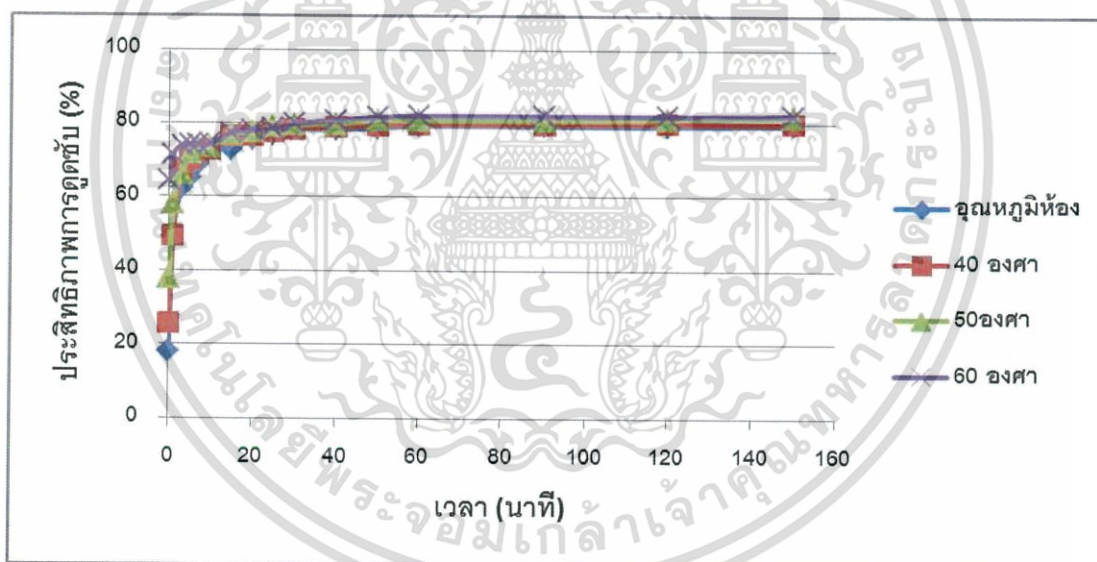
เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ

4.6.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9

ผลการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 ความเข้มข้น 100 mg/L ปริมาณ 500 mL ใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 7.50 g แปรผันอุณหภูมิในการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าในช่วง 5 นาทีแรกความสามารถในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 ร้อยละ 65.18, 70.05, 71.80, และ 74.05 ตามลำดับ หลังจากนั้นความสามารถในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 เกิดขึ้นช้าลง และเกิดสมดุลการดูดซับในเวลาประมาณ 60 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 ร้อยละ 79.28, 79.64, 80.77, และ 82.03 ตามลำดับ

การดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 เกิดขึ้นได้น้อยที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากพลังงานจลน์ของสีย้อมเบสิกเรด 9 มีปริมาณน้อย ดังนั้นจึงมีโอกาสน้อยมากและอาจจะต้องใช้เวลาอันยาวนานสำหรับสีย้อมเบสิกเรด 9 ที่จะดูดซับบนเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์ ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิ มีผลทำให้มีการเคลื่อนที่ได้มากขึ้นของสีย้อมเบสิกเรด 9 พลังงานจลน์ของสีย้อมเบสิกเรด 9 มีค่าสูงกว่าพลังงานศักย์ ดังนั้นจึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์กับสีย้อมเบสิกเรด 9 (โกวิทย์ และ รวินทร์, 2554)



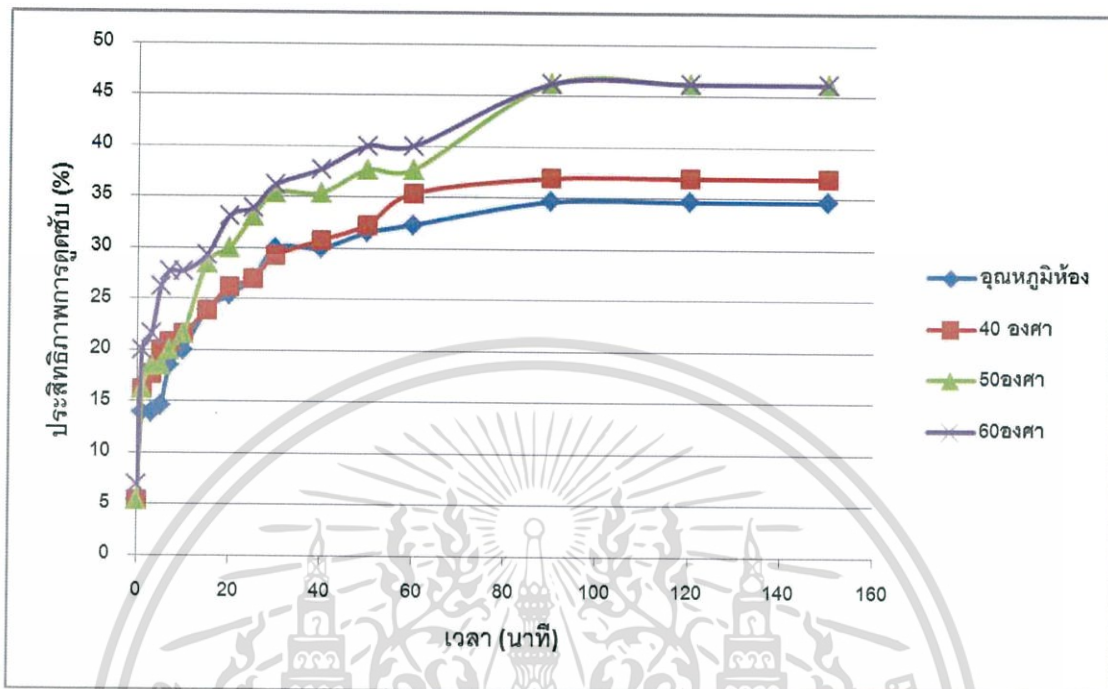
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 (%) และอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ

4.6.2 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83

ผลการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 ความเข้มข้น 100 mg/L ปริมาณ 500 mL ใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 7.50 g แปรผันอุณหภูมิในการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง, 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าในช่วงเวลาที่ 1 นาทีแรกความสามารถในการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 ร้อยละ 13.85, 16.15, 16.15, และ 20.00 ตามลำดับ และเกิดสมดุลการดูดซับในเวลาประมาณ 90 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 ร้อยละ 34.62, 36.92, 46.15, และ 46.15 ตามลำดับ

งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 เกิดขึ้นได้น้อยที่อุณหภูมิต่ำ และเกิดขึ้นได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับที่อธิบายไว้แล้วด้านบน



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 (%) และอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ

4.7 ค่าหน่วยสีมาตรฐาน ADMI

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า ADMI ของสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 ทั้งก่อนบำบัดและหลังบำบัด

	ADMI			การดูดซับ (%)
	ก่อน	หลัง	ความเข้มข้นสุดท้าย	
Basic red 9	32,943.925	7,925.235	24.06	75.94
Direct red 83	11,919.48	11,450.095	96.06	3.94

จากตารางที่ 4.1 ค่าหน่วยสี ADMI ของสีย้อมเบสิกเรด 9 มีค่าเท่ากับ 32,943.925 และหลังบำบัด มีค่าเท่ากับ 7,925.235 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 75.94 และสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 ก่อนการบำบัด 11,919.48 และหลังบำบัด มีค่าเท่ากับ 11,450.095 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 3.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับ ที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นสมการที่มีประโยชน์สำหรับวิเคราะห์การดูดซับ

4.8.1 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Langmuir

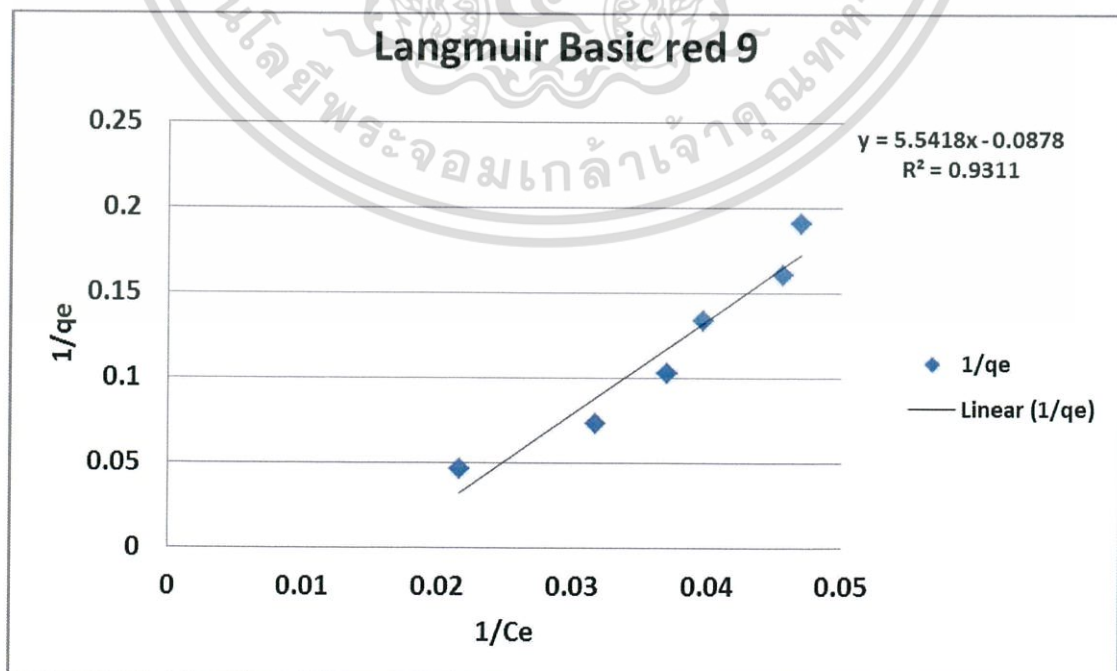
สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir) มีสมมติฐานที่ว่าโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกิดการดูดซับบนผิวในตำแหน่งที่แน่นอนของตัวดูดซับ แต่ละโมเลกุลของตัวดูดซับเกิดการดูดซับบนผิวแบบชั้นเดียวแต่ละพื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะแบบเดียวกัน สมการเส้นตรงของแลงเมียร์เขียนได้ดังนี้

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m C_e}$$

สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ ยังอาจแสดงได้ด้วยปัจจัยของการแยกหรือค่าตัวแปรที่สถานะสมดุล (Equilibrium parameter, R_L) ดังสมการ

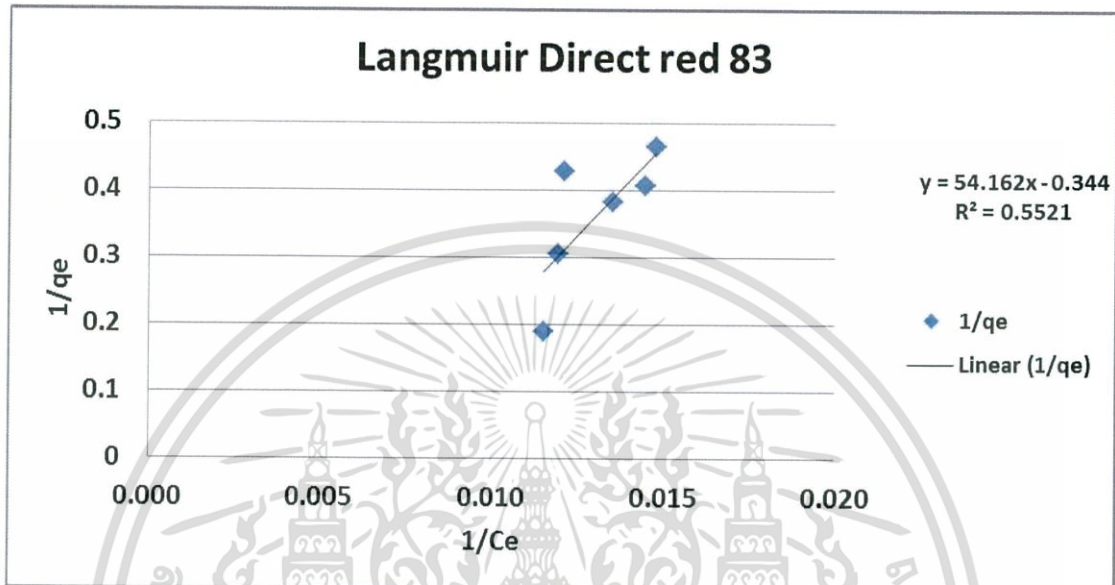
$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L C_0)}$$

ค่า R_L จะเป็นตัวบอกรูปร่างของไอโซเทอร์มว่าสอดคล้องกับการดูดซับหรือไม่ ถ้า $R_L > 1$ การดูดซับไม่ดี (Unfavorable), $R_L = 1$ การดูดซับเป็นเส้นตรง (Linear), $0 < R_L < 1$ การดูดซับดี (Favorable), และ $R_L = 0$ การดูดซับเกิดผันกลับได้ (Irreversible)



เอกสารรูปที่ 4.12 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Langmuir ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 กราฟระหว่าง $\frac{1}{q_e}$ กับ $\frac{1}{C_e}$ ค่าคงที่ของแลงเมียร์ (K_L) และ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับมากที่สุด (q_m) สามารถหาได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน (Intercept) ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า K_L เท่ากับ 0.0158 L/mg และ q_m เท่ากับ 11.3895 mg/g โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9311 และสามารถคำนวณหาค่า R_L ได้เท่ากับ 0.3876



รูปที่ 4.13 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 แบบ Langmuir

จากรูปที่ 4.13 กราฟระหว่าง $\frac{1}{q_e}$ กับ $\frac{1}{C_e}$ ค่าคงที่ของแลงเมียร์ (K_L) และ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับมากที่สุด (q_m) สามารถหาได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน (Intercept) ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า K_L เท่ากับ 6.3515×10^{-3} L/mg และ q_m เท่ากับ 2.907 mg/g โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.5521 และสามารถคำนวณหาค่า R_L ได้เท่ากับ 0.6116

4.8.2 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Freundlich

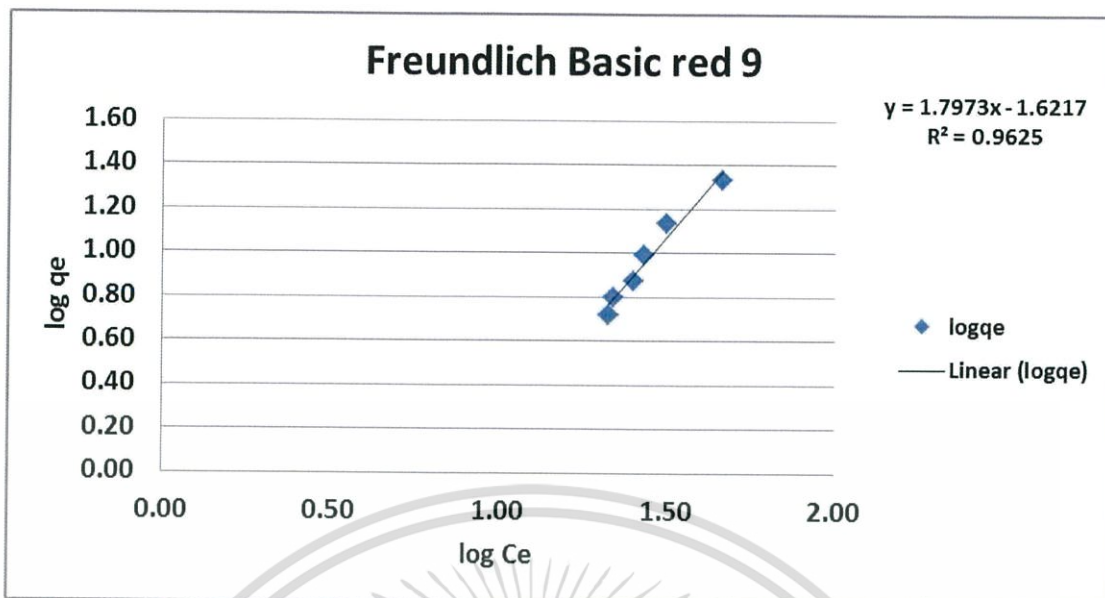
สมการของฟรอนด์ลิชมีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด โดยการดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer) สมการที่ได้จากการสังเกตและทดลองการดูดซับโดยอาศัยสมมติฐานของทฤษฎีนี้ เป็นแนวความคิดของแบบจำลองแบบหลายชั้น สามารถเขียนสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

เมื่อ K_f คือ ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (mg/g)

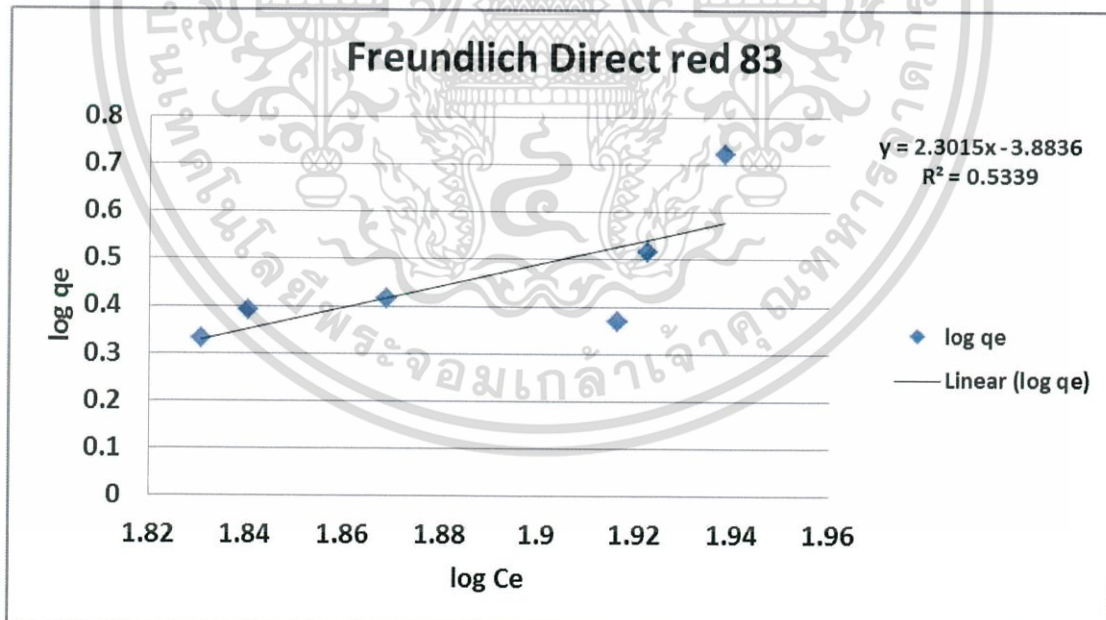
n คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Freundlich

จากรูปที่ 4.14 กราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ อธิบายถึงไอโซเทอร์มของการดูดซับ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log K_f$ จากผลพบว่าค่า K_f เท่ากับ 0.0239 L/g ค่า $1/n$ เท่ากับ 1.7973 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 อธิบายถึงบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับโดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9625



รูปที่ 4.15 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 แบบ Freundlich

จากรูปที่ 4.15 กราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ อธิบายถึงไอโซเทอร์มของการดูดซับ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log K_f$ จากผลพบว่าค่า K_f เท่ากับ 0.0239 L/g ค่า $1/n$ เท่ากับ 1.7973 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 อธิบายถึงบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับโดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.5339

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.3 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Temkin

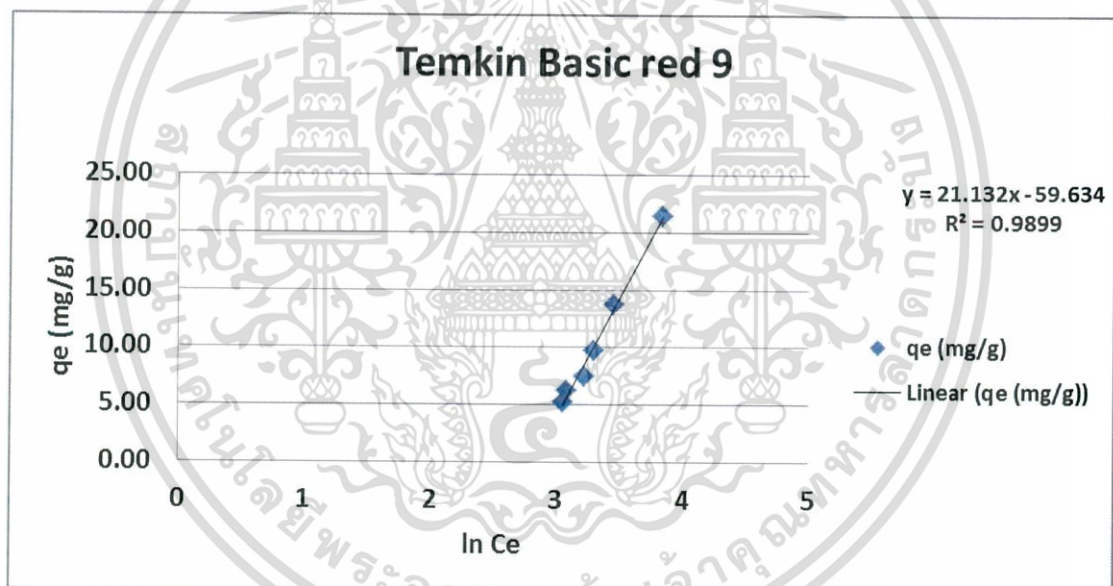
ไอโซเทอร์มการดูดซับของ Temkin จะแตกต่างจากของแลงเมียร์และฟรุนดลิช ซึ่งไอโซเทอร์มการดูดซับของ Temkin สามารถนำไปใช้ได้กับการดูดซับทางเคมี เนื่องจากสมการจะพิจารณาถึงพลังงานกระตุ้นของตัวดูดซับ ไอโซเทอร์มนี้มีสมมติฐานว่าพลังงานการดูดซับจะลดลงเป็นเส้นตรงเมื่อปริมาณผิวหน้าของตัววัสดุดูดซับถูกปกคลุมด้วยถูกดูดซับ (Adsorbent-Adsorbate Interactions) สมการเส้นตรงของ Temkin เขียนได้ดังนี้

$$Q_e = B \ln A + B \ln C_e$$

$$B = \frac{RT}{b_0}$$

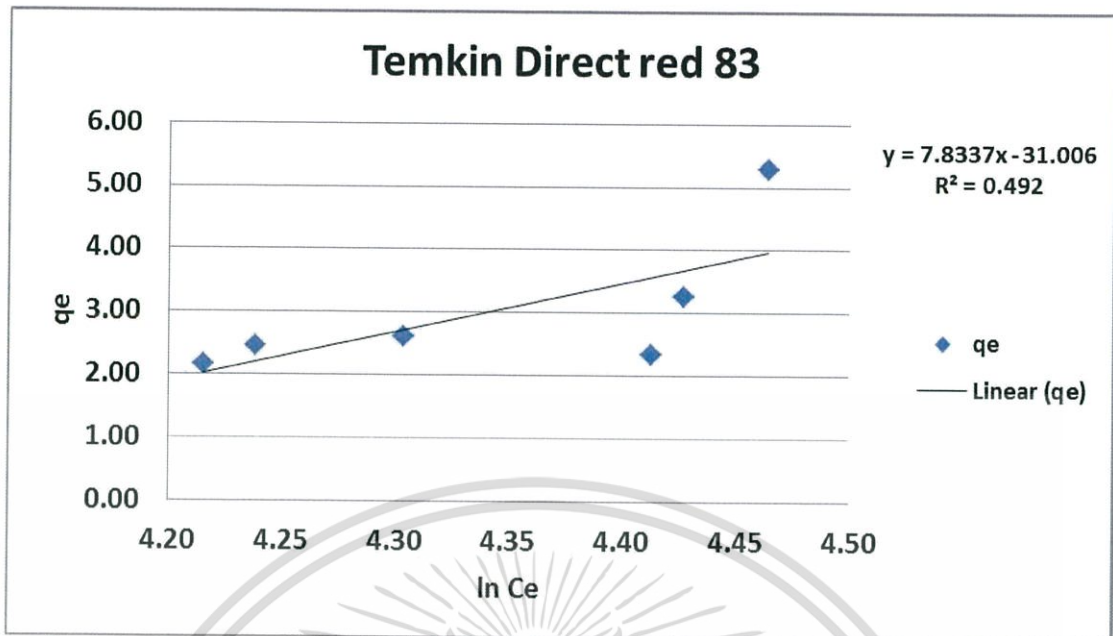
เมื่อ B คือ ค่าคงที่ของ Temkin ซึ่งสัมพันธ์กับความร้อนของการดูดซับ (J/mol)

A คือ ค่าคงที่สมดุลของการยึดเกาะ (L/g)



รูปที่ 4.16 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเบสิกรีด 9 แบบ Temkin

จากรูปที่ 4.16 กราฟระหว่าง q_e กับ $\ln C_e$ ค่าคงที่ A หาได้จากจุดตัดแกน มีค่าเท่ากับ 0.0595 L/g และค่าคงที่ B หาได้จากความชันของกราฟ มีค่าเท่ากับ 21.132 J/mol โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9899



รูปที่ 4.17 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 แบบ Temkin

จากรูปที่ 4.17 กราฟระหว่าง q_e กับ $\ln C_e$ ค่าคงที่ A หาได้จากจุดตัดแกน มีค่าเท่ากับ 0.0191 L/g และค่าคงที่ B หาได้จากความชันของกราฟ มีค่าเท่ากับ 7.8337 J/mol โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.492

4.8.4 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Dubinin-Radushkevich (D-R)

Dubinin-Radushkevich ได้เสนอไอโซเทอร์มการดูดซับเพื่อประเมินกลไกการดูดซับของตัวดูดซับเป็นการดูดซับทางเคมีหรือทางกายภาพ สมการเส้นตรงของ Dubinin-Radushkevich เขียนได้ดังนี้

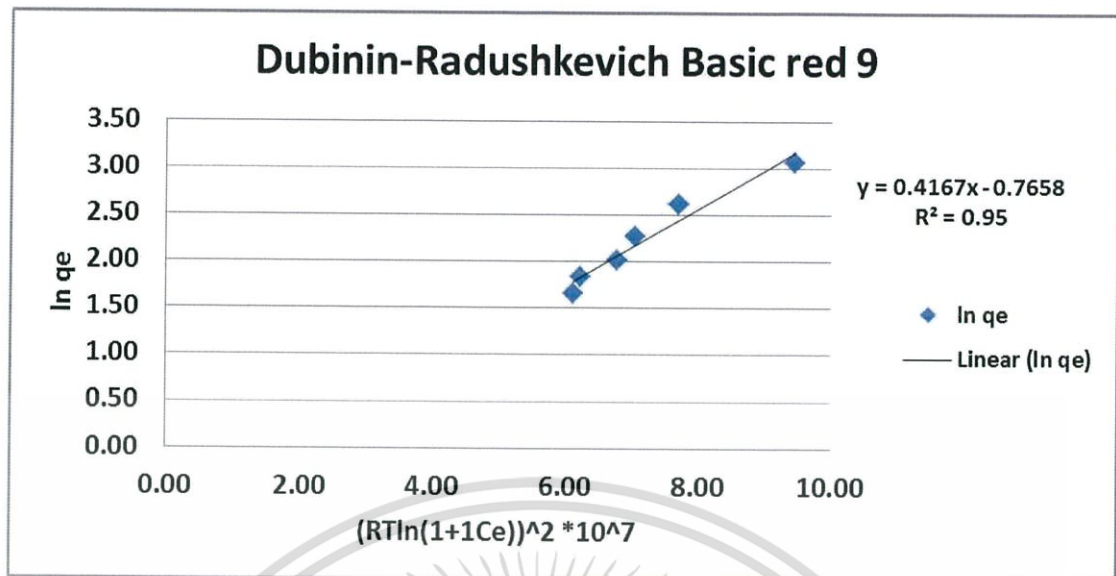
$$\ln q_e = \ln q_D - K_{DR} [RT \ln(1 + 1/C_e)]^2$$

ค่า K_{DR} จากสมการ Dubinin-Radushkevich เกี่ยวข้องกับพลังงานดูดซับอิสระ (E) ของการดูดซับต่อโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ เมื่อเกิดการเคลื่อนที่จากสารละลายสู่พื้นผิวของตัวดูดซับซึ่งพลังงานดูดซับอิสระหาได้จากสมการ

$$E = 1/\sqrt{2K_{DR}}$$

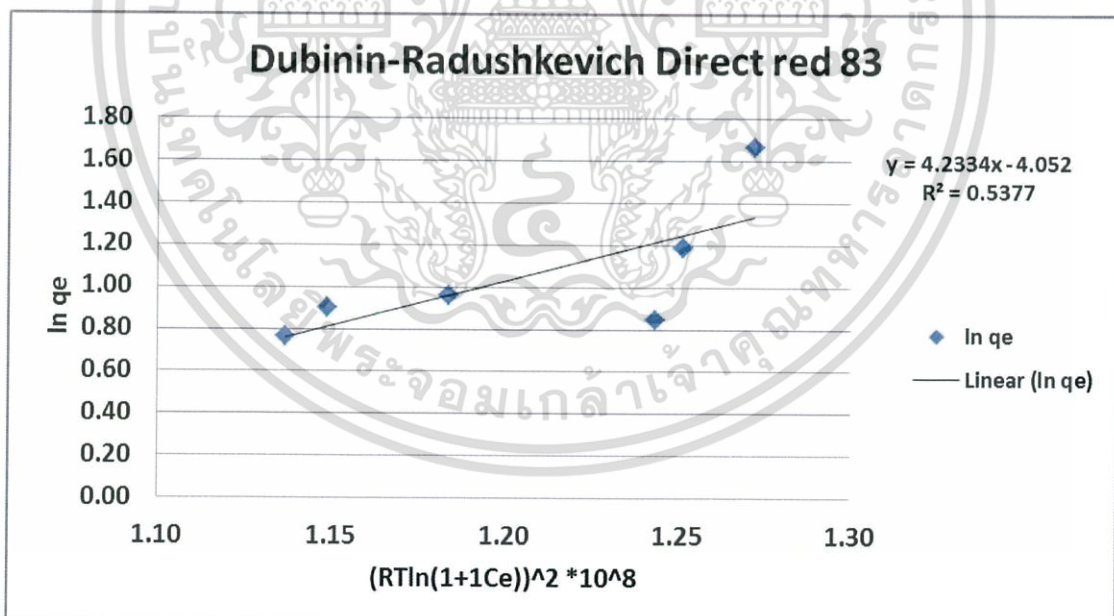
จากสมมติฐานเกี่ยวกับค่าพลังงานอิสระ ถ้าน้อยกว่า 8 kJ/mol กลไกการดูดซับจะเป็นแบบกายภาพ แต่ถ้าอยู่ในช่วง 8 ถึง 16 กลไกการดูดซับจะเป็นแบบเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเบสิกรีต 9 แบบ Dubinin-Radushkevich (D-R)

จากรูปที่ 4.18 กราฟระหว่าง $\ln q_e$ กับ $[RT \ln(1+1C_e)]^2$ สามารถหาค่า K_{DR} และ q_D ได้จาก ความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า K_{DR} เท่ากับ 4×10^{-8} ค่า q_D เท่ากับ 0.4649 mg/g โดยมีความ เป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.95 และสามารถคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับอิสระ (E) เท่ากับ 3.5353 kJ/mol กลไกการดูดซับจะเป็นแบบกายภาพ



รูปที่ 4.19 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมไดเรกต์เรด 83 แบบ Dubinin-Radushkevich (D-R)

จากรูปที่ 4.19 กราฟระหว่าง $\ln q_e$ กับ $[RT \ln(1+1C_e)]^2$ สามารถหาค่า K_{DR} และ q_D ได้ จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า K_{DR} เท่ากับ 4×10^{-8} ค่า q_D เท่ากับ 0.0174 mg/g โดยมีความ เป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.5377 และสามารถคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับอิสระ (E) เท่ากับ 3.5353 kJ/mol กลไกการดูดซับจะเป็นแบบกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไดเร็กต์เรด 83

Isotherms	Room Temperatures (°C)	
	Basic red 9	Direct red 83
Langmuir Isotherm		
q_{\max} (mg/g)	11.3895	2.907
K_L (L/mg)	0.0158	6.3515×10^{-3}
R_L	0.3876	0.6116
R^2	0.9311	0.5521
Freundlich Isotherm		
K_F (L/g)	0.0239	1.3073×10^{-4}
$1/n$	1.7973	2.3015
R^2	0.9625	0.5339
Temkin Isotherm		
$B = RT/b_0$	21.132	7.8337
b_0 (kJ/mol)	0.1193	0.3217
A (L/g)	0.0595	0.0191
R^2	0.9899	0.492
Dubinin-Radushkevich Isotherm		
q_0 (mg/g)	0.4649	0.0174
E (kJ/mol)	1.0954	0.3437
R^2	0.95	0.5377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 แสดงในตารางที่ 4.2 ความถูกต้องของไอโซเทอร์มจากการดูดซับพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่มีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองแลงเมียร์กับแบบจำลองฟรุนดลิชของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 พบว่าแบบจำลองของฟรุนดลิช มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9625 ซึ่งมากกว่าของแบบจำลองแลงเมียร์ที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9311 การดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 จึงสอดคล้องกับแบบจำลองฟรุนดลิช กล่าวได้ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น มีค่าคงที่ของสมการฟรุนดลิช (K_f) เท่ากับ 0.0239 L/g ค่า $1/n$ อธิบายถึงไอโซเทอร์มของการดูดซับมีค่าเท่ากับ 1.7973 พบว่า $1/n$ มากกว่า 1 แสดงว่าบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองแลงเมียร์กับแบบจำลองฟรุนดลิชของการดูดซับสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 พบว่าแบบจำลองของแลงเมียร์มีค่า R^2 เท่ากับ 0.5521 ซึ่งมากกว่าของแบบจำลองฟรุนดลิชที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.5339 การดูดซับสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 สอดคล้องกับแบบจำลองแลงเมียร์ กล่าวได้ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับจะเกิดการดูดซับบนผิวในตำแหน่งที่แน่นของตัวดูดซับ พื้นผิวของตัวดูดซับเกิดการดูดซับบนผิวแบบชั้นเดียว มีค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์ (K_L) เท่ากับ 6.3515×10^{-3} L/mg ค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุด (q_{max}) เท่ากับ 2.907 mg/g มีค่าปัจจัยของการแยก (R_L) เท่ากับ 0.6116 ค่า $0 < R_L < 1$ แสดงว่าเป็นการดูดซับดี

การศึกษาไอโซเทอร์ม Temkin ของสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 จากตารางที่ 4.2 ค่า R^2 ของสีย้อมเบสิกเรด 9 มีค่าใกล้เคียง 1 มาก จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการอธิบายเพิ่มเติมของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 มากกว่าสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ไอโซเทอร์มนี้มีสมมติฐานว่าพลังงานการดูดซับจะลดลงเป็นเส้นตรงเมื่อปริมาณผิวหน้าของตัวดูดซับถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับ ส่วนไอโซเทอร์ม Dubinin-Radushkevich ของสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 จากการคำนวณหาค่าพลังงานอิสระ (E) มีค่าเท่ากับ 1.0954 และ 0.3437 kJ/mol ค่าพลังงานอิสระน้อยกว่า 8 kJ/mol อธิบายเพิ่มเติมได้ว่ากลไกการดูดซับสีย้อมทั้งสองสีนี้จะเป็นแบบกายภาพ

4.9 การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับ

เพื่อทราบถึงกลไกการดูดซับซึ่งเป็นการถ่ายโอนมวลสารระหว่างสารถูกดูดซับและวัสดุดูดซับแบบจำลองที่นิยมใช้ในการอธิบายกลไกการดูดซับที่เกิดขึ้นมี 2 แบบ คือ Pseudo-first order และ Pseudo-second order โดยแบบจำลองทั้ง 2 แบบ ตั้งบนสมมติฐานว่ากระบวนการดูดซับและการคายปฏิกิริยาเคมีเทียม (Pseudo chemical reaction) และอัตราการดูดซับขึ้นกับตำแหน่งในการเกิดปฏิกิริยาของวัสดุดูดซับที่ยังไม่ถูกครอบครอง

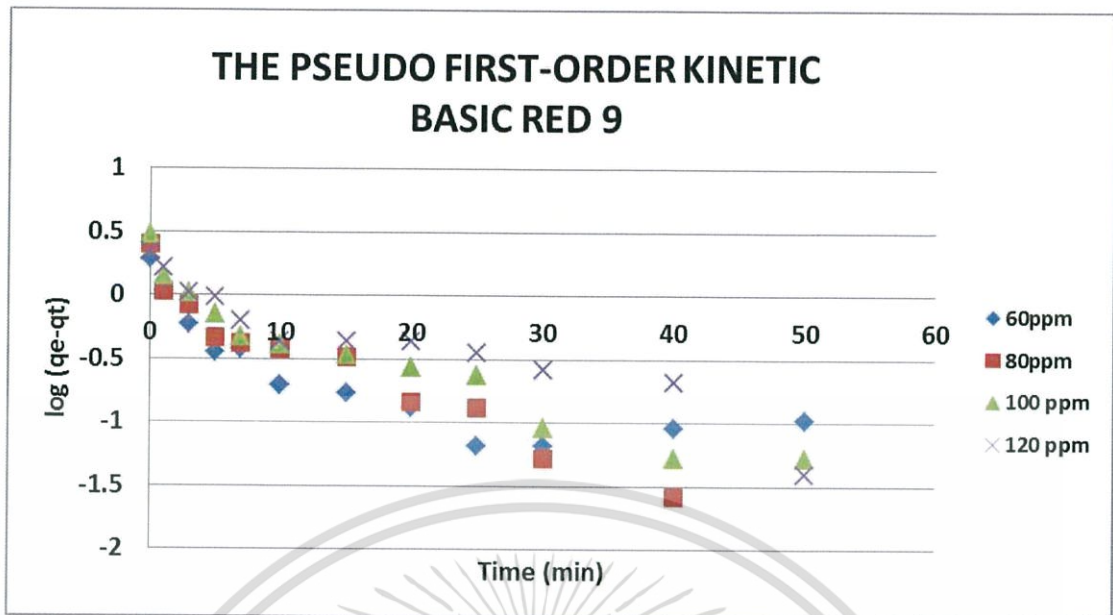
4.9.1 การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับแบบ Pseudo first-order

สมการเส้นตรงของแบบจำลอง Pseudo-first order เขียนได้ดังนี้

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303}$$

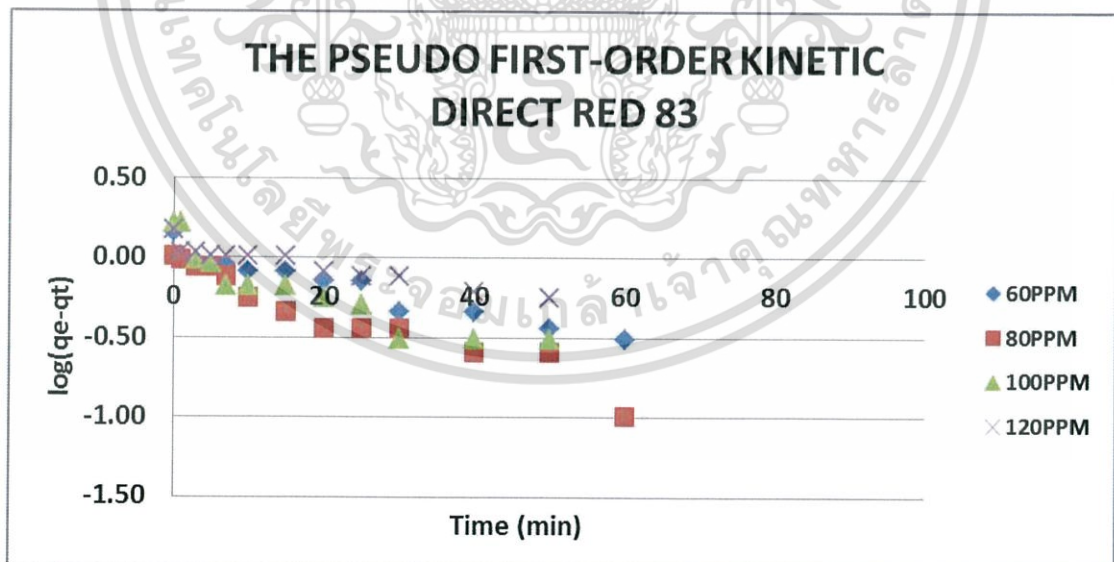
เมื่อ k_1 หมายถึงค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (1/min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Pseudo first-order

จากรูปที่ 4.20 กราฟระหว่าง $\log(q_e - q_t)$ กับ t ที่ความเข้มข้น 60, 80, 100, และ 120 mg/L สามารถหาค่า k_1 และ q_e ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า k_1 เท่ากับ 0.0544, 0.0986, 0.0739, และ 0.0615 (1/min) ค่า q_e (Cal) เท่ากับ 0.5992, 1.1882, 1.2459, และ 1.3709 mg/g โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.6471, 0.9383, 0.9000, และ 0.8883 ตามลำดับ

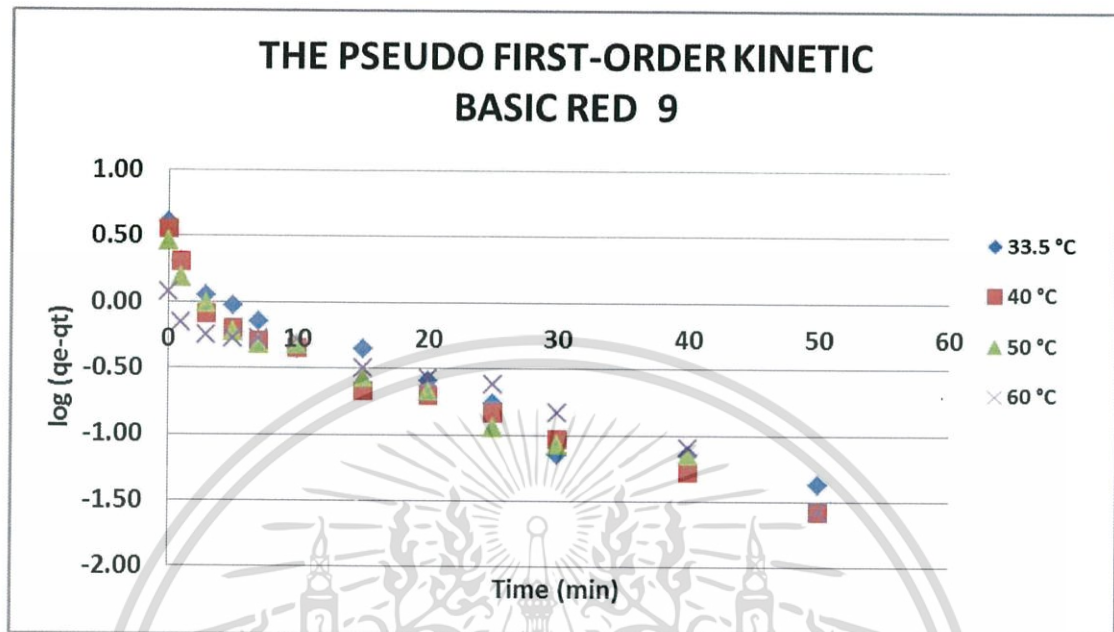


รูปที่ 4.21 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 แบบ Pseudo first-order

จากรูปที่ 4.21 กราฟระหว่าง $\log(q_e - q_t)$ กับ t ที่ความเข้มข้น 60, 80, 100, และ 120 mg/L สามารถหาค่า k_1 และ q_e ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า k_1 เท่ากับ 0.0219, 0.0332, 0.0327, และ 0.0159 (1/min) ค่า q_e (Cal) เท่ากับ 1.0819, 0.9175, 1.146, และ

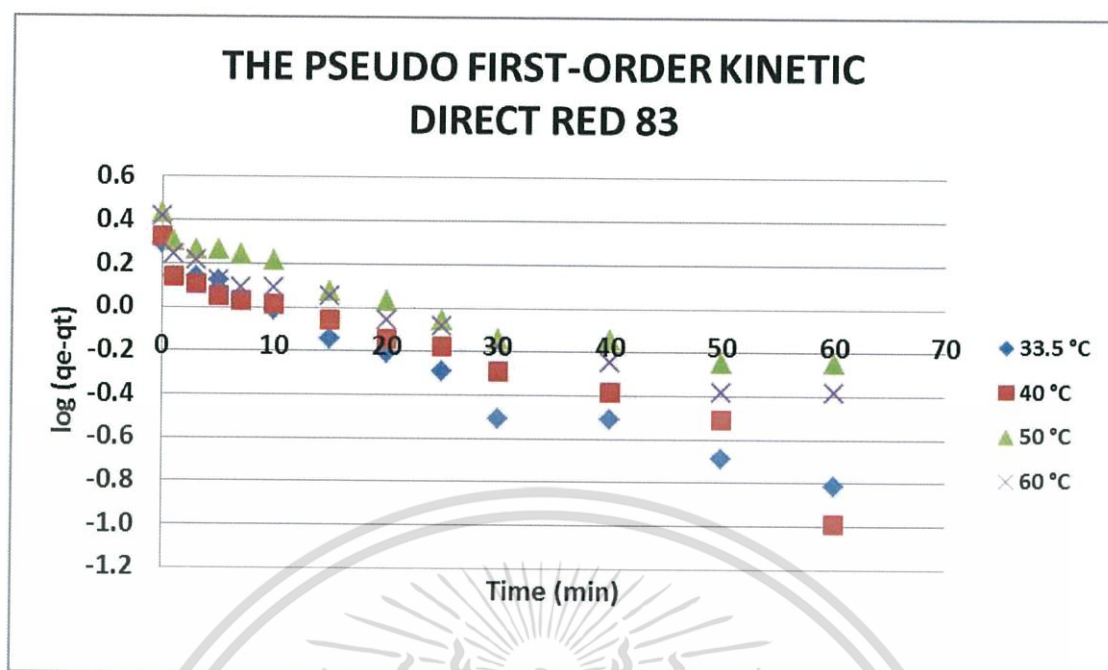
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1929 mg/g โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9267, 0.9301, 0.8262, และ 0.8974 ตามลำดับ



รูปที่ 4.22 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกรีด 9 แบบ Pseudo first-order

จากรูปที่ 4.22 กราฟระหว่าง $\log(q_e - q_t)$ กับ t ที่อุณหภูมิ 33.5, 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส สามารถหาค่า k_1 และ q_e ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า k_1 เท่ากับ 0.0831, 0.0845, 0.0859, และ 0.0636 (1/min) ค่า q_e (Cal) เท่ากับ 1.6118, 1.3125, 1.2871, และ 0.8784 mg/g โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9082, 0.9081, 0.8983, และ 0.9622 ตามลำดับ



รูปที่ 4.23 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 แบบ Pseudo first-order

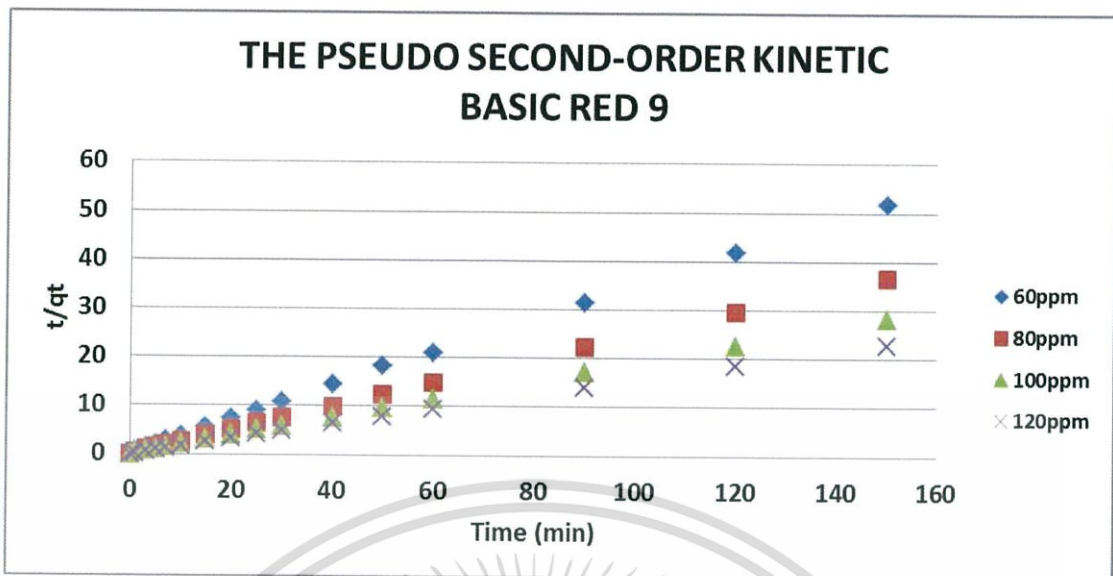
จากรูปที่ 4.23 กราฟระหว่าง $\log(q_e - q_t)$ กับ t ที่อุณหภูมิ 33.5, 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส สามารถหาค่า k_1 และ q_e ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า k_1 เท่ากับ 0.0408, 0.0389, 0.0256, และ 0.0276 (1/min) ค่า q_e (Cal) เท่ากับ 1.4900, 1.5860, 2.0100, และ 1.7239 mg/g โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9658, 0.9396, 0.9068, และ 0.9206 ตามลำดับ

4.9.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแบบ Pseudo second-order

สมการเส้นตรงของแบบจำลอง Pseudo second - order สามารถเขียนได้ดังนี้

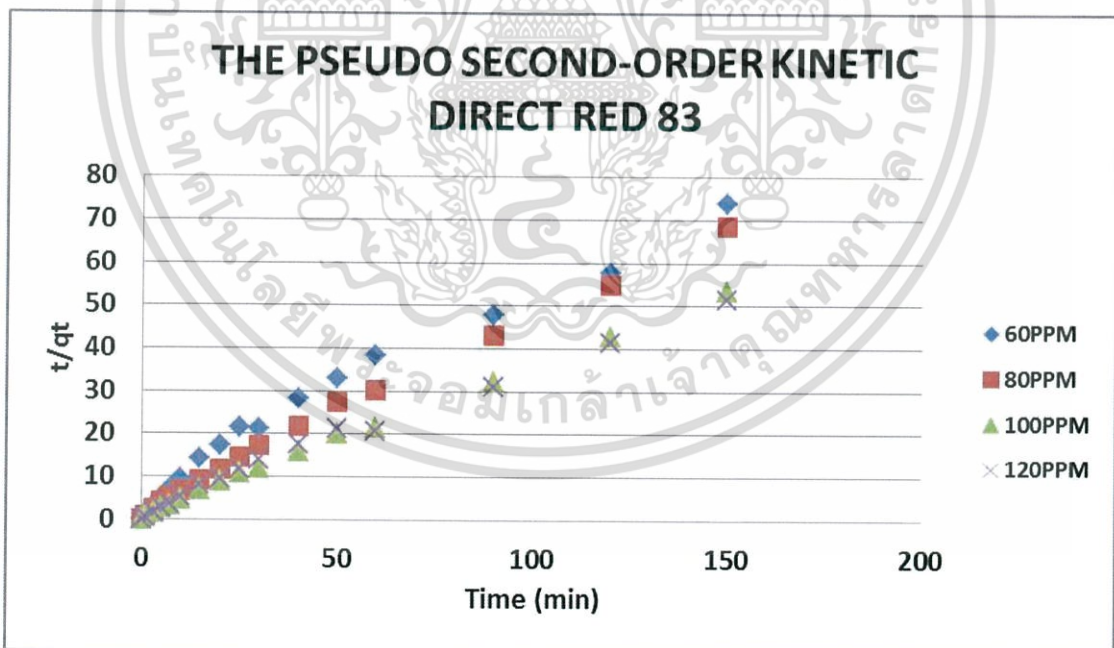
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

k_2 หมายถึง ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่สอง (g/(mg.min))



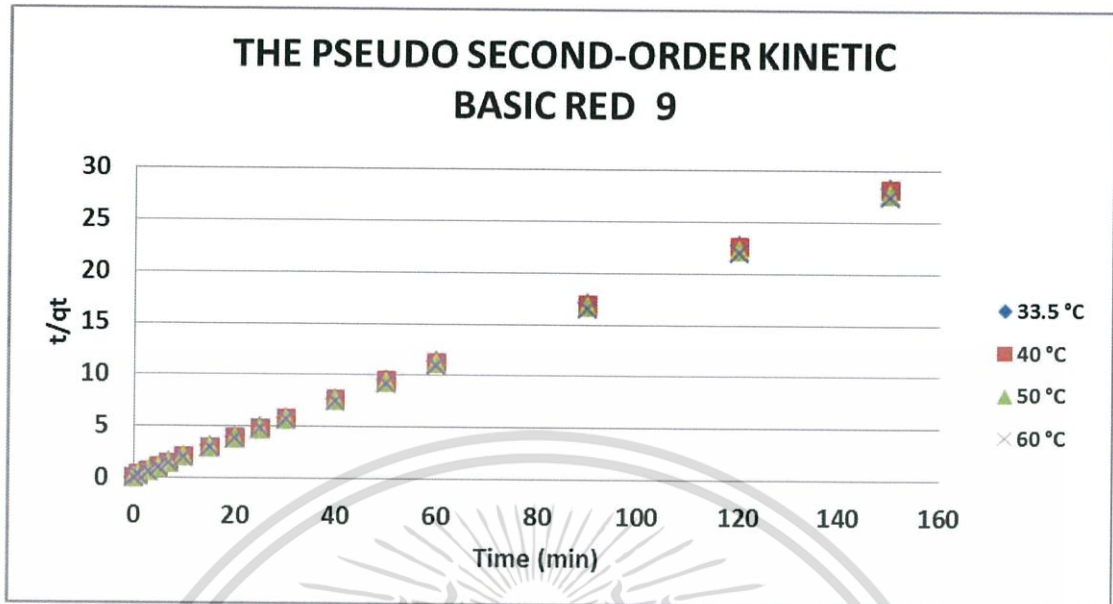
รูปที่ 4.24 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Pseudo second-order

จากรูปที่ 4.24 กราฟระหว่าง t/q_t กับ t ที่ความเข้มข้น 60, 80, 100, และ 120 mg/L สามารถหาค่า q_e และ k_2 ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า k_2 เท่ากับ 0.3258, 0.2895, 0.1798, และ 0.1108 g/(mg.min) ค่า q_e (Cal) เท่ากับ 2.9028, 4.1118, 5.3619, และ 6.5963 mg/g โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9998, 0.9999, 0.9999, และ 0.9996 ตามลำดับ



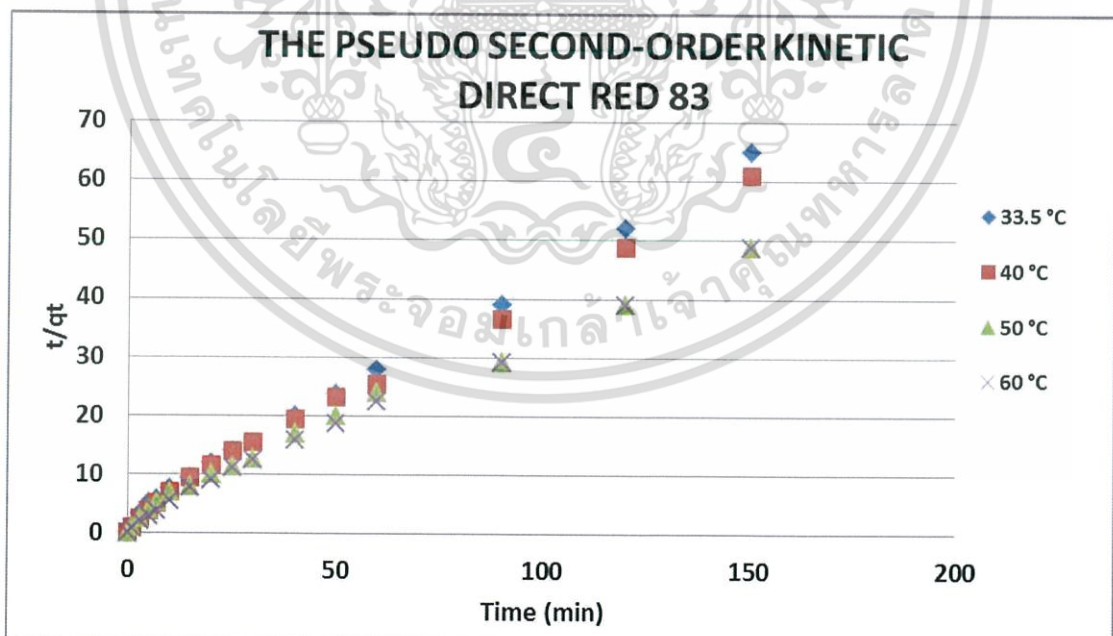
รูปที่ 4.25 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 แบบ Pseudo second-order

จากรูปที่ 4.25 กราฟระหว่าง t/q_t กับ t ที่ความเข้มข้น 60, 80, 100, และ 120 mg/L สามารถหาค่า q_e และ k_2 ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า k_2 เท่ากับ 0.0437, 0.0892, 0.1028, และ 0.0568 g/(mg.min) ค่า q_e (Cal) เท่ากับ 2.1102, 2.2183, 2.8572, และ 2.9904 mg/g โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9741, 0.9956, 0.9978, และ 0.9902 ตามลำดับ



รูปที่ 4.26 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Pseudo second-order

จากรูปที่ 4.26 กราฟระหว่าง t/q_t กับ t ที่อุณหภูมิ 33.5, 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส สามารถหาค่า q_e และ k_2 ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า k_2 เท่ากับ 0.2125, 0.2762, 0.2375, และ 0.2577 $g/(mg \cdot min)$ ค่า q_e (Cal) เท่ากับ 5.3305, 5.3476, 5.4526, และ 5.5036 mg/g โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9999, 1, 1, และ 0.9999 ตามลำดับ



รูปที่ 4.27 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 แบบ Pseudo second-order

จากรูปที่ 4.27 กราฟระหว่าง t/q_t กับ t ที่อุณหภูมิ 33.5, 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส สามารถหาค่า q_e และ k_2 ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า k_2 เท่ากับ 0.0704, 0.0631, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

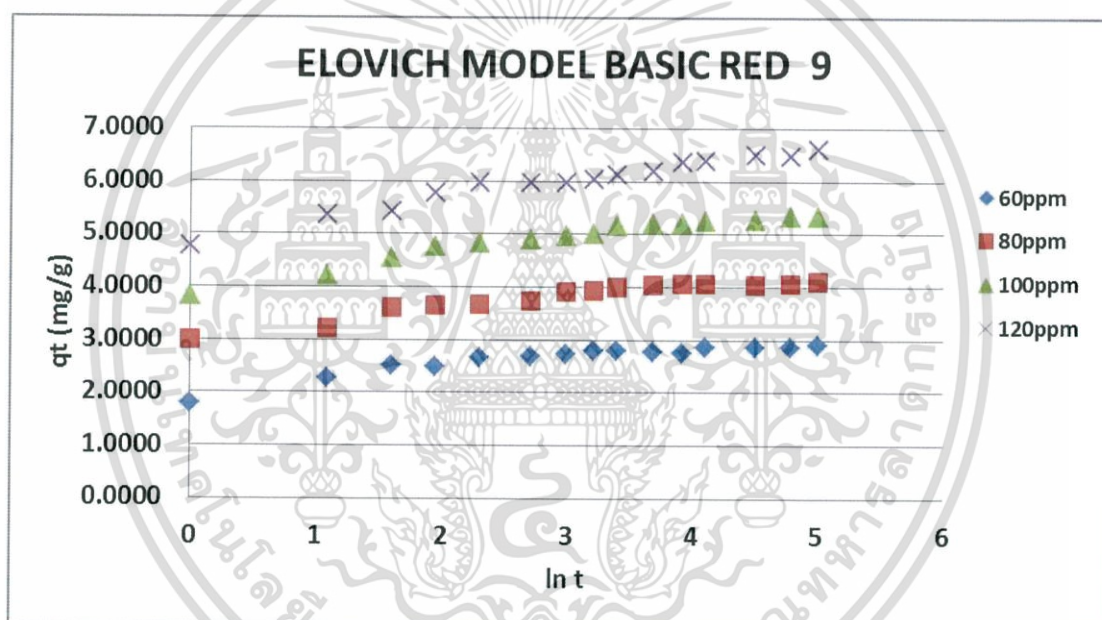
0.0344, และ 0.0495 g/(mg.min) ค่า q_e (Cal) เท่ากับ 2.3987, 2.5549, 3.2196, และ 3.1736 mg/g โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9971, 0.9949, 0.9889, และ 0.9937ตามลำดับ

4.9.3 การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับแบบ Elovich สมการเส้นตรง Elovich model สามารถเขียนได้ดังนี้

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$$

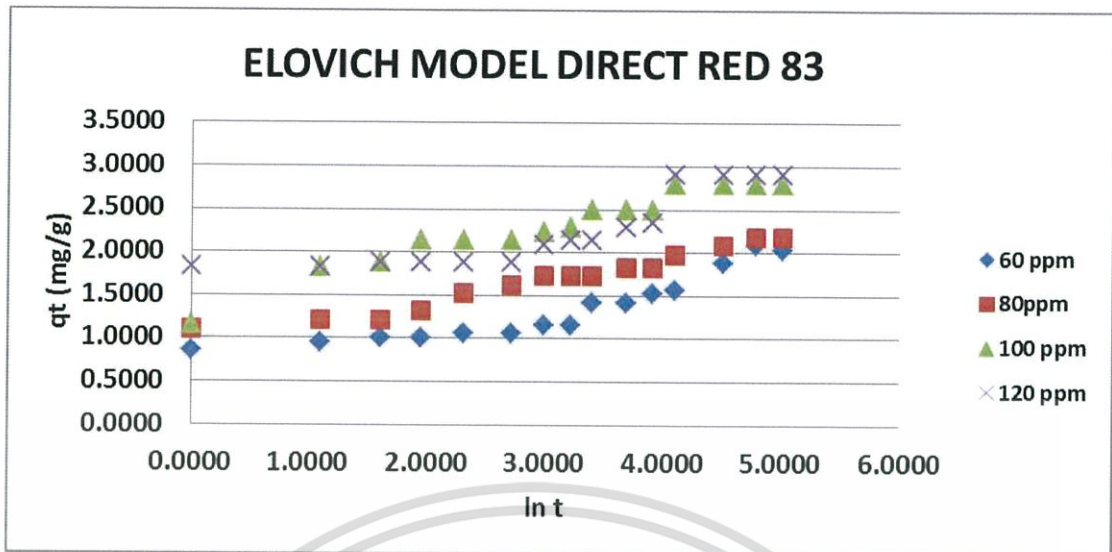
เมื่อ α = The initial adsorption rate (mg/g.min)

β = The constant related to the extent or surface coverage and the activation energy for chemisorptions (g/mg)



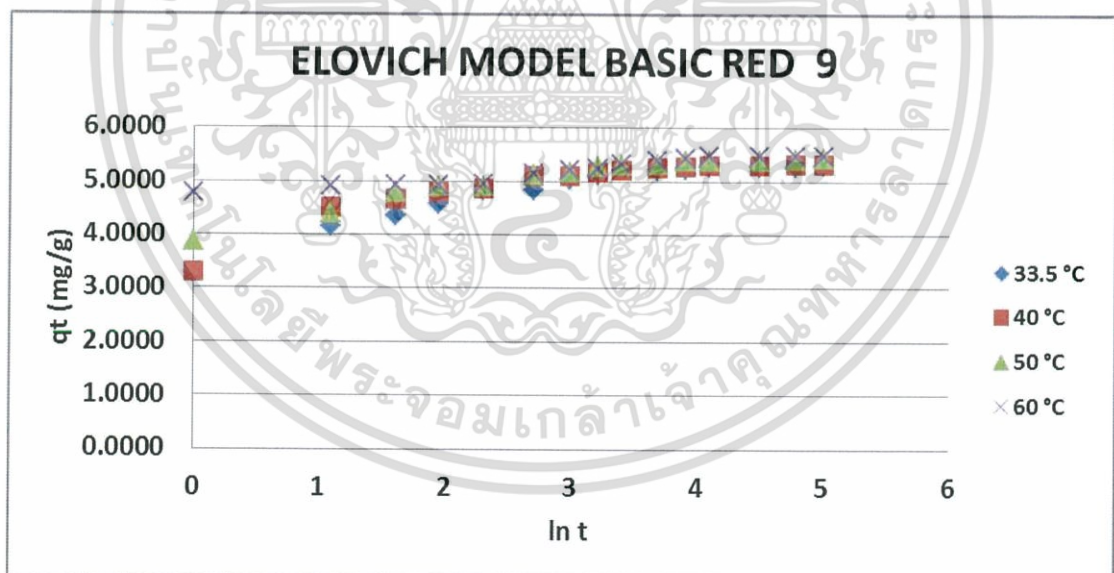
รูปที่ 4.28 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 แบบ Elovich

จากรูปที่ 4.28 กราฟระหว่าง q_t กับ $\ln t$ ที่ความเข้มข้น 60, 80, 100, และ 120 mg/L หากค่า β และ α ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า β เท่ากับ 5.2566, 4.4783, 3.3829, และ 2.9146 mg/g ค่า α เท่ากับ 1.15×10^4 , 2.77×10^5 , 2.48×10^5 , และ 6.6×10^5 mg/g.min ตามลำดับ



รูปที่ 4.29 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 แบบ Elovich

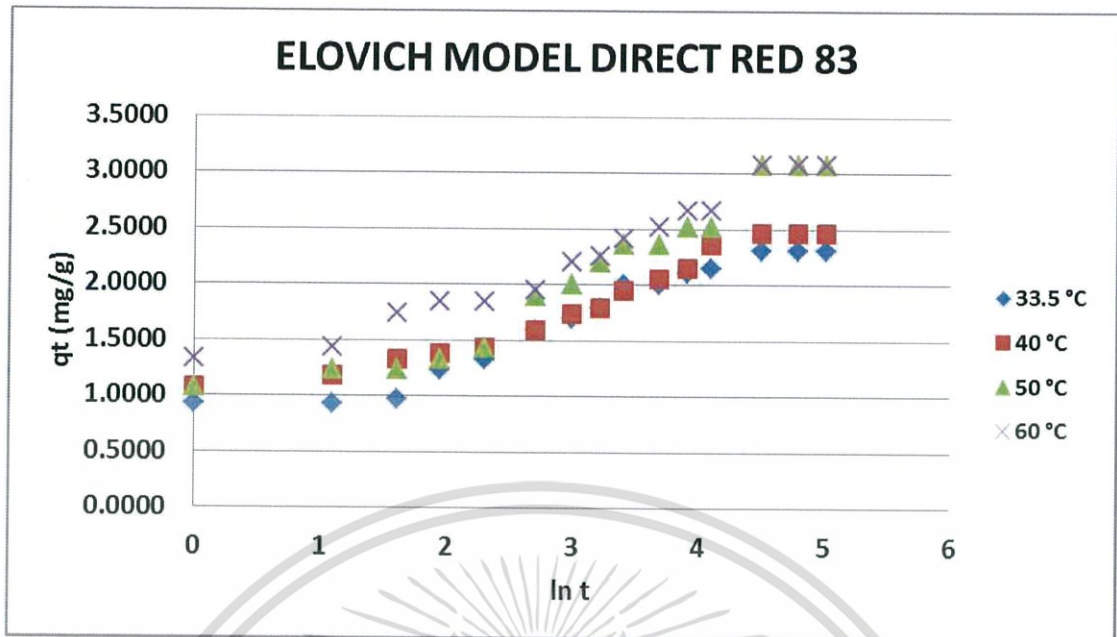
จากรูปที่ 4.29 กราฟระหว่าง q_t กับ $\ln t$ ที่ความเข้มข้น 60, 80, 100, และ 120 mg/L หาค่า β และ α ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า β เท่ากับ 3.9078, 4.1271, 3.2185, และ 3.7566 mg/g ค่า α เท่ากับ 2.3869, 12.3049, 24.7790, และ 60.9467 mg/g.min ตามลำดับ



รูปที่ 4.30 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกรีด 9 แบบ Elovich

จากรูปที่ 4.30 กราฟระหว่าง q_t กับ $\ln t$ ที่อุณหภูมิ 33.5, 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส หาค่า β และ α ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า β เท่ากับ 2.6695, 3.0157, 3.4072, และ 5.8685 ค่า α เท่ากับ 8.02×10^3 , 5.21×10^4 , 4.51×10^5 , และ 1.56×10^{11} mg/g.min ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไตรีดเรด 83 แบบ Elovich

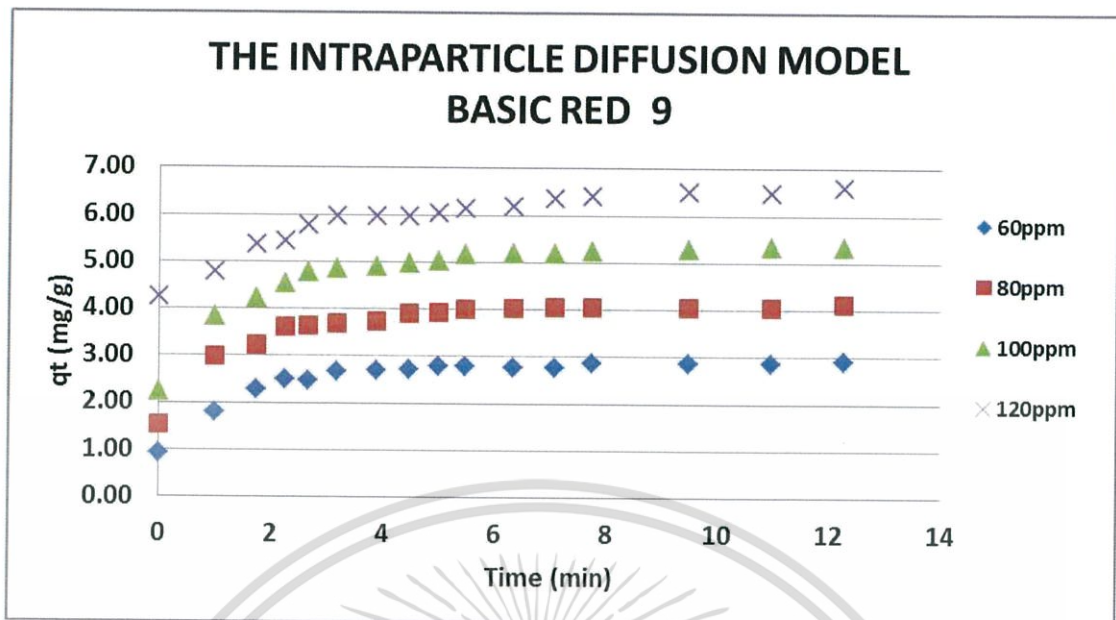
จากรูปที่ 4.31 กราฟระหว่าง q_t กับ $\ln t$ ที่อุณหภูมิ 33.5, 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส หาค่า β และ α ได้จากความชัน (Slope) และจุดตัดแกน ค่า β เท่ากับ 2.8345, 3.0193, 2.0942, และ 2.5259 mg/g ค่า α เท่ากับ 2.2034, 4.0551, 1.8673, และ 6.0497 mg/g.min ตามลำดับ

4.9.4 การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับแบบ Intraparticle diffusion สมการเส้นตรง

The intraparticle diffusion model สามารถเขียนได้ดังนี้

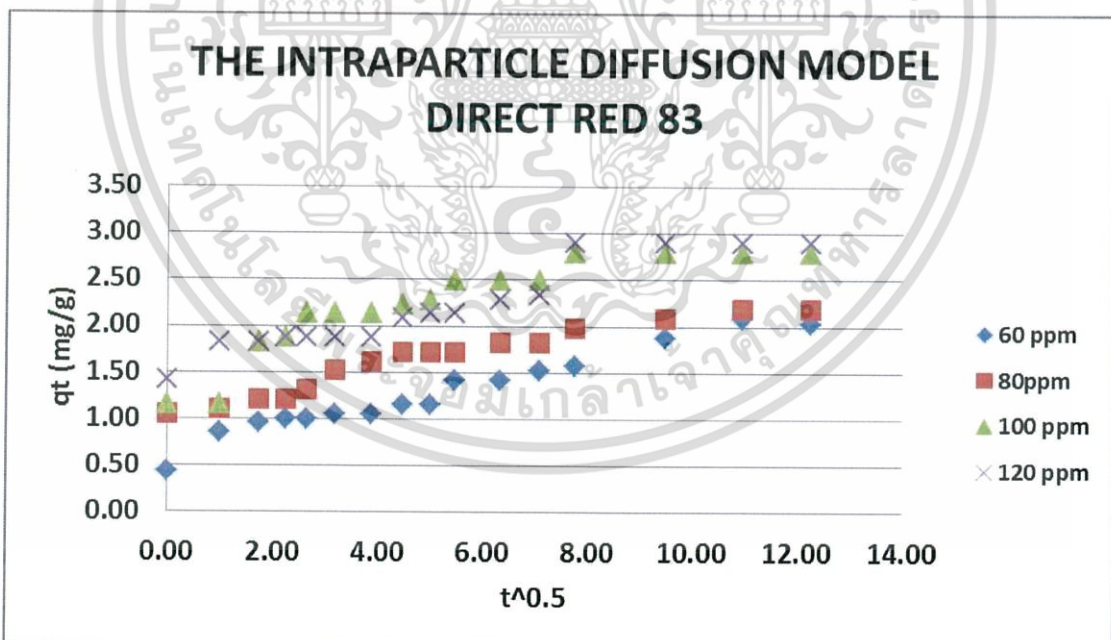
$$q_t = K_{id}(t)^{1/2} + C$$

เมื่อ K_{id} = the intraparticle diffusion rate constant (mg/g.min)



รูปที่ 4.32 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกรีด 9 แบบ Intraparticle diffusion

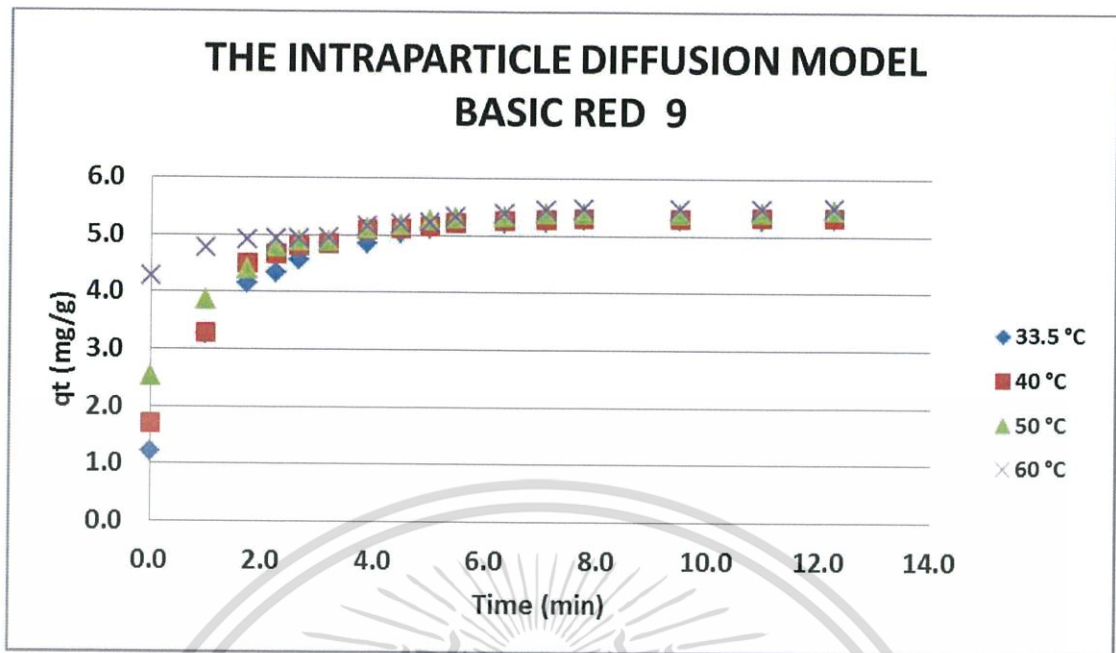
จากรูปที่ 4.32 กราฟระหว่าง q_t กับ $(t)^{1/2}$ ที่ความเข้มข้น 60, 80, 100, และ 120 mg/L สามารถหาค่า K_{id} ได้จากความชัน (Slope) เท่ากับ 0.1018, 0.1294, 0.1636, และ 0.1576 โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.4975, 0.4975, 0.5408, และ 0.7419 ตามลำดับ



รูปที่ 4.33 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 แบบ Intraparticle diffusion

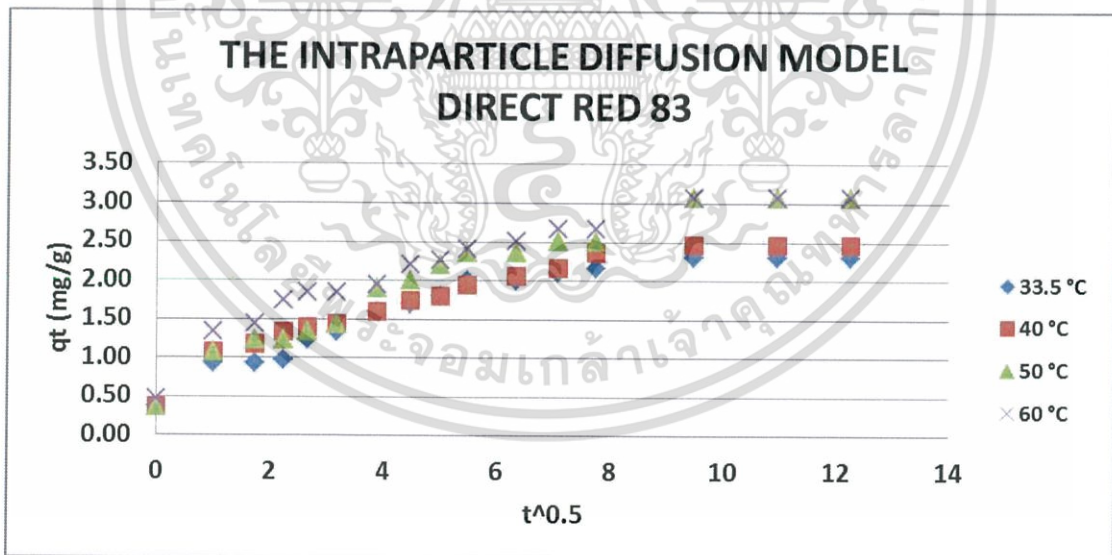
จากรูปที่ 4.33 กราฟระหว่าง q_t กับ $(t)^{1/2}$ ที่ความเข้มข้น 60, 80, 100, และ 120 mg/L สามารถหาค่า K_{id} ได้จากความชัน (Slope) เท่ากับ 0.1231, 0.1015, 0.1316, และ 0.1259 โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9604, 0.9323, 0.8023, และ 0.9078ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกรีด 9 แบบ Intraparticle diffusion

จากรูปที่ 4.34 กราฟระหว่าง q_t กับ $(t)^{1/2}$ ที่อุณหภูมิ 33.5, 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส สามารถหาค่า K_{id} ได้จากความชัน (Slope) เท่ากับ 0.2089, 0.1818, 0.156, และ 0.0823 โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.4875, 0.4546, 0.5258, และ 0.7671 ตามลำดับ



รูปที่ 4.35 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 แบบ Intraparticle diffusion

จากรูปที่ 4.35 กราฟระหว่าง q_t กับ $(t)^{1/2}$ ที่อุณหภูมิ 33.5, 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส สามารถหาค่า K_{id} ได้จากความชัน (Slope) เท่ากับ 0.1565, 0.1567, 0.2172, และ 0.189 โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.8547, 0.8797, 0.9191, และ 0.8811 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9

Basic red 9								
Concentration (mg/L)				Temperature (°C)				
	60	80	100	120	33.5	40	50	60
First order kinetic								
K_1 (1/min)	0.0544	0.0986	0.0739	0.0615	0.0831	0.0845	0.0859	0.0636
q_e (mg/g)	0.5992	1.1882	1.2459	1.3709	1.6118	1.3125	1.2871	0.8784
R^2	0.6471	0.9383	0.9000	0.8883	0.9082	0.9081	0.8983	0.9622
Second order kinetic								
K_2 (g/mg.min)	0.3258	0.2895	0.1798	0.1108	0.2125	0.2762	0.2375	0.2577
q_e (mg/g)	2.9028	4.1118	5.3619	6.5963	5.3305	5.3476	5.4526	5.5036
R^2	0.9998	0.9999	0.9999	0.9996	0.9999	1	1	0.9999
Elovich model								
α (mg/g . min)	1.15×10^4	2.77×10^5	2.48×10^5	6.6×10^5	8.02×10^3	5.21×10^4	4.51×10^5	1.56×10^{11}
β (mg/g)	5.2966	4.4783	3.3829	2.9146	2.6695	3.0157	3.4072	5.8685
R^2	0.8445	0.9021	0.9277	0.9591	0.8732	0.7854	0.8862	0.9334
Intra particle diffusion model								
K_{id} (mg/g.min)	0.1018	0.1294	0.1636	0.1576	0.2089	0.1818	0.156	0.0823
R^2	0.4975	0.4975	0.5408	0.7419	0.4875	0.4546	0.5258	0.7671

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

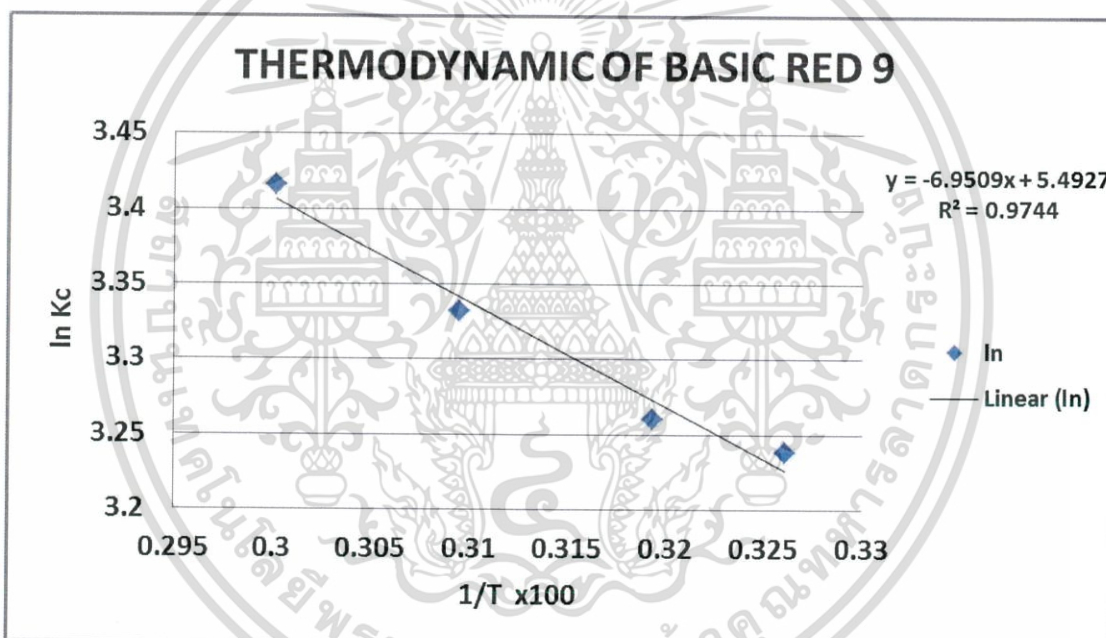
ตารางที่ 4.4 จลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมไดเรกต์เรด 83

	Direct red 83							
	Concentration (mg/L)				Temperature (°C)			
	60	80	100	120	33.5	40	50	60
First order kinetic								
K_1 (1/min)	0.0219	0.0332	0.0327	0.0159	0.0408	0.0389	0.0256	0.0276
q_e (mg/g)	1.0819	0.9175	1.146	1.1929	1.4900	1.5860	2.0100	1.7239
R^2	0.9267	0.9301	0.8262	0.8974	0.9658	0.9396	0.9068	0.9206
Second order kinetic								
K_2 (g/mg.min)	0.0437	0.0892	0.1028	0.0568	0.0704	0.0631	0.0344	0.0495
q_e (mg/g)	2.1102	2.2183	2.8572	2.9904	2.3987	2.5549	3.2196	3.1736
R^2	0.9741	0.9956	0.9978	0.9902	0.9971	0.9949	0.9889	0.9937
Elovich model								
α (mg/g . min)	2.3869	12.3049	24.7790	60.9467	2.2034	4.0551	1.8673	6.0497
β (mg/g)	3.9078	4.1271	3.2185	3.7566	2.8345	3.0193	2.0942	2.5259
R^2	0.8276	0.9579	0.9451	0.7503	0.9398	0.9444	0.9277	0.9555
Intraparticle diffusion model								
K_{id} (mg/g.min)	0.1231	0.1015	0.1316	0.1259	0.1565	0.1567	0.2172	0.1890
R^2	0.9604	0.9323	0.8023	0.9078	0.8547	0.8797	0.9191	0.8811

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

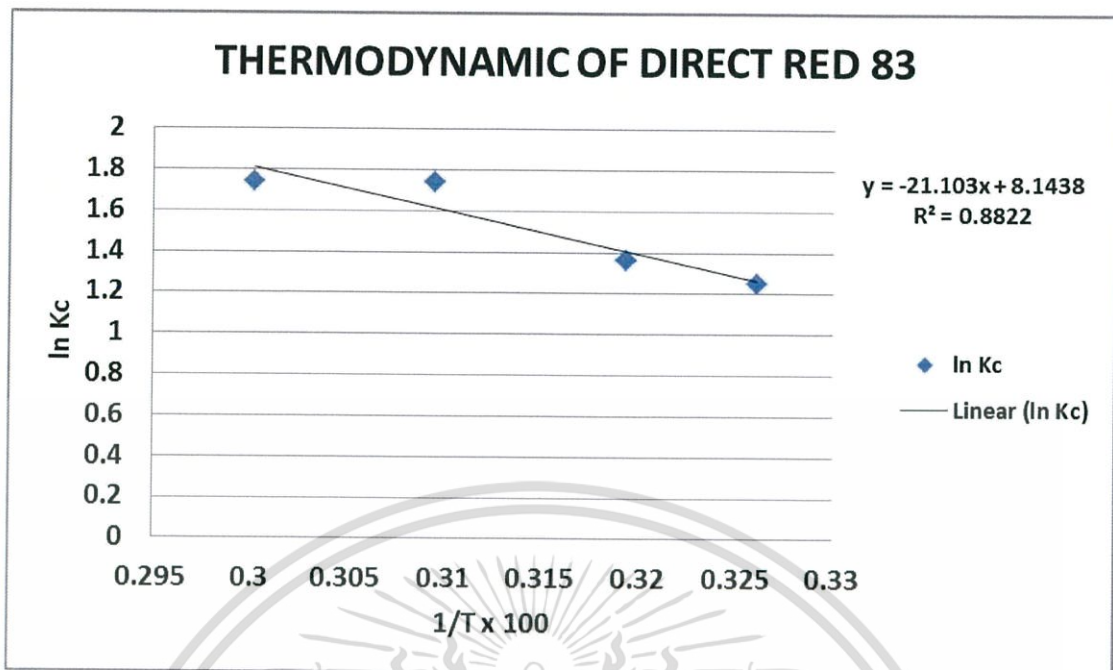
จากการศึกษาจลนศาสตร์แบบ Pseudo first-order, Pseudo second-order, Elovich model, และ Intraparticle diffusion model พบว่าจลนศาสตร์แบบ Pseudo second-order สามารถอธิบายได้ดีตลอดช่วงการทดลอง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของ Pseudo second-order มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่า จากตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิของสีย้อมทั้งสองเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการดูดซับ (q_e) ก็เพิ่มขึ้น ส่วนค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่ 2 ในสีย้อมเบสิกเรด 9 พบว่าเมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า k_2 จะเพิ่มขึ้น ในส่วนของสีย้อมโดเร็กซ์เรด 83 พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มค่า k_2 จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่ม ค่า k_2 จะลดลง สรุปได้ว่าการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมโดเร็กซ์เรด 83 โดยเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วยแคลเซียมคลอไรด์ สอดคล้องกับสมการ Pseudo second-order กระบวนการดูดซับเกิดจากแรงทางเคมี

4.10 การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์



รูปที่ 4.36 เทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9

จากรูปที่ 4.36 กราฟระหว่าง $\ln K_c$ กับ $1/T$ ค่า ΔH° หาได้จากความชัน (Slope) มีค่าเท่ากับ 57.7897 J/mol และ ΔS° หาได้จากจุดตัดแกนมีค่าเท่ากับ 45.6663 J/mol.K โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9744



รูปที่ 4.37 เทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์เรด 83

จากรูปที่ 4.37 กราฟระหว่าง $\ln K_c$ กับ $1/T$ ค่า ΔH° หาได้จากความชัน (Slope) มีค่าเท่ากับ 175.4503 J/mol และ ΔS° หาได้จากจุดตัดแกนมีค่าเท่ากับ 67.7075 J/mol.K โดยมีความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.8822

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ทางเทอร์โมเคมีการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไคเร็กต์เรด 83

	ΔG° (KJ/mol)				ΔH° (J/mol)	ΔS° (J/mol.K)
	306.65 K	313.15 K	323.15 K	333.15 K		
Basic red 9	-13.9457	-14.2426	-14.6992	-15.1559	57.7897	45.6663
Direct red 83	-20.5561	-20.9955	-21.6715	-22.3476	175.4503	67.7075

จากการศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของตัวดูดซับในสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 มีค่าเท่ากับ 57.7897 J/mol และ 175.4503 J/mol ตามลำดับ ค่าเป็นบวกแสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการดูดความร้อน การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีมีค่าเท่ากับ 45.6663 J/mol.K และ 67.7075 J/mol.K มีค่าเป็นบวกทั้งสองชี้แสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นมีความไม่เป็นระเบียบมากที่บริเวณผิวรอยต่อของแข็ง-ของเหลว ในระหว่างการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 เท่ากับ -13.9457 , -14.2426 , -14.6992 และ -15.1559 KJ/mol ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการดูดซับสีย้อมไคเร็กต์เรด 83 เท่ากับ -20.5561 , -20.9955 , -21.6715 และ -22.3476 KJ/mol ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21.6715 และ -22.3476 KJ/mol ที่อุณหภูมิ 303.65, 313.15, 323.15 และ 333.15 K ตามลำดับ โดยค่าเป็นลบสามารถอธิบายได้ว่าการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้เอง ผลการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่สปีดเบสสิกรีต 9 และโตเร็กรีต 83 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระมีค่าลบเพิ่มขึ้น แสดงว่าอุณหภูมามีผลต่อการดูดซับ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดแรงผลักดันที่มากขึ้น เป็นผลให้การดูดซับเกิดได้ดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 และน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ไโดเร็กต์เรด 83 ด้วยวิธีการดูดซับโดยเปลือกสับปะรด ทำการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ NaOH และ CaCl_2 ซึ่งเป็นตัวปรับปรุงโครงสร้างของเปลือกสับปะรด รวมถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ คือค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณตัวดูดซับ ระยะเวลาการดูดซับที่เหมาะสม ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ และอุณหภูมิ โดยผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. จากการศึกษาความเข้มข้น NaOH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ด้วยเปลือกสับปะรด พบว่าเปลือกสับปะรดที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพมีความสามารถดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ได้ดีกว่าเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ

2. จากการศึกษาความเข้มข้นของ CaCl_2 ที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ด้วยเปลือกสับปะรด พบว่าความเข้มข้น CaCl_2 ที่ 1.25 M มีความเหมาะสมในดูดซับได้ทั้งสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83

3. จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่อการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ด้วยเปลือกสับปะรด พบว่าน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ที่ pH = 7 เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย CaCl_2 สามารถดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ได้ดี

4. จากการศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ พบว่าปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 สูงขึ้น

5. จากการศึกษาผลของระยะเวลาการดูดซับของเปลือกสับปะรดในน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 และน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ไโดเร็กต์เรด 83 พบว่าจุดสมดุลของการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 อยู่ที่เวลา 60 นาที และจุดสมดุลการดูดซับของสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 อยู่ที่เวลา 90 นาที

6. จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การดูดซับจะเกิดได้ดีขึ้น

7. การดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ด้วยเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และ CaCl_2 มีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มกับการดูดซับแบบจำลองฟรุนดลิช และแลงเมียร์ ตามลำดับ

8. จากการศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ด้วยเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และ CaCl_2 เป็นไปตามสมการ Pseudo-second order อัตราเร็วของการดูดซับจะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. จากการศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์การดูดซับสีย้อมสังเคราะห์เบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ด้วยเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และ CaCl_2 พบว่าเป็นการดูดซับทางเคมี เป็นกระบวนการคายความร้อน และการดูดซับเกิดขึ้นเองไม่ได้แต่จะเกิดได้เองในทิศทางย้อนกลับ

10. กลไกในการดูดซับสีย้อมเบสิกเรด 9 และสีย้อมไโดเร็กต์เรด 83 ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการดูดซับทางเคมีร่วมกับการดูดซับทางกายภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. หาวิธีการดัดแปลงโดยใช้เปลือกสับปะรดร่วมกับเทคนิคอื่นๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับสีย้อม
2. นำเปลือกสับปะรดไปทำการทดลองดูดซับสีย้อมชนิดอื่นๆ
3. หาวิธีการปรับปรุงคุณภาพเปลือกสับปะรดโดยวิธีอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กันตภณ คงยุทธ และจุฬาลักษณ์ พันธุ์รักษ์. 2554. การดูดซับสารละลายสีย้อมแอติคบลู 80 โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกทุเรียน. ปรึญญาพันธวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันมลพิษสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อม. กรุงเทพฯ : สำนักจัดการคุณภาพน้ำ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2557. วิฤฤตน้ำเสียอ้อมน้อย จากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ. [Online]. Available : <http://wqm.pcd.go.th/water/images/industry/journal/2557/Aomnoi.pdf>
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542. คู่มือการจัดการสิ่งแวลล้อม อุตสาหกรรมฟอกย้อม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีสิ่งแวลล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2547. คู่มือเทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมสิ่งทอ. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2559. กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม. [Online]. Available : <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2559/E/129/17.PDF>
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2555. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีย้อมสังเคราะห์ : สีไตรีกต์. [Online]. Available : <http://www.thaitextile.org/index.php/downloads/file/dyt008>
- โกวิทย์ ปิยะมั่งคลา และรวิรินทร์ สุทธะนันท์. 2554. “จลนศาสตร์และเทอร์โมเคมีการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้แกลบดัดแปร.” พระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 21(2) : 337-348.
- ธนาพล ตันติสัตยกุล, กะขามาศ สายดำ, สุจิตรา ภูสงสี และศิวพร เงินเรืองโรจน์. 2558. “การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด.” วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 23(5) : 754-773.
- พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ และวีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์. 2553. “การดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ.” วิศวกรรมลาดกระบัง. 27(4) : 61-66.
- วนิดา ชูอักษร. 2555. “เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม.” วิทยาศาสตร์บูรพา. 17(1) : 181-191.
- วรวิทย์ จันท์สุวรรณ. 2558. ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ. [Online]. Available : https://repository.rmutp.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/1958/SCI_59_08.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- สถาบันอาหาร. 2558. อุตสาหกรรมสับปะรด. [Online]. Available : <http://fic.nfi.or.th/foodsectordatabank-detail.php?id=10>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- De Gisi, S. Grassi, M. Lofrano, G. and Notarnicola, M. 2016. "Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review." *Sustainable Materials and Technologies*. 9 : 10-40.
- Huang Weng, C. Tung Lin, Y. and Wei Tzeng, T.2009. "Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pineapple leaf powder." *Hazardous Materials*. 170(1) : 417-424.
- Humelnicu, I. Baiceanu, A. Dulman, V. and Elena Ignat, M. 2017. "The removal of Basic Blue 41 textile dye from aqueous solution by adsorption onto naturalzeolitic tuff: Kinetics and thermodynamics." *Process Safety and Environmental Protection*. 105 : 274–287.
- Kallel, F. Belghith, L. Bouaziz, F. Chaabouni, S.E. Chaari, F. and Ghorbel, R. 2016. "Interactive effect of garlic straw on the sorption and desorption of Direct Red 80 from aqueous solution." *Process Safety and Environmental Protection*. 102 : 30-43.
- Ning-chuan, F. and Xue-yi, G. 2012. "Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of copper, lead and zinc by modified orange peel." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 22(5) : 1224-1231.
- Pavan, F.A. Gushikem, Y. and Mazzocato, A.C. 2008. "Removal of methylene blue dye from aqueous solutions by adsorption using yellow passion fruit peel as adsorbent." *Bioresource Technology*. 99(8) : 3162-3165.
- Pubchem. 2016. **Basic Red 9**. [Online]. Available : https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Basic_Red_9#section=Top
- Pubchem. 2016. **Direct Red 83**. [Online]. Available : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/20844346#section=Top>
- Rani, D.S. and Nand, K. 2004. "Ensilage of pineapple processing waste for methane generation." *Waste Management*. 24(5) : 523-528.
- Rodrigues, C.A. Demarchi, C.A. Melo, D. Postai, D.L. and Zanatta, F. 2016. "Adsorption of rhodamine B and methylene blue dyes using waste of seeds of *Aleurites Moluccana*, a low cost adsorbent." *Alexandria Engineering*. 55(2) : 1713-1723.
- Umoren, S.A. Eduok, U.M. and Etim, U.J. 2016. "Coconut coir dust as a low cost adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution." *Saudi Chemical Society*. 20(1) : S67-S76.
- Vucurovic, V.M. Miljic, U.D. Puskas, V.S. Razmovski, R.N. 2014. "Removal of cationic and anionic azo dyes from aqueous solutions by adsorption on maize stem tissue." *The Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 45(4) : 1700-1708.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขต
ประกอบการอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจสอบ
1. ความเป็นกรดและต่าง (pH)	ตั้งแต่ 5.5 – 9.0	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและต่างของน้ำ (pH Meter) ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 0.1 หน่วย
2. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิวัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
3. สี (Color)	ไม่เกิน 300 เอดีเอ็มไอ	ใช้วิธีเอดีเอ็มไอ (ADMI Method)
4. ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids หรือ TDS)	(๑) กรณีระบายลงแหล่งน้ำ ต้องไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (๒) กรณีระบายลงแหล่งน้ำที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเกินกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำทิ้งที่จะระบายได้ต้องมีค่าเกินกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในแหล่งน้ำนั้น ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีระเหยตัวอย่างที่กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disk) และอบแห้งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
5. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disk) และอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจสอบ
6. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน ๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน และหาค่าออกซิเจนละลายด้วยวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) หรือวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด (Membrane Electrode)
7. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีย่อยสลายโดยใช้โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate)
8. ซัลไฟด์ (Sulfide)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีไอโอดเมตริก (Iodometric Method) หรือวิธีเมทิลีนบลู (Methylene Blue Method)
9. ไซยาไนด์ (Cyanides HCN)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้การกลั่น (Distillation) และตรวจวัดด้วยวิธีเทียบสี (Colorimetric Method) หรือวิธี Flow Injection Analysis
10. น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีสกัดด้วยเทคนิค Liquid - Liquid Extraction หรือ Soxhlet Extraction ด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
11. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีเทียบสี (Colorimetric Method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจสอบ
12. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้การกลั่น (Distillation) และตรวจวัดด้วยวิธีเทียบสี (Colorimetric Method)
13. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีไตเตรท (Titrimetric Method) หรือวิธีเทียบสี (Colorimetric Method)
14. สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบ	ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟิค (Gas-Chromatographic Method)
15. ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีเจลดดาห์ล (Kjeldahl)
16. โลหะหนัก		
16.1 สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรด (Acid digestion) และวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรเมตตรี (Atomic Absorption Spectrometry : AAS) หรือวิธีอินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมา (Inductively Coupled Plasma)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจสอบ
16.2 โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีเทียบสี (Colorimetric Method) หรือวิธีสกัดและตรวจวัดด้วยวิธีอะตอมมิค แอ็บซอร์ปชันสเปกโตรเมตรี (Atomic Absorption Spectrometry: AAS) หรือวิธีสกัดและตรวจวัดด้วยวิธีอินดักทีฟคัปเปลด์พลาสมา (Inductively Coupled Plasma)
16.3 โครเมียมไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีคำนวณจากค่าส่วนต่างของโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนต์
16.4 สารหนู (As)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีอะตอมมิคแอ็บซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์เจเนอเรชัน (Hydride Generation) หรือวิธีอินดักทีฟคัปเปลด์พลาสมา (Inductively Coupled Plasma)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจสอบ
16.5 ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรด (Acid digestion) และวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอสซอร์ปชันสเปกโตรเมตตรี (Atomic Absorption Spectrometry : AAS) หรือวิธีอินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมา (Inductively Coupled Plasma)
16.6 ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีโคลด์เวเปอร์อะตอมมิคแอสซอร์ปชันสเปกโตรเมตตรี (Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry) หรือวิธีโคลด์เวเปอร์อะตอมมิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรเมตตรี (Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry) หรือวิธีอินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมา (Inductively Coupled Plasma)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจสอบ
16.7 แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรด (Acid digestion) และวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรเมตรี (Atomic Absorption Spectrometry : AAS) หรือวิธีอินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมา (Inductively Coupled Plasma)
16.8 แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรด (Acid digestion) และวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรเมตรี (Atomic Absorption Spectrometry : AAS) หรือวิธีอินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมา (Inductively Coupled Plasma)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจสอบ
16.10 ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรด (Acid digestion) และวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอพชั่นสเปกโตรเมตรี (Atomic Absorption Spectrometry : AAS) หรือวิธีอินดักทีฟลีคัพเพลลลาสมา (Inductively Coupled Plasma)
16.11 นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรด (Acid digestion) และวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอพชั่นสเปกโตรเมตรี (Atomic Absorption Spectrometry : AAS) หรือวิธีอินดักทีฟลีคัพเพลลลาสมา (Inductively Coupled Plasma)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

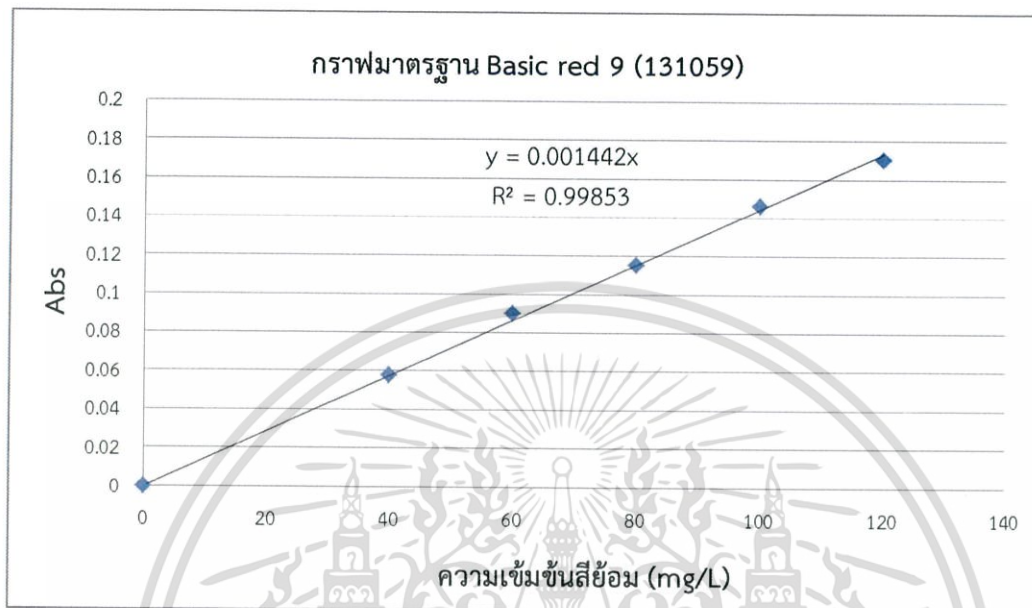
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจสอบ
16.12 แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรด (Acid digestion) และวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรเมตตรี (Atomic Absorption Spectrometry : AAS) หรือวิธีอินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมา (Inductively Coupled Plasma)

ที่มา : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2559

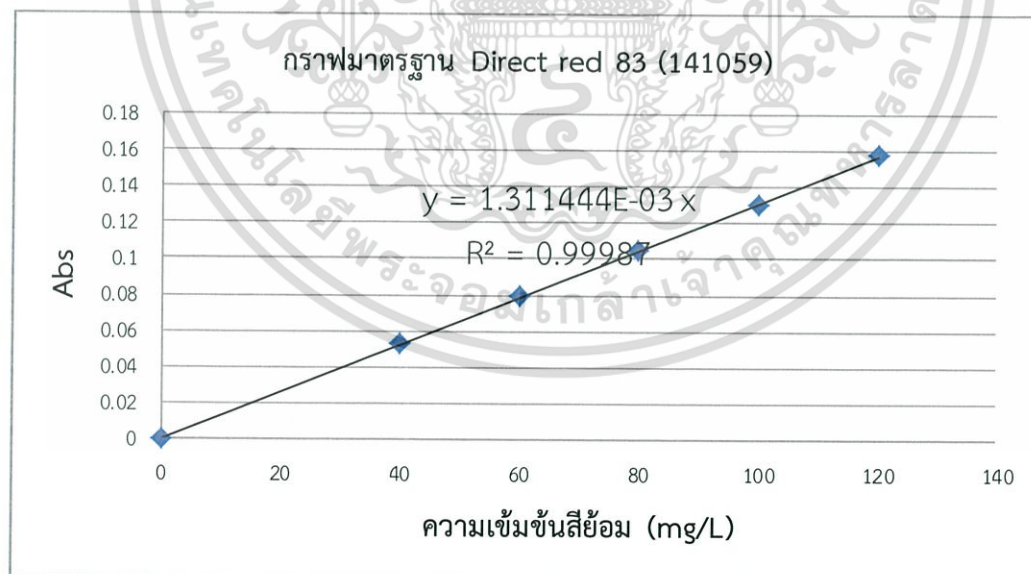
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ NaOH ที่เหมาะสม (Basic red 9)

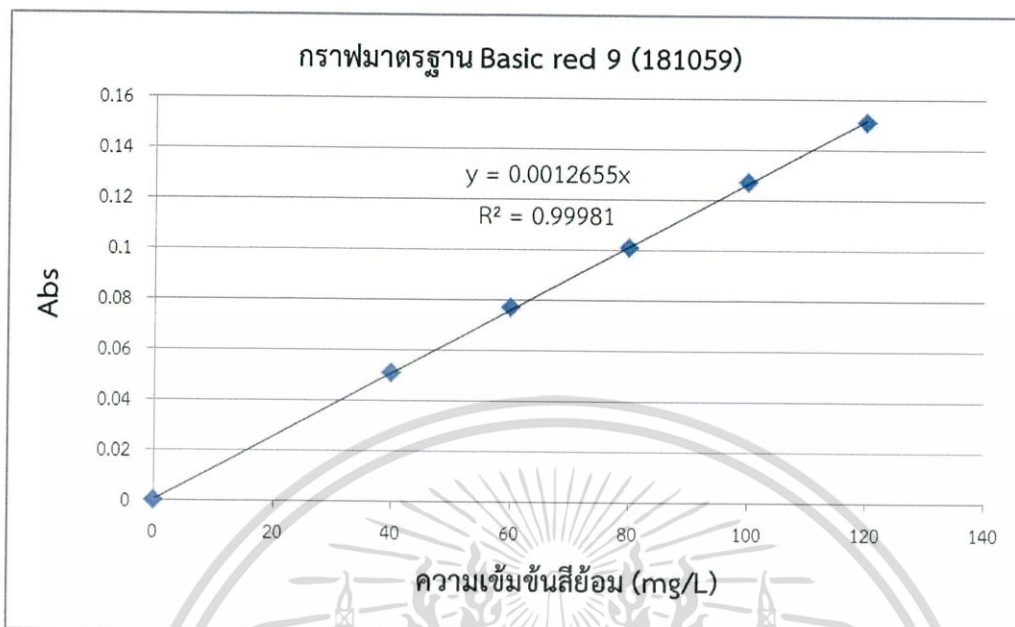


รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ NaOH ที่เหมาะสม (Direct red 83)

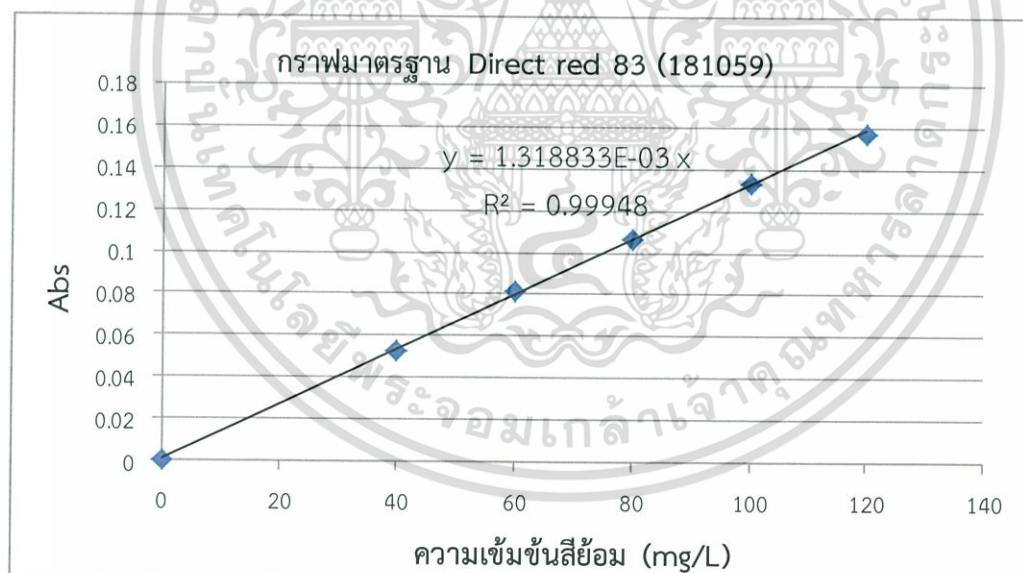


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ CaCl_2 ที่เหมาะสม (Basic red 9) .

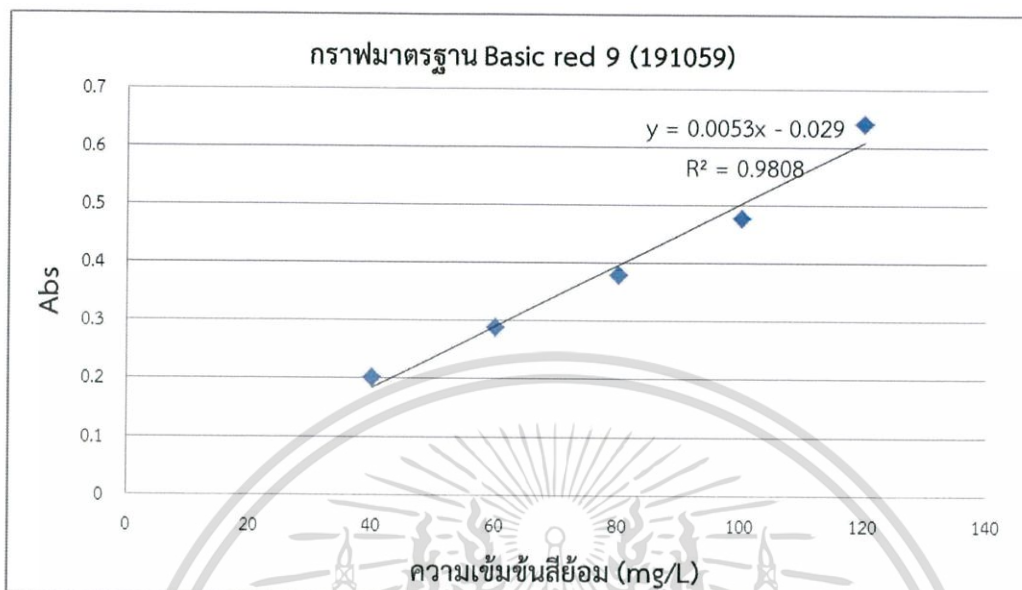


รูปที่ ข.4 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ CaCl_2 ที่เหมาะสม (Direct red 83)

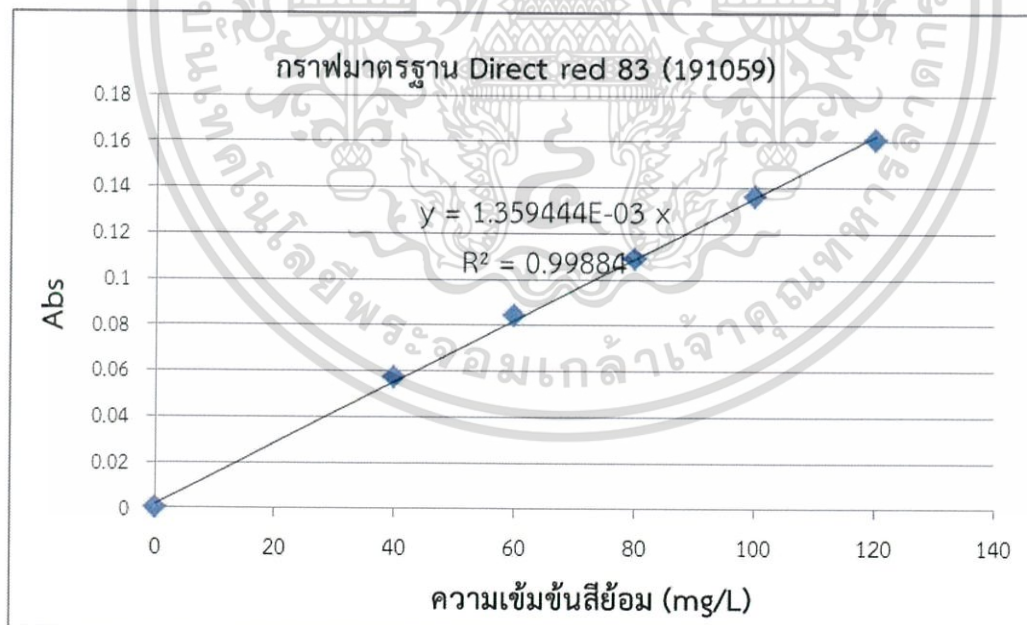


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.5 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)

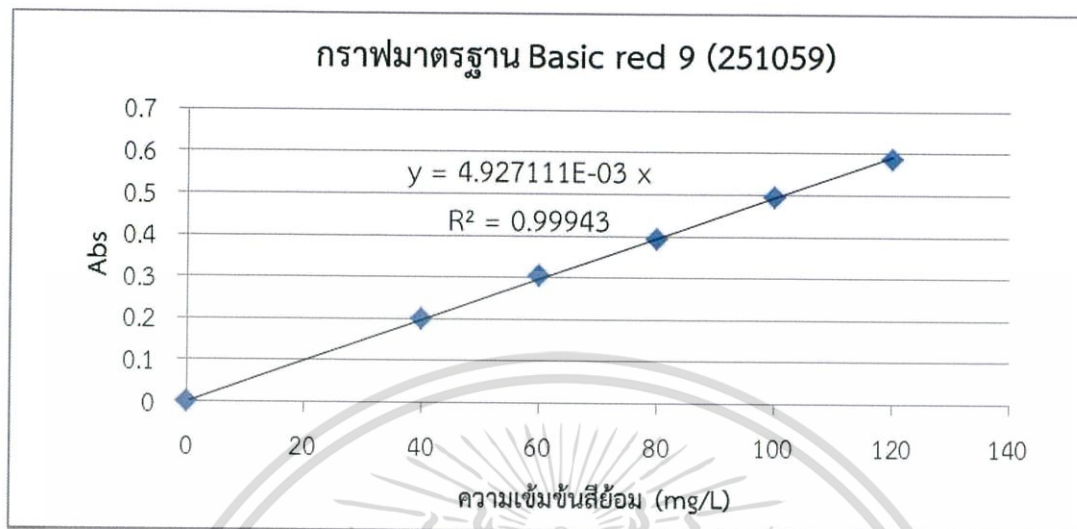


รูปที่ ข.6 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83)

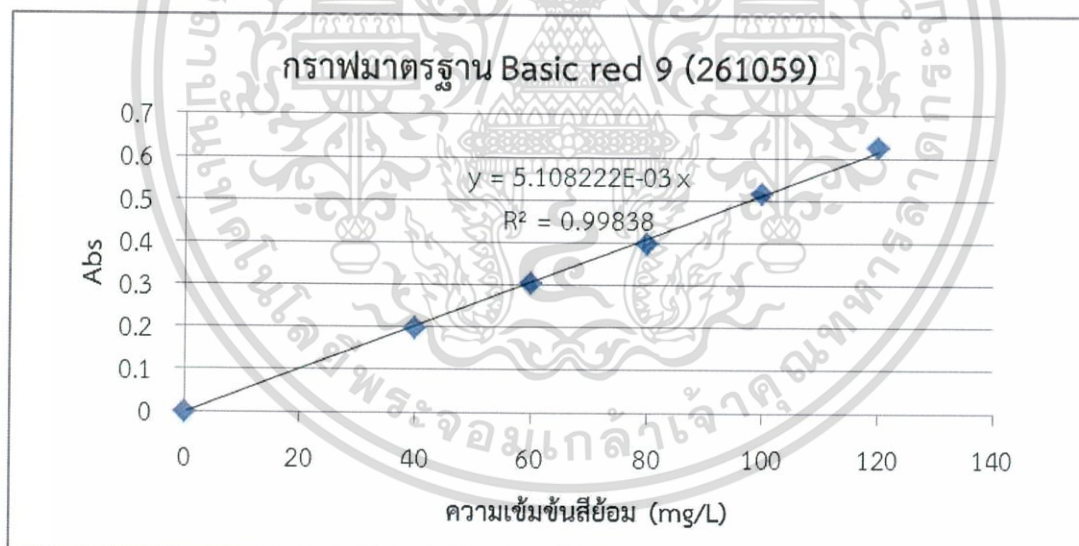


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.7 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)

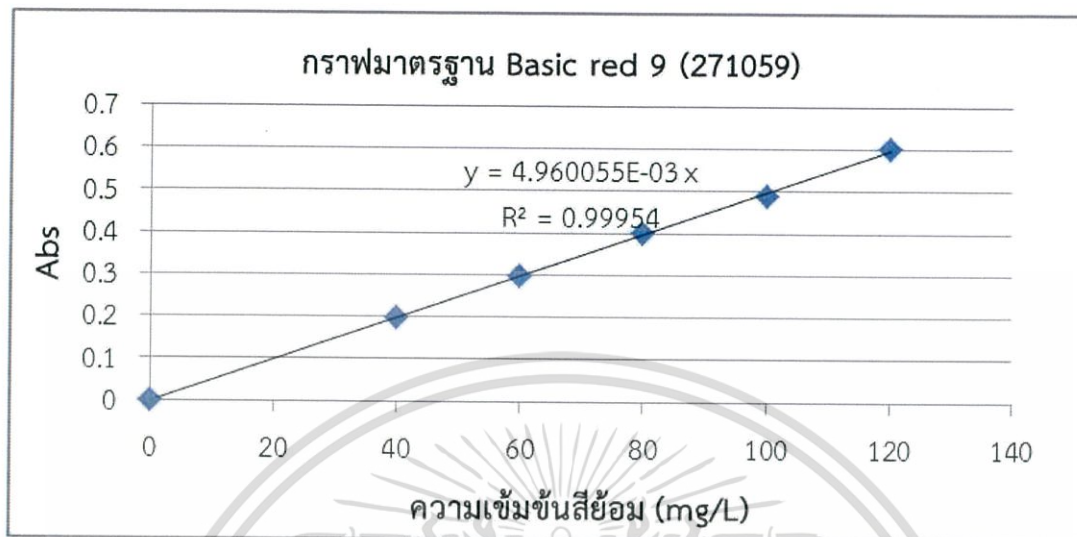


รูปที่ ข.8 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)

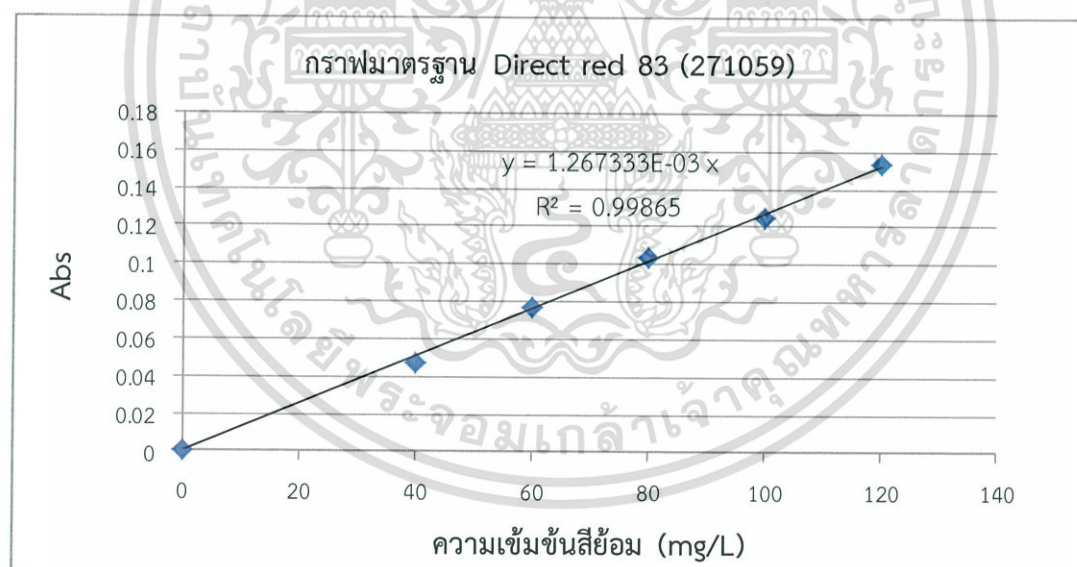


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.9 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)



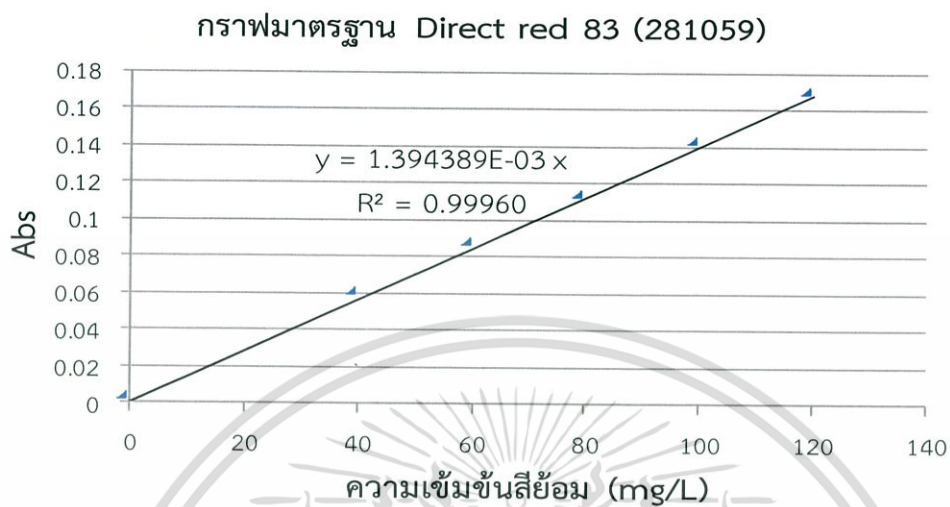
รูปที่ ข.10 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

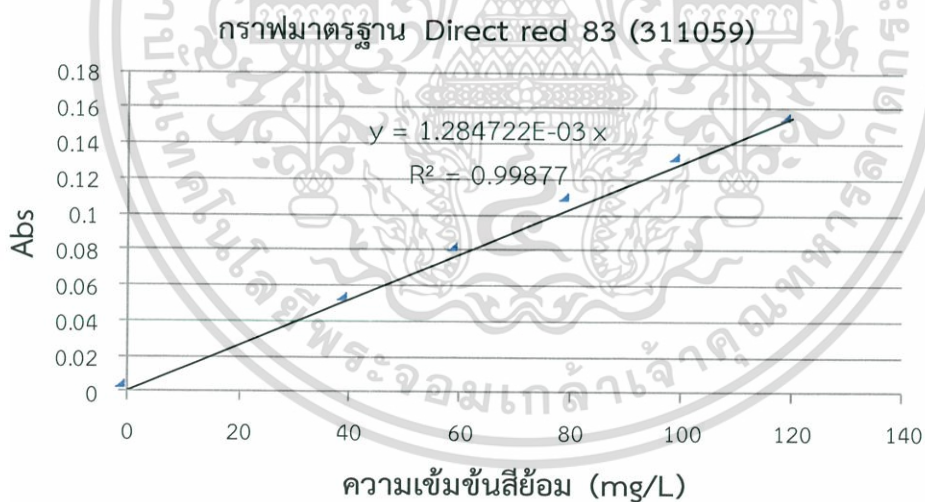
รูปที่ ข.11 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83)

□



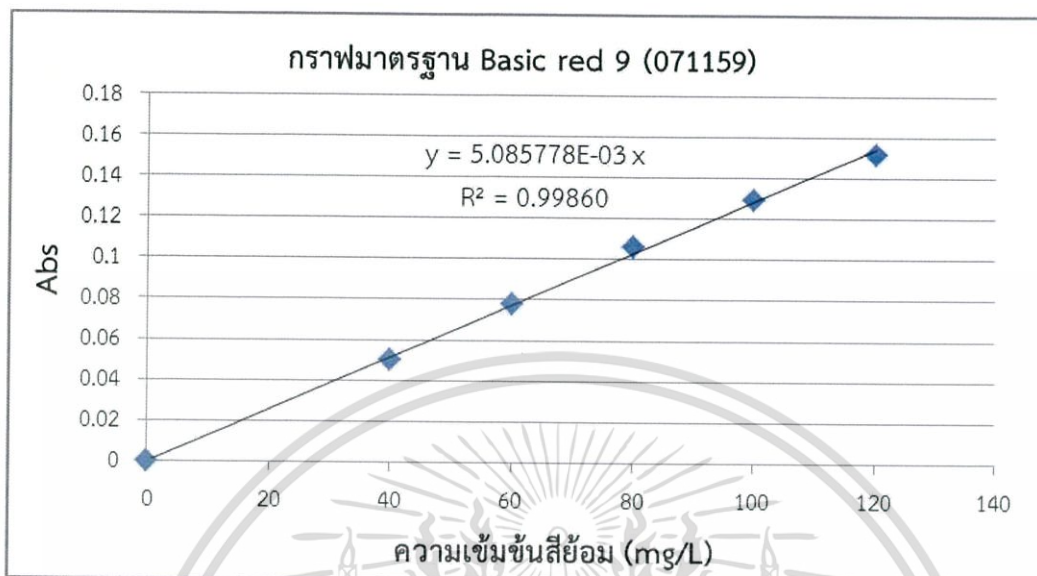
รูปที่ ข.12 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83)

□

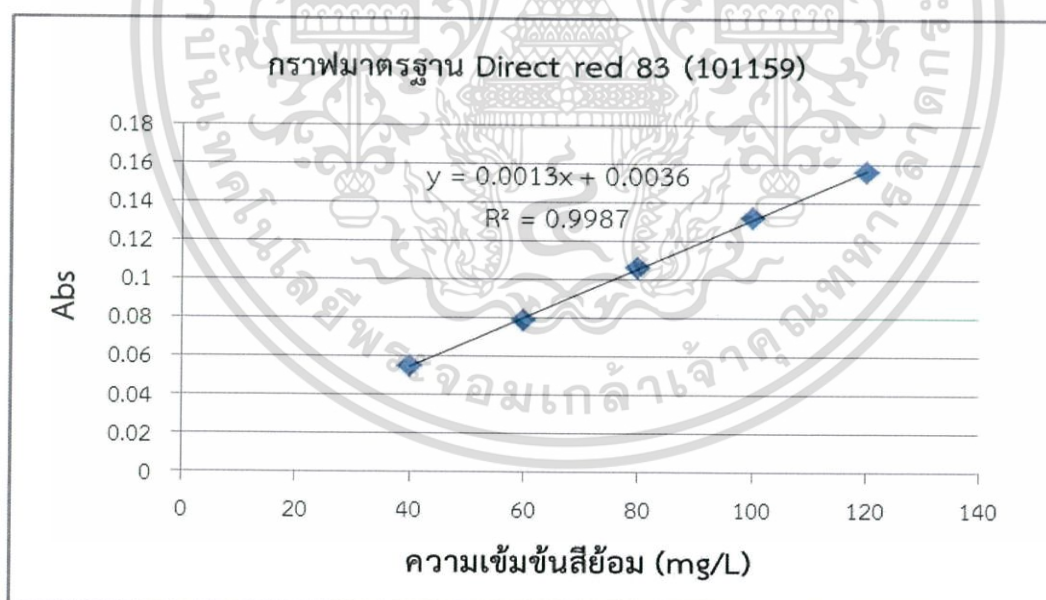


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.13 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของน้ำเสียสี้อมสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)

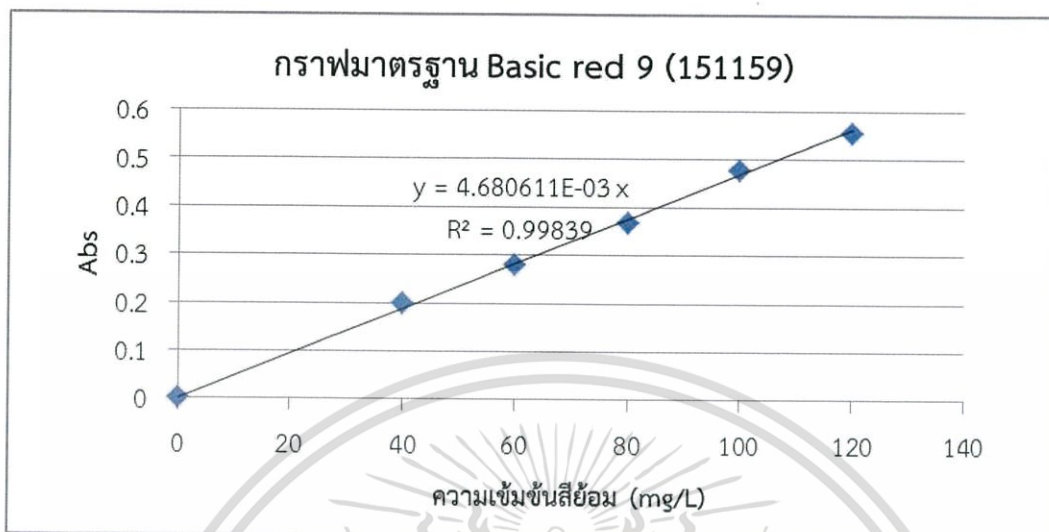


รูปที่ ข.14 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของน้ำเสียสี้อมสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83)

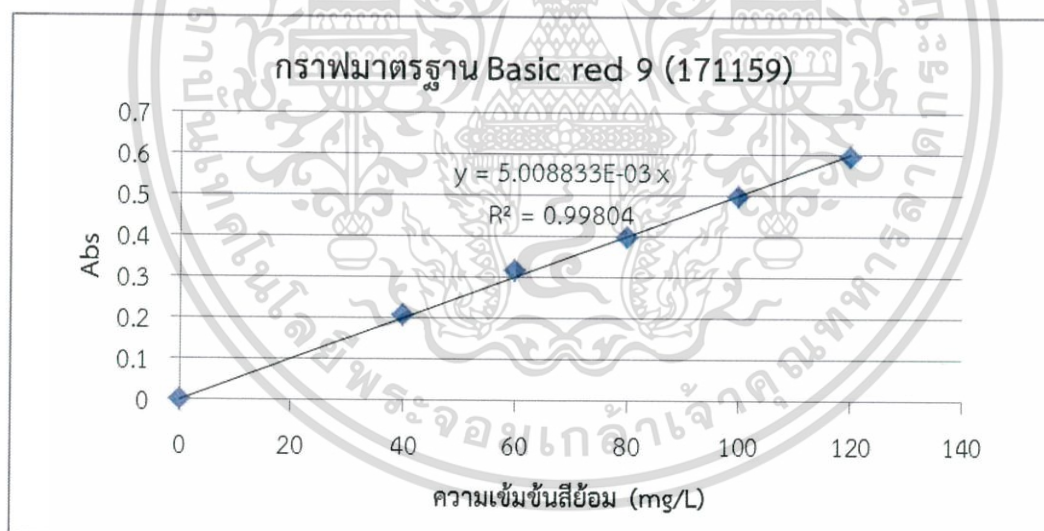


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.15 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลอุณหภูมิของน้ำเสียสี่ย้อมสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)



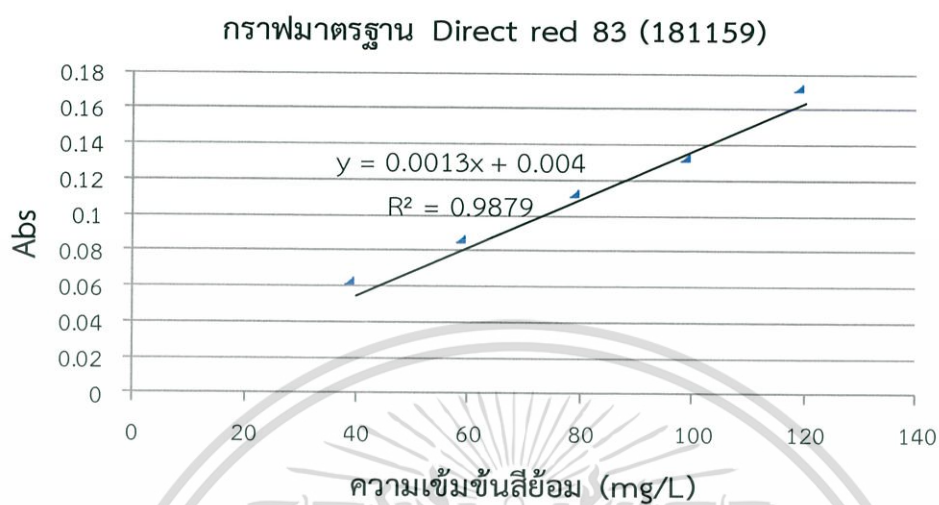
รูปที่ ข.16 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลอุณหภูมิของน้ำเสียสี่ย้อมสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Basic red 9)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.17 กราฟมาตรฐานการศึกษาอิทธิพลอุณหภูมิของน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Direct red 83)

□



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตาราง ค.1 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH 0.5 M

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสีกเรต 9	1	0.2502	0.039	27.0458	72.95
	2	0.2506	0.046	31.9001	68.10
	3	0.2504	0.051	35.3675	64.63
เฉลี่ย					68.56
ไตรีกต์เรต 83	1	0.2504	0.129	98.3649	1.64
	2	0.2503	0.126	96.0773	3.92
	3	0.2505	0.131	99.8890	0.11
เฉลี่ย					1.89

ตาราง ค.2 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH 0.6 M

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสีกเรต 9	1	0.2502	0.051	35.3675	64.63
	2	0.2505	0.055	38.1415	61.86
	3	0.2505	0.056	38.8350	61.16
เฉลี่ย					62.55
ไตรีกต์เรต 83	1	0.2507	0.126	96.0773	3.92
	2	0.2503	0.118	89.9772	10.02
	3	0.2505	0.122	93.0272	6.97
เฉลี่ย					6.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH 0.7 M

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2509	0.059	40.9154	59.08
	2	0.2506	0.063	43.6893	56.31
	3	0.2508	0.057	39.5284	60.47
เฉลี่ย					58.62
ไตรีกต์เรด 83	1	0.2505	0.128	97.6023	2.40
	2	0.2508	0.128	97.6023	2.40
	3	0.2502	0.124	94.5522	5.45
เฉลี่ย					3.42

ตาราง ค.4 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH 0.8 M

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2506	0.067	46.4632	53.54
	2	0.2502	0.070	41.6089	58.39
	3	0.2504	0.064	44.3828	55.62
เฉลี่ย					55.85
ไตรีกต์เรด 83	1	0.2504	0.122	93.0272	6.97
	2	0.2507	0.124	94.5522	5.45
	3	0.2505	0.119	90.7397	9.26
เฉลี่ย					7.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH 1.0 M

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิเกรด 9	1	0.2501	0.063	43.6893	56.31
	2	0.2504	0.065	45.0763	54.92
	3	0.2503	0.059	40.9154	59.08
เฉลี่ย					56.77
ไตรีกต์เรด 83	1	0.2503	0.121	92.2647	7.74
	2	0.2509	0.123	93.7897	6.21
	3	0.2511	0.124	94.5522	5.45
เฉลี่ย					6.47

ตาราง ค.6 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH 1.25 M

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิเกรด 9	1	0.2503	0.065	45.0763	54.92
	2	0.2508	0.069	47.8502	52.15
	3	0.2504	0.070	48.5437	51.46
เฉลี่ย					52.84
ไตรีกต์เรด 83	1	0.2510	0.124	94.5522	5.45
	2	0.2508	0.126	96.0773	3.92
	3	0.2509	0.125	95.3148	4.69
เฉลี่ย					4.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.7 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 0.8 M

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2505	0.018	14.2236	85.78
	2	0.2506	0.017	13.4334	86.57
	3	0.2505	0.018	14.2236	85.78
เฉลี่ย					86.04
ไตรีกต์เรด 83	1	0.2503	0.100	75.8246	24.18
	2	0.2504	0.098	74.3081	25.69
	3	0.2507	0.100	75.8246	24.18
เฉลี่ย					24.68

ตาราง ค.8 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 1.0 M

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2509	0.017	13.4334	86.57
	2	0.2507	0.016	12.6432	87.36
	3	0.2511	0.017	13.4334	86.57
เฉลี่ย					86.83
ไตรีกต์เรด 83	1	0.2501	0.096	72.7916	27.21
	2	0.2506	0.097	73.5499	26.45
	3	0.2503	0.097	73.5499	26.45
เฉลี่ย					26.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.9 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกส้มปصرةที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 1.25 M

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกส้มปصرة (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2508	0.017	13.4334	86.57
	2	0.2510	0.017	13.4334	86.57
	3	0.2507	0.016	12.6432	87.36
เฉลี่ย					86.83
ไดเร็กต์เรด 83	1	0.2509	0.090	68.2421	31.76
	2	0.2507	0.089	67.4839	32.52
	3	0.2510	0.088	66.7257	33.27
เฉลี่ย					97.55

ตาราง ค.10 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกส้มปصرةที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 1.50 M

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกส้มปصرة (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2504	0.017	13.4334	86.57
	2	0.2506	0.016	12.6432	87.36
	3	0.2508	0.016	12.6432	87.36
เฉลี่ย					87.10
ไดเร็กต์เรด 83	1	0.2503	0.091	69.0003	31.00
	2	0.2506	0.090	68.2421	31.76
	3	0.2507	0.089	67.4839	32.52
เฉลี่ย					31.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.11 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ที่ pH 2

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2501	0.024	18.5966	81.40
	2	0.2503	0.025	19.3715	80.63
	3	0.2505	0.023	17.8218	82.18
เฉลี่ย					81.41
ไตรีกต์เรด 83	1	0.2506	0.063	46.3425	53.66
	2	0.2504	0.061	44.8713	55.13
	3	0.2505	0.065	47.8137	52.19
เฉลี่ย					53.66

ตาราง ค.12 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ที่ pH 3

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2503	0.019	17.7223	82.28
	2	0.2501	0.021	16.2721	83.73
	3	0.2504	0.020	15.4972	84.50
เฉลี่ย					83.50
ไตรีกต์เรด 83	1	0.2508	0.096	70.6171	29.38
	2	0.2507	0.094	69.1459	30.85
	3	0.2507	0.094	69.1459	30.85
เฉลี่ย					30.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.13 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ที่ pH 4

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2504	0.015	11.6229	88.38
	2	0.2505	0.017	13.1726	86.83
	3	0.2503	0.017	13.1726	86.83
เฉลี่ย					87.36
ไดเร็กต์เรด 83	1	0.2508	0.091	66.9391	33.06
	2	0.2507	0.093	68.4103	31.59
	3	0.2509	0.093	68.4103	31.59
เฉลี่ย					32.08

ตาราง ค.14 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ที่ pH 5

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2504	0.014	10.8480	89.15
	2	0.2504	0.013	10.0732	89.93
	3	0.2505	0.014	10.8480	89.15
เฉลี่ย					89.41
ไดเร็กต์เรด 83	1	0.2508	0.096	70.6171	29.38
	2	0.2505	0.092	67.6747	32.33
	3	0.2509	0.094	69.1459	30.85
เฉลี่ย					30.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.15 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ที่ pH 6

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2503	0.013	10.0732	89.83
	2	0.2500	0.017	13.1726	86.83
	3	0.2501	0.015	11.6229	88.38
เฉลี่ย					88.35
ไตรีกต์เรด 83	1	0.2506	0.095	69.8815	30.12
	2	0.2505	0.092	67.6747	32.33
	3	0.2505	0.094	69.1459	30.85
เฉลี่ย					31.10

ตาราง ค.16 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ที่ pH 7

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2508	0.017	13.1726	86.83
	2	0.2506	0.017	13.1726	86.83
	3	0.2509	0.016	12.3978	87.60
เฉลี่ย					87.09
ไตรีกต์เรด 83	1	0.2503	0.095	69.8815	30.12
	2	0.2504	0.096	70.6171	29.38
	3	0.2501	0.095	69.8815	30.12
เฉลี่ย					29.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.17 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ที่ pH 8

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2508	0.015	11.6229	88.38
	2	0.2505	0.017	13.1726	86.83
	3	0.2503	0.016	12.3978	87.60
เฉลี่ย					87.60
ไดเรกต์เรด 83	1	0.2502	0.111	81.6510	18.35
	2	0.2501	0.113	83.1222	16.88
	3	0.2507	0.110	80.9154	19.08
เฉลี่ย					54.31

ตาราง ค.18 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ที่ pH 9

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	1	0.2509	0.019	14.7223	85.28
	2	0.2504	0.020	15.4972	84.50
	3	0.2506	0.021	16.2721	83.73
เฉลี่ย					84.50
ไดเรกต์เรด 83	1	0.2503	0.115	84.5934	15.41
	2	0.2502	0.116	85.3290	14.67
	3	0.2507	0.116	85.3290	14.67
เฉลี่ย					14.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.19 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ที่ pH 10

ชนิดสีย้อม	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกสับปะรด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสีกเรต 9	1	0.2501	0.027	20.9212	79.08
	2	0.2506	0.026	20.1464	79.85
	3	0.2504	0.026	20.1464	79.85
เฉลี่ย					79.59
ไดเร็กต์เรด 83	1	0.2507	0.135	99.3053	0.69
	2	0.2503	0.133	97.8341	2.17
	3	0.2505	0.134	98.5697	1.43
เฉลี่ย					4.29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.20 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกส้มปصرةที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ปริมาณ 1.25 g

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	0	0.408	82.8071	17.19
	1	0.342	69.4119	30.59
	3	0.318	64.5409	35.46
	5	0.301	61.0906	38.91
	7	0.297	60.2787	39.72
	10	0.295	59.8728	40.13
	15	0.291	59.0609	40.94
	20	0.288	58.4521	41.55
	25	0.284	57.6403	42.04
	30	0.256	51.9574	48.04
	40	0.243	49.3190	50.68
	50	0.23	46.6805	53.32
	60	0.228	46.2746	53.73
	90	0.229	46.4775	53.52
	120	0.228	46.2746	53.73
150	0.227	46.0716	53.93	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไโดเร็กต์เรด 83	0	0.123	97.0542	2.95
	1	0.122	96.2651	3.73
	3	0.114	89.9527	10.05
	5	0.114	89.9527	10.05
	7	0.112	88.3746	11.63
	10	0.112	88.3746	11.63
	15	0.112	88.3746	11.63
	20	0.112	88.3746	11.63
	25	0.112	88.3746	11.63
	30	0.112	88.3746	11.63
	40	0.11	86.7964	13.2
	50	0.111	87.5855	12.41
	60	0.11	86.7964	13.2
	90	0.11	86.7964	13.2
	120	0.106	83.6402	16.36
150	0.101	79.6949	20.31	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.21 ประสิทธิภาพการดูดซับสี้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ปริมาณ 2.50 g

ชนิดสี้อม	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสี้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	0	0.365	71.4534	28.55
	1	0.293	57.3585	42.64
	3	0.259	50.7026	49.30
	5	0.253	49.5280	50.47
	7	0.246	48.1577	51.84
	10	0.224	43.8509	56.15
	15	0.216	42.2848	57.72
	20	0.206	40.3271	59.67
	25	0.195	38.1738	61.83
	30	0.186	36.4119	63.59
	40	0.183	35.8246	64.18
	50	0.182	35.6288	64.37
	60	0.161	31.5278	68.47
	90	0.166	32.4966	67.5
	120	0.164	32.1051	67.9
150	0.162	31.7136	68.29	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไคเร็กซ์เรด 83	0	0.119	93.898	6.1
	1	0.117	92.3199	7.68
	3	0.116	91.5308	8.47
	5	0.113	89.1636	10.84
	7	0.113	89.1636	10.84
	10	0.112	88.3746	11.63
	15	0.112	88.3746	11.63
	20	0.112	88.3746	11.63
	25	0.112	88.3746	11.63
	30	0.111	87.5855	12.41
	40	0.111	87.5855	12.41
	50	0.111	87.5855	12.41
	60	0.106	83.6402	16.36
	90	0.106	83.6402	16.36
120	0.104	82.0621	17.94	
150	0.099	78.1168	21.88	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.22 ประสิทธิภาพการดูดซับสีข้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ปริมาณ 3.75 g

ชนิดสีข้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสีสีข้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิเกรต 9	0	0.393	79.2330	20.77
	1	0.272	54.8381	45.16
	3	0.227	45.7656	54.23
	5	0.206	41.5318	58.47
	7	0.202	40.7254	59.27
	10	0.180	36.8948	63.11
	15	0.180	36.2899	63.71
	20	0.158	31.8545	68.12
	25	0.159	32.0561	67.94
	30	0.157	31.6529	68.12
	40	0.153	30.8464	69.15
	50	0.139	28.0239	71.98
	60	0.134	27.0158	72.98
	90	0.147	29.6368	70.36
	120	0.143	28.8303	71.17
150	0.135	27.2174	72.78	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไโดเร็กต์เรด 83	0	0.136	97.5338	2.47
	1	0.130	93.2308	6.77
	3	0.128	91.7965	8.20
	5	0.124	88.9278	11.07
	7	0.123	88.2107	11.79
	10	0.122	87.4935	12.51
	15	0.122	87.4935	12.51
	20	0.122	87.4935	12.51
	25	0.121	86.7764	13.22
	30	0.120	86.0592	13.94
	40	0.119	85.3420	14.66
	50	0.118	84.6249	15.38
	60	0.117	83.9077	16.09
	90	0.115	82.4734	17.53
120	0.112	80.3219	19.68	
150	0.108	77.4533	22.55	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.23 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกส้มปصرةที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ปริมาณ 5.00 g

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสีสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิเกรด 9	0	0.342	68.9508	31.05
	1	0.254	51.2091	48.79
	3	0.203	40.9270	59.07
	5	0.188	37.9028	62.10
	7	0.184	37.0964	62.90
	10	0.165	33.2658	66.73
	15	0.154	31.0480	68.95
	20	0.146	29.4352	70.56
	25	0.142	28.6287	71.37
	30	0.129	26.0078	73.99
	40	0.128	25.8062	74.19
	50	0.132	26.6126	73.39
	60	0.125	25.2013	74.80
	90	0.125	25.2013	74.80
	120	0.115	23.1852	74.81
150	0.117	23.5884	76.41	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไคเร็กซ์เรด 83	0	0.125	97.2973	2.70
	1	0.120	93.4054	6.59
	3	0.120	93.4054	6.59
	5	0.118	91.8489	8.15
	7	0.117	91.0702	8.93
	10	0.114	88.7350	11.27
	15	0.113	87.9568	12.04
	20	0.110	85.6216	14.38
	25	0.106	82.5081	17.49
	30	0.105	81.7297	18.27
	40	0.098	76.2811	23.72
	50	0.098	73.9460	23.72
	60	0.095	73.9460	26.05
	90	0.095	73.9460	26.05
120	0.095	73.9460	26.05	
150	0.095	73.9460	26.05	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.24 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ปริมาณ 6.25 g

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสีสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิเกรด 9	0	0.324	63.4272	36.57
	1	0.236	46.2000	53.8
	3	0.197	38.5653	61.43
	5	0.172	33.6712	66.33
	7	0.155	30.3432	69.66
	10	0.152	29.7560	70.24
	15	0.143	27.9941	72.01
	20	0.138	27.0153	72.98
	25	0.135	26.4280	73.57
	30	0.129	25.2534	74.75
	40	0.125	24.4703	75.53
	50	0.120	23.4915	76.51
	60	0.112	21.9254	78.07
	90	0.113	22.1212	77.88
	120	0.111	21.7297	78.27
150	0.112	21.9254	78.07	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไคเรกต์เรด 83	0	0.121	94.1854	5.81
	1	0.115	89.5151	10.49
	3	0.115	89.5151	10.49
	5	0.113	87.9583	12.04
	7	0.113	87.9583	12.04
	10	0.110	85.6231	14.38
	15	0.110	85.6231	14.38
	20	0.103	80.1744	19.83
	25	0.103	80.1744	19.83
	30	0.103	80.1744	19.83
	40	0.103	80.1744	19.83
	50	0.088	68.4985	31.50
	60	0.089	69.2769	30.72
	90	0.089	69.2769	30.72
120	0.088	68.4985	31.50	
150	0.088	68.4985	31.50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.25 ประสิทธิภาพการดูดซับสี้อมโดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2 ปริมาณ 7.50 g

ชนิดสี้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสี้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสีกเรต 9	0	0.287	58.2491	41.75
	1	0.235	47.6953	52.30
	3	0.172	34.9089	65.09
	5	0.161	32.6763	67.32
	7	0.136	27.6024	72.40
	10	0.129	26.1817	73.82
	15	0.125	25.3698	74.63
	20	0.118	23.9491	76.05
	25	0.121	24.5580	75.44
	30	0.114	23.1373	76.86
	40	0.108	21.9195	78.08
	50	0.105	21.3107	78.69
	60	0.105	21.3107	78.69
	90	0.102	20.7018	79.30
	120	0.105	21.3107	78.69
150	0.103	20.9047	79.10	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไคเร็กซ์เรด 83	0	0.119	92.6286	7.37
	1	0.108	84.0663	15.93
	3	0.108	84.0663	15.93
	5	0.108	84.0663	15.93
	7	0.108	84.0663	15.93
	10	0.104	80.9528	19.05
	15	0.103	80.1744	19.83
	20	0.103	80.1744	19.83
	25	0.103	80.1744	19.83
	30	0.103	80.1744	19.83
	40	0.091	70.8337	29.17
	50	0.090	70.0553	29.94
	60	0.090	70.0553	29.94
	90	0.087	67.7200	32.28
	120	0.087	67.7200	32.28
150	0.087	67.7200	32.28	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.26 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้น 60 mg/L โดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสีกเรต 9	0	0.234	46.0107	23.31
	1	0.168	33.0333	44.94
	3	0.132	25.9547	56.74
	5	0.114	22.4154	62.64
	7	0.116	22.8087	61.98
	10	0.102	20.0559	66.57
	15	0.100	19.6627	67.23
	20	0.097	19.0728	68.21
	25	0.092	18.0897	69.85
	30	0.092	18.0897	69.85
	40	0.094	18.4829	69.20
	50	0.095	18.6795	68.86
	60	0.087	17.1065	71.49
	90	0.086	16.9099	71.82
	120	0.086	16.9099	71.82
150	0.084	16.5166	72.47	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไโดเร็กต์เรด 83	0	0.073	53.3846	11.03
	1	0.065	47.2308	21.28
	3	0.063	45.6923	23.85
	5	0.062	44.9231	25.13
	7	0.062	44.9231	25.13
	10	0.061	44.1538	26.41
	15	0.061	44.1538	26.41
	20	0.059	42.6154	28.97
	25	0.059	42.6154	28.97
	30	0.054	38.7692	35.38
	40	0.054	38.7692	35.38
	50	0.052	37.2308	37.95
	60	0.051	36.4615	39.23
	90	0.045	31.8462	46.92
120	0.041	28.7692	52.05	
150	0.042	29.5385	50.77	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.27 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้น 80 mg/L โดยใช้เปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสีกเรต 9	0	0.290	57.0218	28.72
	1	0.179	35.1962	56.00
	3	0.161	31.6569	60.42
	5	0.132	25.9547	67.55
	7	0.129	25.3649	68.29
	10	0.126	24.775	69.03
	15	0.122	23.9885	70.01
	20	0.108	21.2357	73.45
	25	0.107	21.0391	73.70
	30	0.101	19.8593	75.17
	40	0.099	19.466	75.66
	50	0.097	19.0728	76.15
	60	0.097	19.0728	76.15
	90	0.098	19.2694	75.91
	120	0.097	19.0728	76.15
150	0.093	18.2863	77.14	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไตรีกต์เรด 83	0	0.087	64.1538	19.81
	1	0.086	63.3846	20.77
	3	0.084	61.8462	22.69
	5	0.084	61.8462	22.69
	7	0.082	60.3077	24.62
	10	0.078	57.2308	28.46
	15	0.076	55.6923	30.38
	20	0.074	54.1538	32.31
	25	0.074	54.1538	32.31
	30	0.074	54.1538	32.31
	40	0.072	52.6154	34.23
	50	0.072	52.6154	34.23
	60	0.069	50.3077	37.12
	90	0.067	48.7692	39.04
	120	0.065	47.2308	40.96
150	0.065	47.2308	40.96	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.28 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้น 100 mg/L โดยใช้เปลือกสับปรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	0	0.338	66.4598	33.54
	1	0.217	42.6680	57.33
	3	0.187	36.7692	63.23
	5	0.162	31.8535	68.15
	7	0.144	28.3143	71.69
	10	0.139	27.3311	72.67
	15	0.134	26.3480	73.65
	20	0.129	25.3649	74.64
	25	0.126	24.7750	75.23
	30	0.115	22.6121	77.39
	40	0.112	22.0222	77.98
	50	0.112	22.0222	77.98
	60	0.108	21.2357	78.77
	90	0.106	20.8424	79.16
	120	0.102	20.0559	79.94
150	0.101	19.8593	80.31	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไตรเร็กต์เรด 83	0	0.111	82.6154	17.69
	1	0.111	82.6154	22.82
	3	0.098	72.6154	22.82
	5	0.097	71.8462	23.46
	7	0.092	68.0000	23.46
	10	0.092	68.0000	23.46
	15	0.092	68.0000	23.46
	20	0.090	66.4615	26.03
	25	0.089	65.6923	26.67
	30	0.085	62.6154	26.67
	40	0.085	62.6154	28.59
	50	0.085	62.6154	29.23
	60	0.079	58.0000	36.28
	90	0.079	58.0000	36.28
	120	0.079	58.0000	36.28
150	0.079	58.0000	36.28	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.29 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้น 120 mg/L โดยใช้เปลือกสับปรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสีกเรต 9	0	0.287	56.4319	52.97
	1	0.246	48.3702	59.69
	3	0.201	39.5220	67.07
	5	0.196	38.5388	67.88
	7	0.170	33.4265	72.14
	10	0.155	30.4771	74.60
	15	0.155	30.4771	74.60
	20	0.155	30.4771	74.60
	25	0.149	29.2974	75.59
	30	0.142	27.9210	76.73
	40	0.138	27.1345	77.39
	50	0.125	24.5783	79.52
	60	0.122	23.9885	80.01
	90	0.114	22.4154	81.32
	120	0.116	22.8087	80.99
150	0.106	20.8424	82.63	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไตรีกต์เรด 83	0	0.132	98.7692	17369
	1	0.124	92.6154	22.82
	3	0.124	92.6154	22.82
	5	0.123	91.8462	23.46
	7	0.123	91.8462	23.46
	10	0.123	91.8462	23.46
	15	0.123	91.8462	23.46
	20	0.119	88.7692	26.02
	25	0.118	88.0000	26.67
	30	0.118	88.0000	26.67
	40	0.115	85.6920	28.59
	50	0.114	84.9230	29.23
	60	0.103	76.4620	36.28
	90	0.103	76.4620	36.28
120	0.103	76.4620	36.28	
150	0.103	76.4620	36.28	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.30 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เปลือกสับประรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสิกเรด 9	0	0.383	81.827	18.17
	1	0.238	50.848	49.15
	3	0.176	37.602	62.40
	5	0.163	34.825	65.18
	7	0.147	31.406	68.60
	10	0.128	27.347	72.65
	15	0.128	27.347	72.65
	20	0.115	24.569	75.43
	25	0.109	23.288	76.71
	30	0.102	21.792	78.21
	40	0.102	21.792	78.21
	50	0.100	21.365	78.64
	60	0.097	20.724	79.28
	90	0.097	20.724	79.28
	120	0.0297	20.724	79.28
150	0.096	20.51	79.49	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไต่เร็กซ์เรด 83	0	0.127	94.6154	5.38
	1	0.116	86.1538	13.85
	3	0.116	86.1538	13.85
	5	0.115	86.1538	14.62
	7	0.110	85.3846	18.46
	10	0.108	81.5385	20.00
	15	0.103	80.0000	23.85
	20	0.101	76.1538	25.39
	25	0.099	74.6153	26.92
	30	0.095	73.0769	30.00
	40	0.095	70.0000	30.00
	50	0.093	70.0000	31.54
	60	0.092	68.4615	32.31
	90	0.089	67.6923	34.62
120	0.089	65.3846	34.62	
150	0.089	65.3846	34.62	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.31 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่อุณหภูมิ 40 °C โดยใช้เปลือกส้มปصرةที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสีกเรต 9	0	0.372	74.27	25.73
	1	0.254	50.71	49.29
	3	0.163	32.54	67.46
	5	0.150	29.95	70.05
	7	0.140	27.95	72.05
	10	0.136	27.15	72.85
	15	0.118	23.56	76.44
	20	0.117	23.36	76.64
	25	0.13	22.56	77.44
	30	0.109	21.76	78.24
	40	0.106	21.16	78.84
	50	0.104	20.76	79.24
	60	0.102	20.36	79.64
	90	0.102	20.36	79.64
	120	0.101	20.16	79.84
150	0.101	20.16	79.84	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไดเร็กซ์เรด 83	0	0.127	94.6154	5.38
	1	0.113	83.8462	16.15
	3	0.111	82.3077	17.69
	5	0.108	80.0000	20.00
	7	0.107	79.2308	20.77
	10	0.106	78.4615	21.54
	15	0.103	76.1538	23.85
	20	0.100	73.8462	26.15
	25	0.099	73.0769	26.92
	30	0.096	70.7692	29.23
	40	0.094	69.2308	30.77
	50	0.092	67.6923	32.31
	60	0.088	64.6154	35.38
	90	0.086	63.0769	36.92
120	0.086	63.0769	36.92	
150	0.086	63.0769	36.92	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.32 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่อุณหภูมิ 50°C โดยใช้เปลือกสับประรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสีกเรต 9	0	0.291	62.17	37.83
	1	0.197	42.09	57.91
	3	0.159	33.97	66.03
	5	0.132	28.20	71.8
	7	0.124	26.49	73.51
	10	0.124	26.49	73.51
	15	0.109	23.29	76.71
	20	0.105	22.43	77.57
	25	0.098	20.94	79.06
	30	0.096	20.51	79.49
	40	0.095	20.30	79.70
	50	0.090	19.23	80.77
	60	0.090	19.23	80.77
	90	0.090	19.23	80.77
	120	0.088	18.8	81.20
150	0.086	18.37	81.63	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไโดเร็กซ์เรด 83	0	0.127	94.6154	5.38
	1	0.113	83.8462	16.15
	3	0.110	81.5385	18.46
	5	0.110	81.5385	18.46
	7	0.108	80.0000	20.00
	10	0.106	78.4615	21.54
	15	0.097	71.5385	28.46
	20	0.095	70.0000	30.00
	25	0.091	66.9231	33.08
	30	0.088	64.6154	35.38
	40	0.088	62.3077	35.38
	50	0.085	62.3077	37.69
	60	0.085	53.8462	37.69
	90	0.074	53.8462	46.15
120	0.074	53.8462	46.15	
150	0.074	53.8462	46.15	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.33 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมที่อุณหภูมิ 60°C โดยใช้เปลือกสับประรดที่ปรับปรุงด้วย CaCl_2

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เบสีกเรต 9	0	0.179	35.74	64.26
	1	0.143	28.55	71.45
	3	0.132	26.35	73.65
	5	0.130	25.95	74.05
	7	0.130	25.95	74.05
	10	0.129	25.75	74.25
	15	0.114	22.76	77.24
	20	0.110	21.96	78.04
	25	0.108	21.56	78.44
	30	0.101	20.16	79.84
	40	0.096	19.17	80.84
	50	0.092	18.37	81.63
	60	0.090	17.97	82.03
	90	0.090	17.97	82.03
	120	0.090	17.97	82.03
150	0.089	17.77	82.23	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสีย้อม	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีย้อม (mg/L)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
ไดเร็กซ์เรด 83	0	0.125	93.0769	6.92
	1	0.108	80.0000	20.00
	3	0.106	78.4615	21.54
	5	0.100	73.8462	26.15
	7	0.098	72.3077	27.69
	10	0.098	72.3077	27.69
	15	0.096	70.7692	29.23
	20	0.091	66.9231	33.08
	25	0.090	66.1538	33.85
	30	0.087	63.8462	36.15
	40	0.085	62.3077	37.69
	50	0.082	60.0000	40.00
	60	0.082	60.0000	40.00
	90	0.074	53.8462	46.15
120	0.074	53.8462	46.15	
150	0.074	53.8462	46.15	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

การคำนวณไอโซเทอร์ม จลนศาสตร์ และเทอร์โมไดนามิกส์

การคำนวณไอโซเทอร์ม

การคำนวณหาความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับโดยใช้สมการ

$$q = \frac{V (C_0 - C_e)}{W}$$

เมื่อ q_t = The amount of adsorbed dye per unit mass of adsorbent at time t (mg/g)

q_e = The amount of adsorbed dye per unit mass of adsorbent at equilibrium (mg/g)

C_t = The dye concentration in solution at time t (mg/L)

C_0 = The initial dye concentrations in solution at equilibrium (mg/L)

C_e = The dye concentrations in solution at equilibrium (mg/L)

V = The volume of the solution (L)

W = The mass of dry adsorbent (g)

Langmuir isotherm สามารถเขียนสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m C_e}$$

เมื่อ q_m = The maximum adsorption capacity (mg/g)

K_L = Langmuir constant (L/mg)

Freundlich isotherm สามารถเขียนสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

เมื่อ K_f = Freundlich constant related to the adsorption capacity (L/g)

$1/n$ = The value related to the adsorption intensity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Temkin isotherm สามารถเขียนสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$q_e = \frac{RT}{b_0} \ln A + \frac{RT}{b_0} \ln C_e$$

เมื่อ A = Temkin isotherm constants (L/g)

b_0 = Temkin constant related to heat of sorption (J/mol)

R = The gas constant (8.314 J/mol.K)

T = The absolute temperature (K)

The Dubinin – Radushkevich (D-R) isotherm สามารถเขียนสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\ln q_e = \ln q_D - K_{DR} [RT \ln(1 + 1/C_e)]^2$$

เมื่อ q_D = The adsorption capacity (mg/g)

K_{DR} = A constant related to mean free energy of adsorption per mole of the adsorbate (mol^2/KJ^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.1 ผลการศึกษาไอโซเทอมของน้ำเสียสังเคราะห์เบสิเกรด 9

W (g)	V (L)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	1/C _e	1/q _e	log C _e	log q _e	ln C _e	ln q _e	(1+1C _e)	(RTln(1+1C _e)) ²
1.25	0.50	100	46.2746	21.4902	0.0216	0.0465	1.6653	1.3322	3.8346	3.0676	47.27	94450266.69
2.50	0.50	100	31.5278	13.6944	0.0317	0.0730	1.4987	1.1365	3.4509	2.6170	32.53	77022292.98
3.75	0.50	100	27.0158	9.7312	0.0370	0.1028	1.4316	0.9882	3.2964	2.2753	28.02	70557878.93
5.00	0.50	100	25.2013	7.4799	0.0397	0.1337	1.4014	0.8739	3.2269	2.0122	26.20	67751163.21
6.25	0.50	100	21.9254	6.2460	0.0456	0.1601	1.3409	0.7956	3.0876	1.8319	22.93	62322772.34
7.50	0.50	100	21.3107	5.2460	0.0469	0.1906	1.3286	0.7198	3.0592	1.6575	22.31	61245892.04

ตาราง ง.2 ผลการศึกษาไอโซเทอมของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮโดเรกต์เกรด 83

W (g)	V (L)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	1/C _e	1/q _e	log C _e	log q _e	ln C _e	ln q _e	(1+1C _e)	(RTln(1+1C _e)) ²
1.25	0.50	100	86.7964	5.2814	0.0115	0.1893	1.9385	0.7228	4.4636	1.6642	87.7964	127211168.9254
2.50	0.50	100	83.6402	3.2720	0.0120	0.3056	1.9224	0.5148	4.4265	1.1854	84.6402	125138196.1359
3.75	0.50	100	82.4734	2.3369	0.0121	0.4279	1.9163	0.3686	4.4125	0.8488	83.4734	124356670.1800
5.00	0.50	100	73.9460	2.6054	0.0135	0.3838	1.8689	0.4159	4.3033	0.9576	74.9460	118372977.9227
6.25	0.50	100	69.2769	2.4578	0.0144	0.4069	1.8406	0.3906	4.2381	0.8993	70.2769	114871480.5921
7.50	0.50	100	67.7200	2.1520	0.0148	0.4647	1.8307	0.3328	4.2154	0.7664	68.7200	113664328.5629

การคำนวณจลนศาสตร์

การคำนวณค่าความสามารถและค่าคงที่อัตราเร็วการดูดซับเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียที่ย้อมสีสังเคราะห์เบสิกเรด 9 และสีย้อมไตรเร็กเรด 83

The pseudo first – order kinetic สามารถเขียนสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303}$$

เมื่อ k_1 = The rate constant for pseudo-first order adsorption (1/min)

The pseudo second – order kinetic สามารถเขียนสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

เมื่อ k_2 = The rate constant for pseudo-second order adsorption (g/(mg.min))

Elovich model สามารถเขียนสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$$

เมื่อ α = The initial adsorption rate (mg/g.min)

β = The constant related to the extent or surface coverage and the activation energy for chemisorptions (g/mg)

The intraparticle diffusion model สามารถเขียนสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$q_t = K_{id}(t)^{1/2} + C$$

เมื่อ K_{id} = The intraparticle diffusion rate constant (mg/g.min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.3 ผลการศึกษาจลนศาสตร์ความเข้มข้นน้ำเสียที่ย้อมสีครามที่เบสีกเรต 9

เวลา (min)	C_t (mg/L)				q_t (mg/g)			
	60ppm	80ppm	100ppm	120ppm	60ppm	80ppm	100ppm	120ppm
0	46.01	57.02	66.45	56.4319	0.9326	1.5319	2.2360	4.2379
1	33.03	35.19	42.66	48.3702	1.7978	2.9869	3.8221	4.7753
3	25.95	31.65	36.76	39.522	2.2697	3.2229	4.2154	5.3652
5	22.41	25.95	31.85	38.5388	2.5056	3.6030	4.5431	5.4307
7	22.808	25.364	28.3143	33.4265	2.4794	3.6423	4.7790	5.7716
10	20.055	24.775	27.33	30.47	2.6629	3.6817	4.8446	5.9682
15	19.662	23.988	26.348	30.4771	2.6892	3.7341	4.9101	5.9682
20	19.072	21.235	25.3649	30.4771	2.7285	3.9176	4.9757	5.9682
25	18.089	21.039	24.775	29.2974	2.7940	3.9307	5.0150	6.0468
30	18.089	19.859	22.6121	27.921	2.7940	4.0094	5.1592	6.1386
40	18.482	19.466	22.0222	27.1345	2.7678	4.0356	5.1985	6.1910
50	18.679	19.072	22.0222	24.5783	2.7547	4.0618	5.1985	6.3614
60	17.106	19.072	21.2357	23.9885	2.8596	4.0618	5.2510	6.4008
90	16.909	19.269	20.8424	22.4154	2.8727	4.0487	5.2772	6.5056
120	16.909	19.072	20.0559	22.8087	2.8727	4.0618	5.3296	6.4794
150	16.516	18.286	19.8593	20.8424	2.8989	4.1142	5.3427	6.6105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	60 ppm	80 ppm	100 ppm	120 ppm
C_e (mg/L)	17.1065	19.0728	21.2357	23.9885
q_e (mg/g)	2.8596	4.0618	5.2510	6.4007

The pseudo first - order kinetic				
เวลา (min)	$\log (q_e - q_t)$			
	60ppm	80ppm	100 ppm	120 ppm
0	0.28487	0.403109	0.479279	0.335035
1	0.026037	0.031365	0.154978	0.210973
3	-0.22924	-0.07627	0.015178	0.015178
5	-0.45109	-0.33838	-0.15006	-0.01322
7	-0.42005	-0.3773	-0.32614	-0.20121
10	-0.70636	-0.42005	-0.39109	-0.36394
15	-0.7685	-0.48451	-0.46747	-0.36394
20	-0.88244	-0.84105	-0.56023	-0.36394
25	-1.18345	-0.88244	-0.62717	-0.45109
30	-1.18345	-1.28039	-1.03735	-0.58142
40	-1.03735	-1.58148	-1.28039	-0.67833
50	-0.97936	-	-1.28039	-1.40539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The pseudo second - order kinetic				
เวลา (min)	t/q _t			
	60ppm	80ppm	100ppm	120ppm
0	0	0	0	0
1	0.5562	0.3348	0.2616	0.2094
3	1.3218	0.9308	0.7117	0.5592
5	1.9955	1.3877	1.1006	0.9207
7	2.8232	1.9218	1.4647	1.2128
10	3.7552	2.7162	2.0642	1.6755
15	5.5780	4.0170	3.0549	2.5133
20	7.3301	5.1051	4.0196	3.3511
25	8.9477	6.3601	4.9850	4.1344
30	10.7372	7.4825	5.8149	4.8871
40	14.4519	9.9118	7.6945	6.4610
50	18.1508	12.3098	9.6181	7.8598
60	20.9822	14.7717	11.4265	9.3739
90	31.3297	22.2293	17.0546	13.8342
120	41.7729	29.5435	22.5157	18.5202
150	51.7439	36.4587	28.0756	22.6912

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elovich model				
ln t	q _t (mg/g)			
	60ppm	80ppm	100ppm	120ppm
0	1.7978	2.9869	3.8221	4.7753
1.0986	2.2697	3.2229	4.2154	5.3652
1.6094	2.5056	3.6030	4.5431	5.4307
1.9459	2.4794	3.6423	4.7790	5.7716
2.3026	2.6629	3.6817	4.8446	5.9682
2.7081	2.6892	3.7341	4.9101	5.9682
2.9957	2.7285	3.9176	4.9757	5.9682
3.2189	2.7940	3.9307	5.0150	6.0468
3.4012	2.7940	4.0094	5.1592	6.1386
3.6889	2.7678	4.0356	5.1985	6.1910
3.9120	2.7547	4.0618	5.1985	6.3614
4.0943	2.8596	4.0618	5.2510	6.4008
4.4998	2.8727	4.0487	5.2772	6.5056
4.7875	2.8727	4.0618	5.3296	6.4794
5.0106	2.8989	4.1142	5.3427	6.6105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The intraparticle diffusion model				
$t^{0.5}$	q_t (mg/g)			
	60ppm	80ppm	100ppm	120ppm
0	0.93	1.53	2.24	4.24
1.0000	1.80	2.99	3.82	4.78
1.7321	2.27	3.22	4.22	5.37
2.2361	2.51	3.60	4.54	5.43
2.6458	2.48	3.64	4.78	5.77
3.1623	2.66	3.68	4.84	5.97
3.8730	2.69	3.73	4.91	5.97
4.4721	2.73	3.92	4.98	5.97
5.0000	2.79	3.93	5.02	6.05
5.4772	2.79	4.01	5.16	6.14
6.3246	2.77	4.04	5.20	6.19
7.0711	2.75	4.06	5.20	6.36
7.7460	2.86	4.06	5.25	6.40
9.4868	2.87	4.05	5.28	6.51
10.9545	2.87	4.06	5.33	6.48
12.2474	2.90	4.11	5.34	6.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.4 ผลการศึกษาจลนศาสตร์ของความเข้มข้นน้ำเสียที่ย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์ 83

เวลา (min)	C_t				q_t			
	60 ppm	80 ppm	100 ppm	120 ppm	60 ppm	80 ppm	100 ppm	120 ppm
0	53.384	64.153	82.6154	98.769	0.4410	1.0564	1.1590	1.4154
1	47.230	63.384	82.6154	92.615	0.8513	1.1077	1.1590	1.8256
3	45.692	61.846	72.6154	92.615	0.9538	1.2103	1.8256	1.8256
5	44.923	61.846	71.8462	91.846	1.0051	1.2103	1.8769	1.8769
7	44.923	60.307	68.0000	91.846	1.0051	1.3128	2.1333	1.8769
10	44.153	57.230	68.0000	91.846	1.0564	1.5179	2.1333	1.8769
15	44.153	55.692	68.0000	91.846	1.0564	1.6205	2.1333	1.8769
20	42.615	54.153	66.4615	88.769	1.1590	1.7231	2.2359	2.0821
25	42.615	54.153	65.6923	88.000	1.1590	1.7231	2.2872	2.1333
30	38.769	54.153	62.6154	88.000	1.4154	1.7231	2.4923	2.1333
40	38.769	52.615	62.6154	85.692	1.4154	1.8256	2.4923	2.2872
50	37.230	52.615	62.6154	84.923	1.5179	1.8256	2.4923	2.3385
60	36.461	50.307	58.0000	76.461	1.5692	1.9795	2.8000	2.9026
90	31.846	48.769	58.0000	76.461	1.8769	2.0821	2.8000	2.9026
120	28.769	47.230	58.0000	76.461	2.0821	2.1846	2.8000	2.9026
150	29.538	47.230	58.0000	76.461	2.0308	2.1846	2.8000	2.9026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	60 ppm	80 ppm	100 ppm	120 ppm
C_e (mg/L)	31.8462	48.7692	58.0000	76.4615
q_e (mg/g)	1.87692	2.0821	2.8000	2.9026

The pseudo first - order kinetic				
เวลา (min)	$\log (q_e - q_t)$			
	60 ppm	80 ppm	100 ppm	120 ppm
0	0.1571	0.0110	0.2151	0.1724
1	0.0110	-0.0113	0.2151	0.0322
3	-0.0348	-0.0596	-0.0113	0.0322
5	-0.0596	-0.0596	-0.0348	0.0110
7	-0.0596	-0.1139	-0.1761	0.0110
10	-0.0859	-0.2486	-0.1761	0.0110
15	-0.0859	-0.3358	-0.1761	0.0110
20	-0.1439	-0.4449	-0.2486	-0.0859
25	-0.1439	-0.4449	-0.2900	-0.1139
30	-0.3358	-0.4449	-0.5119	-0.1139
40	-0.3358	-0.5911	-0.5119	-0.2109
50	-0.4449	-0.5911	-0.5119	-0.2486
60	-0.5119	-0.9890	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The pseudo second - order kinetic				
เวลา (min)	t/q _t			
	60ppm	80ppm	100ppm	120ppm
0	0	0	0	0
1	1.1747	0.9028	0.8628	0.5478
3	3.1451	2.4788	1.6433	1.6433
5	4.9744	4.1314	2.6639	2.6639
7	6.9642	5.3320	3.2813	3.7295
10	9.4659	6.5878	4.6875	5.3279
15	14.1989	9.2563	7.0313	7.9918
20	17.2566	11.6071	8.9449	9.6059
25	21.5708	14.5089	10.9305	11.7188
30	21.1956	17.4106	12.0370	14.0625
40	28.2608	21.9101	16.0494	17.4888
50	32.9392	27.3876	20.0617	21.3816
60	38.2352	30.3108	21.4286	20.6714
90	47.9509	43.2265	32.1429	31.0070
120	57.6354	54.9296	42.8571	41.3427
150	73.8637	68.6620	53.5714	51.6784

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elovich model				
ln t	q _t (mg/g)			
	60ppm	80ppm	100ppm	120ppm
0	0.8513	1.1077	1.1590	1.8256
1.0986	0.9538	1.2103	1.8256	1.8256
1.6094	1.0051	1.2103	1.8769	1.8769
1.9459	1.0051	1.3128	2.1333	1.8769
2.3026	1.0564	1.5179	2.1333	1.8769
2.7081	1.0564	1.6205	2.1333	1.8769
2.9957	1.1590	1.7231	2.2359	2.0821
3.2189	1.1590	1.7231	2.2872	2.1333
3.4012	1.4154	1.7231	2.4923	2.1333
3.6889	1.4154	1.8256	2.4923	2.2872
3.9120	1.5179	1.8256	2.4923	2.3385
4.0943	1.5692	1.9795	2.8000	2.9026
4.4998	1.8769	2.0821	2.8000	2.9026
4.7875	2.0821	2.1846	2.8000	2.9026
5.0106	2.0308	2.1846	2.8000	2.9026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The intraparticle diffusion model				
$t^{0.5}$	q_t (mg/g)			
	60ppm	80ppm	100ppm	120ppm
0	0.4410	1.0564	1.1590	1.4154
1.0000	0.8513	1.1077	1.1590	1.8256
1.7321	0.9538	1.2103	1.8256	1.8256
2.2361	1.0051	1.2103	1.8769	1.8769
2.6458	1.0051	1.3128	2.1333	1.8769
3.1623	1.0564	1.5179	2.1333	1.8769
3.8730	1.0564	1.6205	2.1333	1.8769
4.4721	1.1590	1.7231	2.2359	2.0821
5.0000	1.1590	1.7231	2.2872	2.1333
5.4772	1.4154	1.7231	2.4923	2.1333
6.3246	1.4154	1.8256	2.4923	2.2872
7.0711	1.5179	1.8256	2.4923	2.3385
7.7460	1.5692	1.9795	2.8000	2.9026
9.4868	1.8769	2.0821	2.8000	2.9026
10.9545	2.0821	2.1846	2.8000	2.9026
12.2474	2.0308	2.1846	2.8000	2.9026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าความสามารถและค่าคงที่อัตราเร็วการดูดซับเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำเสียที่ย้อมสีครามเบสิกเรด 9 และไดเร็กเรด 83

ตาราง ง.5 ผลการศึกษาจลนศาสตร์อุณหภูมิน้ำเสียที่ย้อมสีครามเบสิกเรด 9

เวลา (min)	C_t (mg/L)				q_t (mg/g)			
	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	81.8269	74.2688	62.1714	35.7369	1.2115	1.7154	2.5219	4.2842
1	50.8481	50.7104	42.0885	28.5496	3.2768	3.2860	3.8608	4.7634
3	37.6019	32.5425	33.9699	26.3534	4.1599	4.4972	4.4020	4.9098
5	34.8245	29.9471	28.2014	25.9541	4.3450	4.6702	4.7866	4.9364
7	31.4062	27.9506	26.4923	25.9541	4.5729	4.8033	4.9005	4.9364
10	27.3469	27.152	26.4923	25.7545	4.8435	4.8565	4.9005	4.9497
15	27.3469	23.5584	23.2876	22.7598	4.8435	5.0961	5.1142	5.1493
20	24.5694	23.3587	22.433	21.9612	5.0287	5.1094	5.1711	5.2026
25	23.2876	22.5601	20.9374	21.5619	5.1142	5.1627	5.2708	5.2292
30	21.792	21.7616	20.5101	20.1644	5.2139	5.2159	5.2993	5.3224
40	21.792	21.1626	20.2965	19.1661	5.2139	5.2558	5.3136	5.3889
50	21.3647	20.7633	19.2283	18.3676	5.2424	5.2824	5.3848	5.4422
60	20.7238	20.364	19.2283	17.9683	5.2851	5.3091	5.3848	5.4688
90	20.7238	20.364	19.2283	17.9683	5.2851	5.3091	5.3848	5.4688
120	20.7238	20.1644	18.801	17.9683	5.2851	5.3224	5.4133	5.4688
150	20.5101	20.1644	18.3737	17.7686	5.2993	5.3224	5.4418	5.4821

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
C_e (mg/L)	20.7238	20.364	19.2283	17.9683
q_e (mg/g)	5.2851	5.3091	5.3848	5.4688

The pseudo first - order kinetic				
เวลา (min)	$\log (q_e - q_t)$			
	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	0.6100	0.5555	0.4568	0.0736
1	-0.3028	0.3060	0.1830	-0.1516
3	0.0512	-0.0905	-0.0075	-0.2526
5	-0.0269	-0.1946	-0.2231	-0.2738
7	-0.1474	-0.2960	-0.3149	-0.2738
10	-0.3550	-0.3443	-0.3149	-0.2848
15	-0.3550	-0.6717	-0.5676	-0.4956
20	-0.5911	-0.6997	-0.6703	-0.5748
25	-0.7672	-0.8344	-0.9433	-0.6206
30	-1.1474	-1.0307	-1.0683	-0.8344
40	-1.1474	-1.2738	-1.1474	-1.0977
50	-1.3693	-1.5748	-	-1.5748

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The pseudo second – order kinetic				
เวลา (min)	t/q _t			
	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	0	0	0	0
1	0.3052	0.3043	0.2590	0.2099
3	0.7212	0.6671	0.6815	0.6110
5	1.1507	1.0706	1.0446	1.0129
7	1.5308	1.4573	1.4284	1.4180
10	2.0646	2.0591	2.0406	2.0203
15	3.0969	2.9434	2.9330	2.9130
20	3.9772	3.9143	3.8676	3.8442
25	4.8884	4.8425	4.7431	4.7808
30	5.7539	5.7517	5.6611	5.6366
40	7.6718	7.6106	7.5279	7.4226
50	9.5377	9.4653	9.2854	9.1875
60	11.3527	11.3014	11.1425	10.9714
90	17.0291	16.9521	16.7138	16.4571
120	22.7054	22.5463	22.1678	21.9427
150	28.3055	28.1829	27.5646	27.3618

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elovich model				
ln t	q _t (mg/g)			
	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	3.2768	3.2860	3.8608	4.7634
1.0986	4.1599	4.4972	4.4020	4.9098
1.6094	4.3450	4.6702	4.7866	4.9364
1.9459	4.5729	4.8033	4.9005	4.9364
2.3026	4.8435	4.8565	4.9005	4.9497
2.7081	4.8435	5.0961	5.1142	5.1493
2.9957	5.0287	5.1094	5.1711	5.2026
3.2189	5.1142	5.1627	5.2708	5.2292
3.4012	5.2139	5.2159	5.2993	5.3224
3.6889	5.2139	5.2558	5.3136	5.3889
3.9120	5.2424	5.2824	5.3848	5.4422
4.0943	5.2851	5.3091	5.3848	5.4688
4.4998	5.2851	5.3091	5.3848	5.4688
4.7875	5.2851	5.3224	5.4133	5.4688
5.0106	5.2993	5.3224	5.4418	5.4821

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The intraparticle diffusion model				
$t^{0.5}$	q_t (mg/g)			
	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	1.2115	1.7154	2.5219	4.2842
1.0000	3.2768	3.2860	3.8608	4.7634
1.7321	4.1599	4.4972	4.4020	4.9098
2.2361	4.3450	4.6702	4.7866	4.9364
2.6458	4.5729	4.8033	4.9005	4.9364
3.1623	4.8435	4.8565	4.9005	4.9497
3.8730	4.8435	5.0961	5.1142	5.1493
4.4721	5.0287	5.1094	5.1711	5.2026
5.0000	5.1142	5.1627	5.2708	5.2292
5.4772	5.2139	5.2159	5.2993	5.3224
6.3246	5.2139	5.2558	5.3136	5.3889
7.0711	5.2424	5.2824	5.3848	5.4422
7.7460	5.2851	5.3091	5.3848	5.4688
9.4868	5.2851	5.3091	5.3848	5.4688
10.9545	5.2851	5.3224	5.4133	5.4688
12.2474	5.2993	5.3224	5.4418	5.4821

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.6 ผลการศึกษาจลนศาสตร์อุณหภูมิน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ไคเร็กซ์เรด 83

เวลา (min)	C_t				q_t			
	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	94.615	94.615	94.6154	93.076	0.3590	0.3590	0.3590	0.4615
1	86.158	83.846	83.8462	80.000	0.9231	1.0769	1.0769	1.3333
3	86.153	82.307	81.5385	78.461	0.9231	1.1795	1.2308	1.4359
5	85.384	80.000	81.5385	73.846	0.9744	1.3333	1.2308	1.7436
7	81.538	79.230	80.0000	72.307	1.2308	1.3846	1.3333	1.8462
10	80.000	78.461	78.4615	72.307	1.3333	1.4359	1.4359	1.8462
15	76.153	76.153	71.5385	70.769	1.5897	1.5897	1.8974	1.9487
20	74.615	73.846	70.0000	66.923	1.6923	1.7436	2.0000	2.2051
25	73.076	73.076	66.9231	66.153	1.7949	1.7949	2.2051	2.2564
30	70.000	70.769	64.6154	63.846	2.0000	1.9487	2.3590	2.4103
40	70.000	69.230	64.6154	62.307	2.0000	2.0513	2.3590	2.5128
50	68.461	67.692	62.3077	60.000	2.1026	2.1538	2.5128	2.6667
60	67.692	64.615	62.3077	60.000	2.1538	2.3590	2.5128	2.6667
90	65.384	63.076	53.8462	53.846	2.3077	2.4615	3.0769	3.0769
120	65.384	63.076	53.8462	53.846	2.3077	2.4615	3.0769	3.0769
150	65.384	63.076	53.8462	53.846	2.3077	2.4615	3.0769	3.0769

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
C_e (mg/L)	65.3846	63.0769	53.8462	53.8462
q_e (mg/g)	2.3077	2.4615	3.0769	3.0769

The pseudo first – order kinetic				
เวลา (min)	$\log (q_e - q_t)$			
	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	0.2897	0.3227	0.4342	0.4175
1	0.1413	0.1413	0.3010	0.2414
3	0.1413	0.1079	0.2663	0.2151
5	0.1249	0.0524	0.2663	0.1249
7	0.0322	0.0322	0.2414	0.0902
10	-0.0113	0.0110	0.2151	0.0902
15	-0.1439	-0.0596	0.0717	0.0524
20	-0.2109	-0.1439	0.0322	-0.0596
25	-0.2900	-0.1761	-0.0596	-0.0859
30	-0.5119	-0.2900	-0.1439	-0.1761
40	-0.5119	-0.3869	-0.1439	-0.2486
50	-0.6880	-0.5119	-0.2486	-0.3869
60	-0.8129	-0.9890	-0.2486	-0.3869

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The pseudo second – order kinetic				
เวลา (min)	t/q _t			
	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	1.0833	0.9286	0.9286	0.7500
3	3.2500	2.5435	2.4375	2.0893
5	5.1316	3.7500	4.0625	2.8676
7	5.6875	5.0556	5.2500	3.7917
10	7.5000	6.9643	6.9643	5.4167
15	9.4355	9.4355	7.9054	7.6974
20	11.8181	11.4706	10.0000	9.0698
25	13.9286	13.9286	11.3372	11.0795
30	15.0000	15.3947	12.7174	12.4468
40	20.0000	19.5000	16.9565	15.9184
50	23.7805	23.2143	19.8980	18.7500
60	27.8571	25.4348	23.8776	22.5000
90	39.0000	36.5625	29.2500	29.2500
120	52.0000	48.7500	39.0000	39.0000
150	65.0000	60.9375	48.7500	48.7500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elovich model				
ln t	q _t (mg/g)			
	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	0.9231	1.0769	1.0769	1.3333
1.0986	0.9231	1.1795	1.2308	1.4359
1.6094	0.9744	1.3333	1.2308	1.7436
1.9459	1.2308	1.3846	1.3333	1.8462
2.3026	1.3333	1.4359	1.4359	1.8462
2.7081	1.5897	1.5897	1.8974	1.9487
2.9957	1.6923	1.7436	2.0000	2.2051
3.2189	1.7949	1.7949	2.2051	2.2564
3.4012	2.0000	1.9487	2.3590	2.4103
3.6889	2.0000	2.0513	2.3590	2.5128
3.9120	2.1026	2.1538	2.5128	2.6667
4.0943	2.1538	2.3590	2.5128	2.6667
4.4998	2.3077	2.4615	3.0769	3.0769
4.7875	2.3077	2.4615	3.0769	3.0769
5.0106	2.3077	2.4615	3.0769	3.0769

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The intraparticle diffusion model				
$t^{0.5}$	q_t (mg/g)			
	33.5 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	0.3590	0.3590	0.3590	0.4615
1.0000	0.9231	1.0769	1.0769	1.3333
1.7321	0.9231	1.1795	1.2308	1.4359
2.2361	0.9744	1.3333	1.2308	1.7436
2.6458	1.2308	1.3846	1.3333	1.8462
3.1623	1.3333	1.4359	1.4359	1.8462
3.8730	1.5897	1.5897	1.8974	1.9487
4.4721	1.6923	1.7436	2.0000	2.2051
5.0000	1.7949	1.7949	2.2051	2.2564
5.4772	2.0000	1.9487	2.3590	2.4103
6.3246	2.0000	2.0513	2.3590	2.5128
7.0711	2.1026	2.1538	2.5128	2.6667
7.7460	2.1538	2.3590	2.5128	2.6667
9.4868	2.3077	2.4615	3.0769	3.0769
10.9545	2.3077	2.4615	3.0769	3.0769
12.2474	2.3077	2.4615	3.0769	3.0769

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์

ในการทดลองนี้ มีพารามิเตอร์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของการดูดซับ (ΔH°) การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการดูดซับ (ΔS°) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ (ΔG°) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี เอนโทรปี และพลังงานอิสระของกิบส์ สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$$

$$K_c = q_e / C_e$$

ตาราง ง.7 ผลการศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์น้ำเสียสังเคราะห์เบสิเกรต 9

T (°C)	T (K)	1/T X 100	C _e	q _e	K _c = q _e /C _e	ln K _c
33.5	306.65	0.32561	20.7238	5.2851	0.2550	3.2386
40	313.15	0.3193	20.364	5.3091	0.2607	3.2607
50	323.15	0.3094	19.2283	5.3848	0.2800	3.3322
60	333.15	0.3001	17.9683	5.4688	0.3044	3.1457

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.8 ผลการศึกษาเทอร์โมไดนามิกส่น้ำเสียสังเคราะห์ไคเรกต์เรต 83

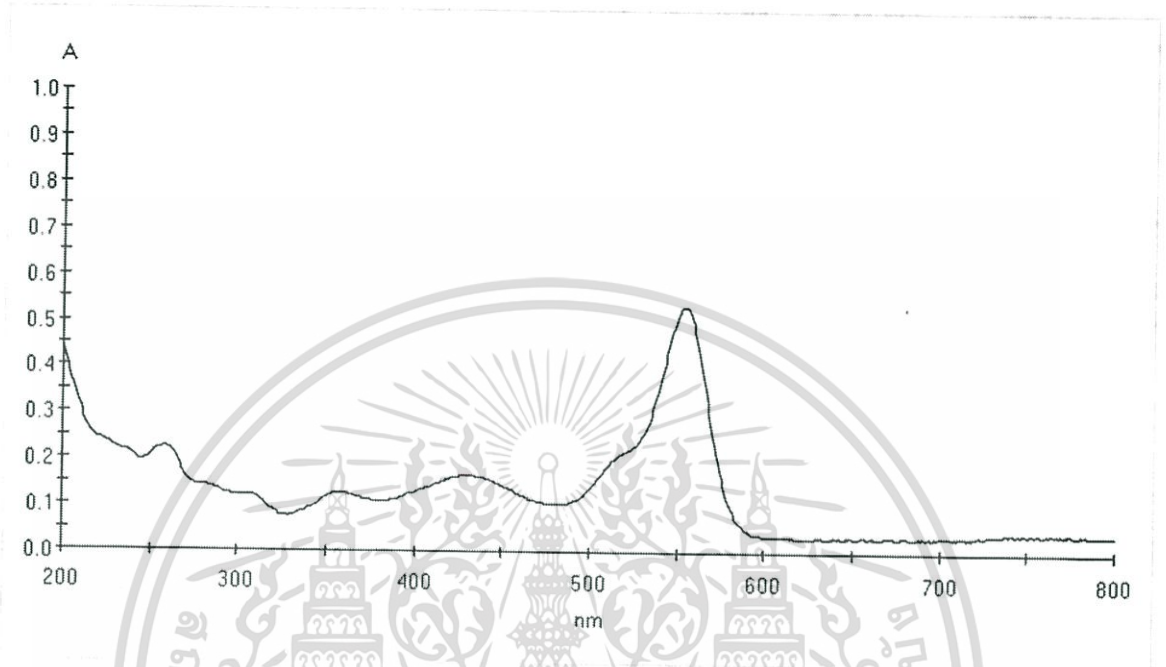
T (°C)	T (K)	1/T X 100	C _e	q _e	K _c = q _e /C _e	ln K _c
33.5	306.65	0.32561	65.3846	2.3077	0.0353	3.5294
40	313.15	0.3193	63.0769	2.4615	0.0390	3.9024
50	323.15	0.3094	53.8462	3.0769	0.0571	5.1742
60	333.15	0.3001	53.8462	3.0769	0.0571	5.1742



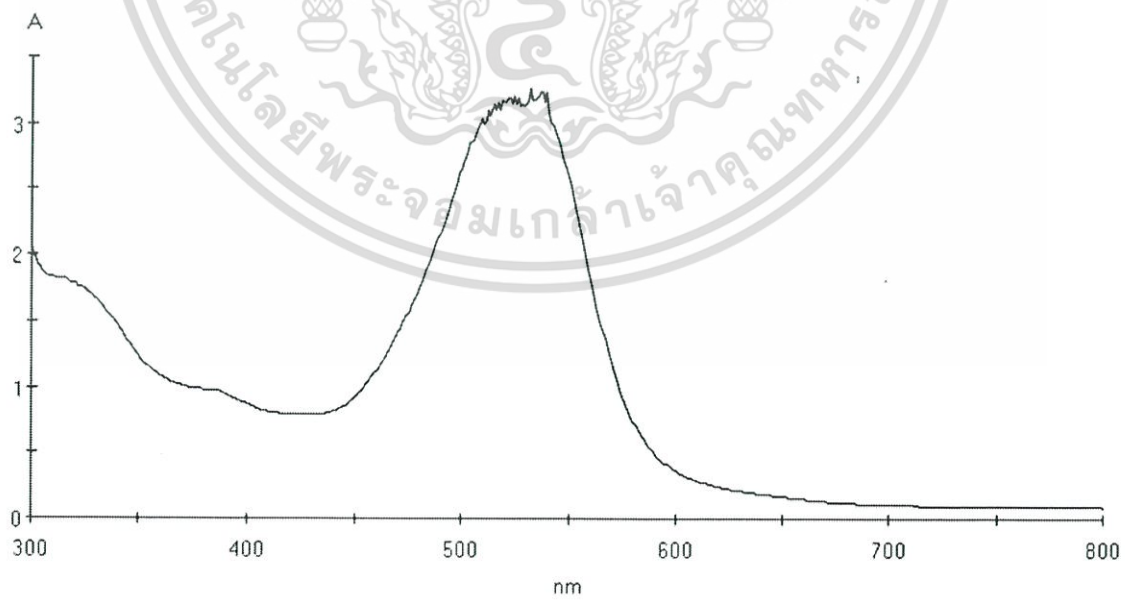
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

รูปที่ จ.1 สแกนความยาวคลื่นสูงสุดของสีย้อมเบสิกเรด 9



รูปที่ จ.2 สแกนความยาวคลื่นสูงสุดของสีย้อมไดเร็กต์เรด 83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้