

การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากระบวนการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรม
ครัวเรือนโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์

นายจักรกฤษณ์ อัมพุก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-533-469-3

**DYE REMOVAL FROM HOUSEHOLD-SCALE DYEING
PROCESS WASTEWATER USING
MONTMORILLONITE CLAYS**

Jagkrit Umpush

A Thesis submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Suranaree University of Technology

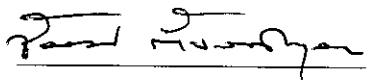
Academic Year 2005

ISBN 974-533-469-3

การกำจัดสื่อมในน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยใช้
แร่ดินมอนต์มอริลไลน์

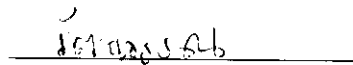
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



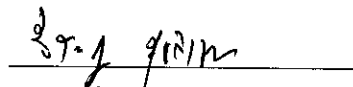
(รศ. ดร.ชัยยศ ตั้งสถิตย์กุลชัย)

ประธานกรรมการ




(ผศ. ดร.รัตนวรรณ เกียรติโกมล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร.ธีระสุด สุขกำเนิด)

กรรมการ



(รศ. ดร.เสาวณี รัตนพานี)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ



(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

จักรกฤษณ์ อัมพพ : การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (DYE REMOVAL FROM HOUSEHOLD-SCALE DYEING PROCESS WASTEWATER USING MONTMORILLONITE CLAYS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัตนวรรณ เกียรติโกมล, 297 หน้า. ISBN 974-533-469-3

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay (แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสาร Tetradecyltrimethylammonium : TDMA) เป็นตัวดูดซับ น้ำเสียจากสีย้อมเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียสีย้อมผ้าตราสิงโตติกลองและสีย้อมผ้าตราใบหม่อน) และน้ำเสียจริง (จากการเก็บตัวอย่าง) เริ่มการวิจัยโดยทำการสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามเกี่ยวกับกระบวนการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนจากกลุ่มชาวบ้านในพื้นที่ จ. นครราชสีมา จากนั้นทำการศึกษาการดูดซับสีย้อมเคมีในระดับห้องปฏิบัติการ แล้วจึงทำการศึกษาการดูดซับในหอดูดซับและถ่วงต่อไป

ผลการดูดซับในระดับห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบทางเคมีของสีย้อมเคมีเป็นสารอินทรีย์ทำให้ 200%CEC TDMA-clay สามารถดูดซับสีย้อมเคมีได้ดีกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ยกเว้น สีม่วง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) และน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่น พฤติกรรมการดูดซับเป็นไปตามไอโซเทอรั่มของ Langmuir, Freundlich และไอโซเทอรั่มเส้นตรง นอกจากนี้ตัวดูดซับทั้งสองชนิดสามารถดูดซับโลหะหนักที่ปะปนอยู่ในน้ำเสียจากสีย้อมเคมีได้บางส่วน สำหรับระบบหอดูดซับชี้ให้เห็นว่ากราฟเบรคทรูมีรูปร่างคล้ายตัวอักษรเอสและประสิทธิภาพการดูดซับของหอดูดซับอยู่ในช่วง 15.47 – 99.77 % เมื่อเทียบกับการดูดซับในระดับห้องปฏิบัติการ ระบบหอดูดซับสามารถลดค่าซีไอดีและค่าความขุ่นของน้ำเสียจากสีย้อมผ้าได้ สำหรับการดูดซับในระบบถ่วงแสดงให้เห็นว่า ตัวดูดซับสามารถลดความเข้มข้นของสีย้อมเคมีได้เมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น จลนพลศาสตร์ของการดูดซับจะเป็นไปตามสมการอันดับสองเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับสีย้อมในระบบถ่วงจะอยู่ในช่วง 18.33 – 99.91 % นอกจากนี้ระบบถ่วงยังสามารถลดค่าซีไอดีในน้ำเสียได้อีกด้วย

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนักศึกษา จักรกฤษณ์ อัมพพ
ลายชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รัตนวรรณ

JAGKRIT UMPUSH : DYE REMOVAL FROM HOUSEHOLD-SCALE
DYEING PROCESS WASTEWATER USING MONTMORILLONITE
CLAYS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. RATAWAN KIATIKOMOL,
Ph.D., 297 PP. ISBN 974-533-469-3

MONTMORILLONITE/200%CEC TDMA-CLAY/DYE/SORPTION

The aim of this research is to decolourize dyeing process wastewater from household-scale industries using natural Montmorillonite and 200%CEC TDMA-clay (Organo-clay). The field data of household-scale dyeing process was collected from several industrial groups in Nakorn Ratchasima. The batch tests were firstly investigated to see the possibility of using Montmorillonite for commercial dye decolourization. The batch results showed that the studied dyes were organic and well adsorbed by TDMA-clay. The sorption data were fitted with Langmuir, Freundlich and linear isotherm. Moreover, the heavy-metals in dye powder were also adsorbed by both natural Montmorillonite and 200%CEC TDMA-clay. Then, decolorization of dyeing process wastewater was further studied in fixed-bed column and stirred tank reactor using the best sorbent selected from the batch test.

The fixed-bed column adsorption results indicated that the breakthrough curves were S-shape and the adsorption efficiency of fixed-bed column with respect to batch test was 15.47 – 99.77 %. The COD values and turbidity of dye wastewater were also decreased by this system. The decolourization in 100 L of 4-baffled stirred tank with turbine impellers shown that dyes uptake increased rapidly in the beginning and then more slowly until the equilibrium. The kinetic data conformed to the pseudo-second

second kinetic with good correlation. The adsorption efficiency of mixing tank adsorption system values was 18.33 – 99.91 %. It is noteworthy that not only dye content, but also the COD were reduced in stirred tank sorption of commercial dye by 200%CEC TDMA-clay.

School of Chemical Engineering

Academic Year 2005

Student's Signature อักรกฤษณ์ อิ่มทรัพย์

Advisor's Signature วิรัตน์ บวรกุล

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ได้แก่

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนวรรณ (วิบูลย์สวัสดิ์) เกียรติโกมล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีและให้กำลังใจในการทำงานวิจัยจนเสร็จสิ้นและลุล่วงไปด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยศ ตั้งสติย์กุลชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉลองศรี พลัด อาจารย์ ดร.ธีรสุด สุขกำเนิด ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอเดรียน พลัด อาจารย์อติชาติ วงษ์ กอบลาบ อาจารย์ ดร.กันทิมา ศิริจิระชัย อาจารย์ ดร.พนารัตน์ โทมณี อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การอบรม สั่งสอน ให้คำปรึกษาที่ดีมาก ตลอดมา และขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เสาวณีย์ รัตนพานิ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสำรวจและเก็บข้อมูลจากกลุ่มชาวบ้านและให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่อาคารศูนย์เครื่องมือ 1 อาคารศูนย์เครื่องมือ 2 และอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ โครงการทุนวิจัยมหัศจรรย์ สกว. และโครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อชนบทและการพัฒนาอย่างยั่งยืน สวทช. ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโท ได้แก่ พี่อ้อย พี่นัด พี่น้ำ นักศึกษาปริญญาเอก ได้แก่ พี่ยา พี่บุ๋ม พี่กบ พี่ขวัญ และเพื่อนๆ ได้แก่ โอ้ ปราง เล็ก ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในงานวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณพี่เห่งที่คอยให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีตลอดมาและเพื่อน ๆ น้อง ๆ ชมรมแบดมินตัน มทส. ทุกคน ที่คอยให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมาในอดีต จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

จักรกฤษณ์ อัมพพ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ต
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ม
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 คำอธิบายศัพท์.....	4
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 กระบวนการผลิตสิ่งทอในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน.....	6
2.1.1 กระบวนการผลิตผ้าฝ้ายในชุมชน.....	6
2.1.2 กระบวนการผลิตผ้าไหมในชุมชน.....	9
2.2 การดูดซับ.....	16
2.3 แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์.....	18
2.4 Organo-clay.....	20
2.5 สีข้อม.....	22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	การดูดซับสีย้อมในระดับห้องปฏิบัติการ	25
3.1	บทนำ.....	25
3.2	วิธีดำเนินการวิจัย	27
3.2.1	วิธีวิจัย.....	27
3.2.2	ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	27
3.2.3	ตัวแปรที่ทำการวิจัย.....	28
3.2.4	เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	28
3.2.5	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	29
3.3	ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....	34
3.3.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงสีย้อม	34
3.3.2	ผลการดูดซับสีย้อมผ้าจากน้ำเสียนในระดับห้องปฏิบัติการ.....	36
3.3.3	ไอโซเทิร์มการดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำเสียน.....	39
3.3.4	ผลการดูดซับของโลหะหนักในน้ำเสียนจากสีย้อมผ้า.....	44
3.4	สรุปผลการวิจัย.....	47
4	การดูดซับสีย้อมผ้าในระบบหอดูดซับ.....	49
4.1	บทนำ.....	49
4.2	วิธีดำเนินการวิจัย.....	54
4.2.1	วิธีวิจัย.....	54
4.2.2	ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	54
4.2.3	ตัวแปรที่ทำการวิจัย.....	54
4.2.4	เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	55
4.2.5	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	57
4.3	ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....	62
4.3.1	ผลการดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำเสียนสังเคราะห์ด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ในระบบหอดูดซับ.....	62
4.3.2	ประสิทธิภาพของหอดูดซับในการกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำเสียนสังเคราะห์.....	68

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3	ผลการดูดซับสีข้อมเคมีจากน้ำเสียจริงในระบบหอดูดซับ.....	70
4.3.4	ผลการลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียที่เกิดจากสีข้อมผ้า ในระบบหอดูดซับ.....	73
4.4	สรุปผลการวิจัย.....	78
5	การดูดซับสีข้อมผ้าในระบบถังกวนแบบกะ.....	79
5.1	บทนำ.....	79
5.2	วิธีดำเนินการวิจัย.....	82
5.2.1	วิธีวิจัย.....	82
5.2.2	ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	82
5.2.3	ตัวแปรที่ทำการวิจัย.....	82
5.2.4	เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	83
5.2.5	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	85
5.3	ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....	86
5.3.1	ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับสีข้อมผ้าตราสิงโตติดลงด้วย 200%CEC TDMA-clay ในระบบถังกวน.....	86
5.3.2	ประสิทธิภาพการดูดซับสีข้อมเคมีในระบบถังกวน.....	89
5.3.3	ผลการลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียด้วย 200%CEC TDMA-clay ในถังกวน.....	90
5.4	สรุปผลการวิจัย.....	92
6	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	93
	รายการอ้างอิง.....	95
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียจากสีข้อมผ้า.....	98
	ภาคผนวก ข. ไอโซเทิร์มการดูดซับของสีข้อมผ้าในระบบการดูดซับชั้นตอนเดียว.....	126
	ภาคผนวก ค. ผลการดูดซับสีข้อมผ้าในระบบหอดูดซับ.....	154
	ภาคผนวก ง. ผลการดูดซับสีข้อมผ้าในระบบถังกวน.....	257

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ. ผลการดูดซับโลหะหนักในสีย้อมผ้าแบบกะ.....	282
ภาคผนวก ฉ. มาตรฐานน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมของประเทศไทย.....	290
ภาคผนวก ช. งานวิจัยตีพิมพ์.....	295
ประวัติผู้เขียน.....	297

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งจากการข้อมผ้าในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนของ จ. นครราชสีมา.....	15
2.2 สีย้อมสังเคราะห์จากสารเชิงซ้อนของโลหะหนัก.....	16
2.3 ปริมาณโลหะหนักในผงสีดำ (สีย้อมผ้าตราสมศักดิ์).....	16
2.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมี (%wt) ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์.....	19
3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแบบกะในระดับห้องปฏิบัติการ.....	28
3.2 สมการมาตรฐานและ λ_{max} ของสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง.....	30
3.3 สมการมาตรฐานและ λ_{max} ของสีย้อมผ้าตราใบหม่อน.....	31
3.4 สมบัติทางกายภาพของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay.....	33
3.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง.....	35
3.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสีย้อมผ้าตราใบหม่อน.....	36
3.7 ผลการดูดซับสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง ที่ $c_0 = 200 \text{ mg/L}$	37
3.8 ผลการดูดซับสีย้อมผ้าตราใบหม่อน ที่ $c_0 = 200 \text{ mg/L}$	38
3.9 ผลการดูดซับน้ำเสียจริงสีเม็ดมะปรางที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 513.12 mg/L	38
3.10 ผลการดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำเสียจริงที่ไม่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน.....	39
3.11 ค่าคงที่ของไอโซเทอรั่มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง.....	42
3.12 ค่าคงที่ของไอโซเทอรั่มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของสีย้อมผ้าตราใบหม่อน.....	43
3.13 ไอโซเทอรั่มการดูดซับที่มีค่า R^2 สูงที่สุดจากการเปรียบเทียบไอโซเทอรั่มแบบ Langmuir ไอโซเทอรั่มแบบ Freundlich และไอโซเทอรั่มแบบเส้นตรง.....	44
3.14 ผลการดูดซับ Cu ในน้ำเสียจากสีย้อมผ้า ที่ $c_0 = 200 \text{ mg/L}$	45
3.15 ผลการดูดซับ Cr ในน้ำเสียจากสีย้อมผ้า ที่ $c_0 = 200 \text{ mg/L}$	46
3.16 ผลการดูดซับ Zn ในน้ำเสียจากสีย้อมผ้า ที่ $c_0 = 200 \text{ mg/L}$	46

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.1	ตัวแปรสำหรับการทดลองในหอดูดซับ.....55
4.2	อัตราส่วนผสมสำหรับการหาค่าบีโอดีด้วยวิธีการเจือจาง.....59
4.3	ผลการดูดซับสีข้อมฟ้าตราสิงโตติดกลองจากน้ำเสียด้วย 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ.....64
4.4	การดูดซับสีข้อมฟ้าตราใบหม่อนจากน้ำเสียด้วย 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ.....65
4.5	สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของสีข้อมฟ้าตราสิงโตติดกลองหลังผ่าน หอดูดซับเทียบกับเวลาโดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ.....66
4.6	สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของสีข้อมฟ้าตราใบหม่อนหลังผ่านหอดูด ซับเทียบกับเวลาโดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ.....67
4.7	ประสิทธิภาพของหอดูดซับในการดูดซับสีข้อมฟ้าตราสิงโตติดกลอง จากน้ำเสียสังเคราะห์.....69
4.8	ประสิทธิภาพของหอดูดซับในการดูดซับสีข้อมฟ้าตราสิงโตติดกลอง จากน้ำเสียสังเคราะห์.....70
4.9	ผลการดูดซับสีข้อมเคมีจากน้ำเสียจริงของ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ.....71
4.10	ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่บ่งบอกคุณภาพของน้ำของสีข้อมฟ้าตราสิงโตติดกลอง ที่ $c_0 = 500$ mg/L.....74
4.11	ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่บ่งบอกคุณภาพของน้ำของน้ำเสียจากสีข้อมฟ้าตราใบหม่อน ที่ $c_0 = 500$ mg/L.....75
4.12	ความเข้มข้นที่ผ่านหอดูดซับของน้ำเสียสีฟ้าอ่อน (สีข้อมฟ้าตราใบหม่อน) มี $c_0 = 497.74$ mg/L และค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....76
4.13	ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำเสียสีข้อมเคมีจริงจากการเก็บตัวอย่าง.....76
4.14	ค่าแอมซอร์บแบนซ์ของน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่นในการดูดซับภายในหอดูดซับและค่าตัว แปรต่างๆ ที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ77
5.1	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองในระบบถังกวนแบบกะ.....83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.2	ค่าคงที่ของสมการอันดับสองเทียม ของการดูดซับสีย้อมตราสิงโตติดลงด้วย 200%CEC TDMA-clay.....88
5.3	ประสิทธิภาพของการดูดซับสีย้อมผ้าในถังกวนแบบกะ.....90
5.4	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดลง) ที่ $c_0 = 272.51$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 20.63 กรัม และค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน.....91
ก1	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{max} = 387$ nm.....99
ก2	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{max} = 502$ nm.....100
ก3	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเม็ดมะขามแก่และค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{max} = 518$ nm.....101
ก4	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงเลือดหมูและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{max} = 516$ nm.....102
ก5	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมูและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{max} = 515$ nm.....103
ก6	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีตะกั่วและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{max} = 526$ nm.....104
ก7	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทองและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{max} = 397$ nm.....105
ก8	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{max} = 393$ nm.....106
ก9	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงินและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{max} = 554$ nm.....107
ก10	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{max} = 458$ nm.....108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก11 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำตาลทองและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 460 \text{ nm}$	109
ก12 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 392 \text{ nm}$	110
ก13 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีไพลเนาและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 396 \text{ nm}$	111
ก14 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวตองอ่อนและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 392 \text{ nm}$	112
ก15 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีดำและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 567 \text{ nm}$	113
ก16 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกรมท่าและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 538 \text{ nm}$	114
ก17 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 639 \text{ nm}$	115
ก18 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีบานเย็นและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 550 \text{ nm}$	116
ก19 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 503 \text{ nm}$	117
ก20 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 523 \text{ nm}$	118
ก21 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าเข้มและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 595 \text{ nm}$	119
ก22 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าอ่อนและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 620 \text{ nm}$	120
ก23 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีม่วงและค่าแอมชอร์รับแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 551 \text{ nm}$	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก24 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแสดและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 461 \text{ nm}$	122
ก25 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองคุ่นและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 410 \text{ nm}$	123
ก26 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 400 \text{ nm}$	124
ก27 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีชมพูและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 549 \text{ nm}$	125
ข1 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเหลืองอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	127
ข2 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีกะปิด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	128
ข3 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเม็ดมะขามแก่ด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	129
ข4 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีแดงเลือดหมูด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	130
ข5 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเลือดหมูด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	131
ข6 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีตะกั่วด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	132
ข7 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีระกำทองด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	133
ข8 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเขียวมรกตด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	134
ข9 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีน้ำเงินด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	135
ข10 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีแดงน้ำตาลด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	136
ข11 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเขียวมรกตด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	137
ข12 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	138
ข13 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีไพลเนาด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	139
ข14 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเขียวตองอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	140
ข15 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีดำด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	141
ข16 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีกรมท่าด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	142
ข17 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเขียวด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	143
ข18 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีบานเย็นด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	144

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข19 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีแดงด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	145
ข20 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	146
ข21 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีฟ้าเข้มด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	147
ข22 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีฟ้าอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	148
ข23 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีม่วงด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ.....	149
ข24 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีแดงด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	150
ข25 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเหลืองคุ่นด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	151
ข26 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเหลืองด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	152
ข27 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีชมพูด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	153
ค1 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.01$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	155
ค2 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 518.13$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	159
ค3 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเม็ดยะขามแก่หลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 479.34$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	164
ค4 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงเลือดหมูหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 495.00$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	167
ค5 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมูหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 489.72$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	170
ค6 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีตะกั่วหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.40$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	173
ค7 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทองหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 470.71$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	179
ค8 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 366.64$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	183

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก9 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงินหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 504.83$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	187
ก10 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงน้ำตาลหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 496.07$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	191
ก11 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำตาลทองหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.34$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	194
ก12 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 497.20$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	200
ก13 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีไพล่น้ำหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 343.84$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	204
ก14 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวตองอ่อนหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 493.82$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	207
ก15 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีดำหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 491.80$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	211
ก16 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกรมท่าหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 380.90$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	214
ก17 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 494.60$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	217
ก18 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีบานเย็นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 504.20$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	219
ก19 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 564.54$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	222
ก20 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 441.54$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	225
ก21 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าเข้มหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 523.40$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	229

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก22 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าอ่อนหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 497.74$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	231
ก23 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีม่วงหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 494.30$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	233
ก24 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแสดหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 476.60$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	236
ก25 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองคุ่นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 513.00$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	239
ก26 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 472.95$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	242
ก27 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีชมพูหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 491.90$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	244
ก28 ความเข้มข้นของน้ำเสียจริงสีเมืงคมะปรางหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 435.00$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	247
ก29 ค่าแอบซอร์บเอนซ์ของน้ำเสียจริงของสีม่วงขุ่นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ค่า แอบซอร์บเอนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 16.4252 และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	250
ก30 ค่าแอบซอร์บเอนซ์ของน้ำเสียจริงของสีเขียวขุ่นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ค่าแอบซอร์บเอนซ์ เริ่มต้นเท่ากับ 44.0319 และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ.....	254
ง1 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อน ที่ $c_0 = 279.28$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 20.65 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน.....	258
ง2 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อน ที่ $c_0 = 504.07$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 41.25 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน.....	260
ง3 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิ ที่ $c_0 = 249.75$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 13.125 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน.....	262
ง4 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิ ที่ $c_0 = 504.07$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 26.25 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน.....	264

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง5	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมู ที่ $c_0 = 251.06$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 9.38 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน266
ง6	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมู ที่ $c_0 = 512.25$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 18.75 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน268
ง7	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทอง ที่ $c_0 = 250.71$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 37.50 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน270
ง8	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทอง ที่ $c_0 = 512.25$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 20.63 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน272
ง9	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน ที่ $c_0 = 250.71$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 41.25 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน274
ง10	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน ที่ $c_0 = 508.88$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 39.38 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน276
ง11	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกต ที่ $c_0 = 272.51$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 78.75 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน278
ง12	ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกต ที่ $c_0 = 512.60$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 22.50 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถึงกวน280
จ1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักของผงสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง.....282
จ2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักของผงสีย้อมผ้าตราใบหม่อน.....284
จ3	ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง.....285
จ4	ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำสีย้อมผ้าตราใบหม่อน.....287
จ5	ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจริงจากสีย้อมผ้า.....289
ฉ1	มาตรฐานน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมในประเทศไทย.....292

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ขั้นตอนการขึ้นลูกเส้นใยฝ้าย.....7
2.2	ขั้นตอนการปั่นเส้นใย.....7
2.3	ขั้นตอนการย้อมสีฝ้าย.....7
2.4	พื้นที่ที่ทิ้งน้ำเสียจากการย้อมผ้า.....7
2.5	สีย้อมผ้าตราสิงโตติดลอง.....8
2.6	สีย้อมผ้าตราเครื่องบิน.....8
2.7	ขั้นตอนในการต่อเส้นใย.....8
2.8	ขั้นตอนการปั่นเก็บเส้นใย.....8
2.9	ขั้นตอนในการทอผ้า.....9
2.10	ขั้นตอนในการตัดเย็บผ้า.....9
2.11	ตัวไหมและใบหม่อน.....10
2.12	ต้นหม่อน.....10
2.13	รูปดักแด้ที่โตเต็มวัย.....10
2.14	ขั้นตอนในการสาวไหม.....10
2.15	ดักแด้ที่ถูกดึงเส้นใยออกแล้ว.....11
2.16	ขั้นตอนการล้างเส้นไหมด้วยน้ำกลั่น.....11
2.17	ขั้นตอนการกระตุกเส้นไหมไม่ให้พันกัน.....11
2.18	ขั้นตอนในการย้อมผ้า.....11
2.19	ขั้นตอนการย้อมสีเส้นไหม.....12
2.20	ขั้นตอนในการล้างด้วยน้ำค้าง.....12
2.21	ผลิตภัณฑ์ค้างฟอกสีย้อม.....12
2.22	การตากเส้นไหมที่ผ่านการย้อมแล้ว.....12
2.23	ขั้นตอนการมัดหมี่.....13
2.24	การผลิตผ้าไหมของแม่บ้านเกษตร.....13
2.25	โครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์.....20

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.26	โครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิว TDMA-Br.....21
2.27	แรงยึดเหนี่ยวของ QACs และสีย้อมที่มีประจุบวกกับชั้นดินของแร่ดิน มอนต์มอริลโลไนต์.....22
3.1	ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีบ้านเย็น (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน).....31
3.2	ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเหลือง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) ใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ.....40
3.3	ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียจากสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง ใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ.....40
3.4	ไอโซเทิร์มการดูดซับของสีเลือดหมู (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง) ใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ.....41
3.5	ไอโซเทิร์มการดูดซับของสีม่วง (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง) ใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ.....41
4.1	รูปแบบของความเข้มข้นและกราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับในหอดูดซับ.....50
4.2	ลักษณะ Mass Transfer Zone ของกราฟเบรคทรู.....51
4.3	อุปกรณ์การทดลองหอดูดซับ.....62
4.4	กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสังเคราะห์สีฟ้าเข้ม (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 523.4 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.57 \text{ mL/min}$63
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีฟ้าเข้ม (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) หลังผ่าน หอดูดซับกับเวลา เมื่อใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ.....65
4.6	กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีม่วง(สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) ดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ธรรมชาติ ที่ $c_0 = 494.30 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.29 \text{ mL/min}$68
4.7	กราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงสีเม็ดมะปราง (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง) ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 435 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.02 \text{ mL/min}$71
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของน้ำเสียจริงสีเม็ดมะปราง (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง) หลัง ผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ.....72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9	กราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่นที่มีค่าแอมซอร์บแนนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 44.0319 ดูดซับโดยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ $Q_b = 7.44 \text{ mL/min}$73
5.1	ค่ากำหนดทั่วไปสำหรับการออกแบบถังกวนที่ใบพัดเป็นแบบกังหัน.....80
5.2	ลักษณะทั่วไปของถังกวนสแตนเลสที่ออกแบบและใช้ในการทดลอง.....84
5.3	สัดส่วนขนาดของถังกวนที่ใช้ในการทดลอง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร).....85
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน (สีข้อมฟ้าตราสิงโตตีกลอง) เทียบกับเวลา ที่ $c_0 = 272.51 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 20.63 กรัม ในระบบถังกวน.....87
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน (สีข้อมฟ้าตราสิงโตตีกลอง) เทียบกับเวลา ที่ $c_0 = 512.60 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 41.25 กรัม ในระบบถังกวน.....87
5.6	จลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสียสีน้ำเงิน (สีข้อมฟ้าตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 272.51 \text{ mg/L}$89
ก1	กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\text{max}} = 387 \text{ nm}$99
ก2	กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีกะปี้กับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\text{max}} = 502 \text{ nm}$100
ก3	กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเมืงมะขามแก่กับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\text{max}} = 518 \text{ nm}$101
ก4	กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแดงเลือดหมูกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\text{max}} = 516 \text{ nm}$102
ก5	กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเลือดหมูกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\text{max}} = 515 \text{ nm}$103
ก6	กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีตะกั่วกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\text{max}} = 526 \text{ nm}$104

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก7 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีระกำทองกับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 397 \text{ nm}$	105
ก8 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียวมรกตกับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 393 \text{ nm}$	106
ก9 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีน้ำเงินกับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 554 \text{ nm}$	107
ก10 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแดงน้ำตาลกับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 458 \text{ nm}$	108
ก11 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีน้ำตาลทองกับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 460 \text{ nm}$	109
ก12 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิกับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 392 \text{ nm}$	110
ก13 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีไพลเนากับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 396 \text{ nm}$	111
ก14 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียวทองอ่อนกับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 393 \text{ nm}$	112
ก15 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีดำกับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 567 \text{ nm}$	113
ก16 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีกรมท่ากับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 538 \text{ nm}$	114
ก17 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียวกับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 639 \text{ nm}$	115
ก18 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีบานเย็นกับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 550 \text{ nm}$	116
ก19 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแดงกับค่าแอมชอร์รับเบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 503 \text{ nm}$	117

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก20 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 523 \text{ nm}$	118
ก21 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีฟ้าเข้มกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 595 \text{ nm}$	119
ก22 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีฟ้าอ่อนกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 620 \text{ nm}$	120
ก23 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแสดกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 551 \text{ nm}$	121
ก24 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีม่วงกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 461 \text{ nm}$	122
ก25 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเหลืองตุ๋นกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 410 \text{ nm}$	123
ก26 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเหลืองกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 549 \text{ nm}$	124
ก27 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีชมพูกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 549 \text{ nm}$	125
ข1 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	127
ข2 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีกะปิด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	128
ข3 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเม็ดมะขามแก่ด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	129
ข4 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีแดงเลือดหมูด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	130
ข5 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเลือดหมูด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	131
ข6 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีตะกั่วด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	132
ข7 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีระกำทองด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	133
ข8 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียวมรกตด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	134
ข9 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีน้ำเงินด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	135
ข10 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีแดงน้ำตาลด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	136

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข11 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีน้ำตาลทองด้วย 200%CEC TDMA-clay	137
ข12 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	138
ข13 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีไพลเนาด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	139
ข14 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียวตองอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	140
ข15 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีดำด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	141
ข16 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีกรมท่าด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	142
ข17 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียวด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	143
ข18 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีบานเย็นด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	144
ข19 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีแดงด้วย 200%CEC TDMA-clay	145
ข20 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	146
ข21 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีฟ้าเข้มด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	147
ข22 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีฟ้าอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	148
ข23 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีม่วงเข้มด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	149
ข24 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีแสดด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	150
ข25 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเหลืองตุ่นด้วย 200%CEC TDMA-clay	151
ข26 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเหลืองด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	152
ข27 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีชมพูด้วย 200%CEC TDMA-clay.....	153
ค1.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเหลืองอ่อน ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 499.01 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.65 \text{ cm}^3/\text{min}$	158
ค1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	158
ค2.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีกะปิ ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 518.13 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.18 \text{ cm}^3/\text{min}$	163
ค2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีกะปิหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	163

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก3.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสี้ยวสีเม็ดมะขามแก่ ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 479.34 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.90 \text{ cm}^3/\text{min}$	166
ก3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสี้ยวสีเม็ดมะขามแก่หลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	166
ก4.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสี้ยวสีแดงเลือดหมู ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 495.00 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.18 \text{ cm}^3/\text{min}$	169
ก4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสี้ยวสีแดงเลือดหมูหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	169
ก5.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสี้ยวสีเลือดหมู ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 489.72 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.58 \text{ cm}^3/\text{min}$	172
ก5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสี้ยวสีเลือดหมูหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	172
ก6.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสี้ยวสีตะกั่ว ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 499.40 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.74 \text{ cm}^3/\text{min}$	178
ก6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสี้ยวสีตะกั่วหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	178
ก7.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสี้ยวสีระกำทอง ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 470.71 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.25 \text{ cm}^3/\text{min}$	182
ก7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสี้ยวสีระกำทองหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	182
ก8.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสี้ยวสีเขียวมรกต ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 366.64 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.68 \text{ cm}^3/\text{min}$	186
ก8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสี้ยวสีเขียวมรกตหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	186
ก9.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสี้ยวสีน้ำเงิน ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 504.38 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.30 \text{ cm}^3/\text{min}$	190

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก9.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีน้ำเงินหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	190
ก10.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีแดงน้ำตาล ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 496.07 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.53 \text{ cm}^3/\text{min}$	194
ก10.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีแดงน้ำตาลหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	194
ก11.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีน้ำตาลทอง ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 499.34 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.08 \text{ cm}^3/\text{min}$	199
ก11.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีน้ำตาลทองหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	199
ก12.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิ ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 497.20 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.48 \text{ cm}^3/\text{min}$	203
ก12.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	203
ก13.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีไพลเนา ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 343.84 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.90 \text{ cm}^3/\text{min}$	206
ก13.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีไพลเนาหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	206
ก14.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเขียวดองอ่อน ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 493.82 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.39 \text{ cm}^3/\text{min}$	210
ก14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีเขียวดองอ่อนหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	210
ก15.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีดำ ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 491.80 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.98 \text{ cm}^3/\text{min}$	212
ก15.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีดำหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	212

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก16.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียดีกรมท่า คูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 380.90 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.43 \text{ cm}^3/\text{min}$	215
ก16.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียดีกรมท่าหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	215
ก17.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียดีเขียว คูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 380.90 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.43 \text{ cm}^3/\text{min}$	218
ก17.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียดีเขียวหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	218
ก18.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียดีบานเย็น คูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 504.20 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.36 \text{ cm}^3/\text{min}$	221
ก18.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียดีบานเย็นหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	221
ก19.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียดีแดง คูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 564.54 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.03 \text{ cm}^3/\text{min}$	224
ก19.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียดีแดงหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	224
ก20.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียดีน้ำตาลเข้ม คูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 441.54 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.03 \text{ cm}^3/\text{min}$	227
ก20.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียดีน้ำตาลเข้มหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	227
ก21.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียดีฟ้าเข้ม คูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 523.40 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.57 \text{ cm}^3/\text{min}$	230
ก21.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียดีฟ้าเข้มหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	230
ก22.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียดีฟ้าอ่อน คูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 497.74 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.45 \text{ cm}^3/\text{min}$	232

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก22.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียสีฟ้าอ่อนหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	232
ก23.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีม่วง ดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ที่ $c_0 = 494.30 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.29 \text{ cm}^3/\text{min}$	234
ก23.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียสีม่วงหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ	234
ก24.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีแสด ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 531.00 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.18 \text{ cm}^3/\text{min}$	238
ก24.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียสีแสดหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	238
ก25.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเหลืองคุ่น ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 513.00 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.18 \text{ cm}^3/\text{min}$	241
ก25.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียสีเหลืองคุ่นหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	241
ก26.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเหลือง ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 472.95 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.20 \text{ cm}^3/\text{min}$	244
ก26.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียสีเหลืองหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	244
ก27.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีชมพู ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 507.1 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.14 \text{ cm}^3/\text{min}$	246
ก27.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียสีชมพูหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	246
ก28.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงสีเม็คมะปรางดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 435.00 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.02 \text{ cm}^3/\text{min}$	249
ก28.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียจริงสีเม็คมะปรางหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ	249

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก29.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงสีม่วงขุ่นดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ค่าแอมชอร์รับเบนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 16.4252 และ $Q_b = 7.30 \text{ cm}^3/\text{min}$	253
ก29.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ของน้ำเสียจริงสีม่วงขุ่นหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ.....	253
ก30.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่นดูดซับด้วยเรดินมอนด์มอริลโตไนต์ธรรมชาติ ที่ค่าแอมชอร์รับเบนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 44.0319 และ $Q_b = 7.44 \text{ cm}^3/\text{min}$	256
ก30.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ของน้ำเสียสีเขียวขุ่นหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้เรดินมอนด์มอริลโตไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ.....	256
ง1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนกับเวลา ที่ $c_0 = 279.35 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 20.63 กรัม ในระบบถึงกวน.....	258
ง2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนกับเวลา ที่ $c_0 = 504.07 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 41.25 กรัม ในระบบถึงกวน.....	258
ง3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิกับเวลา ที่ $c_0 = 249.75 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 13.125 กรัม ในระบบถึงกวน.....	263
ง4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิกับเวลา ที่ $c_0 = 506.60 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 26.25 กรัม ในระบบถึงกวน.....	265
ง5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมูกับเวลา ที่ $c_0 = 251.06 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 9.38 กรัม ในระบบถึงกวน.....	267
ง6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมูกับเวลา ที่ $c_0 = 512.25 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 18.75 กรัม ในระบบถึงกวน.....	269
ง7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทองกับเวลา ที่ $c_0 = 248.13 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 18.75 กรัม ในระบบถึงกวน.....	271
ง8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทองกับเวลา ที่ $c_0 = 517.47 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 37.50 กรัม ในระบบถึงกวน.....	273
ง9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงินกับเวลา ที่ $c_0 = 272.51 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 20.63 กรัม ในระบบถึงกวน.....	275

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ง10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงินกับเวลา ที่ $c_0 = 512.60$ mg/L ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 41.25 กรัม ในระบบถังกวน.....	277
ง11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตกับเวลา ที่ $c_0 = 250.71$ mg/L ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 39.38 กรัม ในระบบถังกวน.....	279
ง12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตกับเวลา ที่ $c_0 = 508.88$ mg/L ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 78.75 กรัม ในระบบถังกวน.....	281

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

R^2	=	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)
θ	=	The Bragg angle
d_{001}	=	ระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (A°)
QACs	=	สาร Quaternary Ammonium Cations
CMCs	=	ค่า Critical Micelle Concentrations (meq/L)
BET	=	Brunauer, Emmett and Teller
XRD	=	X-Ray Diffusion
TDMA	=	สาร Tetradecyltrimethylammonium
Organo-clay	=	แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่ถูกปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารอินทรีย์ประเภท QACs
CEC	=	ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity) (meq./g)
C_e	=	ความเข้มข้นของสีย้อมที่สมดุลหลังการดูดซับ (mg/L)
C_0	=	ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น (mg/L)
q	=	ปริมาณการดูดซับสีย้อม (mg/g)
q_e	=	ปริมาณการดูดซับสีย้อมที่สภาวะสมดุล(mg/g)
q_m	=	ปริมาณของสีย้อมบนตัวดูดซับจากไอโซเทิร์มการดูดซับแบบ Langmuir (mg/g)
q_t	=	ปริมาณการดูดซับสีย้อมที่เวลา t (mg/g)
MTZ	=	Mass Transfer Zone
h	=	ความสูงของเบดนิ่งในหอดูดซับ (cm)
%wt	=	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวดูดซับทั้งหมดในหอดูดซับ โดยที่เหลือเป็นทรายควอตซ์
Q_b	=	อัตราการไหลในหอดูดซับ (cm^3/min)
λ_{max}	=	ความยาวคลื่นที่สารตัวอย่างสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด (nm)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ประดิษฐ์ขึ้นในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนของประเทศไทยในปัจจุบัน กลายเป็นสินค้าที่สร้างรายได้เสริมให้แก่ชุมชนได้เป็นอย่างดีนอกเหนือจากการเกษตรกรรม เนื่องจากสินค้าเหล่านี้มีต้นทุนในการผลิตต่ำจึงทำให้มีราคาถูกและเป็นงานหัตถกรรมที่ทำด้วยมือ ซึ่งต้องอาศัยฝีมือและการฝึกฝนเป็นระยะเวลานาน ดังนั้นสินค้าประเภทนี้จึงได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นทั้งในและต่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2544 รัฐบาลได้ส่งเสริมการสร้างงานและรายได้แก่ประชาชนภายในชุมชนท้องถิ่นของประเทศเพื่อสร้างความเข้มแข็งแก่ชุมชน ให้สามารถคิดเองทำเองในการพัฒนาท้องถิ่น ส่งเสริมภูมิปัญญาท้องถิ่นและส่งเสริมการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ภายใต้โครงการ “หนึ่งผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบล” (คณะกรรมการอำนวยการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์แห่งชาติ, 2544) จึงทำให้ชุมชนหันมาผลิตสินค้าประเภทสิ่งทอภายในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนเพิ่มมากขึ้น เช่นที่ อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ มีรายได้จากการส่งออกในธุรกิจหัตถกรรมปีละสามพันล้านบาท (ธุรกิจส่งออกสันกำแพง สานฝัน “ฟูกโอะเมืองไทย”, 2546) ดังนั้นแนวโน้มของการขยายตัวและความแข็งแกร่งของอุตสาหกรรมสิ่งทอในระดับครัวเรือนจึงมีเพิ่มมากขึ้น

ขั้นตอนการย้อมสีผ้าในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนมีการใช้น้ำและสารเคมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งสารเคมีที่ใช้ได้แก่ ผลิตภัณฑ์สีย้อมเคมีสังเคราะห์ซึ่งมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายภายในท้องถิ่น สีย้อมเคมีเหล่านี้เมื่อย้อมแล้วจะทำให้ผ้ามีสีที่สดใส ดิดทนนานและน่าใช้มากกว่าการย้อมด้วยสีย้อมจากวัสดุธรรมชาติ ดังนั้นชาวบ้านจึงนิยมใช้สีย้อมเคมีมากกว่า ฉลากของผลิตภัณฑ์สีย้อมเคมีเหล่านี้ไม่ได้ระบุถึงส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้ผลิตทำให้ชาวบ้านไม่ทราบถึงข้อควรระวังในการใช้และไม่ทราบวิธีการจัดการกับน้ำเสียที่เกิดขึ้นหลังการย้อมผ้า ชาวบ้านจึงไม่คำนึงถึงความสำคัญของน้ำเสียเหล่านี้ โดยจะนำไปเททิ้งบริเวณใต้ถุนบ้านหรือพื้นที่ว่างเปล่าภายในบริเวณบ้าน โดยไม่ได้ทำการบำบัดก่อนทิ้งและปล่อยให้น้ำทิ้งไหลซึมไปตามธรรมชาติ น้ำทิ้งเหล่านี้จึงสามารถแพร่กระจายและปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้ง่าย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของชาวบ้านและเป็นการทำลายระบบนิเวศ เนื่องจากสีย้อมเคมีเหล่านี้มีโครงสร้างที่ซับซ้อนและไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติที่สภาวะปกติ (Aksu, 2005) ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องศึกษาวิธีการกำจัดสีย้อมเคมีออกจากน้ำเสียก่อนนำไปทิ้งสู่แหล่งรองรับทางธรรมชาติต่อไป

กระบวนการดูดซับ (Adsorption process) เป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับใช้บำบัดน้ำเสียที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองทางชีวภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาวิธีการกำจัดสีย้อมเคมีในน้ำทิ้งโดยใช้วิธีการดูดซับด้วยแร่ดิน (Clay mineral) นั่นคือ แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ซึ่งเป็นแร่ดินชนิดหนึ่งในกลุ่มของแร่ดินสมεκไทต์ (Smectite) ที่มีอลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก โครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์จะซ้อนกันเป็นชั้น (Lamellar structure) และระหว่างชั้นดินจะมีช่องว่างอยู่ซึ่งสามารถขยายตัวได้เมื่อละลายในน้ำ แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์พบอยู่มากในแถบภาคเหนือของประเทศไทย เช่น ในเขต อ.สบปราบ จ.ลำปาง และเขต อ.แม่แตง จ.เชียงใหม่ เป็นต้น จึงมีราคาถูกและมีการผลิตในเชิงพาณิชย์เพื่อใช้เป็นส่วนผสมของโคลนเจาะ (จุ่มพล คีนตัก, ธงชัย พึ่งรัสมิ และ พิภพ วสุวานิช, 2521) จึงไม่มีปัญหาในด้านปริมาณของแร่ดิน ก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาการดูดซับสีย้อมที่มีประจุบวกด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ เช่น การดูดซับสารเมธิลีนบลูด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ พบว่า แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติสามารถดูดซับสารเมธิลีนบลูได้เท่ากับ 322.6 มิลลิกรัมต่อกรัมของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ เมื่อคำนวณจากไอโซเทิร์มการดูดซับแบบ Langmuir (ปิยะมากรณ์ จารุงศ์, 2545)

นอกจากนี้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ยังสามารถนำมาปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวให้เหมาะสมต่อการดูดซับสารอินทรีย์หรือให้มีสมบัติเป็นแบบไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) โดยนำแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติมาทำปฏิกิริยากับสารประเภท Quaternary Ammonium cations (QACs) แร่ดินที่ได้หลังการทำปฏิกิริยากับ QACs นี้จะเรียกว่า “Organo-clay” (Wibulswas, 2004) งานวิจัยนี้เลือกใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo-clay เป็นตัวดูดซับสีย้อมเคมีสังเคราะห์ที่ใช้ในกระบวนการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมาแล้ว พบว่า การศึกษาการดูดซับสีย้อมเคมีสังเคราะห์จะทำในระดับห้องปฏิบัติการเป็นส่วนใหญ่ แต่ไม่ค่อยพบการศึกษาการดูดซับในระบบที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการดูดซับในระบบการดูดซับที่มีมาตราส่วนใหญ่ขึ้น โดยศึกษาการดูดซับในระบบหอดูดซับและระบบถังกวน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อศึกษาการกำจัดสีย้อมเคมีในน้ำทิ้ง (น้ำทิ้งสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและน้ำทิ้งจริงจากการเก็บตัวอย่าง) โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo-clay เป็นตัวดูดซับในระบบหอดูดซับและระบบถังกวน

1.2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะสำหรับการทดลองแบบกะในระดับห้องปฏิบัติการ

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และความสามารถในการดูดซับสีย้อมผ้าเคมีสังเคราะห์ที่ใช้ในกระบวนการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ Organo-clay เป็นตัวดูดซับ

1.2.3 วัตถุประสงค์เฉพาะสำหรับการทดลองในหอดูดซับ

เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับและหาปริมาณของน้ำเสียจากสีย้อมหลังผ่านหอดูดซับ ณ จุดเบรคทู โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo-clay เป็นตัวดูดซับ

1.2.4 วัตถุประสงค์เฉพาะสำหรับการทดลองในระบบถังกวน

เพื่อศึกษาความสามารถและจลนพลศาสตร์การดูดซับของสีย้อมผ้าในระบบถังกวน โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo-clay เป็นตัวดูดซับ

1.3 สมมติฐาน

1.3.1 แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ชาติธรรมชาติและ Organo-clay สามารถดูดซับสีย้อมผ้าได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน เนื่องจากตัวดูดซับทั้งสองชนิดมีโครงสร้างและสมบัติพื้นผิวต่างกัน

1.3.2 ระบบการดูดซับที่ต่างกันมีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อมผ้าของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo-clay

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ดำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามเกี่ยวกับกระบวนการย้อมสีผ้าในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน ภายในพื้นที่ จ. นครราชสีมา

1.4.2 วิเคราะห์ตัวแปรที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้า ได้แก่ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าของแข็งทั้งหมด ค่า pH และค่าความขุ่น (Turbidity)

1.4.3 ศึกษาการดูดซับสีย้อมเคมีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นภายในห้องปฏิบัติการ (เตรียมจากสีย้อมเคมีที่ชาวบ้านนิยมใช้ ได้แก่ สีย้อมผ้าตราสิงโตติดลองและสีย้อมผ้าตราไพบม่อน) และน้ำเสียจริงจากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo-clay เป็นตัวดูดซับ

1.4.4 ทดลองการดูดซับในระบบหอดูดซับและระบบถังกวน โดยเลือกใช้ตัวดูดซับที่สามารถดูดซับสีย้อมผ้าได้มากที่สุดจากข้อ 1.4.3

1.4.5 วิเคราะห์ปริมาณการดูดซับด้วยหลักการดูดกลืนแสงเทียบกับความเข้มข้นด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer และวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักในสีย้อมผ้าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้อุปกรณ์ที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมผ้าเคมีสังเคราะห์ในน้ำทิ้งที่มาจากการย้อมผ้า ในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนที่มีประสิทธิภาพและง่ายต่อการควบคุม

1.5.2 เพิ่มประสิทธิภาพและพัฒนาความสามารถในการใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่เป็น วัสดุธรรมชาติที่มีอยู่มากในประเทศไทยให้เกิดประโยชน์มากขึ้น

1.6 คำอธิบายศัพท์

1.6.1 การดูดซับ หมายถึง กระบวนการแยกสาร โดยสารองค์ประกอบที่เป็นตัวถูกละลายซึ่ง ละลายอยู่ในเฟสของไหล (ของเหลวหรือแก๊ส) จะถูกแยกโดยการแพร่เข้าสู่พื้นผิวและรูพรุนของตัว ดูดซับซึ่งเป็นเฟสของแข็ง หลังจากนั้นจะเกิดการยึดเกาะด้วยพันธะหรือแรงยึดเหนี่ยวกับตัวดูดซับ

1.6.2 แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ หมายถึง แร่ดินในกลุ่มสมεκไทต์ (Smectite) ใน ชั้นโครงสร้างของแร่ดินประกอบด้วยแผ่นของซิลิกาที่มีรูปร่างของเซลล์หน่วยเป็นแบบทรงสี่หน้า (Tetrahedral) สองแผ่นประกบกับแผ่นของอลูมินาที่มีรูปร่างของเซลล์หน่วยเป็นแบบทรงแปดหน้า (Octahedral) มีพื้นที่ผิวสูงและมีความสามารถในการขยายตัวในน้ำได้ดี

1.6.3 ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay หมายถึง แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ที่ได้รับการเปลี่ยนแปลงให้กลายเป็น Organo-clay ด้วยสาร TDMA-Br ในปริมาณ 2 เท่าของค่า CEC ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

1.6.4 ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) ใช้เป็นตัวชี้วัดถึงความสกปรกของ น้ำเสีย หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วย สารเคมี สารเคมีที่นิยมใช้ คือ สาร $K_2Cr_2O_7$

1.6.5 ค่าบีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) ใช้เป็นตัวชี้วัดถึงความสกปรกของ น้ำเสีย หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนทั้งหมดที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อย สลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ถ้าค่าบีโอดีมีค่ามากแสดงว่าน้ำตัวอย่างมีความสกปรกมาก ใน การวิเคราะห์จะต้องทำให้ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายคงที่ นั่นคือต้องบ่มที่ อุณหภูมิ 20 ± 1 °C เป็นเวลา 5 วัน

1.6.6 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS) หมายถึง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่อยู่ในน้ำ ซึ่งได้จากการนำน้ำตัวอย่างไประเหยให้แห้งในถ้วยกระเบื้อง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักของแข็งที่อยู่ด้วยถ้วยกระเบื้อง วัดหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

1.6.7 ค่าความขุ่น (Turbidity) หมายถึง ปริมาณของสิ่งแขวนลอยที่กั้นทางเดินของแสงในน้ำ วัดค่าในหน่วย NTU

1.6.8 ค่า pH หมายถึง ค่าที่บ่งบอกสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่าง วัดค่าโดยใช้เครื่อง pH-meter ถ้าค่า pH น้อยกว่า 7 จะมีสภาพเป็นกรด ค่า pH เท่ากับ 7 จะมีสภาพเป็นกลางและถ้าค่า pH มากกว่า 7 มีสภาพเป็นด่าง

1.6.9 ค่าแอมซอร์บแนนซ์ (Absorbance) หมายถึง ค่าความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารซึ่งจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารตามกฎของเบียร์ (Beer's Law)

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตสิ่งทอในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน

ข้อมูลภาคสนามจากการสำรวจกระบวนการผลิตผ้าทอมือจากกลุ่มชุมชน ของอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน จ. นครราชสีมา มีขั้นตอนในการผลิตผ้าทอมือได้แก่ ขั้นตอนการจัดเตรียมเส้นใย การย้อมสีเส้นใย การทอผ้า และขั้นตอนสุดท้ายการตัดเย็บผ้า ตามลำดับ กระบวนการผลิตผ้าทอมือในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนมีอยู่หลากหลายชนิดได้แก่ กระบวนการผลิตผ้าฝ้าย ผ้าไหม ผ้ากำมะหยี่ และพรม เป็นต้น โดยวิธีการผลิตผ้าแต่ละชนิดจะมีกรรมวิธีในการทอแตกต่างกันไป และต้องอาศัยความชำนาญในการทอผ้าเป็นพิเศษเพื่อให้ได้ผ้าทอที่มีความสวยงาม จากการสำรวจข้อมูลสามารถแบ่งกระบวนการผลิตผ้าออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามชนิดของเส้นใยที่ใช้ในการทอได้แก่

2.1.1 กระบวนการผลิตผ้าฝ้ายในชุมชน

จากการศึกษากระบวนการทอผ้าฝ้ายในพื้นที่จริงจากกลุ่มสตรีแพรวไทย หมู่บ้านโนนแฝก ต.ตะโก อ.ห้วยแถลง จ.นครราชสีมา โทร.044-275255, 09-4975606 และ 01-5798272 มีสมาชิกทั้งหมดประมาณ 15 คน กำลังการผลิตผ้าต่อเดือนเท่ากับ 15 กิโลกรัม โดยใช้เวลาในการทอผ้าฝ้ายประมาณ 1 เดือน เนื่องจากทำการทอผ้าพร้อมกันหลาย ๆ ผืนทำให้ทอผ้าได้ช้า โดยเส้นใยฝ้ายที่นำมาใช้ในการทอจะซื้อมาจากโรงงาน ใน อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น กิโลกรัมละ 120 บาท ขั้นตอนในการย้อมสามารถอธิบายด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

ก. การปั่นเส้นใย ชาวบ้านจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า "การขึ้นหูก" การขึ้นหูกจะมีอยู่ 2 ลักษณะได้แก่ การขึ้นหูกเส้นยืนและการขึ้นหูกเส้นพุ่ง (แสดงไว้ในรูปที่ 2.1) ทำเพื่อให้เส้นใยนั้นจับตัวกันเป็นระเบียบคล้ายกับการม้วนเก็บเชือก (แสดงในรูปที่ 2.2) เพื่อให้สะดวกในการนำไปย้อมในขั้นตอนต่อไป

ข. การย้อมสีผ้า ชาวบ้านจะทำการย้อมสีผ้าเดือนละประมาณ 2 ครั้ง โดยใช้สีย้อมที่เป็นเคมีสังเคราะห์และสีย้อมจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งชาวบ้านจะนิยมย้อมด้วยสีย้อมเคมีมากกว่า ในขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยฝ้ายด้วยสีย้อมเคมี (สีย้อมเคมีที่ชาวบ้านนิยมใช้ได้แก่ ยีห้อสิงโตตีกลอง และยี่ห้อโบหม่อน) จะเริ่มจากทำการต้มน้ำในกะละมังโดยใช้น้ำประมาณ 5 ลิตร รอนจนกระทั่งน้ำ

เดือดแล้วเติมผงสีข้อมเคมีลงไป 1 ของ (15 กรัม) เมื่อสีข้อมละลายในน้ำดีแล้ว จะนำเส้นใยฝ้ายหนัก 1 กิโลกรัมใส่ลงไป โดยจะทำการพลิกเส้นใยไปมาเพื่อให้สามารถข้อมสีเส้นใยได้สม่ำเสมอและ ป้องกันไม่ให้มีรอยต่างบนเส้นใย ในระหว่างที่ข้อมผ้าในกะละมังจะทำการเติม สารส้ม เกลือ จุนสี (CuSO_4) ลงไปอย่างละ 1 ช้อนโต๊ะ เพื่อให้สีติดเนื้อผ้าได้ดีขึ้นและผ้ามีสีสดขึ้น ปล่อยให้เส้นใยตั้งอยู่ใน กะละมังนานประมาณ 30 นาที หลังจากนั้นนำเส้นใยไปล้างกับน้ำสะอาด ล้างจนกระทั่งไม่มีสีข้อม เคมีละลายออกมาจากเส้นใยที่ทำการข้อม ขั้นตอนนี้จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการขึ้นทูกเส้นใยฝ้าย



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการปั่นเส้นใย



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการข้อมสีผ้าฝ้าย



รูปที่ 2.4 พื้นที่ที่ทิ้งน้ำเสียจากการข้อมผ้า

ในขั้นตอนการข้อมสีผ้าด้วยสีข้อมธรรมชาติ ชาวบ้านจะนำวัสดุธรรมชาติที่ให้สีมาทำการบดให้ละเอียดเพื่อให้ละลายในน้ำได้ดีขึ้นซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะให้สีที่แตกต่างกัน เช่น ข้อมสีเส้น

ใยด้วยวิธีนี้จะให้เส้นใยที่มีสีม่วง หมากอ่อนผสมกับดินนกอในอัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่งจะให้เส้นใยที่มีสีเหลือง ตะแบกหรือเปลือกสะเดาจะให้เส้นใยสีน้ำตาล หมากหม่อนจะให้เส้นใยที่มีสีเทา เปลือกต้นขงโคจะให้เส้นใยที่มีสีแดง เป็นต้น วิธีการย้อมผ้าจะทำคล้ายกับการย้อมผ้าด้วยสีเคมีแต่จะแตกต่างกันที่ปริมาณของสีย้อมที่ใช้ย้อมสีผ้าเท่านั้น ในการย้อมสีเส้นใยฝ้ายหนัก 1 กิโลกรัม จะต้องใช้สีย้อมธรรมชาติจำนวน 2 กิโลกรัม นอกจากนี้ขณะที่ต้มเส้นใยกับสีย้อมธรรมชาติชาวบ้านจะทำการเติมเกลือ จุนสี และสารส้ม อย่างละ 1 ช้อนโต๊ะ ตามลำดับ เพื่อให้สีย้อมติดเส้นใยได้ดีขึ้นและให้เส้นใยฝ้ายที่มีสีสดใสขึ้น น้ำทิ้งที่เกิดจากการย้อมสีผ้าชาวบ้านจะทิ้งลงสู่ใต้ถุนบ้านหรือพื้นที่ว่างเปล่าภายในบริเวณบ้าน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.5 สีย้อมผ้าตราสิงโตติดกลอง



รูปที่ 2.6 สีย้อมผ้าตราเครื่องบิน



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนในการต่อเส้นใย



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการปั่นเก็บเส้นใย

ในรูปที่ 2.5 และ 2.6 เป็นผลิตภัณฑ์สีย้อมเคมีตราสิงโตติดกลองและสีย้อมเคมีตราเครื่องบิน ตามลำดับ ซึ่งเป็นสีย้อมเคมีสังเคราะห์ที่ชาวบ้านนิยมใช้ในการย้อมผ้า เมื่อสังเกตผลของผลิตภัณฑ์สีย้อมจะไม่บอกถึงองค์ประกอบทางเคมีและวิธีการจัดการกับน้ำทิ้งหลังการย้อมสีผ้า

ค. การต่อเส้น ขั้นตอนนี้ชาวบ้านจะนำเส้นใยฝ้ายที่ย้อมสีเสร็จแล้วมาทำการต่อเส้นใยเพื่อเพิ่มความยาว เพื่อให้ได้ความยาวของเส้นใยตามที่ต้องการ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.7 ต่อจากนั้นจะทำการปั่นเก็บเส้นใยที่ต่อเส้นเสร็จแล้ว ขั้นตอนนี้จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.8

ง. การทอผ้าและการตัดเย็บ ในขั้นตอนนี้ชาวบ้านจะนำเส้นใยฝ้ายมาทอเป็นผืนผ้า โดยใช้เครื่องทอผ้าซึ่งชาวบ้านจะเรียกว่า "หูก" โดยจะตอเส้นใยด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า "พิม" และเรียกเส้นที่ถูกตอนี้ว่า "เส้นยืน" นอกจากนี้ชาวบ้านจะนำเส้นใยอีกส่วนหนึ่งไปร้อยไว้กับกระสวยทอผ้าและทำการสานกับเส้นยืนกลายเป็นผืนผ้าออกมา โดยจะเรียกเส้นใยที่ร้อยไว้กับกระสวยทอผ้านี้ว่า "เส้นพุ่ง" ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.9 หลังจากนั้นทำการตัดเย็บดังแสดงในรูปที่ 2.10 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ ได้แก่ เสื้อ กางเกง กระโปรง ผ้าพันคอ ผ้าขาวม้า เป็นต้น จะใช้เวลาในการตัดเย็บประมาณ 3 - 6 วัน



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนในการทอผ้า



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนในการตัดเย็บผ้า

2.1.2 กระบวนการผลิตผ้าไหมในชุมชน

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลการทอผ้าไหมในพื้นที่ จ.นครราชสีมา จำนวน 2 แห่งคือการทอผ้าไหมของนางสิมพลี แหนบกลาง อ.โนนสูง และจากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรทอผ้าไหมบ้านแฝก-โนนสำราญ กิ่งอำเภอสีดา

เมื่อทำการศึกษากระบวนการทอผ้าไหมในพื้นที่จริงจากนางสิมพลี แหนบกลาง 33/1 หมู่ 7 บ้านปราสาท อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา พบว่าเส้นไหมที่ใช้ในการทอผ้าจะเป็นเส้นไหมที่เลี้ยง

เอง โดยตัวไหมที่เลี้ยงจะเป็นพันธุ์พื้นบ้าน โดยพันธุ์ที่เลี้ยงส่วนใหญ่นำมาจากแถบ จ.ร้อยเอ็ด และ จ.ยโสธร ซึ่งแถบนั้นมีการเลี้ยงไหมกันอย่างแพร่หลายดังแสดงในรูปที่ 2.11 ส่วนอาหารที่ใช้เลี้ยงตัวไหมจะใช้ใบหม่อนที่มีขนาดของใบใหญ่แสดงไว้ในรูปที่ 2.12 ซึ่งต้นหม่อนชนิดนี้ได้มาจากศูนย์เพาะพันธุ์หม่อนไหม จ.นครราชสีมา



รูปที่ 2.11 ตัวไหมและใบหม่อน



รูปที่ 2.12 ต้นหม่อน

สำหรับบริเวณที่ใช้เลี้ยงตัวไหมนั้นจะต้องเป็นบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้ดีและต้องไม่มีแมลงมารบกวน โดยเฉพาะแมลงวันและมดซึ่งเป็นศัตรูตัวสำคัญของตัวไหม โดยจะเลี้ยงตัวไหมในถาดวงกลมที่ทำมาจากไม้ไผ่เรียกว่า “กระดิ่ง” และนำถาดมาเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก เลี้ยงจนกระทั่งตัวไหมโตเต็มวัยพร้อมที่จะเป็นดักแด้ ตัวเต็มวัยของตัวไหมจะมีสีขาวเมื่อพร้อมจะเข้าดักแด้ตัวไหมจะมีสีเหลืองดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 รูปดักแด้ที่โตเต็มวัย



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนในการสาวไหม

จากนั้นจะเปลี่ยนภาชนะเพื่อให้ตัวไหมเข้าฝักเป็นดักแด้ โดยภาชนะที่ใช้จะเป็นถาดวงกลมขนาดใหญ่ประมาณ 2 เท่าของกระดิ่งซึ่งชาวบ้านทั่วไปจะเรียกว่า “จ่อ” เมื่อตัวไหมกลายเป็นดักแด้แล้ว จึงนำดักแด้ไปปั่นให้ได้เส้นไหม การสาวไหมแสดงในรูปที่ 2.14 ดักแด้ที่ถูกสาวไหมแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.15 สำหรับวงจรชีวิตของตัวไหมนับตั้งแต่ออกจากไข่ ตัวไหม ตัวเต็มวัย ดักแด้ ออกจากดักแด้ ผสมพันธุ์และตายจะมีอายุประมาณ 45 วัน



รูปที่ 2.15 ดักแด้ที่ถูกดึงเส้นใยออกแล้ว



รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการล้างเส้นไหม



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการกระตุกเส้นไหม



รูปที่ 2.18 ขั้นตอนในการข้อมสีผ้า

ขั้นตอนในการข้อมไหม กระทำได้โดยก่อนที่จะนำไหมจากการสาวไหมไปข้อมต้องมี การกัว๊กไหมก่อน เพื่อจัดความเป็นระเบียบของเส้นไหมเมื่อนำไปข้อมเส้นไหมจะได้ไม่พันกัน โดย จะม้วนเป็นวงกลมเหมือนกับการม้วนเก็บเชือก นำเส้นใยไหมไปแช่น้ำให้เส้นไหมอ่อนตัวประมาณ

ครึ่งวัน หลังจากนั้นนำเส้นไหมไปล้างด้วยน้ำร้อน 4 ครั้ง ๆ ละประมาณ 10 นาที ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.16 แล้วนำเส้นไหมไปล้างด้วยน้ำเย็น จากนั้นนำไปแขวนไม้แล้วแผ่เส้นไหมออกแล้วกระตุกเส้นไหมแรง ๆ เพื่อให้เส้นไหมไม่พันกันและทำให้เส้นไหมเหยียดตรงสวยงาม ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.17

ต่อจากนั้นจะทำการย้อมสีผ้าดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.18 และรูปที่ 2.19 โดยทำการต้มสีย้อมเคมีในกะละมังจนกระทั่งน้ำเดือด จากนั้นนำไหมลงต้มประมาณ 10-20 นาที ยี่งนานยิ่งดีเพื่อให้สีติดเส้นไหมให้มากที่สุดจนกระทั่งจุ่มมือลงไป ในน้ำสีย้อมแล้วสีจะไม่ติดมือ เสร็จแล้วล้างด้วยน้ำค้างดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.20 ผลิตภัณฑ์ต่างฟอกไหมแสดงไว้ในรูปที่ 2.21 ล้างจนกระทั่งไม่มีสีหลุดออกมา เมื่อล้างเสร็จแล้วนำเส้นไหมไปส่งให้แพ่งพอมหาด ๆ แล้วทำการกระตุกซ้ำอีกครั้ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.19 ขั้นตอนการย้อมสีเส้นไหม



รูปที่ 2.20 ขั้นตอนในการล้างด้วยน้ำค้าง



รูปที่ 2.21 ผลิตภัณฑ์ต่างฟอกสีเส้นไหม



รูปที่ 2.22 การตากเส้นไหมที่ผ่านการย้อมแล้ว

สำหรับสีที่ใช้ย้อมผ้าอาจจะใช้สีเดียวหรือหลายสีผสมกันขึ้นอยู่กับเทคนิคของแต่ละบุคคล เช่น ใช้สีผสมกันระหว่าง สีบานเย็น 3 ชอง สีเม็ดมะขาม 2 ชอง และต่อไม้ ต่อน้ำหนึ่งหม้อใหญ่ (ประมาณ 10 ลิตร) ต่อเส้นไหม 1 กิโลกรัมระยะเวลาในการทอผ้าจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความยากง่ายของลวดลาย และความชำนาญของผู้ทอผ้า เช่น ผ้าไหมที่มีความยาวประมาณ 3-4 เมตร กว้างประมาณเมตรครึ่งจะใช้เวลาทอประมาณ 4 วัน ทอผ้าสไบที่เป็นลวดลาย กว้างประมาณ 20 ซม. ยาวประมาณ 2 เมตร จะใช้เวลาทอประมาณ 2 วัน สำหรับราคาผ้าไหมจะขึ้นอยู่กับความสวยงามของเนื้อผ้า ลวดลาย และความยากง่ายของการทอผ้า โดยปกติผ้าไหมที่มีความยาวประมาณ 3-4 เมตร กว้างเมตรครึ่งจะขายในราคา 1,500 บาท (ราคาสำรวจในปี 2547)

เมื่อทำการศึกษาระบวนการทอผ้าไหมมัดหมี่ในพื้นที่จริง จากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรทอผ้าไหมบ้านแฝก-โนนสำราญ ต.สามเมือง กิ่ง อ.เสีดา จ.นครราชสีมา เป็นกลุ่มแม่บ้านที่มีชื่อเสียงในการทอผ้าไหมมัดหมี่แบบพื้นบ้าน โดยใช้แรงงานคน และได้รับรางวัลต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีสมาชิกในกลุ่มแม่บ้านทั้งสิ้น 169 คน จำนวนเงินทุนหมุนเวียนในปี 2546 จำนวน 316,286 บาท ที่ทำการของกลุ่มแม่บ้านตั้งอยู่ที่อาคารอเนกประสงค์ตรงข้ามกับ วัดบ้านแฝก ต.สามเมือง กิ่ง อ.เสีดา จ.นครราชสีมา ซึ่งเป็นที่จำหน่ายผลิตภัณฑ์ผ้าไหมที่ผลิตได้และเป็นศูนย์กลางการพบปะในกลุ่มแม่บ้าน รวมทั้งเป็นสถานที่จัดกิจกรรมต่าง ๆ ในกลุ่มแม่บ้าน เช่น การอบรมการตัดเย็บเสื้อผ้าไหม เพื่อเพิ่มมูลค่าของผ้าไหมที่ผลิตได้ ในกลุ่มแม่บ้านมีเครื่องมือในการทอผ้าคือ กี่กระตุก 4 หลัง ฝีมทอผ้า 5 ชุด และหลอดทอผ้าไหม 500 หลอด โดยมีปริมาณผ้าไหมผลิตได้ต่อเดือนดังนี้ ไหมมัดหมี่ข้อ 94 ผืน ไหมลูกแก้ว 14 ผืน และผ้าขาวม้าไหม 5 ผืน



รูปที่ 2.23 ขั้นตอนการมัดหมี่



รูปที่ 2.24 การผลิตผ้าไหมของแม่บ้านเกษตรกร

จากการเก็บข้อมูลภาคสนามในปี 2547 พบว่า การทอผ้าไหมของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมทำในครัวเรือนตั้งแต่การปลูกหม่อนเลี้ยงไหม สาวไหม ย้อมไหม และทอผ้า จนเสร็จสิ้นกระบวนการภายในบ้านของตนเช่นเดียวกับการทอผ้าไหมของ ต.บ้านปราสาท อ.โนนสูง มีเพียงส่วนน้อยที่มาทำขั้นตอนการมัดหมี่ ลักษณะของการทอผ้าไหมมัดหมี่ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.23 และ 2.24 ที่อาคารอเนกประสงค์ ซึ่งเป็นที่ทำการของกลุ่มแม่บ้าน

เส้นไหมวัตถุดิบมีทั้งที่ชาวบ้านผลิตเองจากการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมและเส้นไหมที่ซื้อมา โดยแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1.ไหมเปลือกนอก เป็นไหมชั้นนอกของรังไหม มีความหนากว่า และเมื่อทอเป็นผืนจะมีปมพมมากกว่า ราคาขายเส้นไหมเปลือกนอก ณ เวลาที่สำรวจอยู่ที่ 600 บาทต่อกิโลกรัม

2.ไหมเปลือกใน เป็นไหมเส้นเล็กและมีความละเอียดมากกว่าไหมเปลือกนอก ราคาขายเส้นไหมเปลือกใน ณ เวลาที่สำรวจอยู่ที่ 1300 บาทต่อกิโลกรัม

ก่อนการย้อมสีไหมกลุ่มแม่บ้านจะทำการล้างไหมด้วยด่างฟอกไหม トラสังโตติกลอง ก่อนเพื่อล้างขาวไหมออกจากเส้นไหม เพื่อให้เส้นไหมที่ได้มีความอ่อนตัวลง สีที่ใช้ในการฟอกย้อมไหมของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรทอผ้าไหมบ้านแฝก-โนนสำราญ แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ สีธรรมชาติและสีเคมีสังเคราะห์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสีทั้ง 2 ประเภท พบว่า สีสังเคราะห์มีราคาถูกกว่า ให้สีสดและสม่ำเสมอกว่า รวมทั้งให้สีในช่วงกว้างกว่า นอกจากนี้ยังมีขายในรูปผงซึ่งสะดวกต่อการเลือกใช้ ดังนั้นผู้ใช้นิยมใช้สีสังเคราะห์มากกว่าสีธรรมชาติ ขั้นตอนและวิธีการฟอกย้อมเส้นไหมเป็นดังนี้ นำไหมหนัก 1 จีด ล้างน้ำให้เปียก นำไปผึ่งลมให้เส้นไหมเปียกหมาดๆ โดยจัดให้เส้นไหมเหยียดตรงในขณะผึ่งลม ต้มน้ำ 2 ลิตรจนเดือด ใส่สีย้อมผ้า 1 ซอง ๆ ละ 10 กรัม คนจนสีย้อมละลายหมด แล้วนำเส้นไหมที่เตรียมไว้ลงต้ม โดยใช้ไม้พายคนเพื่อให้สีย้อมติดไหมให้สม่ำเสมอ โดยใช้ระยะเวลาในการต้มประมาณ 30 นาที นำไหมที่ย้อมแล้วล้างด้วยน้ำเย็น แล้วผึ่งลมหรือตากให้แห้ง วิธีการตากเส้นไหมจะต้องทำให้เส้นไหมเหยียดตรงเพื่อสะดวกในการนำไปปั่นหรือทอต่อไป

เมื่อนำน้ำเสียที่เก็บตัวอย่างจากกระบวนการย้อมผ้าในพื้นที่ที่สำรวจ ไปทำการวิเคราะห์หาตัวแปรที่บ่งบอกถึงคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี และค่าของแข็งทั้งหมด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 พบว่า ค่าตัวแปรเหล่านี้มีระดับเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดโดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมดังแสดงในตารางที่ 1a ในภาคผนวก จ นอกจากนี้สีย้อมเคมีสังเคราะห์เหล่านี้ อาจจะมีการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่ด้วย เนื่องจากสีที่เกิดขึ้นในสีย้อมเคมีมาจากสารเชิงซ้อนของโลหะหนัก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่อาจจะปะปนอยู่ในสีย้อมผ้า โดยนำผงสีย้อมผ้าตรวจสอบสกัด (สีดำ) ซึ่งเป็นผงสีที่นิยมใช้ในพื้นที่ อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา มาทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะ

หนักได้แก่ Cu Cr Fe และ Zn ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectroscopy พบว่า ในผงสีข้อมเคมีเหล่านี้มีโลหะหนักเจือปนอยู่ด้วย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของชาวบ้านได้เมื่อมีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นเวลานาน

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งจริงจากอุตสาหกรรมสิ่งทอระดับครัวเรือนของ จ.นครราชสีมา

สถานที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดของน้ำเสีย	ตัวแปร				
		บีโอดี (mg/L)	ซีโอดี (mg/L)	pH	ของแข็งทั้งหมด (mg/L)	ความขุ่น (NTU)
กิ่ง อ.สีดา	สีม่วงขุ่น ⁽²⁾	15.33	1,577.5	8.29	11,036	23.8
	สีม่วงอมชมพู ⁽¹⁾	70	303	7.69	10,205	33.7
	สีขุ่นชมพู ⁽¹⁾	130	431	8.29	15,795	21.8
	สีเม็ดมะปราง ⁽¹⁾	120	1,415	8.39	10,345	180
	สีพลอยแดง ⁽¹⁾	70	170	8.65	8,315	17.3
	สีดำ ⁽¹⁾	-	-	-	27,675	-
	สีชมพู ⁽¹⁾	-	-	-	9,327	-
อ.บ้านปราสาท	สีดำเข้ม ⁽⁴⁾	21	790	8.32	7,572	22.3
	สีแสด ⁽⁴⁾	462	1,509	7.33	15,344	45.0
อ.ปักธงชัย	สีน้ำตาล ⁽¹⁾	66	1,502	7.73	9,968	158.0
	สีน้ำเงิน ⁽³⁾	355	1,413	-	-	-
	สีเขียว ⁽³⁾	1,06	2,362	-	-	-
อ.โนนสูง	สีดำ ⁽³⁾	211	850	-	-	-
	สีเขียวขุ่น ⁽¹⁾	17	1,331.6	8.53	16,720	46.3
	สีแสด ⁽¹⁾	17.6	393	-	1,055	-
ค่ามาตรฐานที่รัฐบาลกำหนด		≤ 20	≤ 120	5-9	-	-

⁽¹⁾ สีข้อมฟ้าตราสิงโตติกลอง, ⁽²⁾ สีข้อมฟ้าตราเครื่องบิน, ⁽³⁾ สีข้อมฟ้าตราสมศักดิ์, ⁽⁴⁾ สีข้อมฟ้าตราใบหม่อน

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักในเนื้อผ้าไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีย้อมผ้าตราสิงโตติดกลองได้แก่ ผ้าสีชวนชมและผ้าสีเม็ดมะปราง พบว่า มีปริมาณของโลหะ Zn อยู่ในเนื้อผ้าสีชวนชมและผ้าสีเม็ดมะปรางมีค่าเท่ากับ 19.034 และ 26.79 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับและมีปริมาณของโลหะ Fe อยู่ในเนื้อผ้าสีชวนชมและผ้าสีเม็ดมะปรางมีค่าเท่ากับ 42.28 และ 33.74 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า มีเพียงโลหะหนักบางชนิดเท่านั้นที่ถูกดูดซับบนเส้นใยของผ้า ดังนั้นในน้ำทิ้งหลังการย้อมสีผ้า น่าจะมีโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ปะปนอยู่ในน้ำทิ้งด้วย

ตารางที่ 2.2 สีย้อมเคมีสังเคราะห์จากสารเชิงซ้อนของโลหะหนัก

สีย้อมเคมีสังเคราะห์	สารเชิงซ้อนของโลหะหนักที่ทำให้เกิดสี
สีดำ	คาร์บอน
สีม่วง	เมธิลไวโอเลต
สีน้ำเงิน	โคบอลต์ออกไซด์, เมธิลลิ้นบลู
สีแดง	ไอออนออกไซด์ (FeO)
สีเหลือง	แคดเมียมออกไซด์ (CdO)
สีขาว	แลดซัลเฟต (PbSO ₄)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณโลหะหนักในผงสีดำ (สีย้อมผ้าตราสมศักดิ์)

ชนิดของโลหะหนักในผงสีดำ	ปริมาณของโลหะหนัก ($\mu\text{g/g}$)
Cu (by flame and graphite furnace technique)	7.14
Cr (by flame technique)	12.64
Fe (by flame technique)	96.77
Zn (by flame technique)	198.25

2.2 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับคือ กระบวนการแยกสาร โดยจะเรียกสารที่ถูกแยกว่า “ตัวถูกละลายหรือตัวถูกดูดซับ” ซึ่งอนุภาคของตัวถูกดูดซับจะละลายอยู่ในของไหล (ของเหลวหรือแก๊ส) ซึ่งจะไหลเข้าสัมผัสกับของแข็งซึ่งจะเรียกว่า “ตัวดูดซับ” โดยอนุภาคของตัวถูกดูดซับจะแพร่ผ่านเข้าไปยังพื้นผิวของตัวดูดซับผ่านรอยต่อระหว่างของแข็งกับของเหลว ควรเลือกวัสดุตัวดูดซับที่มีรูพรุนสูงและขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็กเชื่อมต่อกัน มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากเมื่อเทียบกับหนึ่งหน่วยปริมาตรตัวดูดซับ การดูดซับสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท (McKay, 1996) ได้แก่ การดูดซับทางเคมีโดยตัวถูกดูดซับจะ

สร้างพันธะไอออนิกหรือพันธะโควาเลนต์กับตัวดูดซับ ในการสร้างพันธะต้องใช้พลังงานสูงและเป็นระบบที่ผันกลับไม่ได้ ลักษณะของการยึดเกาะของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวสัมผัสของตัวดูดซับจะเกิดเป็นชั้นเดี่ยว (Monolayer) สำหรับการดูดซับทางกายภาพตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับจะยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อน ๆ เรียกว่า “แรง Van Der Waals” และเป็นกระบวนการผันกลับได้ การดูดซับทางกายภาพตัวถูกดูดซับจะจับตัวกันและยึดเกาะบนตัวดูดซับในลักษณะหลายชั้น (Multilayer)

การเลือกใช้ตัวดูดซับจะพิจารณาถึงความจำเพาะเจาะจงต่อตัวถูกดูดซับ และปริมาณการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ ตามการนิยามของ IUPAC ขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับจะถูกจำแนกเป็นรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนน้อยกว่า 2 nm สำหรับรูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนอยู่ในช่วง 2 - 50 nm และรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนมากกว่า 50 nm ตัวดูดซับอาจจะมีรูปร่างเป็นทรงกลม เป็นทรงกระบอก เป็นแผ่นบางขนาดเล็ก หรือเป็นผงที่มีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 50 μm ถึง 1.2 cm มีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง 300 ถึง 1200 m^2/g มีความพรุนภายในตัวดูดซับประมาณ 30-85 % พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับสามารถวัดได้ด้วยโดยใช้วิธี BET (Brunauer Emmett Teller) ซึ่งจะศึกษาการดูดซับและการคายของก๊าซ N_2 บนตัวดูดซับ

กลไกในการดูดซับจะเกิดขึ้น 3 ขั้นตอนได้แก่ การถ่ายโอนมหภาค การถ่ายโอนจุลภาค และการดูดซับ การถ่ายโอนมหภาคจะศึกษาการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับผ่านของไหลไปยังรอยต่อระหว่างของเหลวกับของแข็ง (Liquid-solid interface) สำหรับการถ่ายโอนจุลภาคจะศึกษาการแพร่ผ่านของตัวดูดซับเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับซึ่งรูพรุนจะเชื่อมโยงกันอยู่ภายในตัวดูดซับ สำหรับการดูดซับจะศึกษาถึงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ

การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการดูดซับ (Adsorber) จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ข้อมูลด้านอุณหพลศาสตร์การดูดซับเพื่อศึกษาความสามารถการดูดซับของตัวดูดซับซึ่งจะพิจารณาปริมาณของตัวดูดซับต่อหนึ่งหน่วยมวลของตัวถูกดูดซับ ข้อมูลด้านจลนพลศาสตร์การดูดซับจะศึกษาเกี่ยวกับอัตราการดูดซับเพื่อหาเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม ข้อมูลทางด้านพลังงานความร้อนของการดูดซับในสถานะที่ใช้งาน ข้อมูลด้านอุทกพลศาสตร์เช่น การหาความแตกต่างของความดันและการแพร่กระจายของความดันในระบบ สุดท้ายข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพของระบบ เช่น ช่วงของอุณหภูมิ ความดันที่ใช้งาน เป็นต้น (Crittenden and Thomas, 1998) ข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้จะนำมาใช้ในการออกแบบขนาดและรูปร่างอุปกรณ์การดูดซับ นอกจากนี้ต้องทำการศึกษาข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์และความปลอดภัยควบคู่ไปด้วย (Lin, Juang, and Wang, 2004)

2.3 แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite clays)

แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์มีโครงสร้างเป็นชั้น ๆ ซ้อนกันหลายชั้นมีลักษณะการจัดเรียงตัวที่ไม่แน่นอน เมื่อนำแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ไปละลายน้ำแร่ดินจะเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็วและขยายตัวได้ แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์เป็นองค์ประกอบหลักของเถ้าภูเขาไฟซึ่งจะเรียกว่า “เบนโทไนต์” (Bentonite) ซึ่งจะถูกใช้ทำเป็นโคลนเจาะ (Drilling muds) ในงานด้านวิศวกรรมโยธา เมื่อนำแร่ดินเบนโทไนต์ไปละลายน้ำจะให้น้ำโคลนที่มีความหนืดมาก ซึ่งมีความสำคัญมากที่จะรักษาความเย็นของหัวเจาะในขณะที่ทำการขุดเจาะ และอำนวยความสะดวกในการกำจัดหินหรือสิ่งสกปรกที่อาจติดอยู่ในช่องหรือรูของหัวเจาะ นอกจากนั้นแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์สามารถนำไปใช้ผสมกับดินและหินให้การอุ้มน้ำได้ดีขึ้น เพื่อช่วยขยายระยะเวลาในการแห้งตัวของดิน ด้านวิศวกรรมช่วยป้องกันการไหลซึมของน้ำของเขื่อนดินหรือฝายกั้นน้ำ หรือบางทีเพื่อใช้ถมหลุมที่ขุดขึ้นเพื่อป้องกันการซึมผ่านของสารพิษที่เป็นของเหลวให้อยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าระดับน้ำใต้ดิน

แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่ดินในกลุ่มสเมคไทต์ (Smectite) มีสูตรทางเคมีทั่วไปคือ $M_{y+}(Al_{2-y},Mg_y)Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot n(H_2O)$ สำหรับสูตร Empirical formular ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ได้แก่ $(Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot n(H_2O)$ โครงสร้างของชั้นดินแสดงไว้ในรูปที่ 2.25 ในแต่ละชั้นดินจะประกอบไปด้วยแผ่น 3 แผ่นซ้อนกัน ได้แก่ แผ่นของซิลิกาที่มีรูปร่างของเซลล์หน่วยเป็นแบบทรงสี่หน้า 2 แผ่นประกบกับแผ่นของอลูมินาที่มีรูปร่างของเซลล์หน่วยเป็นแบบทรงแปดหน้าแทรกอยู่ตรงกลาง ระหว่างชั้นดินแต่ละชั้นจะมีช่องว่างอยู่เนื่องจากประจุของชั้นดินมีความไม่สมดุลกัน เพราะอลูมิเนียมไอออนสามารถเข้าไปแทนที่ซิลิกาไอออนในแผ่นของซิลิกาได้ นอกจากนี้ประจุบวกของเหล็กและแมกนีเซียมสามารถเข้าไปแทนที่อลูมิเนียมไอออนในแผ่นของอลูมินาได้ เมื่อเกิดการแทนที่ขึ้นมาก ๆ ประจุลบจะมีอำนาจสูงขึ้น ทำให้ออกซิเจนภายในชั้นดินพยายามจัดเรียงตัวใหม่ แต่เนื่องจากเซลล์หน่วยของชั้นดินมีการอัดตัวกันอย่างแน่นหนาอยู่แล้วทำให้ออกซิเจนไม่สามารถขยับได้จึงส่งผลให้มีแรงผลักดันขึ้นระหว่างชั้นดิน ชั้นดินจึงแยกชั้นออกจากกันเกิดเป็นช่องว่างระหว่างชั้นดินขึ้น ดังนั้นแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ในธรรมชาติจึงมีประจุบวก เช่น Na^+ Ca^{2+} และน้ำ เป็นต้น แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นดินเพื่อให้ประจุภายในแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์สมดุลกัน ด้วยเหตุนี้ทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นดินสามารถขยายตัวได้เมื่อละลายอยู่ในน้ำ

โซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ (Na-montmorillonite) เป็นแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีโมเลกุลของโซเดียมและน้ำแทรกอยู่ภายในช่องว่างระหว่างชั้นดิน และแคลเซียมมอนต์มอริลโลไนต์ (Ca-montmorillonite) เป็นแร่ดินกลุ่มเดียวกันเพียงแต่มีโมเลกุลของแคลเซียมและน้ำแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นดินแทนโซเดียมเท่านั้น ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติมาจาก บริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด ประเทศ

ไทย มีองค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ธรรมชาติ 100 กรัมมีค่า CEC (Cation Exchange Capacity) เท่ากับ 80 meq.

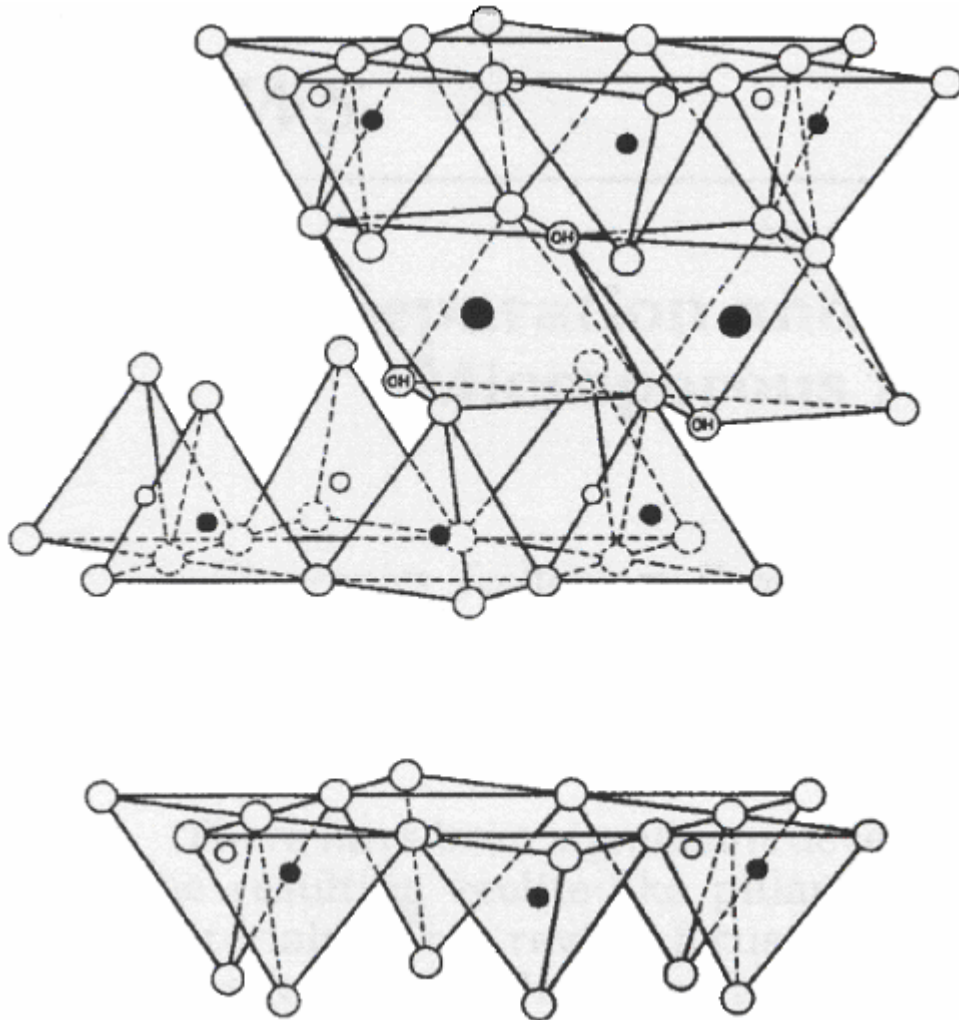
ตารางที่ 2.4 ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีโดยน้ำหนัก (%wt) ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์

องค์ประกอบทางเคมี	%wt	องค์ประกอบทางเคมี	%wt
SiO ₂	56-60	MgO	1.5-2.0
Al ₂ O ₃	16-18	CaO	1.9-2.1
Fe ₂ O ₃	5-7	K ₂ O ₃	0.3-0.5
Na ₂ O	2.4-3	TiO ₂	1.2-1.5

หมายเหตุ ข้อมูลจาก บริษัท ไทยนิปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด

ในปี 2002 Neumann, Gessner, Schmitt และ Satrori ศึกษาการดูดซับสารเมทิลีนบลู (Methylene Blue) ซึ่งเป็นสีย้อมที่มีประจุบวกด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ พบว่า ประจุบวกของสารเมทิลีนบลูจะแพร่เข้าไปยึดเกาะกับพื้นผิวของแร่ดินด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic forces) ระหว่างประจุลบของชั้นดินกับประจุบวกของเมทิลีนบลู โดยในช่วงแรก ๆ จะเกิดการจับตัวกันของโมเลกุลสีย้อมบริเวณพื้นผิวภายนอกของอนุภาคแร่ดิน หลังจากนั้นจะเกิดการแยกตัวกันของโมเลกุลสีย้อมไปอยู่ในรูปโมเลกุลเดี่ยวซึ่งจะเคลื่อนที่ไปที่ช่องว่างระหว่างชั้นดิน แล้วเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างประจุบวกกับประจุบวกที่อยู่ภายในชั้นดิน นอกจากนี้ในปี 2004 Czimerova, Bujdak และ Gaplovsky ศึกษาผลของความแรงของประจุในชั้นดินที่มีผลต่อการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาคสารเมทิลีนบลูพบว่า เมื่อความแรงของประจุลบในชั้นดินเพิ่มขึ้น จะทำให้การจับตัวกันของประจุบวกของสารเมทิลีนบลูบนพื้นผิวของอนุภาคแร่ดินเพิ่มมากขึ้น

นอกจากการศึกษาการดูดซับสีย้อมที่มีประจุบวกแล้ว ยังมีการศึกษาการดูดซับไอออนบวกของโลหะหนักบนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติด้วย ซึ่งสามารถเกิดการดูดซับได้ใน 2 ลักษณะได้แก่ การแลกเปลี่ยนระหว่างประจุของโลหะหนักกับประจุบวกในแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและการยึดเหนี่ยวกันของไอออนบวกของโลหะหนักกับประจุลบของชั้นดินและเกิดการจับตัวกันเป็นโมเลกุลที่ซับซ้อนกับกลุ่มของ Si-O⁻ และ Al-O⁻ ขึ้นบริเวณขอบของอนุภาคของแร่ดิน (Abollino, Aceto, Malandrino, Sarzanini and Mentasti, 2003) ผลของความเป็นกรด-ด่างของระบบก็มีผลต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้เช่นกันและแร่ดินมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดแตกต่างกัน



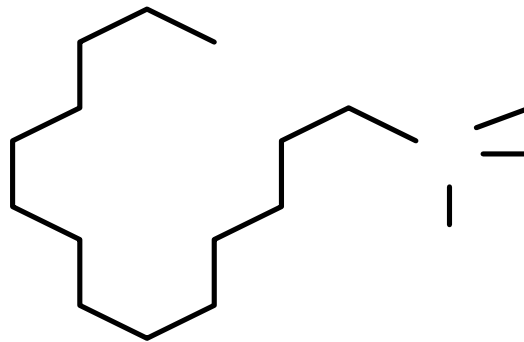
รูปที่ 2.25 โครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ วงกลมกลวงใหญ่คือ ออกซิเจน วงกลมกลวงเล็กคือ ไฮโดรเจน วงกลมสีดำใหญ่คือ อลูมิเนียม, เหล็ก, แมกนีเซียม วงกลมสีดำเล็กคือ ซิลิกา, บางส่วนเป็นอลูมินา วงกลมเล็กที่มี OH อยู่ตรงกลางคือ ไฮดรอกซิล

หมายเหตุ จาก Ohtsuka, K. (1997). Preparation and Properties of Two- Dimensional Microporous Pillared Interlayered Solids. **Chem. Mater.** 9: 2039-2050.

2.4 Organo-clay

แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นแร่ดินที่มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่ในปัจจุบันสามารถปรับปรุงแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ให้สามารถดูดซับสารอินทรีย์ซึ่งเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เช่น ยาฆ่าแมลง เบนซีน โทลูอิน และฟีนอล (Kozak and Domka, 2004) โดยใช้สารลดแรงตึงผิวประเภท QACs (Quaternary Ammonium Cations) โดยสูตรทั่วไปของ

QACs คือ $([CH_3]_3NR)^+$ หรือ $([CH_3]_2NR_2)^+$ เมื่อ R คือแอลคิลไฮโดรคาร์บอน (C_nH_{2n+1}) แร่ดินที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวนี้จะเรียกว่า “Organo-clay” ในงานวิจัยนี้จะใช้สารลดแรงตึงผิวได้แก่ TDMA-Br (Tetradecyltrimethylammonium Bromide) ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 286 กรัมต่อโมล สูตรโมเลกุลของสาร TDMA คือ $(CH_3[CH_2]_{13}(CH_3)_3N^+$ ลักษณะโครงสร้างทางเคมีแสดงไว้รูปที่ 2.26 และมีค่า CMCs (Critical Micelle Concentrations) เท่ากับ 1.2 meq/L (ปิยะมาภรณ์ จารุงศ์ และ รัตนวรรณ เกียรติโกมล, 2547) แร่ดินที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวนี้จะเรียกว่า “TDMA-clay”



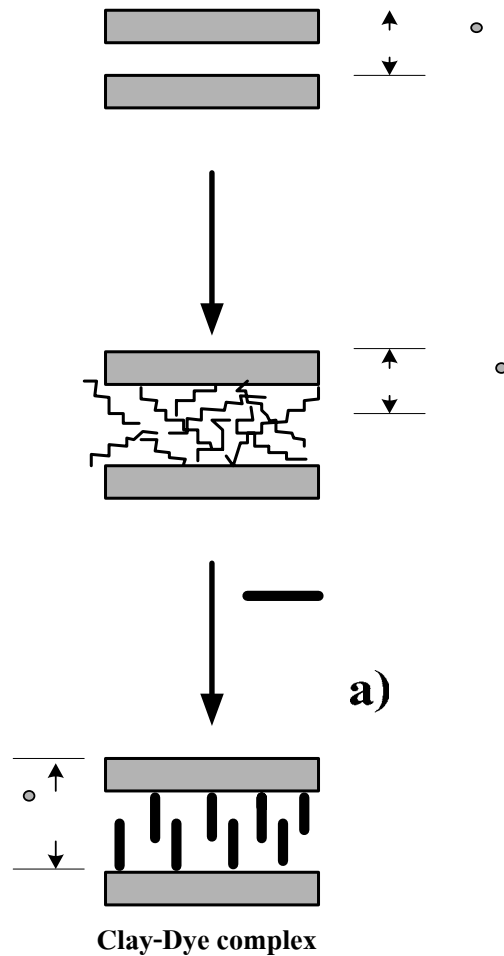
รูปที่ 2.26 โครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิว TDMA-Br

หมายเหตุ จาก ปิยะมาภรณ์ จารุงศ์ และรัตนวรรณ เกียรติโกมล. (2004). การดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์และ organo-clays. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี 11: 39-51.

นอกจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติพื้นผิวของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติให้มีลักษณะชอบสารอินทรีย์ด้วยสาร QACs แล้ว สาร QACs ยังสามารถนำมาใช้ปรับปรุงแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ให้มีขนาดของช่องว่างระหว่างชั้นดินใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถดูดซับสารที่มีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างชั้นของดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาหลักการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ จะมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.27 เริ่มจากรูปที่ 2.27a เป็นโครงสร้างของชั้นดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ เมื่อนำมาทำปฏิกิริยากับสาร QACs ที่แตกตัวเป็นประจุบวกในน้ำซึ่งจะแพร่กระจายไปยังพื้นผิวของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติแล้วเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างประจุบวกของสาร QACs กับประจุบวกที่อยู่ระหว่างชั้นโครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ทำให้ช่องว่างของแร่ดินมีการขยายตัวมากขึ้น ในขั้นตอนนี้เราจะได้ Organo-clay ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.27b เมื่อทำการเติมสีย้อมที่มีประจุบวกลงไป โมเลกุลของสีย้อมที่มีประจุบวกที่มีขนาดของอนุภาค

ใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างชั้นดินของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ สีย้อมเหล่านี้จะเข้าไปแลกเปลี่ยนกับประจุบวกของสาร QACs แล้วจัดเรียงตัวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.27c ดังนั้น Organo-clay จึงสามารถดูดซับสารอินทรีย์และสารที่มีประจุบวกภายในโมเลกุลแต่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างชั้นดินของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติได้



รูปที่ 2.27 แรงยึดเหนี่ยวของ QACs และสีย้อมที่มีประจุบวกกับชั้นดินของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์
 หมายเหตุ จาก Ito, K., Kuwabara, M., Fukunishi, Y. and Fujiwara, Y. (1997). Effect of the exchangeable cations on the spectral properties of methylene blue in clay dispersions. *Journal of colloid and interface science* 274: 126-132.

2.5 สีย้อม (Dyes)

สีย้อมเคมีอาจเข้าสู่ร่างกายของผู้ใช้ได้ 3 ทางคือ **b)** ใจด้วยการสูดดมสีที่ฟุ้งกระจาย อยู่ในอากาศ จากการสัมผัสทางผิวหนังและจากการปะปนเข้าไปกับอาหารการกิน สารบางชนิดในสี

ย้อมหากเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมอยู่ภายในอวัยวะต่าง ๆ จะก่อตัวเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น 2-naphthylamine และ NH_2 Benizidine สีย้อมบางชนิดเช่น สี Azo เป็นสีที่ทำได้ง่ายและมีราคาถูกซึ่งมีส่วนประกอบของโลหะหนักโครเมียมผสมอยู่ ถ้าทิ้งลงไปในน้ำจะเป็นอันตรายต่อปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำ ถ้าเข้าสู่ร่างกายมนุษย์จะเป็นสารก่อมะเร็ง สีย้อมมีหลายประเภทและมีการใช้งานที่ไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการใช้งาน (ประเสริฐ แก้วแกมเกษ, 2543) สีย้อมสามารถแยกตามประเภทของการใช้งานได้ดังนี้

1. สีย้อมไหม ไนลอน ขนแกะ และเส้นใยอะคริลิกสังเคราะห์ ได้แก่ สีเอสิก (Acid dyes) เป็นสีที่มีประจุลบเมื่อละลายน้ำ โมเลกุลของสีเป็นเกลือของสารประกอบอินทรีย์ที่ให้สี ต้องย้อมในน้ำร้อนที่มีฤทธิ์เป็นกรด มีโครงสร้างคล้ายกับสีไคเร็กต์ (Direct dyes) การย้อมสีประเภทนี้ต้องคำนึงถึงภาวะความเป็นกรดของน้ำย้อม โดยจะใช้สารเคมีที่เป็นกรด ได้แก่ กรดแอซิดิก กรดซัลฟิวริก เป็นต้น ความสามารถในการย้อมของสีย้อมบนเส้นใยเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างประจุลบของสีเอสิกับกลุ่มที่มีประจุบวกบนเส้นใย ส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ประมาณ 30 ถึง 40 % ของปริมาณสีย้อมทั้งหมดที่ใช้ย้อม

2. สีย้อมฝ้าย ได้แก่

2.1 สีไคเร็กต์ (Direct dyes) ปกติเป็นสีที่เป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อย ย้อมในสภาวะที่น้ำย้อมเดือด โดยจะเติมสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หรือ โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เพื่อเพิ่มความทนทานของการย้อมของสีย้อม ตัวของสีเป็นเกลือโซเดียมของกรดซัลโฟนิคเวลาที่ย้อมไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีของสีกับใย แต่คิดเพราะสีที่ละลายน้ำซึมเข้าไปภายในเส้นใยแล้วแห้งอยู่ภายในเท่านั้น มีราคาถูกย้อมง่าย ไม่ทนแดด ไม่ทนซัก ถ้าย้อมทับด้วยสารเคมีบางชนิดจะทำให้สีทนทานขึ้น แต่ยังไม่นับว่าเป็นสีไม่ตก (Fast Colour)

2.2 สีรีแอคทีฟ (Reactive dyes) หรือสีย้อมโลหะ ในโมเลกุลของสีย้อมจะบรรจุกลุ่มที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Reactive groups) เมื่อนำไปย้อมจะทำให้สีย้อมเป็นด่างเล็กน้อย โมเลกุลของสีจะเกิดพันธะเคมีกับเส้นใย ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุดและละลายน้ำได้ดี

2.3 สีแวต (Vat dyes) ตัวสีทำจากต้นคราม ต้องหมักให้ตัวสีละลายออกมาจากต้นพืช จึงจะใช้ย้อมได้ ถึงที่หมักจะเรียกว่า "Vat" จึงเรียกกันว่า สี Vat ตามถิ่นที่ใช้หมัก เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ วิธีย้อมจะทำการละลายสีด้วยโซดาไฟและโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ เมื่อย้อมแล้วต้องออกซิไดซ์ให้กลับเป็นตัวสีที่ไม่ละลายน้ำคงอยู่ภายในเส้นใย จึงเป็นสีที่มีความคงทนดีใช้ย้อมใยเซลลูโลส

2.4 สีซัลเฟอร์ (Sulfur dyes) โครงสร้างโมเลกุลของสีมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ สีส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ ต้องช่วยละลายโดยเติมด่างโซเดียมซัลไฟด์ เมื่อย้อมใยฝ้ายจะได้สีขุ่น ใช้ย้อมใยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่

สมบัติของการละลายน้ำของสีข้อมเคมีมีความสำคัญต่อความยากง่ายในการกำจัดสีข้อมออกจากน้ำเสีย ถ้าเป็นสีข้อมเคมีที่ละลายน้ำไม่ได้จะทำการกำจัดสีข้อมเหล่านี้ด้วยวิธีการตกตะกอนสีข้อมซึ่งจะทำได้โดยง่าย แต่ถ้าเป็นสีข้อมเคมีที่ละลายน้ำอาจต้องใช้วิธีการที่ซับซ้อนมากขึ้นเช่น การดูดซับ การแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน เป็นต้น ดังนั้นสีข้อมเคมีแต่ละชนิดจึงมีวิธีการกำจัดที่แตกต่างกันขึ้นกับสมบัติของสีแต่ละประเภท

บทที่ 3

การดูดซับสีย้อมแบบกะในระดับห้องปฏิบัติการ

3.1 บทนำ

กระบวนการดูดซับแบบกะในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) เป็นกระบวนการพื้นฐานที่ศึกษาความสามารถในการดูดซับ โดยจะพิจารณาถึงปัจจัยที่อาจมีผลกระทบต่อการดูดซับ ได้แก่ ปัจจัยทางด้านอุณหพลศาสตร์ ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้น ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวดูดซับ ผลของค่า pH ที่เปลี่ยนไปและปัจจัยทางด้านจลนพลศาสตร์ (Wu, Liao, Zhang and Guo, 2001) เป็นต้น อุณหพลศาสตร์การดูดซับจะอธิบายถึงลักษณะของการกระจายตัวของตัวถูกดูดซับที่อยู่ในเฟสของไหลและในเฟสของแข็ง ปกติปริมาณการดูดซับที่สมดุลจะแสดงอยู่ในรูปของความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในกรณีที่อยู่ในของเหลว หรืออยู่ในรูปของความดันย่อยของตัวถูกดูดซับในกรณีที่อยู่ในเฟสแก๊ส

ปริมาณของสีย้อมเคมีบนแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay สามารถคำนวณได้จากสมการมวลสาร (Seader and Henley, 1998) โดยจะถือว่าความเข้มข้นของสีย้อมที่หายไปจากน้ำทั้งหมดเนื่องจากสีย้อมเหล่านี้ถูกดูดซับอยู่บนตัวดูดซับเท่านั้นและปริมาณการดูดซับเป็นไปตามสมการที่ 3.1

$$q_e = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (3.1)$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณสีย้อมในตัวแร่ดินที่สภาวะสมดุล (mg/g)

V คือ ปริมาตรของน้ำ (L)

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเคมีในน้ำ (mg/L)

C_e คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสีย้อมในน้ำ (mg/L)

m คือ น้ำหนักของแร่ดิน (g)

ไอโซเทิร์มการดูดซับ (Adsorption isotherm) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับที่อยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในของเหลว ส่วนใหญ่พฤติกรรมของการดูดซับในของเหลวจะเป็นไปตามไอโซเทิร์มการดูดซับของ Freundlich และ

Langmuir เช่น การดูดซับของถ่านกัมมันต์ในน้ำและน้ำเสีย เป็นต้น (Rozada, Calvo, Garcia, Martin-Villacorta and Otero, 2003) ซึ่งรายละเอียดของไอโซเทิร์มเป็นดังนี้

ก) ไอโซเทิร์มเส้นตรง (Linear Isotherm)

เป็นไอโซเทิร์มที่ปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่สถานะสมดุล โดยทั่วไปแล้วจะเรียกว่า “Henry’s Law” มีรูปแบบสมการเป็นดังนี้

$$q = K_d C_e \quad (3.2)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ (mg/g)

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สมดุลหลังการดูดซับ (mg/L)

K_d คือ สัมประสิทธิ์การแจกแจงหรือ ค่าคงที่ Henry’s Law (L/g)

ข) ไอโซเทิร์มการดูดซับของ Freundlich

สมการไอโซเทิร์มการดูดซับของ Freundlich ดังแสดงไว้ในสมการที่ 3.3 ซึ่งอธิบายถึงการจับตัวกันเป็นชั้น ๆ ของตัวถูกดูดซับ (Multilayer) บนพื้นผิวของตัวดูดซับ เนื่องจากโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันสูง

$$q = K_f C_e^{1/n} \quad (3.3)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (mg/g)

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุลหลังการดูดซับ (mg/L)

K_f, n คือ ค่าคงที่

ค่าคงที่ในสมการไอโซเทิร์มของ Freundlich สามารถหาได้ โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง q กับ ความเข้มข้น C_e โดยใช้สมการที่ 3.4 ซึ่งเป็นการจัดรูปสมการของสมการที่ 3.3

$$\log(q) = \log(K_f) + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3.4)$$

ค) ไอโซเทิร์มการดูดซับของ Langmuir

ไอโซเทิร์มการดูดซับของ Langmuir มีสมมติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะปกคลุมผิวของตัวดูดซับเพียงชั้นเดียว (Monolayer sorption) ไอโซเทิร์มการดูดซับของ Langmuir เป็นไปตามสมการที่ 3.5

$$q = \frac{aC_e}{(1+bC_e)} \quad (3.5)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (mg/g)

a, b คือ ค่าคงที่อย่างง่าย

C_e คือ ความเข้มข้นที่สมดุลของตัวถูกดูดซับในสารละลายหลังการดูดซับ (mg/L)

การหาค่าคงที่ในสมการไอโซเทิร์มการดูดซับของ Langmuir สามารถหาได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{C_e}{q}$ กับ C_e โดยใช้สมการที่ 3.6

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{a} + \frac{b}{a}C_e \quad (3.6)$$

เมื่อหาค่าเศษหนึ่งส่วนความชันหรือหาค่า $\frac{a}{b}$ ในสมการที่ 3.6 จะได้ปริมาณการดูดซับแบบชั้นเดียวของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับสูงสุดและแทนด้วยสัญลักษณ์ q_m

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 วิธีวิจัย

ศึกษาการดูดซับสีข้อมเคมีจากน้ำเสียแบบกะในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ โดยให้เกิดการดูดซับจนถึงสภาวะสมดุลระหว่างสีข้อมในเฟสของเหลวและเฟสของแข็ง และทำการวิเคราะห์ปริมาณสีข้อมที่เหลืออยู่ในเฟสของเหลว โดยใช้เครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer

3.2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยมี 2 ชนิดได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งคือสารละลายสีข้อมเคมี (สีข้อมฟ้าตราสิงโตตีกลองและสีข้อมฟ้าตราใบหม่อน) ที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการและน้ำเสียจริงจากการเก็บตัวอย่าง ดำเนินการทดลอง ดังนี้

3.2.2.1 ศึกษาความสามารถในการดูดซับสีของแร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเคมี 1 ค่า และตัวดูดซับ 2 ชนิด

3.2.2.2 ศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับของสีย้อมที่อุณหภูมิห้อง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมแตกต่างกันและใช้ตัวดูดซับที่สามารถดูดซับสีย้อมแต่ละสีได้ดีที่สุด จากหัวข้อที่ 3.2.2.1

3.2.2.3 ศึกษาความสามารถของการดูดซับโลหะหนักที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม 1 ค่าและใช้ตัวดูดซับ 2 ชนิด

3.2.3 ตัวแปรที่ทำการวิจัย

ตัวแปรในการทดลองการดูดซับแบบกะในระดับห้องปฏิบัติการ แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแบบกะในระดับห้องปฏิบัติการ

ตัวแปร	การทดลองแบบกะในระดับห้องปฏิบัติการ
ตัวแปรอิสระ	- ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมผ้า - ชนิดของตัวดูดซับ
ตัวแปรควบคุม	- ปริมาณของตัวดูดซับ - ระยะเวลาในการดูดซับ - ความเร็วรอบของการเขย่า - ความเร็วรอบและระยะเวลาของการหมุนเหวี่ยง
ตัวแปรตาม	- ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมผ้าด้วยตัวดูดซับจากน้ำ - ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักด้วยตัวดูดซับจากน้ำ

3.2.4 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.2.4.1 อุปกรณ์การทดลอง

- ก) เครื่อง Atomic absorption spectroscopy เพื่อวัดปริมาณโลหะหนัก
- ข) เครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer รุ่น Cary 5E ของ Varian
- ค) เครื่อง CHNS/O analyzer ของ LECO
- ง) เครื่องเขย่าแนวราบ Platform Shaker รุ่น 3006 ของ GRL
- ฉ) ชุดกรองสุญญากาศ ของ Sartorius
- ช) เครื่องหมุนเหวี่ยง รุ่น UNIVERSAL 30 RF ของ Hettich

ซ) เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 2 และ 4 ตำแหน่ง

3.2.4.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

ก) แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ (ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด)

ข) สีย้อมเคมิตราสิงโตติกลองของบริษัท พัวเคียมสิน จำกัด

ค) สีย้อมเคมิตราไบหม่อนของบริษัท เอ.เอ็น.วาย โปรดักส์ จำกัด

ง) สาร Tetradecyltrimethylammonium bromide ของบริษัท Fluka Chemie

จ) น้ำดีไอ (Deionized water) และน้ำกลั่น (Distillation water)

3.2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.5.1 วิธีการวัดปริมาณสีย้อมเคมีในของเหลว

วิธีการวัดความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมผ้าจะใช้หลักการดูดกลืนแสงโดยอาศัยกฎของเบียร์ (Beer's Law) ที่กล่าวว่า “เมื่อแสงส่องผ่านสารละลายตัวกลาง ค่าความเข้มแสงจะลดลงเป็นปฏิกิริยาแบบชี้กำลัง (Exponential) กับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลาย” ซึ่งจะวัดความเข้มของแสงส่องผ่านในรูปของค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Absorbance, Abs) โดยใช้เครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

ก. เตรียมสารละลายสีย้อมผ้าที่ความเข้มข้น 500 mg/L เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐาน โดยการละลายผงสีย้อมผ้าจำนวน 0.5 กรัมในน้ำเดือด เมื่อสีย้อมเคมีละลายดีแล้วจะปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรให้มีปริมาตรเท่ากับ 1 ลิตร

ข. ทำการเตรียมสารละลายสีย้อมผ้าที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน โดยใช้วิธีการเจือจางสารในข้อ ก. ซึ่งใช้หลักการสมมูลมวลสารตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 3.7 แล้วทำการหาค่าความยาวคลื่นที่สีย้อมแต่ละสีสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุดนั่นคือค่า λ_{\max} ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และในตารางที่ 3.3

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (3.7)$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำสีย้อมมีค่าเท่ากับ 500 mg/L

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานสีย้อมที่ต้องใช้ (mL)

C_2 คือ ความเข้มข้นน้ำสีย้อมที่ต้องการเตรียม (mg/L)

V_2 คือ ปริมาตรของน้ำสีย้อมที่ต้องการเตรียม (mL)

ค. สร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ของสีย้อมผ้าซึ่งทำได้โดยนำน้ำสีย้อมที่ทราบความเข้มข้นแล้วมาวัดค่าแอมซอร์บแบนซ์แล้วนำข้อมูลไปสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมซอร์บแบนซ์กับความเข้มข้นของสีย้อมในช่วงความเข้มข้น 0 - 500 mg/L พบว่าได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 3.1 และสมการเส้นตรงของแต่ละสีแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 และ 3.3 และกราฟมาตรฐานของสีย้อมเคมีในการทดลอง แสดงไว้ในภาคผนวก ก

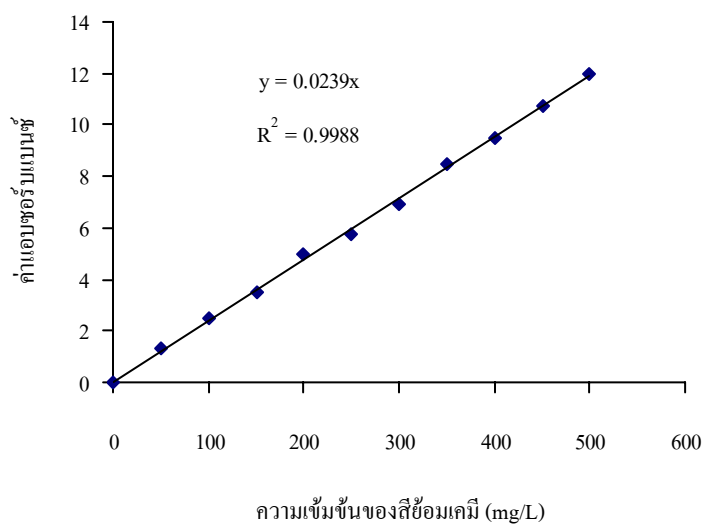
ตารางที่ 3.2 สมการมาตรฐานและ λ_{\max} ของสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง

ลำดับที่	สีย้อมผ้า	หมายเลขทางการค้า	λ_{\max} (nm)	สมการมาตรฐาน	R ²
1	สีเหลืองอ่อน	4	388	Abs=0.0071conc.	0.9998
2	สีกะปิ	59	502	Abs=0.0008conc.	0.9898
3	สีเม็ดมะขามแก่	30	513	Abs=0.0118conc.	0.9955
4	สีแดงเลือดหมู	15	508	Abs=0.0117conc.	0.9997
5	สีเลือดหมู	15	507	Abs=0.0102conc.	0.9990
6	สีตะกั่ว	29	595	Abs=0.0014conc.	0.9993
7	สีระกำทอง	20	404	Abs=0.0075conc.	0.9911
8	สีเขียวมรกต	45	401	Abs=0.0108conc.	0.9969
9	สีน้ำเงิน	21	557	Abs=0.0059conc.	0.9994
10	สีแดงน้ำตาล	17	460	Abs=0.0040conc.	0.9988
11	สีน้ำตาลทอง	28	461	Abs=0.0047conc.	0.9997
12	สีเขียวก้านมะลิ	41	600	Abs=0.0039conc.	0.9998
13	สีไพลน้ำ	36	397	Abs=0.0094conc.	0.9731
14	สีเขียวทองอ่อน	33	392	Abs=0.0055conc.	0.9996
15	สีเม็ดมะปราง ⁽¹⁾	-	538	Abs=0.0034conc.	0.9997

⁽¹⁾ น้ำสีเขียวจากการเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 3.3 สมการมาตรฐานและ λ_{\max} ของสีย้อมผ้าตราใบหม่อน

ลำดับที่	สีย้อมผ้า	หมายเลขทางการค้า	λ_{\max} (nm)	สมการมาตรฐาน	R ²
1	สีดำ	101	567	Abs=0.0170conc.	0.9968
2	สีกรมท่า	103	538	Abs=0.0360conc.	0.9843
3	เขียว	104	424	Abs=0.0769conc.	0.9903
4	บานเย็น	106	550	Abs=0.0238conc.	0.9984
5	แดง	108	503	Abs=0.0200conc.	0.9881
6	น้ำตาลเข้ม	107	517	Abs=0.0555conc.	0.9833
7	ฟ้าเข้ม	109	636	Abs=0.0360conc.	0.9643
8	ฟ้าอ่อน	110	611	Abs=0.0414conc.	0.9986
9	ม่วง	111	590	Abs=0.0082conc.	0.9980
10	แสด	112	459	Abs=0.0268conc.	0.9910
11	เหลืองตุ่น	113	409	Abs=0.0278conc.	0.9954
12	เหลือง	114	400	Abs=0.0240conc.	0.9998
13	ชมพู	115	549	Abs=0.1272conc.	0.9964



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีบานเย็น (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

3.2.5.2 วิธีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติด้วยสาร

ลดแรงดึงผิว

การเตรียม Organo-clay จากแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติมีหลักการดังนี้

ก. กำหนดหาน้ำหนักของสารลดแรงดึงผิวที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ให้กลายเป็นชอบสารอินทรีย์ (Organophilic) ตัวอย่างการกำหนดหาปริมาณสารลดแรงดึงผิว TDMA-Br สำหรับเตรียม 200%CEC TDMA-clay จำนวน 50 กรัม สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$W_{TDMA-Br} (g) = 0.8 \frac{meq}{g} * W_{Clay} (g) * Mw_{TDMA-Br} \left(\frac{g}{mole} \right) * \left(\frac{mole}{eq} \right) * \left(\frac{eq}{1000eq} \right)$$

เมื่อ $W_{TDMA-Br}$ คือ น้ำหนักของสาร TDMA-Br (กรัม)

W_{Clay} คือ น้ำหนักของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ (กรัม)

$Mw_{TDMA-Br}$ คือ มวลโมเลกุลของสาร QACs (g/mole)

ดังนั้นถ้าต้องการเตรียม 200%CEC TDMA-clay จำนวน 50 กรัมสามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} W_{TDMA-Br} (g) &= 0.8 \frac{meq}{g} * 50 (g) * 336.4 (g) * \left(\frac{g}{mole} \right) * \left(\frac{mole}{eq} \right) * \left(\frac{eq}{1000eq} \right) \\ &= 26.912 \text{ g} \end{aligned}$$

การคำนวณหาน้ำหนักของ TDMA สำหรับเตรียม 200%CEC TDMA-clay ต้องคูณด้วย 2 ด้วย เนื่องจากต้องการหาน้ำหนักของสาร TDMA-Br ในปริมาณ 2 เท่าของค่า CEC ของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์เริ่มต้น ดังนั้นจะต้องใช้สารลดแรงดึงผิว TDMA-Br จำนวน 26.912 กรัม ในการเปลี่ยนแปลงสมบัติพื้นผิวของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ไปเป็น Organo-clay จำนวน 50 กรัมแล้วจะเรียกว่า “200%CEC TDMA-clay หรือ TDMA-clay”

ข. เตรียมสารละลาย TDMA-Br โดยใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวตามที่กำหนดไว้ในข้อ ก. ละลายในน้ำดีไอปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร นำสารละลายที่ได้เทใส่ขวดรูปชมพู่แล้วเติมแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติลงไป 50 กรัม ทำการเขย่าสารแขวนลอยด้วยเครื่องเขย่าแบบแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ค. จากนั้นล้างแร่ดินด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งค่าการนำไฟฟ้าของน้ำลดลงเหลือน้อยกว่า 1.5 μs กรองแร่ดินด้วยเครื่องกรองสุญญากาศปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปอบให้ละเอียดจะได้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีสภาพพื้นผิวเปลี่ยนไปกลายเป็น 200%CEC TDMA-clay เมื่อคำนวณย้อนกลับเพื่อหาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่เกิดขึ้นจริง พบว่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวกของ 200%CEC TDMA-clay มีค่าเท่ากับ 90.13 %

ตารางที่ 3.4 สมบัติทางกายภาพของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay

ชนิดของตัวดูดซับ	พื้นที่ผิว (m^2/g)	d_{001} (A°)	2θ	ปริมาณ คาร์บอน $\text{g}/100\text{g}$ ตัว ดูดซับ	ขนาดของ อนุภาค เฉลี่ย (μm)	ขนาดรู พรุน เฉลี่ย (nm)
แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ	49.5	13.143	6.72	none	9.7	6.3
200%CEC TDMA-clay	7.1	21.325	4.08	14.71	65.2	24.2

เมื่อพิจารณาความกว้างของช่องว่างระหว่างชั้นดิน (d_{001}) ในตารางที่ 3.4 (ปิยะมากรณ์ จารุงศ์, 2545) พบว่า 200%CEC TDMA-clay มีระยะ d_{001} กว้างกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเนื่องจากโมเลกุลของ TDMA เข้าไปแทรกอยู่ภายในช่องว่างระหว่างชั้นของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ส่งผลให้ค่า 2θ มีค่าลดลงและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่ขึ้น นอกจากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่ของสาร TDMA จะเข้าไปปิดกั้นรูพรุนขนาดเล็กของแร่ดินทำให้มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยของ 200%CEC TDMA-clay ใหญ่กว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay จึงเป็นวัสดุที่มีรูพรุนขนาดกลาง (Mesoporous material) เมื่อขนาดของรูพรุนของแร่ดินใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้มีพื้นที่ผิวของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ลดลงและสามารถยึดยึด

ว่ามีโมเลกุลของ TDMA อยู่ในตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay จริง ได้ด้วยพิจารณาจากปริมาณของคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นของ 200%CEC TDMA-clay

3.2.5.3 วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงสีย้อมเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงสีย้อมเคมีโดยใช้เครื่อง CHNS/O analyzer ชาติองค์ประกอบที่ต้องการวิเคราะห์ได้แก่ ชาติคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์

3.2.5.4 การศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้าจากน้ำเสียแบบกะในระดัห้องปฏิบัติการ

การทดลองการดูดซับสีย้อมเคมีในน้ำเสียด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay มีรายละเอียดดังนี้ เตรียมสารละลายสีย้อมผ้าเข้มข้นเริ่มต้น 200 mg/L เพื่อใช้เป็นน้ำเสียดังเคราะห์ จากนั้นนำน้ำเสียจริงหรือน้ำเสียดังเคราะห์ปริมาตร 200 มิลลิลิตรเทใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีฝาปิดแล้วเติมตัวดูดซับลงไป 0.1 กรัม (การเลือกปริมาณของตัวดูดซับและความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมได้มาจากการทดลองสุ่มหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตผล) แล้วปิดฝาขวด นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารแขวนลอยไปแยกตัวดูดซับออกด้วยวิธีการหมุนปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนที่ใสไปวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับสีย้อมด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer และวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับโลหะหนักโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ซึ่งโลหะหนักในน้ำสีย้อมที่ศึกษามีทั้งหมด 8 ชนิดได้แก่ Cu, Cr, Zn, Fe, Cd, Ni, Pb, Ag และ Mn

3.2.5.5 การศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับสีย้อมเคมี

เตรียมสารละลายสีย้อมผ้าที่เข้มข้นแตกต่างกันในช่วง 0 - 500 mg/L ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ผสมกับตัวดูดซับจำนวน 0.10 กรัม ทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารแขวนลอยที่เขย่าเสร็จแล้วไปแยกตัวดูดซับออกโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายส่วนที่ใสมาวัดค่าแอมซอร์บิแนนซ์และวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับ

3.3 ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงสีย้อม

จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง และผงสีย้อมผ้าตราใบหมอนด้วยเครื่อง CHNS/O-analyzer ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.5 และ 3.6

พบว่า ผงสีข้อมผ้าทั้งสองยี่ห้อที่มีปริมาณของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและยี่ห้อของสีข้อมนั้น ๆ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ผงสีข้อมที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นสารอินทรีย์ เนื่องจากมีธาตุคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ

ตารางที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสีข้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง

ลำดับ	ชนิดสี	องค์ประกอบทางเคมีของสีข้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง			
		%C	%H	%N	%S
1	สีเหลืองอ่อน	15.900	0.425	1.239	3.532
2	สีกะปิ	1.830	0.303	0.870	6.864
3	สีเม็ดมะขามแก่	24.066	0.651	1.985	3.724
4	สีแดงเลือดหมู	23.870	0.686	2.047	3.551
5	สีเลือดหมู	22.936	0.628	1.980	4.017
6	สีตะกั่ว	3.929	0.104	0.282	4.845
7	สีระกำทอง	12.726	0.376	0.923	4.814
8	สีเขียวมรกต	20.103	0.590	1.509	3.297
9	สีน้ำเงิน	21.206	0.633	0.883	3.466
10	สีแดงน้ำตาล	14.663	0.409	1.191	3.336
11	สีน้ำตาลทอง	10.629	0.312	0.766	3.116
12	สีเขียวก้านมะลิ	9.786	0.271	0.584	2.845
13	สีไพน่า	6.195	0.173	0.453	2.785
14	สีเขียวทองอ่อน	9.305	0.267	0.695	1.659

ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสีย้อมผ้าตราใบหม่อน

ลำดับ	ชนิดสี	องค์ประกอบทางเคมีของสีย้อมผ้าตราใบหม่อน			
		%C	%H	%N	%S
1	สีดำ	47.543	1.377	3.878	0.329
2	สีกรมท่า	51.496	3.976	5.170	0.550
3	สีเขียว	27.573	1.190	1.922	1.015
4	สีบานเย็น	55.370	1.747	3.594	0
5	สีแดง	46.843	1.675	4.124	0.022
6	สีน้ำตาลเข้ม	64.09	2.313	8.563	0.045
7	สีฟ้าเข้ม	57.730	2.506	4.171	0.140
8	สีฟ้าอ่อน	29.096	0.660	4.209	0.873
9	สีม่วง	34.046	1.316	1.225	0
10	สีแสด	51.713	2.532	6.522	0.055
11	สีเหลืองคุ่น	50.043	1.934	5.150	0.304
12	สีเหลือง	45.350	1.264	7.458	0.419
13	สีชมพู	52.670	2.447	3.147	0.158

3.3.2 ผลการดูดซับสีย้อมผ้าจากน้ำเสียในระดับห้องปฏิบัติการ

3.3.2.1 ผลการดูดซับสีย้อมผ้าจากน้ำเสียสังเคราะห์

จากผลการทดลองในตารางที่ 3.7 และ 3.8 พบว่า ความสามารถในการดูดซับสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลองและสีย้อมผ้าตราใบหม่อนจากน้ำเสียสังเคราะห์จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ นั่นคือ ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay สามารถดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียสังเคราะห์ได้มากกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ยกเว้นสีม่วง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) โดยพิจารณาจาก % การกำจัดสีย้อม ซึ่งเป็นอัตราส่วนร้อยละของความเข้มข้นของสีย้อมเคมีหลังดูดซับต่อความเข้มข้นของสีย้อมเคมีเริ่มต้นซึ่งมีค่าเท่ากับ 200 mg/L การที่ 200%CEC TDMA-clay สามารถดูดซับสีย้อมเคมีได้มากกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องมาจากสีย้อมผ้าทั้งสองยี่ห้อที่ใช้ทำการทดลองเป็นสารอินทรีย์และ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับที่มีสภาพของพื้นผิวเป็นแบบชอบสารอินทรีย์ (Organophilic) จึงทำให้สีย้อมเคมียึดเกาะกับ 200%CEC TDMA-clay ได้ดีด้วยกลไก Hydrophobic interaction (Borisover, Graber, Bercovich, and Gerstl, 2001) สำหรับแร่

ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติที่มีสภาพของพื้นผิวเป็นแบบชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงทำให้สีเชื่อมเคมีที่เป็นสารอินทรีย์ยึดเกาะกับแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ได้น้อย (Ma, Xu, Guo, and You, 2004)

ตารางที่ 3.7 ผลการดูดซับสีเชื่อมผ้าตราสิงโตติกลองที่ $c_0 = 200 \text{ mg/L}$

ลำดับ	ชนิดสี	% การกำจัดสีเชื่อม	
		200%CEC TDMA-clay	แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ธรรมชาติ
1	สีเหลืองอ่อน	98.00	0.33
2	สีกะปิ	99.97	1.63
3	สีเม็ดมะขามแก่	86.25	14.08
4	สีแดงเลือดหมู	99.98	60.11
5	สีเลือดหมู	87.14	21.69
6	สีตะกั่ว	99.07	53.11
7	สีระกำทอง	97.83	20.47
8	สีเขียวมรกต	95.60	17.27
9	สีน้ำเงิน	99.57	26.92
10	สีแดงน้ำตาล	99.79	28.03
11	สีน้ำตาลทอง	96.16	8.84
12	สีเขียวก้านมะลิ	99.14	0.04
13	สีไพล่น้ำ	71.87	0
14	สีเขียวทองอ่อน	98.36	0.67

ตารางที่ 3.8 ผลการดูดซับสีข้อมฟ้าตราไบหม่อนที่ $c_0 = 200 \text{ mg/L}$

ลำดับ	ชนิดสี	% การกำจัดสีข้อม	
		200%CEC TDMA-clay	แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ
1	สีดำ	65.45	13.68
2	สีกรมท่า	94.49	53.41
3	สีเขียว	76.39	55.54
4	สีบานเย็น	65.93	54.55
5	สีแดง	95.83	61.89
6	สีน้ำตาลเข้ม	86.45	79.68
7	สีฟ้าเข้ม	72.09	42.74
8	สีฟ้าอ่อน	89.11	67.27
9	สีม่วง	15.65	95.48
10	สีแสด	96.37	49.84
11	สีเหลืองตุ่น	39.29	38.32
12	สีเหลือง	97.11	74.60
13	สีชมพู	27.09	0.04

3.3.2.2 ผลการดูดซับสีข้อมฟ้าจากน้ำเสียจริง

เมื่อนำน้ำเสียจริง (จากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม) มาทำการดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay พบว่า น้ำเสียจริงที่ทราบชนิดสีและความเข้มข้นที่แน่นอน ได้แก่ น้ำเสียจริงจากสีเม็ดมะปราง (สีข้อมตราสิงโตตีกลอง) ผลการดูดซับที่ λ_{max} เท่ากับ 538 nm แสดงไว้ในตารางที่ 3.9 พบว่า 200%CEC TDMA-clay สามารถดูดซับสีเม็ดมะปรางจากน้ำเสียจริงได้มากกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ โดยพิจารณาจากค่า % การกำจัดสีข้อมของ 200%CEC TDMA-clay ที่มีค่ามากกว่า

ตารางที่ 3.9 ผลการดูดซับน้ำเสียจริงสีเม็ดมะปรางที่ $c_0 = 513.12 \text{ mg/L}$

ชนิดของน้ำเสียจริง	% การกำจัดสีข้อม	
	200%CEC TDMA-clay	แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ
น้ำเสียจากสีเม็ดมะปราง	76.80	25.42

ตารางที่ 3.10 ผลการดูดซับสีย้อมในน้ำเสียจริงที่ไม่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน

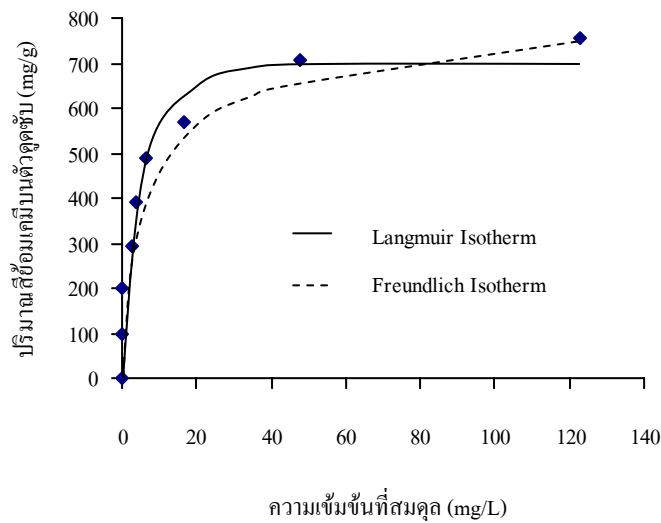
ลำดับ	ชนิดของน้ำเสียจริง	λ_{\max} (nm)	ค่าแอมพลิจูด		
			ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay	หลังดูดซับด้วย แร่ดินมอนต์มอ ริลโลไนต์
1	น้ำเสียสีชวานชม	390	6.4911	3.7884	5.9444
2	น้ำเสียสีม่วงอมชมพู	556	3.5827	1.3827	1.4476
3	มีสีเขียวขุ่น	405	36.5552	20.3775	18.0059
4	มีสีม่วงขุ่น	550	13.5421	8.3660	13.4486

สำหรับตารางที่ 3.10 เป็นผลการดูดซับสีย้อมเคมีในน้ำเสียจริง โดยน้ำเสียที่ทราบชนิดแต่ไม่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนของสีเคมีที่ใช้ย้อม ได้แก่ น้ำเสียจริงสีชวานชมและน้ำเสียจริงสีม่วงอมชมพู สำหรับน้ำเสียจริงที่ไม่ทราบชนิดและความเข้มข้นที่แน่นอนของสีย้อม ได้แก่ น้ำเสียจริงสีเขียวขุ่นและน้ำเสียจริงสีม่วงขุ่น พิจารณาการดูดซับจากการลดลงของค่าแอมพลิจูดแบนซ์หลังการดูดซับ พบว่า 200%CEC TDMA-clay สามารถลดค่าแอมพลิจูดแบนซ์ของน้ำเสียจริงสีม่วงอมชมพู น้ำเสียจริงสีชวานชม และน้ำเสียจริงสีม่วงขุ่นได้มากกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ยกเว้นน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่น

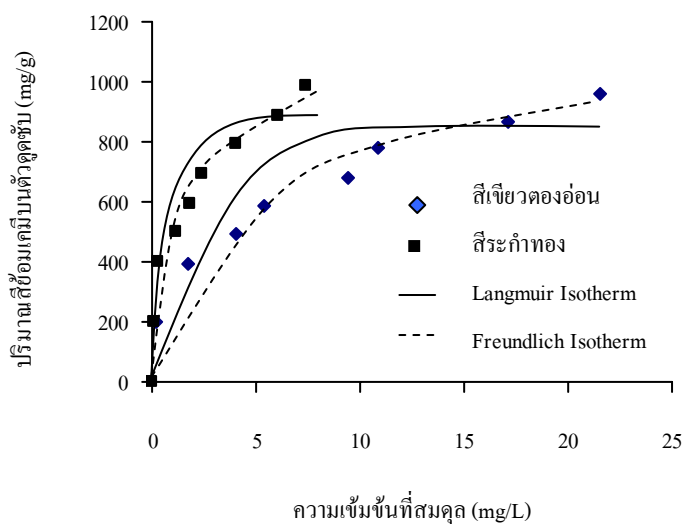
3.3.3 ไอโซเทิร์มการดูดซับจากสีย้อมเคมีในน้ำเสีย

เนื่องจากผลการทดลองในหัวข้อที่ 3.3.2 พบว่า 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับที่สามารถดูดซับสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลองและสีย้อมผ้าตราใบหม่อนในน้ำเสียสังเคราะห์ได้มากกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ดังนั้นการศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับของสีย้อมเคมีในส่วนนี้จะศึกษาเฉพาะการดูดซับสีย้อมเคมีด้วย 200%CEC TDMA-clay เท่านั้น ยกเว้นสีม่วง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) ที่จะใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ ไอโซเทิร์มการดูดซับที่ศึกษาทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ข ลักษณะของไอโซเทิร์มการดูดซับที่พบมีทั้งหมด 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ ไอโซเทิร์มแบบ Langmuir, Freundlich และไอโซเทิร์มเส้นตรง เมื่อพิจารณารูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบไอโซเทิร์มแบบ Langmuir กับ ไอโซเทิร์มแบบ Freundlich ของข้อมูลการดูดซับของสีเหลือง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) พบว่าพฤติกรรมดูดซับมีแนวโน้มเป็นไปตามไอโซเทิร์มแบบ Langmuir มากกว่า โดยพิจารณาจากเส้นทึบและเส้นประในรูปที่ 3.2 เปรียบเทียบกันหรือพิจารณาจาก R^2 ในตารางที่ 3.12 โดยไอโซเทิร์มแบบ Langmuir มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 มากกว่า

สำหรับรูปที่ 3.3 เป็นไอโซเทอรั่มการดูดซับของสีเขียวทองอ่อนและสีระกำทอง (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง) พฤติกรรมการดูดซับของสีเขียวทองอ่อนและสีระกำทองมีแนวโน้มเป็นไปตามไอโซเทอรั่มแบบ Freundlich เมื่อเทียบกับไอโซเทอรั่มแบบ Langmuir โดยพิจารณาจากค่า R^2 ในตารางที่ 3.11 พบว่า ค่า R^2 ของไอโซเทอรั่มแบบ Freundlich มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่าค่า R^2 ของไอโซเทอรั่มแบบ Langmuir

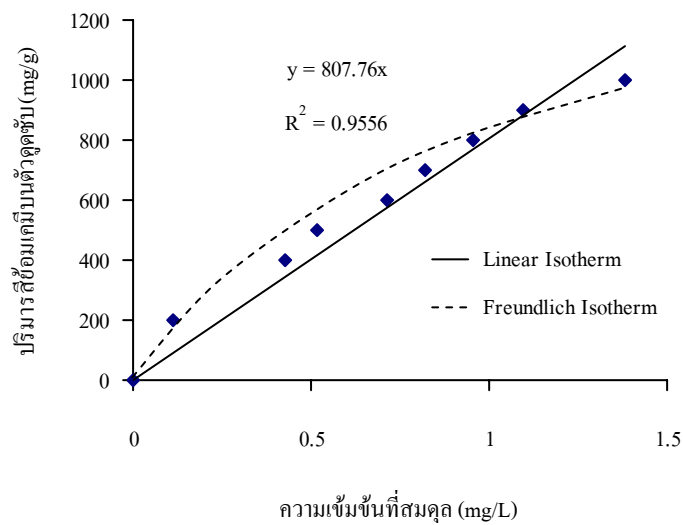


รูปที่ 3.2 ไอโซเทอรั่มการดูดซับของน้ำเสียสีเหลือง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) ใช้ 200%CEC TDMA -clay เป็นตัวดูดซับ

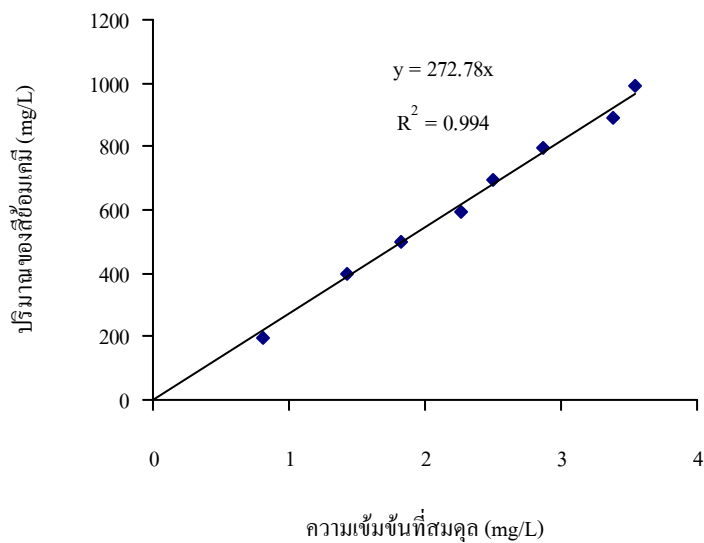


รูปที่ 3.3 ไอโซเทอรั่มการดูดซับของน้ำเสียจากสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง ใช้ 200%CEC TDMA -clay เป็นตัวดูดซับ

สำหรับรูปที่ 3.4 ซึ่งเป็นไอโซเทอรั่มการดูดซับของสีเลือดหมู (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดกลอง) ที่ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay พบว่า ไอโซเทอรั่มการดูดซับของสีเลือดหมูมีแนวโน้มเป็นไปตามไอโซเทอรั่มแบบเส้นตรง โดยพิจารณาจากค่า R^2 ของไอโซเทอรั่มแบบเส้นตรงที่มีค่ามากกว่า 0.9 และมีค่ามากกว่าค่า R^2 ของไอโซเทอรั่มแบบ Freundlich (ตารางที่ 3.11) เมื่อหาความชันของไอโซเทอรั่มแบบเส้นตรงจะได้ค่าคงที่ของการดูดซับ (K_d) เท่ากับ 807.76 ลิตรต่อกรัม



รูปที่ 3.4 ไอโซเทอรั่มการดูดซับของน้ำเสียสีเลือดหมู (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดกลอง) ใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ



รูปที่ 3.5 ไอโซเทอรั่มการดูดซับของน้ำเสียจากสีม่วง (สีย้อมผ้าตราไบหม่อน) ใช้แร่ดินมอนต์มอริลไลต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ

สำหรับรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นไอโซเทิร์มการดูดซับของสีม่วง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) ที่ดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ พบว่า ไอโซเทิร์มการดูดซับของสีม่วงมีแนวโน้มเป็นไปตามไอโซเทิร์มแบบเส้นตรง โดยพิจารณาจากค่า R^2 ของไอโซเทิร์มแบบเส้นตรงที่มีค่ามากกว่า 0.9 เมื่อหาความชันของแต่ละไอโซเทิร์มจะได้ค่าคงที่ของการดูดซับ (K_d) เท่ากับ 272.8 ลิตรต่อกรัม ซึ่งเป็นค่า K_d ของไอโซเทิร์มของสีม่วง

ในตารางที่ 3.11 และ 3.12 จะแสดงค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ได้จากไอโซเทิร์มการดูดซับของสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลองและสีย้อมผ้าตราใบหม่อน ตามลำดับ ซึ่งค่าคงที่เหล่านี้ได้แก่ค่า q_m ซึ่งเป็นปริมาณการดูดซับสูงสุดของสีย้อมผ้าบนตัวดูดซับ ซึ่งหาได้จากไอโซเทิร์มแบบ Langmuir สำหรับค่า K_f และ n สามารถหาได้จากไอโซเทิร์มแบบ Freundlich

ตารางที่ 3.11 ค่าคงที่ของไอโซเทิร์มแบบ Langmuir และ Freundlich ของสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง

ลำดับ	ชนิดสี	ไอโซเทิร์มแบบ Langmuir		ไอโซเทิร์มแบบ Freundlich		
		q_m (mg/g)	R^2	K_f	n	R^2
1	สีเหลืองอ่อน	909.09	0.9999	637.08	7.0	0.7294
2	สีกะปิ	1428.57	0.8463	707.47	2	0.9658
3	สีเม็ดมะขามแก่	769.23	0.8956	1.09	86.2	0.9960
4	สีแดงเลือดหมู	1000	0.9643	567.59	6.7	0.8554
5	สีเลือดหมู	833.33	0.7994	790.69	1.5	0.9849
6	สีตะกั่ว	384.62	0.9907	1.00	364.6	0.9907
7	สีระกำทอง	1000	0.9739	517.13	3.2	0.9869
8	สีเขียวมรกต	476.19	0.9992	237.98	7.8	0.6722
9	สีน้ำเงิน	833.33	0.9909	512.36	7.2	0.8758
10	สีแดงน้ำตาล	909.09	0.9920	441.51	5.2	0.9655
11	สีน้ำตาลทอง	714.29	0.9180	755.29	4.9	0.8961
12	สีเขียวก้านมะลิ	1000	0.9951	344.40	3	0.8149
13	สีไพล่น้ำ	434.78	0.9911	110.42	16.2	0.5916
14	สีเขียวทองอ่อน	1000	0.9657	342.13	3.1	0.9911

ตารางที่ 3.12 ค่าคงที่ของ ไอโซเทอรัมแบบ Langmuir และ Freundlich ของสีย้อมผ้าตราใบหม่อน

ลำดับ	ชนิดสี	ไอโซเทอรัมแบบ Langmuir		ไอโซเทอรัมแบบ Freundlich		
		q_m (mg/g)	R^2	K_f	n	R^2
1	สีดำ	526.32	0.9684	234.77	8.9	0.8250
2	สีกรมท่า	909.09	0.9913	343.26	5.0	0.9246
3	สีเขียว	666.67	0.9836	161.85	3.7	0.9899
4	สีบานเย็น	400	0.9920	91.95	3.9	0.9413
5	สีแดง	909.09	0.9784	788.16	5.0	0.9093
6	สีน้ำตาลเข้ม	833.33	0.9641	249.86	4.1	0.9712
7	สีฟ้าเข้ม	526.32	0.9654	237.98	8.1	0.9193
8	สีฟ้าอ่อน	833.33	0.9506	360.29	7.5	0.9021
9	สีแสด	833.33	0.9886	460.26	8.3	0.9496
10	สีเหลืองคุ่น	1250	0.9865	266.37	2.0	0.9928
11	สีเหลือง	769.23	0.9975	280.14	4.4	0.8977
12	สีชมพู	53.76	0.9841	10.38	3.8	0.8507

พฤติกรรมการดูดซับสีย้อมเคมีแต่ละชนิดในน้ำเสียสังเคราะห์ของสีย้อมผ้าตราสิงโตดี กลองด้วยใช้ 200%CEC TDMA-clay แสดงไว้ในไอโซเทอรัมการดูดซับในภาคผนวก ข เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า R^2 ของไอโซเทอรัมการดูดซับทั้งสามแบบได้แก่ ไอโซเทอรัมการดูดซับแบบ Langmuir ไอโซเทอรัมการดูดซับแบบ Freundlich และไอโซเทอรัมแบบเส้นตรง พบว่าไอโซเทอรัมการดูดซับที่ให้ค่า R^2 มีค่าสูงสุดในแต่ละสี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.13 โดยไอโซเทอรัมการดูดซับของสีย้อมเคมี ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มการดูดซับเป็นไปตามไอโซเทอรัมการดูดซับแบบ Langmuir และเป็นไปตามไอโซเทอรัมการดูดซับแบบ Freundlich

ตารางที่ 3.13 ไอโซเทอรั่มการดูดซับที่มีค่า R^2 สูงที่สุดจากการเปรียบเทียบไอโซเทอรั่มแบบ Langmuir ไอโซเทอรั่มแบบ Freundlich และไอโซเทอรั่มแบบเส้นตรง

ลำดับ	สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง		สีย้อมผ้าตราใบหม่อน	
	ชนิดสี	ไอโซเทอรั่มการดูดซับ	ชนิดสี	ไอโซเทอรั่มการดูดซับ
1	สีเหลืองอ่อน	Langmuir	สีดำ	Langmuir
2	สีกะปิ	Freundlich	สีกรมท่า	Langmuir
3	สีเม็คมะขามแก่	Freundlich	สีเขียว	Freundlich
4	สีแดงเลือดหมู	Langmuir	สีบานเย็น	Langmuir
5	สีเลือดหมู	เส้นตรง	สีแดง	Langmuir
6	สีตะกั่ว	Langmuir, Freundlich	สีน้ำตาลเข้ม	Freundlich
7	สีระกำทอง	Freundlich	สีฟ้าเข้ม	Langmuir
8	สีเขียวมรกต	Langmuir	สีฟ้าอ่อน	Langmuir
9	สีน้ำเงิน	Langmuir	สีแสด	Langmuir
10	สีแดงน้ำตาล	Freundlich	สีเหลืองตุ่น	Freundlich
11	สีน้ำตาลทอง	Langmuir	สีเหลือง	Langmuir
12	สีเขียวก้านมะลิ	Langmuir	สีชมพู	Langmuir
13	สีไพลน้ำ	Langmuir	-	-
14	สีเขียวทองอ่อน	Freundlich	-	-

3.3.4 ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจากสีย้อมผ้า

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักในผงสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลองและสีย้อมผ้าตราใบหม่อนโดยใช้เครื่อง AAS พบว่า ในผงสีย้อมผ้ามีโลหะหนักปะปนอยู่ ดังแสดงไว้ในตารางที่ จ1 และ จ2 ในภาคผนวก จ ชนิดของโลหะหนักที่มีอยู่ภายในโครงสร้างของผงสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลองมีอยู่ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ Cu Cr Zn และ Ni ส่วนผงสีย้อมผ้าตราใบหม่อนมีชนิดของโลหะหนักทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ Cu Cr Zn Fe Cd และ Ni ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมแต่ละชนิด

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจึงทำการศึกษาผลการดูดซับโลหะ Cu Cr Zn และ Ni ในน้ำสีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลองและศึกษาผลการดูดซับโลหะ Cu Cr Zn Fe Cd และ Ni ในน้ำสีย้อมผ้าตราใบหม่อน พบว่า ปริมาณของโลหะหนักทุกชนิดมีแนวโน้มลดลง ยกเว้น Fe ซึ่งจะเพิ่มขึ้นหลัง

การดูดซับ (Fe ไม่ได้เป็นโลหะหนักที่ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ในภาคผนวก จ) ผลการดูดซับแสดงไว้ในภาคผนวก จ

3.3.4.1 ผลการดูดซับแบบกะของ Cu ในน้ำเสียจากสีย้อมผ้า

เมื่อพิจารณาการดูดซับ Cu ในน้ำสีย้อมเคมีในตารางที่ จ3 และ จ4 พบว่า สีย้อมที่สามารถวิเคราะห์การดูดซับ Cu ได้ ได้แก่ สีฟ้าอ่อนและม่วง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) ดังแสดงในตารางที่ 3.14 พบว่า Cu สามารถถูกดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ได้ดีกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ เนื่องประจุบวกของ Cu เข้าไปแลกเปลี่ยนระหว่างประจุบวกกับประจุบวกของ TDMA ที่แทรกอยู่ภายในช่องว่างระหว่างชั้นดินของ 200%CEC TDMA-clay สำหรับแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติสามารถดูดซับ Cu ได้เนื่องมาจากการที่ Cu เข้าไปแลกเปลี่ยนประจุกับประจุบวกในช่องว่างระหว่างชั้นดิน เช่น Na^+ และ Ca^{2+} นอกจากนี้ยังสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกกับ Fe^{2+} และ Fe^{3+} ที่อยู่ในชั้นโครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติได้ด้วย (Lin and Juang, 2002)

เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของโลหะ Fe หลังการดูดซับ แสดงให้เห็นว่า Cu^{2+} เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับประจุบวกของ Fe ในแร่ดิน ส่วนการดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ปริมาณ Fe เพิ่มขึ้นน้อยกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ เนื่องจาก Fe ได้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับประจุบวกของสาร TDMA ไปก่อนแล้วในขั้นตอนการปรับปรุงคุณสมบัติของแร่ดิน

ตารางที่ 3.14 ผลการดูดซับ Cu ในน้ำสีย้อมผ้าที่ $c_0 = 200 \text{ mg/L}$

ชนิดของสีย้อม	สีฟ้าอ่อน		สีม่วง	
	Cu	Fe	Cu	Fe
ชนิดของโลหะหนัก				
ความเข้มข้นของโลหะหนักในสีย้อมเริ่มต้น (mg/L)	4.083	none	0.0052	0.0124
ความเข้มข้นของโลหะหนักในสีย้อมหลังดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay (mg/L)	1.186	none	0.0022	0.0286
ความเข้มข้นของโลหะหนักในสีย้อมหลังดูดซับด้วย แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ (mg/L)	3.847	2.0060	0.0045	2.442

3.3.4.2 ผลการดูดซับแบบกะของ Cr ในน้ำเสียจากสีย้อมผ้า

เมื่อพิจารณาการดูดซับ Cr ในน้ำสีย้อมในตารางที่ จ3 และ จ4 ในภาคผนวก จ พบว่า สีย้อมเคมีที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับ Cr ได้ คือ สีตะกั่ว สีเขียวมรกต สีเขียวทอง

อ่อน (สีย้อมตราสิงโตตีกลอง) สีฟ้าเข้มและดำ (สีย้อมตราไบหม่อน) ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 3.15 พบว่า 200%CEC TDMA-clay สามารถดูดซับ Cr ได้ดีกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างประจุบวกของ Cr กับไอออนบวกภายใน 200%CEC TDMA-clay และแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

ตารางที่ 3.15 ผลการดูดซับ Cr ในน้ำสีย้อมผ้าที่ $c_0 = 200$ mg/L

ชนิดของสีย้อม	สีตะกั่ว		สีฟ้าเข้ม	
	Cr	Fe	Cr	Fe
ชนิดของโลหะหนัก				
ความเข้มข้นของโลหะหนักในสีย้อมเริ่มต้น (mg/L)	0.4059	none	0.0045	none
ความเข้มข้นของโลหะหนักในสีย้อมหลังดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay (mg/L)	none	none	none	0.0269
ความเข้มข้นของโลหะหนักในสีย้อมหลังดูดซับด้วย แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ (mg/L)	0.3155	0.1563	none	2.143

3.3.4.3 ผลการดูดซับแบบกะของ Zn ในน้ำเสียจากสีย้อมผ้า

เมื่อพิจารณาการดูดซับ Zn ในน้ำสีย้อมในตารางที่ จ3 และ จ4 ในภาคผนวก จ พบว่า สีย้อมที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับ Zn ได้ คือ สีเลือดหมู สีตะกั่ว สีเขียวมรกต สีน้ำเงิน (สีย้อมตราสิงโตตีกลอง) และสีฟ้าอ่อน (สีย้อมตราไบหม่อน) ดังแสดงในตารางที่ 3.16 พบว่า แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติสามารถถูกดูดซับ Zn ได้ดีกว่า 200%CEC TDMA-clay เนื่องจาก Zn แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างชั้นของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

ตารางที่ 3.16 ผลการดูดซับ Zn ในน้ำสีย้อมผ้าที่ $c_0 = 200$ mg/L

ชนิดของสีย้อม	สีเลือดหมู		สีตะกั่ว	
	Zn	Fe	Zn	Fe
ชนิดของโลหะหนัก				
ความเข้มข้นของโลหะหนักในสีย้อมเริ่มต้น (mg/L)	0.0447	none	0.0305	none
ความเข้มข้นของโลหะหนักในสีย้อมหลังดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay (mg/L)	0.0348	none	0.0102	none
ความเข้มข้นของโลหะหนักในสีย้อมหลังดูดซับด้วย แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ (mg/L)	0.0246	2.331	none	0.1563

3.3.5 ผลการดูดซับแบบกะของโลหะหนักจากน้ำเสียจริง

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักของสีย้อมเคมีในน้ำทิ้งจริง จากการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ น้ำทิ้งสีเขียวขุ่น น้ำทิ้งสีม่วง น้ำทิ้งสีเม็ดมะปราง น้ำทิ้งสีขุ่น และน้ำทิ้งสีม่วงอมชมพู ดังแสดงไว้ในตารางที่ ๖ ในภาคผนวก จ พบว่า มีโลหะหนักปะปนอยู่ทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ Cu Zn Ag Mn Ni Fe และ Cr เมื่อทำการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งเหล่านี้ พบว่า 200%CEC TDMA-clay สามารถดูดซับโลหะหนัก Cr Cu และ Mn ในน้ำทิ้งได้มากกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ สำหรับแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติสามารถดูดซับโลหะหนัก Zn และ Ag ได้มากกว่า 200%CEC TDMA-clay และสำหรับโลหะ Ni ตัวดูดซับทั้งสองสามารถดูดซับได้น้อย

หลังจากแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติดูดซับโลหะหนักแล้วจะทำให้ปริมาณของโลหะหนักบางชนิดลดลงและมีโลหะหนักบางชนิดเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากข้อมูลการดูดซับในตารางที่ ๖ ในภาคผนวก จ พบว่า ปริมาณของโลหะ Fe Na และ Ca จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างประจุบวกของโลหะหนักต่าง ๆ กับโลหะ Fe Na และ Ca ซึ่งจะแทรกอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติอยู่แล้ว ดังนั้นการที่มีปริมาณของ Fe Na และ Ca เพิ่มขึ้นนี้สนับสนุนให้เห็นว่าโลหะหนักจะเข้าไปแทนที่ Fe Na และ Ca ในขณะที่เกิดการดูดซับจริง เมื่อพิจารณากระบวนการดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay พบว่า Fe และ Na จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นซึ่งพฤติกรรมของการดูดซับมีลักษณะเดียวกับการดูดซับโลหะหนักของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

3.4 สรุปผลการวิจัย

สีย้อมฟ้าตราสิงโตติกลองและสีย้อมฟ้าตราใบหม่อนเป็นสารอินทรีย์ทำให้ 200%CEC TDMA-clay สามารถดูดซับสีย้อมเคมีเหล่านี้ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงได้ดีกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ยกเว้นสีม่วง (สีย้อมตราใบหม่อน) และ 200%CEC TDMA-clay สามารถดูดซับสีย้อมฟ้าในน้ำเสียจริงได้ดีกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ยกเว้น น้ำเสียจากสีเขียวขุ่น ไอโซเทิร์มการดูดซับของสีย้อมเคมีในน้ำเสียจริงและน้ำเสียสังเคราะห์ เป็นไปตามไอโซเทิร์มการดูดซับแบบ Langmuir , Freundlich และไอโซเทิร์มเส้นตรง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมฟ้าแต่ละชนิด โดยสีย้อมเคมีที่มีไอโซเทิร์มการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง ได้แก่ สีม่วง (สีย้อมฟ้าตราใบหม่อน) และสีเลือดหมู (สีย้อมฟ้าตราสิงโตติกลอง) ซึ่งสามารถหาค่าคงที่ของการดูดซับ ได้แก่ 272.78 และ 807.76 ลิตรต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนสีย้อมชนิดอื่นจะมีไอโซเทิร์มการดูดซับเป็นแบบ langmuir และ Freundlich

ผงสีข้อมเคมีทั้งสองยี่ห้อและน้ำเสียจริงจากการเก็บตัวอย่างมีโลหะหนักปะปนอยู่ได้แก่ Ag Cd Cu Cr Zn Fe และ Ni ซึ่งตัวดูดซับทั้งสองชนิดสามารถดูดซับโลหะหนักที่อยู่ภายในสีข้อมได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ โดย 200%CEC TDMA-clay สามารถดูดซับโลหะหนักที่เป็นประจุบวกของ Cr Cu Mn ได้ดีกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ แต่ดูดซับ Zn และ Ag ได้น้อยกว่า ซึ่งปริมาณของ Fe Na และ Ca ที่เพิ่มขึ้นในของเหลวจะเป็นตัวสนับสนุนว่ามีการแลกเปลี่ยนระหว่างประจุบวกเกิดขึ้นในการดูดซับระหว่างประจุบวกของโลหะหนักและประจุบวกในแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

บทที่ 4

การดูดซับสีย้อมผ้าในระบบหอดูดซับ

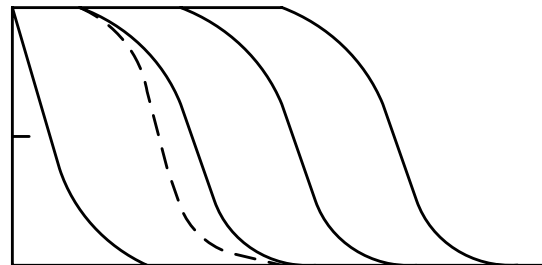
4.1 บทนำ

การศึกษาการดูดซับในระบบหอดูดซับจะศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นในเฟสของไหลและเฟสของแข็งเทียบกับเวลาหรือตำแหน่งภายในหอดูดซับ (Juang, Lin and Tsao, 2004) อันดับแรกจะพิจารณาการถ่ายโอนมวลสารบริเวณใกล้กับทางเข้าของหอดูดซับซึ่งเป็นบริเวณที่ของไหลไหลสัมผัสกับตัวดูดซับเป็นส่วนแรกและมีการถ่ายโอนมวลสารมากที่สุดเป็นส่วนแรก ถ้าตัวดูดซับเริ่มต้นไม่มีตัวถูกดูดซับเจือปนอยู่ เมื่อนำมาทำการดูดซับลักษณะของความเข้มข้นในเฟสของไหลเทียบกับความยาวของเบดในหอดูดซับจะลดลงเป็นแบบเลขชี้กำลังและจะมีค่าเข้าสู่ศูนย์ถ้ามีการถ่ายโอนมวลสารเกิดขึ้นไม่ถึงปลายของหอดูดซับ รูปแบบของความเข้มข้นจะแทนด้วยเส้นกราฟ t_1 ดังแสดงในรูปที่ 4.1a โดย c/c_0 ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ในกราฟและแทนอัตราส่วนของความเข้มข้นในเฟสของไหลขณะเกิดการดูดซับเทียบกับความเข้มข้นในเฟสของไหลขาเข้าเริ่มต้น

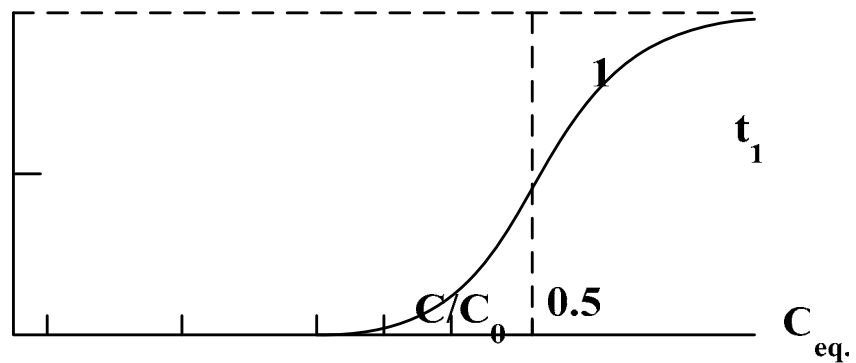
เมื่อเวลาผ่านไปเล็กน้อยตัวดูดซับที่อยู่ใกล้กับทางเข้าจะเริ่มอิ่มตัวและบริเวณที่มีการถ่ายโอนมวลสารจะเลื่อนห่างออกจากทางเข้า หอดูดซับออกไปเรื่อย ๆ จนถึงปลายหอดูดซับ และรูปแบบของความเข้มข้นจะมีรูปร่างคล้ายกับตัวอักษรเอสและเรียกรูปแบบของความเข้มข้นเช่นนี้ว่า “S-shaped” หรือแทนด้วยเส้นกราฟ t_2 ในรูปที่ 4.1a พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นมากที่สุดจะเรียกว่า “Mass Transfer Zone” หรือแทนด้วย MTZ (Lin, Juang and Wang) MTZ จะเคลื่อนที่ลงมาตามแนวตั้งของหอดูดซับ ดังแสดงด้วยรูปแบบความเข้มข้นในเส้นกราฟ t_3 และ t_4 ในรูปที่ 4.1a เนื่องจากรูปแบบของความเข้มข้นในเส้นกราฟ $t_1 - t_4$ มีลักษณะคล้ายกันจึงสามารถนำมาหาค่าความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเฉลี่ยบนตัวดูดซับได้ นอกจากนี้กราฟดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่าตัวดูดซับที่อยู่บริเวณทางเข้าหอดูดซับอิ่มตัวแล้วเนื่องจากเกิดการถ่ายเทมวลสารเป็นส่วนแรก ส่วนบริเวณปลายทางออกของหอดูดซับจะเป็นบริเวณที่ยังไม่มีการถ่ายเทมวลสารและความเข้มข้นจะมีค่าเท่ากับศูนย์ (McCabe, Smith and Harriott, 2001)

กราฟในรูปที่ 4.1b จะถูกเรียกว่า “กราฟเบคทรู” โดยที่เวลา t_1 และ t_2 ในกราฟเบคทรูความเข้มข้นที่ออกมาจากหอดูดซับจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบความเข้มข้นในรูปที่ 4.1a ปกติแล้วความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่จุดเบคทรูจะอยู่ที่ 0.05 - 0.10 ของความเข้มข้นเริ่มต้นตั้งแต่จุดนี้ไปความเข้มข้นที่ออกมาจากหอดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งค่าเฉลี่ยของความ

เข้มข้นในของไหลที่ออกมาจากหอดูดซับมีความเข้มข้นเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 0.99 แต่ไม่เกิน 1.0



a)



b)

t_2

t_2

รูปที่ 4.1 รูปแบบความเข้มข้นของตัวถูกละลายในหอดูดซับ

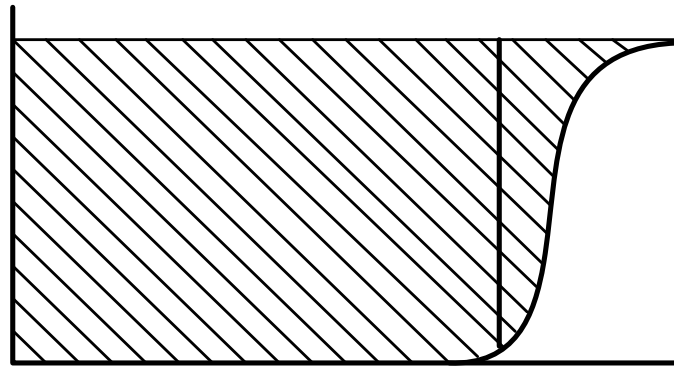
(a) รูปแบบของความเข้มข้น (b) กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับในระบบหอดูดซับ

หมายเหตุ McCabe, W.L., Smith, J.C., and Harriott, P. (2001). **Unit Operations of Chemical Engineering**. Singapore: McGraw-Hill.

ถ้ากราฟเบรคทรูรูปร่างที่สมมาตรเป็นรูปตัวอักษรเอสจะเรียกว่า “S-shape” เมื่อพิจารณาสมคุณมวลสารของกราฟเบรคทรู พบว่า พื้นที่ระหว่างเหนือเส้นกราฟเบรคทรูและภายใต้เส้นตรงของสัดส่วน $c/c_0 = 1.0$ หรือพื้นที่แรเงาทั้งหมดในรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเป็นปริมาณการดูดซับทั้งหมดในหอดูดซับ (Chen and Wang, 2004) ถ้ากราฟเบรคทรูมีลักษณะสมมาตรปริมาณของตัวถูกละลายจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่เหลี่ยมผืนผ้าทางด้านซ้ายของเส้นประ t^* (เวลาการดูดซับอุดมคติ) ใน

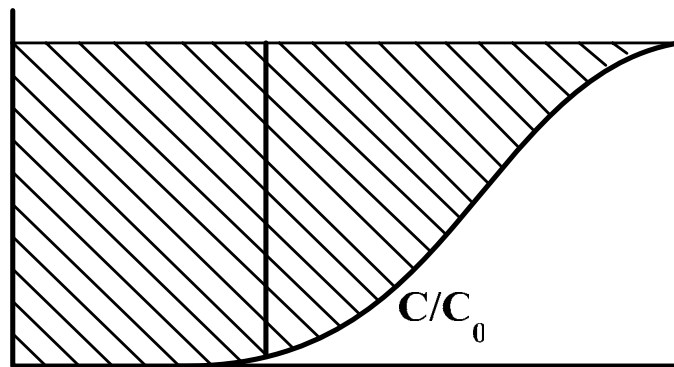
C/C_0 0.5

รูปที่ 4.1b เนื่องจากพื้นที่เหนือเส้นกราฟเบรคทรูทางด้านขวามือของเส้นประ t^* จะทดแทนพื้นที่ที่อยู่ภายใต้เส้นกราฟเบรคทรูทางด้านซ้ายมือของเส้น t^*



a)

1



b)

รูปที่ 4.2 ลักษณะ Mass Transfer Zone ของกราฟเบรคทรู

a) มีบริเวณการถ่ายเทมวลสารแคบ b) มีการบริเวณการถ่ายเทมวลสารกว้าง

หมายเหตุ McCabe, W.L., Smith, J.C., and Harriott, P. (2001). **Unit Operations of Chemical Engineering**. Singapore: McGraw-Hill.

สำหรับหนึ่งหน่วยพื้นที่ของหน้าตัดหลอดขับอัตราการไหลจะเป็นผลคูณของความเข้มข้นเริ่มต้นกับ Superficial velocity นั่นคือ

$$F_A = u_0 c_0$$

1

(4.1)

เมื่อ F_A คือ อัตราการไหลขาเข้าของตัวถูกดูดซับต่อพื้นที่หน้าตัดของหอดูดซับ ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)

u_0 คือ Superficial Velocity ของของไหล (cm/s)

c_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกดูดซับในของไหลขาเข้า (g/cm^3)

สำหรับกราฟเบรคทรูดมคติตัวถูกดูดซับในเฟสของไหลจะถูกลดซับทั้งหมดที่เวลา t^* และความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับจะเพิ่มจากค่าเริ่มต้น W_0 จนกระทั่งตัวดูดซับเข้าสู่สมดุลหรืออิ่มตัว W_{sat} ดังนั้น

$$u_0 c_0 t^* = L \rho_b (W_{sat} - W_0) \quad (4.2)$$

$$t^* = \frac{L \rho_b (W_{sat} - W_0)}{u_0 c_0} \quad (4.3)$$

เมื่อ t^* คือ เวลาการดูดซับอุดมคติของกราฟเบรคทรู (นาที)

L คือ ความยาวของเบดในหอดูดซับ (เมตร)

W_{sat} คือ น้ำหนักของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (g/g)

W_0 คือ น้ำหนักของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่เวลาเริ่มต้น (g/g)

ρ_b คือ ความหนาแน่นรวมของเบดในหอดูดซับ (kg/m^3)

เวลา ณ จุดเบรคทรูแทนด้วยสัญลักษณ์ t_b จะมีค่าน้อยกว่าเวลา t^* เสมอ และปริมาณของตัวถูกดูดซับที่แท้จริงจนถึงจุดเบรคทรูสามารถหาได้โดยการอินทิเกรตกราฟเบรคทรูจากเวลา $t = 0$ จนกระทั่งถึงเวลา ณ จุดเบรคทรู t_b (Farran, Abdessellam and Chentouf, 2000) หรือการหาพื้นที่แรเงาของกราฟเบรคทรูในช่วงเวลา $t = 0$ จนกระทั่งถึงเวลา t_b ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ถ้าช่วงของ MTZ แคบเมื่อเทียบกับความยาวของหอดูดซับกราฟเบรคทรูจะมีลักษณะค่อนข้างสั้นดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.2a และความสามารถในการดูดซับสูงสุดของตัวดูดซับจะอยู่ที่จุดเบรคทรู ถ้าช่วงของ MTZ มีลักษณะกว้างเมื่อเทียบกับความยาวของหอดูดซับดังแสดงในรูปที่ 4.2b ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ t_b มีค่าน้อยและน้อยกว่า t_b ในกรณีในช่วงของ MTZ แคบ

ในกรณีของระบบอุดมคติจะไม่มีความต้านทานการถ่ายเทมวลสารและไม่มีการแพร่กระจายในแนวแกน บริเวณที่มีการถ่ายเทมวลสารจะกว้างและมีแนวโน้มเข้าสู่อนันต์ลักษณะของกราฟเบรคทรูจึงเป็นเส้นตรงแนวตั้งจาก c/c_0 เท่ากับ 0 ถึง 1.0 เมื่อตัวดูดซับทั้งหมดอิ่มตัวปัจจัยที่มีผลต่อความกว้างของ MTZ ได้แก่ อัตราการถ่ายเทมวลสาร อัตราการไหลและรูปร่างของกราฟสมดุล วิธีการที่ทำนายรูปแบบของความเข้มข้นและความกว้างของ MTZ ได้กล่าวไว้แล้ว แต่การคำนวณหาความยาวของหอดูดซับยังให้ผลที่ไม่แม่นยำมากพอ เนื่องจากความไม่แน่นอนของ

ความสัมพันธ์ของการถ่ายโอนมวลสาร (Walker and Weatherley, 1998) ดังนั้นการขยายขนาดของหอดูดซับโดยทั่วไปจึงศึกษาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการในระบบหอดูดซับขนาดเล็กและการออกแบบหอดูดซับที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดของอนุภาคและ Superficial Velocity จะยังมีค่าเท่าเดิม แต่ความยาวของหอดูดซับไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่าเดิม

ถ้าระบบมีไอโซเทิร์มการดูดซับที่เหมาะสมรูปแบบของความเข้มข้นจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงตลอดความยาวของหอดูดซับและรูปร่างของกราฟเบรคทรูจะไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าความยาวของหอดูดซับจะแตกต่างกัน หอดูดซับที่มีความยาวมากขึ้นสัดส่วนของ MTZ เมื่อเทียบกับความยาวของหอดูดซับ ถ้าพิจารณาช่วง MTZ อย่างคร่าว ๆ จะสมมติให้ตัวดูดซับครึ่งหนึ่งใน MTZ เกิดการอิ่มตัวและอีกครึ่งหนึ่งยังไม่เกิดการดูดซับ ดังนั้นหลักในการขยายขนาดหอดูดซับจะ กำหนดให้ปริมาณของตัวดูดซับที่ไม่ถูกใช้งาน (Unused adsorbent) หรือความยาวของเบดที่ไม่ถูกใช้งาน (Length of unused bed) ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดความยาวของเบดทั้งหมดในหอดูดซับ

การหาความยาวของเบดที่ยังไม่ถูกใช้งานสามารถหาได้จากกราฟเบรคทรู โดยหาปริมาณของตัวถูกดูดซับทั้งหมดที่ถูกดูดซับจากการอินทิเกรตพื้นที่บนเส้นกราฟเบรคทรูถึงจุดเบรคทรูและหาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับโดยการอินทิเกรตพื้นที่ทั้งหมดบนเส้นกราฟเบรคทรู หรือหาจากสมการการดูดซับ อัตราส่วนของปริมาณทั้งสองจะเป็นสัดส่วนของความสามารถในการดูดซับของเบด ณ จุดเบรคทรู (Fraction of bed capacity utilized) และถ้านำไปลบด้วยหนึ่งจะได้ สัดส่วนของเบดที่ไม่ถูกใช้งาน (Unused fraction) และอัตราส่วนของเบดที่ไม่ถูกใช้งานสามารถแปร เป็นความยาวของเบดที่ไม่ถูกใช้งาน (LUB) ได้ ซึ่งจะสมมติให้เป็นค่าคงที่ และเวลา ณ จุดเบรคทรู จะคำนวณจากเวลาที่อุดมคติและสัดส่วนของเบดที่ถูกใช้งานดังสมการที่ 4.4

$$t_b = t^* (1 - LUB / L) \quad (4.4)$$

เมื่อ t_b คือ เวลาที่จุดเบรคทรู (min)

LUB คือ ความยาวของเบดที่ยังไม่ได้ใช้งาน (m)

ในปี 1966 มีผู้ศึกษาและพัฒนาสมการที่ใช้ในการขยายขนาดหอดูดซับจากหอดูดซับขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ ไปเป็นหอดูดซับที่ใช้งานจริงดังนี้ (Reynolds and Richards, 1996)

ก. คำนวณหาปริมาตรของตัวดูดซับ

$$Bed\ volume(BV) = Q/Q_0 \quad (4.5)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลในหอดูดซับจริง (m^3 of fixed-bed/min)
 Q_0 คือ อัตราการไหลในหอดูดซับขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ (m^3 of fixed-bed/min)
 ข. มวลของการออกแบบหอดูดซับ

$$M = (BV) P \quad (4.6)$$

เมื่อ M คือ น้ำหนักของตัวดูดซับในหอดูดซับจริง (kg/min)
 P คือ ความหนาแน่นรวมของตัวดูดซับ (kg/m^3)
 ค. เวลาของการออกแบบหอดูดซับจนถึงจุดเบรคทรู

$$T = M/M_t \quad (4.7)$$

เมื่อ T คือ เวลาที่จุดเบรคทรูสำหรับหอดูดซับจริง (min)
 M_t คือ มวลของตัวดูดซับในหอดูดซับ ณ จุดที่ตัวดูดซับหมดสภาพต่อหน่วยเวลา (kg/min)
 ง. ปริมาตรของไหลที่ผ่านการบำบัดจากหอดูดซับจนกระทั่งถึงจุดเบรคทรู (V_b)

$$V_b = QT \quad (4.8)$$

4.2 วิธีดำเนินการวิจัย

4.2.1 วิธีวิจัย

ศึกษาการดูดซับสีข้อมเคมีจากน้ำเสียในระบบหอดูดซับโดยใช้เรดินมอนด์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ โดยให้เกิดการดูดซับผ่านหอดูดซับจนกระทั่งความเข้มข้นสีข้อมที่ออกจากหอดูดซับมีค่าคงที่ แล้วนำตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer

4.2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ศึกษาการกำจัดสีข้อมเคมีจากน้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำสีข้อมผ้าตราสิงโตตีกลองและสีข้อมผ้าตราใบหม่อน) และน้ำเสียจริง (จากการเก็บตัวอย่าง) และเลือกใช้ตัวดูดซับที่สามารถดูดซับสีข้อมเคมีได้มากที่สุดของแต่ละสีจากผลการดูดซับในบทที่ 3

4.2.3 ตัวแปรที่ทำการวิจัย

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองสำหรับการดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo-clay ในระบบหอดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรสำหรับการทดลองในระบบหอดูดซับ

ตัวแปร	การทดลองในหอดูดซับ
ตัวแปรอิสระ	- ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำสีย้อมผ้า - ชนิดของตัวดูดซับ - ปริมาณของตัวดูดซับในหอดูดซับ - เวลาในการดูดซับ
ตัวแปรควบคุม	- อัตราการไหลของน้ำสีย้อมผ้าภายในหอดูดซับ - แรงดันของปั๊ม - ความสูงของตัวดูดซับผสมทรายที่บรรจุในหอดูดซับ
ตัวแปรตาม	- ปริมาณน้ำเสียที่ผ่านหอดูดซับ ณ จุดเบรคทู - ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าในระบบหอดูดซับ

4.2.4 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

4.2.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองหอดูดซับ

- ก) ท่อแก้วกลวงมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 1.5 ซม. และยาว 40 ซม.
- ข) ปั๊มแบบไดอะแฟรม

4.2.4.2 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำ

- ก) เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 2 และ 4 ตำแหน่ง
- ข) ขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร
- ค) ตู้บ่มที่บแสง (Incubator) อุณหภูมิ 20 ± 1 °C
- ง) ปั๊มอากาศ
- จ) Porous stone
- ฉ) เตาซีโอดี พร้อมเครื่องควบแน่นกลั่นไหลกลับขนาด 250 มิลลิลิตร
- ช) ขวดซีโอดี
- ซ) Magnetic bars และ Magnetic stirrer
- ฌ) เครื่องวัดความขุ่น Turbidimeter
- ฎ) pH meter
- ฏ) ถ้วยกระเบื้องสำหรับระเหยสาร

ฎ) โถคู่คความชื้น

จ) Water bath

4.2.4.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลองหอดูดซับ

ก) แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ (ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด)

ข) สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลองและสีย้อมผ้าตราใบหม่อน

ค) สาร Tetradecyltrimethylammonium bromide ของบริษัท Fluka Chemie

ง) น้ำดีไอ (Deionize water) และน้ำกลั่น (Distillated water)

4.2.4.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีไออดี

ก) สารละลายมาตรฐาน Potassium dichromate (เข้มข้น 0.25 N): ละลาย 12.259 กรัม $K_2Cr_2O_7$ (ทำการอบที่ 103 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้ว) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

ข) กรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่มี Silver sulfate: เติมสาร Ag_2SO_4 22 กรัม ลงในขวดกรดเข้มข้น H_2SO_4 ขนาด 9 ปอนด์ (หรือ 2.5 ลิตร) เขย่าแล้วปล่อยให้ละลายประมาณ 2 วัน

ค) สารละลาย Ferrous ammonium sulfate (FAS) (เข้มข้น 0.1 N): ละลายสาร $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ จำนวน 39 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมกรดเข้มข้น H_2SO_4 20 มิลลิลิตรแล้วเจือจางให้ได้ 1 ลิตร ต้องทำ Standardization ทุกวันก่อนใช้ ดังต่อไปนี้ : ใช้สารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ 10 มิลลิลิตรเจือจางให้ได้ประมาณ 100 มิลลิลิตรแล้วเติมกรดเข้มข้น H_2SO_4 30 มิลลิลิตรปล่อยให้เย็น จากนั้นเติม Ferrion indicator 2 - 3 หยด แล้วทำไทเทรตกับสารละลาย FAS

ง) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4)

จ) ผง Mercuric sulfate ($HgSO_4$)

ฉ) สาร Ferroin indicator: ใช้เป็นอินดิเคเตอร์ในการหาค่าซีไออดี โดยทำการละลายสาร 10-Phenanthroline monohydrate จำนวน 1.485 กรัม พร้อมกับสาร $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ จำนวน 695 มิลลิกรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้ได้ 100 มิลลิลิตร

4.2.4.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าบีไออดี

ก) สารละลาย Manganese sulfate: ละลายสาร $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 480 กรัม หรือสาร $MnSO_4 \cdot 2H_2O$ 400 กรัม หรือสาร $MnSO_4 \cdot H_2O$ จำนวน 364 กรัมในน้ำกลั่น จากนั้นทำการกรอง แล้วเจือจางให้ได้ 1 ลิตร

ข) สารละลาย Alkali-iodide-azide: ละลายสาร NaOH จำนวน 500 กรัม และสาร NaI 135 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้ได้ 1 ลิตร จากนั้นละลายสาร NaN₃ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตรแล้วผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน

ค) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H₂SO₄)

ง) กรดซัลฟิวริก (เข้มข้น 3.6 N): เจือจางกรด H₂SO₄ เข้มข้น 1 ส่วนด้วยน้ำกลั่น 9 ส่วน

จ) สารละลายน้ำแป้ง: ละลายสาร Starch Soluble ประมาณ 5 – 6 กรัม ในน้ำกลั่นเล็กน้อยแล้วจึงเติมลงไปใต้น้ำกลั่นที่เดือด ประมาณ 1 ลิตรปล่อยให้เดือด 2 – 3 นาที แล้วปล่อยให้ตกตะกอนหนึ่งคืน ใช้เฉพาะส่วนบนที่ใส

ฉ) สารละลาย Sodium thiosulfate (เข้มข้น 0.10 N): ละลายสาร Na₂S₂O₃·5H₂O จำนวน 24.82 กรัมในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตรแล้วเติมสาร Chloroform ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการย่อยสลาย

ช) สารละลายมาตรฐาน Sodium thiosulfate (เข้มข้น 0.025 N): นำสารละลาย Sodium thiosulfate เข้มข้น 0.10 N มา 250 มิลลิลิตรเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตรแล้วทำ Standardization กับสารละลายมาตรฐาน KH(IO₃)₂

ซ) สารละลายมาตรฐาน Potassium bi-iodate (เข้มข้น 0.025 N): ละลายสาร KH(IO₃)₂ จำนวน 0.8124 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

ณ) น้ำกลั่น (Distilled Water)

ญ) น้ำเจือจาง ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังนี้

- สารละลายสะเทิน Phosphate: ละลายสาร K₂HPO₄ 8.5 กรัม, สาร K₂HPO₄ 21.75 กรัม, สาร Na₂HPO₄·7H₂O 33.4 กรัม, และสาร NH₄Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตรแล้วเจือจางให้ได้ 1 ลิตร (pH ของสารละลายควรจะได้ 7.2)

- สารละลาย Magnesium sulfate: ละลายสาร MgSO₄·7H₂O จำนวน 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้ได้ 1 ลิตร

- สารละลาย Calcium chloride: ละลายสาร CaCl₂ จำนวน 27.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางให้ได้ 1 ลิตร

- สารละลาย Ferric chloride: ละลายสาร FeCl₃·6H₂O จำนวน 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้ได้ 1 ลิตร

น้ำเจือจาง : เติมสารละลาย Phosphate buffer, Magnesium sulfate, Calcium chloride, และ Ferric chloride อย่างละ 1 มิลลิลิตรในน้ำกลั่น 1 ลิตรทำการเป่าอากาศเพื่อให้ DO อิ่มตัว

4.2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

วิธีการวัดปริมาณสีขุ่นในน้ำและวิธีการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของแร่ดินมอนต์มอริลไลต์ในธรรมชาติโดยใช้สาร QACs ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 3.2.5.1 ในบทที่ 3 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำเสียจากสีขุ่นจะใช้หลักการเกี่ยวกับการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำและน้ำเสีย (มันส์ตันตันทูลเวสม์, 2538) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

4.2.5.1 วิธีการวิเคราะห์หาคุณภาพของน้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำจะวิเคราะห์อยู่ในรูปของตัวแปรที่จะบ่งบอกสมบัติของน้ำและความเป็นอันตรายของน้ำนั้น ตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ ได้แก่ ค่าซีโอดี ค่าบีโอดี ค่าของแข็งทั้งหมด ค่า pH และค่าความขุ่น เป็นต้น ในการวิเคราะห์จะหาค่า pH และค่าความขุ่นจะวัดค่าจากเครื่อง pH-meter และเครื่อง Turbidimeter สำหรับการวิเคราะห์หาค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) สามารถวิเคราะห์ได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

a) เตรียมตัวอย่างน้ำใน Reflux flasks จำนวน 20 มิลลิลิตร และใส่สารต่าง ๆ ใน Reflux flasks ตามลำดับดังนี้ ใส่ลูกแก้ว (Glass beads) 2-3 เม็ด, ผง HgSO_4 ประมาณ 0.4 กรัม น้ำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร สารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ เข้มข้น 0.25 N จำนวน 10 มิลลิลิตร และกรด H_2SO_4 (กรดเข้มข้น + Ag_2SO_4) จำนวน 30 มิลลิลิตรโดยค่อย ๆ เติมกรดแล้วเขย่า flask เพื่อป้องกันการสูญเสียจากความร้อนที่เกิดขึ้น

b) ทำการ Reflux บนเตาซีโอดีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

c) ปิดสวิตซ์ไฟฟ้าที่เตาแล้วปล่อยให้ขวดซีโอดีเย็นลงหลังจากทำการล้างท่อควบแน่นด้วยน้ำกลั่นประมาณ 90 มิลลิลิตร แล้วถอดขวดซีโอดีออกมา

e) เติมอินดิเคเตอร์ Feroin 4-5 หยด ใส่ Magnetic bar

f) ทำการไทเทรตด้วยสารละลาย Ferrous ammonium sulfate เข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดสุดท้าย (ระว่าง สีน้ำตาล - แดงที่จุดสุดท้ายจะปรากฏเร็วมาก) บน Magnetic stirrer การคำนวณ

$$COD = \frac{(a - b) * 8 * 1000 * Normality Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}{mL sample} \quad (4.9)$$

เมื่อ a คือ ปริมาตรของ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ซึ่งใช้ในการไทเทรต blank (mL)

b คือ ปริมาตรของ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ซึ่งใช้ในการไทเทรตน้ำตัวอย่าง (mL)

สำหรับการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี (Biological Oxygen Demand) สามารถวิเคราะห์ได้ตามขั้นตอนต่อไปนี

a) เตรียมขวดบีโอดีเพื่อใช้สำหรับทดสอบ ในวันที่ 1 และวันที่ 5 (3 ชุด)

b) เชื้อค่าเปอร์เซ็นต์สารผสม (Percent mixture) ที่เหมาะกับตัวอย่างโดยพิจารณาจากตารางที่ 4.1 เทียบกับค่า ซีโอดี

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนผสมสำหรับหาค่าบีโอดีด้วยวิธีการเจือจาง

เปอร์เซ็นต์การผสมที่ใช้		ปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่ปีเปิดได้ในขวด บีโอดีขนาด 300 mL โดยตรง	
%สารผสม	ช่วงของค่าบีโอดี	mL	ช่วงของค่าบีโอดี
0.01	20,000-70,000	0.02	30,000-105,000
0.02	10,000-35,000	0.05	12,000-42,000
0.05	4,000-14,000	0.10	6,000-21,000
0.2	1,000-3,500	0.50	1,200-4,200
0.5	400-1,400	1.0	600-2,100
1.0	200-700	2.0	300-1,050
2.0	100-350	5.0	111-420
5.0	40-140	10.0	60-210
10.0	20-70	20.0	30-105
20.0	10-35	50.0	12-42
50.0	4-14	100	6-21
100	0-7	300	0-7

หมายเหตุ จาก Sawyer, C.N., McCarty, P.L., and Parkin, G.F. (2003). **Chemistry for environmental engineering and science**. New York: McGraw-Hill.

c) เตรียมส่วนผสมในตารางที่ 4.1 เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำตัวอย่างกับน้ำเจือจาง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า DO ในวันที่ 0 และวันที่ 5

d) นำขวดบีโอดีซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์ค่า DO ในวันที่ 1 มาวิเคราะห์ ขวดบีโอดี ที่เหลือนำเข้าตู้อบที่ 20 °C เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่า DO ในวันที่ 5 ต่อไป ต้องฉีดน้ำกลั่นที่ปากขวดทุกวันเพื่อเป็นการป้องกันออกซิเจนเข้าไปในขวด

e) นำขวดบีโอดีในวันที่ 5 ออกมาทำการวัดค่า DO เพื่อนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าบีโอดี ค่า DO ที่นำมาคำนวณควรมีค่า DO อย่างน้อย 1 mg/L และการลดลงของ DO มากกว่า 2 mg/L

สำหรับการวิเคราะห์หาค่าความสามารถละลายของออกซิเจนในน้ำ (DO) สามารถวิเคราะห์ได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

a) ทำ Standardization กับ Sodium Thiosulfate (เข้มข้น 0.025 N) ด้วย 0.025 N Potassium bi-iodate ((KH(IO₃))₂)

b) Winkler method (Azide modification): ในขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตรที่มีน้ำตัวอย่าง เติมสาร MnSO₄ จำนวน 2 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปตต์ แล้วตามด้วยสารละลาย alkali-iodide-azide จำนวน 2 ลิตร โดยให้ปลายของ pipette จุ่มใต้ผิวน้ำปิดฝาจุกโดยไม่ให้มีฟองอากาศอยู่ข้างใน แล้วพลิกคว่ำขวดเพื่อให้สารเคมีผสมกันหลาย ๆ ครั้ง เมื่อตักตะกอนสีน้ำตาลตกลงสู่ก้นขวด จะปรากฏชั้นน้ำใสเหนือชั้นตะกอนสีหมอกของ Manganese hydroxide สำหรับตัวอย่างน้ำกร่อยให้ปล่อยทิ้งไว้ 10 นาที เมื่อตักตะกอนได้ชั้นน้ำใสอย่างน้อย 100 มิลลิลิตร เปิดฝาจุกออกเติม 2 มิลลิลิตรของกรดเข้มข้น H₂SO₄ ทันทีปิดจุกแล้วเขย่าจนตะกอนละลายหมด ตวงน้ำตัวอย่าง 203 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกตวง นำไปใส่ในขวดรูปชมพู่แล้วทำการไทเทรตจนได้สีน้ำตาลจาง ๆ เติมน้ำแบ่ง 1 มิลลิลิตรและทำการไทเทรตต่อจนสีน้ำเงิน-ฟ้าหายไป

c) ทำการ Standardize สารละลาย Sodium thiosulfate ที่เตรียมไว้เพื่อหาความเข้มข้นที่แท้จริง โดยวิธีการ Standardize ของสารละลาย Sodium thiosulfate ทำโดยละลายสาร KI ประมาณ 2 กรัม ในน้ำกลั่น 100 - 150 มิลลิลิตร เติม 10 มิลลิลิตรของ 3.6 N H₂SO₄ และเติมสารละลายมาตรฐาน Potassium bi-iodate 0.025 N จำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้ได้ 200 มิลลิลิตรแล้วทำการไทเทรตกับสารละลาย Sodium thiosulfate โดยใช้ น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ การคำนวณ

$$BOD_5 = \frac{(D_0 - D_5) * 100}{P} \quad (4.10)$$

เมื่อ D₀ คือ DO เริ่มต้นของตัวอย่าง (mg/L)

D₅ คือ DO ของตัวอย่างหลังจากอบในวันที่ 5 (mg/L)

P คือ อัตราส่วนปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่ใช้ต่อปริมาตรขวด BOD

สำหรับการวิเคราะห์หาค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids) สามารถวิเคราะห์ได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

a) ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมที่ได้รับการเผาไหม้ และทำให้เย็นแล้ว

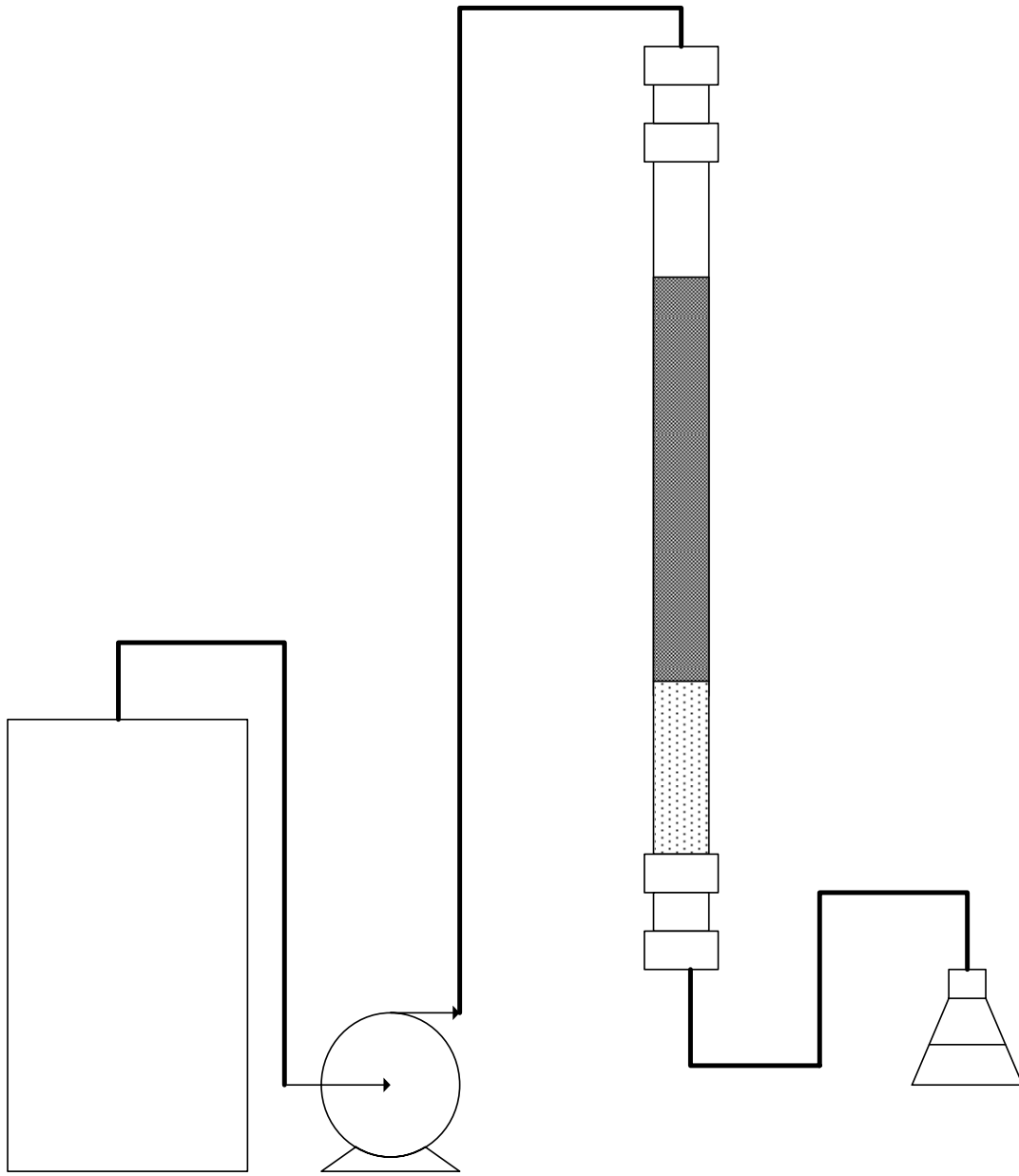
- b) เติมน้ำละลายตัวอย่าง 25 มิลลิกรัมในถ้วย
 - c) ทำการระเหยใน Steam Table จนแห้ง
 - d) เมื่อแห้งแล้วนำเข้าตู้อบอีก 24 ชั่วโมงที่ 103 °C
 - e) ทำให้เย็นในโถดูดซับความชื้น
 - f) ชั่งน้ำหนักซ้ำอีกครั้งจนกว่าน้ำหนักที่ได้มีความใกล้เคียงกันถ้าน้ำหนักยังไม่ใกล้เคียงกันก็ให้นำไปใส่ในโถดูดซับความชื้นอีก 30 นาทีแล้วนำมาชั่งใหม่
- การคำนวณ

$$TS = \frac{(W_{solid} + W_{dish}) * 1000}{V_{sample}} \quad (4.11)$$

เมื่อ	TS	คือ ค่าของแข็งทั้งหมด (mg/L)
	W_{solid}	คือ น้ำหนักของแข็งหลังการอบ (mg)
	W_{dish}	คือ น้ำหนักถ้วย (mg)
	V_{sample}	คือ ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (mL)

4.2.5.2 การศึกษาผลการดูดซับสีของเคมีจากน้ำเสียในหลอดซับ

การดูดซับสีของเคมีภายในหลอดซับด้วยเรซินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay มีขั้นตอนดังนี้ นำตัวดูดซับผสมกับทรายควอตซ์ในอัตราส่วน 2 %wt (ผสมตัวดูดซับ 1.0675 กรัมกับทรายจำนวน 52.0 กรัม) เนื่องจากเรซินมอนต์มอริลโลไนต์เมื่อละลายน้ำจะมีความหนืดสูงถ้าบรรจุลงในหลอดซับโดยตรงจะทำให้เกิดการอุดตัน ดังนั้นจึงต้องทำการผสมด้วยทรายควอตซ์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดการอุดตันขึ้นภายในหลอดซับ (Wibulswas, 2004) จากนั้นเทตัวดูดซับที่ผสมกับทรายแล้วลงในท่อแก้วซึ่งมีรัศมี 0.75 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร โดยใช้ใยแก้วสูง 10 เซนติเมตรเป็นตัวรองรับแล้วปิดจุกสายยางที่ก้นท่อแก้ว ซึ่งจะให้ความสูงของตัวดูดซับผสมกับทรายประมาณ 20 เซนติเมตร จากนั้นปล่อยน้ำกลั่นให้ไหลผ่านท่อแก้วที่บรรจุตัวดูดซับผสมกับทราย เก็บตัวอย่างน้ำที่ออกจากท่อแก้วเพื่อนำไปทำเป็น Blank เพื่อปรับค่าศูนย์ในเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer เมื่อน้ำกลั่นไหลออกจากท่อแก้วจนหมดแล้ว ให้ดูน้ำสีของเคมีจากถังสแตนเลสด้วยปั๊มไดอะแฟรม ที่แรงดันปั๊มมีค่าเท่ากับศูนย์ เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านหลอดซับ ทุก ๆ 5 นาที เพื่อวัดปริมาตร ค่า pH ค่าความขุ่น ค่าแอมโมเนียมไนโตรเจน (วัดปริมาณการดูดซับของสีของเคมี) และนำไปหาค่าซีไอต่อไป ลักษณะของอุปกรณ์การทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 อุปกรณ์การทดลองหอดูดซับ

4.3 ผลการทดลองและการอภิปรายผล

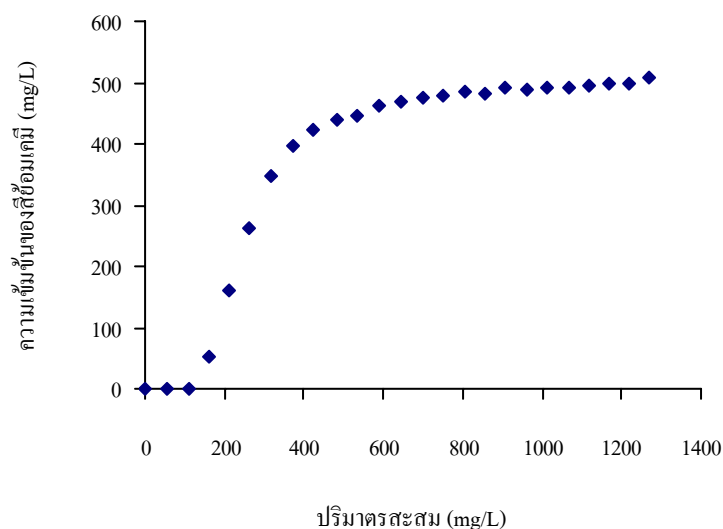
4.3.1 ผลการดูดซับสีย้อมผ้าจากน้ำเสียสังเคราะห์ในระบบหอดูดซับ

จากผลการทดลองในบทที่ 3 พบว่า ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay สามารถดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียสังเคราะห์ได้มากกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ยกเว้น สีม่วง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) ดังนั้นในการทดลองการดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียสังเคราะห์ในหอดูดซับจะเลือกใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ ยกเว้นสีม่วงจะใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ

4.3.1.1 ผลการดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย 200%CEC TDMA-clay

ในหอดูดซับ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับปริมาณสะสมของน้ำสีย้อมหลังผ่านหอดูดซับซึ่งจะเรียกว่า “กราฟเบรคทรู” กราฟเบรคทรูของสีย้อมเคมีแต่ละชนิดแสดงไว้ในภาคผนวก ค ในรูปที่ 4.4 เป็นตัวอย่างของกราฟเบรคทรูของสีฟ้าเข้ม (สีย้อมผ้าตราไบหม่อน) ที่สภาวะการทดลองที่ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวดูดซับทั้งหมดโดยที่เกลือเป็นทรายควอตซ์ (%wt) ความสูงของเบด (h) มีค่าเท่ากับ 20 เซนติเมตร ความเข้มข้นเริ่มต้น (c_0) เท่ากับ 523.4 mg/L และอัตราการไหลของสีย้อมเคมีผ่านหอดูดซับ (Q_0) มีค่าเท่ากับ 10.57 mL/min พบว่า ลักษณะของกราฟที่ได้เป็นเส้นโค้งคล้ายรูปตัวอักษรเอสหรือเรียกว่า “S-shape” โดยความเข้มข้นของสีย้อมที่ผ่านหอดูดซับออกมาในช่วงแรก ๆ จะมีค่าน้อย แต่เมื่อถึงจุดเบรคทรูความเข้มข้นก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งคงที่ในที่สุด



รูปที่ 4.4 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสังเคราะห์สีฟ้าเข้ม (สีย้อมผ้าตราไบหม่อน) ดูดซับด้วย 200% CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 523.4$ mg/L และ $Q_0 = 10.57$ mL/min

ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 จะแสดงผลการดูดซับสีย้อมผ้าตราสีโตติกแดงและสีย้อมผ้าตราไบหม่อนจากน้ำเสียสังเคราะห์ของระบบหอดูดซับ ตามลำดับ พบว่า สีย้อมเคมีแต่ละชนิดจะมีปริมาณเบรคทรูของสีย้อมเคมีที่ผ่านหอดูดซับและเวลา ณ เบรคทรู แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมแต่ละชนิด เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีของสีย้อมเคมีแต่ละชนิดในภาคผนวก ค พบว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสีย้อมเคมีที่ผ่านหอดูดซับเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้ม

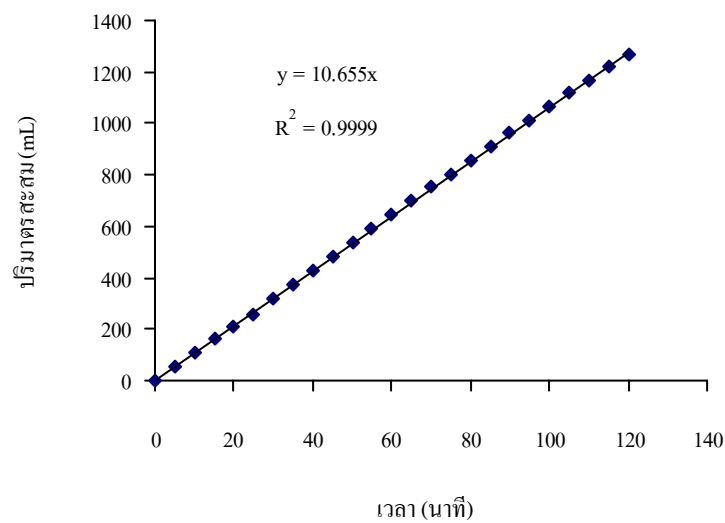
เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของค่าซีไอดี ดังนั้นจึงกำหนดให้จุดเบรคทูลเป็นจุดที่มีค่าซีไอดีเท่ากับ 120 mg/L เนื่องจากค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่รัฐบาลกำหนดต้องมีค่าซีไอดีในน้ำก่อนทิ้งไม่เกิน 120 mg/L

ตารางที่ 4.3 ผลการดูดซับสีย้อมผ้าตราสิงโตติดกลองจากน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วย 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg /L)	ปริมาตรที่จุดเบรคทูล (mL)	อัตราการไหล (cm ³ /min)	เวลา ณ จุดเบรคทูล (min)
สีเหลืองอ่อน	499.01	957.68	9.65	82.08
สีเลือดหมู	489.72	269.66	10.58	21.54
สีแดงเลือดหมู	495.00	284.38	10.18	23.63
สีแดงน้ำตาล	496.07	518.81	9.53	43.81
สีระกำทอง	470.71	728.81	9.25	71.86
สีน้ำเงิน	504.38	514.30	9.30	49.38
สีตะกั่ว	499.40	4591.06	10.74	467.14
สีเม็ดมะขามแก่	479.34	278.63	10.90	25.97
สีเขียวตองอ่อน	493.82	851.03	10.39	75.80
สีไพล่น้ำ	343.84	189.07	9.90	16.97
สีน้ำตาลทอง	499.34	1180.68	10.08	99.00
สีเขียวก้านมะลิ	497.20	835.42	9.48	80.51
สีเขียวมรกต	366.64	332.13	10.68	29.14
สีกะปิ	518.13	3158.58	11.18	260.99

ตารางที่ 4.4 ผลการดูดซับสีย้อมผ้าตราใบหม่อนจากน้ำเสียดังเคราะห์ ด้วย 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/L)	ปริมาตรที่จุดเบรคทฤษฎี (mL)	อัตราการไหล (cm ³ /min)	เวลาที่ ๓ เบริคทฤษฎี (min)
สีดำ	491.80	116.68	11.98	8.58
สีกรมท่า	380.90	154.36	11.43	11.67
สีเขียว	494.60	81.10	10.23	8.57
สีบานเย็น	504.20	122.45	10.36	10.40
สีแดง	564.54	69.70	10.03	6.27
สีน้ำตาลเข้ม	500.55	130.80	9.68	12.58
สีฟ้าเข้ม	523.40	162.60	10.57	15.11
สีฟ้าอ่อน	497.74	114.51	10.45	10.43
สีแสด	531.00	208.82	11.18	16.62
สีเหลืองตุ่น	513.00	164.42	11.18	10.79
สีเหลือง	472.95	222.15	10.20	4.12
สีชมพู	507.1	73.42	11.14	64.71



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียดสีฟ้าเข้ม (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) หลัง

ผ่านหอดูดซับกับเวลา เมื่อใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีข้อมเคมีหลังผ่านหอดูดซับเทียบกับเวลา แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตัวอย่างของกราฟดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 พบว่า กราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและสามารถหาสมการเส้นตรงของสีข้อมเคมีแต่ละชนิด ซึ่งมีค่า R^2 ใกล้เคียงหนึ่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 เป็นสมการเส้นตรงของน้ำเสียจากสีข้อมผ้าตราสิงโตตีกลองและสีข้อมผ้าตราใบหม่อน ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไม่พบการดูดตันเกิดขึ้นภายในหอดูดซับที่มี 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับในปริมาณ 2 %wt

ตารางที่ 4.5 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีข้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง หลังผ่านหอดูดซับเทียบกับเวลาโดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ชนิดของสีข้อม	สมการ	R^2
สีเหลืองอ่อน	$y = 10.395x$	0.9921
สีกะปิ	$y = 11.854x$	0.9936
สีเม็ดมะขามแก่	$y = 11.035x$	0.9998
สีแดงเลือดหมู	$y = 10.406x$	0.9976
สีเลือดหมู	$y = 11.166x$	0.9976
สีตะกั่ว	$y = 11.067x$	0.9974
สีระกำทอง	$y = 9.456x$	0.9980
สีเขียวมรกต	$y = 10.781x$	0.9998
สีน้ำเงิน	$y = 9.443x$	0.9987
สีแดงน้ำตาล	$y = 10.237x$	0.9972
สีน้ำตาลทอง	$y = 10.824x$	0.9962
สีเขียวก้านมะลิ	$y = 9.727x$	0.9976
สีไพลเนา	$y = 10.118x$	0.9977
สีเขียวทองอ่อน	$y = 11.675x$	0.9948

(1) หมายเหตุ ตัวแปร y หมายถึง ปริมาตรสะสมของน้ำสีข้อมหลังผ่านหอดูดซับ (มิลลิลิตร) และตัวแปร x หมายถึงเวลาในการดูดซับ (นาที)

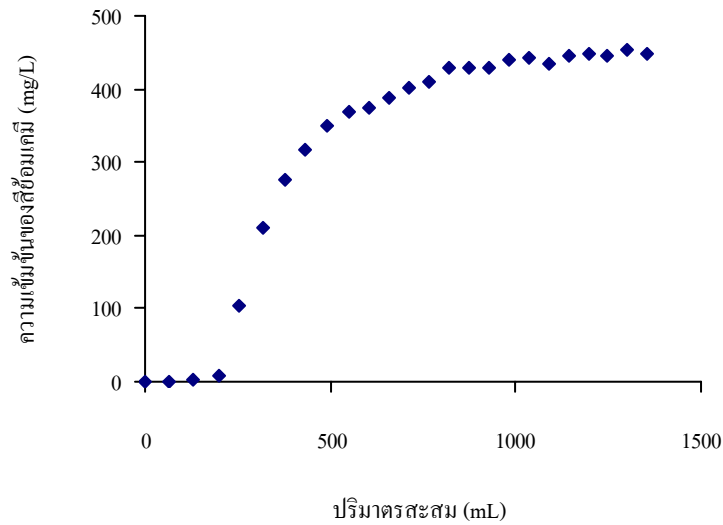
ตารางที่ 4.6 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีข้อมฟ้าตราไบหม่อนหลังผ่าน หอดูดซับเทียบกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ชนิดของสีข้อม	สมการ	R ²
สีดำ	$y = 12.284x$	0.9982
สีกรมท่า	$y = 11.683x$	0.9973
สีเขียว	$y = 10.413x$	0.9993
สีบานเย็น	$y = 10.568x$	0.9982
สีแดง	$y = 10.202x$	0.9990
สีน้ำตาลเข้ม	$y = 9.755x$	0.9996
สีฟ้าเข้ม	$y = 10.655x$	0.9999
สีฟ้าอ่อน	$y = 10.262x$	0.9995
สีแสด	$y = 11.474x$	0.9977
สีเหลืองตุ่น	$y = 11.557x$	0.9943
สีเหลือง	$y = 10.387x$	0.9974
สีชมพู	$y = 11.791x$	0.9955

หมายเหตุ ตัวแปร y หมายถึง ปริมาตรสะสมของน้ำสีข้อมหลังผ่านหอดูดซับ (มิลลิลิตร) และตัวแปร x หมายถึงเวลาในการดูดซับ (นาที)

4.3.1.2 ผลการดูดซับสีข้อมเคมีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติในหอดูดซับ

ผลการดูดซับน้ำเสียสีม่วง (สีข้อมฟ้าตราไบหม่อน) ด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ที่สภาวะการทดลองเมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับ 2 %wt และความสูงของเบดเท่ากับ 20 เซนติเมตร พบว่า ลักษณะของกราฟเบรคทรูในรูปที่ 4.6 มีปริมาตรของน้ำสีข้อมที่ผ่านหอดูดซับ ณ จุดเบรคทรูเท่ากับ 111.51 มิลลิลิตรและมีเวลา ณ จุดเบรคทรูเท่ากับ 8.58 นาที สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของสีข้อมฟ้าเคมีที่ออกมาจากหอดูดซับสะสมเทียบกับเวลาได้กราฟเป็นเส้นตรง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 23.2ค ในภาคผนวก ค และมีสมการเป็น $y = 11.546x$ โดยตัวแปร y หมายถึง ปริมาตรสะสมของน้ำสีข้อมที่ผ่านหอดูดซับ (มิลลิลิตร) และตัวแปร x หมายถึงเวลาในการดูดซับ (นาที) และมีค่า $R^2 = 0.9993$ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า หอดูดซับที่มีแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติในปริมาณ 2 %wt ไม่พบการอุดตันเกิดขึ้นในระหว่างการดูดซับ



รูปที่ 4.6 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีม่วง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) ดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริล โลไนต์ธรรมชาติ ที่ $c_0 = 494.30 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.29 \text{ mL/min}$

4.3.2 ประสิทธิภาพของหอดูดซับในการกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำเสียสังเคราะห์

ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมผ้าเคมีจากน้ำเสียสังเคราะห์ของตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ จะศึกษาโดยการหาอัตราส่วนร้อยละของปริมาณการดูดซับสีย้อมเคมีทั้งหมดในหอดูดซับ (หาค่าโดยการอินทิเกรตพื้นที่ทั้งหมดที่อยู่ด้านเหนือเส้นกราฟเบรคทรู) เทียบกับปริมาณการดูดซับทั้งหมดจากการทดลองแบบกะในระดับห้องปฏิบัติการ ในบทที่ 3 (ค่า q_m จากไอโซเทอรัมแบบ Langmuir) พบว่า ประสิทธิภาพของหอดูดซับเมื่อเทียบกับการดูดซับแบบกะในระดับห้องปฏิบัติการจะอยู่ในช่วง 15.47 - 99.77 % ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพของหอดูดซับในการดูดซับสีย้อมเคมีตราสีงโตติกลงจากน้ำเสีย
สังเคราะห์

ลำดับ	ชนิดสี	ปริมาณการดูดซับสีย้อมสูงสุดบนตัวดูดซับ		ประสิทธิภาพของ หอดูดซับ (%)
		ในระดับห้องปฏิบัติการ (mg/g)	หอดูดซับ (mg/g)	
1	สีเหลืองอ่อน	909.09	907.02	99.77
2	สีกะปิ	1428.57	313.28	21.93
3	สีเม็ดมะขามแก่	769.23	556.00	72.28
4	สีเลือดหมู	2000	638.78	31.94
6	สีตะกั่ว	384.62	125.12	32.53
7	สีระกำทอง	1000	668.64	66.86
8	สีเขียวมรกต	476.19	280.38	58.88
9	สีน้ำเงิน	833.33	672.43	80.69
10	สีแดงน้ำตาล	1000	966.99	96.70
11	สีน้ำตาลทอง	714.29	498.77	69.83
12	สีเขียวก้านมะลิ	1000	996.09	99.61
13	สีไพล่น้ำ	434.78	136.35	31.36
14	สีเขียวทองอ่อน	1000	923.73	92.37

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพของหอดูดซับในการดูดซับสีย้อมผ้าตราใบหม่อนจากน้ำเสียสังเคราะห์

ลำดับ	ชนิดสี	ปริมาณการดูดซับสีย้อมสูงสุดบนตัวดูดซับ		ประสิทธิภาพของ หอดูดซับ (%)
		ในระดับห้องปฏิบัติการ (mg/g)	หอดูดซับ (mg/g)	
1	สีดำ	526.32	131.90	25.06
2	สีกรมท่า	909.09	189.79	20.88
3	สีเขียว	666.67	137.54	20.63
4	สีบานเย็น	769.23	185.12	24.07
5	สีแดง	909.09	158.67	17.45
6	สีน้ำตาลเข้ม	833.33	204.81	24.58
7	สีฟ้าเข้ม	526.32	160.33	30.46
8	สีฟ้าอ่อน	833.33	150.29	18.03
9	สีแสด	833.33	195.62	23.47
10	สีเหลืองคุ่น	1250	193.34	15.47
11	สีเหลือง	769.23	278.31	36.18
12	สีชมพู	101.01	94.65	93.70

4.3.3 ผลการดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียจริงในระบบหอดูดซับ

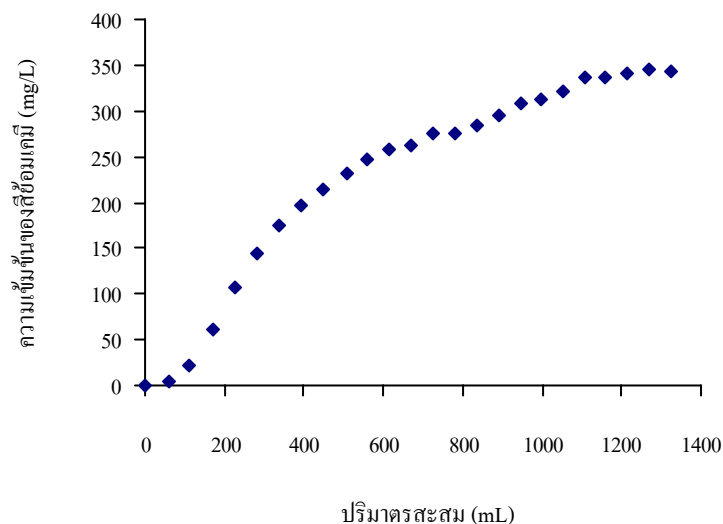
4.3.3.1 ผลการดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียจริงด้วย 200%CEC TDMA-clay ในหอดูดซับ

กราฟเบรคทรูของการดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียจริงในระบบหอดูดซับด้วยตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay แสดงไว้ในภาคผนวก ค ตัวอย่างของกราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงที่ทราบชนิดและความเข้มข้นที่แน่นอนได้แก่ กราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงสีเม็ดมะปราง (ดังรูปที่ 4.7) นอกจากนี้ น้ำเสียจริงที่ศึกษาอีกชนิดหนึ่งได้แก่ น้ำเสียจริงสีม่วงชุ่นเป็นน้ำเสียจริงที่ไม่ทราบชนิดของสีย้อมและความเข้มข้นที่แน่นอน ผลการดูดซับสีย้อมเคมีในระบบหอดูดซับที่มีเบคในหอดูดซับเป็น 200%CEC TDMA-clay ผสมกับทรายในอัตราส่วน 2 %wt ตัวดูดซับและความสูงของเบคในหอดูดซับเท่ากับ 20 เซนติเมตร ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 พบว่า ปริมาตรของน้ำสีย้อมเคมีที่ผ่านหอดูดซับ ณ จุดเบรคทรูและเวลา ณ จุดเบรคทรูมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียจริงแต่ละชนิด

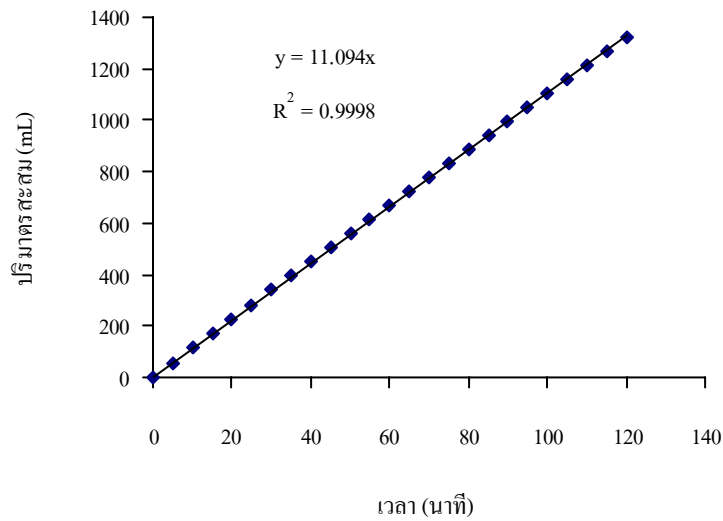
ตารางที่ 4.9 ผลการดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียจริงของ 200%CEC TDMA-clay ในหอดูดซับ

ชนิดของน้ำเสีย	ค่าแอม ซอร์บ แบนซ์	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/L)	ปริมาตรที่ จุดเบรคทรู (mL)	อัตราการ ไหล (cm ³ /min)	เวลาที่จุด เบรคทรู (min)
น้ำเสียจริงสีเม็ด มะปราง	1.479	435.00	113	11.02	10
น้ำเสียจริงสีม่วงชุ่น	16.452	-	111	7.30	36

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียจริงสีเม็ดมะปรางหลังผ่านหอดูดซับเทียบกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่า ได้กราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและสมการเส้นตรงของน้ำเสียสีเม็ดมะปรางและน้ำเสียจริงสีม่วงชุ่น ได้แก่ $y = 11.094x$ และ $y = 7.333x$ ตามลำดับ โดยตัวแปร y หมายถึง ปริมาตรสะสมของน้ำที่ย้อมที่ผ่านหอดูดซับ (มิลลิเมตร) และตัวแปร x หมายถึง เวลาในการดูดซับ (นาท) และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9999 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไม่พบการอุดตันเกิดขึ้นภายในหอดูดซับ เมื่อใช้ 200%CEC TDMA-clay ในอัตราส่วน 2 %wt เป็นตัวดูดซับ สำหรับดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียจริง



รูปที่ 4.7 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงสีเม็ดมะปราง (สีย้อมฟ้ำตราสิงโตตีกลอง) ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 435$ mg/L และ $Q_b = 11.02$ mL/min

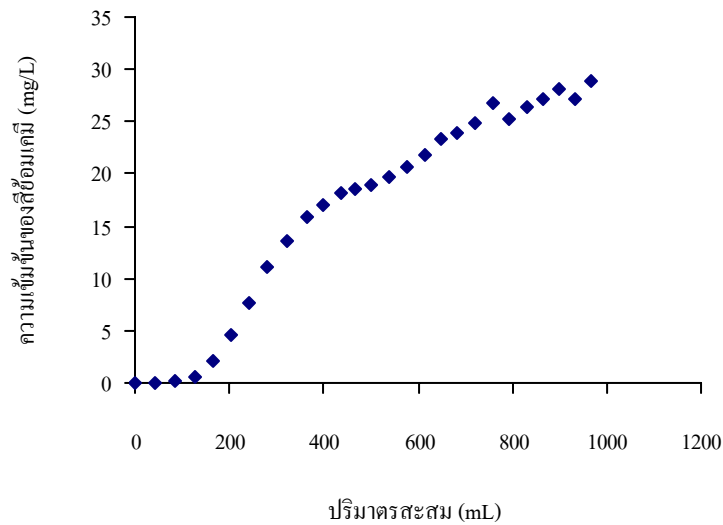


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของน้ำเสียจริงสีเม็ดมะปราง (สีข้อมฟ้าตราสิงโตตีกลอง) หลังผ่านหอคูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

4.3.3.2 ผลการดูดซับสีข้อมเคมีจากน้ำเสียจริงด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติในระบบหอคูดซับ

กราฟเบรคทรูของการดูดซับน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่น (น้ำเสียที่ไม่ทราบชนิดและความเข้มข้นที่แน่นอน) ด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติในระบบหอคูดซับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 เมื่อเบคในหอคูดซับมีปริมาณของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ผสมกับทรายในอัตราส่วน 2 %wt และความสูงของเบคในหอคูดซับเท่ากับ 20 เซนติเมตร โดยมีปริมาตรของสีข้อมที่ผ่านหอคูดซับที่จุดเบรคทรูและเวลา ณ จุดเบรคทรู มีค่าเท่ากับ 204.5 มิลลิลิตรและ 25 นาที ตามลำดับ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่นหลังผ่านหอคูดซับสะสมเทียบกับเวลาดังแสดงในรูปที่ 30.2c ในภาคผนวก ค พบว่า กราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและมีสมการเส้นตรงของน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่น คือ $y = 7.597x$ โดยตัวแปร y หมายถึง ปริมาตรสะสมของน้ำสีข้อมหลังผ่านหอคูดซับ (มิลลิลิตร) และตัวแปร x หมายถึงเวลาในการดูดซับ (นาที) และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9983 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การดูดซับน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่นไม่พบการอุดตันเกิดขึ้นภายในหอคูดซับที่มีแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับขณะทำการทดลอง



รูปที่ 4.9 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงสีเขียวขุนที่มีค่าแอมซอร์บเบนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 44.0319 ดูดซับโดยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ $Q_b = 7.44 \text{ mL/min}$

4.3.4 ผลการลดความสกปรกของน้ำเสียจากสีซีย้อมผ้าในระบบหอดูดซับ

4.3.4.1 ผลการลดความสกปรกของน้ำเสียสังเคราะห์จากสีซีย้อมผ้า

ในตารางที่ 4.10 และ 4.11 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่บ่งบอกถึงความสกปรกของน้ำเสียจากสีซีย้อมผ้าตราสิงโตติดลองและสีซีย้อมผ้าตราใบหม่อน ที่มี $c_0 = 500 \text{ mg/L}$ ตามลำดับ พบว่า ค่าซีไอดีจะมีค่ามากกว่าค่าบีไอดี แสดงให้เห็นว่าสีซีย้อมเคมีเหล่านี้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติที่สภาวะปกติได้น้อย ตัวแปรทั้ง 5 ชนิดนี้มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสีซีย้อมแต่ละชนิด ค่าซีไอดีส่วนใหญ่จะมีค่าเกิน 120 mg/L ซึ่งเกินระดับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่รัฐบาลกำหนดไว้

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่บ่งบอกคุณภาพของน้ำของสีย้อมผ้าตราสิงโตติกลองที่

$$c_0 = 500 \text{ mg/L}$$

หมายเลข ทางการค้า	สีย้อม	ซีโอดี (mg/l)	บีโอดี (mg/l)	ของแข็ง ทั้งหมด (mg/l)	pH	ความขุ่น (NTU)
4	สีเหลืองอ่อน	197	53	540	7.416	1.26
15	สีเลือดหมู	430	122	492	7.640	203
15	สีแดงเลือดหมู	336	13	500	7.649	233.8
17	สีแดงน้ำตาล	182	87	496	7.919	0.8
20	สีระกำทอง	270	114	528	7.853	13
21	สีน้ำเงิน	314	49	492	7.694	16
29	สีตะกั่ว	295	55	508	7.650	3.5
30	สีเม็ดมะขามแก่	416	124	496	7.772	56
33	สีเขียวทองอ่อน	846	24	532	7.777	2
36	สีไพน่า	474	168	480	7.715	3
38	สีน้ำตาลทอง	205	76	512	7.725	2
41	สีเขียวก้านมะลิ	645	199	528	7.811	2
45	สีเขียวมรกต	489	71	528	7.660	12
59	สีกะปิ	66	91	504	7.805	2

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์หัวแปรที่บ่งบอกคุณภาพของน้ำของสีย้อมผ้าตราใบหม่อนที่

$$c_0 = 500 \text{ mg/L}$$

หมายเลข ทางการค้า	สีย้อม	ซีโอดี (mg/l)	บีโอดี (mg/l)	ของแข็ง ทั้งหมด (mg/l)	pH	ความขุ่น (NTU)
101	สีดำ	1,613	51	2,188	3.647	62
103	สีกรมท่า	1,447	48	1,012	6.492	10
104	สีเขียว	395	88	1,060	8.113	4
105	สีบานเย็น	1,238	75	1,024	7.989	140
106	สีแดง	768	469	768	8.070	51
107	สีน้ำตาลเข้ม	1,590	713	1,048	8.857	3080
109	สีฟ้าเข้ม	1,280	662	988	7.557	4
110	สีฟ้าอ่อน	725	311	956	7.730	19
111	สีม่วง	487	19	1,196	7.756	5
112	สีแสด	825	39	720	7.777	301
113	สีเหลืองตุ่น	532	108	840	8.365	8
114	สีเหลือง	532	93	944	7.682	2
115	สีชมพู	966	549	940	3.165	4

ผลการลดความสกปรกจะแสดงไว้ในภาคผนวก ค สำหรับในตารางที่ 4.12 เป็นตัวอย่างผลการวิเคราะห์หัวแปรที่บ่งบอกถึงความสกปรกของน้ำเสียสังเคราะห์สีฟ้าอ่อน (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) เมื่อดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าอ่อนจะลดลงและมีแนวโน้มเดียวกับการลดลงของค่าซีโอดี เมื่อพิจารณาค่าความขุ่น พบว่า แนวโน้มของการลดลงของค่าความขุ่นมีแนวโน้มเดียวกันกับการลดลงของค่าซีโอดี ส่วนค่า pH จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการลดลงของความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำสีย้อมที่ผ่านหลอดซับ

ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นที่ผ่านหลอดจับของน้ำเสียสีฟ้าอ่อน (สีข้อมฟ้าตราไบหม่อน) มี $c_0 = 497.74 \text{ mg/L}$ และค่าตัวแปรต่างๆ ที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	55.0	0.3	8.01	1.28	32.6
10	110.0	9.9	8.29	1.96	81.5
15	163.0	186.2	8.91	2.81	81.5
20	215.0	296.9	9.02	3.82	92.4
25	267.0	350.5	9.08	3.92	184.8
30	319.3	374.1	9.05	3.85	222.8
35	370.3	386.9	9.00	3.91	304.3
40	421.8	386.4	9.12	3.65	478.3
45	471.8	394.2	9.00	3.88	500.0
50	522.3	393.8	9.00	3.48	510.9
55	575.3	395.2	8.79	3.48	635.9

4.3.4.2 ผลการลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียจริงจากสีข้อมเคมี

ในตารางที่ 4.13 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่บ่งบอกถึงความสกปรกของน้ำเสียจริงจากสีข้อมเคมี (จากการเก็บตัวอย่าง) พบว่า ค่าซีโอดีจะมีค่ามากกว่าค่าบีโอดี แสดงให้เห็นว่าสีข้อมฟ้าเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายเองตามธรรมชาติที่สภาวะปกติได้น้อย ตัวแปรทั้ง 5 ชนิดนี้มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสีข้อมแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำเสียสีข้อมเคมีจริงจากการเก็บตัวอย่าง

ชนิดของน้ำเสียจริง	ซีโอดี (mg/l)	บีโอดี (mg/l)	ของแข็งทั้งหมด (mg/l)	pH	ความขุ่น (NTU)
สีเขียวขุ่น	1,331.6	17	16,720	8.53	46.3
สีม่วงขุ่น	1,577.5	15.33	11,036	8.29	23.8
สีเม็ดมะปราง	1,415	120	10,345	8.39	180
สีชวนชม	431	130	15,795	8.29	21.8
สีม่วงอมชมพู	303	70	10,205	7.69	33.7

ตารางที่ 4.14 ค่าแอมชอร์รับแบนซ์ของน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่นในการดูดซับภายในหอดูดซับและค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ค่าแอมชอร์รับแบนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 44.0319

เวลา (นาท)	ปริมาตรสะสม (mL)	ค่าแอมชอร์รับแบนซ์	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	0	44.0319	8.39	16.8	978.3
5	44	0.0548	8.2	7.59	53.4
10	85.5	0.1182	8.2	23.3	45.5
15	125.5	0.5546	8.2	23	203.6
20	165	2.1923	8.26	30.8	77.1
25	204.5	4.5045	8.19	50	124.5
30	242.5	7.7209	8.19	27.8	201.6
35	281.5	11.0539	8.24	23.4	254.9
40	320.5	13.6191	8.2	22.2	268.8
45	363.5	15.8092	8.15	60.6	298.4
50	399.5	16.9906	8.16	25.1	322.1
55	437	18.0939	8.16	23.5	318.2
60	467	18.5614	8.17	26.5	326.1
65	502	18.9816	8.16	28.3	337.9
70	538.5	19.6229	8.15	29	322.1
75	575.5	20.5832	8.15	28.2	326.1
80	613	21.8196	8.15	25.7	334.0

ในตารางที่ 4.14 เป็นตัวอย่างผลการวิเคราะห์น้ำเสียจริงสีเขียวขุ่นที่ผ่านหอดูดซับแล้ว โดยเบคของหอดูดซับมีแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติในอัตราส่วน 2 %wt ตัวดูดซับ พบว่า ค่าแอมชอร์รับแบนซ์ซึ่งจะมีแนวโน้มเดียวกับความเข้มข้นของสีข้อมเคมีหลังผ่านหอดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าซีโอดีและค่าของแข็งทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสีข้อมเคมีด้วย

4.4 สรุปผลการวิจัย

จากผลการดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำเสียสังเคราะห์และสีย้อมผ้าในน้ำเสียจริง ด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay พบว่า ระบบหอดูดซับสามารถกำจัดสีย้อมเคมีในน้ำเสียได้ และได้ปริมาณของสีย้อมหลังผ่านหอดูดซับที่จุดเบรคทูธและเวลา ณ จุดเบรคทูธ ของน้ำเสียจากสีย้อมเคมีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมแต่ละชนิด ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมหลังผ่านหอดูดซับของน้ำเสียจากสีย้อมเคมีเทียบกับเวลาเป็นกราฟเส้นตรง แสดงให้เห็นว่า ไม่พบการอุดตันเกิดขึ้นภายในหอดูดซับ สำหรับประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมภายในหอดูดซับเทียบกับการปริมาณการดูดซับแบบกะ ในบทที่ 3 อยู่ในช่วง 15.47 – 99.77 % โดยประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมเคมีและชนิดของตัวดูดซับ เมื่อพิจารณาตัวแปรที่บ่งบอกถึงความสกปรกของน้ำเสียจากสีย้อมเคมี พบว่า แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay สามารถลดค่าซีไอดีและค่าความขุ่นของน้ำเสียจากสีย้อมผ้าได้

บทที่ 5

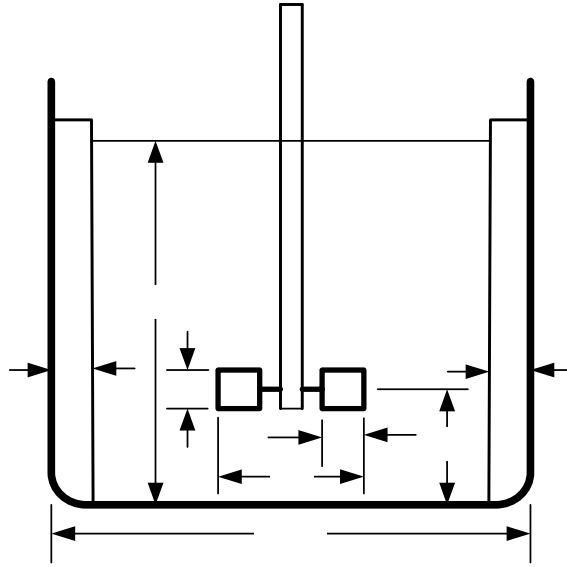
การดูดซับสีย้อมผ้าในระบบถังกวนแบบกะ

5.1 บทนำ

5.1.1 การออกแบบถังกวน

ถังกวนเป็นระบบที่จะใช้กับของเหลว รูปร่างของตัวถังจะเป็นทรงกระบอกในแนวตั้ง สัดส่วนมิติของถังกวนจะขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลวที่ต้องการนำมากวน ก้นถังจะมีลักษณะกลมมน ไม่แบนราบ เพื่อกำจัดปัญหาการไม่ผสมบริเวณมุมที่ก้นถัง เพล่าจะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ซึ่งอาจจะเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน นอกจากนี้เพล่าอาจจะถูกเชื่อมต่อไว้กับเครื่องปรับความเร็วรอบด้วย ถังกวนอาจจะติดตั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกไว้ด้วย ได้แก่ ท่อสารเข้า ท่อสารออก ขดลวดนำความร้อน ที่หล่อเย็น และเทอร์โมมิเตอร์หรือเครื่องมืออื่น ๆ ที่ใช้วัดอุณหภูมิ บัฟเฟิลจะช่วยลดการเคลื่อนที่ของของเหลวในแนวสัมผัสกับพื้นผิวในแนวรัศมีของถังกวน ใบพัดจะเป็นตัวทำให้เกิดการกวนของของเหลวภายในถังกวนซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ใบพัดที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของของเหลวในแนวแกนและใบพัดที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของของเหลวในแนวรัศมีหรือในทิศทางที่สัมผัสกับผิวของถังกวน

มาตรฐานสำหรับการออกแบบถังกวนที่ใช้ใบพัดก้นแสดงไว้ในรูปที่ 5.1 อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด (D_a) และเส้นผ่านศูนย์กลางถัง (D_t) เท่ากับ 1 : 3 กำหนดให้ความสูงของถัง (H) เท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลาง (D_t) อัตราส่วนระหว่างความกว้างของบัฟเฟิลกับเส้นผ่านศูนย์กลางถัง (D_t) เท่ากับ 1 : 12 ความสูงของใบพัดวัดจากงานหมุนถึงก้นถังกวน (J) มีค่าเท่ากับ 1 : 3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางถัง (D_t) อัตราส่วนความกว้างของใบพัด (W) กับเส้นผ่านศูนย์กลางถัง (D_t) เท่ากับ 1 : 5 และโดยทั่วไปจะกำหนดให้จำนวนของบัฟเฟิลเท่ากับ 4 อัน



รูปที่ 5.1 ค่ากำหนดทั่วไปสำหรับการออกแบบถังที่ใบพัดเป็นแบบกังหัน

หมายเหตุ จาก McCabe, W.L., Smith, J.C., and Harriott, P. (2001). **Unit Operations of Chemical Engineering**. Singapore: McGraw-Hill.

5.1.2 แบบจำลองการดูดซับทางจลนพลศาสตร์

การออกแบบอุปกรณ์การดูดซับ (Absorber) จะต้องศึกษาอัตราของการดูดซับที่เกิดขึ้นภายในระบบ โดยทั่วไปจะศึกษาเวลาในการดูดซับและสัดส่วนขนาดของถังกวน ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ในการออกแบบ การดูดซับในเชิงจลนพลศาสตร์จะแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่มีผลกระทบทางกายภาพและลักษณะทางเคมีคือ วัสดุที่ใช้เป็นตัวดูดซับซึ่งจะมีอิทธิพลต่อกลไกการดูดซับด้วย ขั้นตอนในการหากลไกของการดูดซับสามารถหาได้จากสมการของ Lagergren ซึ่งเป็นกลไกอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first order) และหาได้จากสมการของ Ho (Ho and Chiang, 2001) ซึ่งเป็นกลไกอันดับสองเทียม (Pseudo-second order) ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

ก) สมการอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first order) จลนพลศาสตร์ของการดูดซับจะถูกอธิบายโดยปฏิกิริยา Pseudo-first order สมการเชิงอนุพันธ์แสดงไว้ดังนี้

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (5.1)$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับที่สมดุล (mg/g)

q_t คือ ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับที่เวลา t (mg/g)

k_1 คือ ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับของสมการ Pseudo-first order (1/min)

เมื่อทำการอินทิเกรตสมการที่ 5.1 โดยใช้เงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) ที่ $t=0$; $q_t=0$ และ $t=t$; $q_t=q_t$ จะได้

$$\ln\left[\frac{q_e}{(q_e - q_t)}\right] = k_1 t \quad (5.2)$$

สมการที่ 5.2 สามารถจัดรูปใหม่ในรูปของสมการเส้นตรงดังนี้

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t \quad (5.3)$$

ค่าคงที่ k_1 และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2 สามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(q_e - q_t)$ และ t

ข) สมการอันดับสองเทียม (Pseudo-second order) จลนพลศาสตร์ของการดูดซับจะถูกอธิบายโดยสมการเชิงอนุพันธ์ดังแสดงต่อไปนี้

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (5.4)$$

เมื่อ k_2 คือ ค่าคงที่ที่สมดุลของสมการ Pseudo-Second Order (g/mg*min)

เมื่อทำการอินทิเกรตสมการที่ 5.4 โดยใช้เงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) ที่ $t=0$; $q_t=0$ และ $t=t$; $q_t=q_t$ จะได้

$$\frac{t}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (5.5)$$

สมการที่ 5.5 สามารถจัดรูปใหม่ในรูปของสมการเส้นตรง ดังนี้

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (5.6)$$

ค่าคงที่ k_2, q_e และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2 สามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t/q_e และ t

ในปี 2001 Ho และ Chang ได้ทำการศึกษาการดูดซับสีย้อมสีแอตติก โดยใช้แร่ดินและถ่านกัมมันต์ผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน พบว่า ปัจจัยที่มีผลการดูดซับได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม สัดส่วนของการผสมของตัวดูดซับ อุณหภูมิ และสภาพความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น ซึ่งพบว่าการดูดซับเป็นไปตามกลไกการดูดซับอันดับสองเทียม (Pseudo-second order)

5.2 วิธีดำเนินการวิจัย

5.2.1 วิธีวิจัย

ศึกษาการดูดซับสีย้อมฟ้าในน้ำ โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ และ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ ภายในระบบถังกวน โดยให้เกิดการดูดซับจนกระทั่งความเข้มข้นสีย้อมฟ้าคงที่ แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer

5.2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ในการทดลองแบบถังกวนจะทำการทดลองดูดซับสีย้อมเคมีสังเคราะห์ตราสิงโตดีกลองรวมทั้งสิ้น 6 ชนิดสี ได้แก่ สีเหลืองอ่อน สีกะปิ สีเขียวมรกต สีน้ำเงิน สีระกำทอง และสีเลือดหมู เลือกชนิดของตัวดูดซับที่ดีที่สุดจากระบบการดูดซับแบบกะ แต่ละชนิดสีใช้ปริมาณตัวดูดซับแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่า q_m ที่คำนวณได้จาก Langmuir isotherm ในบทที่ 3 ทำการดูดซับสีย้อมฟ้าในน้ำโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 2 ค่า ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 2 ค่า (1.5 เท่าของ q_m)

5.2.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองสำหรับการดูดซับสีย้อมเคมีจากน้ำเสียของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ Organo-clay ในระบบหอดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 5.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองในระบบถังกวนแบบกะ

ตัวแปร	การทดลองในระบบถังกวน
ตัวแปรอิสระ	- ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้าในน้ำ - ชนิดของตัวดูดซับ - ปริมาณของตัวดูดซับในระบบ - เวลาในการดูดซับ
ตัวแปรควบคุม	- ความเร็วรอบของใบพัดในระบบบำบัดแบบถังกวน - ระยะเวลาในการกวน
ตัวแปรตาม	- ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมผ้าจากน้ำด้วยตัวดูดซับ

5.2.4 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

5.2.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองระบบบำบัดแบบถังกวน

ก) ถังกวนที่ออกแบบและก่อสร้างขึ้นเองดังแสดงในรูปที่ 5.2 ถังกวนจะประกอบด้วย ถังทรงกระบอกซึ่งมีปริมาตร 100 ลิตร มีขาตั้ง 3 ขา มีใบพัด 4 อัน ลักษณะของใบกวนเป็นแบบกังหัน (Turbine fan) จะมีรูสำหรับปล่อยน้ำทิ้งและแร่ดิน 2 แห่ง คือ บริเวณก้นถังและบริเวณข้างถังระดับเดียวกับใบกวน ตามลำดับ มีตัวรองรับมอเตอร์พาดอยู่บนตัวถัง มอเตอร์ที่ใช้มีกำลังเท่ากับ 1 kw สัดส่วนขนาดของถังกวนจะแสดงไว้ในรูปที่ 5.3 จะใช้หลักการออกแบบตามมาตรฐานสำหรับการออกแบบถังกวนที่ใช้ใบพัดเทอร์ไบน์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.1

ข) เครื่อง UV-VIS-NIR-spectrophotometer

ค) เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 2 ตำแหน่งและ 4 ตำแหน่ง

ง) เครื่องหมุนเหวี่ยง

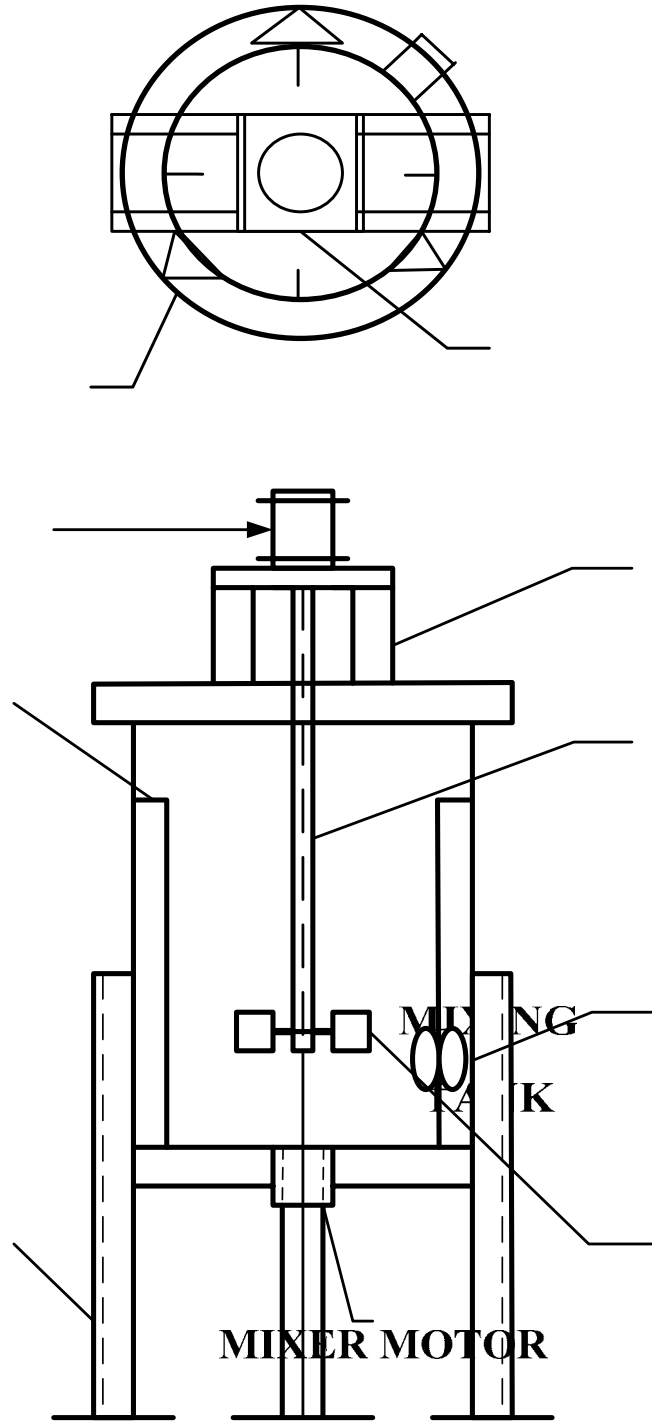
จ) เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ค่าซีไอดี ค่าของแข็งทั้งหมด ค่า pH และค่าความขุ่น ดังแสดงไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.2.4.2 ในบทที่ 4

5.2.4.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองในระบบถังกวนดูจากรายละเอียดในหัวข้อ 4.2.4.4 ในบทที่ 4

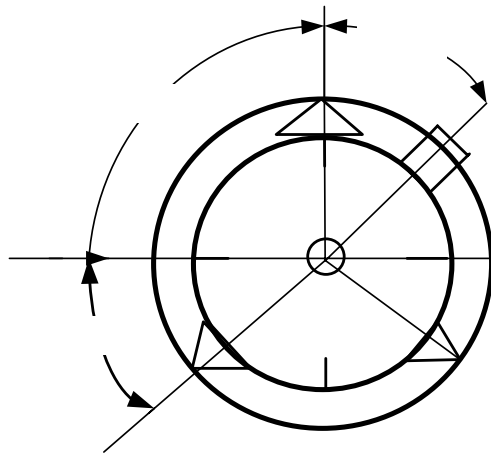
5.2.5 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ดูรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.5.1 และ 4.2.5.1 ตามลำดับ

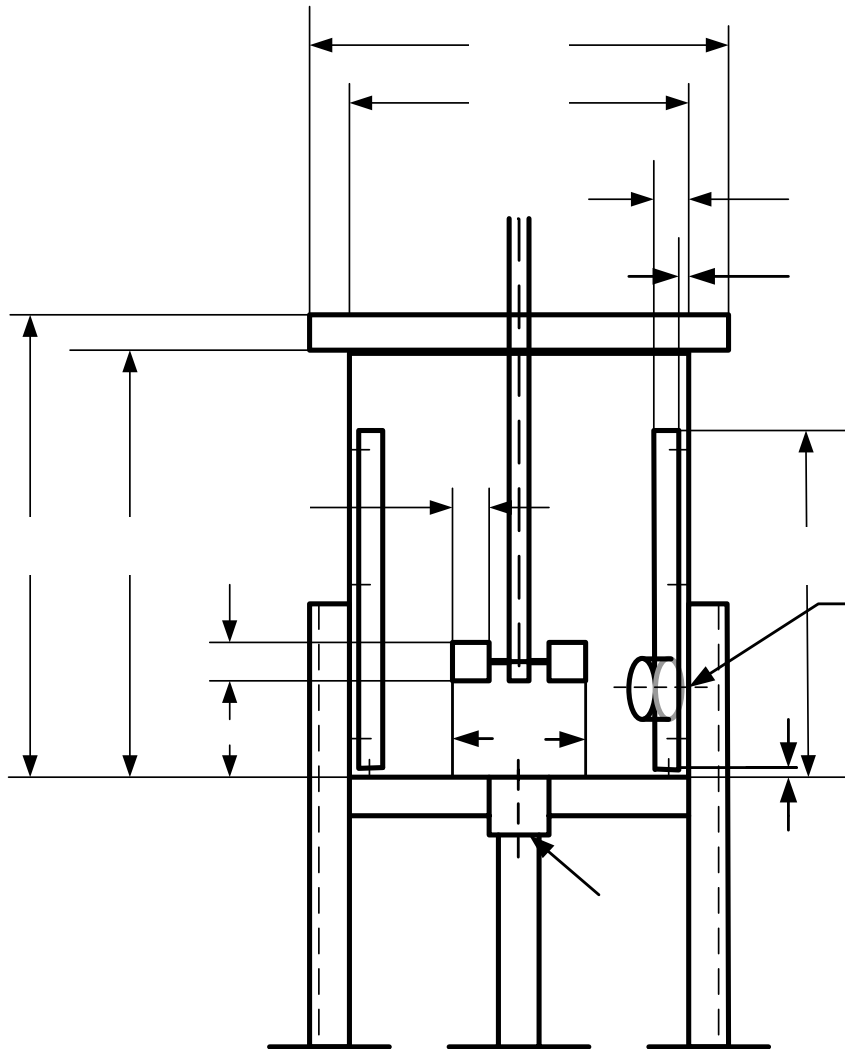


รูปที่ 5.2 ลักษณะทั่วไปของถังกวนสแตนเลสที่ออกแบบและใช้ในการทดลอง

FLOW BAFFLE



907



1207

รูปที่ 5.3 สัดส่วนขนาดของถังกวนที่ใช้ในการทดลอง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

5.3.5.1 การศึกษาผลการดูดซับสีย้อมสังเคราะห์ในกระบวนการดูดซับแบบถังกวน

เตรียมน้ำเสียดังเคราะห์จากสีย้อมผ้าที่ความเข้มข้น 250 และ 500 mg/L จำนวน 50 ลิตร ในถังกวนขนาด 100 ลิตร ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อหาความเข้มข้นเริ่มต้นที่แท้จริงแล้ววิเคราะห์โดยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer ซึ่งตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ซึ่งสีย้อมเคมีแต่ละชนิดจะใช้ปริมาณต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.2 (ความเข้มข้นเริ่มของน้ำเสียดีย้อมเคมีและปริมาณของตัวดูดซับจะพิจารณาจากความเข้มข้นของน้ำเสียดีย้อมจริงจากการเก็บตัวอย่างซึ่งจะอยู่ในช่วง 250 - 500 mg/L และปริมาณของตัวดูดซับจะพิจารณาจากค่า q_m ในบทที่ 3 ซึ่งในการทดลองจะใช้จำนวนตัวดูดซับเท่ากับ 1.5 เท่าของค่า q_m (ตามลำดับ) ผสมตัวดูดซับกับน้ำเสียดีย้อมในถังกวนแล้วกวนสารแขวนลอยด้วยใบพัดแบบก้นที่ความเร็วรอบ 240 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 10 นาทีใน 2 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 30 นาที นำตัวอย่างที่เก็บได้ไปทำการแยกตัวดูดซับออกโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมงทันที หลังจากนั้นนำตัวอย่างส่วนที่ใสไปวัดค่าแอมซอร์เบนซ์และเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นด้วยกราฟมาตรฐาน เพื่อศึกษาปริมาณการดูดซับ นำตัวอย่างที่เหลือไปวัดค่า pH ค่าความขุ่นและหาค่าซีโอดีต่อไป

5.3 ผลการทดลองและการอภิปรายผล

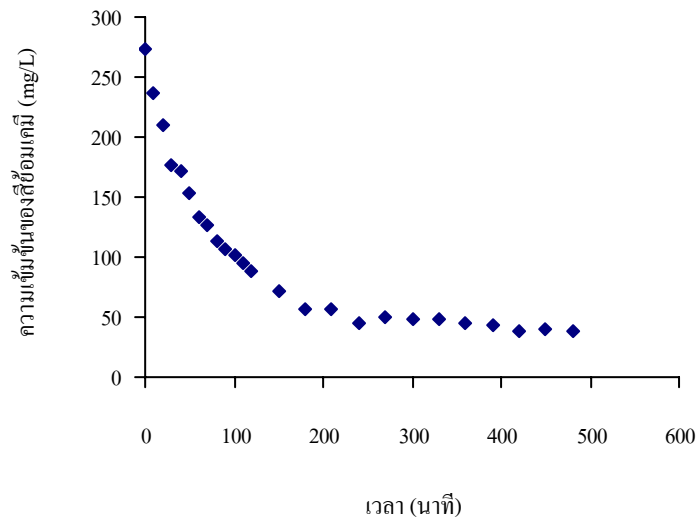
5.3.1 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมผ้าตราสิงโตติดลงด้วย 200% CEC TDMA-clay ในระบบถังกวน

5.3.1.1 ผลการดูดซับสีย้อมเคมีที่เวลาต่าง ๆ ในถังกวน

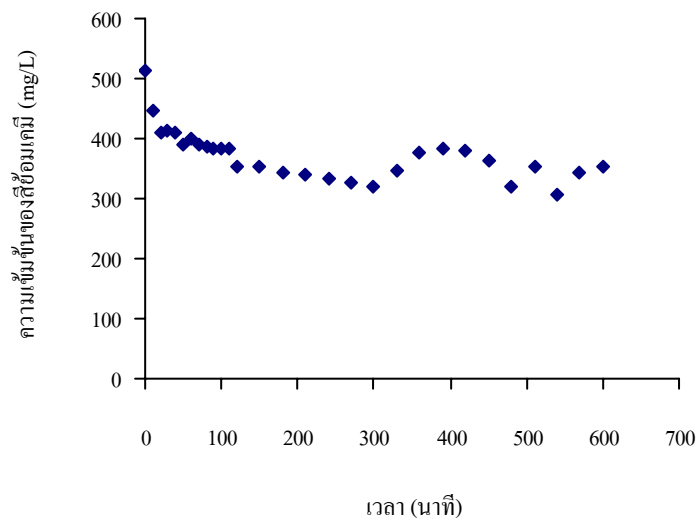
การศึกษาระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับสีย้อมเคมีจะพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลา ดังแสดงในภาคผนวก ง ตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์แสดงไว้ในรูปที่ 5.4 เป็นผลการดูดซับสีน้ำเงินภายในถังกวน โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ ซึ่งความเข้มข้นเริ่มต้นของสีน้ำเงินมีค่าเท่ากับ 272.51 mg/L และใช้ปริมาณของ 200%CEC TDMA-clay เท่ากับ 20.63 กรัม พบว่า แนวโน้มของความเข้มข้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก หลังจากนั้นความเข้มข้นจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงจนกระทั่งเข้าสู่ความเข้มข้นสุดท้ายซึ่งมีค่าเท่ากับ 38.44 mg/L และเข้าสู่สมดุลที่เวลาเท่ากับ 240 นาที

ส่วนในรูปที่ 5.5 เป็นผลการดูดซับน้ำเสียดีย้อมสีน้ำเงินที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีน้ำเงินและปริมาณของ 200%CEC TDMA-clay เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าได้แก่ 512.60 mg/L และ 41.25 กรัม ตามลำดับ พบว่ารูปแบบของความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ๆ หลังจากนั้นการลดลงของความเข้มข้นจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง เมื่อทำการเปรียบเทียบการลดลงของ

ความเข้มข้นของสีย้อมจากรูปที่ 5.6 และ 5.7 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมในระบบเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการดูดซับของ 200%CEC TDMA-clay มีค่าลดลง



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง) เทียบกับเวลา ที่ $c_0 = 272.51$ mg/L ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 20.63 กรัม ในระบบถึงกวน



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง) เทียบกับเวลา ที่ $c_0 = 512.60$ mg/L ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 20.63 กรัม ในระบบถึงกวน

5.3.1.2 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อมผ้าตราสิงโตติดกลอง

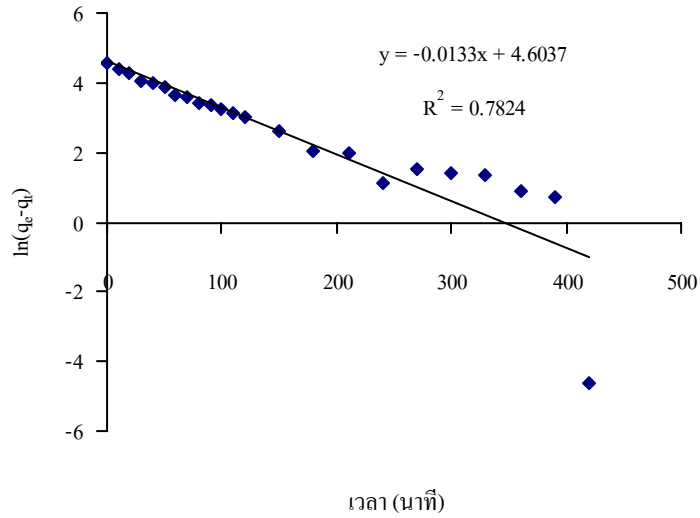
จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อมเคมีโดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ โดยใช้สมการของ Lagergren ซึ่งเป็นกลไกของการดูดซับอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first order) และหาได้จากสมการของ Ho (Ho and McKay, 2000) ซึ่งเป็นกลไกของการดูดซับอันดับสองเทียม (Pseudo-second order) พบว่า การดูดซับสีย้อมเคมีมีลักษณะการดูดซับเป็นแบบ Pseudo-second order โดยพิจารณาในรูปที่ 5.6 พบว่าค่า R^2 ของสมการ Pseudo-second order มีค่าใกล้เคียงกับ 1 มากกว่า

ตารางที่ 5.2 ค่าคงที่ของสมการอันดับสองเทียมของการดูดซับสีย้อมตราสิงโตติดกลองด้วย 200% CEC TDMA-clay

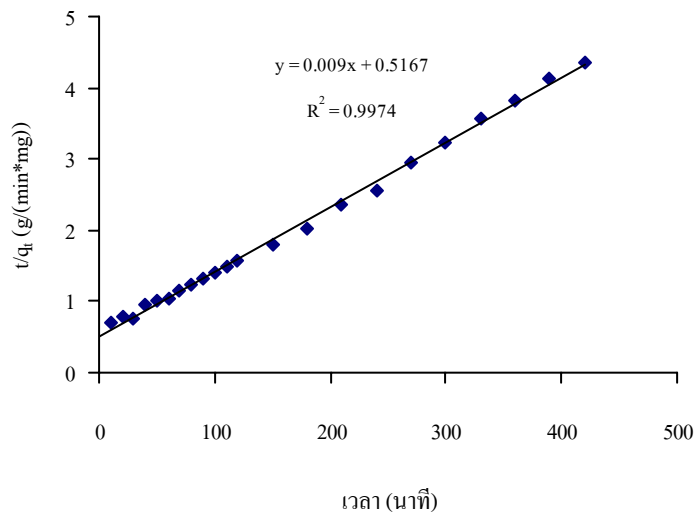
ชนิดสีย้อม	c_0 (mg/L)	ปริมาณของตัวดูดซับ 200%CEC- TDMA-clay (g)	R^2	k_2 g/(mg*min)
สีเขียวมรกต	250.71	39.38	1.0000	1.07×10^{-2}
	508.88	78.75	0.9980	3.55×10^{-4}
สีน้ำเงิน	272.51	20.63	0.9979	2.98×10^{-5}
	512.60	41.25	0.9481	1.92×10^{-4}
สีระกำทอง	248.13	18.75	0.9998	7.24×10^{-5}
	517.47	37.50	0.9941	4.15×10^{-5}
สีเลือดหมู	251.06	9.38	0.9834	8.95×10^{-6}
	512.25	18.75	0.9989	6.40×10^{-5}
สีเหลืองอ่อน	279.28	20.65	0.9957	2.32×10^{-4}
	504.07	41.25	0.8922	7.11×10^{-5}
สีกะปิ	249.75	13.125	0.9998	7.56×10^{-4}
	506.60	26.25	0.9999	4.76×10^{-4}

จากตารางที่ 5.2 แสดงข้อมูลของพารามิเตอร์ที่ได้จากสมการอันดับสองเทียม (Pseudo-second order) พบว่า แนวโน้มของค่า k_2 มีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าระบบมีการเพิ่มความเข้มข้นและปริมาณของตัวดูดซับเป็นสองเท่าก็ตาม อัตราการเกิดปฏิกิริยาของการดูดซับสีย้อม

เคมีของ 200%CEC TDMA-clay จะใกล้เคียงกันเมื่อเป็นสีย้อมชนิดเดียวกัน ถึงแม้ว่า ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้นภายในระบบเพิ่มมากขึ้น แต่ค่า k_2 จะมีค่าต่างกันเมื่อสีย้อมต่างชนิดกัน



ก)



ข)

รูปที่ 5.6 จลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสียสีน้ำเงิน (สีย้อมตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 272.51 \text{ mg/L}$
 ก) กลไกการดูดซับอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first order)
 ข) กลไกการดูดซับอันดับสองเทียม (Pseudo-second order)

5.3.2 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเคมีในระบบถังกวน

ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเคมีในระบบถังกวน สามารถหาได้โดยการหาปริมาณการดูดซับสีย้อมต่อหนึ่งหน่วยตัวดูดซับของการดูดซับในถังกวนเทียบกับระบบการดูดซับในบทที่ 3 โดยปริมาณการดูดซับสีย้อมต่อหนึ่งหน่วยตัวดูดซับของระบบการดูดซับถังกวนสามารถหาได้จากค่า q_e ในสมการที่ 5.8 ซึ่งเป็นปริมาณของสีย้อมเคมีที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล เมื่อเปรียบเทียบค่า เทียบกับปริมาณการดูดซับ q_m ที่คำนวณในบทที่ 3 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 พบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพการดูดซับในถังกวนเทียบกับปริมาณการดูดซับแบบกะจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้น และสีย้อมแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพของการดูดซับสีย้อมผ้าในระบบถังกวนแบบกะ

ชนิดสีย้อม	c_0 (mg/L)	ปริมาณสีย้อมเคมีสูงสุดบนตัวดูดซับ (mg/g)		ประสิทธิภาพ ของถังกวน (%)
		ระบบถังกวน (q_e)	ระบบกะ (q_m)	
สีเขียวมรกต	250.71	312.5	476.19	65.63
	508.88	181.82	476.19	38.18
สีน้ำเงิน	272.51	625	833.33	75.00
	512.60	208.33	833.33	25.06
สีระกำทอง	248.13	588.24	1000	58.82
	517.47	666.67	1000	66.67
สีเลือดหมู	251.06	1250	2000	62.50
	512.25	769.23	2000	38.46
สีเหลืองอ่อน	279.28	227.27	909.09	24.45
	504.07	166.67	909.09	18.33
สีแดงน้ำตาล	251.43	909.09	1000	99.91
	501.60	666.67	1000	66.67
สีกะปิ	249.75	1000	1428.57	70.00
	506.60	1000	1428.57	70.00

5.3.3 ผลการลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียด้วย 200%CEC TDMA-clay ในถังกวน

เมื่อพิจารณาตารางที่ 5.4 เป็นผลการลดค่าตัวแปรที่บ่งบอกถึงความสกปรกของน้ำพบว่า ค่าซีโอดีลดลงจากค่าซีโอดีเริ่มต้น (ค่าซีโอดีเริ่มต้นแสดงไว้ในตารางที่ 4.12 ในบทที่ 4) เช่น สีน้ำเงินจะมีค่าซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 314 mg/L เป็นต้น แนวโน้มของค่า pH จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกแล้วจะค่อย ๆ ลดลง ค่าความขุ่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความขุ่นเริ่มต้น เนื่องจากผงของ 200%CEC TDMA-clay ที่ละลายในน้ำจะเพิ่มความขุ่นให้แก่ระบบ ลีข้อมเคมีที่เหลือมีแนวโน้มในการลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียได้ด้วย 200%CEC TDMA-clay ในระบบถังกวนเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5.4 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน (ลีข้อมผ้าตราสิงโตติกลง) ที่ $c_0 = 272.51$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 20.63 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
10	237.31	7.59	6.38	159.96
20	210.61	7.84	7.73	113.98
30	176.15	7.89	9.31	110.98
40	171.31	7.96	10.40	107.98
50	152.53	8.01	11.90	123.96
60	133.08	8.03	17.80	130.95
70	126.61	8.12	21.5	99.98
80	114.11	8.12	43.3	103.98
90	106.76	8.15	40.6	94.98
100	101.47	8.11	21.5	156.91
110	94.72	8.13	42.3	105.96
150	71.29	8.19	38.6	71.98
180	57.00	8.17	50.0	88.96
210	56.08	8.19	31.9	88.90
240	45.72	8.20	38.1	61.98
270	49.71	8.23	43.9	43.96
300	48.12	8.23	23.7	31.97
330	47.93	8.25	31.9	31.97

ตารางที่ 5.4 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน (สีข้อมฟ้าตราสิงโตติกลง) ที่ $c_0 = 272.51$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 20.63 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำในระบบถึงกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
390	43.23	8.24	24.5	-
420	38.36	8.26	27.4	-
450	39.95	8.21	22.2	-
480	38.44	8.16	24.5	-

5.4 สรุปผลการวิจัย

ในการทดลองการดูดซับสีข้อมฟ้าตราสิงโตติกลงได้แก่ สีเขียวมรกต สีน้ำเงิน สีระกำทอง และสีเลือดหมูด้วยตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบถึงกวน พบว่า การดูดซับในถึงกวนสามารถลดความเข้มข้นของสีข้อมฟ้าตราสิงโตติกลงได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเวลาในการดูดซับ เมื่อเพิ่มขนาดของความเข้มข้นและปริมาณของตัวดูดซับเป็น 2 เท่า พบว่า ความสามารถของ 200%CEC TDMA-clay จะลดลง จลนพลศาสตร์การดูดซับจะเป็นไปตามสมการอันดับสองเทียม (Pseudo-Second Order) และมีค่า k_2 อยู่ในช่วง $8.95 \times 10^{-6} - 1.13 \times 10^{-2}$ g/(mg min) ประสิทธิภาพในการดูดซับสีข้อมฟ้าตราสิงโตติกลงด้วย 200%CEC TDMA-clay เทียบกับการดูดซับแบบกะโนบที่ 3 จะอยู่ในช่วง 18.33 - 99.91 % นอกจากนี้ระบบถึงกวนสามารถลดค่าซีโอดีได้

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 จากการดูดซับแบบกะในห้องปฏิบัติการ พบว่า สีย้อมผ้าตราสีงโตติกลองและสีย้อมผ้าตราใบหม่อนเป็นสารอินทรีย์ จึงทำให้ 200%CEC TDMA-clay ที่มีคุณสมบัติชอบสารอินทรีย์สามารถดูดซับสีย้อมเคมีได้ดีกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ยกเว้นสีม่วงและน้ำเสียสีเขียวขุ่น ซึ่ง 200%CEC TDMA-clay ดูดซับได้น้อยกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ไอโซเทิร์มการดูดซับของสีย้อมเคมีเป็นไปตามไอโซเทิร์มการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich ยกเว้นสีม่วง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) และสีเลือดหมู (สีย้อมผ้าตราสีงโตติกลอง) จะมีไอโซเทิร์มการดูดซับเป็นเส้นตรง สีย้อมเคมีในน้ำเสียสังเคราะห์และสีย้อมเคมีน้ำเสียจริงมีโลหะหนักปะปนอยู่ได้แก่ Ag Cd Cu Cr Zn Fe และ Ni ซึ่งตัวดูดซับทั้งสองชนิดสามารถดูดซับโลหะหนักที่อยู่ภายในสีย้อมได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ โดย 200%CEC TDMA-clay สามารถดูดซับโลหะหนักที่เป็นไอออนของ Cr Cu Mn และ Ni ได้ดีกว่าแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ แต่ดูดซับ Zn และ Ag ได้น้อยกว่า ปริมาณของ Fe Na และ Ca ที่เพิ่มขึ้นในน้ำหลังการดูดซับจะเป็นตัวสนับสนุนว่ามีการแลกเปลี่ยนระหว่างประจุบวกเกิดขึ้นในขั้นตอนการดูดซับ

6.1.2 จากการดูดซับในหอดูดซับ ซึ่งให้เห็ว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการดูดซับสีย้อมเคมีในระบบหอดูดซับที่เบคเป็นส่วนผสมระหว่างแร่ดินกับทราย แนวโน้มของกราฟเบรคทูร์เป็นรูปตัวอักษรเอสและไม่พบการอุดตันเกิดขึ้นภายในหอดูดซับ ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเคมีภายในหอดูดซับเทียบกับการทดลองแบบกะในห้องปฏิบัติการ พบว่า ประสิทธิภาพของหอดูดซับอยู่ในช่วง 15 – 99 % ขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมเคมีและชนิดของตัวดูดซับ เมื่อพิจารณาตัวแปรที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำสีย้อมผ้า พบว่า แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC TDMA-clay สามารถลดค่าซีไอดีและค่าความขุ่นของน้ำเสียจากสีย้อมผ้าได้ โดยมีแนวโน้มลดลงตามการลดลงของความเข้มข้นของสีย้อม

6.1.3 จากการดูดซับในระบบถังกวน พบว่า สีย้อมเคมีตราสีงโตติกลองที่ใช้ในการทดลองได้แก่ สีเขียวมรกต สีน้ำเงิน สีเหลืองอ่อน สีกะปิ สีระกำทองและสีเลือดหมู สามารถถูกดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ในถังกวน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมเคมีในถังกวนและปริมาณตัว

ดูดซับในถังกวนเป็น 2 เท่า พบว่า ความสามารถในการลดสีข้อมเคมีในน้ำเสียลดลง จลนพลศาสตร์การดูดซับเป็นไปตามสมการอันดับสองเทียมและมีค่าคงที่ของสมการ (k_2) อยู่ในช่วง $8.95 \times 10^{-6} - 1.13 \times 10^{-2} \text{ g/(mg min)}$ ประสิทธิภาพของการดูดซับในถังกวนเทียบการดูดซับแบบกะจะอยู่ในช่วง 18.33 - 99.91 % นอกจากนี้ในระบบถังกวนแบบกะ ตัวดูดซับสามารถลดปริมาณค่าซีไอดีของน้ำสีข้อมเคมีได้

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป

6.2.1 ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีข้อมเคมีของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ ภายในระบบการดูดซับแบบกะ ระบบหอดูดซับ และระบบถังกวน เช่น ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ ผลของความเข้มข้นเริ่มต้น ผลของความเป็นกรด-ด่าง และชนิดของการผสม เป็นต้น

6.2.2 พัฒนาระบบถังกวนให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีข้อมเคมี เช่น การเปลี่ยนแปลงระบบปล่อยน้ำทิ้งหลังการกำจัดสีข้อมเคมีแล้ว ให้มีก้นถังเป็นแบบถังตกตะกอน เป็นต้น

6.2.3 ศึกษาการดูดซับในระบบการดูดซับแบบอื่น ๆ เช่น Fluidize Bed และระบบการกรองด้วยเยื่อเลือกผ่าน เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- คณะกรรมการอำนวยการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์แห่งชาติ. (2544). ข้อมูลหนึ่งโครงการหนึ่งผลิตภัณฑ์ [ออนไลน์]. ได้จาก [http://www.thaitambon.com/OTOP/Info/Info1 .htm](http://www.thaitambon.com/OTOP/Info/Info1.htm)
- จุมพล คีนตัก ชงชัย พึ่งรัศมี และพิภพ วสุวานิช. (2521). ดิน (Clays). เอกสารเศรษฐธรณีวิทยาเล่มที่ 19 กรุงเทพมหานคร: กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.
- ธุรกิจส่งออกสินค้าแพง สานฝัน “ฟู้ดโอเคเมืองไทย” .(8 ธันวาคม 2546). กรุงเทพมหานคร: 14.
- ประเสริฐ แก้วแกมเกษ. (2543). การบำบัดน้ำเสียจากการข้อมเสี้ยนใหม่โดยใช้ระบบถังเกรอะและถังคาร์บอนดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปิยะมากรณ์ จารุงศ์. (2545). การดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ปิยะมากรณ์ จารุงศ์ และ รัตนวรรณ เกียรติโกมล. (2004). การดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์และ organo-clays. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี 11: 39-51.
- มันสิน ตันทุลเวศม์. (2538). เคมิวิทยาของน้ำและน้ำเสีย กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., sarzanini, C., and Montasti, E. (2003). Adsorption of heavy metals on Na-Montmorillonite. Effect of pH and organic substances. **Water Research** 37 : 1619-1627.
- Aksu Zumriye. (2005). Adsorption of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. **Process Biochemistry** 40: 997-1026.
- Borisover, M., Graber E.R., Bercovich, F., and Gerstl, Z. (2001). Suitability of dye-clay complexes for removal of non-ionic organic compounds from aqueous solutions. **Chemosphere** 44: 1033-1040.
- Chen, J.P., and Wang, L.(2004). Characterization of metal adsorption kinetic properties in batch and fixed-bed reactors. **Chemosphere** 54: 397-404.

- Crittenden, B., and Thomas, W. J. (1998). **Adsorption Technology & Design**. Great Britain: The Spartan Press.
- Czimerova, A., Bujdak, J., and Gaplovsky A. (2004). The aggregation of thionine and methylene blue dye in smectite dispersion. **Colloids and Surfaces** 243: 89-96.
- Farran, A., and Chentouf, A. (2000). Study of the behaviour of azinphos-methyl in a clay mineral by batch and column leaching. **Journal of Chromatography** A869: 481-485.
- Ho, Y.S., and Chiang, C.C. (2001). Sorption studies of acid dye by mixed sorbents. **Adsorption** 7: 139-147.
- Ho, Y.S., and McKay, C.C. (2000). The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. **Water Research**. 34: 735-742.
- Ito, K., Kuwabara, M., Fukunishi, and Fujiwara, Y. (1997). Effect of the exchangeable cations on the spectral properties of methylene blue in clay dispersions. **Journal of colloid and interface science** 274: 126-132.
- Juang, R., Lin, S., and Tsao, K. (2004). Sorption of phenols from water in column systems using surfactant-modified montmorillonite. **Journal of Colloid and Interface Science** 269: 46-52.
- Kozak, M., and Domka, L. (2004). Adsorption of the quaternary ammonium salts on Montmorillonite. **Journal of Physics and Chemistry of Solids** 65: 441-445.
- Lin, S., and Juang, R. (2002). Heavy metal removal from water by sorption using surfactant-modified montmorillonite. **Journal of hazardous materials** B92: 315-326.
- Lin, S., Juang, R., and Wang, Y. (2004). Adsorption of acid dye from water onto pristine and acid-activated clays in fixed beds. **Journal of Hazardous Materials** B 113: 195-200.
- Ma, Y., Xu, Z., Guo, T., and You, P. (2004). Adsorption of methylene blue on Cu(II)-exchange montmorillonite. **Journal of colloid and interface science** 280: 283-288.
- McCabe, W.L., Smith, J.C., and Harriott, P. (2001). **Unit Operations of Chemical Engineering**. Singapore: McGraw-Hill.
- McKay, G. (1996). **Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewaters**. New York: CRC Press.

- Neumann, M. G., Gessner F., Schmitt, C.C., and Satrori, R. (2002). Influence of the layer charge and clay particle size on the interactions between cationic dye methylene blue and clays in and aqueous suspension. **Journal of colloid and interface** 225: 254-259.
- Ohtsuka, K. (1997). Preparation and Properties of Two- Dimensional Microporous Pillared Interlayerd Solids. **Chem. Mater.** 9: 2039-2050.
- Reynolds, T.D. and Richards, P.A. (1996). **Unit Operations and Process in Environmental Engineering**. New York: PWS Publishing Company.
- Rozada, F., Calvo, L.F., Garcia, A.I., Martin-Villacorta, J., and Otero, M. (2003). Dye adsorption by sewage sludge-based activated carbons in batch and fixed-bed systems. **Bioresource Technology** 87: 221-230.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L., and Parkin, G.F. (2003). **Chemistry for environmental engineering and science**. New York: McGraw-Hill.
- Seader, J.D., and Henley, J.E. (1998). **Separation process principles**. New York: John Wiley & Sons.
- Tchobanoglous, G., Burton F.L., and Stense H.D. (2003). **Wastewater Engineering Treatment and Reuse** (4th ed.). Singapore: Metcalf & Eddy.
- Walker, G.M., and Weatherley, L.R. (1998). Fixed bed adsorption of acid dyes onto activated carbon. *Environmental Pollution* 99: 133-136.
- Wibulswas, R. (2004). Batch and Fixed Bed Sorption of methylene blue on precursor & QACs modified Montmorillnite. **Separation and Purification Technology** 39: 3-12.
- Wu, P.X., Liao, Z.W., Zhang, H.F., and Guo, J.G. (2001). Adsorption of phenol on Inorganic-organic pillared montmorillnite in polluted water. **Environment International** 26: 401-407.

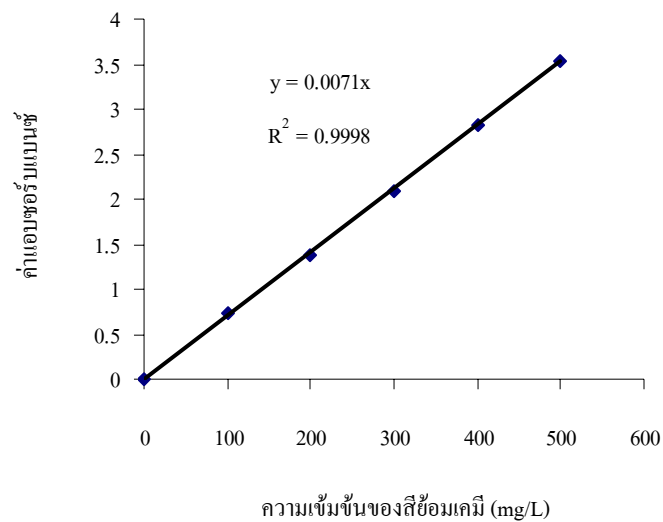
ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานของน้ำเสีย

ก1. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเหลืองอ่อน (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ก1 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนและค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 387 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อน (mg/L)	ค่าแอบซอร์บแนนซ์
100	0.7266
200	1.3878
300	2.0952
400	2.8194
500	3.5430

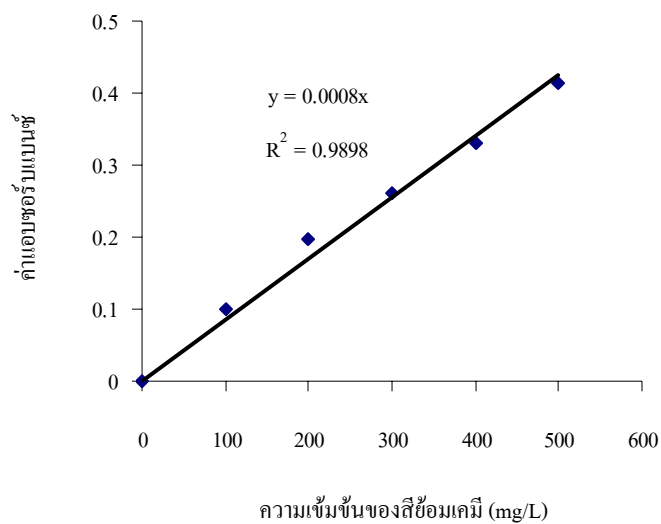


รูปที่ ก1 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนกับค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 387 \text{ nm}$

ก2. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีกะปิ (สีย้อมผ้าตราสิงโตศึกลอง)

ตารางที่ ก2 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิและค่าแอมชอร์บแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 502 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิ (mg/L)	ค่าแอมชอร์บแบนซ์
100	0.0994
200	0.1965
300	0.2625
400	0.3300
500	0.4145

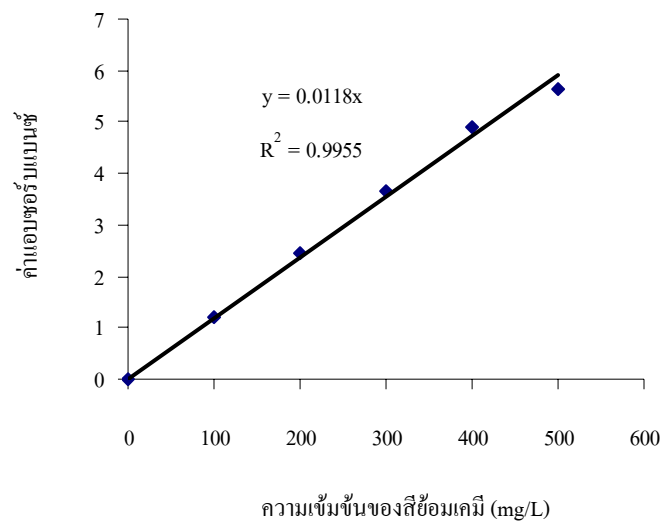


รูปที่ ก2 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีกะปิกับค่าแอมชอร์บแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 502 \text{ nm}$

ก3. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีมีคมะขามแก่ (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดลอง)

ตารางที่ ก3 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีมีคมะขามแก่และค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 518 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีมีคมะขามแก่ (mg/L)	ค่าแอบซอร์บแนนซ์
100	1.2199
200	2.4332
300	3.6509
400	4.8862
500	5.6562

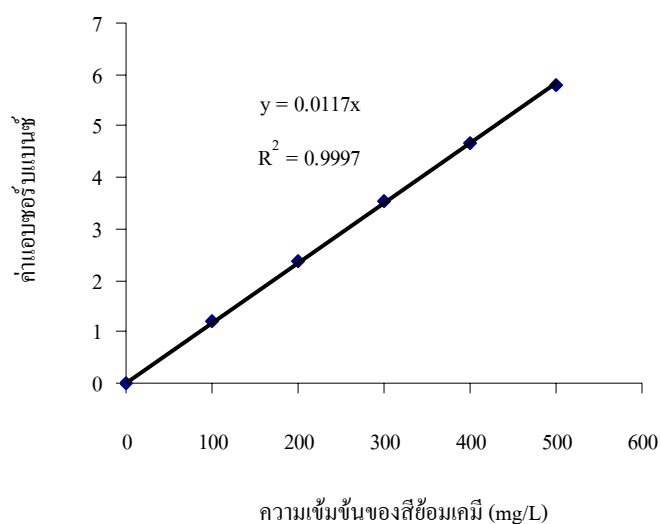


รูปที่ ก3 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีมีคมะขามแก่กับค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 518 \text{ nm}$

ก4. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแดงเลือดหมู (สีข้อมฟ้าตราสิงโตติกลง)

ตารางที่ ก4 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงเลือดหมูและค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 516 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงเลือดหมู (mg/L)	ค่าแอบซอร์บแนนซ์
100	1.2166
200	2.3551
300	3.5508
400	4.6739
500	5.7915

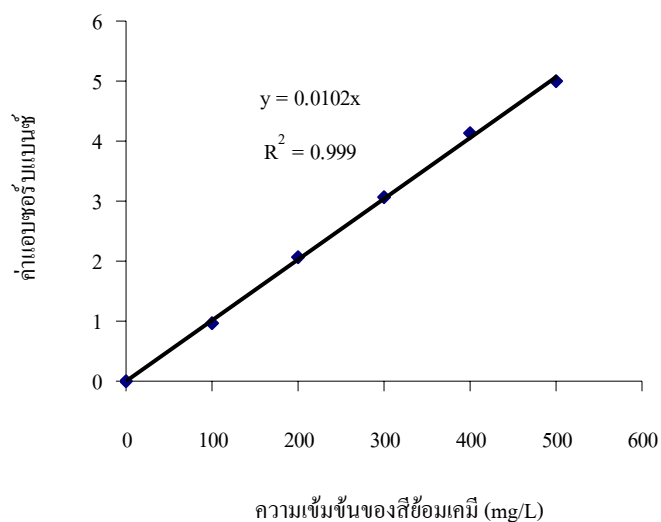


รูปที่ ก4 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแดงกับค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 516 \text{ nm}$

ก5. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเลือดหมู (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ก5 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมูและค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 515 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมู (mg/L)	ค่าแอบซอร์บแนนซ์
100	0.9636
200	2.0702
300	3.0822
400	4.1404
500	4.9951

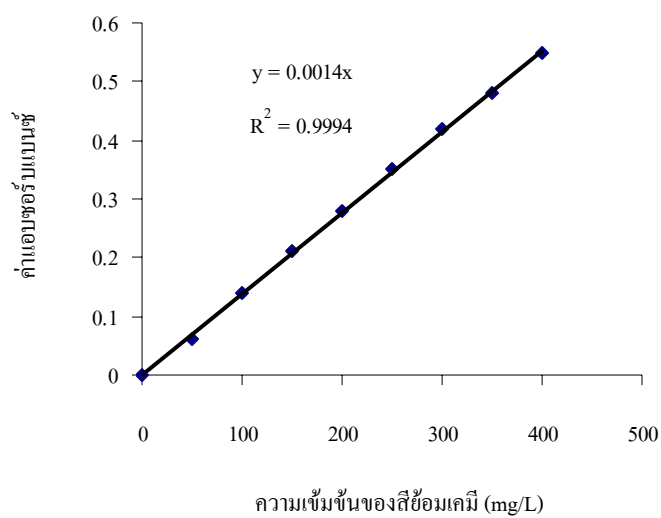


รูปที่ ก5 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเลือดหมูกับค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 515 \text{ nm}$

ก6. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีตะกั่ว (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ก6 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีตะกั่วและค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 526 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีตะกั่ว (mg/L)	ค่าแอบซอร์บแนนซ์
50	0.0600
100	0.1400
150	0.2100
200	0.2800
250	0.3500
300	0.4200
350	0.4800
400	0.5500

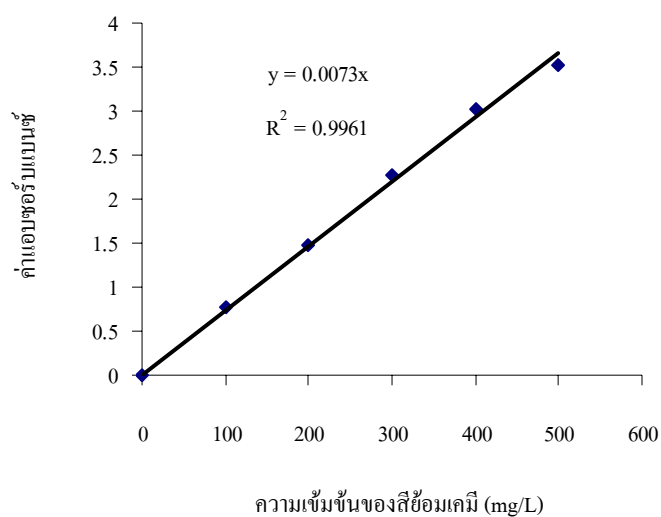


รูปที่ ก6 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีตะกั่วกับค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 526 \text{ nm}$

ก7. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีระกำทอง (สีข้อมฟ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ก7 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทองและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 397 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทอง (mg/L)	ค่าแอมซอร์บแนนซ์
100	0.7813
200	1.4670
300	2.2740
400	3.0282
500	3.5303

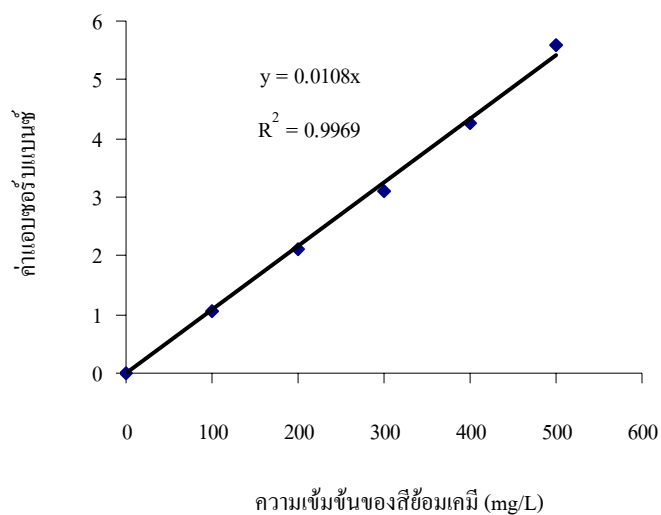


รูปที่ ก7 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีระกำทองกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 397 \text{ nm}$

ก8. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียวมรกต (สีเขียวฟอสฟอรัส) (สีเขียวฟอสฟอรัส)

ตารางที่ ก8 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตและค่าแอมพลิจูดที่ $\lambda_{\max} = 393 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกต (mg/L)	ค่าแอมพลิจูด
100	1.0404
200	2.1018
300	3.1152
400	4.2504
500	5.6016

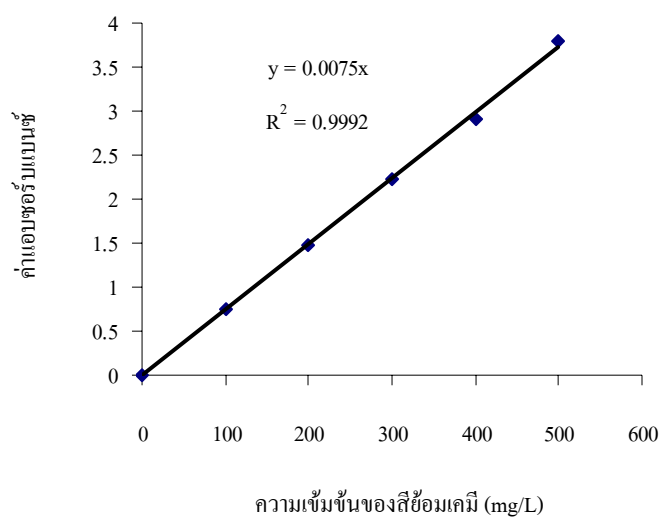


รูปที่ ก8 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียวมรกตกับค่าแอมพลิจูดที่ $\lambda_{\max} = 393 \text{ nm}$

ก9. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีน้ำเงิน (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ก9 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงินและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 554 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน (mg/L)	ค่าแอมซอร์บแนนซ์
100	0.7535
200	1.4680
300	2.2341
400	2.9183
500	3.7862

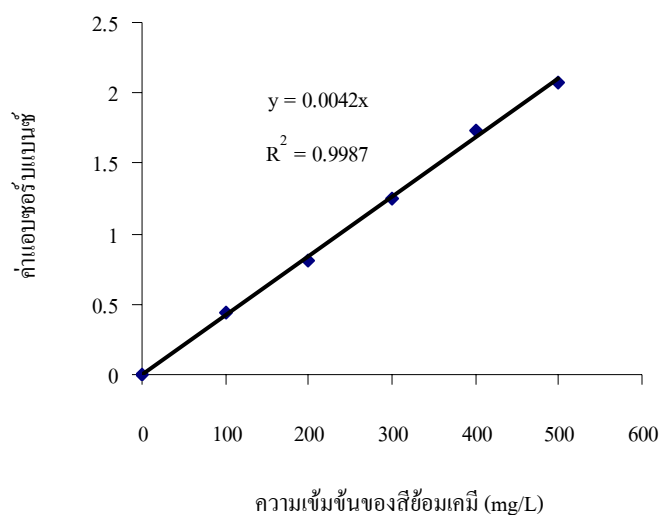


รูปที่ ก9 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีน้ำเงินกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 554 \text{ nm}$

ก10. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแดงน้ำตาล (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ก10 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีมีคมะขามแก่และค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 458 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงน้ำตาล (mg/L)	ค่าแอบซอร์บแนนซ์
100	0.4395
200	0.8098
300	1.2498
400	1.7262
500	2.0800

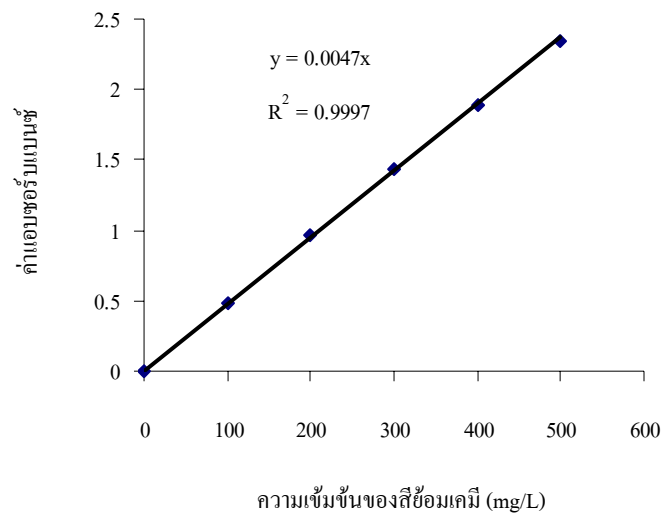


รูปที่ ก10 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแดงน้ำตาลกับค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 458 \text{ nm}$

ก11. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีข้อมฟ้าสีน้ำตาลทอง (สีข้อมฟ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ก11 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีมีคมะขามแก่และค่าแอมชอร์บแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 460 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำตาลทอง (mg/L)	ค่าแอมชอร์บแบนซ์
100	0.4781
200	0.9606
300	1.4416
400	1.8921
500	2.3469

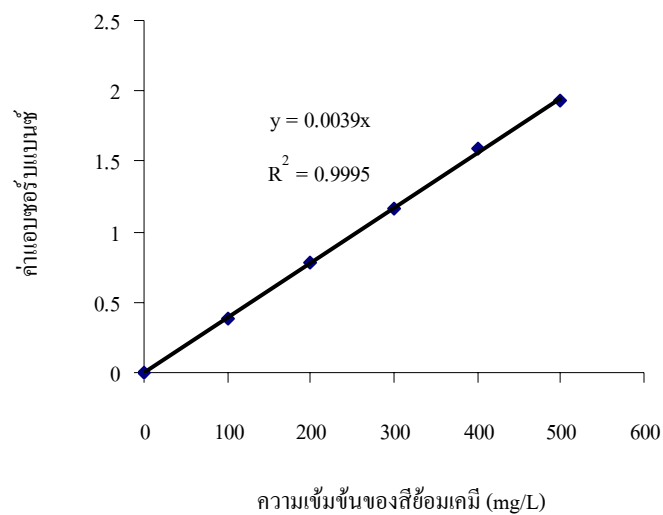


รูปที่ ก11 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีน้ำตาลทองกับค่าแอมชอร์บแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 460 \text{ nm}$

ก12. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิ (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ก12 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 392 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิ (mg/L)	ค่าแอมซอร์บแนนซ์
100	0.3849
200	0.7867
300	1.1717
400	1.5850
500	1.9260

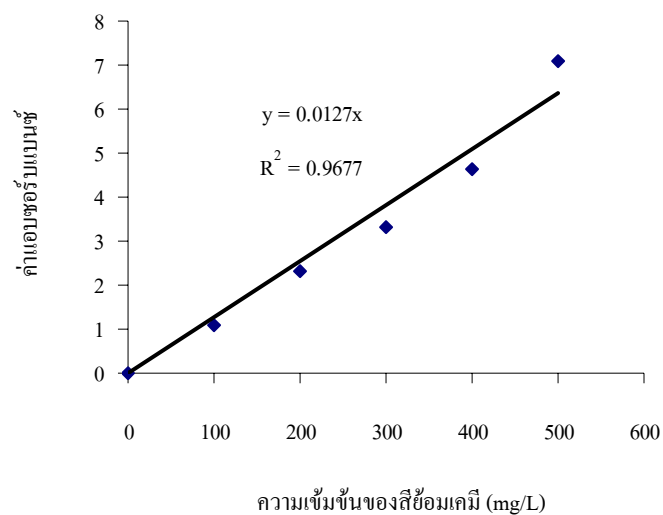


รูปที่ ก12 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 392 \text{ nm}$

ก13. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีโพลเน่า (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ก13 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีโพลเน่าและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 396 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีโพลเน่า (mg/L)	ค่าแอมซอร์บแนนซ์
100	1.0812
200	2.3160
300	3.3312
400	4.6560
500	7.1010

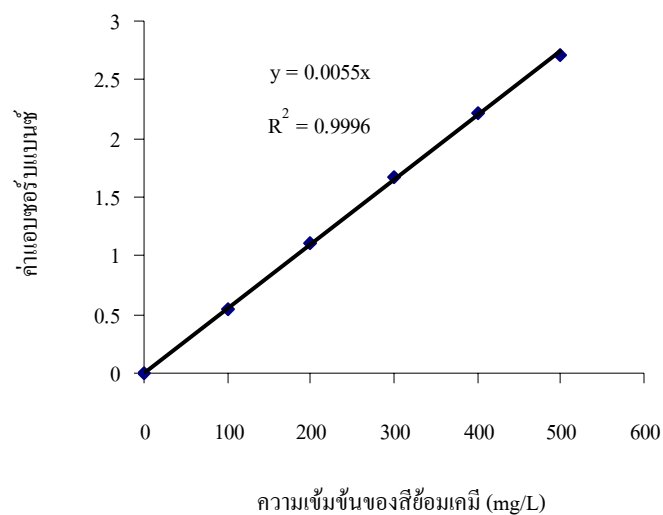


รูปที่ ก13 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีโพลเน่ากับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 396 \text{ nm}$

ก14. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียวตองอ่อน (สีย้อมฟ้ำตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ก14 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวตองอ่อนและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 393 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวตองอ่อน (mg/L)	ค่าแอมซอร์บแนนซ์
100	0.5483
200	1.1089
300	1.6704
400	2.2158
500	2.7160

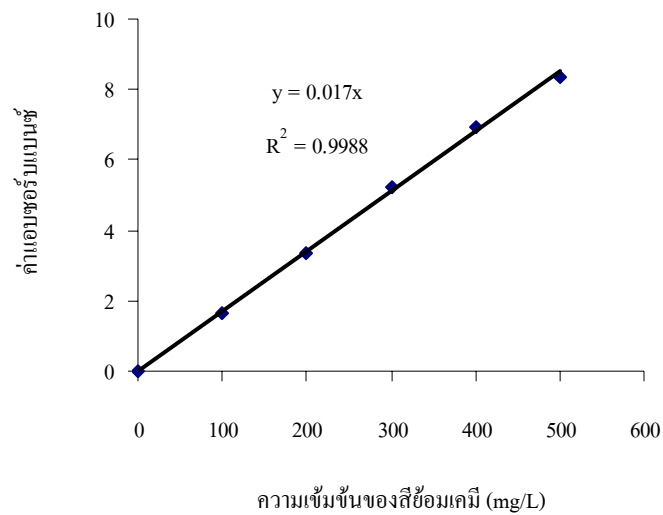


รูปที่ ก14 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียวตองอ่อนกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 393 \text{ nm}$

ก15.กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีดำ (สีข้อมฟ้าตราสิงโตติดกลอง)

ตารางที่ 15ก ความเข้มข้นของน้ำเสียสีดำและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 567 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีดำ (mg/L)	ค่าแอมซอร์บแนนซ์
100	1.6653
200	3.3789
300	5.2395
400	6.9363
500	8.3601

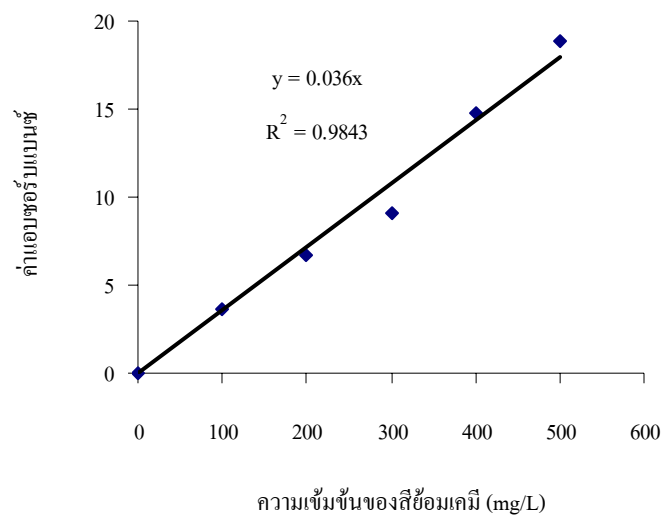


รูปที่ 15ก กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีดำกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 567 \text{ nm}$

ก16. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีกรมท่า (สีข้อมฟ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ก16 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกรมท่าและค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 538 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกรมท่า (mg/L)	ค่าแอบซอร์บแนนซ์
100	3.6500
200	6.7400
300	9.1300
400	14.7800
500	18.8400

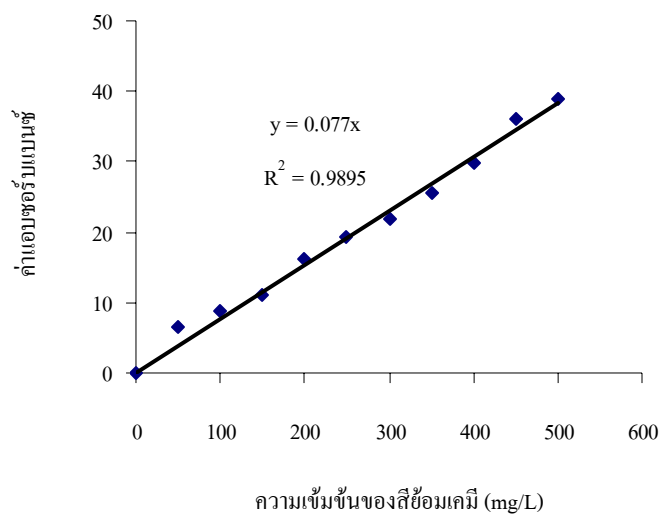


รูปที่ ก16 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีกรมท่ากับค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 583 \text{ nm}$

ก17. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียว (สีเขียวตราใบหม่อน)

ตารางที่ ก17 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวและค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 639 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียว (mg/L)	ค่าแอบซอร์บแนนซ์
50	6.6625
100	8.7244
150	11.0126
200	16.2319
250	19.3889
300	21.9268
350	25.6455
400	29.7414
450	35.9980
500	38.9869

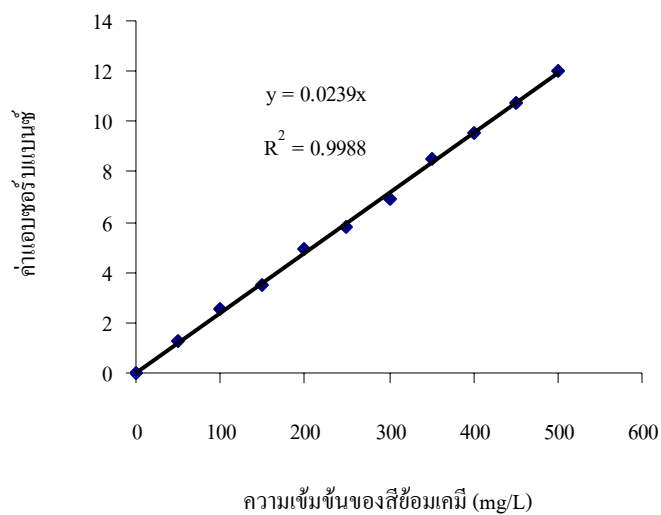


รูปที่ ก17 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเขียวกับค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 639 \text{ nm}$

ก18. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีบานเย็น (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ก18 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีบานเย็นและค่าแอมชอร์บแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 550 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีบานเย็น (mg/L)	ค่าแอมชอร์บแบนซ์
50	1.3079
100	2.5113
150	3.4782
200	4.9599
250	5.7728
300	6.9344
350	8.5052
400	9.5073
450	10.7239
500	12.0002

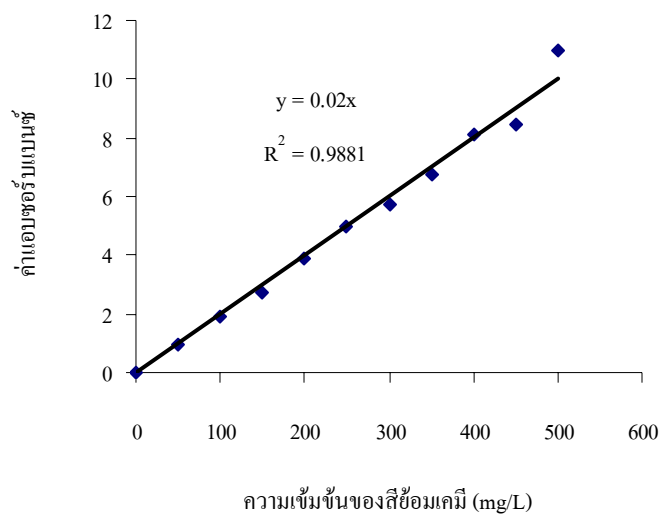


รูปที่ ก18 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีบานเย็นกับค่าแอมชอร์บแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 550 \text{ nm}$

ก19. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแดง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ก19 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 503 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดง (mg/L)	ค่าแอมซอร์บแนนซ์
50	0.9705
100	1.9336
150	2.7565
200	3.9135
250	4.9528
300	5.6964
350	6.7592
400	8.1056
450	8.4820
500	10.9476

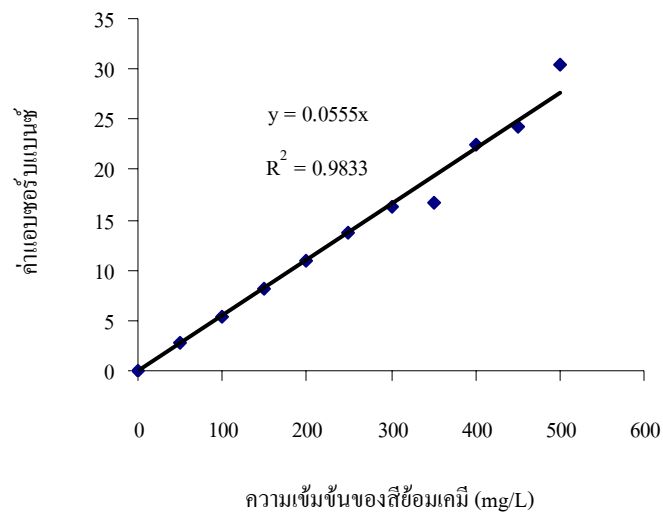


รูปที่ ก19 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแดงกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 503 \text{ nm}$

ก20. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีน้ำตาลเข้ม (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ก20 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มและค่าแอมพลิจูดที่ $\lambda_{\max} = 523 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำตาลเข้ม (mg/L)	แอมพลิจูด
50	2.6943
100	5.4306
150	8.1018
200	10.9536
250	13.6269
300	16.3401
350	16.7853
400	22.5603
450	24.1899
500	30.4143

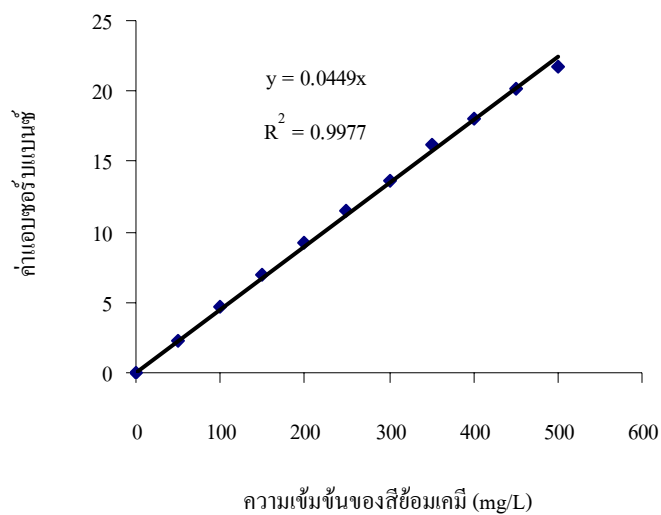


รูปที่ ก20 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มกับค่าแอมพลิจูดที่ $\lambda_{\max} = 523 \text{ nm}$

ก21. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีฟ้าเข้ม (สีย้อมฟ้าตราไบหม่อน)

ตารางที่ ก21 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าเข้มและค่าแอมพลิจูดที่ $\lambda_{\max} = 595 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าเข้ม (mg/L)	ค่าแอมพลิจูด
50	2.2932
100	4.7271
150	7.0182
200	9.1875
250	11.4954
300	13.7025
350	16.2582
400	17.9802
450	20.1537
500	21.6699

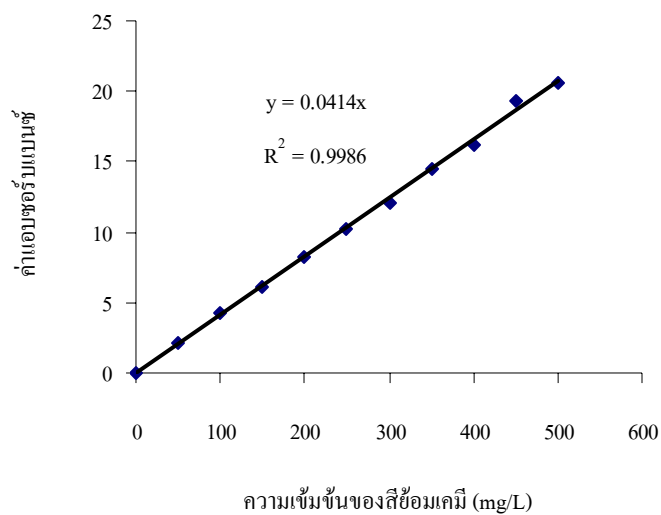


รูปที่ ก21 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีฟ้าเข้มกับค่าแอมพลิจูดที่ $\lambda_{\max} = 595 \text{ nm}$

ก22. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีฟ้าอ่อน (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ก22 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าอ่อนและค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 620 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าอ่อน (mg/L)	ค่าแอบซอร์บแนนซ์
50	2.0869
100	4.2681
150	6.1541
200	8.2738
250	10.1844
300	12.0991
350	14.4976
400	16.1991
450	19.2536
500	20.6066

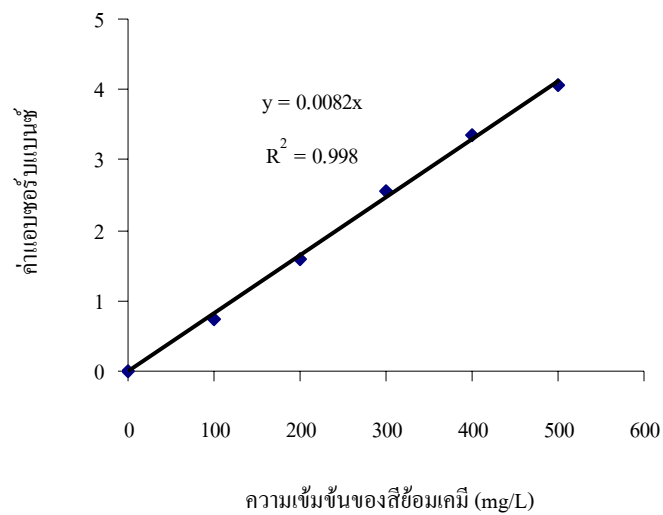


รูปที่ ก22 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีฟ้าอ่อนกับค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 620 \text{ nm}$

ก23. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีม่วง (สีข้อมฟ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ก23 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีม่วงและค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 551 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีม่วง (mg/L)	ค่าแอบซอร์บแนนซ์
100	0.7392
200	1.596
300	2.5515
400	3.36
500	4.053

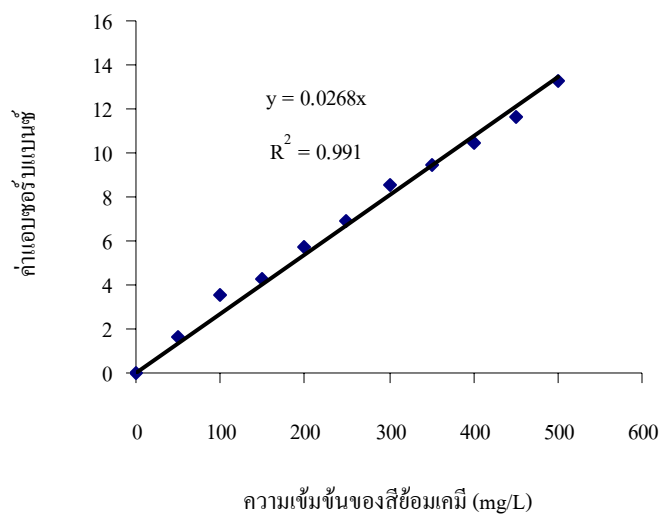


รูปที่ ก23 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีม่วงกับค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 551 \text{ nm}$

ก24. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแสด (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ก24 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแสดและค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 461 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแสด (mg/L)	ค่าแอบซอร์บแนนซ์
50	1.6049
100	3.5255
150	4.2977
200	5.7134
250	6.9201
300	8.5514
350	9.4534
400	10.4302
450	11.6006
500	13.2506

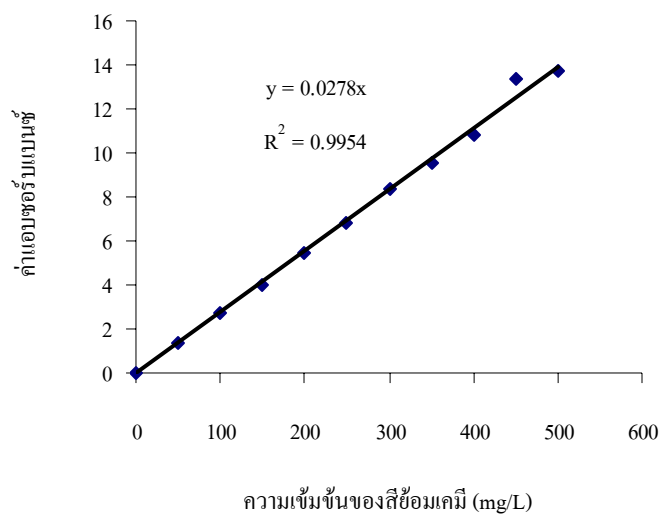


รูปที่ ก24 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีแสดกับค่าแอบซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 461 \text{ nm}$

ก25. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเหลืองตุ่น (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ก25 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองตุ่นและค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 410 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองตุ่น (mg/L)	ค่าแอมซอร์บแนนซ์
50	1.3552
100	2.7049
150	4.0392
200	5.4846
250	6.7782
300	8.3435
350	9.5051
400	10.7965
450	13.3881
500	13.7555

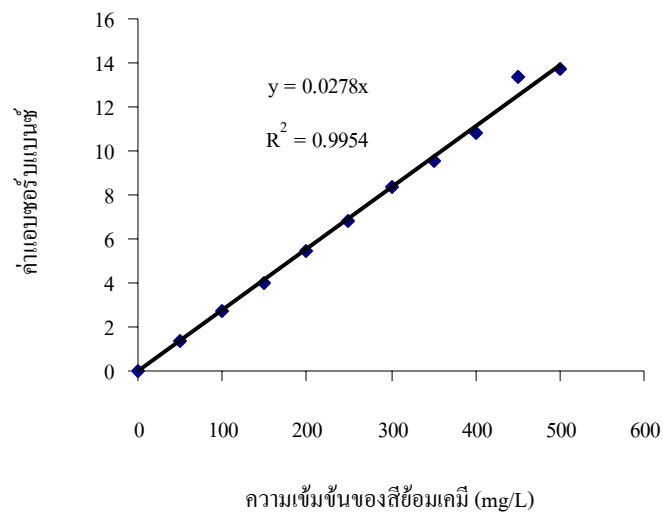


รูปที่ ก25 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเหลืองตุ่นกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 410 \text{ nm}$

ก26. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเหลือง (สีข้อมฟ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ก26 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองและค่าแอมชอร์บแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 400 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลือง (mg/L)	ค่าแอมชอร์บแบนซ์
50	1.3552
100	2.7049
150	4.0392
200	5.4846
250	6.7782
300	8.3435
350	9.5051
400	10.7965
450	13.3881
500	13.7555

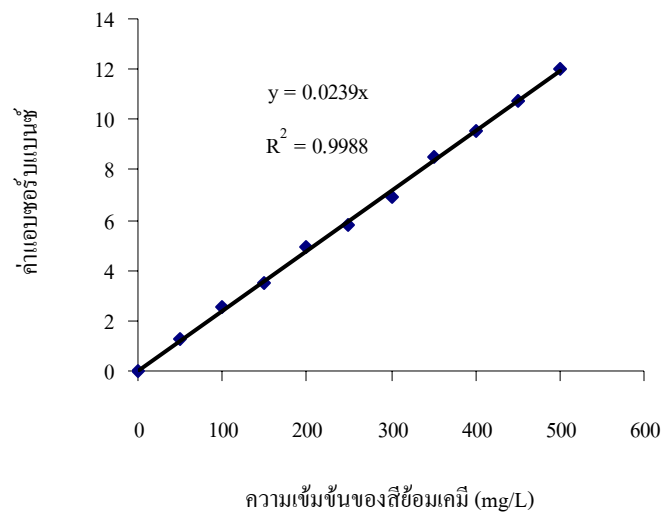


รูปที่ ก26 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีเหลืองกับค่าแอมชอร์บแบนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 400 \text{ nm}$

ก27. กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีชมพู (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ก27 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีมีคมะขามแก่และค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 549 \text{ nm}$

ความเข้มข้นของน้ำเสียสีชมพู (mg/L)	ค่าแอมซอร์บแนนซ์
50	1.3079
100	2.5113
150	3.4782
200	4.9599
250	5.7728
300	6.9344
350	8.5052
400	9.5073
450	10.7239
500	12.0002



รูปที่ ก27 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสีชมพูกับค่าแอมซอร์บแนนซ์ ที่ $\lambda_{\max} = 549 \text{ nm}$

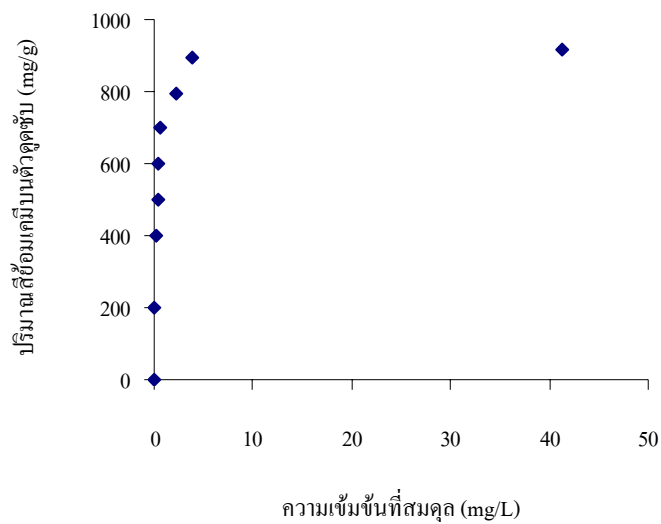
ภาคผนวก ข

ไอโซเทิร์มการดูดซับของสีย้อมผ้าในระบบการดูดซับขั้นต้นคนเดียว

ข1. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเหลืองอ่อน (สีย้อมผ้าตราสิงโตคิกกลอง)

ตารางที่ ข1 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเหลืองอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0	200
200	0.18	399.63
250	0.35	499.30
300	0.48	599.04
350	0.54	698.92
400	2.15	795.69
450	3.76	892.48
500	41.32	917.35

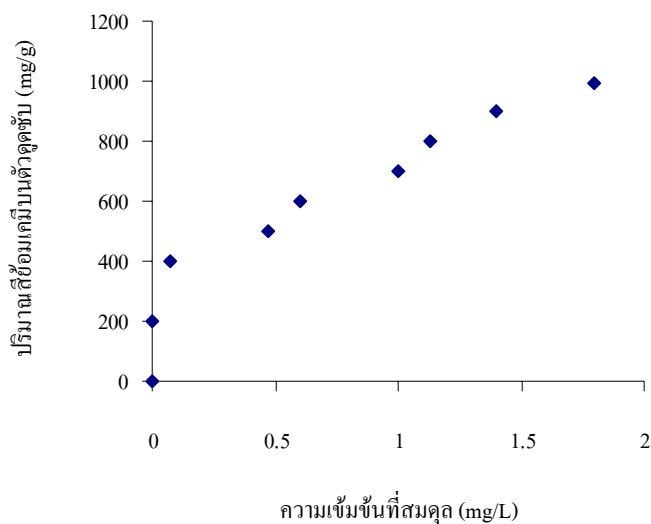


รูปที่ ข1 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข2. ไอโซเทอรั่มการดูดซับของน้ำเสียสีกะปิ (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดลอง)

ตารางที่ ข2 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีกะปิด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0	199.87
200	0.07	399.07
250	0.47	498.80
300	0.60	598.67
350	1.00	698.00
400	1.13	797.73
450	1.40	897.20
500	1.80	996.40

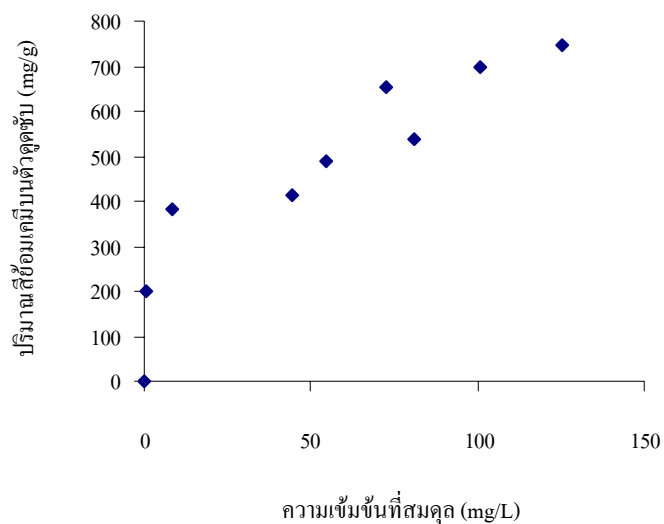


รูปที่ ข2 ไอโซเทอรั่มการดูดซับของน้ำเสียสีกะปิด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข3. ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเม็คมะขามแก่ (สีย้อมฟ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ข3 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเม็คมะขามแก่ด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.47	199.05
200	8.64	382.71
250	44.25	411.49
300	54.75	490.51
350	81.25	537.46
400	72.78	654.44
450	100.69	698.61
500	125.68	748.64

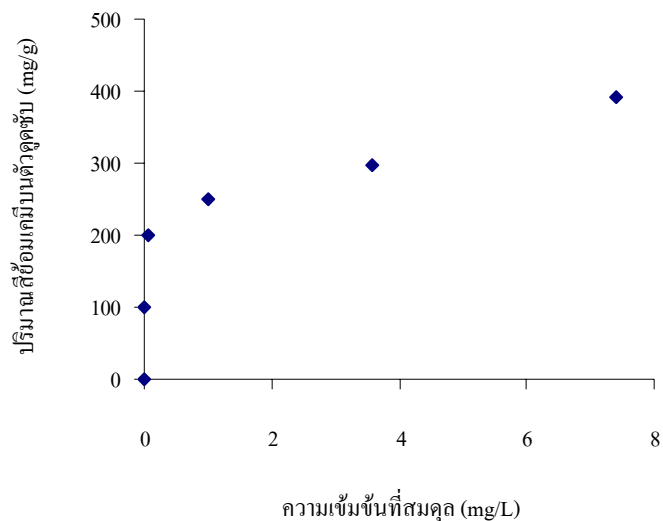


รูปที่ ข3 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเม็คมะขามแก่ด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข4. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเม็ดเลือดหมู (สีย้อมฟ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ข4 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเม็ดเลือดหมูด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0	100
200	0.05	199.95
300	1	249
400	3.57	296.43
500	7.39	392.61

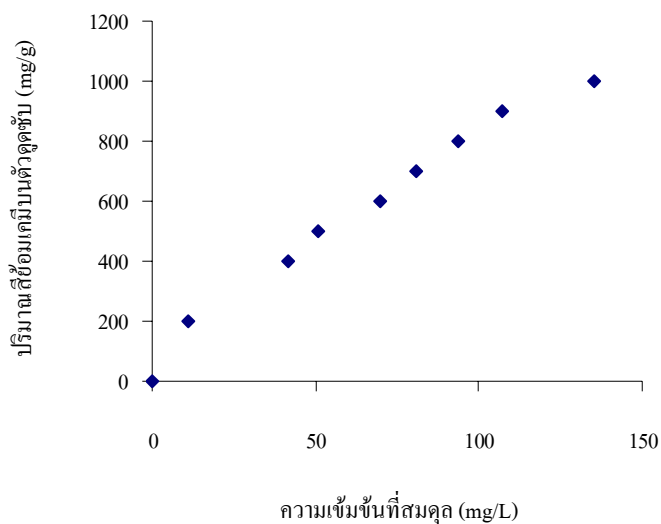


รูปที่ ข4 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเม็ดเลือดหมูด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข5. ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเลือดหมู (สีย้อมผ้าตราสิงโตศึกลอง)

ตารางที่ ข5 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเลือดหมูด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	11.06	199.77
200	41.81	399.15
250	50.59	498.97
300	69.90	598.57
350	80.59	698.36
400	93.70	798.09
450	107.30	897.81
500	135.31	997.24

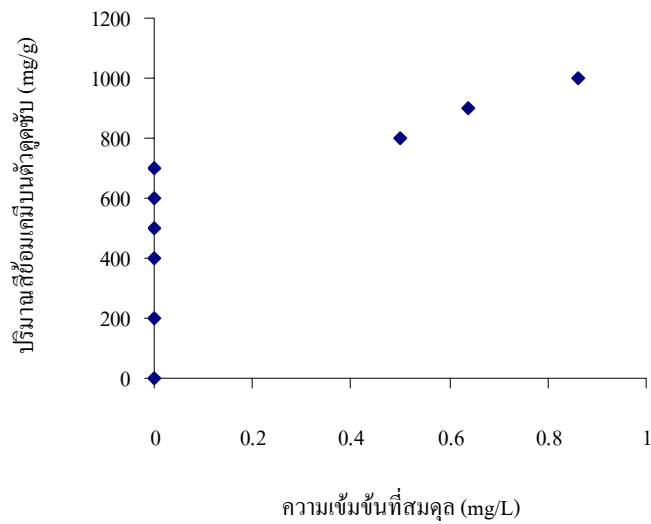


รูปที่ ข5 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเลือดหมูด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข6. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียดักั่ว (สีย้อมฟ้าดราสีงโตคคอง)

ตารางที่ ข6 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียดักั่วด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียดักั่ว ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียดักั่ว สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0	200
200	0	400
250	0	500
300	0	600
350	0	700
400	0.50	799
450	0.64	898.71
500	0.86	998.29

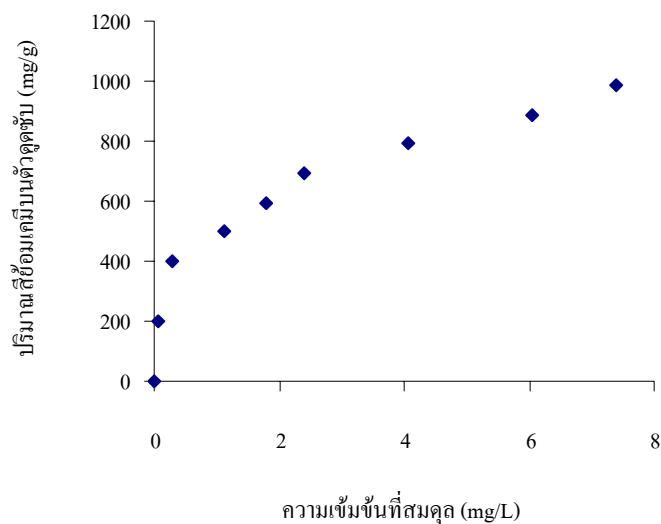


รูปที่ ข6 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียดักั่วตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay

ข7. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีระกำทอง (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ข7 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีระกำทองด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.05	199.89
200	0.29	399.41
250	1.11	497.79
300	1.80	596.40
350	2.39	695.23
400	4.05	791.89
450	6.05	887.89
500	7.39	985.23

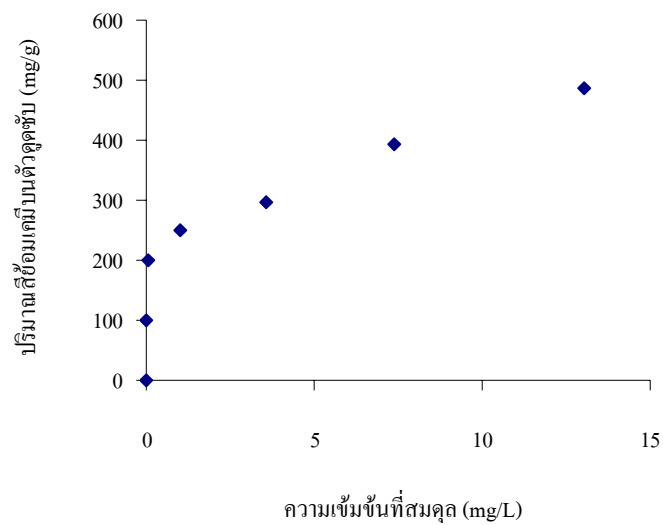


รูปที่ ข7 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีระกำทองด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข8. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียวมรกต (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ข8 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเขียวมรกตด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0	100.00
200	0.05	199.95
250	1.00	249.00
300	3.57	296.43
400	7.39	392.61
500	13.01	486.99

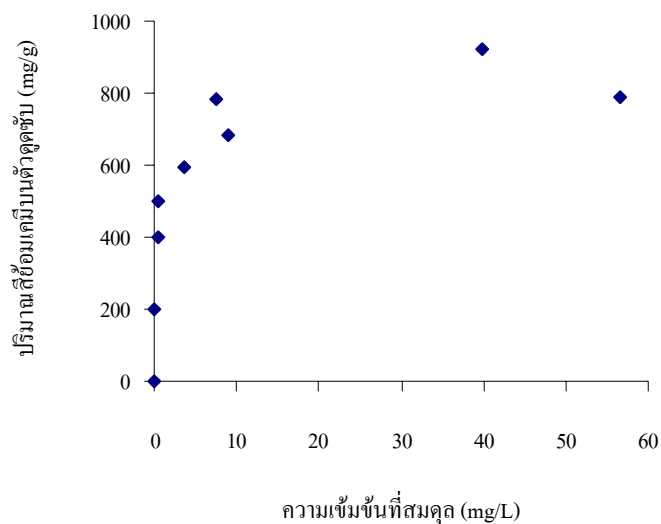


รูปที่ ข8 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียวมรกตด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข9. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีน้ำเงิน (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ข9 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีน้ำเงินด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0	200
200	0.37	399.25
250	0.47	499.05
300	3.56	592.88
350	8.98	682.03
400	7.64	784.71
450	56.61	786.78
500	39.78	920.44

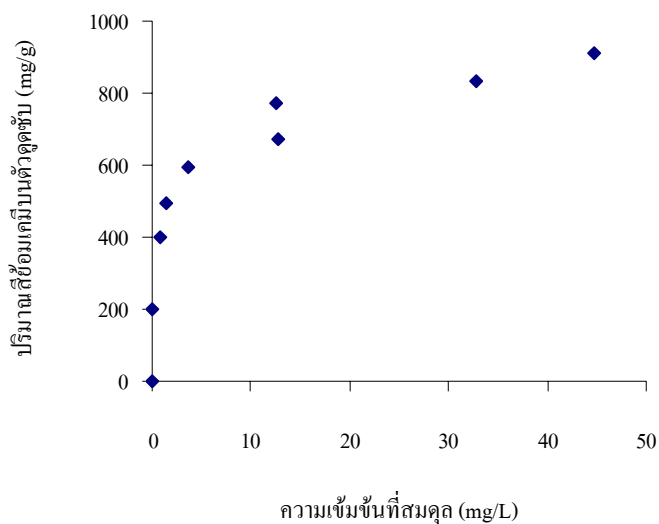


รูปที่ ข9 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีน้ำเงินด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข10. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีแดงน้ำตาล (สีย้อมฟ้าครามสังโตติกลอง)

ตารางที่ ข10 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีแดงด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0	200
200	0.83	398.35
250	1.48	497.04
300	3.69	592.61
350	12.80	674.40
400	12.52	774.96
450	32.76	834.48
500	44.73	910.53

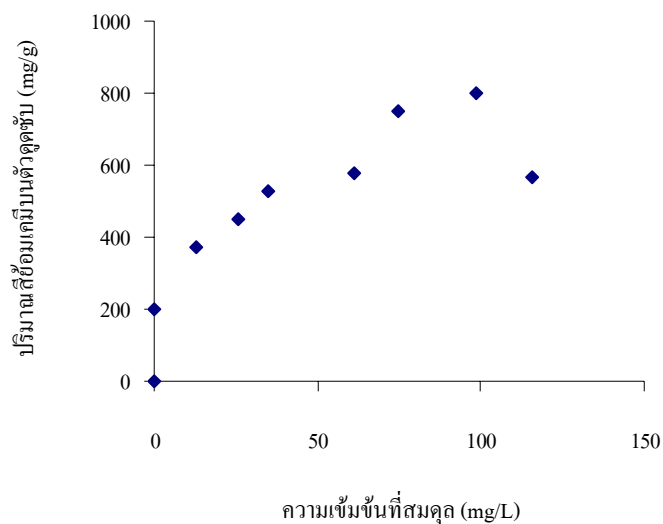


รูปที่ ข10 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีแดงน้ำตาลด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข11. ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีน้ำตาลทอง (สีย้อมผ้าตราสิงโตศึกลอง)

ตารางที่ ข11 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีน้ำตาลทองด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.23	199.55
200	12.68	374.64
250	25.66	448.68
300	34.83	530.34
350	61.49	577.02
400	115.64	568.72
450	74.94	750.13
500	98.68	802.64

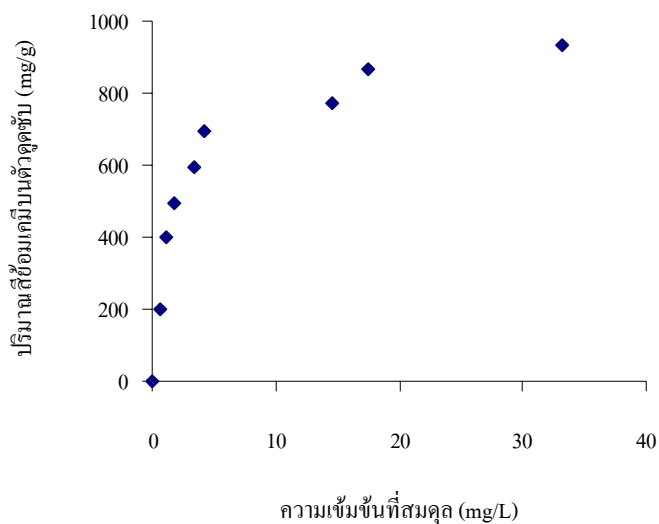


รูปที่ ข11 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีน้ำตาลทองด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข12. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิ (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ข12 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีก้านมะลิด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.69	198.62
200	1.10	397.79
250	1.74	496.51
300	3.38	593.23
350	4.13	691.74
400	14.64	770.72
450	17.49	865.03
500	33.15	933.69

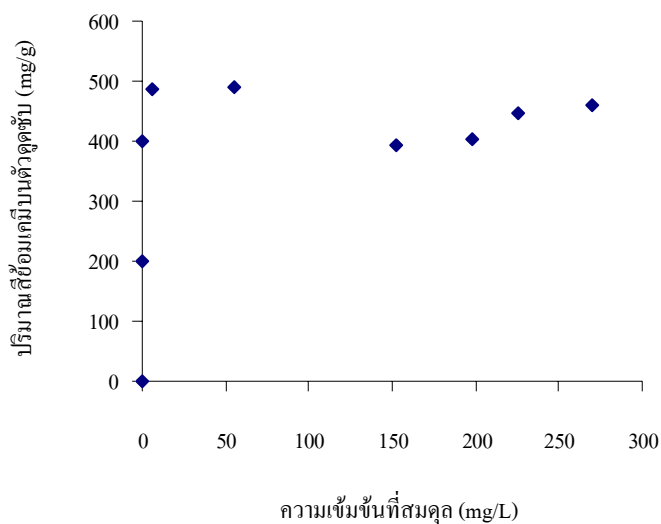


รูปที่ ข12 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข13. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีไพลน้ำ (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดลอง)

ตารางที่ ข13 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีไพลน้ำด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.01	199.97
200	0.45	399.09
250	6.20	487.60
300	55.71	488.59
350	152.63	394.75
400	198.13	403.73
450	226.00	448.00
500	270.09	459.81

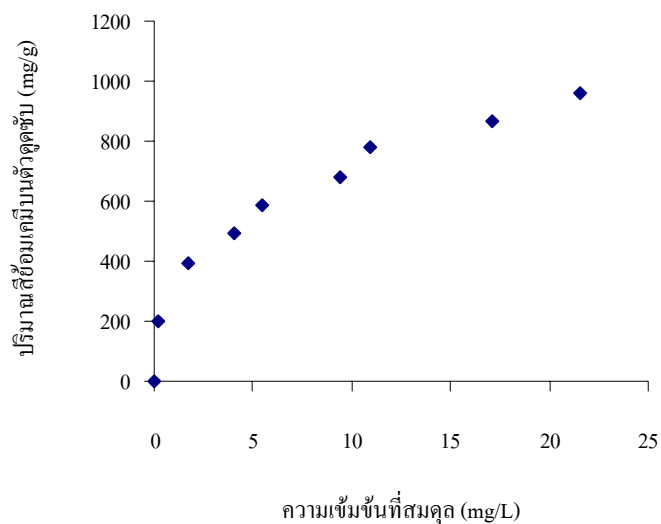


รูปที่ ข13 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีไพลน้ำด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข14. ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียวทองอ่อน (สีย้อมฟ้าตราสิงโตติกลอง)

ตารางที่ ข14 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเขียวทองอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.16	199.67
200	1.75	396.51
250	4.05	491.89
300	5.42	589.16
350	9.42	681.16
400	10.91	778.18
450	17.09	865.82
500	21.58	956.84

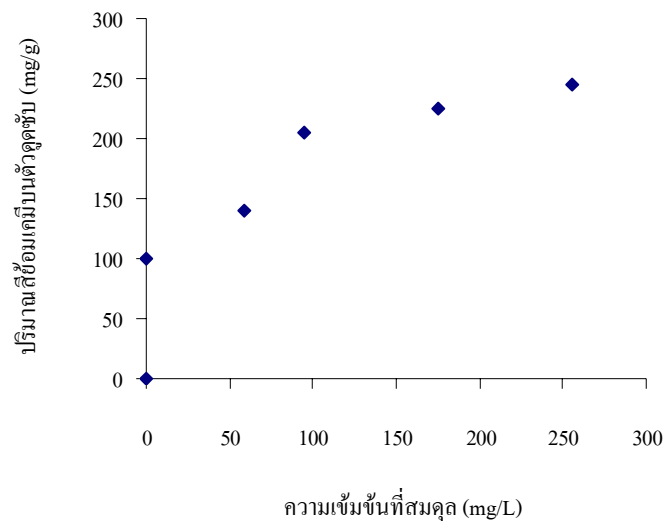


รูปที่ ข14 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียวทองอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข15. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีดำ (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ข15 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีดำด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.16	99.84
200	59.27	140.73
300	94.60	205.40
400	175.35	224.65
500	255.26	244.74

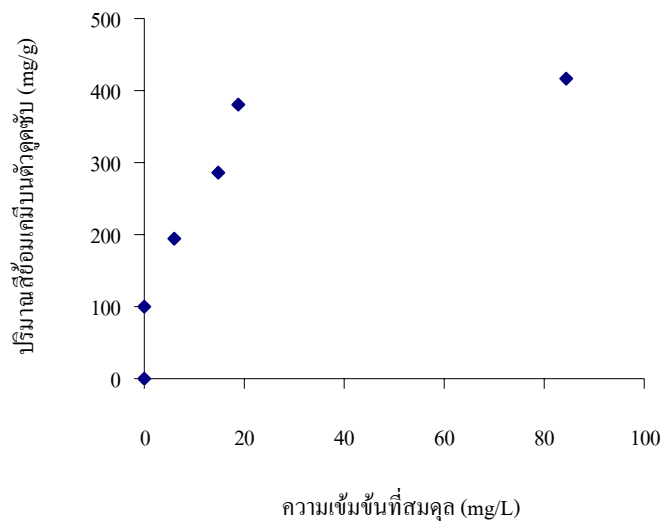


รูปที่ ข15 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีดำด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข16. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีกรมท่า (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ข16 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีกรมท่าด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.05	99.95
200	5.89	194.11
300	14.78	285.22
400	18.65	381.35
500	84.36	415.64

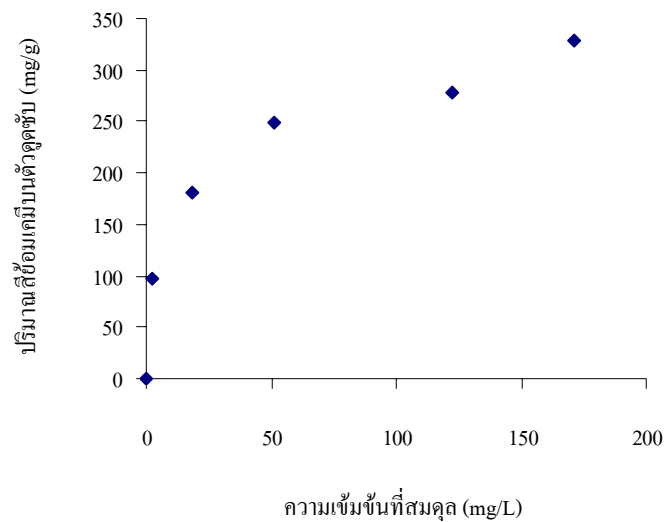


รูปที่ ข16 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีกรมท่าด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข17. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียว (สีย้อมฟ้ำตราใบหม่อน)

ตารางที่ ข17 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเขียวด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	2.17	97.83
200	18.67	181.33
300	50.89	249.11
400	122.53	277.47
500	170.99	329.01

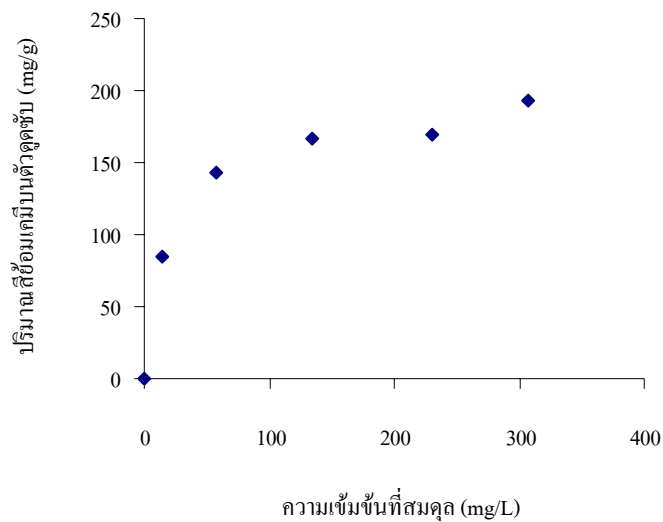


รูปที่ ข17 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเขียวด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข18. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีบานเย็น (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ข18 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีบานเย็นด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	14.85	85.15
200	57.13	142.87
250	133.85	166.15
300	230.31	169.69
350	307.35	192.65

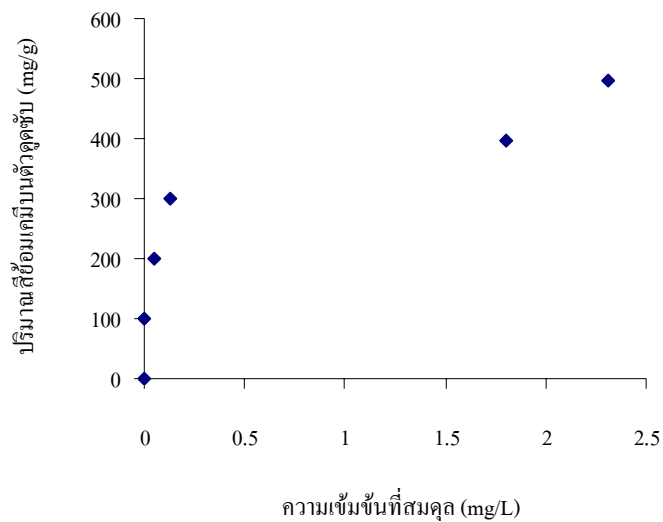


รูปที่ ข18 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีบานเย็นด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข19. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีแดง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ข19 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีแดงด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0	100
200	0.05	199.95
250	0.13	299.87
300	1.80	398.20
350	2.31	497.69

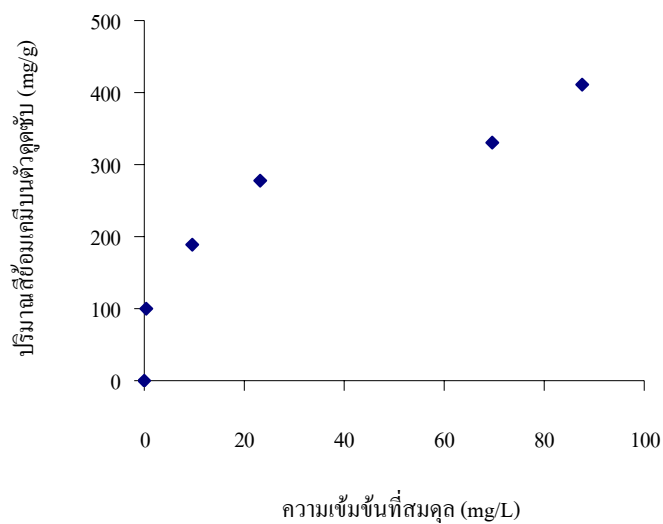


รูปที่ ข19 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีแดงด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข20. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีน้ำตาลเข้ม (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ข20 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.33	99.67
200	9.74	190.26
300	23.14	276.86
400	69.67	330.33
500	87.64	412.36

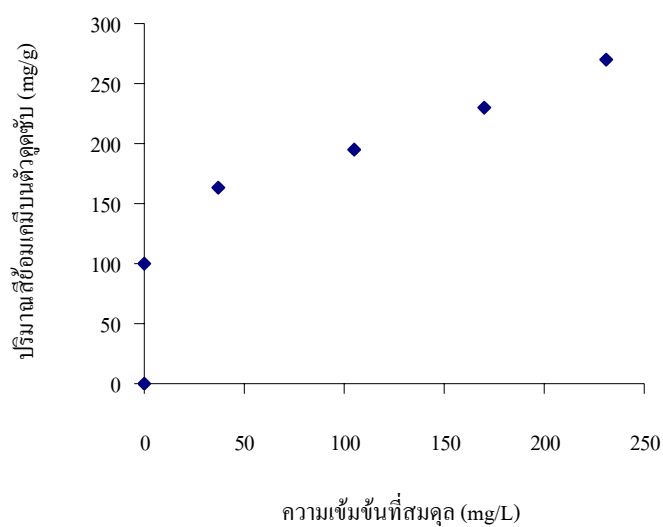


รูปที่ ข20 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข21. ไอโซเทอรั่มการดูดซับของน้ำเสียสีฟ้าเข้ม (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ข21 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีฟ้าเข้มด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.17	99.83
200	37.31	162.69
300	104.50	195.50
400	170.44	229.56
500	230.69	269.31

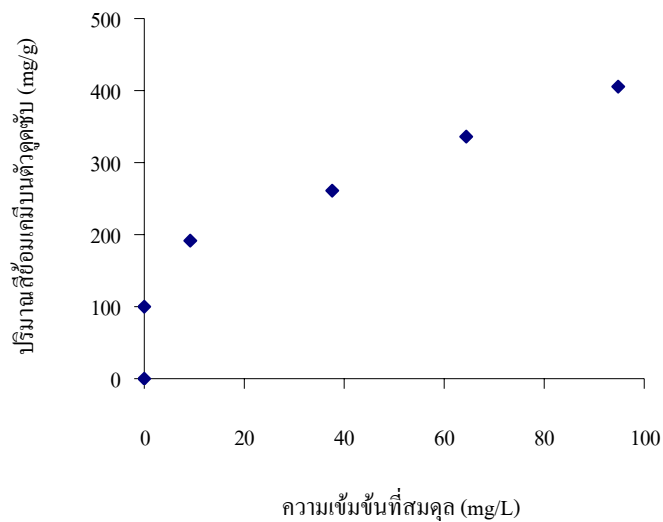


รูปที่ ข21 ไอโซเทอรั่มการดูดซับของน้ำเสียสีฟ้าเข้มด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข22. ไอโซเทอรั่มการดูดซับของน้ำเสียสีฟ้าอ่อน (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ข22 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีฟ้าอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.01	99.99
200	9.15	190.85
300	37.52	262.48
400	64.33	335.67
500	94.86	405.14

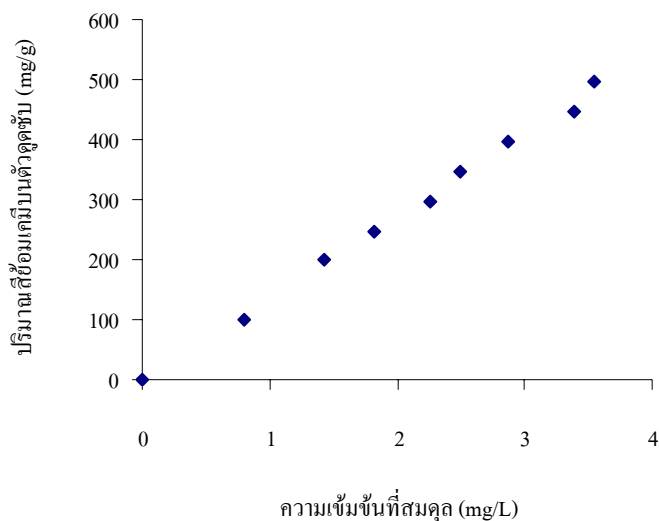


รูปที่ ข22 ไอโซเทอรั่มการดูดซับของน้ำเสียสีฟ้าอ่อนด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข23. ไอโซเทอร์มการดูดซับของสีม่วง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ข23 ปริมาณการดูดซับน้ำเสีสีม่วงด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

ความเข้มข้นของน้ำเสีจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสีจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.80	99.20
200	1.43	198.57
250	1.82	248.18
300	2.26	297.74
350	2.50	347.50
400	2.87	397.13
450	3.39	446.61
500	3.54	496.46

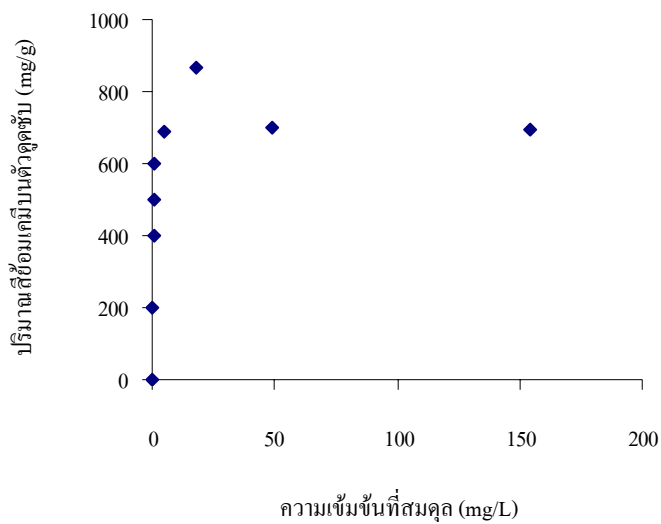


รูปที่ ข23 ไอโซเทอร์มการดูดซับของน้ำเสีสีม่วงด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ

ข24. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีแสด (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ 24ข ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีแสดด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0	200.00
200	0.72	398.56
250	1.10	497.80
300	1.00	598.00
350	4.65	690.70
400	48.94	702.11
450	17.89	864.23
500	154.03	695.94

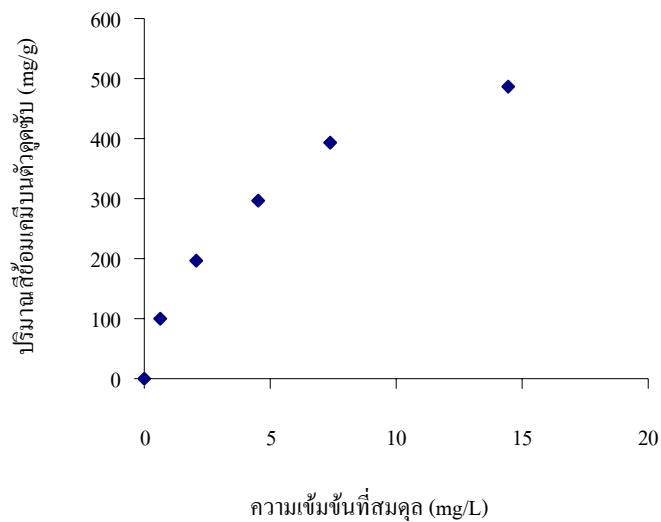


รูปที่ 24ข ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีแสดด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข25. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเหลืองคุ่น (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง)

ตารางที่ ข25 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเหลืองคุ่นด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0.61	99.39
200	2.05	197.95
300	4.54	295.46
400	7.40	392.60
500	14.46	485.54

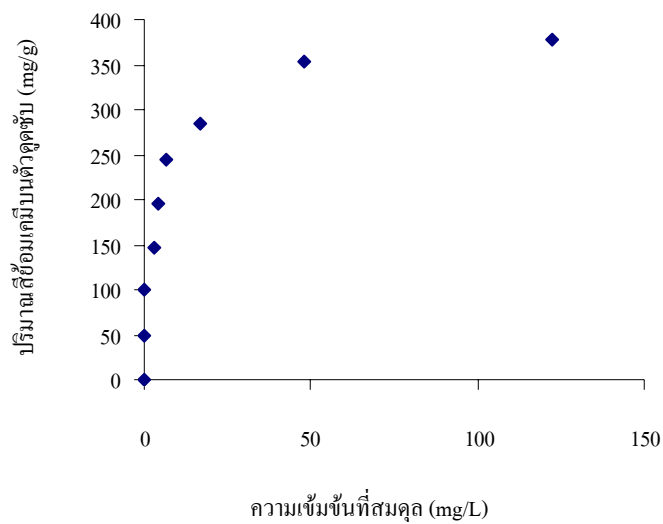


รูปที่ ข25 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเหลืองคุ่นด้วย 200%CEC TDMA-clay

ข26. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเหลือง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ข26 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีเหลืองด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	0	50
200	0	100
250	2.70	147.3
300	3.90	196.1
350	6.38	243.62
400	16.65	283.35
450	47.70	352.30
500	122.63	377.37

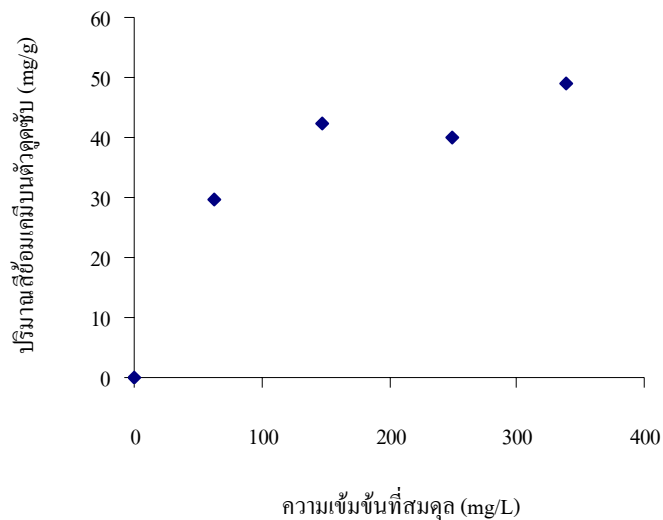


รูปที่ ข26 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีเหลืองด้วยตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay

ข27. ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีชมพู (สีย้อมฟ้าตราใบหม่อน)

ตารางที่ ข27 ปริมาณการดูดซับน้ำเสียสีชมพูด้วย 200%CEC TDMA-clay

ความเข้มข้นของน้ำเสียจากสีย้อม ก่อนดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นของน้ำเสียจาก สีย้อมหลังดูดซับ (mg/L)	ปริมาณสีย้อมบนตัวดูด ซับ (mg/g)
100	62.88	29.69
200	147.20	42.24
300	249.82	40.14
400	338.94	48.85



รูปที่ ข27 ไอโซเทิร์มการดูดซับของน้ำเสียสีชมพูด้วยตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay

ภาคผนวก ค

ผลการดูฉบับสํ้าอ้อมฝ้าในระบบหอดูฉบับ

ก1. การศึกษาผลการดูดซับสีเหลืองอ่อน (สีเชื่อมตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก1 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.01$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

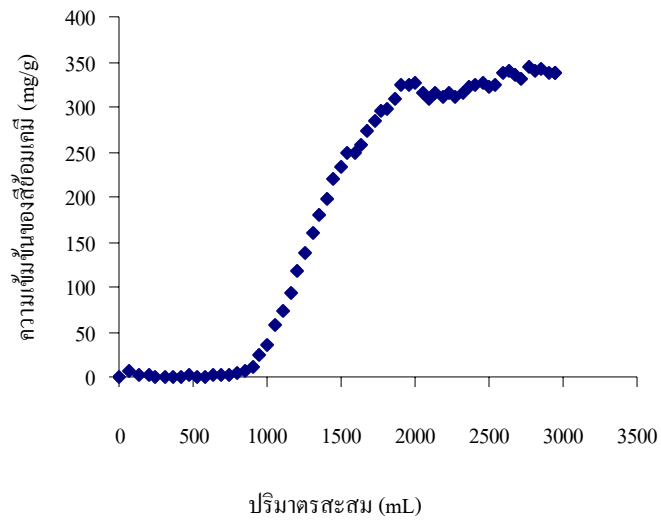
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	67.5	7.20	9.61	2.4	0
10	132.5	3.01	9.08	2.45	0
15	196.5	1.55	8.96	1.64	0
20	248.0	0.79	8.91	1.22	0
25	308.0	0.55	8.91	1.08	0
30	366.0	0.25	8.88	0.89	0
35	423.0	0.48	8.84	0.42	0
40	478.0	1.30	8.82	0.63	0
45	532.0	0.92	8.82	0.56	0
50	585.5	1.01	8.83	0.86	0
55	638.5	1.76	8.78	0.57	0
60	691.0	1.73	8.81	2.01	0
65	743.5	2.70	8.78	0.99	0
70	796.0	3.35	8.74	3.03	0
75	848.0	5.73	8.80	2.51	51.3
80	900.5	11.23	8.70	4.56	28.5
85	951.5	23.37	8.69	5.46	79.8
90	1003.0	36.54	8.69	5.16	136.8
95	1054.0	57.06	8.64	4.62	114.0
100	1105.5	73.75	8.62	3.88	159.5
105	1155.5	93.75	8.62	3.55	160.0
110	1206.0	116.70	8.60	3.05	250.7

ตารางที่ ค1 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนหลังผ่านหอคอยดูดซับ ที่ $c_0 = 499.01$ mg/L
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

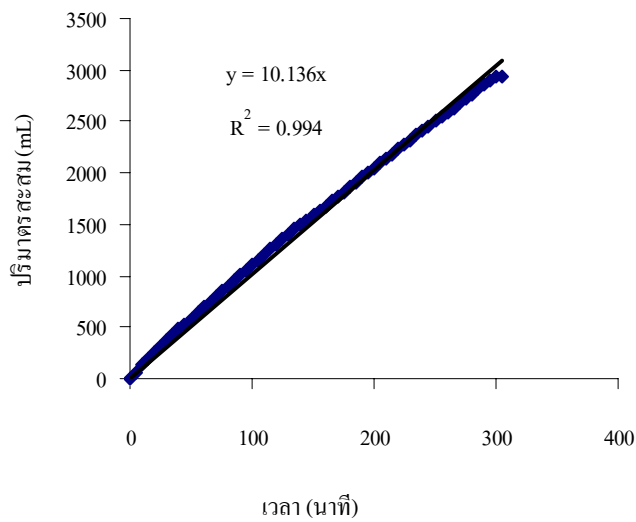
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1256.5	138.00	8.57	2.50	159.5
120	1305.5	159.38	8.58	2.75	227.9
125	1354.5	180.76	8.56	2.32	159.5
130	1402.0	198.80	8.50	4.59	136.8
135	1449.5	220.28	8.53	2.64	136.8
140	1496.5	232.99	8.55	3.14	159.5
145	1542.5	249.32	8.52	3.57	136.8
150	1588.0	249.10	8.53	5.01	159.5
155	1633.0	258.07	8.51	10.8	136.8
160	1678.0	274.28	8.51	5.93	114.0
165	1723.0	284.75	8.51	10.6	182.3
170	1770.0	295.98	8.52	9.65	-
175	1817.5	298.59	8.49	8.69	-
180	1865.5	309.39	8.53	8.17	-
185	1912.0	323.58	8.48	10.4	-
190	1958.0	324.14	8.48	10.1	-
195	2005.0	326.55	8.47	8.19	-
200	2048.5	316.39	8.46	6.53	-
205	2092.5	309.92	8.43	5.76	-
210	2137.0	315.94	8.45	5.54	-
215	2183.0	311.28	8.35	6.24	-
220	2228.0	314.69	8.41	6.40	-
225	2275.0	311.54	8.41	7.91	-
230	2321.0	315.99	8.43	7.01	-
235	2365.0	322.11	8.43	8.77	-

ตารางที่ ค1 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.01$ mg/L
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
240	2409.0	324.31	8.41	13.4	-
245	2454.0	327.63	8.36	15.0	-
250	2499.0	322.96	8.40	7.3	-
255	2544.0	324.10	8.39	6.25	-
260	2589.0	336.85	8.40	5.39	-
265	2631.0	339.73	8.39	5.60	-
270	2675.0	336.32	8.39	5.70	-
275	2720.0	331.03	8.41	4.65	-
280	2765.0	344.38	8.33	4.40	-
285	2810.0	339.30	8.36	5.56	-
290	2855.0	341.42	8.40	3.89	-
295	2900.0	337.06	8.37	4.59	-
300	2943.5	336.86	8.37	4.69	-
305	2943.5	337.54	8.33	5.34	-



รูปที่ 1.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียน้ำเกลืออ่อน คุดซ้บด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 499.01 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.65 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียน้ำเกลืออ่อนหลังผ่านหอดูดซ้บกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวคุดซ้บ

ก2. การศึกษาผลการดูดซับสีอะปี (สีข้อมตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA - clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก2 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีอะปีหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 518.13 \text{ mg/L}$ และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	64.5	7.25	9.21	0.553	-
10	141.5	6.13	9.19	0.548	-
15	217.5	6.63	9.00	0.766	-
20	291.5	8.00	9.12	0.686	-
25	364.5	5.25	9.08	0.415	-
30	436.5	4.25	9.40	0.427	2.8
35	507.0	3.63	8.99	0.352	-
40	576.0	6.63	9.02	0.442	-
45	644.0	3.25	8.96	0.366	-
50	711.5	3.63	8.98	0.514	-
55	777.5	5.13	9.03	0.412	-
60	843.5	3.50	8.96	0.602	17.0
65	908.0	3.63	8.95	0.415	-
70	972.0	3.88	9.15	0.389	-
75	1034.0	3.88	8.87	0.415	-
80	1096.0	3.88	8.84	0.347	-
85	1157.5	4.25	8.86	0.416	-
90	1219.0	5.63	8.87	0.425	11.3
95	1280.5	7.13	8.88	0.429	-
100	1341.5	5.50	8.86	0.394	-
105	1401.5	3.88	8.82	0.363	-
110	1462.0	3.75	8.65	0.324	-

ตารางที่ ค2 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 518.13$ mg/L และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

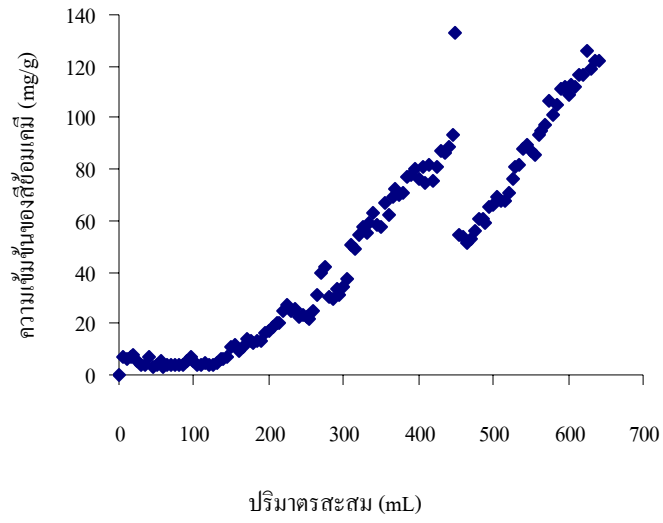
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1526.0	5.00	8.65	0.437	-
120	1587.5	4.25	8.66	0.365	11.3
125	1649.0	4.13	8.58	0.728	-
130	1711.0	4.75	8.57	0.440	-
135	1772.0	5.88	8.59	0.511	-
140	1830.5	6.38	8.57	0.479	-
145	1888.5	7.38	8.48	0.517	-
150	1946.5	10.5	8.49	0.510	11.3
155	2003.0	12.0	8.46	0.610	-
160	2060.0	9.63	8.48	0.624	-
165	2115.5	11.25	8.48	0.586	-
170	2172.0	13.63	8.51	0.793	-
175	2229.0	13.25	8.54	0.710	-
180	2285.0	12.63	8.51	0.759	34.0
185	2341.0	13.25	8.54	0.744	-
190	2397.8	13.78	8.55	0.777	-
195	2452.8	16.00	8.52	0.831	-
200	2508.3	16.75	8.53	0.829	-
205	2564.3	18.88	8.51	0.927	-
210	2620.8	20.50	8.51	1.010	34.0
215	2673.8	19.88	8.48	1.04	-
220	2724.8	24.75	8.51	1.21	-
225	2775.8	27.00	8.49	1.13	-
230	2826.8	24.75	8.48	1.20	-
235	2876.8	25.88	8.48	1.15	-

ตารางที่ ค2 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 518.13$ mg/L และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

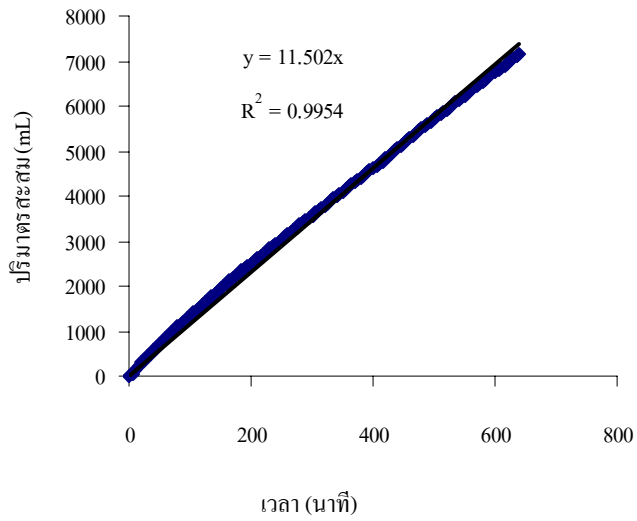
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
240	2932.8	22.75	8.53	1.26	68.0
245	2985.3	23.25	8.51	1.44	-
250	3039.6	22.63	8.50	1.40	-
255	3095.1	21.75	8.50	1.31	-
260	3148.1	24.63	8.53	1.34	-
265	3201.1	31.13	8.47	1.37	-
270	3256.1	40.00	8.57	9.25	11.3
275	3308.1	41.63	8.52	6.29	-
280	3362.1	30.25	8.52	1.82	-
285	3417.1	29.75	8.50	5.91	-
290	3470.1	33.13	8.51	4.29	-
295	3519.1	30.88	8.50	3.82	-
300	3574.6	34.50	8.52	3.70	34.0
305	3629.6	37.63	8.49	4.03	-
310	3684.6	50.75	8.49	4.93	-
315	3732.1	49.25	8.54	4.70	-
320	3784.1	54.75	8.50	5.27	-
325	3837.1	57.38	8.52	4.82	-
330	3890.1	54.88	8.51	4.48	11.3
335	3943.1	59.13	8.61	5.72	-
340	3996.1	63.38	8.54	5.49	-
345	4047.6	58.50	8.62	5.91	-
350	4100.6	57.50	8.55	5.73	-
355	4151.6	67.13	8.54	5.90	-
360	4203.1	62.38	8.56	5.42	56.7

ตารางที่ ค2 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 518.13$ mg/L และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
365	4255.6	69.50	8.64	5.66	-
370	4307.6	72.50	8.57	5.18	-
375	4359.6	70.38	8.67	5.95	-
380	4411.6	70.75	8.56	9.66	-
385	4461.1	77.00	8.57	7.68	-
390	4512.6	78.13	8.58	6.65	11.3
395	4564.6	79.75	8.63	1.30	-
400	4616.6	75.88	8.61	4.95	-
405	4670.6	81.25	8.56	7.05	-
410	4720.6	75.00	8.59	7.29	-
415	4774.6	81.88	8.57	8.26	-
420	4824.6	75.63	8.52	6.16	566.6
425	4876.6	80.75	8.61	6.32	-
430	4939.6	87.25	8.80	6.43	-
435	5001.6	86.38	8.40	7.24	-
440	5060.6	89.00	8.34	7.25	-
445	5120.6	93.50	8.26	1.49	-



รูปที่ ค2.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีกะปิ ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 518.13$ mg/L และ $Q_b = 11.18 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ ค2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียสีกะปิหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

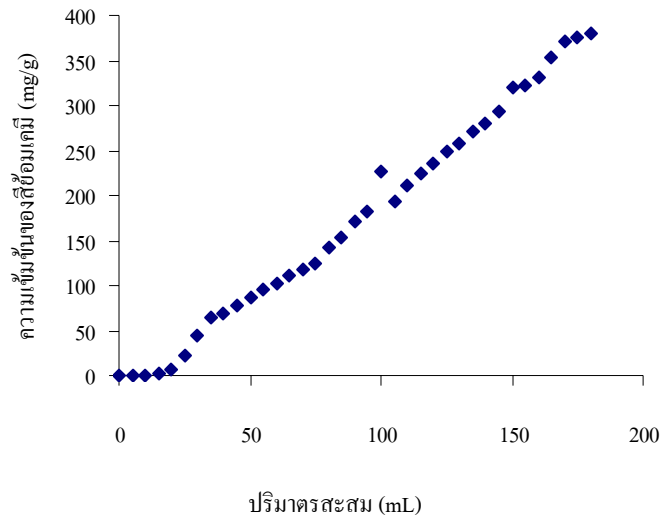
ก3. การศึกษาผลการดูดซับสีเม็ดมะขามแก่ (สีย้อมตราสิงโตติดลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก3 ความเข้มข้นของน้ำเสียดสีเม็ดมะขามแก่หลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 479.34$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

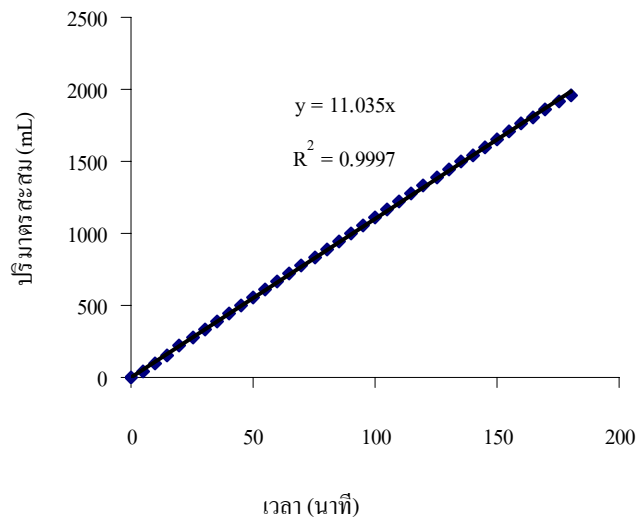
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	40.0	0.60	9.02	1.14	80.0
10	99.0	0.74	8.93	1.41	80.0
15	155.5	1.19	8.97	1.20	16.0
20	216.8	7.59	8.85	2.34	64.0
25	276.3	23.25	8.76	5.27	128.0
30	336.3	44.75	8.66	7.20	72.0
35	394.3	64.88	8.42	9.12	72.0
40	450.8	69.64	8.43	11.4	88.0
45	505.3	78.77	8.26	14.8	72.0
50	560.8	87.44	8.23	17.5	88.0
55	615.8	95.46	8.17	21.1	72.0
60	670.8	102.54	6.88	24.5	88.0
65	725.8	111.96	8.06	24.5	160.0
70	780.3	117.83	8.16	28.1	112.0
75	834.8	124.73	8.01	31.2	80.0
80	889.8	141.88	7.99	33.4	96.0
85	944.8	153.53	7.89	34.2	120.0
90	1000.8	171.43	7.93	36.1	136.0
95	1056.8	182.62	7.92	40.3	96.0
100	1112.8	227.55	7.92	52.6	96.0
105	1167.8	193.34	7.85	41.7	96.0
110	1221.8	211.98	7.91	44.4	96.0

ตารางที่ ค3 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีมีตะขามแก่หลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 479.34 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1276.8	225.13	7.92	47.1	96.0
120	1331.8	235.29	7.91	46.9	288.0
125	1386.8	247.67	7.88	52.1	128.0
130	1440.3	257.01	7.87	47.7	160.0
135	1494.3	270.90	7.88	46.8	160.0
140	1548.3	280.69	7.87	47.0	688.0
145	1601.3	292.81	7.88	49.1	160.0
150	1654.8	320.03	7.86	52.2	104.0
155	1706.8	322.26	7.89	55.5	112.0
160	1759.8	330.75	7.89	52.8	48.0
165	1810.8	352.47	7.88	51.0	144.0
170	1859.8	371.76	7.82	53.3	96.0
175	1910.8	375.12	7.89	58.5	128.0
180	1961.8	380.62	7.89	57.8	160.0



รูปที่ 3.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเม้ดมะขามแก่ (สีซีโอมฟ้าตราสิงโตตีกลอง) คูดซ์บโดย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 479.34 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.90 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีเม้ดมะขามแก่หลังผ่านหอคูดซ์บกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวคูดซ์บ

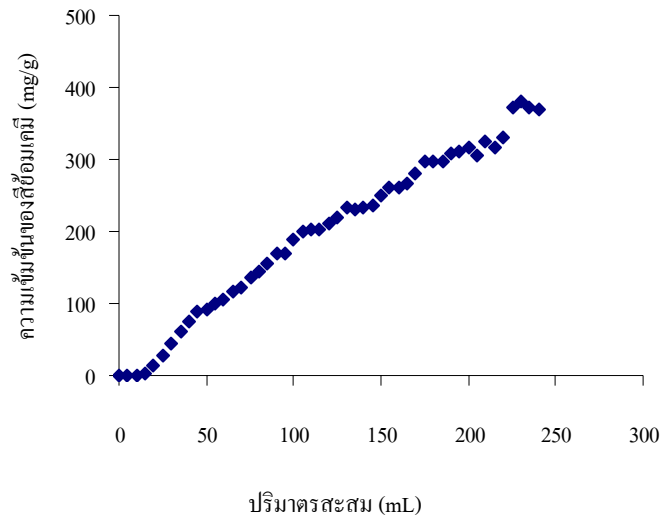
ก4. การศึกษาผลการดูดซับสีแดงเลือดหมู (สีย้อมตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก4 ความเข้มข้นของน้ำเสียดสีแดงเลือดหมูหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 495.00$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

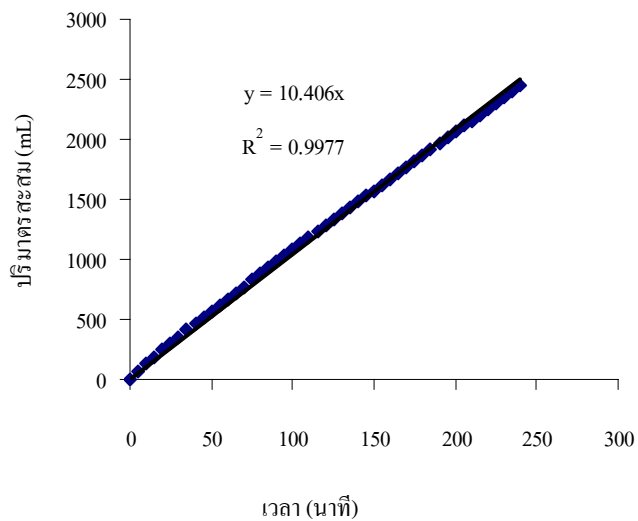
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	66	0.76	8.17	1.36	40.0
10	127	0.79	8.61	1.64	8.0
15	186	2.50	8.71	2.13	0
20	243	13.59	8.65	5.13	32.0
25	300	28.96	8.00	7.53	48.0
30	355	45.50	8.55	10.6	48.0
35	410	60.83	8.41	14.4	48.0
40	463	75.59	8.24	25.3	16.0
45	519	88.00	8.11	25.3	40.0
50	569	91.01	7.99	37.2	56.0
55	621	100.32	7.94	44.7	88.0
60	672	105.30	7.87	38.4	56.0
65	724	116.21	7.83	44.1	40.0
70	775	123.44	7.82	25.5	48.0
75	827	135.95	7.77	26.1	128.0
80	877.5	143.38	7.72	23.2	80.0
85	928.5	155.32	7.73	23.7	120.0
90	978.5	168.38	7.73	28.8	120.0
95	1028.5	169.23	7.78	27.6	64.0
100	1078.5	189.63	7.85	30.6	80.0
105	1128.5	201.20	7.80	29.8	112.0
110	1178.5	203.27	7.76	30.7	48.0

ตารางที่ ค4 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงเลือดหมูหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 495.00$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1228.5	203.45	7.78	32.1	64.0
120	1277.5	211.82	7.88	29.8	80.0
125	1327.5	220.00	7.79	31.5	112.0
130	1377.5	232.41	7.76	36.6	48.0
135	1426.0	230.25	7.73	35.2	64.0
140	1476.0	232.32	7.78	32.5	64.0
145	1525.5	236.64	7.77	36.3	96.0
150	1575.5	249.24	7.75	36.1	128.0
155	1625.0	260.80	7.70	44.9	128.0
160	1675.0	260.99	7.69	38.1	128.0
165	1725.0	265.60	7.64	50.3	96.0
170	1774.0	281.02	7.67	51.7	64.0
175	1823.0	297.85	7.67	47.8	112.0
180	1871.0	298.41	7.67	52.2	112.0
185	1919.0	297.28	7.67	48.6	112.0
190	1967.0	307.91	7.67	64.1	112.0
195	2015.0	310.82	7.67	54.3	144.0
200	2062.0	316.27	7.67	47.4	112.0
205	2110.0	306.59	7.70	55.8	128.0
210	2156.5	324.74	7.63	53.2	152.0
215	2203.0	317.50	7.68	48.4	104.0
220	2250.0	331.50	7.67	57.1	160.0
225	2297.0	373.44	7.68	775.2	128.0
230	2345.0	380.96	7.68	79.1	144.0
235	2394.0	372.40	7.59	73.3	176.0



รูปที่ ๓.๑ กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีแดงเลือดหมู คุดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 495.00 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.18 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ ๓.๒ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีแดงเลือดหมูหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

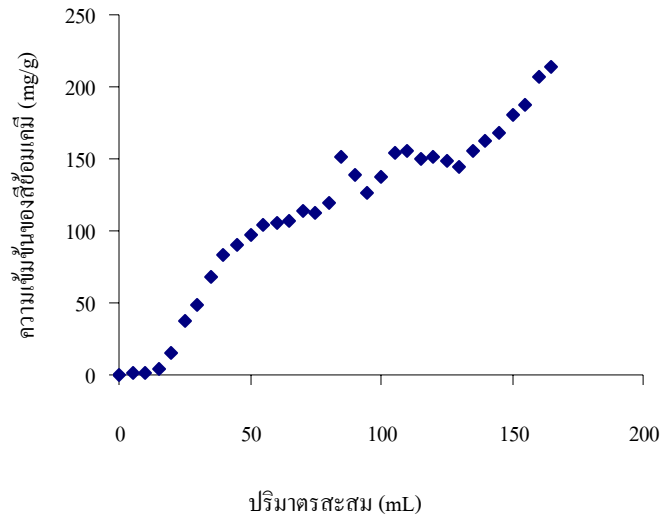
ก5. การศึกษาผลการดูดซับสีเลือดหมู (สีย้อมตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก5 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมูที่ผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 489.72$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

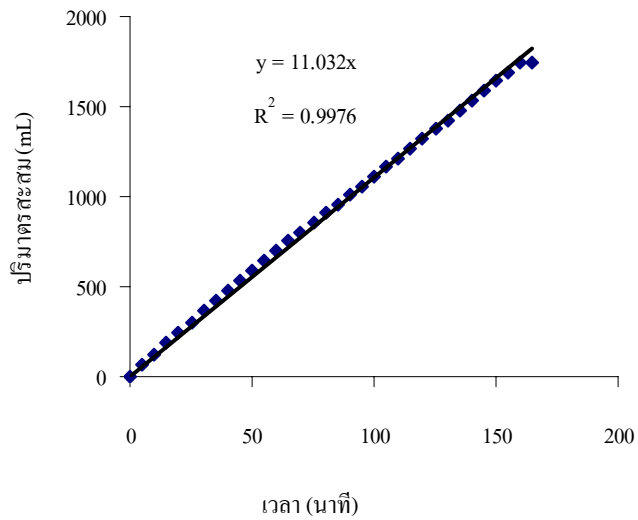
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	63.0	0.88	8.14	1.23	80
10	125.0	0.88	8.53	1.29	112
15	186.0	4.36	8.66	1.20	112
20	246.5	15.67	8.65	1.77	16
25	305.5	38.13	8.58	3.63	112
30	363.5	48.40	8.58	5.06	80
35	421.0	68.11	8.48	6.49	24
40	477.0	83.23	8.50	6.18	88
45	532.0	89.74	8.48	8.64	16
50	587.0	97.81	8.44	7.69	64
55	641.5	103.58	8.39	8.90	80
60	696.5	104.96	8.42	10.4	64
65	751.0	106.52	8.37	10.9	80
70	805.5	114.13	8.37	16.0	80
75	855.0	112.2	8.33	20.6	64
80	906.5	119.35	8.30	34.9	64
85	957.5	151.98	8.30	47.2	144
90	1008.5	139.43	8.30	55.2	16
95	1059.5	126.32	8.30	24.2	64
100	1111.0	137.59	8.30	28.1	64
105	1163.0	154.73	8.30	35.1	48
110	1216.0	155.28	8.28	39.3	64

ตารางที่ ค5 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมูที่ผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 489.72 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1269.0	150.06	8.25	34.8	48
120	1322.0	151.07	8.23	38.7	264
125	1374.5	148.96	8.22	39.6	88
130	1427.5	144.47	8.25	46.4	128
135	1480.0	155.47	8.21	38.1	72
140	1533.5	163.08	8.21	36.8	104
145	1586.0	167.93	8.22	43.7	96
150	1640.0	180.77	8.19	43.1	96
155	1682.0	187.28	8.17	39.6	104
160	1745.0	206.53	8.19	36.0	88
165	1745.0	213.68	8.19	33.4	168



รูปที่ ๕.๑ กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเลือดหมู ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 489.72$ mg/L และ $Q_b = 10.58 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ ๕.๒ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มของน้ำเสียสีเลือดหมูหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ก6. การศึกษาผลการดูดซับสีตะกั่ว (สีย้อมตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก6 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีตะกั่วหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.40$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	69	3.2	8.79	3.00	-
10	138	1.8	7.79	3.00	-
15	206	3.4	8.76	3.00	-
20	274	3.6	8.75	3.00	-
25	342	3.7	8.65	1.00	-
30	407	3.4	8.66	2.00	41.0
35	471	3.2	8.66	2.00	-
40	535	4.3	8.60	1.00	-
45	597	5.3	8.49	2.00	-
50	658	3.8	8.45	1.20	-
55	717	3.4	8.36	1.02	-
60	776	5.0	8.35	1.01	147.5
65	835	4.1	8.32	1.05	-
70	894	4.5	8.31	1.05	-
75	952	3.5	8.28	1.05	-
80	1009	3.1	8.28	1.05	-
85	1066	4.1	8.26	1.05	-
90	1122	4.4	8.22	1.05	117.5
95	1178	3.2	8.27	1.05	-
100	1233	3.4	8.14	1.05	-
105	1289	3.2	8.07	1.05	-
110	1344	4.3	7.98	1.05	-

ตารางที่ ๑๖ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีตะกั่วหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.40 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1399	3.9	8	1.05	-
120	1453.8	3.1	8.08	1.05	84.7
125	1508.8	2.6	8.08	1.05	-
130	1564.8	3.9	8.12	1.05	-
135	1617.3	2.5	8.14	1.05	-
140	1670.8	2.8	8.13	1.05	-
145	1724.8	2.9	8.12	1.05	-
150	1777.8	2.9	8.12	1.05	169.4
155	1832.8	2.2	8.13	1.05	-
160	1884.3	1.7	8.14	1.05	-
165	1938.3	2.9	8.11	1.05	-
170	1992.3	2.5	8.08	1.05	-
175	2046.3	2.6	8.05	1.05	-
180	2098.3	2.4	8.03	1.05	142.1
185	2152.3	4.1	8.05	1.05	-
190	2205.8	2.3	7.99	1.05	-
195	2259.3	2.9	8.05	0.66	-
200	2312.3	2.1	8.05	0.64	-
205	2366.3	2.3	8.00	0.90	-
210	2419.3	2.4	8.02	0.72	131.2
215	2473.3	1.8	8.02	0.67	-
220	2526.3	2.8	7.99	0.71	-
225	2579.3	3.0	8.01	0.71	-
230	2632.3	2.6	8.16	0.70	-
235	2685.3	3.0	8.00	0.82	-

ตารางที่ ๑๖ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีตะกั่วหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.40$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

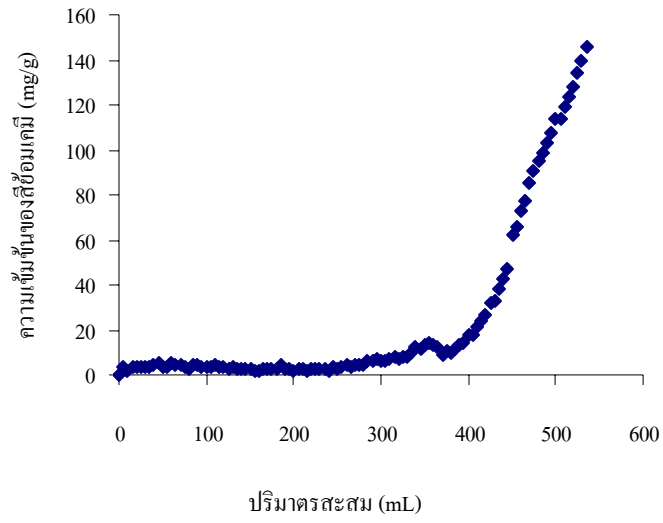
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
240	2738.3	2.1	8.02	0.90	174.9
245	2791.3	3.9	8.06	0.77	-
250	2843.3	2.7	8.06	0.85	-
255	2896.3	3.8	8.07	0.82	-
260	2948.3	4.2	8.04	0.85	-
265	3000.8	4.0	8.06	0.97	-
270	3053.3	4.6	8.06	1.05	131.2
275	3105.8	4.5	8.01	1.03	-
280	3157.3	4.5	8.05	1.09	-
285	3210.3	6.1	8.11	1.18	-
290	3262.3	5.8	8.05	1.18	-
295	3314.8	7.3	8.16	1.16	-
300	3366.8	6.0	8.04	1.19	153.0
305	3418.8	6.6	8.08	1.03	-
310	3471.3	6.7	8.06	1.16	-
315	3523.3	7.7	8.14	1.09	-
320	3575.8	7.4	8.02	1.22	-
325	3628.8	8.3	8.01	1.27	-
330	3680.3	8.4	8.00	1.39	153.0
335	3734.3	9.9	7.95	1.62	-
340	3785.8	12.1	8.04	1.55	-
345	3838.8	11.6	7.98	1.51	-
350	3891.8	13.0	7.95	1.69	-
355	3944.3	14.2	8.07	1.81	-
360	4000.3	13.3	8.36	1.93	109.3

ตารางที่ ๑๖ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีตะกั่วหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.40 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

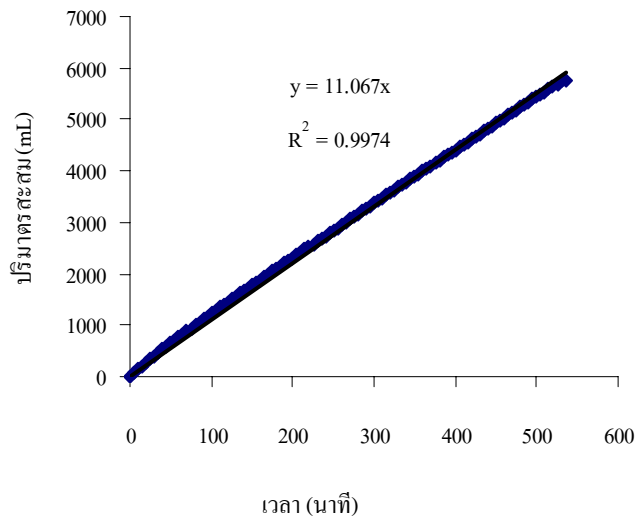
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
365	4050.3	12.8	8.44	1.98	-
370	4101.8	9.3	8.13	1.79	-
375	4153.8	10.9	8.10	1.9	-
380	4208.8	9.4	8.09	2.09	-
385	4261.8	11.5	8.03	2.38	-
390	4316.3	13.6	8.09	2.70	174.9
395	4362.3	13.9	8.12	2.66	-
400	4413.8	17.9	8.12	2.79	-
405	4466.8	18.1	8.12	2.98	-
410	4516.8	21.1	8.11	3.22	-
415	4568.8	23.9	8.09	3.56	-
420	4620.8	26.4	8.10	4.09	284.2
425	4673.8	32.2	8.10	3.77	-
430	4723.8	32.8	8.11	4.12	-
435	4775.3	37.9	8.11	3.98	-
440	4825.8	42.9	8.11	4.50	-
445	4876.8	47.3	8.13	4.87	-
450	4927.8	62.2	8.14	4.60	207.7
500	4978.8	65.7	8.15	4.86	-
505	5030.8	72.9	8.15	4.76	-
510	5081.8	77.6	8.15	4.91	-
515	5132.8	85.6	8.13	4.73	-
520	5184.8	90.7	8.13	4.83	-
525	5235.8	95.1	8.14	5.00	-
530	5285.8	98.4	8.13	5.06	41.0

ตารางที่ ค6 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีตะกั่วหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.40$ mg/L
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
535	5337.3	103.2	8.15	5.10	-
540	5388.3	107.1	8.19	5.03	-
545	5439.3	113.6	8.18	5.15	-
550	5490.3	113.7	8.17	5.17	-
555	5541.3	119.1	8.16	5.09	-
560	5591.8	123.3	8.17	5.23	147.5
570	5695.8	134.2	8.17	5.35	-
575	5745.8	139.4	8.15	5.34	-
565	5642.8	128.1	8.17	5.31	-
580	5745.8	145.4	8.17	5.42	-



รูปที่ ๑6.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียดีตะกั่วดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 499.40$ mg/L และ $Q_b = 10.74$ cm³/min



รูปที่ ๑6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียดีตะกั่วหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ก7. การศึกษาผลการดูดซับสีระกำทอง (สีข้อมตราสิงโตติดทอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก7 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทองหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 470.71$ mg/L และ ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

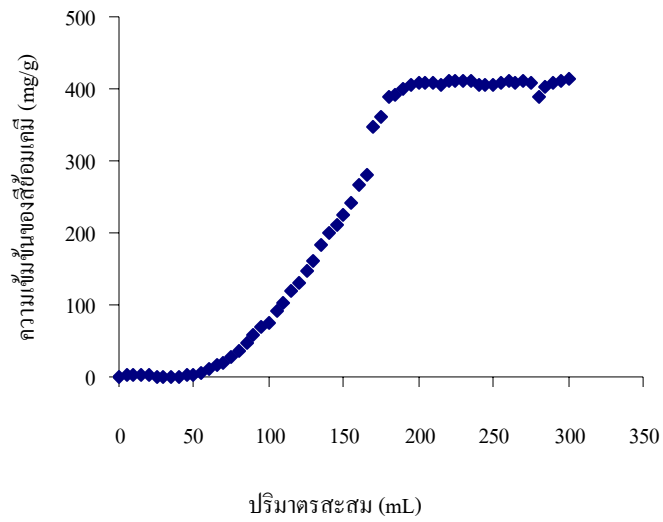
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	56.0	2.52	9.56	2.66	19.0
10	111.5	3.35	9.16	2.72	13.6
15	165.0	2.85	8.97	1.39	106.0
20	217.5	1.40	8.91	1.02	38.0
25	269.5	1.05	8.84	0.78	16.3
30	321.5	0.77	8.77	0.64	108.7
35	371.5	0.96	8.71	0.96	152.2
40	421.5	1.29	8.68	0.65	65.2
45	470.5	2.13	8.72	1.44	163.0
50	520.0	3.11	8.89	2.18	315.2
55	568.0	6.52	8.64	2.81	54.3
60	616.5	10.07	8.66	5.46	467.4
65	664.0	15.80	8.67	7.32	21.7
70	711.5	20.48	8.61	11.6	54.3
75	758.0	28.69	8.58	12.4	191.3
80	805.0	36.67	8.47	8.53	287.0
85	851.0	46.04	8.42	7.96	54.3
90	898.0	58.17	8.43	5.28	21.7
95	944.0	68.19	8.30	5.94	87.0
100	991.0	75.84	8.28	10.6	-
105	1037.0	91.35	8.32	11.9	-
110	1083.5	103.25	8.30	10.5	-

ตารางที่ ค7 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสี่ระก้าทองหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 470.71 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

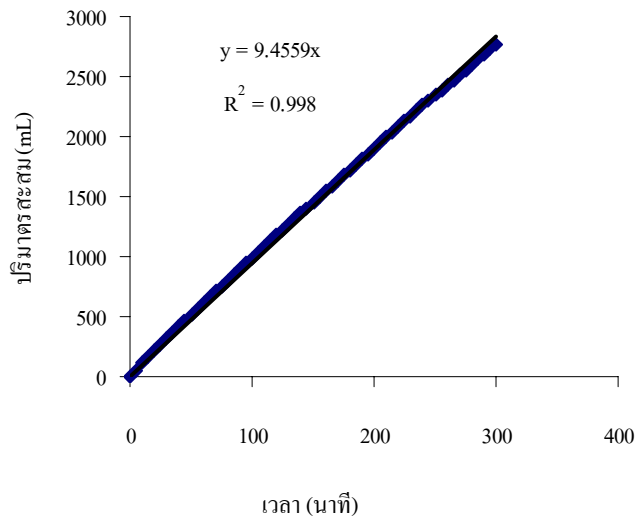
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1129.5	118.81	8.30	10.1	-
120	1175.5	131.77	8.25	9.57	-
125	1221.5	148.24	8.25	9.66	-
130	1268.0	162.35	8.24	8.89	-
135	1313.5	182.51	8.14	8.54	-
140	1360.0	199.65	8.19	7.93	-
145	1406.0	210.29	8.20	8.08	-
150	1451.0	224.64	8.16	7.84	-
155	1497.0	241.47	8.18	7.74	-
160	1543.0	265.31	8.14	6.81	-
165	1588.0	280.35	8.13	7.68	-
170	1633.5	347.25	8.19	7.45	-
175	1678.0	362.01	8.13	7.80	-
180	1723.0	388.21	8.21	7.81	-
185	1768.5	392.93	8.18	7.85	-
190	1811.5	399.57	8.24	7.11	-
195	1855.5	405.76	8.29	7.46	-
200	1901.0	407.45	8.32	7.83	-
205	1946.0	407.33	8.30	7.47	-
210	1992.0	407.88	8.30	7.63	-
215	2037.0	406.56	8.24	8.01	-
220	2083.0	410.71	8.21	8.08	-
225	2128.0	410.71	8.22	8.71	-
230	2173.0	410.71	8.21	8.29	-
235	2217.5	410.71	8.20	9.38	-

ตารางที่ ๗ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสี่ระกำทองหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 470.71 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
240	2262.0	405.09	8.27	9.47	-
245	2306.0	406.92	8.23	11.4	-
250	2346.0	406.12	8.20	12.3	-
255	2382.0	407.68	8.18	15.0	-
260	2429.0	410.05	8.19	16.7	-
265	2472.0	408.51	8.26	23.6	-
270	2514.0	410.23	8.22	52.3	-
275	2557.0	409.40	8.22	16.0	-
280	2600.0	389.96	8.15	19.6	-
285	2643.0	401.48	8.12	19.0	-
290	2686.0	408.20	8.12	19.0	-
295	2729.0	412.23	8.14	17.8	-
300	2773.5	412.53	8.12	17.0	-



รูปที่ ๗.๑ กราฟเบรคทรูของน้ำเสียที่ระก้าทองคุดซ้บด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 470.71 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.25 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ ๗.๒ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียที่ระก้าทองคุดซ้บกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวคุดซ้บ

ก8. การศึกษาผลการดูดซับสีเขียวมรกต (สีเขียวมรกตสังเคราะห์) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูด

ตารางที่ ก8 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 366.64$ mg/L และตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

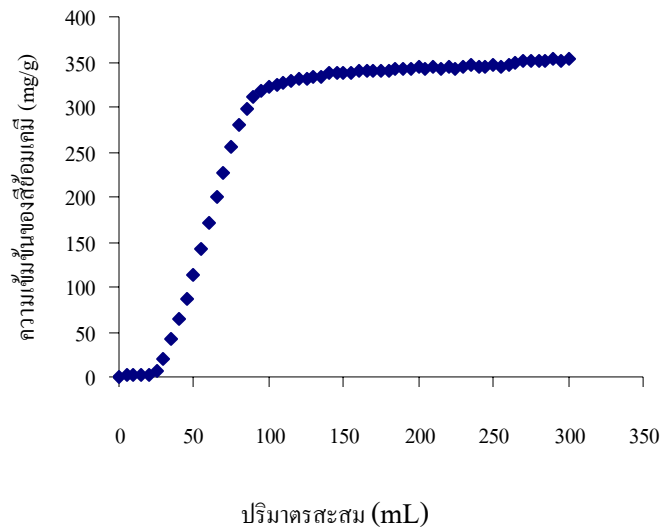
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	59	1.51	9.79	1.45	5.6
10	177.6	1.73	9.27	1.45	5.6
15	174.6	1.51	9.14	1.45	8.4
20	231.6	2.38	9.12	0.82	30.8
25	286.6	6.23	9.01	1.13	53.2
30	341.6	20.85	8.93	1.81	168.1
35	395.6	41.39	8.93	1.42	201.7
40	450.1	63.34	8.81	1.76	627.5
45	503.1	87.07	8.78	1.54	112.0
50	557.1	113.09	8.71	1.50	224.1
55	610.1	141.54	8.62	1.59	44.8
60	664.1	170.90	8.61	1.68	201.7
65	719.1	198.90	8.55	1.76	156.9
70	771.1	226.45	8.40	1.70	67.2
75	824.6	254.54	8.44	1.73	67.2
80	878.6	280.67	8.36	1.69	941.2
85	932.6	298.54	8.25	1.75	67.2
90	986.6	310.91	8.20	1.63	918.8
95	1039.1	318.15	8.19	1.63	-
100	1092.1	322.49	8.13	1.62	-
105	1144.1	324.89	8.07	1.51	-
110	1197.1	327.13	8.04	1.57	-

ตารางที่ ๑๘ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 366.64 \text{ mg/L}$
และตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

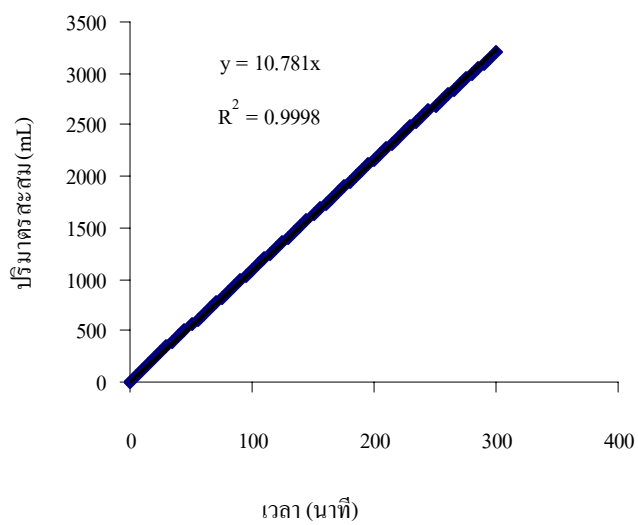
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1249.1	329.93	8.03	1.57	-
120	1303.0	330.63	8.04	1.75	-
125	1363.0	331.95	8.02	1.63	-
130	1409.0	333.07	8.01	1.91	-
135	1468.0	333.78	7.94	1.72	-
140	1521.0	337.98	7.91	1.81	-
145	1575.5	337.01	7.88	1.57	-
150	1630.0	337.86	7.85	1.46	-
155	1684.0	338.56	7.87	1.46	-
160	1738.0	340.34	7.84	1.52	-
165	1791.0	340.37	7.81	1.49	-
170	1844.9	339.41	7.80	1.45	-
175	1902.9	340.47	7.76	1.41	-
180	1952.4	340.73	7.75	1.36	-
185	2006.9	342.22	7.76	1.23	-
190	2058.4	341.38	7.73	1.44	-
195	2111.9	342.96	7.72	1.32	-
200	2164.9	344.56	7.68	1.33	-
205	2216.9	342.76	7.69	1.28	-
210	2269.9	343.98	7.67	1.31	-
215	2322.4	341.98	7.68	1.22	-
220	2377.4	343.44	7.66	1.24	-
225	2428.4	342.85	7.70	1.24	-
230	2481.4	343.36	7.67	1.20	-
235	2533.4	346.77	7.70	1.21	-

ตารางที่ ๑๘ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 366.64 \text{ mg/L}$
และตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
240	2584.9	344.46	7.67	1.53	-
245	2636.9	345.17	7.67	1.28	-
250	2687.9	347.18	7.64	1.19	-
255	2740.9	345.49	7.64	1.19	-
260	2791.9	347.65	7.65	1.20	-
265	2843.9	349.73	7.64	1.24	-
270	2895.9	351.29	7.65	1.19	-
275	2948.9	352.14	7.62	1.23	-
280	2998.9	350.03	7.68	1.29	-
285	3049.9	350.36	7.68	1.09	-
290	3100.9	353.62	7.68	1.13	-
295	3151.9	350.37	7.64	1.1	-
300	3202.9	353.91	7.68	1.06	-



รูปที่ ค8.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเขียวมรกต อดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 366.64 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.68 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ ค8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีเขียวมรกตหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ก9. การศึกษาผลการดูดซับสีน้ำเงิน (สีย้อมตราสิงโตศึกทอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก9 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงินหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 504.83 \text{ mg/L}$ และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

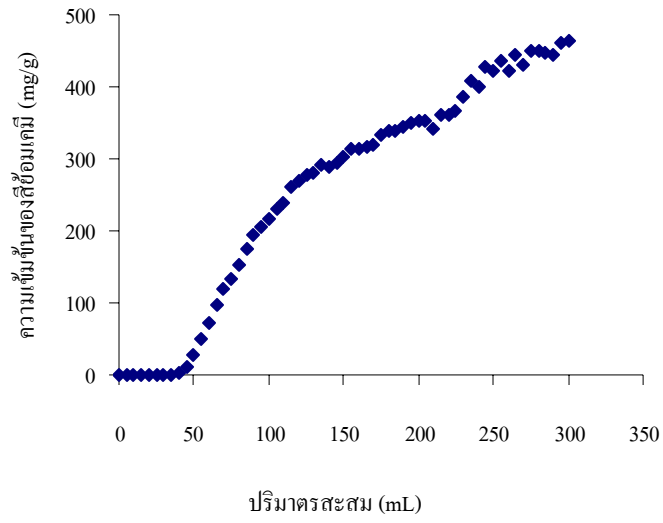
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	57	1.01	9.63	2.43	0
10	113	0.21	9.07	1.38	0
15	168	0.13	8.89	0.78	0
20	221	0.10	8.74	0.26	0
25	273.5	0.07	8.62	0.309	0
30	325.5	0.12	8.62	0.565	0
35	375.5	0.19	8.52	0.92	0
40	425.0	2.01	8.45	1.53	21.9
45	472.0	10.2	8.33	4.54	35.5
50	520.0	27.24	8.32	6.55	13.7
55	567.0	48.89	8.25	6.37	15.3
60	616.0	71.55	8.20	7.13	10.9
65	662.0	97.05	8.17	7.47	98.4
70	710.0	120.48	8.08	8.88	76.5
75	758.0	132.29	8.17	8.41	43.7
80	802.0	152.53	8.08	9.92	43.7
85	846.0	174.97	7.98	7.82	65.6
90	892.0	193.89	7.98	8.73	65.6
95	939.0	206.36	8.00	8.33	76.5
100	984.0	216.92	7.95	8.13	43.7
105	1029.0	231.44	7.91	7.73	54.6
110	1075.0	238.63	7.98	7.91	10.9
115	1118.0	261.65	7.91	8.28	54.6

ตารางที่ ๑๑ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงินหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 504.83$ mg/L และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

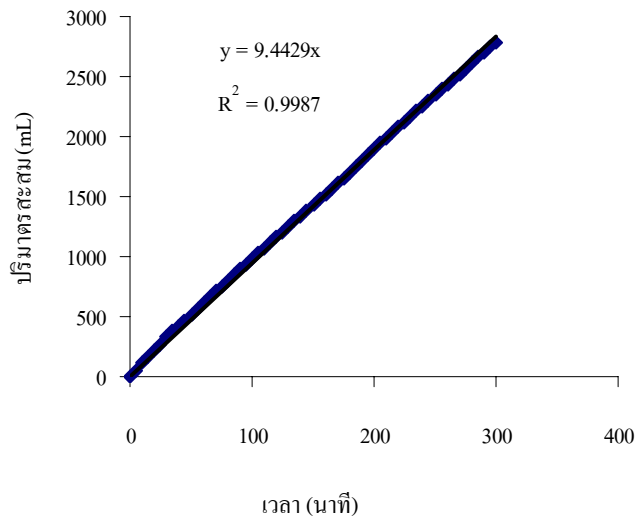
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
120	1164.0	269.72	7.88	8.36	32.8
125	1207.5	277.35	7.93	8.58	76.5
130	1252.5	281.01	7.97	9.39	65.6
135	1296.0	290.69	7.91	8.57	-
140	1341.0	289.08	7.92	8.35	-
145	1386.0	293.33	7.91	8.28	-
150	1432.0	303.01	7.86	8.97	-
155	1476.0	314.89	7.86	8.76	-
160	1520.0	312.55	7.78	9.29	-
165	1566.0	317.68	7.78	9.43	-
170	1610.0	318.85	7.82	9.30	-
175	1654.0	333.08	7.87	9.42	-
180	1699.0	339.09	7.83	9.88	-
185	1750.5	339.53	8.95	4.27	-
190	1799.0	344.67	8.15	2.65	-
195	1848.0	349.07	8.04	3.22	-
200	1895.0	352.00	7.95	3.85	-
205	1947.0	352.00	7.94	4.12	-
210	1989.0	342.32	8.11	4.65	-
215	2040.0	360.51	7.99	5.11	-
220	2078.0	360.65	8.11	5.29	-
225	2122.0	366.96	8.16	5.35	-
230	2167.0	386.61	8.10	5.16	-
235	2210.0	409.35	8.10	5.68	-

ตารางที่ ๑๑ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงินหลังผ่านหอดูดซับที่ $c_0 = 504.83$ mg/L และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
240	2253.0	399.37	8.05	5.86	-
245	2303.5	427.09	7.99	5.81	-
250	2353.5	423.28	8.14	6.00	-
255	2393.5	436.04	8.25	6.93	-
260	2432.5	421.96	8.06	6.72	-
265	2477.5	445.13	8.06	6.93	-
270	2522.5	431.20	8.01	7.20	-
275	2569.5	449.39	8.00	7.40	-
280	2612.5	449.83	7.99	7.44	-
285	2658.5	446.45	8.02	7.95	-
290	2704.5	444.40	7.98	6.78	-
295	2747.5	461.85	8.01	6.16	-
300	2790.5	462.88	8.02	7.38	-



รูปที่ ๙.๑ กราฟเบรคทรูของน้ำเสียที่น้ำเงินดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 504.83$ mg/L และ $Q_b = 9.30 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ ๙.๒ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียที่น้ำเงินหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ก10. การศึกษาผลการดูดซับสีแดงน้ำตาล (สีย้อมตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC – TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก10 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงน้ำตาลหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 496.07$ mg/L และ ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

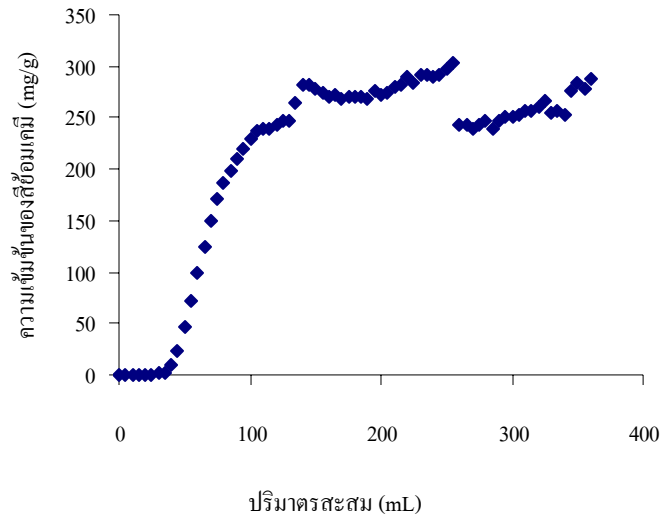
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	61.0	0.38	8.05	1.11	16
10	121.0	0.74	8.57	0.96	112
15	180.0	0.83	8.66	1.11	96
20	238.0	0.81	8.75	0.84	80
25	295.0	0.86	8.85	0.72	80
30	351.5	1.10	8.78	0.72	176
35	407.5	2.50	8.80	1.45	128
40	462.5	8.76	8.77	2.66	80
45	516.5	23.81	8.81	6.61	112
50	569.5	46.64	8.66	11.4	144
55	622	72.31	8.69	43.4	224
60	674	98.38	8.70	43.8	80
65	725	125.36	8.64	14.0	96
70	775.5	148.56	8.61	12.9	112
75	825.5	170.64	8.55	12.5	160
80	876.0	186.36	8.64	10.3	432
85	926.5	198.76	8.55	9.26	120
90	976.5	209.64	8.49	8.75	136
95	1027.0	220.48	8.50	9.41	112
100	1077.0	229.12	8.40	9.45	224
105	1128.0	237.98	8.46	9.98	160
110	1179.0	238.57	8.40	9.94	224

ตารางที่ 10 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงน้ำตาลหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 496.07 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

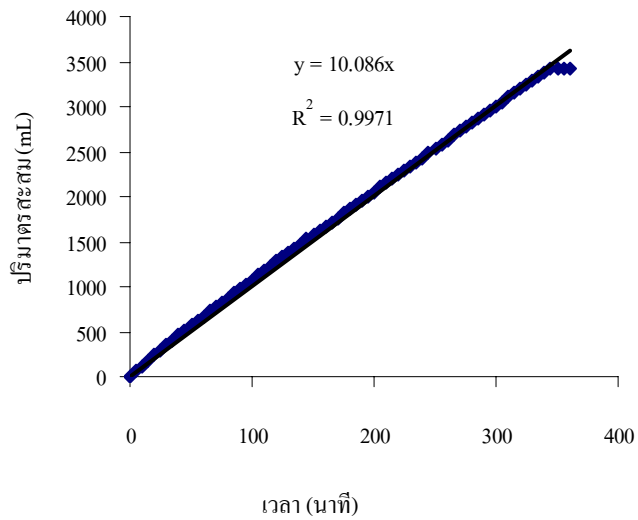
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1228.0	239.33	8.43	9.90	96
120	1278.0	243.33	8.32	10.80	128
125	1328.5	246.29	8.42	10.90	400
130	1378.5	247.29	8.25	11.6	176
135	1428.5	264.57	8.34	14.3	96
140	1477.5	281.86	8.30	19.5	160
145	1526.0	281.29	8.31	23.4	272
150	1575.0	277.10	8.29	20.0	128
155	1623.0	274.43	8.29	22.3	96
160	1670.5	270.24	8.16	19.0	96
165	1718.0	272.67	8.19	21.2	96
170	1764.5	268.67	8.14	18.9	96
175	1812	270.62	8.14	20.8	128
180	1858.5	269.86	8.13	21.2	144
185	1906.0	270.57	8.10	22.6	96
190	1954.0	269.29	8.06	25.3	64
195	2002.5	275.48	7.97	25.8	160
200	2051.5	272.24	8.00	24.5	32
205	2100.5	275.05	8.02	28.3	112
210	2146.5	280.24	7.97	26.8	112
215	2193.0	281.24	8.01	21.9	160
220	2239.0	290.57	7.99	28.4	144
225	2287.0	284.29	7.98	27.1	176
230	2335.0	291.62	7.93	30.5	128
235	2383.5	291.38	7.98	33.9	160

ตารางที่ 10 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงน้ำตาลหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 496.07 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
240	2431.5	290.48	7.92	22.8	112
245	2481.0	291.33	7.89	22.7	168
250	2531.0	297.00	7.90	20.5	112
255	2581.0	303.24	7.89	20.4	160
260	2630.0	243.24	7.94	19.5	128
265	2678.5	243.24	7.88	17.6	128
270	2726.0	238.43	7.82	16.0	112
275	2774.0	243.24	7.84	14.9	112
280	2821.5	247.00	7.88	15.1	96
285	2869.0	238.95	7.88	14.5	160
290	2915.0	247.33	7.91	11.0	128
295	2962.0	250.43	7.95	10.5	128
300	3008.5	251.67	7.99	10.2	64
305	3055.5	253.24	7.99	10.4	64
310	3102.5	256.14	8.09	10.1	144
315	3149.5	256.67	8.12	9.3	48
320	3196.5	260.86	7.94	13.5	128
325	3243.5	265.90	7.94	13.4	136
330	3290.0	254.24	7.93	14.3	168
335	3336.5	257.52	7.94	14.7	32
340	3383.5	252.48	7.91	14.0	104
345	3430	275.86	7.83	14.6	136
350	3476.5	283.76	7.91	14.8	120
355	3523.5	278.29	7.93	14.6	192
360	3569.5	287.81	7.92	15.9	168



รูปที่ 10.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีแดงน้ำตาลดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 496.07 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.53 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 10.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของน้ำเสียสีแดงน้ำตาล ที่ผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ก11. การศึกษาผลการดูดซับสีน้ำตาลทอง (สีย้อมตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก11 ความเข้มข้นของน้ำเสียน้ำตาลทองหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.34$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	67.0	0	8.69	1.56	136
10	129.0	1.47	8.76	0.88	104
15	192.0	0.89	8.76	0.36	184
20	255.5	0.30	8.69	1.14	176
25	317.0	0.19	8.62	0.75	144
30	377.0	0.19	8.53	0.89	120
35	439.0	0.26	8.49	0.37	128
40	494.5	0.43	8.36	0.965	136
45	553.5	0.74	8.38	0.78	144
50	611.5	1.89	8.32	2.7	160
55	668.5	2.09	8.29	1.75	104
60	725.0	3.23	8.31	2.07	152
65	781.0	4.47	8.28	2.47	144
70	837.5	6.43	8.18	1.6	152
75	892.0	8.81	8.18	2.11	168
80	947.0	11.81	8.14	2.15	144
85	1001.0	15.38	8.10	2.27	160
90	1055.0	20.49	8.14	2.58	128
95	1108.0	24.79	8.12	3.01	88
100	1161.0	28.91	8.09	3.15	152
105	1214.0	33.49	8.11	3.81	176
110	1268.0	37.89	8.07	4.00	176

ตารางที่ ค11 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำตาลทองหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.34 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

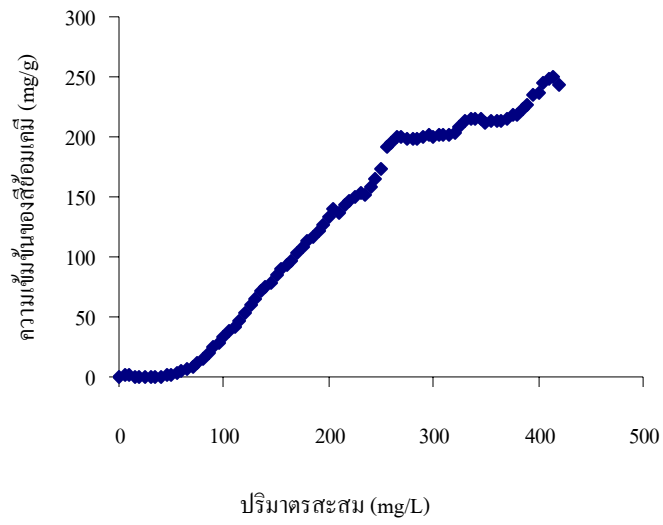
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1321.0	42.00	8.05	4.50	152
120	1375.0	47.28	8.04	4.82	168
125	1428.0	53.23	8.04	5.28	112
130	1482.0	59.83	8.03	4.93	168
135	1535.0	65.49	8.02	5.36	184
140	1588.5	71.23	8.03	5.87	48
145	1641.5	74.68	7.99	6.01	176
150	1694.5	78.89	7.99	6.28	192
155	1746.5	84.47	8.01	6.41	192
160	1799.0	89.28	7.98	6.31	144
165	1851.0	93.32	7.98	3.90	192
170	1903.5	97.21	7.98	7.00	176
175	1955.5	102.70	7.98	7.35	160
180	2007.5	107.81	7.97	7.21	160
185	2059.5	112.57	7.93	7.40	176
190	2111.5	117.38	7.98	7.47	144
195	2163.5	121.72	8.03	7.90	144
200	2215.5	127.09	7.99	8.01	136
205	2266.5	132.79	7.93	8.40	152
210	2317.5	140.62	7.98	9.00	176
215	2368.5	135.89	7.96	8.76	352
220	2416.5	144.13	7.96	9.21	176
225	2465.5	146.64	7.94	8.99	192
230	2514.5	150.51	7.94	9.42	160
235	2563.0	153.96	7.91	10.1	176

ตารางที่ ค11 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำตาลทองหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.34 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

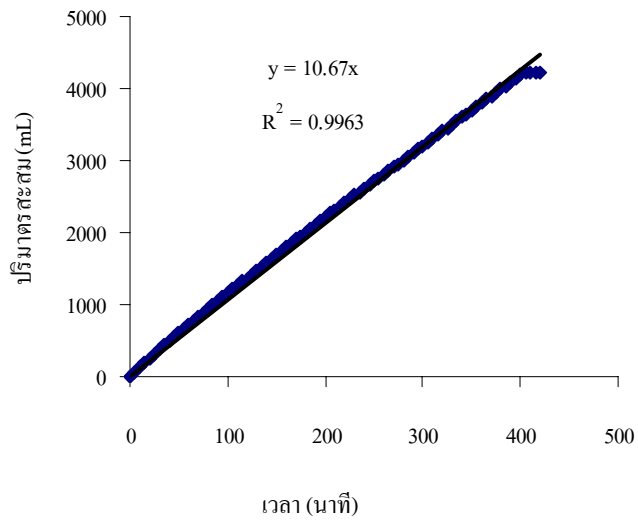
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
240	2612.0	151.43	7.93	11.3	176
245	2660.5	158.19	7.85	12.1	176
250	2709.5	164.36	7.90	13.1	224
255	2759.0	172.64	7.88	13.3	264
260	2808.5	192.30	7.97	13.3	232
265	2858.0	194.32	7.98	13.0	432
270	2907.0	199.43	7.93	13.5	200
275	2957.0	199.72	7.99	12.3	184
280	3007.0	198.38	8.03	11.0	192
285	3057.0	197.85	7.83	11.0	176
290	3107.0	197.57	7.91	12.1	192
295	3157.0	199.45	7.97	13.5	160
300	3207.0	202.13	7.96	12.9	144
305	3257.0	200.00	7.97	12.4	56
310	3307.0	201.53	7.97	12.4	328
315	3356.5	202.19	7.95	12.4	288
320	3406.5	201.89	7.93	11.0	208
325	3455.5	203.09	7.90	13.5	176
330	3505.0	207.51	7.91	14.9	464
335	3554.0	212.96	7.94	14.5	152
340	3603.0	214.94	7.98	15.0	168
345	3652.0	214.38	7.97	15.2	272
350	3701.0	214.30	7.98	15.7	160
355	3750.5	211.87	8.00	15.8	192
360	3798.5	212.51	8.01	15.8	144

ตารางที่ ค11 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำตาลทองหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 499.34 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
365	3847.5	213.51	7.97	14.3	24
370	3895.5	213.40	8.04	15.6	88
375	3944.0	215.17	8.05	14.8	48
380	3992.0	217.94	8.01	15.3	48
385	4040.0	218.91	7.99	15.5	64
390	4088.0	223.96	8.05	15.9	64
395	4136.5	227.00	8.08	16.1	32
400	4184.5	235.62	8.00	16.3	64
405	4233.5	236.19	8.01	16.7	64
410	4233.5	245.17	8.18	17	16
415	4233.5	248.81	8.06	17.2	48
420	4233.5	250.43	8.09	17.2	48



รูปที่ 11.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเกลือที่น้ำตาลทอง ดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 499.34 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.08 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 11.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเกลือที่น้ำตาลทองหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ก12. การศึกษาผลการดูดซับสีเขียวก้านมะลิ (สีเขียวมรกต) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก12 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 497.20$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

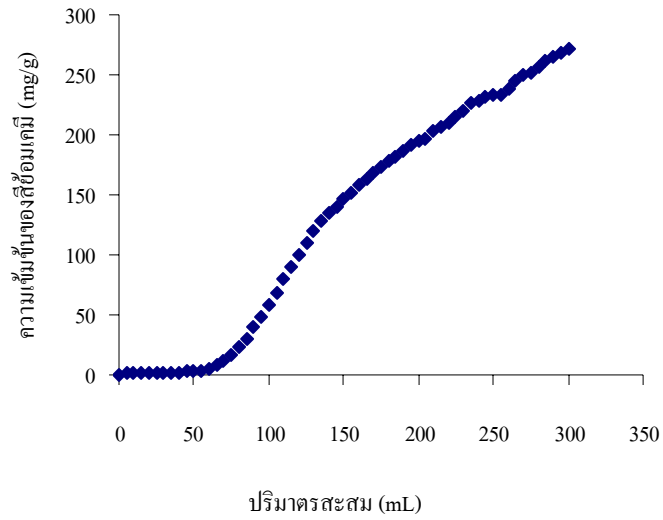
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	56.0	1.60	9.63	4.70	33.1
10	112.0	1.60	9.12	1.57	66.3
15	168.0	1.60	9.04	1.80	11.0
20	221.0	1.60	9.00	1.33	33.1
25	275.0	1.60	8.97	1.07	110.5
30	328.0	1.23	8.97	1.05	121.5
35	380.0	0.90	8.90	8.85	132.6
40	431.5	1.18	8.88	0.73	198.9
45	483.0	3.25	8.94	0.99	99.4
50	533	3.75	8.88	0.75	127.6
55	583	4.15	8.79	0.874	154.7
60	633	5.73	8.83	1.35	221.0
65	683	8.23	8.80	1.63	66.3
70	732	12.18	8.76	1.92	596.7
75	781.5	17.23	8.64	2.63	221.0
80	830.5	23.40	8.71	3.13	596.7
85	879.0	30.78	8.69	3.02	132.6
90	928.0	39.23	8.69	3.38	221.0
95	977.0	49.00	8.66	3.32	552.5
100	1025.5	58.40	8.60	3.86	-
105	1074.5	68.25	8.62	3.85	-
110	1122.5	79.48	8.60	3.72	-

ตารางที่ ค12 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 497.20 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

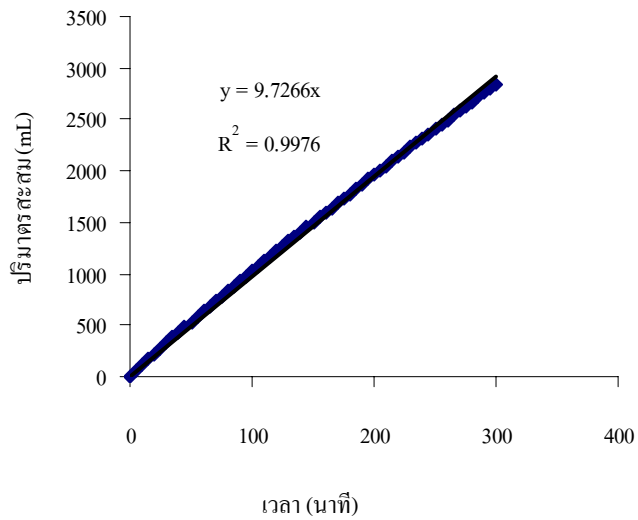
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1170.5	90.23	8.59	3.69	-
120	1218.5	100.35	8.57	3.85	-
125	1266.0	110.03	8.55	3.20	-
130	1313.0	119.23	8.54	3.25	-
135	1360.5	127.58	8.05	2.89	-
140	1407.5	135.25	8.47	3.02	-
145	1454.5	140.75	8.46	2.62	-
150	1501.0	145.85	8.44	2.64	-
155	1548.0	151.50	8.45	2.45	-
160	1594.0	157.80	8.40	2.38	-
165	1641.0	163.83	8.39	2.21	-
170	1687.0	167.83	8.46	2.08	-
175	1733.0	173.48	8.34	2.16	-
180	1779.0	177.58	8.39	2.08	-
185	1825.0	181.78	8.32	1.88	-
190	1870.5	185.90	8.34	1.95	-
195	1915.5	191.1	8.34	2.02	-
200	1960.5	194.63	8.30	1.90	-
205	2005.5	196.75	8.33	2.02	-
210	2049.5	202.73	8.30	1.80	-
215	2094.5	206.28	8.40	1.75	-
220	2138.5	210.48	8.32	1.75	-
225	2183.5	214.83	8.27	1.81	-
230	2228.0	249.23	8.30	2.91	-
235	2273.0	226.50	8.29	1.82	-

ตารางที่ ค12 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 497.20$ mg/L
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
240	2317.5	228.98	8.24	1.91	-
245	2362.0	231.50	8.22	1.74	-
250	2406.0	233.825	8.24	1.81	-
255	2450.5	234.08	8.31	1.80	-
260	2494.5	237.53	8.25	4.04	-
265	2538.0	244.48	8.31	2.29	-
270	2582.0	250.13	8.00	2.83	-
275	2626.0	252.43	8.25	2.16	-
280	2669.5	255.88	8.26	2.11	-
285	2713.5	261.75	8.24	2.07	-
290	2757.0	265.33	8.24	1.95	-
295	2802.0	267.78	8.17	2.24	-



รูปที่ ค12.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 497.20 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.48 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ ค12.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีเขียวก้านมะลิหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

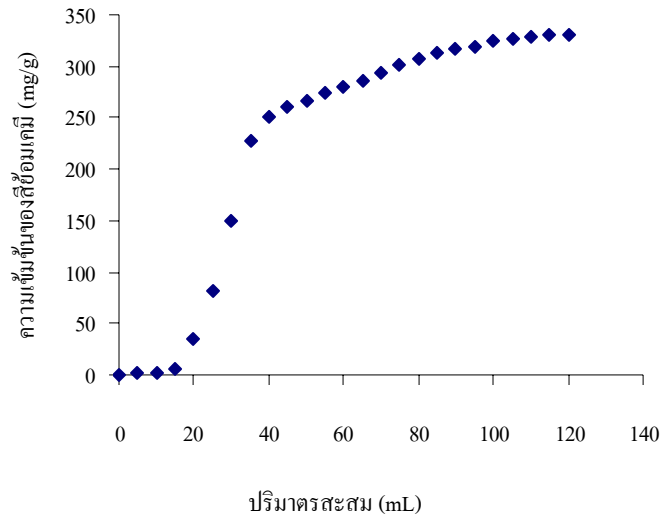
ก13. การศึกษาผลการดูดซับสีไฟลเน่า (สีข้อมตราสิงโตคิกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก13 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีไฟลหลังจากผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 343.84$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

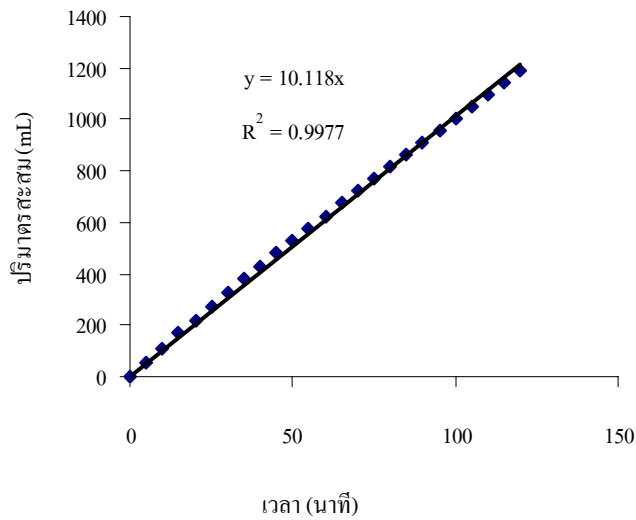
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	56.0	2.84	9.64	4.29	62.0
10	112.0	2.84	9.10	3.97	183.3
15	168.0	5.06	9.01	5.81	53.9
20	221.5	35.86	8.97	7.78	226.4
25	274.5	82.49	8.91	2.99	118.6
30	325.5	150.45	9.00	4.64	312.7
35	377.5	228.31	8.84	5.94	280.3
40	429.5	251.09	8.83	5.27	172.5
45	479.0	261.17	8.78	6.11	614.6
50	528.0	266.79	8.73	5.78	183.3
55	577.0	273.25	8.73	6.04	118.6
60	625.0	279.55	8.68	6.46	140.2
65	673.0	285.54	8.82	6.55	32.3
70	720.0	292.84	8.68	6.64	161.7
75	773.5	301.08	8.70	6.91	53.9
80	813.5	307.27	8.63	6.71	226.4
85	860.5	312.16	8.59	7.35	53.9
90	906.5	317.17	8.55	6.93	161.7
95	957.5	319.53	8.57	6.41	150.9
100	999.5	324.23	8.56	6.52	-
105	1047.5	327.00	8.53	8.50	-
110	1093.5	327.69	8.52	6.69	-

ตารางที่ ค13 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีโพลีไฟลหลังจากผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 343.84 \text{ mg/L}$ และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1141.5	331.18	8.48	6.81	-
120	1187.5	331.15	8.46	8.46	-



รูปที่ 13.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเกลือที่ไหลผ่านดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 343.84 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.90 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 13.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเกลือที่ไหลผ่านหลังจากดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ค14. การศึกษาผลการดูดซับที่เขี้ยวตองอ่อน (สีย้อมตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ๑๑๔ ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวตองอ่อนหลังผ่านหอดูดซับที่ $c_0 = 493.82 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

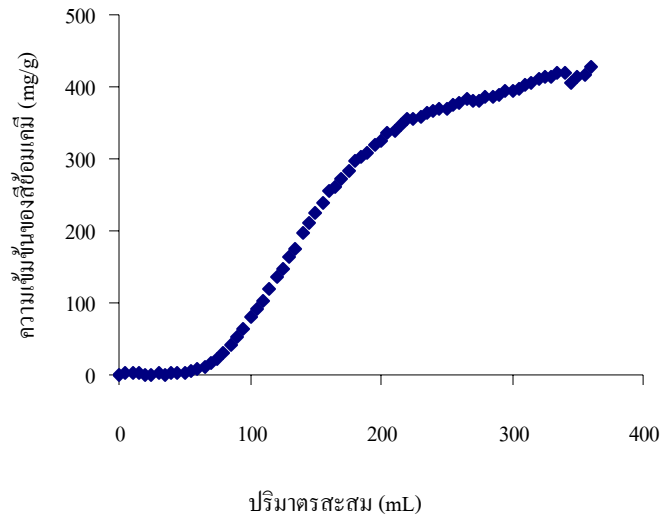
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	59.0	3.38	9.54	2.11	47.0
10	117.5	3.38	9.13	2.78	47.0
15	175.5	3.71	8.98	3.12	74.6
20	232.0	1.32	8.91	3.24	52.5
25	289.0	1.31	8.87	3.81	88.4
30	345.5	1.51	8.83	3.52	187.8
35	401.5	1.15	8.81	3.75	143.6
40	456.5	1.67	8.80	3.83	165.7
45	511.5	1.64	8.80	4.01	232.0
50	565.5	3.84	8.75	4.00	99.4
55	620.5	4.69	8.80	4.21	121.5
60	674.0	7.33	8.74	4.49	121.5
65	727.5	11.67	8.74	5.49	232.0
70	780.5	17.22	8.70	6.49	364.6
75	834.0	21.60	8.72	8.59	430.9
80	886.5	31.13	8.60	12.2	430.9
85	940.5	41.73	8.60	13.1	497.2
90	993.0	54.16	8.56	14.6	563.5
95	1046.0	63.96	8.55	13.6	563.5
100	1098.5	79.47	8.50	14.7	-
105	1151.5	91.38	8.51	14.6	-
110	1203.5	103.09	8.49	14.7	-

ตารางที่ ๑๑๔ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวตองอ่อนหลังผ่านหอดูดซับที่ $c_0 = 493.82 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

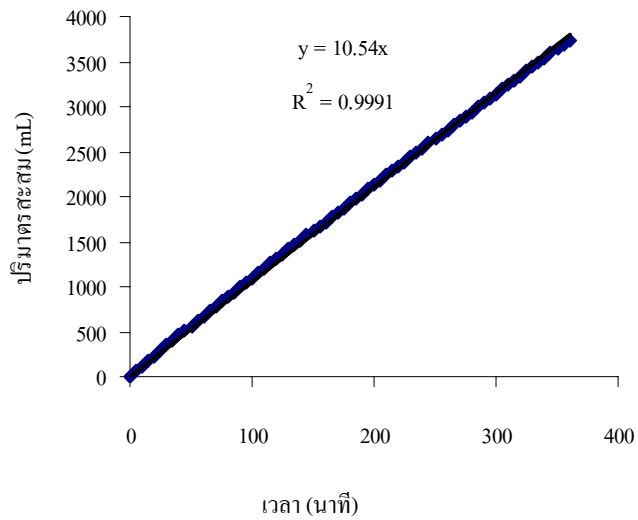
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1256.5	120.67	8.49	14.5	-
120	1308.5	136.87	8.47	14.5	-
125	1360.5	148.15	8.45	14.5	-
130	1412.5	164.36	8.45	14.1	-
135	1464.5	175.84	8.40	13.8	-
140	1516.0	197.09	8.40	14.6	-
145	1568.0	210.53	8.40	14.0	-
150	1619.0	225.13	8.35	13.4	-
155	1670.5	240.15	8.39	13.5	-
160	1721.5	256.76	8.33	13.6	-
165	1773.5	260.8	8.37	13.1	-
170	1824.5	272.56	8.30	12.5	-
175	1876.5	282.67	8.35	12.2	-
180	1928.5	296.75	8.32	13.1	-
185	1979.5	302.76	8.33	12.9	-
190	2030.5	308.49	8.27	13.6	-
195	2082.0	318.51	8.33	12.8	-
200	2132.5	324.44	8.24	12.6	-
205	2184.0	335.64	8.25	13.3	-
210	2235.0	339.40	8.30	13.2	-
215	2286.0	347.31	8.31	12.8	-
220	2336.0	354.56	8.30	12.6	-
225	2387.0	356.36	8.26	12.6	-
230	2437.0	358.75	8.26	12.4	-
235	2488.5	364.82	8.28	12.5	-

ตารางที่ ค14 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสี่เขียวตองอ่อนหลังจากผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 493.82$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
240	2538.5	365.84	8.28	11.1	-
245	2589.5	369.05	8.27	11.7	-
250	2640.0	370.05	8.25	11.0	-
255	2691.0	375.18	8.25	11.2	-
260	2741.0	376.53	8.25	11.3	-
265	2792.0	382.55	8.22	11.0	-
270	2843.0	381.65	8.22	9.52	-
275	2892.0	380.22	8.26	5.45	-
280	2942.0	385.36	8.22	5.74	-
285	2991.0	385.42	8.20	5.64	-
290	3041.0	387.65	8.18	6.45	-
295	3091.0	393.36	8.17	5.56	-
300	3141.0	394.11	8.16	5.28	-
305	3192.0	396.20	8.14	5.16	-
310	3241.5	404.16	8.15	5.01	-
315	3292.0	406.24	8.18	5.09	-
320	3342.0	410.2	8.12	4.96	-
325	3392.0	413.76	8.09	4.83	-
330	3441.0	414.6	8.12	5.21	-
335	3491.0	420.36	8.13	4.88	-
340	3540.0	420.62	8.12	4.70	-
345	3590.0	405.57	8.12	4.86	-
350	3640.0	414.62	8.11	5.02	-
355	3690.0	417.45	8.06	5.15	-
360	3739.5	427.05	8.12	5.21	-



รูปที่ 14.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียนีเกียตองอ่อนดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 493.82 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.39 \text{ cm}^3/\text{min}$

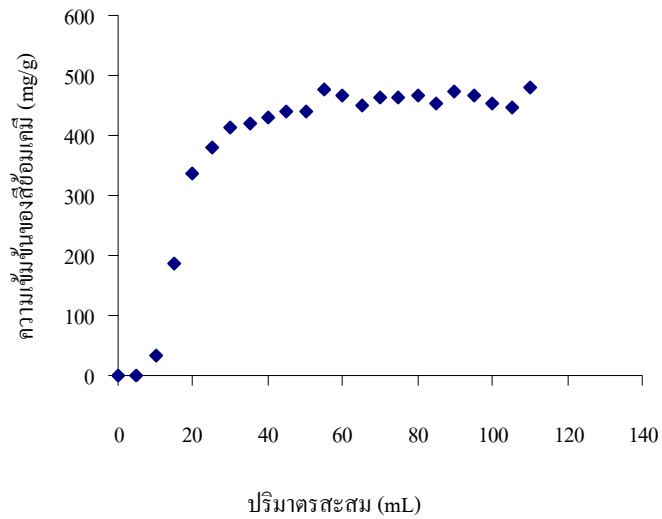


รูปที่ 14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียนีเกียตองอ่อนหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

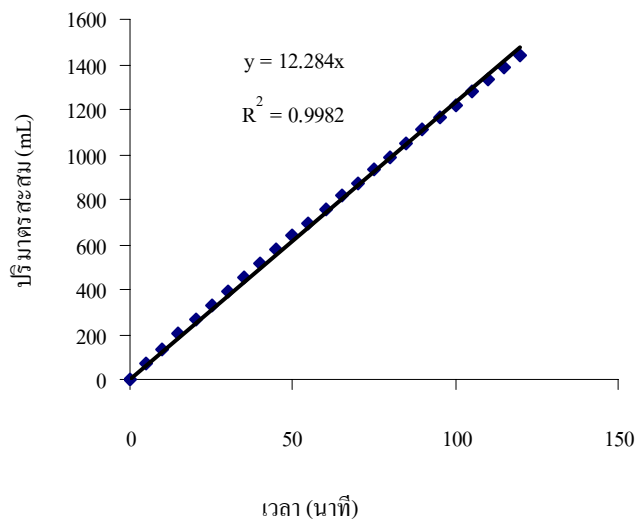
ก15. การศึกษาผลการดูดซับสีดํา (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก15 ความเข้มข้นของน้ำเสียดําลงผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 491.80$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	68	0.3	9.98	32.3	110.5
10	136	34.8	9.84	29.7	176.8
15	202	187.0	9.64	24.8	265.2
20	268	335.6	9.34	23.3	309.4
25	330	379.4	9.23	22.8	353.6
30	392	414.2	9.17	22.3	309.4
35	453	419.1	8.88	22.3	353.6
40	514	431.0	8.81	21.8	375.7
45	575	440.8	8.73	21.2	353.6
50	636	439.5	8.46	21.2	375.7
55	697	476.1	8.60	20.6	464.1
60	756	467.6	8.43	21.5	501.7
65	815	448.8	8.31	21	362.4
70	874	463.9	8.28	20.9	716.0
75	932	463.7	8.22	20.5	638.7
80	991	466.2	8.24	20.8	397.8
85	1049	452.2	8.24	20.4	377.9
90	1107	474.0	8.19	20.2	430.9
95	1165	468.2	8.17	20.1	419.9
100	1221	453.1	8.04	19.9	442.0
105	1276	446.7	8.07	19.9	442.0
110	1330	480.8	8.06	19.8	375.7



รูปที่ 15.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีดำดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 491.80$ mg/L และ $Q_b = 11.98 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 15.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของน้ำเสียสีดำหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

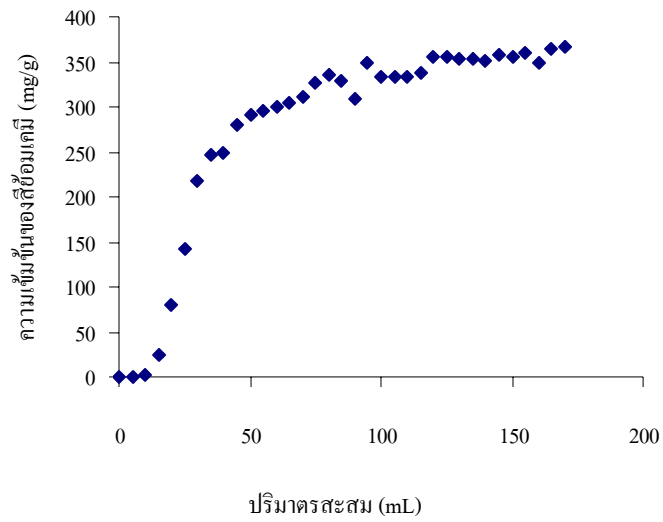
ก16. การศึกษาผลการดูดซับสีกรมท่า (สีย้อมผ้าตราไบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับจำลอง

ตารางที่ ก16 ความเข้มข้นที่ผ่านหอดูดซับของน้ำเสียสีกรมท่าหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 380.90$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

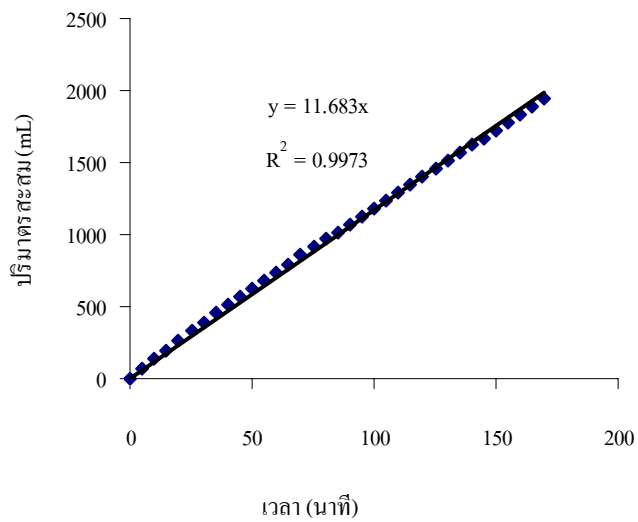
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	63.0	0.1	8.30	1.16	11.6
10	132.0	1.5	8.86	14.2	92.8
15	199.0	24.9	8.89	62.4	185.5
20	265.0	80.3	8.80	121.0	231.9
25	329.0	142.3	8.74	122.0	255.1
30	392.0	218.6	8.64	105.0	197.1
35	453.5	247.5	8.57	73.8	324.6
40	513.0	247.9	8.62	45.6	231.9
45	571.0	279.7	8.62	29.9	243.5
50	629.0	291.8	8.60	20.9	243.5
55	686.0	295.1	8.61	14.6	313.0
60	742.5	300.7	8.65	13.4	324.6
65	798.5	304.2	8.64	12.4	255.1
70	854.5	311.2	8.66	11.4	231.9
75	910.5	326.1	8.62	10.5	301.5
80	965.5	335.2	8.62	10.6	405.8
85	1019.5	329.5	8.59	10.5	313.0
90	1075.0	309.6	8.60	10.7	324.6
95	1130.0	349.1	8.60	10.8	394.2
100	1185.0	333.0	8.59	10.2	173.9
105	1239.0	333.4	8.58	10.3	394.2
110	1294.0	334.2	8.67	10.1	313.0

ตารางที่ ค16 (ต่อ) ความเข้มข้นที่ผ่านหอดูดซับของน้ำเสียสีกรมท่าหลังผ่านหอดูดซับที่ $c_0 = 380.90$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1347.5	338.5	8.56	10.3	139.1
120	1400.5	356.3	8.56	10.9	115.9
125	1454.5	354.7	8.53	10.8	185.5
130	1510.0	354.3	8.54	11.1	301.5
135	1564.5	353.4	8.56	10.9	220.3
140	1618.5	350.1	8.55	10.7	185.5
145	1672.5	358.9	8.53	10.5	243.5
150	1727.0	356.5	8.52	9.8.0	197.1
155	1781.0	360.8	8.56	9.16	162.3
160	1836.0	349.5	8.56	8.73	185.5
165	1890.0	364.7	8.53	8.95	231.9
170	1943.0	366.0	8.61	7.85	139.1



รูปที่ 16.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีกรมท่าดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 380.90 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.43 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 16.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของน้ำเสียสีกรมท่าหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

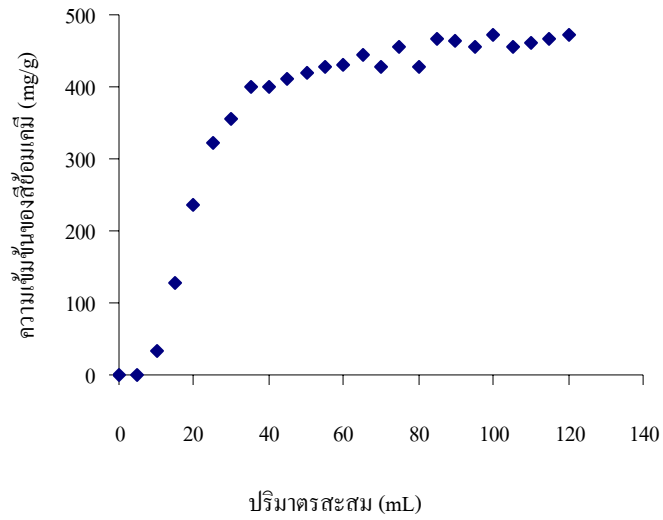
ก17. การศึกษาผลการดูดซับสีเขียว (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก17 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 494.6$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

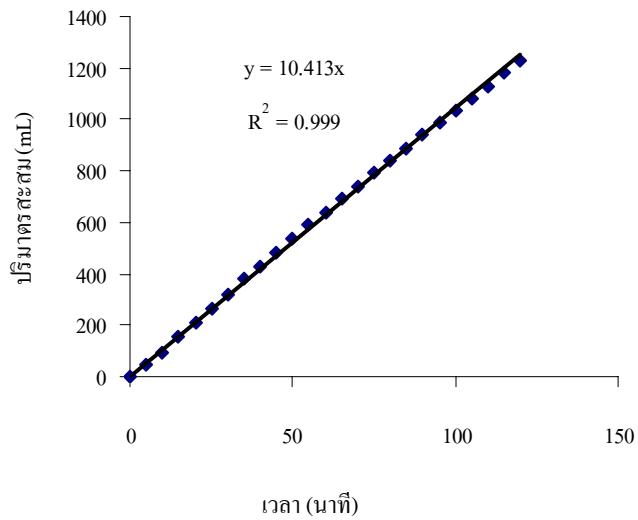
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	44.0	0.9	8.08	1.43	18.52
10	96.0	34.3	80.7	1.09	38.89
15	153.0	127.3	8.34	0.74	51.85
20	209.0	235.6	8.34	0.88	74.07
25	267.0	322.5	8.29	0.79	77.78
30	321.0	354.6	8.22	0.85	70.37
35	377.5	400.3	8.14	1.63	77.78
40	430.5	399.8	8.11	0.88	85.18
45	483.5	412.1	8.09	0.86	85.18
50	535.5	419.9	8.07	0.89	74.07
55	590.5	429.1	8.08	0.94	122.22
60	640.5	429.8	8.02	1.07	159.25
65	691.5	444.2	7.99	1.01	192.59
70	741.5	429.1	7.98	1.06	155.55
75	791.5	455.2	8.04	1.06	159.25
80	840.5	427.4	7.98	1.13	148.14
85	889.5	467.5	7.97	0.99	118.52
90	937.5	464.7	7.95	0.92	151.85
95	986.5	455.1	7.95	0.96	196.29
100	1034.5	472.5	7.91	0.75	185.18
105	1083.5	454.7	7.92	1.12	199.99
110	1131.5	461.1	7.91	0.75	248.14

ตารางที่ ค17 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 494.6$ mg/L และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1180.0	467.7	7.92	0.79	318.51
120	1227.0	473.3	7.89	0.77	425.91



รูปที่ 17.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเขียวดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 494.60$ mg/L และ $Q_b = 10.23$ cm³/min



รูปที่ 17.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของน้ำเสียสีเขียวหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

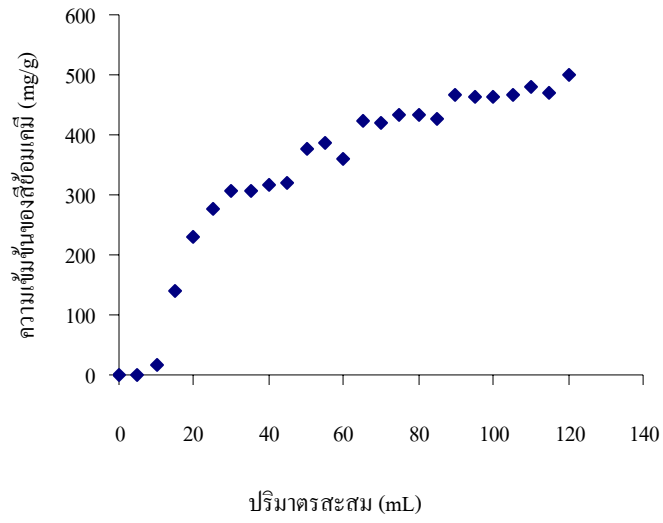
ก18. การศึกษาผลการดูดซับสีบานเย็น (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก18 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีบานเย็นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 504.2 \text{ mg/L}$ และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

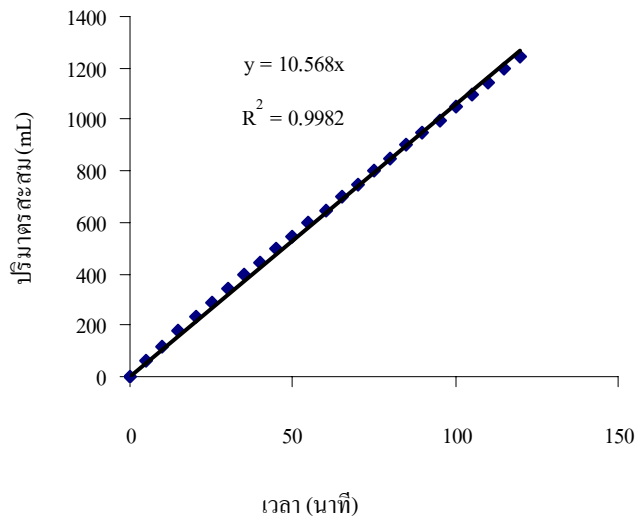
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	59.8	0.37	8.39	4.85	53
10	117.8	15.14	8.85	25.4	121
15	175.8	140.79	8.91	27.9	265
20	232.8	230.84	8.68	31.3	402
25	288.8	277.37	8.63	30.3	409
30	339.8	305.15	8.66	25.5	443
35	392.8	305.92	8.80	23.9	417
40	443.8	315.69	8.57	24.2	447
45	495.8	318.77	8.42	23.3	474
50	546.8	375.47	8.47	23.4	470
55	597.8	385.29	8.32	23.4	492
60	648.8	358.56	8.34	23.4	530
65	699.8	425.00	8.36	23.2	485
70	749.8	421.60	8.14	23.3	439
75	800.8	434.87	8.24	23.6	504
80	850.8	434.87	8.23	23.6	504
85	900.8	426.05	8.24	23.9	508
90	949.8	465.80	8.26	23.4	879
95	998.8	464.71	8.22	23.3	515
100	1047.8	462.69	8.23	23.3	515
105	1096.8	465.17	8.42	23.2	492
110	1144.8	481.34	8.20	23.3	496

ตารางที่ ๑๑๘ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีบานเย็นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 504.2$ mg/L และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
105	1096.8	465.17	8.42	23.2	492
110	1144.8	481.34	8.20	23.3	496
115	1194.8	470.67	8.14	23.6	529
120	1242.82	500.97	8.13	23.5	492



รูปที่ 18.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีบานเย็นดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 504.20 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.36 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 18.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของน้ำเสียสีบานเย็นหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

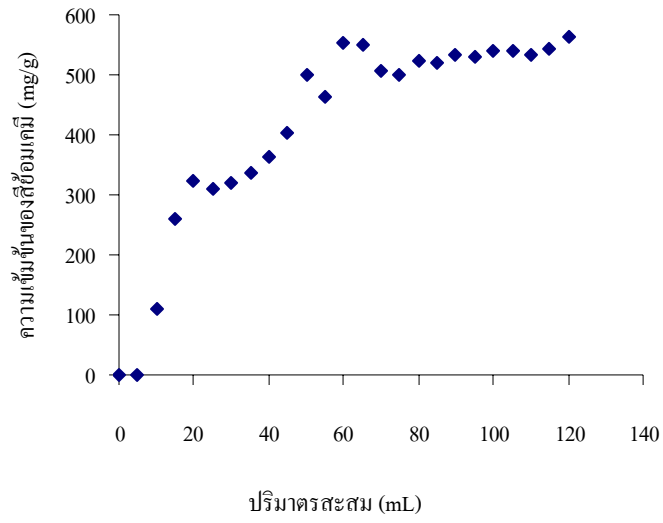
ก19. การศึกษาผลการดูดซับสีแดง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA - clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก19 ความเข้มข้นของน้ำเสี้ยวสีแดงหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 564.54$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

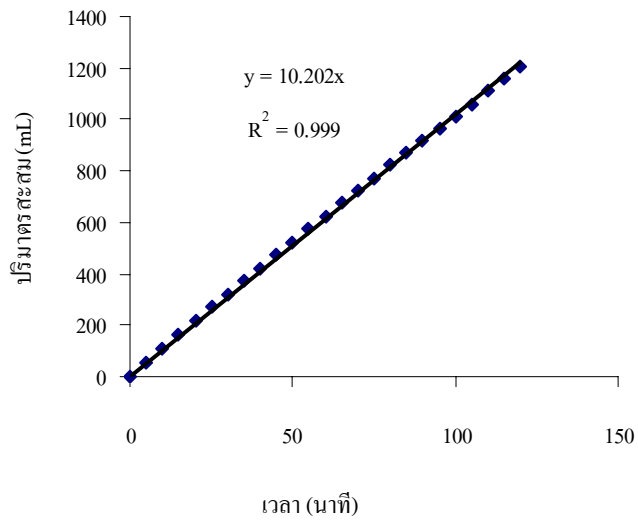
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	56.0	0.23	7.74	1.21	0
10	110.0	110.62	4.68	75.9	336
15	164.0	260.94	7.89	265	510
20	217.0	322.02	8.02	172	503
25	270.0	311.00	8.21	282	443
30	321.0	318.85	8.18	440	523
35	372.0	336.19	8.22	488	664
40	423.0	364.36	8.32	505	557
45	473.0	402.06	8.35	468	523
50	523.0	498.70	8.35	444	547
55	574.0	463.28	8.22	445	624
60	623.5	554.62	8.33	434	539
65	673.5	551.28	8.19	438	597
70	722.5	505.28	8.21	444	602
75	772.5	499.90	8.15	435	537
80	821.5	522.02	8.36	430	584
85	870.5	519.63	8.33	427	537
90	918.5	532.66	8.26	417	617
95	967.5	531.65	8.16	426	671
100	1014.5	539.34	8.19	426	745
105	1061.5	538.45	8.24	427	658
110	1108.5	532.99	8.16	430	570

ตารางที่ ๑๙ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแดงหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 564.54$ mg/L และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาท)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1156.5	543.71	8.14	413	480
120	1203.5	564.31	8.16	426	550



รูปที่ 19.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีแดงดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 564.54$ mg/L และ $Q_b = 10.03 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 19.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีแดงหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

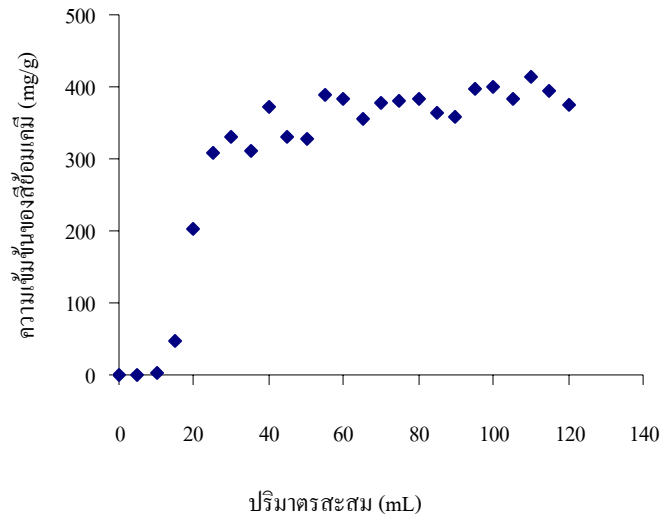
ก20. การศึกษาผลการดูดซับสีน้ำตาลเข้ม (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC – TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก20 ความเข้มข้นของน้ำเสียน้ำตาลเข้มหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 550.55$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

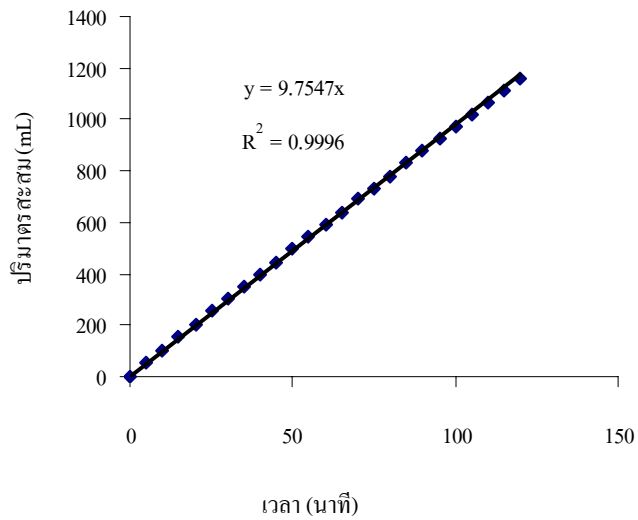
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	52.0	0.1	9.34	0.77	26.5
10	104.0	1.5	9.60	42.1	57.8
15	156.0	47.1	9.72	107.0	144.6
20	205.5	203.1	9.60	310.0	404.8
25	254.5	307.2	9.45	342.0	462.7
30	302.5	331.4	9.35	267.0	520.5
35	350.5	310.1	9.29	258.0	520.5
40	398.5	372.9	9.20	259.0	790.4
45	446.5	330.1	9.15	167.0	877.1
50	496.5	327.5	9.21	188.0	637.4
55	544.5	387.8	9.05	105.0	703.3
60	589.5	382.3	9.02	171.0	593.4
65	640.0	355.8	9.14	295.0	725.3
70	691.0	378.9	9.04	192.0	835.2
75	733.0	380.6	8.94	130.0	703.3
80	781.0	383.4	8.92	83.1	802.2
85	828.5	364.3	8.92	138.0	670.3
90	876.5	357.0	8.93	144.0	857.1
95	923.5	397.9	8.85	85.9	813.2
100	970.5	399.0	8.85	26.7	659.3
105	1018.5	384.3	8.89	57.9	923.1
110	1066.5	412.7	8.86	112.0	879.1

ตารางที่ ค20 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 550.55 \text{ mg/L}$
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1114.5	395.1	8.82	44.8	791.2
120	1161.5	374.6	8.81	26.6	791.2



รูปที่ 20.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียน้ำตาลเข้มดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 500.55 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 9.68 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 20.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของน้ำเสียน้ำตาลเข้มหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

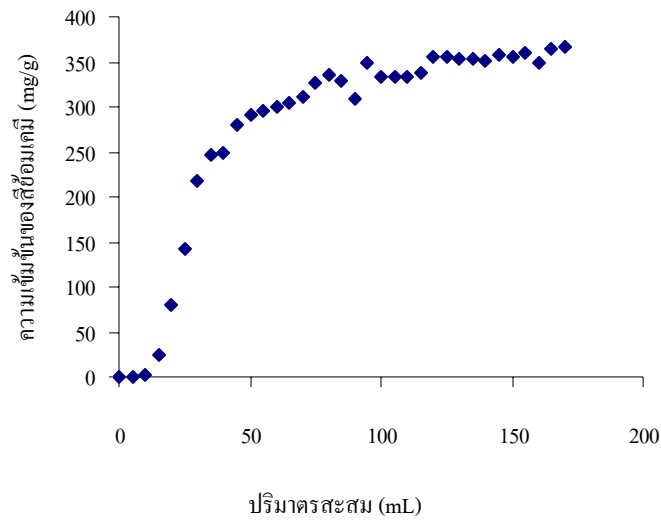
ก21. การศึกษาผลการดูดซับสีฟ้าเข้ม (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก21 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าเข้มหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 523.4$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

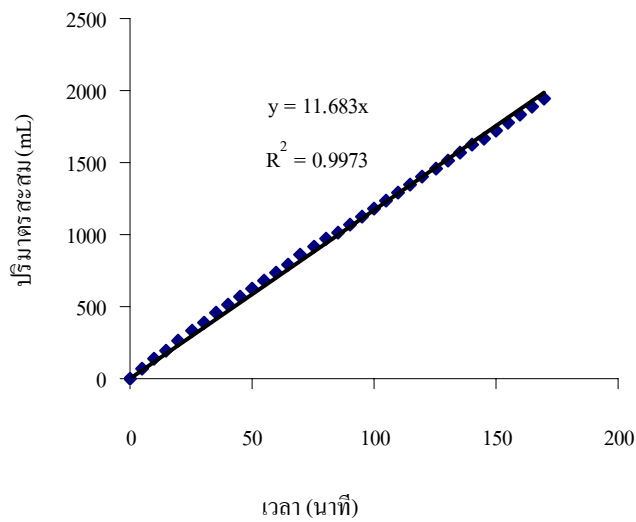
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	54.5	0.1	7.86	1.37	0
10	110.5	0.4	8.4	4.4	89.9
15	161.5	51.4	8.88	4.35	381.0
20	210.5	161.8	8.95	3.47	719.6
25	260.5	260.7	8.85	3.34	338.6
30	317.5	346.5	8.85	3.42	465.6
35	373.5	397.91	8.64	3.27	804.2
40	424.5	423.8	8.61	3.25	698.4
45	481.5	438.7	8.54	3.28	888.9
50	535	447.3	8.6	3.11	846.6
55	590	462.9	8.63	3.33	507.9
60	644	469.4	8.61	3.36	740.7
65	698	474.1	8.48	3.4	592.6
70	751	477.8	8.47	3.56	507.9
75	803.5	484.6	8.47	3.53	634.9
80	858.5	481.6	8.45	4.07	910.1
85	908.5	490.6	8.39	3.82	571.4
90	962.5	488.8	8.39	3.99	571.4
95	1014.5	490.3	8.37	3.95	529.1
100	1065.5	492.3	8.32	3.29	507.9
105	1116.5	495.3	8.3	3.07	-
110	1167.5	497.2	8.4	3.04	-

ตารางที่ ค21 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าเข้มหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 523.4 \text{ mg/L}$ และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1218.5	499.9	8.34	2.97	-
120	1268.5	506.6	8.31	3.07	-



รูปที่ 21.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีฟ้าเข้มดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 523.40 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.57 \text{ cm}^3/\text{min}$

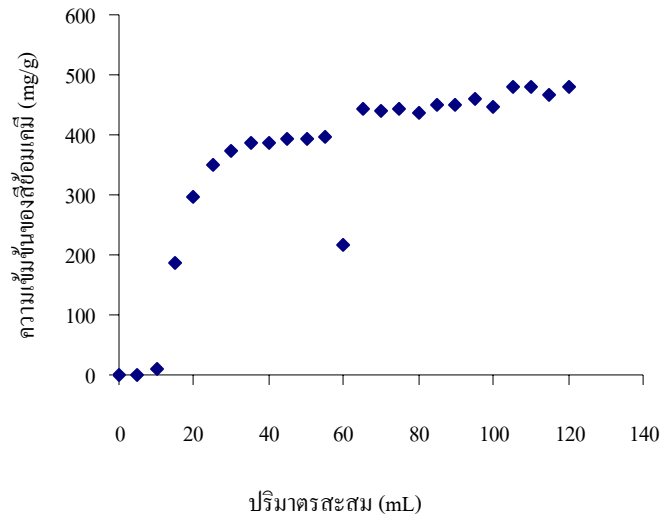


รูปที่ 21.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีฟ้าเข้มหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

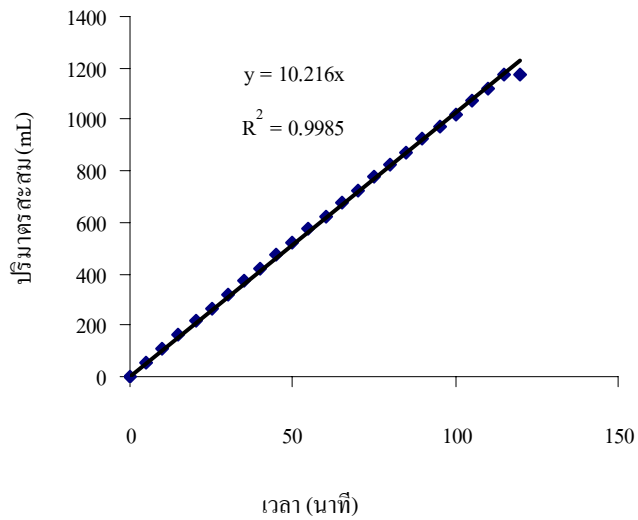
ก22. การศึกษาผลการดูดซับสีฟ้าอ่อน (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก22 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีฟ้าอ่อนหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 497.74$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	55.0	0.3	8.01	1.28	32.6
10	110.0	9.9	8.29	1.96	81.5
15	163.0	186.2	8.91	2.81	81.5
20	215.0	296.9	9.02	3.82	92.4
25	267.0	350.5	9.08	3.92	184.8
30	319.3	374.1	9.05	3.85	222.8
35	370.3	386.9	9.00	3.91	304.3
40	421.8	386.4	9.12	3.65	478.3
45	471.8	394.2	9.00	3.88	500.0
50	522.3	393.8	9.00	3.48	510.9
55	575.3	395.2	8.79	3.48	635.9
60	623.3	217.48	8.76	-	-
65	673.3	444.66	8.7	-	-
70	724.8	441.00	8.51	-	-
75	775.8	444.56	8.53	-	-
80	822.8	436.94	8.3	-	-
85	872.3	449.51	8.34	-	-
90	922.3	449.61	8.36	-	-
95	971.8	458.53	8.36	-	-
100	1020.8	447.43	8.2	-	-
105	1070.8	478.43	8.15	-	-
110	1120.8	481.50	8.15	-	-
115	1170.8	467.93	8.21	-	-



รูปที่ 22.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเกลือที่ฟ้าวอนดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 497.74 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.45 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 22.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเกลือที่ฟ้าวอนหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

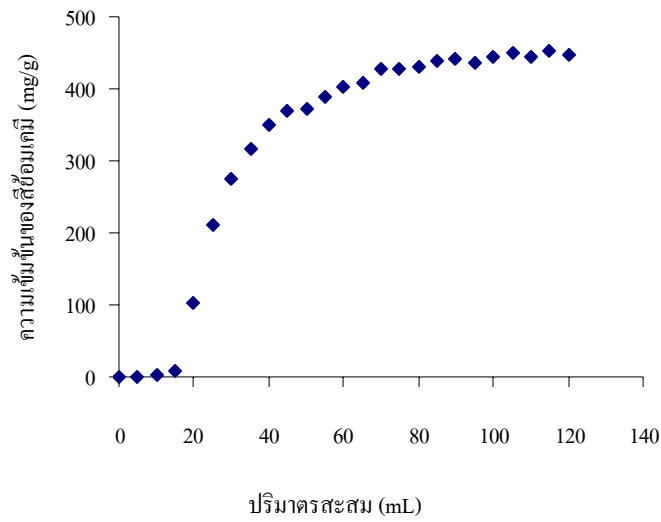
ก23. การศึกษาผลการดูดซับสีม่วง (สีย้อมฟ้ายาธาไลบรอน) โดยใช้ตัวดูดซับแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก23 ความเข้มข้นของน้ำเสี้ยวสีม่วงหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 494.3$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

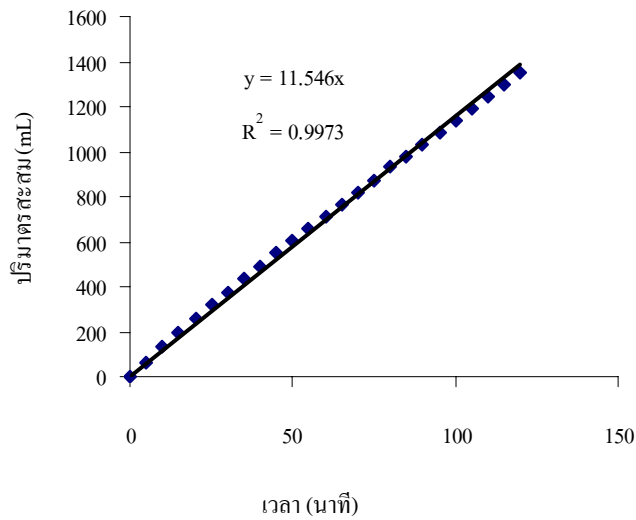
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	64.5	0.0	7.99	0.691	16.3
10	130.2	1.8	8.41	10.7	13.6
15	199.2	8.8	8.42	39.1	21.7
20	256.2	103.0	8.41	36.7	65.0
25	317.2	209.8	8.51	21.2	0.0
30	376.2	276.3	8.35	19.9	86.7
35	434.2	316.7	8.32	16.4	173.4
40	492.2	349.0	8.32	14.7	130.1
45	548.2	370.1	8.32	15.1	151.8
50	604.2	373.3	8.31	14.1	206.0
55	659.2	388.4	8.22	16.1	195.1
60	713.2	402.8	8.18	14	166.9
65	767.2	408.7	8.18	13.8	195.1
70	821.2	428.2	8.15	14	166.9
75	875.2	428.6	8.14	12.4	162.6
80	929.2	430.1	8.14	12.5	186.4
85	982.2	439.1	8.13	12.6	130.1
90	1035.2	441.6	8.13	12.7	121.4
95	1088.2	435.0	8.13	13.1	195.1
100	1141.2	444.7	8.1	13.1	162.6
105	1195.2	449.1	8.11	14.5	192.5
110	1248.2	445.5	8.09	12.1	192.5

ตารางที่ ค23 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีม่วงหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 494.3$ mg/L และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1302.2	453.0	8.06	11.7	192.5
120	1355.2	447.0	8.03	12.2	192.50



รูปที่ ค23.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีม่วงคูดชับโดยเร่คินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ที่ $c_0 = 494.30 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.29 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ ค23.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียสีม่วงหลังผ่านหอดูดชับกับเวลา โดยใช้เร่คินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดชับ

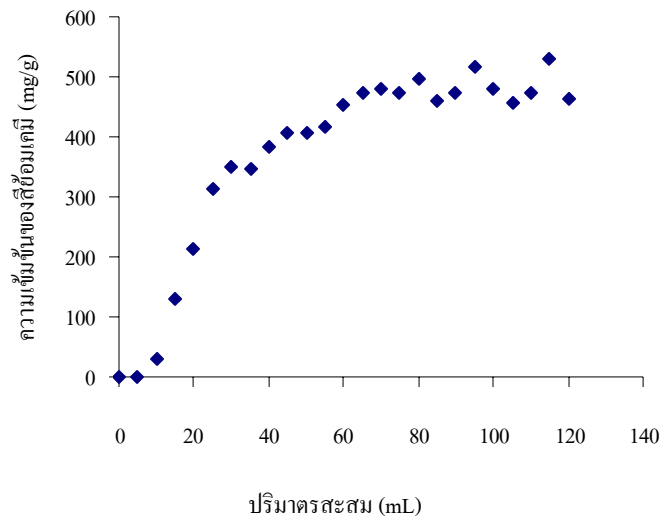
ก24. การศึกษาผลการดูดซับสีแสด (สีย้อมผ้าตราไบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก24 ความเข้มข้นของน้ำเสียดสีแสดหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 531.00$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

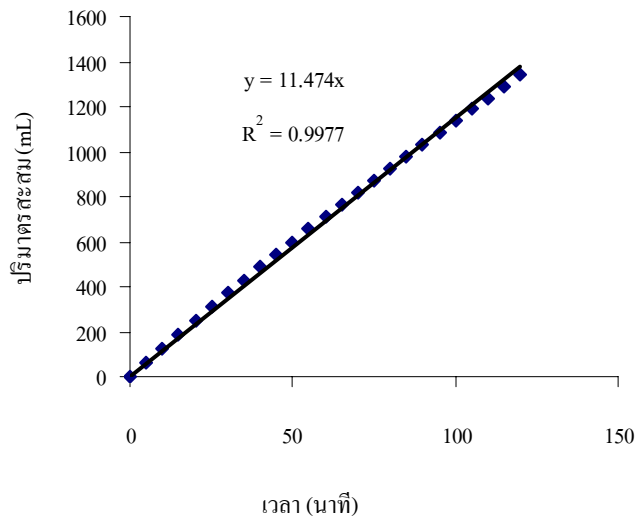
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	63.0	1.5	9.71	3.03	50.1
10	126.0	30.5	9.98	19.10	89.1
15	189.0	131.5	9.93	18.50	245.1
20	250.0	213.9	9.48	18.20	401.1
25	310.0	313.7	9	16.90	378.8
30	369.0	349.4	8.68	14.60	445.7
35	427.0	346.3	8.47	13.40	512.5
40	485.0	383.6	8.35	11.50	490.3
45	542.0	405.1	8.37	10.20	534.8
50	599.0	408.2	8.12	8.47	646.2
55	654.0	415.5	8.03	8.47	557.1
60	709.0	452.2	8.03	9.07	590.5
65	763.0	472.9	7.94	7.77	590.5
70	818.0	480.1	7.89	7.73	557.1
75	873.0	472.0	7.86	7.11	579.4
80	927.0	496.3	7.83	7.12	601.7
85	980.0	460.6	7.78	6.8	657.4
90	1033.0	471.9	7.75	6.86	601.7
95	1085.0	517.1	7.73	6.55	646.2
100	1137.0	480.6	7.66	6.70	579.4
105	1189.0	455.4	7.66	7.27	624.0
110	1240.0	472.4	7.65	6.32	646.2

ตารางที่ ค24 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีแสดหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 531.00$ mg/L และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1291.0	531.0	7.63	6.16	624.0
120	1341.0	464.0	7.58	6.02	624.0



รูปที่ 24.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียที่เสกดูด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 531.00$ mg/L และ $Q_b = 11.18 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 24.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียที่เสกดูที่ผ่านหอดูดซับกับเวลาของ โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

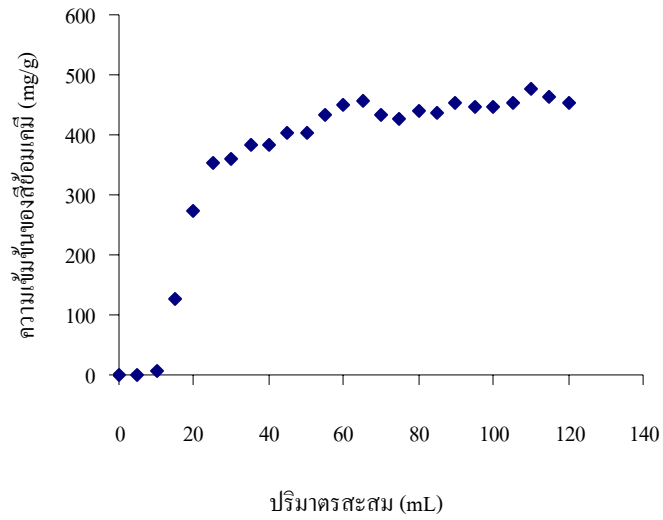
ก25. การศึกษาผลการดูดซับสีเหลืองตุ่น (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC – TDMA clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก25 ความเข้มข้นของน้ำเสียดสีเหลืองตุ่นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 513.00$ mg/L และ ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

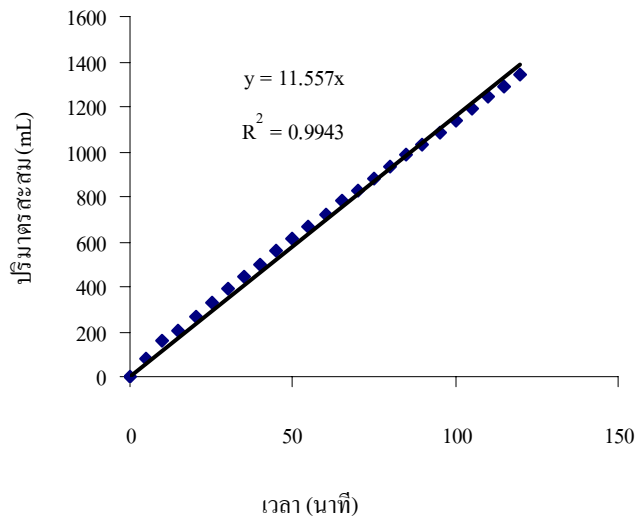
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	79.0	0.5	8.17	1.53	67.2
10	157.0	7.0	8.99	3.53	67.2
15	204.0	125.2	9.03	3.89	227.4
20	266.0	274.9	8.90	4.09	250.6
25	326.0	354.5	8.72	4.19	351.4
30	388.0	358.4	8.61	4.26	392.8
35	444.0	381.7	8.48	4.18	382.4
40	501.5	381.7	8.38	4.33	465.1
45	559.5	404.8	8.30	4.30	341.1
50	614.5	403.4	8.20	4.31	351.4
55	669.0	434.1	8.20	4.27	444.4
60	724.0	451.5	8.12	4.26	413.4
65	780.0	455.4	8.07	4.10	413.4
70	828.0	435.0	8.04	4.02	434.1
75	880.0	428.1	8.06	3.94	475.5
80	932.0	440.1	8.00	3.84	289.4
85	984.0	437.0	7.99	3.86	308.4
90	1034.5	454.4	7.90	3.89	250.6
95	1086.5	445.5	7.90	4.00	308.4
100	1138.5	448.0	7.90	4.14	144.6
105	1189.5	454.3	7.89	4.15	333.5
110	1240.5	476.7	7.77	4.07	366.3

ตารางที่ ค25 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองคุ่นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 513.00$ mg/L
และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1291.5	462.6	7.78	4.37	285.3
120	1341.5	451.8	7.81	3.77	183.1



รูปที่ ค25.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเหลืองต้นดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 513.00 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 11.18 \text{ cm}^3/\text{min}$

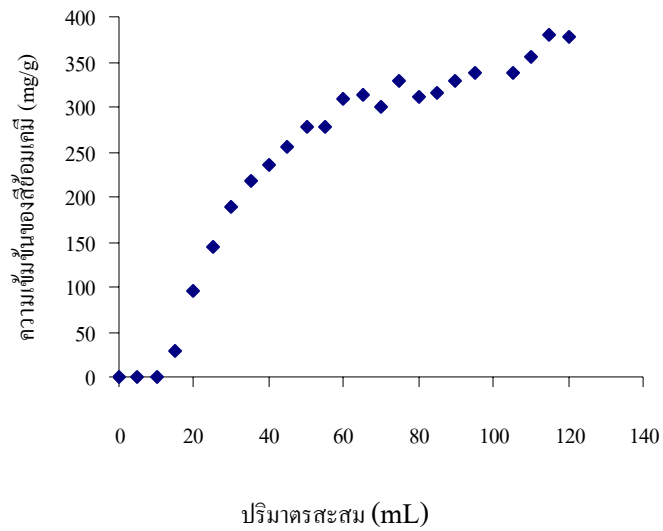


รูปที่ ค25.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมของสีเหลืองต้นหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

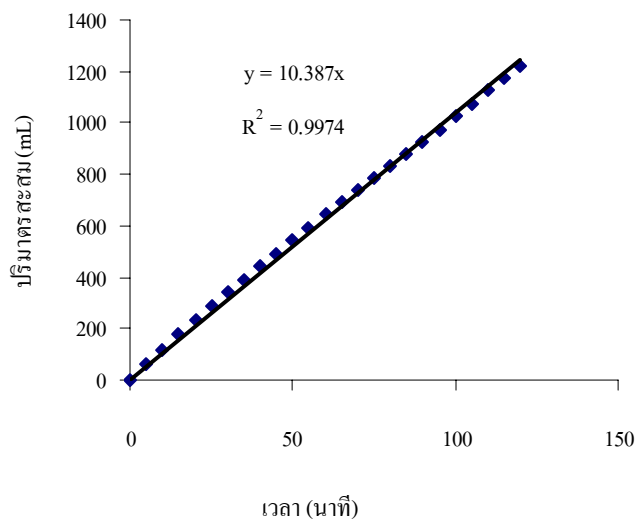
ก26. การศึกษาผลการดูดซับสีเหลือง (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก26 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 472.95$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	59.0	0.3	8.43	1.44	26.6
10	117.0	1.1	8.66	1.72	95.7
15	176.0	28.4	8.70	4.37	95.7
20	232.0	95.7	8.62	4.91	127.7
25	289.0	144.6	8.43	5.77	223.4
30	341.5	188.1	8.39	4.33	193.6
35	392.5	218.6	8.29	4.58	542.6
40	442.5	235.5	8.20	4.29	276.6
45	492.0	255.2	8.18	4.71	414.9
50	541.8	278.8	8.08	4.70	255.3
55	591.8	277.7	8.12	5.42	425.5
60	641.8	309.2	8.10	5.72	297.9
65	690.8	312.3	8.11	5.72	383.0
70	737.8	299.5	8.08	6.00	319.1
75	786.8	327.9	8.06	5.87	234.0
80	833.8	312.1	8.03	5.99	289.4
85	880.8	315.9	8.01	5.80	297.9
90	927.8	328.3	7.99	5.40	319.1
95	974.8	337.8	7.89	5.13	340.4



รูปที่ 26.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียสีเหลืองดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 472.95 \text{ mg/L}$ และ $Q_b = 10.20 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 26.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของน้ำเสียสีเหลืองหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

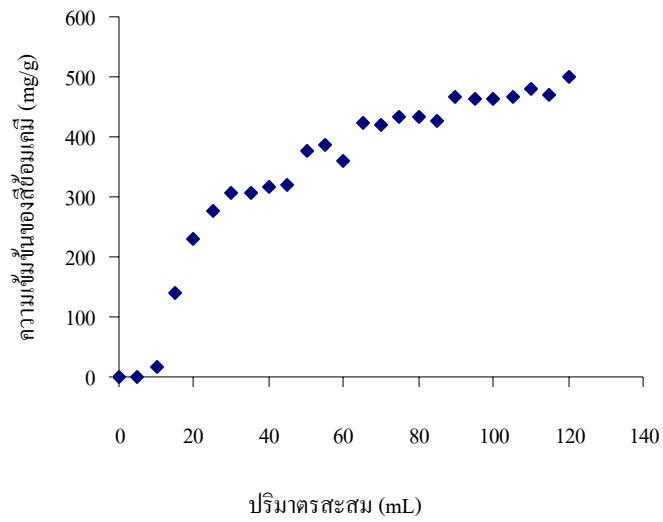
ก27. การศึกษาผลการดูดซับสีชมพู (สีย้อมผ้าตราใบหม่อน) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก27 ความเข้มข้นของน้ำเสียดสีชมพูหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 507.10$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

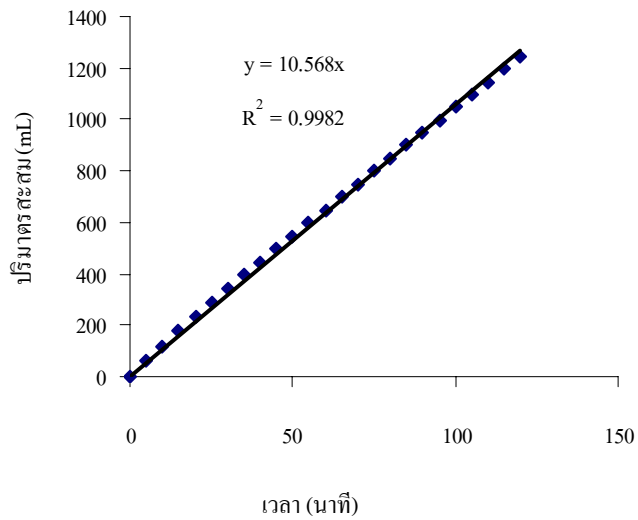
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	64.0	0.1	8.4	0.70	44.2
10	130.0	171.7	8.77	6.72	132.6
15	195.0	352.2	8.75	4.67	182.3
20	258.0	431.5	8.74	4.27	419.9
25	321.5	450.4	8.66	4.16	784.5
30	386.5	468.3	8.62	4.12	552.5
35	448.5	468.0	8.48	4.02	696.1
40	510.5	474.0	8.35	3.99	629.8
45	572.5	471.3	8.14	4.02	663.0
50	630.5	487.7	7.97	4.07	663.0
55	688.5	480.1	7.87	4.02	596.7
60	738.0	475.3	7.67	4.04	740.3
65	792.0	494.4	7.58	4.00	629.8
70	846.0	498.3	7.56	4.05	640.9
75	903.0	492.8	7.49	4.04	640.9
80	951.0	478.3	7.48	3.99	729.3
85	1009.0	485.5	7.48	3.97	132.6
90	1057.0	494.7	7.42	4.00	397.8
95	1110.0	492.0	7.4	4.04	419.9
100	1161.0	493.0	7.4	4.04	364.6
105	1214.0	501.2	7.38	4.22	486.2
110	1266.0	507.1	7.39	4.08	397.8

ตารางที่ ค27 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีชมพูหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 507.10$ mg/L และ
ค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1318.0	394.9	7.45	4.18	408.8
120	1369.2	477.5	7.4	4.20	408.8



รูปที่ ค27.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเกลือซึมพุดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 507.10$ mg/L และ $Q_b = 11.14 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ ค27.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเกลือซึมพุดึงผ่านหลอดซึบกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

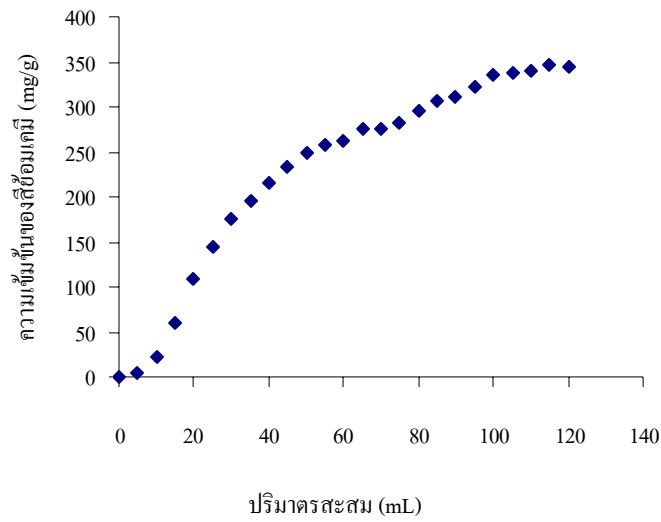
ก28. การศึกษาผลการดูดซับสีเม็ดมะปรางในน้ำเสียวจริง (สีย้อมตราสิงโตติดกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก28 ความเข้มข้นของน้ำเสียวจริงสีเม็ดมะปรางหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 435.00$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

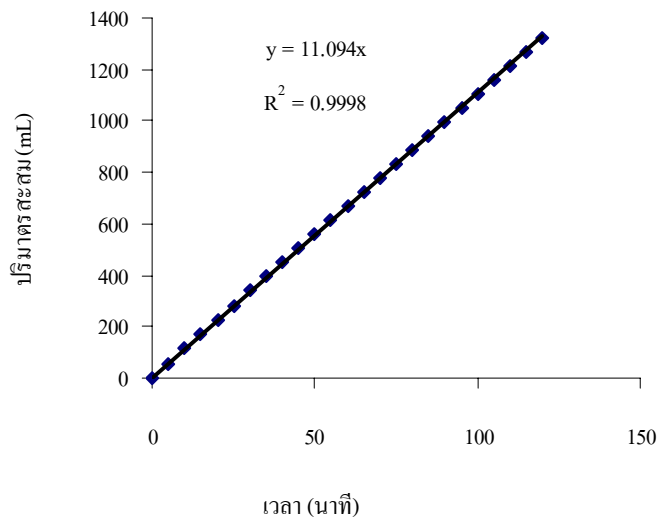
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	58	376	8.04	3.37	146.98
10	113	22.29	8.32	10.2	97.11
15	170	60.91	8.46	17.5	136.48
20	225.5	108.03	8.50	21.8	227.39
25	282.5	145.21	8.53	23	241.47
30	338.5	175.26	8.57	22.6	157.48
35	394	195.91	8.57	20.9	220.47
40	450	214.50	8.55	20.6	178.48
45	506.5	232.59	8.54	20.9	220.47
50	561.5	247.91	8.53	20	157.48
55	616.5	257.35	8.52	19.6	178.48
60	671.5	262.65	8.53	19.3	241.47
65	725.5	275.88	8.55	19.2	83.99
70	780.5	275.29	8.55	18.5	304.46
75	835.5	283.24	8.55	18.2	157.48
80	890.5	295.29	8.55	18.2	178.48
85	944.5	307.65	8.55	18.6	199.48
90	998.5	311.76	8.55	18.4	230.97
95	1052.5	321.47	8.55	18	220.47
100	1106.5	335.59	8.55	18.1	178.48
105	1160.5	337.65	8.55	18.3	227.39
110	1214.5	340.00	8.54	18.7	175.71

ตารางที่ ค28 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียจริงสีเม็ดมะปรางหลังผ่านหอดูดซับ ที่ $c_0 = 435.00$ mg/L และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	1268.5	345.59	8.54	18.1	268.73
120	1322.5	344.12	8.55	18.2	268.73



รูปที่ ค28.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงสีเมื่อดมะปรางดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ $c_0 = 435.00$ mg/L และ $Q_b = 11.02$ cm³/min



รูปที่ ค28.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสะสมของน้ำเสียจริงสีเมื่อดมะปรางหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

ก29. การศึกษาผลการดูดซับสีม่วงขุ่นในน้ำเสียจริง โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบหอดูดซับ

ตารางที่ ก29 ค่าแอมชอร์รับแบนซ์ของน้ำเสียจริงสีม่วงขุ่นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ค่าแอมชอร์รับแบนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 16.4252 และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

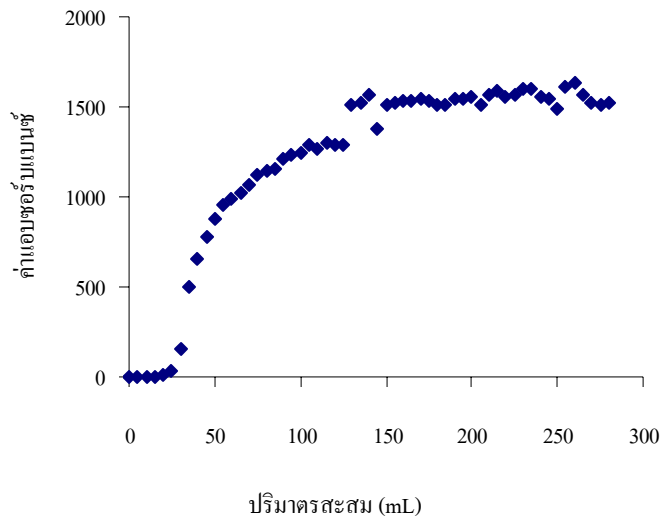
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ค่าแอมชอร์รับแบนซ์	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีไอดี (mg/L)
5	39	0.0117	7.89	2.73	55.1
10	75	0.0143	7.8	1.63	118.1
15	111	0.0368	7.79	1.14	120.1
20	148	0.0861	7.79	2.06	129.9
25	184.5	0.2967	7.82	7.19	133.9
30	221.5	1.4872	7.84	68.2	137.8
35	259	4.6684	7.84	23	204.7
40	296.5	6.1435	7.93	10.6	228.3
45	334	7.2193	7.83	8.36	259.8
50	371.5	8.1675	7.82	7.35	267.7
55	409	8.8561	7.8	6.87	275.6
60	446.5	9.2301	7.82	6.9	271.7
65	483.5	9.5568	7.88	6.97	271.7
70	520	9.9044	7.81	6.71	295.3
75	556.5	10.4456	7.81	6.79	291.3
80	593	10.6942	7.81	6.84	311.0
85	629.5	10.7371	7.81	7.05	303.1
90	666	11.2189	7.8	6.74	315.0
95	703	11.4202	7.79	7.06	318.9
100	739.5	11.5962	7.92	7	295.3
105	776	11.9394	7.88	6.69	318.9
110	812.5	11.8283	7.81	6.95	322.8

ตารางที่ ค29 (ต่อ) ค่าแอมชอร์รับเบนซ์ของน้ำเสียวจริงสีม่วงขุ่นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ค่าแอมชอร์รับเบนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 16.4252 และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

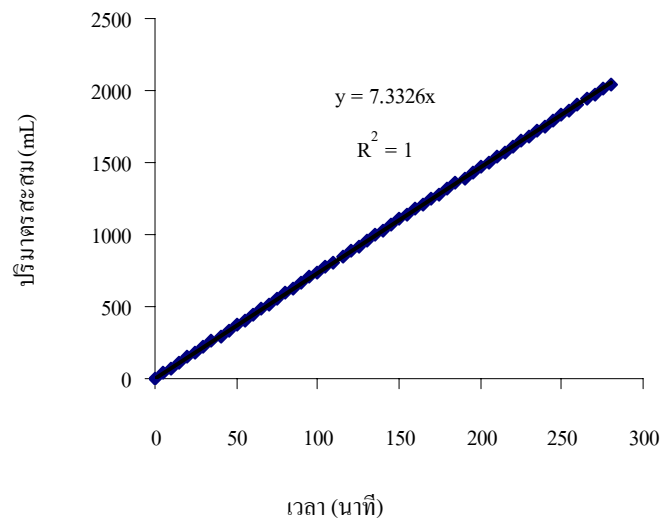
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ค่าแอมชอร์รับเบนซ์	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	849	12.0483	7.81	6.77	-
120	885.5	12.0241	7.92	6.82	-
125	922	12.0032	7.92	6.73	-
130	958.5	14.0415	7.84	7.59	-
135	994.5	14.1482	7.82	7.72	-
140	1031	14.5497	7.82	7.2	-
145	1068	12.8271	7.82	6.82	-
150	1104.5	14.0118	7.83	7.46	-
155	1140	14.1086	7.84	7.62	-
160	1176	14.3011	7.82	7.51	-
165	1211.5	14.2670	7.82	7.73	-
170	1247.5	14.3297	7.86	7.9	-
175	1283.5	14.2241	7.84	7.6	-
180	1319.5	14.0118	7.84	7.51	-
185	1355.5	14.0437	7.84	7.48	-
190	1392.5	14.3814	7.91	7.44	-
195	1429	14.3605	7.83	7.56	-
200	1466	14.4672	7.86	7.55	-
205	1502.5	14.0844	7.84	7.72	-
210	1538.5	14.6212	7.84	7.56	-
215	1574.5	14.7719	7.83	8.31	-
220	1611	14.4815	7.83	7.55	-
225	1647.5	14.6091	7.84	7.77	-
230	1683.5	14.8687	7.86	7.82	-
235	1720.5	14.8709	7.86	7.87	-

ตารางที่ ค29 (ต่อ) ค่าแอมชอร์รับเบนซ์ของน้ำเสียวจริงสีม่วงขุ่นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ค่าแอมชอร์รับเบนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 16.4252 และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ค่าแอมชอร์รับเบนซ์	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
240	1756.5	14.498	7.86	7.61	-
245	1794.5	14.3891	7.85	7.95	-
250	1830	13.8633	7.84	7.63	-
255	1867	14.9391	7.83	7.85	-
260	1903.5	15.1536	7.82	8.28	-
265	1940.5	14.5431	7.72	7.8	-
270	1975.5	14.1504	7.7	7.64	-
275	2010	14.0778	7.65	7.96	-
280	2043.5	14.1823	7.58	7.88	-



รูปที่ ค29.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงสีม่วงชุ่นดูดซับด้วย 200%CEC TDMA-clay ที่ค่าแอมชอร์รับเบนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 16.4252 และ $Q_b = 7.30 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ ค29.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ของน้ำเสียจริงสีม่วงชุ่นหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้ 200%CEC TDMA-clay เป็นตัวดูดซับ

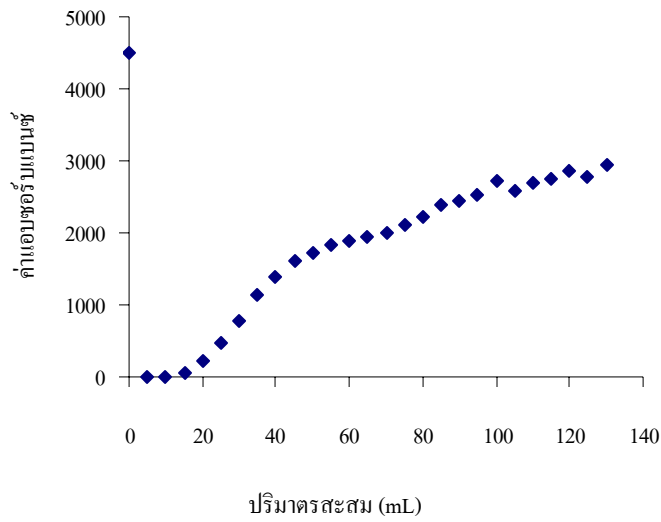
ก30. การศึกษาผลการดูดซับสีเขียวขุ่นในน้ำเสียจริง โดยใช้ตัวดูดซับ แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ในระบบหอดูดซับจำลอง

ตารางที่ ก30 ค่าแอมชอร์รับแบนซ์ของน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ค่าแอมชอร์รับแบนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 44.0319 และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

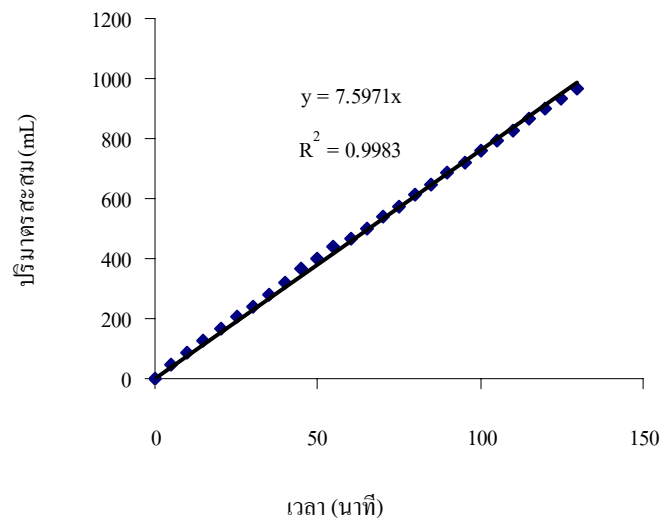
เวลา (นาที)	ปริมาตรสะสม (mL)	ค่าแอมชอร์รับแบนซ์	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
5	44	0.0548	8.2	7.59	53.4
10	85.5	0.1182	8.2	23.3	45.5
15	125.5	0.5546	8.2	23	203.6
20	165	2.1923	8.26	30.8	77.1
25	204.5	4.5045	8.19	50	124.5
30	242.5	7.7209	8.19	27.8	201.6
35	281.5	11.0539	8.24	23.4	254.9
40	320.5	13.6191	8.2	22.2	268.8
45	363.5	15.8092	8.15	60.6	298.4
50	399.5	16.9906	8.16	25.1	322.1
55	437	18.0939	8.16	23.5	318.2
60	467	18.5614	8.17	26.5	326.1
65	502	18.9816	8.16	28.3	337.9
70	538.5	19.6229	8.15	29	322.1
75	575.5	20.5832	8.15	28.2	326.1
80	613	21.8196	8.15	25.7	334.0
85	648	23.3959	8.25	23.4	-
90	684	23.9151	8.15	23.4	-
95	720.5	24.8303	8.21	19.4	-
100	757	26.708	8.14	20.7	-
105	794	25.3385	8.12	19.2	-
110	830	26.4594	8.12	19.2	-

ตารางที่ ๓๓๐ (ต่อ) ค่าแอมชอร์รับแบนซ์ของน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่นหลังผ่านหอดูดซับ ที่ค่าแอมชอร์รับแบนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 44.0319 และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ

เวลา (นาทื)	ปริมาตรสะสม (mL)	ค่าแอมชอร์รับแบนซ์	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
115	865	27.0765	8.14	18.9	-
120	901	28.1336	8.12	18.9	-
125	934	27.1084	8.14	18.4	-
130	967	28.9355	8.19	20.2	-



รูปที่ 30.1 กราฟเบรคทรูของน้ำเสียจริงสีเขียวขุ่นดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ ที่ค่าแอมชอร์บแบนซ์เริ่มต้นเท่ากับ 44.0319 และ $Q_b = 7.44 \text{ cm}^3/\text{min}$



รูปที่ 30.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่ของน้ำเสียสีเขียวขุ่นหลังผ่านหอดูดซับกับเวลา โดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ

ภาคผนวก ง

ผลการดูฉบับสํ้าในระบับังกวนแบบกะ

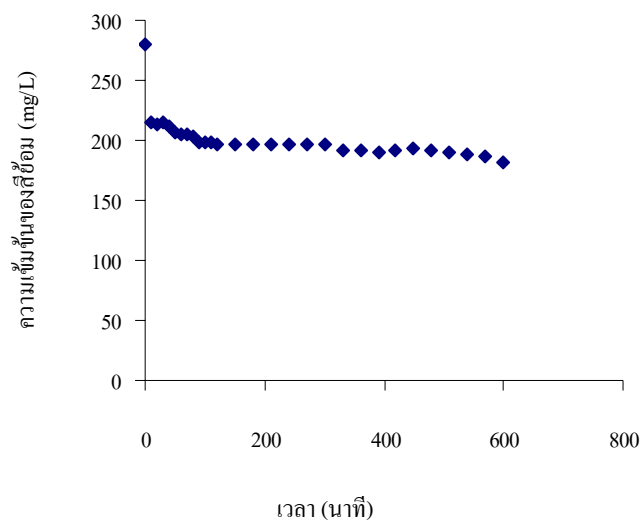
ง1. การศึกษาผลการดูดซับสีเหลืองอ่อน (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบถังกวน

ตารางที่ ง1 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อน ที่ $c_0 = 279.28$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 20.65 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	279.28	7.21	0.458	131.87
10	214.31	7.39	0.767	131.87
20	212.87	7.55	10.7	87.91
30	214.35	7.46	10.9	65.93
40	211.89	7.50	21.6	54.95
50	206.51	7.49	26.5	109.89
60	205.44	7.56	13.6	43.96
70	205.44	7.60	22.8	32.97
80	203.68	7.58	12.9	21.98
90	198.55	7.62	9.9	43.96
100	198.51	7.58	19.4	43.96
110	198	7.63	11.5	65.93
120	197.20	7.70	10.90	21.98
150	197.00	7.70	10.36	109.89
180	197.00	7.53	7.21	43.96
210	197.0	7.59	24.6	0
240	197.0	7.50	9.65	21.98
270	197.0	7.42	10.7	21.98
300	196.50	7.51	13.5	21.98
330	191.73	7.58	14.7	-
360	191.50	7.64	14.4	-
390	190.15	7.65	27.7	-
420	191.63	7.68	3.32	-

ตารางที่ ง1 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนที่ $c_0 = 279.28 \text{ mg/L}$ ปริมาณตัวดูดซับ 20.65 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
450	192.54	7.61	3.89	-
480	191.54	7.73	6.28	-
510	189.17	7.70	5.34	-
540	188.76	7.04	5.67	-
570	187.27	7.54	3.11	-
600	181.42	7.59	3.47	-



รูปที่ ง1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนกับเวลา ที่ $c_0 = 279.35 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 20.65 กรัม ในระบบถังกวน

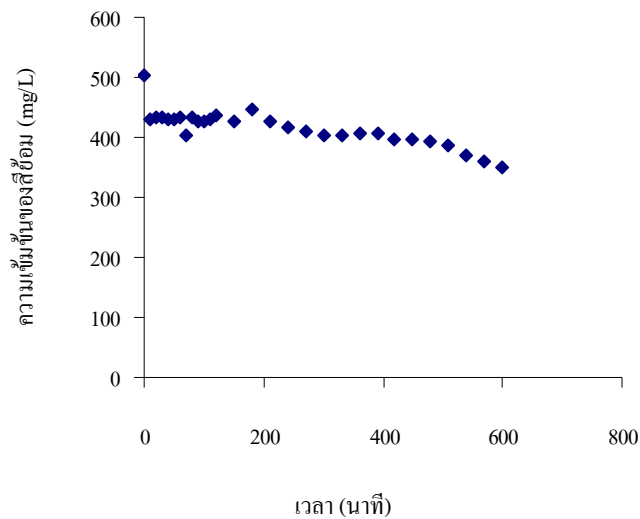
ง2. การศึกษาผลการดูดซับสีเหลืองอ่อน (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบถังกวน

ตารางที่ ๒ ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อน ที่ $c_0 = 504.07$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 41.25 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำในระบบถังกวน

เวลา (นาท)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	504.07	8.06	0.747	43.96
10	429.97	8.08	3.42	21.98
20	433.41	8.1	85.7	21.98
30	432.72	8.11	80.5	21.98
40	429.86	8.06	78.1	43.96
50	428.38	7.99	87.8	54.95
60	431.92	7.97	94.4	21.98
70	402.39	8.02	90.6	21.98
80	432.54	7.96	103	21.98
90	426.28	7.94	98.9	87.91
100	426.96	7.94	83.9	43.96
110	429.00	8.09	99.4	54.95
120	436.94	7.97	120	21.98
150	427.20	7.98	111	43.96
180	447.79	8	113	43.96
210	427.83	8.06	113	21.98
240	415.48	8.14	114	21.98
270	108.90	8.07	87.4	-
300	402.61	8.09	112	-
330	404.30	8.12	125	-
360	406.15	8.07	74.7	-
390	405.27	8.10	85	-
420	398.32	8.19	99.7	-

ตารางที่ ๖2 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อน ที่ $c_0 = 504.07$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 41.25 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบบึงกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
450	395.63	8.26	106	-
480	393.10	7.99	88.7	-
510	385.63	8.04	110	-
540	371.41	8.09	112	-
570	360.97	8.02	57.5	-
600	351.00	7.94	75.3	-



รูปที่ ๖2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองอ่อนและเวลา ที่ $c_0 = 504.07$ mg/L ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 41.25 กรัม ในระบบบึงกวน

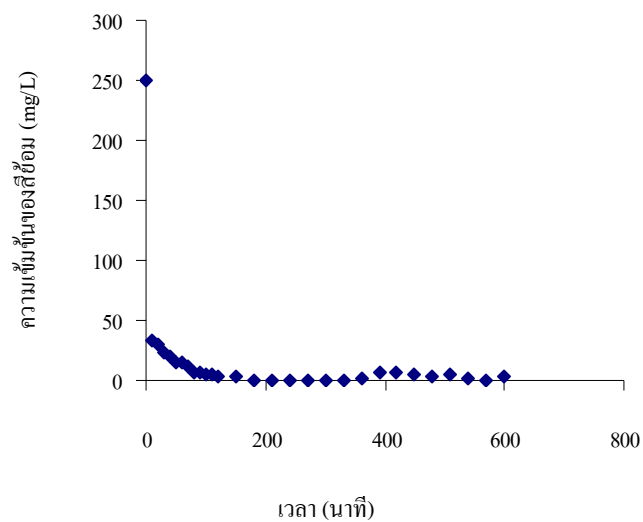
ง3. การศึกษาผลการดูดซับสีอะปิ (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบถังกวน

ตารางที่ ง3 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีอะปิ ที่ $c_0 = 249.75$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 13.125 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีไอดี (mg/L)
0	249.75	7.21	0.384	147.37
10	34	7.39	12.1	203.51
20	30.50	7.55	21	189.47
30	23.88	7.46	21.6	161.40
40	20.75	7.5	20.2	154.39
50	14.25	7.49	22.6	133.33
60	15.63	7.56	28.5	210.53
70	11.88	7.6	20.1	210.53
80	7.00	7.58	31.3	175.44
90	6.38	7.62	18.9	175.44
100	4.88	7.58	19	175.44
110	5.75	7.63	10.05	168.42
120	2.88	7.7	17.8	210.53
150	3.38	7.7	20.4	329.82
180	0.63	7.53	20.7	203.51
210	0.58	7.59	18.7	161.40
240	0	7.5	8.16	308.77
270	0	7.42	5.12	175.44
300	0	7.51	6.22	147.37
330	0	7.58	5.94	-
360	2.50	7.64	5.73	-
390	6.13	7.65	13.7	-
420	5.88	7.68	3.34	-

ตารางที่ ๓3 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิ ที่ $c_0 = 249.75$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 13.125 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
450	5.50	7.61	2.66	-
480	3.88	7.73	7.01	-
510	4.88	7.70	3.39	-
540	0.88	7.64	6.39	-
570	0	7.54	0.92	-
600	3.38	7.59	1.36	-



รูปที่ ๓3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิและเวลาที่ $c_0 = 249.75$ mg/L ดูดซับ โดย 200%CEC TDMA-clay 13.125 กรัม ในระบบถังกวน

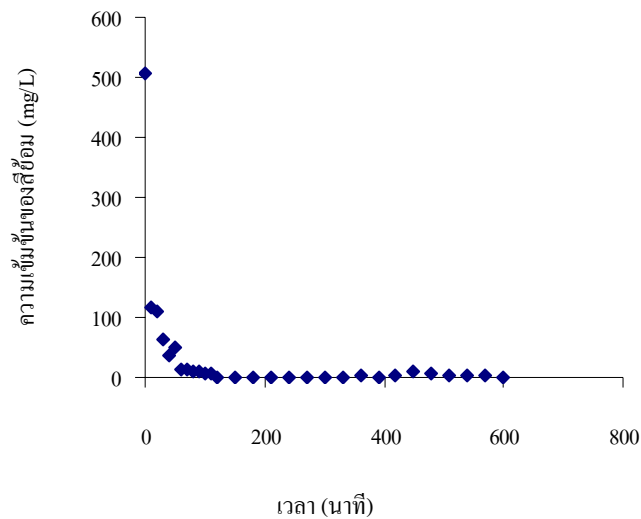
ง4. การศึกษาผลการดูดซับสีอะปิ (สีย้อมผ้าตราสีงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบถังกวน

ตารางที่ ง4 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีอะปิ ที่ $c_0 = 506.00$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 26.25 กรัม และตัวแปรต่างๆ ที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาทีก)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	506.00	7.23	0.262	100
10	117.13	7.46	43.4	122.22
20	109.13	7.55	20.9	155.56
30	69.38	7.44	41.3	66.67
40	37.88	7.63	35.1	177.78
50	49.25	7.55	54	100.00
60	14.63	7.47	68.5	111.11
70	13.63	7.68	58	133.33
80	10.75	7.66	57.2	66.67
90	9.99	7.55	54	22.22
100	8.27	7.4	62	66.67
110	7.23	7.59	62	22.22
120	0	7.65	53.8	66.67
150	0	7.64	48.2	88.89
180	0	7.69	43.2	55.56
210	0	7.59	35.9	66.67
240	0	7.65	22	44.44
270	1.63	7.64	24	66.67
300	0	7.6	15.3	111.11
330	0	7.69	9.86	44.44
360	2.50	7.65	16.9	88.89
390	0.75	7.68	7.09	-
420	1.75	7.72	4.65	-

ตารางที่ ๔ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิ ที่ $c_0 = 506.00$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 26.25 กรัมและตัวแปรต่างๆ ที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
450	8.38	7.72	3.45	-
480	7.63	7.64	3.89	-
510	3.63	7.64	1.97	-
540	2.88	7.59	3.36	-
570	2.50	7.73	1.75	-
600	0	7.72	2.82	-



รูปที่ ๔ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีกะปิและเวลา ที่ $c_0 = 506.60$ mg/L ดูดซับ โดย 200%CEC TDMA-clay 26.25 กรัม ในระบบถังกวน

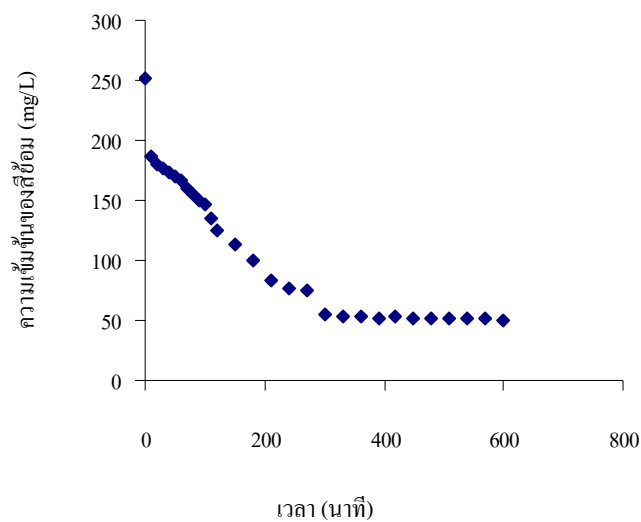
ง5. การศึกษาผลการดูดซับสีเหลืองหมู (สีข้อมฟ้าตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบบึงกวน

ตารางที่ ๖5 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองหมู ที่ $c_0 = 251.06$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 9.38 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบบึงกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	251.06	7.1	3.5	156.34
10	187.00	7.10	88.30	72.43
20	179.88	7.07	56.80	128.77
30	177.19	7.42	31.70	80.48
40	173.84	7.22	42.50	64.39
50	169.21	7.35	11.90	112.68
60	166.50	7.45	12.60	80.48
70	160.34	7.22	5.84	128.77
80	155.21	7.30	26.70	112.68
90	150.21	7.30	31.30	91.75
100	145.90	7.29	16.60	128.77
110	135.70	7.32	21.30	80.48
120	125.00	7.25	36.10	80.48
150	113.20	7.40	18.10	144.87
180	100.50	7.29	39.00	112.68
210	82.53	7.28	24.10	225.35
240	77.23	7.27	24.00	144.87
270	75.12	7.67	10.20	96.58
300	54.26	7.59	34.50	80.48
330	53.90	7.62	50.10	56.34
360	53.21	7.57	50.40	72.43
390	52.12	7.58	13.20	128.77
420	52.60	7.49	13.6	80.48

ตารางที่ ๖5 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมู ที่ $c_0 = 251.06 \text{ mg/L}$ ปริมาณตัวดูดซับ 9.38 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
450	51.90	7.53	56.8	64.39
480	51.26	7.36	27.1	112.68
510	51.09	7.57	8.84	80.48
540	51.00	7.58	35.4	128.77
570	51.32	7.44	26.2	112.68
600	50.21	7.49	16.8	91.75



รูปที่ ๖5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมูและเวลา ที่ $c_0 = 251.06 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 9.38 กรัม ในระบบถังกวน

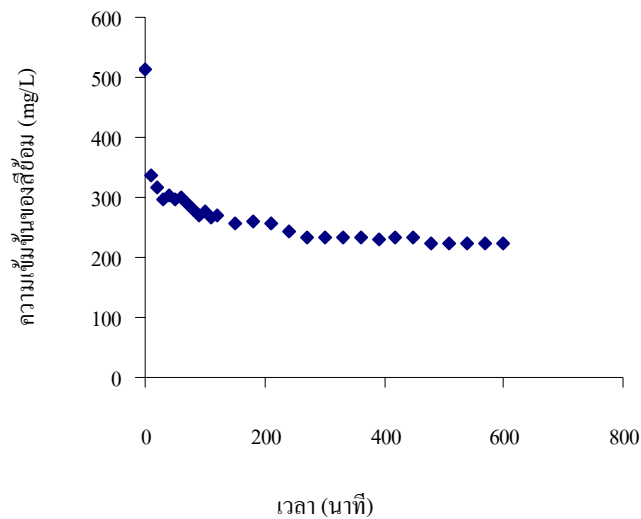
ง6. การศึกษาผลการดูดซับสีเลือดหมู (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบถังกวน

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเลือดหมู ที่ $c_0 = 512.25$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 18.75 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	512.25	7.28	1.83	90.45
10	336.15	7.59	98.50	30.15
20	316.95	7.70	174.00	150.75
30	298.08	7.89	74.70	180.90
40	301.96	7.94	95.90	120.60
50	295.27	7.94	82.20	140.70
60	298.62	7.90	59.60	341.71
70	288.91	7.86	30.70	160.80
80	214.61	7.89	70.90	442.21
90	269.82	7.87	92.30	160.80
100	277.70	8.06	89.30	180.90
110	268.21	8.03	79.60	180.90
120	269.28	8.07	45.20	221.11
150	255.59	8.08	48.50	160.80
180	260.55	7.94	65.90	180.90
210	134.59	8.13	23.20	360.74
240	124.39	8.05	22.30	339.52
270	111.29	8.14	24.90	424.40
300	91.81	8.12	19.30	297.08
330	77.55	8.22	42.40	106.10
360	70.83	8.14	22.40	84.88
390	229.71	7.90	92.70	150.75
420	232.08	8.03	47.80	180.90

ตารางที่ ๖ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองที่ $c_0 = 512.25 \text{ mg/L}$ ปริมาณตัวดูดซับ 18.75 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบบึงกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีไอดี (mg/L)
450	231.97	8.04	68.20	120.60
480	224.53	8.07	56.20	140.70
510	224.05	8.00	59.80	341.71
540	223.77	8.13	69.30	160.80
570	223.02	7.98	76.20	442.21
600	222.26	7.89	61.80	160.80



รูปที่ ๖ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเหลืองและเวลาที่ $c_0 = 512.25 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 18.75 กรัม ในระบบบึงกวน

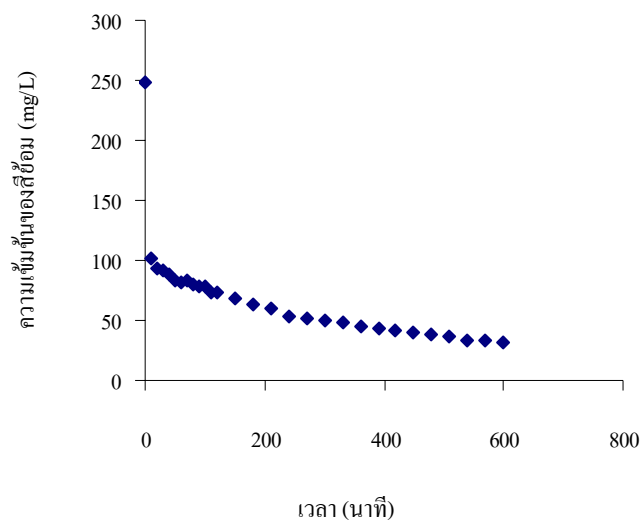
ง7. การศึกษาผลการดูดซับสีระกำทอง (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบถังกวน

ตารางที่ 7 ความเข้มข้นของน้ำเสี้ยวสีระกำทองที่ $c_0 = 248.13$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 18.75 กรัม และที่ตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	248.13	7.29	0.38	445.62
10	102.03	7.47	12.10	381.96
20	93.97	7.42	21.00	381.96
30	91.23	7.48	21.60	339.52
40	88.07	7.54	20.20	148.54
50	83.95	7.65	22.60	116.71
60	82.44	7.56	28.50	106.10
70	83.04	7.63	20.10	106.10
80	80.27	7.64	31.30	106.10
90	78.16	7.67	18.90	42.44
100	78.32	7.65	19.00	127.32
110	73.83	7.60	10.05	212.20
120	72.93	7.62	17.80	148.54
150	67.63	7.56	20.40	148.54
180	63.63	7.61	20.7	84.88
210	59.93	7.47	18.7	106.10
240	54.00	7.58	8.16	190.98
270	50.99	7.61	5.12	63.66
300	49.39	7.63	6.22	63.66
330	47.52	7.68	5.94	-
360	45.48	7.71	5.73	-
390	42.65	7.63	13.7	-
420	41.17	7.76	3.34	-

ตารางที่ 7ง (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทองที่ $c_0 = 248.13$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 18.75 กรัมและที่ตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
450	39.84	7.71	2.66	-
480	38.03	7.68	7.01	-
510	37.11	7.79	3.39	-
540	34.08	7.76	6.39	-
570	32.92	7.77	0.92	-
600	32.31	7.78	1.36	-



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทองและเวลาที่ $c_0 = 248.13$ mg/L ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 18.75 กรัม ในระบบถังกวน

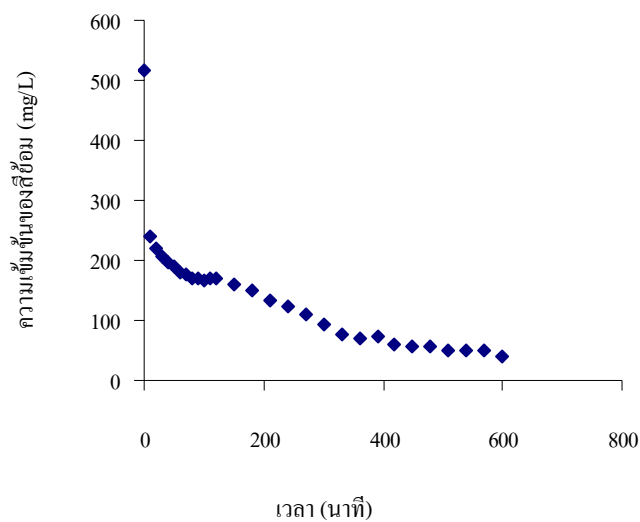
ง8. การศึกษาผลการดูดซับสีระกำทอง (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบบึงกวน

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทอง ที่ $c_0 = 517.47$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 37.50 กรัม และค่าตัวแปรต่างๆ ที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบบึงกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	517.47	8.48	0.61	106.10
10	238.57	8.40	8.08	84.88
20	218.43	8.34	8.09	169.76
30	205.83	8.29	13.20	169.76
40	195.85	8.29	11.60	233.42
50	188.59	8.24	16.40	169.76
60	180.51	8.20	19.40	106.10
70	176.19	8.10	16.20	84.88
80	168.53	8.08	19.50	424.40
90	168.72	8.16	16.70	318.30
100	168.01	8.14	15.10	148.54
110	170.95	8.10	17.00	265.25
120	170.24	8.12	16.10	106.10
150	161.03	8.24	40.90	106.10
180	149.57	8.19	22.80	572.94
210	134.59	8.13	23.20	360.74
240	124.39	8.05	22.30	339.52
270	111.29	8.14	24.90	424.40
300	91.81	8.12	19.30	297.08
330	77.55	8.22	42.40	106.10
360	70.83	8.14	22.40	84.88
390	71.99	8.10	29.90	169.76
420	58.68	8.09	30.00	169.76

ตารางที่ ๘ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทอง ที่ $c_0 = 517.47$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 37.50 กรัมและค่าตัวแปรต่างๆ ที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
450	58.31	8.05	58.40	233.42
480	56.21	7.94	47.70	169.76
510	51.12	8.05	57.60	106.10
540	50.57	8.03	75.20	84.88
570	48.73	8.15	94.90	424.40
600	40.25	8.03	103.0	318.30



รูปที่ ๘ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีระกำทองและเวลาที่ $c_0 = 517.47$ mg/L ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 37.50 กรัม ในระบบถังกวน

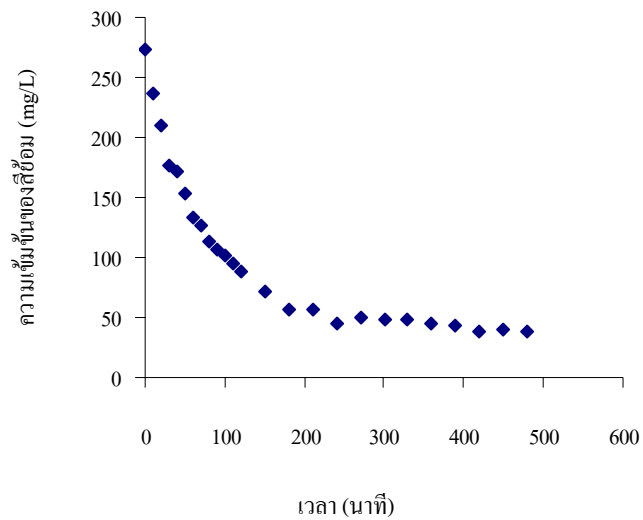
ง9. การศึกษาผลการดูดซับสีน้ำเงิน (สีย้อมผ้าตราสิงโตตีกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบถังกวน

ตารางที่ ๑๑ ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน ที่ $c_0 = 272.51$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 11.25 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	272.51	7.35	1.45	243.96
10	237.31	7.59	6.38	159.96
20	210.61	7.84	7.73	113.98
30	176.15	7.89	9.31	110.98
40	171.31	7.96	10.40	107.98
50	152.53	8.01	11.90	123.96
60	133.08	8.03	17.80	130.95
70	126.61	8.12	21.5	99.98
80	114.11	8.12	43.3	103.98
90	106.76	8.15	40.6	94.98
100	101.47	8.11	21.5	156.91
110	94.72	8.13	42.3	105.96
120	88.24	8.11	63.1	113.95
150	71.29	8.19	38.6	71.98
180	57.00	8.17	50.0	88.96
210	56.08	8.19	31.9	88.90
240	45.72	8.20	38.1	61.98
270	49.71	8.23	43.9	43.96
300	48.12	8.23	23.7	31.97
330	47.93	8.25	31.9	31.97
360	44.17	8.22	77.5	-
390	43.23	8.24	24.5	-
420	38.36	8.26	27.4	-

ตารางที่ ๑๙ (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน ที่ $c_0 = 272.51$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 11.25 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบบดักกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
450	39.95	8.21	22.2	-
480	38.44	8.16	24.5	-



รูปที่ ๑๙ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงินและเวลา ที่ $c_0 = 272.51$ mg/L ดูดซับ โดย 200%CEC TDMA- clay 20.63 กรัม ในระบบบดักกวน

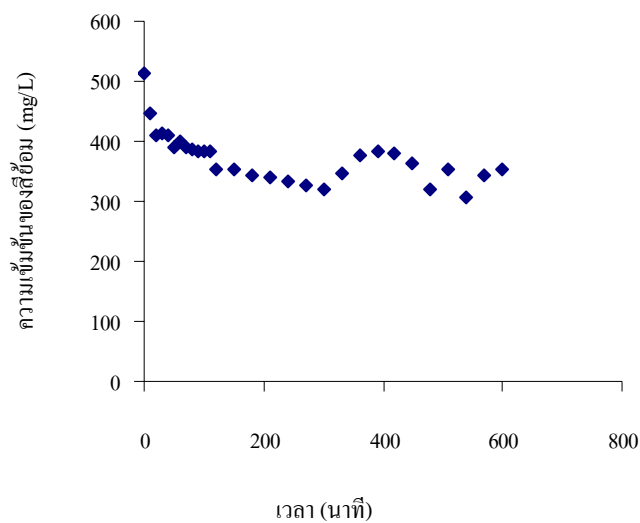
ง10. การศึกษาผลการดูดซับสีน้ำเงิน (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบถังกวน

ตารางที่ ง10 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงินที่ $c_0 = 512.60$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 22.5 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	512.60	6.93	1.87	89.39
10	448.07	7.20	2.92	223.46
20	408.76	7.36	4.15	201.12
30	412.57	7.49	4.86	189.94
40	408.91	7.63	6.55	156.42
50	389.84	7.67	5.96	290.50
60	398.49	7.76	6.02	480.45
70	390.72	7.73	6.74	245.81
80	386.91	7.77	6.77	156.42
90	384.12	7.80	7.17	223.46
100	382.21	7.82	6.82	201.12
110	382.95	7.81	6.51	201.12
120	352.00	7.84	8.37	167.60
150	354.20	7.85	7.16	178.77
180	342.03	7.92	9.40	256.98
210	339.53	7.98	19.20	189.94
240	334.40	8.06	67.40	145.25
270	325.16	8.10	15.90	156.42
300	319.88	7.92	11.10	156.42
330	348.33	7.89	8.86	223.46
360	377.23	7.95	8.72	-
390	381.92	7.96	43.7	-

ตารางที่ 10 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงิน ที่ $c_0 = 512.60 \text{ mg/L}$ ปริมาณตัวดูดซับ 22.5 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
420	379.43	7.97	10.4	-
450	363.44	7.86	10.4	-
480	320.72	7.91	10.8	-
510	354.49	7.82	11.7	-
540	307.27	7.95	15.4	-
570	343.49	7.87	15.4	-
600	351.85	7.84	11.9	-
330	348.33	7.89	8.86	-



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีน้ำเงินและเวลา ที่ $c_0 = 512.60 \text{ mg/L}$ ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 41.25 กรัม ในระบบถังกวน

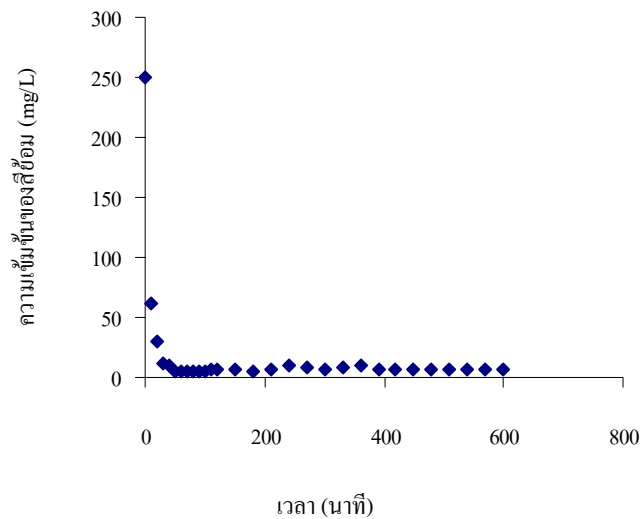
ง11. การศึกษาผลการดูดซับสีเขียวมรกต (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดกลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบถังกวน

ตารางที่ ง11 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตที่ $c_0 = 250.71$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 22.5 กรัม และค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	250.71	7.08	1.5	326.05
10	62.17	7.20	140.0	334.00
20	30.71	7.11	109.0	47.71
30	12.03	7.46	118.0	63.62
40	10.53	7.35	127.0	79.52
50	5.52	7.34	142.0	15.90
60	5.50	7.27	130.0	55.67
70	5.36	7.28	141.0	198.81
80	5.29	7.25	143.0	167.00
90	5.40	7.48	133	214.71
100	5.66	7.25	127	127.24
110	6.19	7.24	136	55.67
120	6.08	7.40	115	190.86
150	6.10	7.23	118	95.43
180	5.19	7.27	110	334.00
210	5.94	7.23	126	119.28
240	9.53	7.29	132	127.24
270	8.64	7.27	110	63.62
300	7.15	7.30	108	31.81
330	7.90	7.32	104	-
360	9.64	7.44	97.9	-
390	7.38	7.49	103	-
420	7.15	7.49	110	-

ตารางที่ 11 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตที่ $c_0 = 250.71$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 22.5 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
450	7.34	7.46	110	-
480	7.11	7.47	101	-
510	7.05	7.42	82.7	-
540	7.13	7.6	85.7	-
570	7.06	7.57	92.2	-
600	7.07	7.38	64.6	-



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตและเวลาที่ $c_0 = 250.71$ mg/L ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 39.38 กรัม ในระบบถังกวน

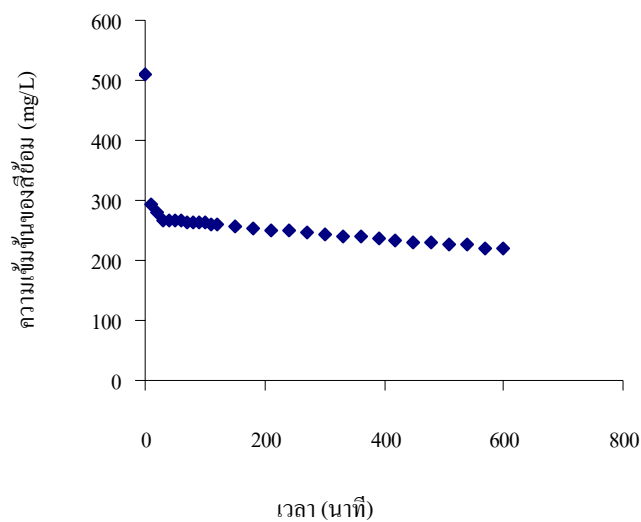
ง12. การศึกษาผลการดูดซับสีเขียวมรกต (สีย้อมผ้าตราสิงโตติดลอง) โดยใช้ตัวดูดซับ 200%CEC TDMA-clay ในระบบบึงกวน

ตารางที่ ง12 ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกต ที่ $c_0 = 508.88$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 78.75 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบบึงกวน

เวลา (นาทึ)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
0	508.88	7.66	1.44	180.90
10	292.87	7.88	86.30	402.01
20	281.31	7.97	65.40	381.91
30	267.59	7.93	83.00	211.06
40	267.00	8.03	65.40	402.01
50	266.00	7.93	87.30	442.21
60	266.46	8.04	75.00	291.46
70	264.03	7.96	70.80	211.06
80	263.41	7.91	63.60	261.31
90	264.30	7.96	104.00	241.21
100	263.67	8.02	84.50	321.61
110	260.57	8.09	87.20	180.90
120	259.20	7.94	105.00	180.90
150	258.18	8.02	105.00	261.31
180	253.96	7.97	107.00	221.11
210	251.63	7.96	78.60	703.52
240	248.76	7.94	86.80	804.02
270	246.77	7.92	112.0	643.22
300	241.91	7.93	47.40	623.11
330	241.50	7.96	48.40	180.90
360	241.12	7.98	83.30	402.01
390	235.11	7.95	45.10	381.91
420	234.95	7.93	138.0	211.06

ตารางที่ 12 (ต่อ) ความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกต ที่ $c_0 = 508.88$ mg/L ปริมาณตัวดูดซับ 78.75 กรัมและค่าตัวแปรที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ ในระบบถังกวน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (mg/L)	pH	ความขุ่น (NTU)	ซีโอดี (mg/L)
450	231.00	8.01	57.90	402.01
480	228.64	8.00	78.70	442.21
510	227.48	7.95	94.40	291.46
540	225.31	7.95	121.0	211.06
570	221.43	7.98	98.80	261.31
600	218.71	8.01	127.0	241.21



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีเขียวมรกตและเวลา ที่ $c_0 = 508.88$ mg/L ดูดซับโดย 200%CEC TDMA-clay 78.75 กรัมในระบบถังกวน

ภาคผนวก จ

ผลการดูดซับโลหะหนักในสีย้อมผ้าแบบกะ

ตารางที่ ๑1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักของผงสีย้อมผ้าตราสิงโตติ๊กตอง⁽¹⁾

รายการวิเคราะห์ สีย้อม	Cu µg/g	Cr µg/g	Zn µg/g	Fe µg/g
สีเหลืองอ่อน	ND.	24.84	172.73	189.78
สีกะปิ	ND.	ND.	232.64	40.12
สีเม็ดมะขามแก่	11.61	ND.	140.69	56.86
สีแดงเลือดหมู	ND.	ND.	ND.	33.94
สีเลือดหมู	ND.	ND.	127.55	45.80
สีตะกั่ว	ND.	10.54	258.15	47.71
สีระกำทอง	ND.	11.96	195.02	94.96
สีเขียวมรกต	ND.	156.09	922.26	173.85
สีน้ำเงิน	ND.	46.35	231.11	130.87
สีแดงน้ำตาล	ND.	10.95	236.25	59.04
สีน้ำตาลทอง	ND.	ND.	249.76	100.34
สีเขียวก้านมะลิ	ND.	ND.	239.70	134.36
สีไพน่า	ND.	ND.	291.20	138.23
สีเขียวทองอ่อน	9.19	37.36	452.94	64.76

⁽¹⁾หมายเหตุ นอกจากวิเคราะห์ปริมาณของ Cu Cr Zn และ Fe ยังวิเคราะห์ปริมาณ
ของ Cd Pb Ni Mn และ Pb แต่มีปริมาณน้อยมากจึงไม่นำมาใส่ไว้ในตาราง
ND. = No detected

ตารางที่ ๑2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักของผงสีย้อมผ้าตราใบหม่อน⁽¹⁾

รายการวิเคราะห์ สีย้อม	Cu μg/g	Cr μg/g	Zn μg/g	Pb μg/g	Ni μg/g	Mn μg/g	Fe μg/g
สีดำ	0.8372	5.94	ND.	ND.	ND.	2.87	479.21
สีกรมท่า	0.8539	24900.71	ND.	ND.	ND.	1.49	97.40
สีเขียว	ND.	506.97	ND.	ND.	2.35	ND.	12.70
สีบานเย็น	0.8978	3.95	ND.	ND.	ND.	ND.	155.66
สีแดง	3.11	21.06	ND.	3.53	2.41	9.57	197.93
สีน้ำตาลเข้ม	0.0997	4.49	ND.	9.61	ND.	ND.	61.42
สีชมพู	0.8748	125.60	ND.	ND.	ND.	3.14	319.06
สีฟ้าเข้ม	20.20	3.57	1.06	ND.	ND.	9.84	95.72
สีฟ้าอ่อน	26668	1.99	48.72	ND.	ND.	4.55	256.75
สีม่วง	10.81	3.23	ND.	ND.	ND.	ND.	192.51
สีแสด	0.3799	ND.	ND.	ND.	7.04	ND.	12.18
สีเหลืองตุ่น	21.12	2.12	ND.	ND.	ND.	ND.	59.1
สีเหลือง	0.1691	24.11	48.61	ND.	ND.	ND.	325.22
สีสมศักดิ์	7.14	12.64	96.77	ND.	ND.	ND.	198.25

⁽¹⁾หมายเหตุ นอกจากวิเคราะห์ปริมาณของ Cu Cr Zn Pb Ni Mn และ Fe ยังวิเคราะห์ปริมาณ
ของ Cd และ Pb แต่มีปริมาณน้อยมากจึงไม่นำมาใส่ไว้ในตาราง

ND. = No detected

ตารางที่ ๑3 ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำสีข้อมฟ้าตราสิงโตศึกทอง ด้วยเรดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC-TDMA-clay ความเข้มข้นของสีข้อมเริ่มต้นเท่ากับ 200 mg/L ปริมาณของตัวดูดซับ 0.1 กรัม เวลาในการดูดซับ 24 ชั่วโมง

ชนิดของสีข้อม	ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น (mg/L)				ความเข้มข้นของโลหะหนักหลัง ดูดซับด้วย 200%TDMA-Clays (mg/L)				ความเข้มข้นของโลหะหนัก หลังดูดซับด้วยเรดินมอนต์ มอริลโลไนต์ธรรมชาติ (mg/L)			
	Cu	Cr	Zn	Fe	Cu	Cr	Zn	Fe	Cu	Cr	Zn	Fe
สีเหลืองอ่อน	-	-	-	0.0718	-	-	-	0.0843	-	-	-	2.9431
สีกะปิ	-	-	-	0.1068	-	-	-	0.1434	-	-	0.0296	0.8511
สีเม็ดมะขามแก่	-	-	-	0.1052	-	-	-	0.1052	-	-	0.0174	2.1030
สีเลือดหมู	-	-	0.0447	-	-	-	0.0348	-	-	-	0.0246	2.3310
สีแดงเลือดหมู	-	-	-	0.0266	-	-	-	0.0330	-	-	-	1.4866
สีตะกั่ว	-	0.4059	0.0305	-	-	-	0.0102	-	-	0.3155	-	0.1563
สีระกำทอง	-	-	-	0.0289	-	-	-	0.0365	-	-	-	0.5558
สีเขียวมรกต	-	0.0162	0.1355	0.0190	-	-	-	-	-	0.0111	-	1.1085
สีน้ำเงิน	-	-	0.0261	0.0189	-	-	-	-	-	-	-	2.4158

ตารางที่ ๑3 (ต่อ) ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำสีข้อมฟ้าตราสิงโตศึกทอง ด้วยเรดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC-TDMA-clay ความเข้มข้น

ของสีย้อมเริ่มต้นเท่ากับ 200 mg/L ปริมาณของตัวดูดซับ 0.1 กรัม เวลาในการดูดซับ 24 ชั่วโมง

ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น (mg/L)				ความเข้มข้นของโลหะหนักหลัง ดูดซับด้วย 200% TDMA-Clays (mg/L)				ความเข้มข้นของโลหะหนัก หลังดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์ มอริลโลไนต์ธรรมชาติ (mg/L)			
	Cu	Cr	Zn	Fe	Cu	Cr	Zn	Fe	Cu	Cr	Zn	Fe
สีแดงน้ำตาล	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1550
สีน้ำตาลทอง	-	-	-	0.0379	-	-	-	0.0293	-	-	-	0.3085
สีเขียวก้านมะลิ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0869
สีไพลิน	-	-	-	0.0219	-	-	-	0.0137	-	-	-	2.0380
สีเขียวทองอ่อน	-	0.0068	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.667

ตารางที่ ๑๔ ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำสีย้อมผ้าตราไบหม่อน ด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC-TDMA-clay ความเข้มข้นของสีย้อม

เริ่มต้นเท่ากับ 200 mg/L ปริมาณของตัวดูดซับ 0.1 กรัม เวลาในการดูดซับ 24 ชั่วโมง

ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น (mg/L)				ความเข้มข้นของโลหะหนักหลังดูดซับ ด้วย 200%TDMA-Clays (mg/L)				ความเข้มข้นของโลหะหนัก หลังดูดซับด้วยเรดินมอนด์ มอริลโลไนต์ธรรมชาติ (mg/L)			
	Cu	Cr	Zn	Fe	Cu	Cr	Zn	Fe	Cu	Cr	Zn	Fe
สีดำ	-	5.0813	-	0.0180	-	4.9125	-	1.1380	-	2.3720	-	0.0250
สีกรมท่า	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.5190
สีเขียว	-	-	-	-	-	-	-	0.0142	-	-	-	3.6000
สีบานเย็น	-	-	-	0.0350	-	-	-	0.0413	-	-	-	0.0484
สีแดง	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0700
สีน้ำตาลเข้ม	-	-	-	-	-	-	-	0.0170	-	-	-	2.9930
สีฟ้าเข้ม	-	0.0045	-	-	-	-	-	0.0269	-	-	-	2.1430
สีฟ้าอ่อน	4.0830	-	0.0148	-	1.1860	-	0.0081	-	3.8470	-	0.0085	2.0060
สีม่วง	0.0052	-	-	0.0124	0.0022	-	-	0.0286	0.0045	-	-	2.4420

ตารางที่ ๑4 (ต่อ) ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำสีย้อมผ้าตราใบหม่อน ด้วยเรดินมอนด์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC-TDMA-clay ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้นเท่ากับ 200 mg/L ปริมาณของตัวดูดซับ 0.1 กรัม เวลาในการดูดซับ 24 ชั่วโมง⁽¹⁾

ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น	ความเข้มข้นของโลหะหนักหลังดูดซับ	ความเข้มข้นของโลหะหนัก
---------------	--------------------------------	----------------------------------	------------------------

	(mg/L)				ด้วย 200%TDMA-Clays (mg/L)				หลังดูดซับด้วยแร้ดินมอนต์ มอริลโลไนต์ธรรมชาติ (mg/L)			
	Cu	Cr	Zn	Fe	Cu	Cr	Zn	Fe	Cu	Cr	Zn	Fe
สีแสด	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.7270
สีเหลืองคุ่น	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.5450
สีเหลือง	-	-	-	-	-	-	-	1.9290	-	-	-	-
สีชมพู	-	-	-	-	-	-	-	3.9480	-	-	-	-

(1)หมายเหตุ นอกจากทำการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักชนิด Cu, Cr, Zn และ Fe ยังทำการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนัก Cd, Ni และ Pb ด้วย แต่ผลการวิเคราะห์ไม่พบโลหะทั้งสามชนิดนี้

ตารางที่ ๑5 ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจริงจากสีข้อมผ้า ด้วยแร้ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC-TDMA-clay ความเข้มข้นของสีข้อมเริ่มต้นเท่ากับ 200 mg/L ปริมาณของตัวดูดซับ 0.1 กรัม เวลาในการดูดซับ 24 ชั่วโมง

ชนิดของสีข้อม	ความเข้มข้นของโลหะหนัก	ชนิดโลหะหนัก
---------------	------------------------	--------------

	(mg/L)	Cu	Zn	Ag	Mn	Ni	Ca	Na	Fe	Cr
น้ำเสียสีเขียว	เริ่มต้น	0.019	0.265	0.0035	0.0943	0.053	32.75	2573.75	0.4627	1.2365
	หลังดูดซับด้วย organo-clays	0.014	0.113	-	0.0645	0.059	28.675	2592.50	0.2240	0.3447
	หลังดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ	0.026	0.099	-	0.0709	0.060	32.75	2586.25	0.3106	0.2720
น้ำเสียสีม่วง	เริ่มต้น	0.046	0.815	0.0158	0.3185	0.075	65.91	4612.50	0.6028	0.2474
	หลังดูดซับด้วย organo-clays	0.038	0.489	0.0140	0.2651	0.069	65.15	4206.25	0.4858	0.1948
	หลังดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ	0.056	0.575	0.0114	0.2379	0.064	63.63	4288.75	0.7486	0.2237
น้ำเสียสีขุ่น	เริ่มต้น	0.459	0.210	0.0144	-	0.075	9.32	4600	0.1865	-
	หลังดูดซับด้วย organo-clays	0.285	0.087	0.0140	-	0.073	9.02	4020	0.1938	-
	หลังดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ	0.311	0.072	0.0106	-	0.076	9.44	4696.25	0.2669	-
น้ำเสียสีเม้ดมะพร้าว	เริ่มต้น	0.032	0.230	-	0.0437	0.061	15.49	2848.75	0.2055	-
	หลังดูดซับด้วย organo-clays	0.038	0.106	-	-	0.063	18.83	2535	0.2063	-

ตารางที่ ๑5 (ต่อ) ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจริงจากสีย้อมผ้า ด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติและ 200%CEC-TDMA-clay ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้นเท่ากับ 200 mg/L ปริมาณของตัวดูดซับ 0.1 กรัม เวลาในการดูดซับ 24 ชั่วโมง⁽¹⁾

ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (mg/L)	ชนิดโลหะหนัก								
		Cu	Zn	Ag	Mn	Ni	Ca	Na	Fe	Cr

น้ำเสียนีลเมืงมะปราง	หลังดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโล ไนต์ธรรมชาติ	0.038	0.110	-	-	0.076	15.54	2825	0.5079	-
น้ำเสียนีลเมืงอมชมพู	เริ่มต้น	0.042	0.717	-	0.2207	0.073	38.78	2718.75	1.293	0.5471
	หลังดูดซับด้วย organo-clays	0.034	0.279	-	0.2668	0.041	35.55	2775	0.3785	-
	หลังดูดซับด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโล ไนต์ธรรมชาติ	0.029	0.207	-	0.2941	0.041	46.90	2711.25	0.3812	-

⁽¹⁾หมายเหตุ นอกจากทำการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักชนิด Ag, Cu, Cd, Cr, Zn, Mn, Na, Ca และ Fe ยังทำการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักชนิด Cd และ Pb ด้วย แต่ผลการวิเคราะห์ไม่พบโลหะทั้งสามชนิดนี้

ภาคผนวก ฉ

มาตรฐานน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมของประเทศไทย

ตารางที่ ๑1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมในประเทศไทย⁽¹⁾

Items	Units	Standard Values	Remarks
BOD (5 day, at 20 °C)	mg/l	20	Depends on physical geography or under office's consideration but not more than 60 mg/l except 1) Fishery canning Max. 100 2) Starch industry -Centrifugal Max. 60 - Sedimentation Max. 100 3) Noodle industry Max. 100 4) Tanning industry Max. 100 5) Pulp industry Max. 100 6) Frozen Food industry Max. 100 7) Industrial Estate Authorits of Thailand Standard Value: Max 1000 mg/l per day.
COD	mg/l	Max. 120	Notification of the Ministry of Industry NO.2, B. E.2539(1996).Depend on office's consideration but not more than 400 mg/l.
Colour and odour	-	None	
Heavy Metals/Copper (Cu)	mg/l	Max. 1.0	Notification of The Ministry of Industry No 2, B.E.2539 (1996). Standard Value: Max 2.0 mg/l.
Heavy metals/Cadmium (Cd)	mg/l	Max. 0.03	1) Zinc industry max. 0.1 2) Notification Of Industrial Estate Authorits of Thailand. Standard value: Max. 1 mg/l.

ตารางที่ 1ฉ (ต่อ) มาตรฐานน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมในประเทศไทย⁽¹⁾

Items	Units	Standard Values	Remarks
Heavy metals/Soluble iron	mg/l	Max. 10	Only Of Industrial Estate Authorits of Thailand.
Heavy metals/Lead (Pb)	mg/l	Max. 0.2	Notification Of Industrial Estate Authorits of Thailand. Standard value Max. 1 mg/l.
Heavy metals/Silver (Ag)	mg/l	-	Notification of Industrial Estate Authorits of Thailand. Standard value: Max. 1.0 mg/l
Heavy Metals/Zinc (Zn)	mg/l	Max. 5.0	Zinc industry Max. 3.0
Suspended solids (SS)	mg/l	See remark	1) Standard value: depends on dilution ratio of wastewater and receiving water 2) Ratio of wastewater and receiving water 1) 1/8 to 1/150 Max. 30 2) 1/151 to 1/300 Max. 60 3) 1/301 to 1/500 Max. 150 3) Notification of The Ministry Of Industry No 2, B.E.2539 (1996). Standard value: Max 50 mg/l or under office's consideration but not more than 150 mg/l. 4)Notification of Industrial Estate Authorits of Thailand Standard value: Max 200 mg/l.
Heavy metals/Manganese (Mn)	mg/l	Max. 5.0	1) Zinc industry Max. 0.02 2) Notification of Industrial Estate Authorits of Thailand. Standard value: Max 10 mgA.

ตารางที่ 1ฉ (ต่อ) มาตรฐานน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมในประเทศไทย⁽¹⁾

Items	Units	Standard Values	Remarks
Dissolved solids (DS)	mg/l	See remarks	1) Standard value: Max. 2,000 or under office's consideration but not more than 5,000 2) Notification Of The Ministry Of Industry No2,B.E.2539(1996). Standard value: Max 3,000 or under office's consideration but not more than 5,000. 3) If salinity of receiving water is higher than 2,000 mg/l, DS in the effluent should not be higher than 5,000 mg/l of the Ds in the receiving water.
Heavy metals/Chromium (Cr)	mg/l	Max. 0.5	1) Zinc industry max. 0.22 2) Notification of The Ministry of Industry No 2, B.E.2539 (1996). Standard Value: Hexavalent Chromium: Max 0.25 mg/l Trivalent Chromium: Max 0.75 mg/L
Heavy metals/Nickel (Ni)	mg/l	Max. 0.2	1) Zinc industry Max. 0.2 2) Notification Of Industrial Estate Authorits of Thailand. Standard value: Max. 1 mg/l.
Temperature	°C	Max. 40	Notification of Industrial Estate Authorits of Thailand. Standard value: Max. 45

⁽¹⁾ หมายเหตุ ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปี พ.ศ. 2539

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยตีพิมพ์

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์จากการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ได้แก่

จักรกฤษณ์ อัมพูช และ รัตนาวรรณ เกียรติโกมล (2547). การกำจัดสีย้อมจากกระบวนการย้อมผ้าแบบอุตสาหกรรมในครัวเรือนโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์. ใน เอกสารการประชุมสัมมนาภาคีอุดมศึกษาครั้งที่ 2 (หน้า 46). นครราชสีมา : สโมสรนิสิตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Umpush J. and Kiattikomol R. (2547). DYE REMOVAL FROM WASTEWATER OF DYEING PROCESS IN HOUSE-HOLD INDUSTRY BY MONTMORILLONITE CLAYS. **Tri-University International Joint Seminar and Symposium 2004** (p 59-62). Chiangmai: Chiangmai University.

Jaruwong P., Umpush J. and Kiattikomol R. (2005). UPTAKE OF CATIONIC AND AZO DYES BY MONTMORILLONITE IN BATCH AND COLUMN SYSTEMS. **Thammasat Int. J. Sc. Tech.** 10 (1): 47-56.

จักรกฤษณ์ อัมพูช และ รัตนาวรรณ เกียรติโกมล (2548). การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้าในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ในระบบหอดูดซับ. ใน เอกสารการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 5 (หน้า 74). กรุงเทพมหานคร : อาคารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จักรกฤษณ์ อัมพูช และ รัตนาวรรณ เกียรติโกมล (2548). การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ในระบบถังกวน. ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31 (หน้า 311). นครราชสีมา : เทคโนโลยี มหาวชิวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ประวัติผู้เขียน

จักรกฤษณ์ อัมพฤษ เกิดเมื่อวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2524 ที่อำเภอองาว จังหวัดลำปาง สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนประชารัฐธรรมคุณ อำเภอองาว จังหวัดลำปาง เข้าศึกษาต่อ ในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2542 โดยเข้าร่วมสหกิจศึกษา ณ บริษัท National starch & Chemical (Thailand) Co., Ltd. จังหวัดกาฬสินธุ์ ทำโครงการงานวิศวกรรม เคมีเรื่อง Adsorption Isotherm of β -carotenoids on ODS-Hypersil (C18) เมื่อปี พ.ศ. 2545 หลังจากนั้น เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อ พ.ศ. 2546 โดยทำวิทยานิพนธ์เรื่องการจัดสั ย่อมเคมีในน้ำทิ้งจากกระบวนการข้อมลีส้อมในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน โดยใช้แร่ดินมอนต์มอ ริลโลไนต์ โดยได้รับทุนวิจัยมาจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และทุนวิจัยจากโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้รับทุน ผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยวิจัยประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ปัจจุบันมีผลงานตีพิมพ์แล้วทั้งสิ้น 5 ผลงาน ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยมีผลงานในระดับนานาชาติจำนวน 2 ผลงานและผลงาน ภายในประเทศจำนวน 3 ผลงาน ผู้เขียนมีความเชี่ยวชาญในด้านการแยกสารออกจากระบบของเหลว โดยใช้วิธีการดูดซับภายในระบบการดูดซับระดับห้องปฏิบัติการ ระบบหอดูดซับ และระบบถังผสม นอกจากนี้ยังมีความเชี่ยวชาญในด้านการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสมบัติการดูดซับของตัวดูดซับ ให้เหมาะสมต่อการดูดซับ งานวิจัยที่สนใจในอนาคตได้แก่ การวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมใน สาขาพลังงานทดแทน การศึกษาด้านวิศวกรรมเคมีในด้านการดูดซับในระบบเยื่อเลือกผ่านและ การศึกษาในด้านเทคโนโลยีชีวภาพในสาขา Bio-process