

การกำจัดสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวด้วยเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์

นางสาว ธนพร คำขจร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF DYE AND SURFACTANT BY MANGANESE OXIDE-COATED
SHREDDED GLASS

Miss Thanaporn Kamkhachorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวด้วยเศษแก้วเคลือบ แมงกานีสออกไซด์
โดย	นางสาว ธนพร คำขจร
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาปนิก)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงรัตน์ อินทร)

ธนพร คำขจร : การกำจัดสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวด้วยเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ (REMOVAL OF DYE AND SURFACTANT BY MANGANESE OXIDE-COATED SHREDDED GLASS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.เพชรพร เซาวกิจเจริญ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ.ดร.ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล, 157 หน้า.

วัตถุประสงค์ของ งานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แมงกานีสออกไซด์เคลือบ เศษแก้วที่ได้จากกระบวนการบดขูดแก้วที่ไม่ใช้แล้วจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตและหลอมขวดแก้ว เพื่อใช้กำจัดสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว จากน้ำเสีย โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ได้แก่ ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว ความเข้มข้นของ สารละลายแมงกานีสคลอไรด์ และเปรียบเทียบการชะละลายของแมงกานีสของตัวกลางดูดซับ จากนั้นทำการศึกษาประสิทธิภาพ การกำจัดสีย้อม ได้แก่ สีย้อมเบสิค เยลโล่ 1(BY1) สีมะทิลีนบลู(MB) และสีย้อมแอซิด บลู45(AB45) และสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ไทรตัน เอ็กซ์-100(TX100) ซิทิล พิวริเดียม คลอไรด์(CPC) และลิเนียร์ อัลคิลเบนซีน ซัลโฟเนต(LAS) โดยทำการทดลองแบบที่ละเท และแบบคอลัมน์ รวมถึงศึกษาคุณสมบัติการคัดเลือกมลสารระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสีย้อม จากผลการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ได้แก่ ระยะเวลาการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้วที่ 10 ชั่วโมง โดยใช้ความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ 2.5 โมลาร์ ซึ่งจะทำให้ร้อยละการชะละลายของแมงกานีสออกมาน้อยและมีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุด ส่วนการศึกษาการดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวแบบที่ละเท พบว่า สีย้อม BY1 และ AB45 จะเข้าสู่สมดุลที่ 120 นาที และสีเมทิลีนบลูจะเข้าสู่สมดุลที่ 180 นาที ส่วนสารลดแรงตึงผิว CPC และLAS จะเข้าสู่สมดุลที่ 180 นาที แต่สารลดแรงตึงผิว TX100 ไม่สามารถดูดซับได้ ซึ่ง การดูดซับทั้งหมด สอดคล้องกับอันดับปฏิกิริยาสองเสมือน โดยสีย้อม BY1 และสารลดแรงตึงผิว CPC มีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุด คือ พีเอช 9 ส่วนสีย้อม AB45 และสารลดแรงตึงผิว LAS ที่มีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุด คือ พีเอช 5 ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุ โดยกระบวนการดูดซับทั้งหมดสอดคล้องกับสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์ นอกจากนี้ พบว่า การมีอยู่ของสารลดแรงตึงผิว TX100 ไม่ส่งผลกระทบต่อ การดูดซับ สีย้อม ส่วนสารลดแรงตึงผิว CPC ผสมกับสีย้อม BY1 และสารลดแรงตึงผิว LAS ผสมกับสีย้อม AB45 พบว่า สีย้อมและสารลดแรงตึง มีผลกระทบซึ่งกันและกันทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง ส่วนการดูดซับแบบคอลัมน์มีแนวโน้มเดียวกันกับการดูดซับแบบที่ละเทแต่ความสามารถในการดูดซับแบบคอลัมน์น้อยกว่าแบบที่ละเท

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

#5070560021: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : ADSORPTION/ SHREDDED GLASS/ DYE/ SURFACTANT

THANAPORN KAMKHACHORN: REMOVAL OF DYE AND SURFACTANT BY
MANGANESE OXIDE-COATED SHREDDED GLASS. THESIS ADVISOR:
ASSOC.PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D., THESIS CO-
ADVISOR: PATIPARN PUNYAPALAKUL, Ph.D., 157 pp.

The objective of this research is to study the possibility to use manganese oxide-coated shredded glass preparation from the cullet plant and for removal dyes and surfactants. Manganese oxide coating condition was evaluated by varying coating time, concentration of manganese chloride, comparing with leaching of manganese. Three type of dyes (Basic Yellow 1: BY1, Methylene Blue :MB and Acid Blue 45: AB45) and three types of surfactants (Triton X-100: TX100, Cetyl Pyridium Chloride: CPC and Linear Alkylbenzene Sulfonate: LAS) were selected to determine the removal efficiency and the experiments were carried out by using batch and column tests. Moreover, selective adsorption between surfactant and ionic dyes was also studied. According to the experimental results, shredded glass coating time at 10 hours and 2.5 molar Manganese Chloride provided the lowest Manganese Oxide leaching and highest adsorption capacities. In addition, BY1, AB45, MB can reach the equilibrium state at 120, 120, 180 minutes, respectively. CPC and LAS can reach the equilibrium state at 180 minutes but TX100 could not be adsorbed by the adsorbent. Adsorbents kinetic data can be described by using pseudo-second order. BY1 and CPC had highest removal efficiency at pH 9, whereas, AB45 and LAS had highest removal efficiency at pH 5, which can be explained by electrostatic interaction. Adsorption isotherms can be fitted well with Langmuir isotherm. The presence of TX-100 didn't affects to adsorption capacities of ionic dyes. While, the presence of ionic surfactants (CPC and LAS) and ionic dyes (BY1 and AB45) in bi-solution can decrease adsorption capacities of each other. The column test showed the same trend as batch test, however, adsorption capacities of column tests were lower than capacities of batch tests.

Department : Environmental Engineering Student's Signature

Field of Study : Environmental Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2009..... Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร
เซาวกิจเจริญ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมอาจารย์ ดร. ภูมิภาณ ปัญญาพลกุล ซึ่งได้สละ
เวลาให้คำปรึกษา ให้ความรู้ คำแนะนำ และช่วยเหลือในงานวิจัยมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัย
สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย

กราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาเสียสละเวลา
อันมีค่า มาให้ความรู้ คำชี้แนะ และแนวทางแก้ไขปัญหาในงานวิจัย ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.
สุธา ขาวเขียว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาปนิก และรองศาสตราจารย์ ดร. ดวงรัตน์
อินทร

ขอขอบพระคุณภาคีวิชาชีพวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ห้องปฏิบัติการศูนย์การจัดการ
สิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย และห้องปฏิบัติการน้ำดี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เชื้อเพลิงสถานที่
และอุปกรณ์ รวมทั้งเครื่องมือทางเทคนิคตลอดงานวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน
ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนเพื่อ
ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี
และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่สาว ที่ได้ให้การสนับสนุน
และคอยให้กำลังใจอันเป็นแรงผลักดันสำคัญยิ่งให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 อุตสาหกรรมสิ่งทอ.....	4
2.2 สีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ.....	5
2.2.1 การจำแนกสีย้อม.....	5
2.3 ทฤษฎีการย้อมสี.....	9
2.4 น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	10
2.4.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย.....	10
2.4.2 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมต่อสิ่งแวดล้อม.....	11
2.5 การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ.....	12
2.6 การดูดซับ.....	13
2.6.1 ประเภทของการดูดซับ.....	14
2.6.2 กลไกของการดูดซับ.....	15
2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	16
2.6.4 สมดุลของการดูดซับ.....	17
2.6.5 การดูดซับแบบคอลัมน์.....	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.6 จลนศาสตร์การดูดซับ.....	20
2.7 แก้ว.....	21
2.7.1 ประเภทของแก้ว.....	22
2.7.2 วัสดุที่ใช้ในการผลิตแก้ว.....	24
2.7.3 อุตสาหกรรมแก้ว.....	25
2.8 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมี.....	26
2.8.1 ลักษณะพื้นที่ผิว	26
2.8.2 พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุน.....	27
2.8.3 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบ.....	28
2.8.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว.....	28
2.8.5 การวิเคราะห์หาค่าพีเอชที่ให้ความหนาแน่นของประจุบนพื้นผิว เป็นศูนย์(pH_{PZC}).....	30
2.9 แมงกานีสออกไซด์.....	31
2.10 สารลดแรงตึงผิว.....	32
2.10.1 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว.....	33
2.10.2 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว.....	34
2.10.3 การนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์.....	35
2.10.4 สารลดแรงตึงผิวกับสีย้อม.....	36
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
2.11.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับแก้ว.....	37
2.11.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับแมงกานีสออกไซด์.....	37
2.11.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการบำบัดสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว.....	38
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	40
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์.....	40
3.1.2 สารเคมี.....	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2. วิธีการศึกษาวิจัย.....	44
3.2.1 การเตรียมตัวกลางดูดซับ.....	45
3.2.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมี.....	47
3.2.3 ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อม.....	50
3.2.4 ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม.....	52
3.2.5 ศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อม.....	53
3.2.6 ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับสารลดแรงตึงผิว.....	54
3.2.7 ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว.....	55
3.2.8 ศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว.....	56
3.2.9 การศึกษาคุณสมบัติของตัวกลางดูดซับในการคัดเลือกมลสารระหว่าง สารลดแรงตึงผิวและสีย้อม.....	57
3.2.10 ศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อม สารลดแรงตึงผิวและ สีย้อมผสมสารลดแรงตึงผิว โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์.....	61
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	66
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์..	66
4.1.1 ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์ กับเศษแก้ว.....	66
4.1.2 ความเข้มข้นของสารละลายแมงกานีสคลอไรด์.....	68
4.1.3 การชะละลายของแมงกานีส.....	71
4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของตัวกลางดูดซับ.....	75
4.2.1 ปริมาณธาตุองค์ประกอบ.....	75
4.2.2 ลักษณะพื้นผิว.....	75
4.2.3 พื้นผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน.....	77
4.2.4 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับ.....	77
4.2.5 ค่าพีเอชที่ให้ความหนาแน่นของประจุบนพื้นผิวเป็นศูนย์ (pH_{PZC})...	79
4.3 การดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวแบบที่ละเท.....	80
4.3.1 จลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว.....	80

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับสี่ข้อมและสารลดแรงตึงผิว.....	84
4.3.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสี่ข้อมชนิดอื่น.....	88
4.3.4 ผลกระทบค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการดูดซับ.....	89
4.3.5 ปฏิกิริยาการดูดซับสี่ข้อมและสารลดแรงตึงผิว.....	93
4.4 การคัดเลือกมลสารระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสี่ข้อม.....	94
4.5 การดูดซับสี่ข้อม สารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวผสมสี่ข้อมแบบ คอลลิมน์.....	100
4.6 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกับตัวกลางดูดซับชนิดอื่นๆ.....	109
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	111
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	111
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	112
รายการอ้างอิง.....	113
ภาคผนวก.....	119
ภาคผนวก ก ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสี่ข้อมและสารลดแรงตึงผิว.....	120
ภาคผนวก ข ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสี่ข้อมและสารลดแรงตึงผิว.....	124
ภาคผนวก ค ข้อมูลการดูดซับสี่ข้อม สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิว ผสมสี่ข้อมแบบคอลลิมน์.....	134
ภาคผนวก ง การวัดค่าสี่ข้อมและสารลดแรงตึงผิว.....	149
ภาคผนวก จ ข้อมูลวิเคราะห์เศษแก้วด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์.....	155
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	157

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประเภท สีย้อม.....	7
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยกับประเภทของสีย้อม..	9
ตารางที่ 2.3 แหล่งวัตถุดิบของการผลิตแก้ว.....	25
ตารางที่ 2.4 แสดงข้อมูลและสัดส่วนของปริมาณเศษแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	26
ตารางที่ 3.1 สมบัติของสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว.....	43
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและช่วงที่ทำการศึกษาค่าการเตรียมเศษแก้วเคลือบแมงกานีส ออกไซด์.....	47
ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ต่างๆ และวิธีการวิเคราะห์.....	49
ตารางที่ 3.4 ตัวแปรที่ใช้ในศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อม.....	51
ตารางที่ 3.5 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม.....	52
ตารางที่ 3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อม	53
ตารางที่ 3.7 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาจลนศาสตร์ของสารลดแรงตึงผิว.....	54
ตารางที่ 3.8 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว.....	55
ตารางที่ 3.9 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับ สารลดแรงตึงผิว.....	56
ตารางที่ 3.10 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อความสามารถการดูด ซับสีย้อม.....	58
ตารางที่ 3.11 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของสีย้อมต่อความสามารถการดูดซับ สารลดแรงตึงผิว.....	60
ตารางที่ 3.12 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมแบบคอลัมน์...	62
ตารางที่ 3.13 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว แบบคอลัมน์.....	63
ตารางที่ 3.14 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับ สารลดแรงตึงผิว ผสมกับสีย้อมแบบคอลัมน์.....	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงการชะละลายของแมงกานีสของตัวกลางที่เตรียมระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้วต่างกันในความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ 2.5 โมลาร์คงที่.....	73
ตารางที่ 4.2 แสดงการชะละลายของแมงกานีสของตัวกลางดูดซับที่เตรียมจากความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ต่างกัน ที่ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว 10 ชั่วโมงคงที่.....	74
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบเศษแก้ว.....	75
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุน ของเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	77
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	78
ตารางที่ 4.6 ค่า pH_{PZC} และประจุของ ตัวกลางดูดซับ ในสารละลายพีเอชต่างๆ	79
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าคงที่และตัวแปรของอันดับปฏิกิริยาการดูดซับ สีย้อมและสารลดแรงตึงผิว.....	84
ตารางที่ 4.8 ตัวแปรไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และฟรุนดลิช.....	88
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และฟรุนดลิช.....	89
ตารางที่ 4.10 ผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว ...	92
ตารางที่ 4.11 แรงที่ใช้ในการดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว.....	93
ตารางที่ 4.12 ความสามารถในการดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวสูงสุด.....	98
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าที่ใช้ในการทดลองการดูดซับแบบคอลัมน์.....	100
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองในการดูดซับแบบคอลัมน์.....	105
ตารางที่ 4.15 ความสามารถในการดูดซับแบบคอลัมน์.....	108
ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับแบบคอลัมน์ และแบบทีละเท ...	108
ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกับตัวกลางดูดซับชนิดอื่นๆ.....	109
ตารางที่ ก1 ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อม BY1.....	121
ตารางที่ ก2 ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อม AB45.....	121
ตารางที่ ก3 ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100.....	122

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก4 ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC.....	122
ตารางที่ ก5 ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS.....	123
ตารางที่ ข1 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม BY1 ที่พีเอช 5.....	125
ตารางที่ ข2 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม AB45 ที่พีเอช 5.....	125
ตารางที่ ข3 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 ที่พีเอช 5.....	126
ตารางที่ ข4 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC ที่พีเอช 5.....	126
ตารางที่ ข5 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS ที่พีเอช 5.....	127
ตารางที่ ข6 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม BY1 ที่พีเอช 7.....	128
ตารางที่ ข7 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม AB45 ที่พีเอช 7.....	128
ตารางที่ ข8 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 ที่พีเอช 7.....	129
ตารางที่ ข9 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC ที่พีเอช 7.....	129
ตารางที่ ข10 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS ที่พีเอช 7.....	130
ตารางที่ ข11 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม BY1 ที่พีเอช 9.....	131
ตารางที่ ข12 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม AB45 ที่พีเอช 9.....	131
ตารางที่ ข13 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 ที่พีเอช 9.....	132
ตารางที่ ข14 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC ที่พีเอช 9.....	132
ตารางที่ ข15 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS ที่พีเอช 9.....	133
ตารางที่ ค1 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อม BY1 ความเข้มข้นเริ่มต้น 98.773 มก./ล.	135
ตารางที่ ค2 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อมAB45 ความเข้มข้นเริ่มต้น 100.883 มก./ล.....	136
ตารางที่ ค3 ผลการทดลองคอลัมน์ของสารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 200.870 มก. /ล.....	137
ตารางที่ ค4 ผลการทดลองคอลัมน์ของสารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 299.688 มก./ล.....	139
ตารางที่ ค5 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อม BY1 ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.938 มก. /ล ผสมสารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 151.984 มก. /ล.....	141

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค6 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อมBY1ความเข้มข้นเริ่มต้น 150.536 มก. /ล ผสมสารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 100.081 มก. /ล.....	143
ตารางที่ ค7 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อมAB45ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.248 มก. /ล ผสมสารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 202.527 มก. /ล.....	145
ตารางที่ ค8 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อมAB45 ความเข้มข้นเริ่มต้น150.413 มก/ล ผสมสารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 99.061 มก. /ล.....	147
ตารางที่ ง1 สารลดแรงตึงผิว TX100 ผสมสีย้อม BY1.....	153
ตารางที่ ง2 สารลดแรงตึงผิว TX100 ผสมสีย้อม AB45.....	154
ตารางที่ ง-3 สารลดแรงตึงผิว CPC ผสมสีย้อม BY1.....	154
ตารางที่ ง4 สารลดแรงตึงผิว LAS ผสมสีย้อม AB45.....	154

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์.....	18
ภาพที่ 2.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช.....	19
ภาพที่ 2.3 แสดงเส้นโค้งเบรคทลูจี้ในการดูดซับแบบคอลัมน์.....	20
ภาพที่ 2.4 แผนภูมิระบบไม่เคลสสันอินเทอร์พรีอิมิตอร์.....	29
ภาพที่ 2.5 สารลดแรงตึงผิว.....	33
ภาพที่ 3.1 โครงสร้างโมเลกุลของ สีเบสิก เยโลว์ 1 (Basic Yellow 1)	41
ภาพที่ 3.2 โครงสร้างโมเลกุลของสีเมทิลีนบลู (MB).....	42
ภาพที่ 3.3 โครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมแอซิด บลู 45 (Acid Blue 45)	42
ภาพที่ 3.4 โครงสร้างโมเลกุลของ iso-octylphenol ethoxylate (TX100).....	42
ภาพที่ 3.5 โครงสร้างโมเลกุลของ Cetyl pyridium Chloride (CPC)	43
ภาพที่ 3.6 โครงสร้างโมเลกุล Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)	43
ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	44
ภาพที่ 3.8 ขนาดและการติดตั้งคอลัมน์.....	61
ภาพที่ 4.1 การดูดซับสีย้อมBY1 บนพื้นผิวตัวกลางพิเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ ที่ระยะเวลาการนอนผสมต่างกัน.....	66
ภาพที่ 4.2 การดูดซับสีย้อมAB45 บนพื้นผิวตัวกลางพิเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ ที่ระยะเวลาการนอนผสมต่างกัน.....	67
ภาพที่ 4.3 การดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 บนพื้นผิวตัวกลางพิเศษแก้วเคลือบ เมงกานีสออกไซด์ที่ระยะเวลาการนอนผสมต่างกัน.....	67
ภาพที่ 4.4 การดูดซับสารลดแรงตึงผิวCPC บนพื้นผิวตัวกลางพิเศษแก้วเคลือบ เมงกานีสออกไซด์ที่ระยะเวลาการนอนผสมต่างกัน.....	67
ภาพที่ 4.5 การดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS บนพื้นผิวตัวกลางพิเศษแก้วเคลือบ เมงกานีส ออกไซด์ที่ระยะเวลาการนอนผสมต่างกัน.....	68
ภาพที่ 4.6 การดูดซับสีย้อมBY1 บนพื้นผิวตัวกลางที่เตรียมด้วยความเข้มข้นเมงกานีส คลอไรด์ต่างกัน.....	69
ภาพที่ 4.7 การดูดซับสีย้อม AB45 บนพื้นผิวตัวกลางที่เตรียมด้วยความเข้มข้น เมงกานีสคลอไรด์ต่างกัน.....	69

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.8 การดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 บนพื้นผิวดัวกลางที่เตรียมด้วยความ เข้มข้นเมงกานีสคลอไรด์ต่างกัน.....	70
ภาพที่ 4.9 การดูดซับสารลดแรงตึงผิวCPC บนพื้นผิวดัวกลางที่เตรียมด้วยความ เข้มข้นเมงกานีสคลอไรด์ต่างกัน.....	70
ภาพที่ 4.10 การดูดซับสารลดแรงตึงผิวLAS บนพื้นผิวดัวกลางที่เตรียมด้วยความ เข้มข้นเมงกานีสคลอไรด์ต่างกัน.....	70
ภาพที่ 4.11 แผนภาพแสดงขอบเขตความคงตัวของเมงกานีส.....	72
ภาพที่ 4.12 ลักษณะพื้นผิวของเศษแก้วจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.	76
ภาพที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิวของเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์จากกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	76
ภาพที่ 4.14 ไอโซเทอมการดูดซับไนโตรเจนของเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบเมงกานีส ออกไซด์.....	77
ภาพที่ 4.15 ผลวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ ด้วยFTIR... ..	78
ภาพที่ 4.16 ความหนาแน่นของประจุที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	79
ภาพที่ 4.17 จลนศาสตร์การดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 บนพื้นผิวดัวกลางเศษแก้ว..	80
ภาพที่ 4.18 จลนศาสตร์การดูดซับ สารลดแรงตึงผิว TX100, CPC และ LAS บนพื้นผิวดัวกลางเศษแก้ว.....	81
ภาพที่ 4.19 จลนศาสตร์การดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 บนพื้นผิวดัวกลางเศษแก้ว เคลือบเมงกานีสออกไซด์	81
ภาพที่ 4.20 จลนศาสตร์การดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 CPC และ LAS บนพื้นผิว ดัวกลางเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์.....	81
ภาพที่ 4.21 อันดับปฏิกิริยาหนึ่งเสมือน (Pseudo first-order reaction).....	83
ภาพที่ 4.22 อันดับปฏิกิริยาสองเสมือน (Pseudo second-order reaction).....	83
ภาพที่ 4.23 ความสามารถในการดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45.....	84
ภาพที่ 4.24 ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100, CPC และ LAS.....	85
ภาพที่ 4.25 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม BY1.....	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.26 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม AB45.....	91
ภาพที่ 4.27 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100.....	91
ภาพที่ 4.28 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC.....	91
ภาพที่ 4.29 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS.....	92
ภาพที่ 4.30 (ก) ผลของสารลดแรงตึงผิวTX100ต่อการดูดซับสีย้อม BY1.....	94
ภาพที่ 4.30 (ข) ผลของสีย้อม BY1ต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100.....	94
ภาพที่ 4.31 (ก) ผลของสารลดแรงตึงผิวTX100ต่อการดูดซับสีย้อม AB45.....	95
ภาพที่ 4.31 (ข) ผลของสีย้อม AB45 ต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100.....	95
ภาพที่ 4.32 (ก) ผลของสารลดแรงตึงผิวCPCต่อการดูดซับสีย้อม BY1.....	96
ภาพที่ 4.32 (ข) ผลของสีย้อมBY1ต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC.....	96
ภาพที่ 4.33 (ก) ผลของสารลดแรงตึงผิวLASต่อการดูดซับสีย้อม AB45.....	97
ภาพที่ 4.33 (ข) ผลของสีย้อมAB45ต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS.....	97
ภาพที่ 4.34 เส้นโค้งเบอร์คทวร์จของสีย้อม BY1.....	102
ภาพที่ 4.35 เส้นโค้งเบอร์คทวร์จของสีย้อม AB45.....	102
ภาพที่ 4.36 เส้นโค้งเบอร์คทวร์จของสีย้อม CPC.....	102
ภาพที่ 4.37 เส้นโค้งเบอร์คทวร์จของสารลดแรงตึงผิว LAS.....	103
ภาพที่ 4.38 เส้นโค้งเบอร์คทวร์จของสีย้อม BY1 ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มก./ล ผสมกับสารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มก./ล.....	103
ภาพที่ 4.39 เส้นโค้งเบอร์คทวร์จของสีย้อม BY1ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มก./ล ผสมกับสารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น100 มก./ล.....	104
ภาพที่ 4.40 เส้นโค้งเบอร์คทวร์จของสีย้อม AB45 ความเข้มข้นเริ่มต้น50 มก./ล ผสมกับสารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มก./ล.....	104
ภาพที่ 4.41 เส้นโค้งเบอร์คทวร์จของสีย้อม AB45 ความเข้มข้นเริ่มต้น150 มก./ล ผสมกับสารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มก./ล.....	105
ภาพที่ ง1 ความคลื่อนสูงสุดของสีเบสิค เบลโล่1 (BY1).....	150
ภาพที่ ง2 ความคลื่อนสูงสุดของสีเมทิลีนบลู (MB).....	151
ภาพที่ ง3 ความคลื่อนสูงสุดของสีแอสซิด บลู 45 (AB 45).....	151

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ ๔4 ความคลีนสูงสุดของ iso-octylphenol ethoxylate (Triton X-100).....	152
ภาพที่ ๕5 ความคลีนสูงสุดของ Cetyl pyridium Chloride (CPC).....	152
ภาพที่ ๖6 ความคลีนสูงสุดของ Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS).....	153
ภาพที่ ๗1 ข้อมูลวิเคราะห์เศษแก้วด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนส์ สเปกโทรมิเตอร์.	156

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากเครื่องนุ่งห่มเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมขั้นกลางในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนวัสดุสิ่งทอที่อยู่ในรูปเส้นด้ายหรือผ้าดิบให้เป็นวัสดุสำเร็จรูปที่สามารถนำไปผลิตหรือจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคต่อไปได้ กระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้นต้องใช้วัตถุดิบที่เป็นสารเคมี ไม่ว่าจะเป็นสีย้อม กรด ด่าง สารปรับปรุงคุณภาพต่าง ๆ เช่น สารตกแต่ง สารฟอกขาว เป็นต้น และสิ่งที่ไม่ได้ก็คือน้ำที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมที่ต้องใช้ในปริมาณที่มาก เพื่อให้ได้ผ้าหรือเส้นด้ายที่มีสีสันทนสวยงาม คงทนต่อสภาวะแวดล้อม

สีย้อมที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนซึ่งยากแก่การกำจัด ทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอทั่วไปยังคงมีสีที่น่ายังเกียดต่อผู้พบเห็น นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษน้ำและมีสารพิษที่สามารถทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ไม่ว่าจะเป็นการทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำลดลง ความเข้มข้นของสีในน้ำที่มีค่าสูงขัดขวางการเดินทางของแสงซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืช (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2544)

เนื่องจากน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นมีความเข้มข้นของสีค่อนข้างสูงและยังสามารถพบสารลดแรงตึงผิวได้อีกด้วย (Talman และ Atun, 2006) โดยมีการนำสารลดแรงตึงผิวมาใช้ใน ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (Preparation) การย้อมสี (Dyeing) และการตกแต่งสำเร็จ (Finishing) เพื่อให้ทำความสะอาดผ้าเพื่อเตรียมเส้นด้ายหรือผ้าดิบไปย้อมหรือตกแต่งสำเร็จ และล้างสีส่วนเกินและสารช่วยย้อมออกจากผ้า (ควบคุมมลพิษกรรม, 2552) ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดสีและสารลดแรงตึงผิวก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีวิธีการกำจัดหลายวิธีการดูดซับ เป็นวิธีหนึ่งที่มีราคาต้นทุนในการบำบัดค่อนข้างต่ำ

โลหะออกไซด์ เช่น เหล็กออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ และแมงกานีสออกไซด์ มีความสามารถในการดูดซับมลพิษในน้ำเสีย โดยการใช้แมงกานีสออกไซด์บริสุทธิ์ไม่เป็นที่ยอมรับ เนื่องจาก ขนาดของโลหะออกไซด์มีขนาดเล็ก จึงทำให้แยกออกจากน้ำได้ยาก (Han และ คณะ, 2006) ดังนั้น จึงมีการนำแมงกานีสออกไซด์มาประยุกต์ใช้งาน เช่น นำทรายเคลือบ

แมงกานีสออกไซด์มาดูดซับสังกะสีและนิกเกิล (พจนจิตร ฐ นลิน , 2539) นำดินเบาเคลือบแมงกานีสออกไซด์มาดูดซับโลหะหนัก (พรเพ็ญ มีทองมูล , 2545) และนำดินเบาที่ปรับสภาพโดยแมงกานีสออกไซด์มาดูดซับสีย้อมเบสิกและรีแอกทีฟ (Khraisheh และคณะ, 2004)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะใช้เศษแก้วที่ได้จากกระบวนการบดขวดแก้วที่ไม่ใช้แล้วจากโรงงานรีไซเคิลขวดแก้วมาเคลือบแมงกานีสออกไซด์ เพื่อการกำจัดสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้ประโยชน์จากการตกตะกอนคอลลอยด์ของแมงกานีสออกไซด์บนผิวของตัวกลาง (Zou และคณะ, 2006)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาความสามารถและความเป็นไปได้ในการกำจัดสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเศษแก้วที่เคลือบแมงกานีสออกไซด์
2. ศึกษาคุณสมบัติของเศษแก้วที่เคลือบด้วยแมงกานีสออกไซด์ในการคัดเลือกมลสารระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสีย้อม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เศษแก้วสีชา จากกระบวนการบดขวดแก้วที่ไม่ใช้แล้วจากโรงงานรีไซเคิลขวดแก้ว
2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวกลางดูดซับ
 - ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว ได้แก่ 5, 10, 20 และ 24 ชั่วโมง
 - ความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ ได้แก่ 1.5 , 2.0, 2.5 และ 3.0 โมลาร์
3. สารย้อมดูดซับประเภทสีย้อม
 - สีเบสิค เยลโล่ 1 (Basic Yellow 1 : BY1)
 - สีเมทิลีนบลู (Methylene blue : MB)
 - สีแอซิด บลู 45 (Acid Blue 45 : AB45)
4. สารย้อมดูดซับประเภทสารลดแรงตึงผิว
 - Triton X-100 (TX100)
 - Cetyl pyridium Chloride (CPC)
 - Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
5. วัดค่าสีและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
6. ทำการทดลองแบบที่ละเทและแบบคอลัมน์
7. สถานที่ทำการทดลอง คือ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อทราบถึงความสามารถในดูดซับ สีย้อมและสารลดแรงตึงผิวในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย
เศษแก้วที่เคลือบแมงกานีสออกไซด์
2. สามารถประยุกต์ใช้เศษแก้วที่เคลือบแมงกานีสออกไซด์ในการดูดซับสีย้อมและสารลด
แรงตึงผิวจากน้ำเสีย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอ หมายถึง อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยวิธีการถักทอเส้นใย ต่าง ๆ ทั้งที่ได้จากธรรมชาติและที่ได้จากเส้นใยประดิษฐ์ อุตสาหกรรมสิ่งทอเริ่มจากการผลิตเส้นใยแล้วนำมาปั่นเป็นเส้นด้าย นำมาทำเป็นผ้าผืน หรือเส้นด้ายมาเตรียมซึ่งก็คือการทำความสะอาดผ้าหรือเส้นด้าย ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปย้อม พิมพ์ หรือทำชาวเมื่อเรียบเรียงแล้วจึงมาตกแต่งด้วยสารเคมีหรือโดยทางกลเพื่อให้เนื้อผิวมีผิวสัมผัสหรือคุณสมบัติต่างๆ ตามความต้องการของลูกค้า

เส้นใยที่นำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 ชนิดคือ เส้นใยจากธรรมชาติ (Natural fiber) ได้แก่ เส้นใยที่ได้มาจากพืชและสัตว์ เช่น ฝ้าย ป่าน และใยประดิษฐ์ (man-made fiber) ได้แก่ เส้นใยที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น เช่น เรยอน โพลีเอสเตอร์

กระบวนการผลิตของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอมีขั้นตอนการผลิตหลัก 3 ขั้นตอน คือ การปั่นด้าย การทอ และการย้อมสี (มณฑา จันทรโกตฤทัย, 2541) โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการผลิตโดยสังเขปดังนี้

1. กระบวนการปั่นด้าย (spinning process) เป็นกระบวนการที่นำเอาเส้นใยสั้น ๆ มาจัดเรียงกันให้เป็นเส้นยาวและได้ขนาดตามความต้องการ ปิดเกลียวให้เส้นใยยึดกันแน่น

2. กระบวนการทอผ้า (weaving process) เป็นกระบวนการที่ใช้ด้ายพุ่ง (weft) และด้ายยืน (warp) มาขัดกันแล้วได้เป็นผ้าทอ การสอดด้ายพุ่งและด้ายยืนให้ขัดกันมีหลายแบบ โดยหลักการสอดขัดกันเบื้องต้น แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ การทอลายขัด การทอลายสอง และการทอลายถ้วน

3. กระบวนการย้อมสีและตกแต่งผ้า (dyeing and finishing process) เป็นกระบวนการการผลิตขั้นสุดท้ายของอุตสาหกรรมสิ่งทอก่อนจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นผืนผ้าสีสันทันต่างๆ ตามที่ต้องการ โดยในกระบวนการนี้แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- การเตรียมผ้า (pretreatment) เพื่อให้การย้อมสีและตกแต่งผ้าทำให้ง่ายและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องขจัดสิ่งเจือปนและสิ่งสกปรกที่ติดมากับเส้นใยก่อน รวมทั้งต้องกำจัดแป้งที่ลงด้ายยืนออกด้วย เส้นใยประดิษฐ์เป็นเส้นใยที่มีความสะอาดอยู่แล้ว การลงแป้งก็เป็นแป้งที่ล้างออกง่าย

• กระบวนการฟอกย้อม (dyeing process) มี 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนการเตรียมวัสดุสิ่งทอ และขั้นตอนการย้อม ปัจจัยที่มีผลต่อการย้อมมีดังต่อไปนี้

1) สีย้อม (dye) สีย้อมที่ใช้ในการย้อมมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดก็ใช้กับเส้นใยหรือผ้าไม่เหมือนกัน

2) สารช่วยย้อม (additives) เป็นสารเคมีที่มีการเพิ่มใส่ลงไปในการย้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้มีการดูดติดสีและทนทานมากขึ้น และทำให้สีย้อมติดเส้นใยแล้วมีความคงทนมากขึ้น สารช่วยย้อมที่สำคัญ สามารถแบ่งออกได้ เป็น 7 ประเภท คือ

- กรด ใช้สำหรับย้อมเส้นใยโปรตีน และไนลอนเมื่อใช้สีย้อมแอสิด
- ด่าง ใช้สำหรับย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีย้อมอะโซอิก แวต และกำมะถัน
- เกลือ ใช้ในการย้อมด้วยสีย้อมแอสิด และการย้อมเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิด
- สารช่วยให้สีสม่ำเสมอ ใช้กับสีแวต ดิสเพอร์ส และสีแอสิดบางชนิด
- สารพา (Carrier) ใช้เมื่อย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
- สารละลายอินทรีย์ ใช้ย้อมขนสัตว์และใยสังเคราะห์บางชนิด
- สารรีดิวซ์ ใช้รีดิวซ์ตัวสีบางชนิดเพื่อประโยชน์ในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใย

2.2 สีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ

สีย้อมที่ใช้ในโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอแต่ละโรงงานจะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการผลิต และประเภทของสีย้อมจะมีอิทธิพลต่อการบำบัดน้ำเสียมาก

2.2.1 การจำแนกสีย้อม

สีย้อมที่นำมาใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามกฎเกณฑ์ที่ใช้ คือ

1) การจำแนกสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพ การแบ่งสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ สีย้อม (Dyes) แบ่งเป็น สีย้อมที่ละลายน้ำได้และพิกเมนต์ (Pigment) สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ

เมื่อทำการย้อมจะต้องทำให้สีอยู่ในสภาพที่สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่เส้นใยแล้วเกิดการติดกับเส้นใยได้ จะต้องทำการละลายในตัวกลางหรือแขวนลอยในเรซิน โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นอาจเป็นแบบเชิงกลหรือ เชิงเคมี อย่างไรก็ตาม เมื่อสีย้อมอยู่ในสภาพสารละลายแล้ว จะเป็นการยากที่จะบอกว่าสีย้อมนั้นละลายอยู่ในน้ำหรือในตัวทำละลาย จึงยากแก่การจำแนกว่าตัวไหนเป็นสีย้อมหรือเป็นสีพิกเมนต์ ทำให้การแบ่งแยกแบบนี้เกิดการสับสนได้

2) การจำแนกสีย้อมตามส่วนประกอบทางเคมี

การจำแนกสีย้อมตามลักษณะทางเคมีค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากต้องอาศัยความรู้ทางด้านเคมีขั้นสูง นอกจากนี้สีในกลุ่มเดียวกันก็อาจมีวิธีย้อมที่แตกต่างกัน และใช้กับเส้นใยชนิดต่างกัน เช่น สีในกลุ่มแอโซ (azo) บางตัวย้อมได้โดยตรงก็จะจัดเป็นสีไดเรกต์ บางตัวจะติดได้เมื่อน้ำย้อมมีสภาพเป็นกรด ก็จะจัดเป็นสีแอซิด (acid) บางตัวต้องใช้สารบางอย่างมาช่วยในการติดเส้นใย ซึ่งก็จะจัดเป็นสีมอร์แดนท์ จึงเห็นได้ว่า การแบ่งสีย้อมด้วยส่วนประกอบทางเคมี จะทำให้มีความยุ่งยากในการจดจำโดยเฉพาะสำหรับผู้ที่มีความรู้ทางด้านเคมีไม่เพียงพอ แต่อย่างไรก็ตามสำหรับผู้รู้สูตร โครงสร้างสีย้อมอย่างแน่นอน และมีความรู้ทางด้านเคมีเป็นอย่างดีนั้น การจำแนกด้วยวิธีนี้จะมีประโยชน์อย่างมาก

สีย้อมสามารถจำแนกตามลักษณะส่วนประกอบทางเคมีได้เป็น 11 ชนิด

- 1) Azo Colorants
- 2) Phenylmethane Dyes
- 3) Xanthene Dyes
- 4) Indigoid Dyes
- 5) Polycyclicquinone Dyes
- 6) Sulfur Fusion Dyes
- 7) Amine Oxidation Colorants
- 8) Phthalocyanine Colorants
- 9) Onium Dyes
- 10) Reactive Dyes
- 11) Pigments

3) การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการนำไปใช้งาน

การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการนำไปใช้งานเป็นวิธีที่สะดวกแก่ผู้ใช้ ทำให้การจำแนกวิธีนี้เป็นที่ยอมรับกันในบรรดาผู้ใช้และในอุตสาหกรรมผลิตสี แม้แต่สมาคมผู้ย้อมสีและผู้ผลิตสี (The Society of Dyes and Colourist) ก็ยอมรับว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยสามารถจำแนกสีย้อมตามลักษณะการนำไปใช้งานได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทสีย้อม (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2544)

ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	เส้นใยที่เหมาะสม	พันธะหรือกลไกติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมเอซิด (acid dye)	- กระจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดไม่แน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไฮออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 3-5 - สมมติว่าเส้นใยมีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50- 100 °ซ
สีย้อมเมทัลคอมเพล็กซ์เอซิด (metal complex acid dye)	- กระจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดแน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไฮออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 5-7 - สมมติว่าเส้นใยมีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50- 100 °ซ
สีย้อมไดเรกต์ (direct dye)	- กระจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดไม่แน่น	- ฝ้าย - วิสกอส	- พันธะไฮออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายต่างอ่อน - เต็มอิเล็กโตรไลต์โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟตและสีย้อมที่อุณหภูมิ 98 °ซ
สีย้อมเบสิก (basic dye or cationic dye)	- กระจุลบ - ละลายน้ำได้ดี	- อะคริลิก	- พันธะไฮออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4-6 - เต็มสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิ 100 – 105 °ซ

ตารางที่ 2.1 ประเภทสีย้อม (ต่อ)

สีย้อมดิสเพอร์ส (disperse dye)	- ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก - กระจายเป็นอนุภาคคอลลอยด์ - สีติดแน่นดี	- โพลีเอสเตอร์ - ไนลอน - อะคริลิก - เซลลูโลส - อะซิเทต	- เนื่องจากเป็นคอลลอยด์จึงเป็นการดูดติดผิวเส้นใย	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4-5 - เติมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิถึง 130 °ซ
สีย้อมรีแอกทีฟ (reactive dye)	- กระจุก - ละลายน้ำได้ดี - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสกอส - ขนสัตว์	- พันธะโควาเลนต์	- แช่เส้นใยในสารละลายกรด - เติมเกลือเพื่อกระจายสีไปสู่เส้นใย
สีย้อมอะโซอิก (azoic dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยา - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่นดี	- ฝ้าย - วิสกอส	- เกิดการตกผลึกขึ้นภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายต่างที่มีโซเดียมซัลเฟต - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโตรไลต์
สีย้อมแวลต์ (vat dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยา - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่นดี	- ฝ้าย - วิสกอส	- เกิดการตกผลึกขึ้นภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายต่างที่มีโซเดียมซัลเฟต - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโตรไลต์
สีย้อมมอร์ดนต์หรือโครม (mordant or chrome)	- กระจุก - ละลายน้ำได้ดี - สีติดแน่น	- ขนสัตว์	- พันธะเชิงซ้อนของเส้นใยโครมและสีย้อม	- แช่เส้นใยในสารละลายกรด - เติมโซเดียมไดโครเมต - เติมสีย้อมเพิ่มอุณหภูมิถึง 98 °ซ

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยบางประเภทกับประเภทของสีย้อม
(สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2544)

เส้นใย	โครงสร้างทางเคมีของเส้นใย	สีย้อมที่ใช้
ขนสัตว์	NH_2COOH , CONH	แอซิด เมทัลคอมเพล็กซ์ โครมรีแอกทีฟ
ไหม	NH_2COOH , CONH	แอซิด เมทัลคอมเพล็กซ์ เบสิกแควิต
Cuprommonium Rayon	OH , COOH	ไดเร็กซ์ แควิต ซัลเฟอร์
วิสคอส เรยอน	OH , COOH	ไดเร็กซ์ แควิต ซัลเฟอร์
ฝ้าย	OH	ไดเร็กซ์ แควิต ซัลเฟอร์ รีแอกทีฟ
Secondary cellulose acetate	OH , COOH	ดิสเพอร์ส
Cellulose Triacetate	COOH	ดิสเพอร์ส
ไนลอน 6.686	NH_2 , COOH , CONH	แอซิด เมทัลคอมเพล็กซ์ ไดเร็กซ์ ดิสเพอร์ส รีแอกทีฟ
อะครีลิก	COOH , SO_3H , OSO_3H	เบสิก ดิสเพอร์ส
โพลีเอสเตอร์	OH , COOH , COO	ดิสเพอร์ส

2.3 ทฤษฎีการย้อมสี

สีย้อมเป็นสารเคมีที่สกัดจากน้ำมันปิโตรเลียม หรือ อถ่านหินเมื่อน้ำมันปิโตรเลียมหรืออถ่านหินผ่านการสกัดจะได้สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว เช่น เบนซีน ไชลีน แอนทราซีน โทลูอีน แนพทาลิน และพาราฟินซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งสีย้อมที่ผลิตขึ้นมาหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับเส้นใย และกระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป การที่จะนำสีย้อมใดๆมาย้อมให้ได้ผลดีนั้นขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีอำนาจมากกว่าน้ำ เราจะสามารถทำให้เกิดสภาวะเช่นนี้ขึ้นได้เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้ เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการดูดติดเส้นใยได้เอง (substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (bond) ยึดกันแน่น

อาจกล่าวได้อย่างกว้างๆ ว่าอิทธิพลเชิงเคมี 4 ชนิดที่ทำให้สียึดติดเส้นใย คือ

- พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)
- แรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals' force)
- แรงไอออน (ionic force)
- พันธะโควาเลนต์ (covalent bond)

กำลังแรงเหล่านี้มักไม่ทำหน้าที่เพียงลำพัง การยึดติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อม กับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยต้องประกอบไปด้วย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็อาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน สำหรับแรงยึดติดทางเคมีที่จะให้การยึดติดที่ดีที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์

การยึดติดของโมเลกุลสีย้อมกับเส้นใย นอกจากจะเป็นอิทธิพลเชิงเคมีของแรงทั้ง 4 ชนิดแล้ว อิทธิพลด้านเรขาคณิตของโมเลกุลของสีย้อม หรืออาจกล่าวอย่างง่าย ๆ ว่า รูปร่างและขนาดของโมเลกุลของสีย้อมก็มีผลต่อการยึดติดหรือมีผลกระทบต่อการย้อมอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมมีขนาดเล็กและยาว ก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้น จะทำให้เกิดการติดสีย้อม หรือถ้าโมเลกุลของสีย้อมมีลักษณะแบนและมีความกว้างมากกว่าความยาวมากๆ จะทำให้เกิดการติดสีย้อมที่มีความคงทนสูงมากขึ้น อาจกล่าวได้ว่าการที่โมเลกุลของสีย้อมยึดเกาะกับโมเลกุลของเส้นใยเป็นผลเนื่องจากแรงทางเคมีและผลทางฟิสิกส์ร่วมกัน

2.4 น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2544)

2.4.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอมีที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ น้ำที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมพิมพ์และตกแต่งน้ำในส่วนนี้จะมีสีที่เหลืองจากการระบายการย้อมไหลปะปนมากับน้ำและน้ำที่ใช้ในกระบวนการซักล้างหลังการฟอกย้อม

2. น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ โดยในกระบวนการฟอกย้อมจะมีการอาศัย ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ถ้าได้น้ำที่ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อน้ำจะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรงจะไปเพิ่มปริมาณของน้ำย้อมและถูกรวมเป็นน้ำเสีย

3. น้ำหล่อเย็น ในกระบวนการย้อมบางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำสะอาด สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องและทำความสะอาดโรงงาน ส่วนใหญ่จะมีการปนเปื้อนของสารทำความสะอาดและสิ่งสกปรกต่าง ๆ เช่น น้ำมันจากเครื่องจักรในโรงงาน ดินทราย เป็นต้น

2.4.2 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมต่อสิ่งแวดล้อม

1. สารอินทรีย์

1) ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลดลง ซึ่งมีผลทำให้

- สิ่งมีชีวิตในน้ำตาย เนื่องจากขาดออกซิเจน
- ทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถฟอกตัวเอง (self purification) ได้ทัน
- ทำให้เกิดกลิ่น
- ทำให้ไม่สามารถใช้แหล่งน้ำนั้นให้เป็นประโยชน์ทางเศรษฐกิจ

2) สารอินทรีย์บางชนิดอาจเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีผลทำให้

- เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ
- เกิดการสะสมอยู่ในระบบนิเวศ (bioaccumulation) หากสารนั้นเป็นสารที่สลายตัวได้ยาก

2. อุณหภูมิ

น้ำเสียอุณหภูมิสูงมีผลทำให้

- เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ
- ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายสูงสุดลดลง
- เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์

3. ของแข็งแขวนลอย

- เพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ
- สามารถตกตะกอนทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินได้
- ทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำ

4. ของแข็งละลายน้ำ

ถ้าหากความเข้มข้นของของแข็งละลายบางชนิดที่มีส่วนประกอบของ

โลหะหนัก เช่น เฮกซะวาเลนซ์โครเมียม มีความเข้มข้นสูงกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นอันตรายต่อปลา หรือทองแดงมีความเข้มข้น 0.1 – 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในน้ำ ทำให้ไม่สามารถใช้แหล่งน้ำให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจได้

5. สี

- ทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำ
- ทำให้ปริมาณแสงที่จะผ่านลงสู่แหล่งน้ำลดลงส่งผลให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ซึ่งทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแหล่งน้ำลดลง

6. โลหะหนัก

- ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำเกิดโรคภัยแรงได้
- เกิดการสะสมอยู่ในระบบนิเวศ
- เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์

2.5 การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

สิ่งที่เจือปนในน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอส่วนใหญ่จะเป็นสีย้อมสิ่งทอ สารเคมีและสิ่งสกปรก ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต และจะถูกปล่อยลงในแหล่งน้ำทิ้ง ลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฟอกย้อมขึ้นอยู่กับประเภทของกระบวนการ เช่น กระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย กระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ และกระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก ซึ่งแต่ละกระบวนการจะมีขั้นตอนการใช้วัตถุดิบ สารเคมี และสีย้อมต่างกัน

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอจะประกอบไปด้วยหลายๆ กระบวนการกำจัด (สมาคมวิศวกรรมแห่งประเทศไทย, 2544) แต่ละกระบวนการบำบัดจะมีวัตถุประสงค์ในการใช้ต่างกันเนื่องจากสารมลพิษในน้ำเสียมียิ่งกว่าหนึ่งตัว การจำแนกชนิดของกระบวนการบำบัดอาจจำแนกตามกลไกการกำจัดสารมลพิษ ได้แก่ ทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ หรือจำแนกตามลำดับก่อนหลังในการบำบัด ได้แก่ การบำบัดขั้นเตรียมการ การบำบัดขั้นต้น การบำบัดขั้นสอง และการบำบัดขั้นสาม การจำแนกตามกลไก ตัวอย่างเช่น ในการกำจัดสี ถ้าสีนั้นเป็นสารแขวนลอย กระบวนการบำบัดที่มักเลือกใช้จะเป็นกระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การตกตะกอน หรือในกรณีที่เป็นสารแขวนลอยขนาดเล็ก หรือคอลลอยด์ อาจใช้สารเคมีมาช่วยเพื่อรวมสารแขวนลอยให้มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ง่ายขึ้น เรียกว่า กระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation) และฟลอคคูเลชัน (flocculation) ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมี-กายภาพ โดยมีสารตกตะกอนที่นิยมใช้ส่วนใหญ่คือ สารส้ม และอาจมีสารโพลีเมอร์ช่วยในการตกตะกอน และถ้าสีนั้นเป็นสีที่เป็นสีย้อมที่ละลายน้ำปนอยู่ จะพบว่าการบำบัดด้วยวิธีโคแอกกูเลชันไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากกลไกโคแอกกูเลชันไม่สามารถใช้ในการกำจัดสารที่ละลายอยู่ในน้ำนั่นเอง ดังนั้นจึงต้องใช้กลไกอื่นในการทำปฏิกิริยากับสีที่ละลายอยู่ในน้ำโดยตรง เช่น กลไกออกซิเดชัน-รีดักชัน การใช้สารเคมีเฟนตัน และกระบวนการดูดซับ

2.6 การดูดซับ (Adsorption) (ทฎาภรณ ญฎทแ้, 2545)

การดูดซับนั้นเกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใดๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือ ของเหลว กับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารถูกดูดซับ เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) โดยกลไกการดูดซับเกิดเมื่อโมเลกุลในชั้นของเหลวเข้าใกล้สารดูดซับ มีการนำเอาการดูดซับไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ มากมาย ทั้งในอุตสาหกรรมและงานด้านสิ่งแวดล้อม สำหรับแรงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แรง คือ

1. แรงทางกายภาพ (Physical force) ประกอบด้วย

1) แรงวานเดอร์วาลส์ (Van der waal's force) อะตอมที่อยู่อย่างอิสระหรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้วสามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อนๆ ได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณที่อยู่ภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากัน มีผลทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้น และสามารถถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำ จึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อนๆ ดังนั้น การคายซับ (Desorption) จะเกิดได้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย

2) แรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วระหว่างสารที่ไม่มีขั้วกับสารที่มีขั้วด้วยกัน หรือระหว่างสารที่มีขั้วกับสารที่ไม่มีขั้ว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว เกิดจากการจัดเรียงโมเลกุล (orientation effect) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม

ข. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เกิดจากผลของการกระจาย (dispersion effect) ซึ่งเห็นผลจากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพล โมเลกุลได้เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมากและเมื่อโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะ เช่นเดียวกันเข้ามา ก็จะทำให้เกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน ซึ่งแรงนี้มักจะเป็นแรงอ่อนๆ เช่น แรงดึงดูดระหว่างสารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์

ค. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เป็นผลเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำ (induction effect) โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามา ใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว แล้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ตรงกันข้าม ทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน

2. แรงทางเคมี (Chemical force)

เกิดจากการยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนของสารกับตัวดูดซับแล้วเกิด การประกอบเชิงซ้อนใหม่ขึ้น เช่น การดูดซับระหว่างหมู่โลหะทรานซิชันกับ หมู่ฟังก์ชัน (functional group) ที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งพันธะเคมีหรือแรงเคมีที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน หรือเกิดจากการให้อิเล็กตรอน หรือการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนซึ่งกันและกัน จึงมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนของสารกับหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ ซึ่งจะมีค่ามากกว่าแรงทางกายภาพ และจากแรงทางเคมีนี้ จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ (irreversible) ปฏิกิริยาการที่โมเลกุลของของเหลว หรือคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปสัมผัสและเกาะติดแน่นอยู่บนผิวของของแข็ง โดยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ต่างชนิดกันของสารที่เป็นของแข็งและของเหลว นั้น สารที่เป็นของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่า สารดูดซับ ส่วนโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่มาเกาะจับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ

2.6.1 ประเภทของการดูดซับ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของพลังงาน หรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (electrical attractive force) อย่างอ่อนๆ ซึ่งเรียกว่าแรงวานเดอร์วาลส์ เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับถูกทำให้เกาะติดแน่นอยู่กับโมเลกุลของสารดูดซับ โดยวิธีทางกายภาพ ซึ่งจะทำให้ กิดเป็นหลายๆ ชั้นซ้อนทับกัน โดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับอยู่เหนือชั้นที่เกิดก่อน โดยจำนวนของชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวละลาย ซึ่งจำนวนชั้นของโมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพนี้ทำให้เกิดส่วนที่หน ำ และผันกลับได้ การผันกลับของการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ ถ้าแรงดึงดูดนี้มีค่าน้อยการคายซับ (desorption) จะสามารถเกิดขึ้นได้

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption or Chemisorption) จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ และสารดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่ที่มีพันธะของสารดูดซับทำให้ค่าความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าของพลังงานพันธะเคมี จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งแตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้จะมี ความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ ส่วนการดูดซับทางกายภาพสามารถที่จะผันกลับได้ความแข็งแรงของแรงดึงดูด สามารถวัดได้จากผลต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับ โดยการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 10-20 กิโลจูลต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูง โดยจะให้พลังงานประมาณ 40-400 กิโลจูลต่อโมล

ความแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพกับการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพไม่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยน หรือใช้อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกัน
2. การดูดซับทางกายภาพไม่จำกัดเกี่ยวกับบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาโมเลกุลที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปเกาะยังพื้นผิวส่วนใดก็ได้ แต่การดูดซับทางเคมีจะเลือกเฉพาะบริเวณที่สามารถเกิดพันธะเคมีได้เท่านั้น
3. ค่าความร้อนของการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าต่ำ มีค่าเท่ากับความร้อนของการกลายเป็นของเหลว เมื่อเปรียบ เทียบกับการดูดซับทางเคมี ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแต่ค่าความร้อนของการดูดซับก็ไม่ใช่ค่าที่สำคัญในการพิจารณา
4. การดูดซับทางกายภาพจะเกี่ยวข้องกับการเกิดของชั้นหลายโมเลกุล
5. การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นอย่างทันที (เป็นการแพร่เข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับ ซึ่งต้องใช้เวลาพอสมควร) ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างทันทีเช่นกัน แต่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้นด้วย

เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของการดูดซับ ถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าใกล้เคียงกับความร้อนแฝงของการกลั่นตัวเป็นของเหลว และถ้าเป็นการดูดซับทางเคมี ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับการดูดซับทางกายภาพ โดยจะมีค่าน้อยกว่าความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีไม่มากนัก พบว่าการดูดซับที่เกิดขึ้น และใช้กันมากในอุตสาหกรรมนั้นเป็นการดูดซับทางกายภาพ

2.6.2 กลไกของการดูดซับ

ขั้นตอนการดูดซับ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การขนส่งทั้งก้อน (Bulk transfer) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) จะเคลื่อนที่จากสารละลายไปยังผิวหน้าของฟิล์มน้ำหรือโมเลกุลที่ล้อมรอบตัวดูดซับ
2. การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนนี้
3. การขนส่งภายในอนุภาค (Interparticle Transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (Pore Diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน
4. การดูดซับ (Adsorption) เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่โมเลกุลของสารจะถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้น ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารมายังสารดูดซับภายใต้สภาวะการทำงาน

หนึ่งๆ การขนส่งผ่านชั้นฟิล์ม เป็นขั้นตอนการจำกัดอัตราการดูดซับ แต่หากว่าภายในระบบมีสภาพความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการขนส่งภายใน อนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับ

2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ลักษณะของสารดูดซับ (Nature of Adsorbate) การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลงเนื่องจากในการดูดซับ ตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการละลายของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำจะลดลงเมื่อความยาวของพันธะถูกใช้ยาวขึ้น นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย โดยขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

2. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะและอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นผิวภายในรูพรุน ถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ

3. อุณหภูมิ (Temperature) การดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (Exothermic) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลงแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้นในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิลดลงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะลดลง

4. พีเอช (pH) ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง และพีเอชยังมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของสารประกอบที่เป็นกรดหรือเป็นเบสในการดูดซับ

5. ความปั่นป่วน (Mixing Speed) อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการขนส่งโมเลกุลของระบบซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ในระบบที่ของเหลวมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มของเหลวที่อยู่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับในกรณีนี้การแพร่ผ่านฟิล์มจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางกลับกันถ้าความปั่นป่วนของของเหลวในระบบสูงความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลง

ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

6. เวลาสัมผัส (Contact Time) เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนนำไปใช้งานจริง

2.6.4 สมดุลของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)

การดูดซับจากสารละลาย มีผลต่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนพื้นผิวของของแข็งในขณะที่เกิดการดูดซับขึ้น ตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวมีแนวโน้มที่จะหลุดออกมาสู่สารละลายเมื่ออัตราการคายสารออก เข้าสู่สภาวะคงที่ (Equilibrium State) ซึ่งเรียกว่า สมดุลของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium) ที่จุดสมดุลนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของสารดูดซับ หรือในของเหลว สมดุลนี้จึงเป็นลักษณะเฉพาะของระบบทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นตัวถูกละลาย สารดูดซับ ตัวทำละลาย พีเอช อุณหภูมิ และอื่นๆ ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดที่จุดสมดุล โดยปกติจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย การแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวต่อหน่วยของสารดูดติดผิวซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ เรียกว่า ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลายภาพแบบที่นำมาใช้อธิบายถึงข้อมูลของการดูดซับ ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาทฤษฎี และผลจากการทดลองซึ่งภาพแบบจำลองมีดังนี้

1. ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองแลงเมียร์ ที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model คือ

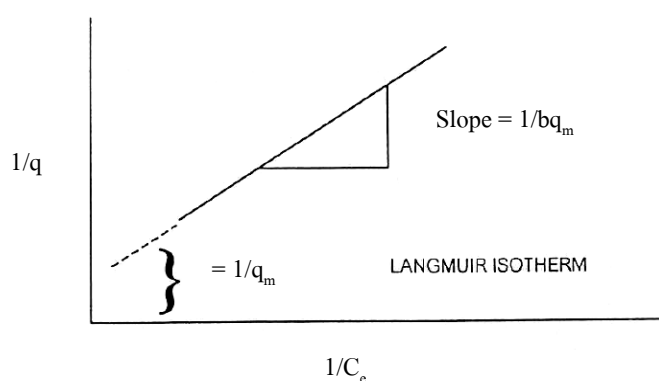
- 1) โมเลกุลถูกดูดติดอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นที่ผิวของสารดูดซับ
- 2) แต่ละบริเวณสามารถดูดติดผิวได้เพียงชั้นเดียว
- 3) พื้นที่ของบริเวณที่ดูดติดผิวมีจำนวนที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
- 4) พลังงานการดูดซับแต่ละบริเวณมีค่าเท่ากัน

การดูดซับจากสารละลายโดยสารดูดซับ แสดงดังสมการ

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{q_m} \right) + \left(\frac{1}{C_c} \right) \left(\frac{1}{bq_m} \right)$$

- โดย q คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณสารดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)
 q_m คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณสารดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)
 C_e คือ ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร)
 b คือ ค่าคงที่ของการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C_e$ จะได้กราฟซึ่งเป็นเส้นตรง มีค่าความชัน (Slope) เท่ากับ $1/bq_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/q_m$ แสดงได้ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (ชฎาภรณ์ บุญแท้, 2545)

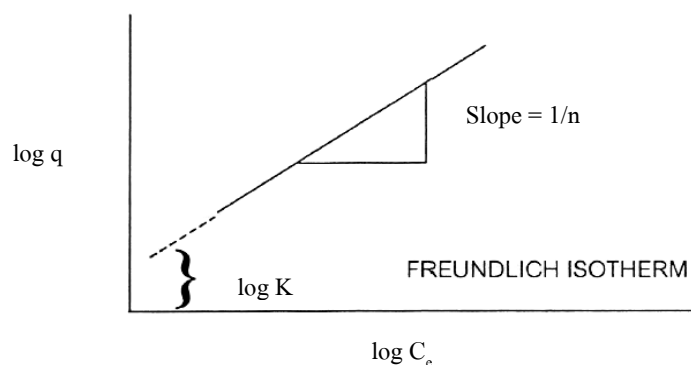
2. ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการอธิบายการดูดซับของผิวในระบบของของเหลว ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C_e$$

- โดย q คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณสารดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม)
 C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย ที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ โมลต่อลิตร)
 $K, 1/n$ คือ ค่าคงที่ของการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C_e$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรง มีค่าความชัน เท่ากับ $1/n$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $\log K$ ของ $\log q$ ที่ $\log C_e = 0$ ($C_e = 1$) ดังแสดงภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (ชฎาภรณ์ บุญแท้, 2545)

2.6.5 การดูดซับแบบคอลัมน์ (กรรณิการ์ รักกิจ, 2547)

ในการดูดซับโดยใช้คอลัมน์ ตัวกลางดูดซับจะถูกบรรจุในปริมาณที่คงที่ โดยมีการป้อนของเหลวที่มีสารถูกดูดซับไหลผ่านชั้นของตัวดูดซับอย่างต่อเนื่อง

1. ขอบเขตการถ่ายเทมวล (MTZ, Mass Transfer Zone)

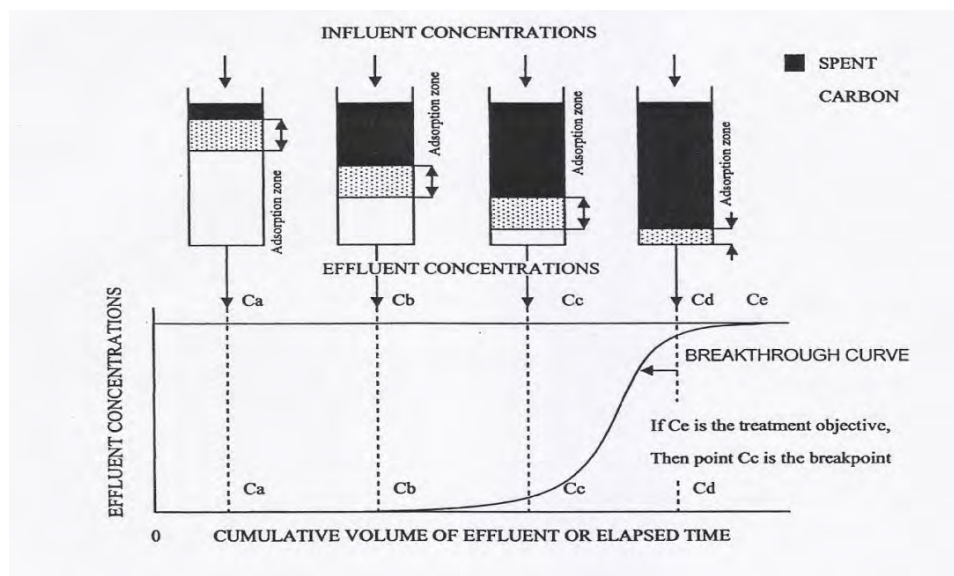
เมื่อน้ำที่มีสารที่ต้องการดูดซับปนเปื้อนไหลผ่านชั้นของตัวดูดซับ ขอบเขตการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นจากการดูดซับอย่างต่อเนื่องและสารถูกดูดซับจะถูกดูดซับอย่างรวดเร็วในชั้นบนของตัวดูดซับ จนกระทั่งปริมาณการดูดซับเข้าสู่สมดุล ที่จุดนี้สารถูกดูดซับที่ชั้นบนจะหมดสภาพการใช้งาน การดูดซับเกิดขึ้นต่อไปในชั้นของตัวดูดซับที่อยู่ต่ำลงมา ในเขตที่สารปนเปื้อนเปลี่ยนสภาพจากของเหลวมาอยู่ในสถานะที่ถูกดูดซับนี้เรียกว่า ขอบเขตการถ่ายเทมวล (MTZ, Mass Transfer Zone) ซึ่งความลึกของขอบเขตการถ่ายเทมวลจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของสารถูกดูดซับ และลักษณะของการดูดซับ

2. ลักษณะเบรคทรูจ์ (Breakthrough Characteristics)

ลักษณะเบรคทรูจ์ เป็นความสัมพันธ์แบบต่อเนื่อง ระหว่างความเข้มข้นของสารในน้ำออกกับปริมาณน้ำที่บำบัดได้หรือเวลา t ดังแสดงใน ภาพที่ 2.3 ซึ่งแสดงถึงรูปทั่วไปของเส้นโค้งเบรคทรูจ์ และแสดงความสัมพันธ์ของเส้นโค้งเบรคทรูจ์กับปริมาณของชั้นตัวกลางดูดซับที่หมดสภาพ ชั้นของตัวกลางดูดซับที่ยังทำงานอยู่ (Active Zone) และชั้นของตัวกลางดูดซับที่ปราศจากสารถูกดูดซับ

จากภาพที่ 2.3 ความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) ไหลลงผ่านชั้นตัวกลางดูดซับที่อยู่กับที่ ไม่มีการเคลื่อนที่ขึ้นลง ลักษณะการดูดซับเริ่มเกิดขึ้นบริเวณส่วนบนของระบบ แล้วบริเวณการดูดซับค่อย ๆ เคลื่อนลงเกิดขึ้นที่ส่วนล่างของชั้น จนกระทั่งหมดสภาพการดูดซับที่ส่วนล่างของชั้น ณ จุด C_c คือจุดที่การดูดซับเริ่มทำงานไม่ได้ประสิทธิภาพ เรียกว่า จุดแตกหัก (Breakthrough point) และหลังจากจุดนี้ต่อไปเป็นเส้นโค้งยกขึ้นสูง คือ การดูดซับค่อย ๆ หมดสภาพจนไม่สามารถบำบัด

น้ำเสียได้อีก เรียกเส้นโค้งนี้ว่า Breakthrough Curve จนถึงจุด Cd ซึ่งเป็นจุดที่เรียกว่าจุดหมดสภาพ (Exhaustion Point) จะมีค่าในการทำงานของสารดูดติดผิวจนจะหมดประสิทธิภาพ โดยเวลาจะนับจากการเริ่มต้นของการดูดติดผิวจนถึงจุดที่สารดูดติดผิวหรือถ่านกัมมันต์หมดประสิทธิภาพเรียกระยะเวลาช่วงนี้ว่า ระยะเวลาในการทำงาน (service time)

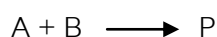


ภาพที่ 2.3 เส้นโค้งเบรคทรูจในการดูดซับแบบคอลัมน์ (กรรณิการ์ รักกิจ, 2547)

2.6.6 จลนศาสตร์การดูดซับ (ปรางศิริ ศรีศุภพัชร, 2551)

การศึกษาอันดับปฏิกิริยา และกลไกของปฏิกิริยาเคมี ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 2 แบบ

1. ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน (pseudo first-order reaction) คือ ปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังหนึ่ง



เมื่อความเข้มข้นของสาร A มากกว่าสาร B มากๆ เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้น ทำให้สาร A ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจึงขึ้นกับสาร B สมการที่ใช้เป็นดังนี้ (Gulnaz และคณะ, 2006)

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

2. ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน (pseudo second-order reaction) คือ ปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังสอง หรือขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นสองชนิด แต่ละชนิดยกกำลังหนึ่ง ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือนจะเป็นการบอกถึงกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการทางเคมีที่เกิดจากประจุของสารดูดซับและสารถูกดูดซับ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับจำนวนของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวสารตัวกลางดูดซับ และจำนวนสารถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล สมการเป็นดังนี้

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

โดย q_e คือ ค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_t คือ ค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับที่เวลาหนึ่งๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

k_1 คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับที่ 1

k_2 คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับที่ 2

2.7 แก้ว (Glass) (ปาดนัสม์ อังกูรอดีศัย และพิมพ์ประภา การุณมรรคผล, 2550)

แก้วเป็นวัสดุออสซิลฐานประเภทหนึ่ง เป็นของแข็งที่ไม่มีผลึกอยู่ในตัวเอง ลักษณะเป็นวัสดุโปร่งใส มีผิวราบเรียบแข็ง เนื้อใสสะอาด มีความเป็นมันแวววาวสุกใส แต่เปราะบางและแตกง่ายได้ง่าย เชื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและชีวภาพ จุลินทรีย์และออกซิเจนไม่สามารถทำลายได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ทำให้แก้วนั้นมีประโยชน์ใช้งานอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามแก้วนั้นถึงแม้จะแข็ง แต่ก็เปราะแตกหักง่าย และมีรอยแตกที่ละเอียดคม คุณสมบัติของแก้วนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายด้วยการผสมสารอื่นลงในเนื้อแก้ว หรือการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อน

คุณสมบัติของแก้ว

- 1) โปร่งแสงและโปร่งใส สามารถมองเห็นของที่บรรจุอยู่ภายใน ได้ ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น
- 2) เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี เช่น เคลือบลูกถ้วยสำหรับเดินสายไฟฟ้า
- 3) เป็นตัวนำความร้อนที่เลว เช่น ภาชนะใส่อาหาร
- 4) ทนต่อปฏิกิริยาของกรดและด่าง เช่น หลอดทดลอง และภาชนะที่ใส่สารเคมี
- 5) ป้องกันการซึมของอากาศและน้ำได้ดี เช่น ขวดน้ำ แก้วน้ำ หลอดไฟฟ้า
- 6) มีความแข็งแรง และทนต่ออุณหภูมิได้สูง เช่น หลอดไฟฟ้ากำลังสูง
- 7) สามารถทำให้อ่อนตัวได้ด้วยความร้อน เช่น เป่า ตัด งอ ให้เป็นภาพทรงต่างๆ

- 8) สามารถทำให้นุ่มได้ เช่น ใยแก้ว
- 9) สะท้อนแสงได้ดี เช่น เลนส์ขยาย กระจกเงา
- 10) ล้างทำความสะอาดได้ง่าย

จากคุณสมบัติดังกล่าว ทำให้มีการ นำแก้วมาทำเป็นภาชนะบรรจุสินค้าต่างๆ สำหรับประเทศไทยอุตสาหกรรมผลิตแก้วได้เริ่มขึ้นในปี พ .ศ. 2498 โดยองค์การแก้ว ซึ่งทำการผลิตภาชนะบรรจุแก้ว เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม แก้วชกัณฑ์ เครื่องสำอางค์ และอาหารอื่นๆ นอกจากนี้ ในด้านสิ่งแวดล้อม แก้วสามารถนำ กลับมาใช้ได้หลายครั้ง อาจได้ถึง 100 ครั้ง และสามารถหมุนเวียนกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้

2.7.1 ประเภทของแก้ว

แก้วจำแนกตามส่วนผสมจะแบ่งได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1. แก้วโซดาไลม์ (soda-lime glass) ผลิตจากวัตถุดิบหลัก คือ ททราย โซดาแอช หินปูน มีทรายแก้วหรือ SiO_2 ร้อยละ 71-75 โซดา ร้อยละ 12-15 (แคลเซียมออกไซด์จากวัตถุดิบพวกหินปูนหรือ CaCO_3) เป็นแก้วที่มีราคาถูก มีการหลอมละลายง่าย พบเห็นได้โดยทั่วไป ได้แก่ แก้วที่เป็นขวด แก้วน้ำ บานกระจกประตูหน้าต่าง และสามารถนำไปทำกระจกรักษาหรือที่เรียกว่า Safety Glass กระจกกันกระสุนหรือเรียกว่า Bullet Proof Glass กระจกด้วยไฟฟ้า เป็นต้น สามารถทำให้เกิดสีต่างๆ ได้โดยการเติมออกไซด์ที่มีสีลงไป สารสี เช่น แมกนีเซียม แทนแคลเซียม โพแทสเซียมแทนโซเดียม แก้วชนิดนี้มีความโปร่งแสง ผิวเรียบไม่มีรู สะดวกต่อการทำความสะอาดทนทานระดับหนึ่งสามารถนำกลับมาใช้ ได้แต่ไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิ
2. แก้วคริสตัล (Lead glass) หรือแก้วตะกั่ว เป็นแก้วที่เติมออกไซด์ของตะกั่วแทนปูนขาว มี SiO_2 54-65% ออกไซด์ของตะกั่ว (PbO) 18-38 % โซดา (Na_2O), โพแทช (K_2O) หรือออกไซด์ตัวอื่นๆ 13-15% การหลอมละลายแก้วจะใช้ตะกั่วเป็น Flux ทำให้หลอมละลายง่ายและเนื่องจากตะกั่วเป็นธาตุหนักและมีค่าดัชนีหักเหของแสงสูงมาก จึงทำให้แก้วชนิดนี้มีค่าดัชนีหักเหสูงมากกว่าแก้วชนิดอื่น ส่องประกายแวววาวสวยงาม เป็นประกายใสบริสุทธิ์ ไม่มีสี หรือถ้ามีสี ก็ต้องเป็นสีที่สดใส เมื่อเคาะจะมีเสียงดังกังวาน แกะสลักเป็นลวดลายต่างๆ ได้ นอกจากนี้แก้วชนิดนี้ยังมีความต้านทานไฟฟ้าดี จึงนำมาทำหลอดโทรทัศน์ หลอดนีออน ผลิตภัณฑ์ Arts Ware ใช้ทำเครื่องแก้วที่มีราคาแพงนำมาใช้เป็นภาชนะสวยงามบนโต๊ะอาหาร แจกัน แก้วน้ำและอุปกรณ์ตกแต่งบ้าน
3. แก้วโบโรซิลิเกต (Borosilicate glass) เป็นแก้วที่มีโบริกออกไซด์เป็นองค์ประกอบ มี SiO_2 70-80% โบริกออกไซด์ 7-13% โซดา (Na_2O) หรือโพแทช (K_2O) 4-8% อะลูมิเนียมออกไซด์

(Al_2O_3) 2-7% ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อน มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และยังมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดี ผลิตภัณฑ์แก้วประเภทนี้ได้แก่ แก้วที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและห้องปฏิบัติการที่ต้องทนต่อความร้อนได้สูง ทนต่อการกัดกร่อนและสึกหรอทางเคมี รวมทั้งเป็นหลอดและขวดบรรจุยาในวงการเภสัชกรรม ใช้เป็นโคมแก้วในหลอดไฟเป็นอุปกรณ์เครื่องครัวชนิดทนความร้อนที่นำเข้าเตาอบหรือเตาไมโครเวฟได้ ทำส่วนประกอบเครื่องสูบน้ำและใช้ทำกล้องดูดาว

4. Vitreous Silica (Silica Glass) ประกอบด้วยทรายเป็นส่วนใหญ่ การหลอมตัวใช้อุณหภูมิสูงพิเศษ ขณะหลอมละลายจะมีฟองเกิดขึ้นมาก จึงหลอมในสุญญากาศ เป็นแก้วที่มีความเหนียวสูง มีความทนทานทางเคมีและทนต่อไฟได้ดี ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีความต้านทานที่ผิวดีมาก

5. Alkali Silicate แก้วที่ใส่พวก Soda, Copper และอื่นๆ ลงในส่วนผสม ทำให้เกิดการละลายตัวในอุณหภูมิต่ำกว่า Vitreous Silicate แก้วประเภทนี้มีข้อควรระวังในเรื่องการหลอมละลายของตัวแก้ว

6. แก้วโอปอล (Opal glass) เป็นแก้วที่มีการเติมสารบางตัว เช่น โซเดียมฟลูออไรด์หรือแคลเซียมฟลูออไรด์ ทำให้มีการตกผลึก หรือการแยกเฟสขึ้นในเนื้อแก้ว ทำให้แก้วชนิดนี้มีความขุ่นหรือโปร่งแสง เนื่องจากสามารถหลอม และขึ้นรูปได้ง่ายจึงมีต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถทำให้มีความแข็งแรงทนทานมากขึ้นเมื่อนำไปผ่านกระบวนการอบ (tempering) หรือการเคลือบ (laminating)

7. แก้วอลูมิโนซิลิเกต (Alumino silicate glass) มีอลูมินาและซิลิกาเป็นส่วนผสมหลัก มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และมีจุดอ่อนตัวของแก้ว (softening point) สูง พอที่จะป้องกันการเสียภาพทรงเมื่อทำการอบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์

8. แก้วอัลคาไลน์-เอิร์ท อลูมิโนซิลิเกต (alkaline-earth alumino silicate) มีส่วนผสมของแคลเซียมออกไซด์ หรือแบเรียมออกไซด์ ทำให้มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกับแก้วตะกั่ว แต่ผลิตง่ายกว่าและมีความทนทานต่อกรดและด่างมากกว่าแก้วตะกั่วเล็กน้อย

9. กลาส-เซรามิกส์ (glass-ceramics) เป็นแก้วประเภทลิเทียมอลูมิโนซิลิเกตที่มี TiO_2 หรือ ZrO_2 ผสมอยู่เล็กน้อยซึ่งจะทำให้เกิดผลึกในเนื้อแก้ว ซึ่งอาจทำให้แก้วมีความทึบแสงหรือโปร่งใส ขึ้นกับชนิดของผลึก กลาส-เซรามิกส์จะทนทาน และมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมาก สามารถนำไปใช้เป็นภาชนะหุงต้ม หรือเป็นแผ่นบนเตาหุงต้มได้

10. Special Glass อาจเป็น (Lime Glass) แบบธรรมดาที่มีการแต่งเป็นสีต่างๆ เพื่อใช้งานเฉพาะ ให้ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้โดยฉับพลันโดยไม่แตก มีความคงทนต่อ

แรงกระแทก (Impact) หรือใส่ส่วนผสมบางอย่างในผลิตภัณฑ์กระจก หรือแก้วเพื่อให้มีสมบัติต่างๆ

2.7.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้ว

ในการผลิตแก้วนั้น วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิต ประกอบด้วย

1. ททราย (Silica) หรือซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นทรายแก้วที่บริสุทธิ์ มีปริมาณออกไซด์ของเหล็กต่ำ และละเอียดเพื่อหลอมได้ง่าย ประเทศไทยเรามีมากที่ชายทะเลจังหวัดสงขลา และที่เกาะเสม็ดจังหวัดระยองและที่อื่นๆ ทรายชนิดนี้เมื่อนำมาเผาให้ร้อนจนหลอมละลาย จะมีคุณสมบัติในการจับตัวกัน เมื่อทิ้งให้เย็นลงก็จะกลายเป็นแก้ว ทรายต้องใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงมาก จึงจะถึงจุดหลอมละลาย และขึ้นภาพได้ยากเนื่องจากมีความหนืดสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผสมวัตถุดิบบางอย่าง เพื่อช่วยให้ทรายหลอมละลายได้เร็วขึ้น
2. โซดาแอช (Soda Ash) หรือโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) หรือ Na_2O เป็นตัวช่วยให้ทรายหลอมละลายในอุณหภูมิต่ำกว่าเดิม แต่ถ้าผสมกับโซดาแอชเท่านั้น จะได้แก้วที่เปราะแตกง่าย และไม่ทนต่อสารเคมี ไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงต้องผสมหินปูนเพื่อให้แก้วมีคุณสมบัติเหนียวขึ้น
3. หินปูน (Limestone) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หินปูนที่ใช้ต้อง บดให้ละเอียด และผสมเข้าไปพร้อมกับทรายและโซดาแอช หินปูนที่ใช้จะอยู่ในสภาพของปูนขาว เป็นตัวช่วยให้แก้วมีคุณสมบัติเหนียวขึ้น
4. K_2O ช่วยให้การตกผลึกเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้การเรียงตัวของผลึกออกมาสวยงาม
5. CaO , MgO หรือ BaO จะช่วยในการขึ้นภาพ ทำให้แก้วคงตัว (set) เร็วขึ้นเมื่อเย็นลง และเพิ่มความทนต่อสารเคมี แก้วที่มีปริมาณ MgO มากกว่า CaO จะทำให้ให้การตกผลึกเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้การเรียงตัวของผลึกออกมาสวยงาม
6. Al_2O_3 แก้วที่มีปริมาณ Al_2O_3 สูง จะทำให้มีความทนทานต่อการสึกกร่อนและสารเคมีได้ดีขึ้น
7. B_2O_3 แก้วที่มีสารประกอบพวก โบรอน เป็นองค์ประกอบ (Borosilicate) จะมีความคงทนต่อกรด-ด่าง และทนต่อความร้อน เนื่องจากจะทำให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนลดลง แก้วประเภทนี้เป็นแก้วที่ใช้ในอุปกรณ์วิทยาศาสตร์และเป็นแก้วประเภทที่สามารถใช้ในเตาไมโครเวฟได้
8. PbO แก้วที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ (Lead glass) เนื้อแก้วใสวาวเนื่องจากมีค่าดัชนีหักเหสูงมีความอ่อน (soft) ไม่แข็งกระด้าง ง่ายต่อการเจียรระโน เวลาเคาะมีเสียงกังวาน

9. Fe_2O_3 ช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในการหลอมละลาย แต่จะทำให้เนื้อกระจกใส มีสีค่อนข้างเขียว

ตารางที่ 2.3 แหล่งวัตถุดิบของการผลิตแก้ว (ปาณัสม์ อังกูรอดีศัย และพิมพ์ประภา การุณมรรคผล, 2550)

องค์ประกอบทางเคมี	วัตถุดิบซึ่งเป็นที่มา
SiO_2	Silica sand
Na_2O	Soda ash (Na_2CO_3), Salt cake (Na_2SO_4)
K_2O	Feldspar (เป็นแร่พวก Alumino silicate ที่มี Na, K เจือปน)
CaO	Dolomite (เป็นแร่พวก carbonate ของ Mg, Ca) , Lime stone
MgO	Dolomite
Al_2O_3	Feldspar
Fe_2O_3	Impurities

** สำหรับใยแก้วนำแสงใช้ $SiCl_4$ และ $GeCl_4$ เป็นวัตถุดิบ

2.7.3 อุตสาหกรรมแก้ว

อุตสาหกรรมแก้วเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศ โดยอุตสาหกรรมแก้วเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบในประเทศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งนอกจากจะผลิตเพื่อใช้ภายในประเทศ เช่น ถ้วยชามและขวดแก้วที่ใช้ในครัวเรือน และกระจกที่ใช้ในธุรกิจก่อสร้าง / อสังหาริมทรัพย์แล้ว อุตสาหกรรมนี้ยังสามารถทำรายได้จากการส่งออกได้ด้วย เช่น ถ้วยชามและของชำร่วย เป็นต้น และที่สำคัญเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องอาศัยแรงงานมากในขั้นตอนการผลิต (labor intensive) ซึ่งทำให้อุตสาหกรรมแก้วช่วยกระจายรายได้ไปสู่ชนบทได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตรายสำคัญในภูมิภาคอาเซียน โดยในปี พ.ศ. 2545 พบว่ามีจำนวนโรงงานที่ได้รับอนุญาตให้ดำเนินการในอุตสาหกรรมเซรามิกและแก้ว/กระจกในประเทศไทยประมาณ 847 โรงงาน ก่อให้เกิดการจ้างงานประมาณ 64,662 กวณ (อุตสาหกรรมเซรามิก 47,050 กวณ และอุตสาหกรรมแก้ว/กระจก 17,612 กวณ)

อุตสาหกรรมแก้ว /กระจก มีรายได้จากการส่งออกในปี พ.ศ. 2545 มูลค่า 13,818.9 ล้านบาท โดยอุตสาหกรรมแก้ว/กระจกจัดอยู่ในลำดับการส่งออกที่ 48 ของการส่งออกทั้งหมดของไทยตามลำดับ จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลพบว่าอุตสาหกรรมเซรามิกและแก้วมีมูลค่าการส่งออกใกล้เคียงกับไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ กระจดาษและผลิตภัณฑ์กระจดาษ ซึ่งเป็นสินค้าส่งออกที่

สำคัญของไทยเช่นกัน ดังนั้นอุตสาหกรรมเซรามิกและแก้ว /กระจกจึงถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญในการสร้างรายได้ที่เป็นเงินตราต่างประเทศไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าสินค้าในกลุ่มอุตสาหกรรมอื่นๆ

นอกจากนี้ยังพบว่า มีการผลิตและใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทแก้วกันอย่างแพร่หลาย โดยปริมาณบรรจุภัณฑ์แก้วที่ผลิตได้ในปี พ.ศ. 2550 มากที่สุด ได้แก่ บรรจุภัณฑ์แก้วสีชา คิดเป็นร้อยละ 52.25 รองลงมาได้แก่ บรรจุภัณฑ์แก้วสีใส คิดเป็นร้อยละ 46.64 และบรรจุภัณฑ์แก้วสีเขียว ซึ่งมีสัดส่วนของปริมาณเศษแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่ ปริมาณขวดแก้วที่นำกลับมาใช้ซ้ำ และปริมาณมูลฝอยประเภทแก้วที่มีได้ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงข้อมูลและสัดส่วนของปริมาณเศษแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่ ปริมาณขวดแก้วที่นำกลับมาใช้ซ้ำ และปริมาณมูลฝอยประเภทแก้วที่มีได้ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์

(ปาล์สม์ อังกูรอดีศัย และพิมพ์ประกา การุณมรรคผล, 2550)

	ปริมาณ (ตัน)	สัดส่วน
ปริมาณเศษแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่	808,874.33	41.91%
ปริมาณขวดแก้วที่นำกลับมาทำความสะอาด	29,193.77	1.51%
ปริมาณมูลฝอยประเภทแก้วที่มีได้ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์	1,091,825.26	56.58%
ผลรวม	1,929,893.36	100.00%

2.8 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมี

2.8.1 ลักษณะพื้นผิว (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2543)

การตรวจวัดลักษณะพื้นผิวของสารดูดซับจะใช้การหาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope; SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอิเล็กตรอนแทนลำแสง ซึ่งมีกำลังขยายสูง 10-300,000 เท่า สำหรับการทํางานนั้น อิเล็กตรอนจะถูกปล่อยจากต้นกำเนิด และถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง (High voltage) ผ่านสนามไฟฟ้าในสุญญากาศ จะทำให้ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนสั้นกว่าความยาวคลื่นของแสงมาก จากการที่อิเล็กตรอนมีประจุลบ และมีสนามแม่เหล็ก อยู่รอบตัว ในแนวตั้งฉาก ในขณะที่อิเล็กตรอนกำลังเคลื่อนที่นั้น เราสามารถที่จะบังคับอิเล็กตรอนให้เบี่ยงเบนได้ โดยอำนาจสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า มีประโยชน์ในการสร้างระบบเลนส์ให้เกิดกำลังขยายขึ้นภายในกล้อง

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนี้ ใช้ในการศึกษาโครงสร้าง หรือองค์ประกอบต่างๆ ของวัตถุตัวอย่าง โดยทำให้ลำอิเล็กตรอนกวาดไปบนพื้นผิว โดยอุปกรณ์ตรวจจับ ซึ่งอยู่ภายในจะจับเอาอิเล็กตรอนที่กระเจิงออกมาจากชิ้นงาน แล้วแสดงผลบน

จอโทรทัศน์ ซึ่งสามารถที่จะบันทึกภาพได้ ซึ่งภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะเป็นภาพสามมิติ นอกจากนี้ยังอาจดัดแปลง โดยต่อเติมอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อให้มีการแสดงผลในภาพแบบต่างๆ ได้ เช่น การวิเคราะห์ธาตุ การคำนวณ หามวลและปริมาตร กล้องจุลทรรศน์แบบนี้เหมาะสำหรับการเรียนการสอนและการวิจัยพื้นฐาน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนมีระบบการทำงานเหมือนกับแบบส่องผ่าน แต่มีสิ่งที่แตกต่างกันคือระบบภาพและแสดงผล โดยภาพที่ได้จะถูกส่งสัญญาณเพื่อไปขยาย แล้วจึงแปลภาพบนจอซีอาร์ที (CRT) คอลัมน์ของ SEM จะประกอบด้วยปืนอิเล็กตรอนและคอนเดนเซอร์เลนส์ ถ้าอิเล็กตรอนที่ผ่านเลนส์ใกล้วัตถุ ไปตกลงบนตัวอย่างนั้นสามารถที่จะบังคับทิศทาง การเคลื่อนที่ไปบนผิวตัวอย่างได้ด้วย และมี scanning generator อยู่ระหว่างคอนเดนเซอร์เลนส์ตัวสุดท้ายกับเลนส์ใกล้วัตถุ

ถ้าอิเล็กตรอนนี้เป็น อิเล็กตรอนปฐมภูมิ โดยจะถูกโฟกัสลงบนตัวอย่างทำให้เกิด การชนแบบไม่ยืดหยุ่นกับอะตอมของตัวอย่าง ส่งผลให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่ เรียกว่า อิเล็กตรอน ทุติยภูมิ และถูกรวบรวมโดยตัวเก็บอิเล็กตรอนซึ่งจะถูกนำไปขยายและแปลสัญญาณ ให้เกิดเป็นภาพบนจอซีอาร์ที (CRT) ซึ่งสามารถดูได้ด้วยตาเปล่าหรือบันทึกไว้บนฟิล์ม ความสว่างของภาพขึ้นอยู่กับพื้นผิวของตัวอย่าง ถ้าพื้นผิวของตัวอย่างมีความราบเรียบภาพที่ได้จะสว่างน้อยกว่าพื้นผิวที่นูนขึ้น

นอกจากนี้ที่เลนส์ใกล้วัตถุจะมีช่องรับแสงเช่นกันเพื่อช่วยเพิ่มความลึกของภาพ และอาจติดตั้งและต่อเติมอุปกรณ์พิเศษเพื่อตรวจสอบตัวอย่างได้หลายภาพแบบ เพื่อบอก รายละเอียดของภาพร่างและองค์ประกอบของตัวอย่างในส่วนที่ลึกเกินกว่าที่อิเล็กตรอนทุติยภูมิทำการตรวจสอบได้ และเพื่อหาปริมาณและคุณภาพของโมเลกุลของธาตุได้

2.8.2 พื้นผิว ขนาดรูพรุน และ ปริมาตรรูพรุน (เคมีวิศวกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2551)

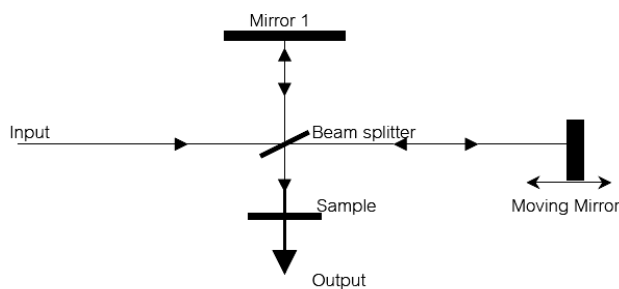
การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุน สามารถหาได้จากเครื่อง วิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิว (BET Surface Area Analyzer) โดยอาศัยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิว หรือรูพรุนด้วยแก๊สไนโตรเจน ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์จะต้องเป็นของแข็งและสามารถแบ่ง ขนาดให้มีขนาดพอเหมาะกับการใช้ของเครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ เช่น คาทาไลส, ถ้ำ, เมมเบรน

2.8.3. การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบ (ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551)

การหาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโทรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF) โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray fluorescence) ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง เมื่อรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (Primary X-ray photon) จากหลอดรังสีเอกซ์ พุ่งเข้าชนสารตัวอย่างจะเป็นผลให้อิเล็กตรอนวงในสุด (K-shell) ของอะตอมภายในสารตัวอย่างหลุดออกจากอะตอมในภาพของโฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในวงอิเล็กตรอนนั้น ซึ่งที่สภาวะนี้อะตอมจะไม่เสถียร อะตอมจะกลับสู่สภาวะที่เสถียรขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงนอกเข้ามาแทนที่ช่องว่างดังกล่าว ซึ่งในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะมีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ (Secondary X-ray photon) ซึ่งปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า “ฟลูออเรสเซนส์” (Fluorescence) พลังงานของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่ปลดปล่อยออกมา จะมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับความแตกต่างของระดับพลังงานเริ่มต้นของอิเล็กตรอนวงนอกที่เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานกับระดับพลังงานของช่องว่างที่เกิดจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ รังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟลูออเรสเซนส์จะเป็นรังสีเอกซ์ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของธาตุแต่ละชนิด ดังนั้นเทคนิค XRF จึงใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบ ของสารตัวอย่าง

2.8.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว (อรรถย ลีลาพจนานพร, 2550)

การหาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของสารดูดซับ สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูงที่พัฒนามาจากเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (IR Spectrometer) เพื่อให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น มีความสามารถในการแยกสูง และสภาพไวสูง สามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีในปริมาณน้อยๆได้ แหล่งกำเนิดคลื่นอินฟราเรดของเครื่อง FTIR เป็นแท่งเซรามิกที่เผาด้วยขดลวดความร้อน ทำให้เกิดรังสีอินฟราเรด สุกรจะจกเงาที่ทำด้วยโลหะขัดมัน สะท้อนคลื่นแสงสู่สวนสำคัญคือตัวแยกแสง (Beam Splitter) เพื่อแยกคลื่นแสงออกเป็นสองสวนเท่าๆกัน สวนหนึ่งจะ ผ่านทะลุออกไป อีกสวนหนึ่งจะสะท้อนกลับสู่สุกรจะจกเงาที่เคลื่อนที่ได้ โดยมีแสงเลเซอร์ปรับระยะการเคลื่อนที่ของสุกรจะจกเงา ให้มีระยะและทิศทางที่คลื่นแสงทั้งสองสวนมารวมกันเป็นลำแสงเดี่ยวผ่านไปยังสารตัวอย่าง ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า ไมเคิลสันอินเทอร์ฟีโรมิเตอร์ (The Michelson Interferometer) ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แผนภูมิระบบไมเคิลสันอินเทอร์ฟีรอมิเตอร์ (The Michelson Interferometer)
(อรรถย ลีลาพจนานพร, 2550)

คลื่นรังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแต่ให้ความร้อนที่สัมผัสได้โดยอยู่ระหว่างย่านที่มองเห็น (Visible region) กับย่านไมโครเวฟ ความยาวของคลื่นอินฟราเรดแบ่งเป็นช่วงๆ คือ ช่วงเลขคลื่น 4,000-12,800 ต่อเซนติเมตร (0.78-2.5 ไมโครเมตร) เป็นย่านอินฟราเรดใกล้ (Near infrared region) ช่วงเลขคลื่น 200-4,000 ต่อเซนติเมตร (2.5-50 ไมโครเมตร) เป็นย่านอินฟราเรดกลาง (Middle infrared region) ช่วงเลขคลื่น 10-200 ต่อเซนติเมตร (50-1,000 ไมโครเมตร) เป็นย่านอินฟราเรดไกล (Far infrared region) นักเคมีวิเคราะห์จะให้ความสนใจ และใช้ประโยชน์คลื่นรังสีอินฟราเรดช่วงกลาง (Middle IR.) มากกว่าช่วงอื่น คลื่นอินฟราเรดในช่วง 200-4,000 ต่อเซนติเมตร ซึ่งจัดเป็นแสงอินฟราเรดช่วงกลาง (Middle IR.) มีความถี่ซึ่งตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะโควาเลนต์ในโมเลกุลของสาร เมื่อสารตัวอย่างได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่พอเหมาะจะเกิดการสั่นหรือการหมุนของพันธะของโมเลกุลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลเกิดการดูดกลืนแสงแล้ววัดแสงที่ส่งผ่านออกมา แสดงผลเป็นความสัมพันธ์ของความถี่หรือเลขคลื่นกับค่าการส่งผ่านของแสง เรียกว่าอินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared Spectrum –IR spectrum)

อินฟราเรดสเปกตรัมเป็นข้อมูลเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด ซึ่งแตกต่างจากสารชนิดอื่น โมเลกุลที่มีพันธะต่างชนิดกันจะมีความถี่ของการดูดกลืนคลื่นตางกัน ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของโมเลกุลของสารนั้นๆ ว่ามีหมู่ฟังก์ชันอะไรบ้าง ในตำแหน่งไหน เช่น สารกลุ่มแอลกอฮอล์ จะพีกของพันธะ O-H อยู่ที่ประมาณ 3,300-3,600 ต่อเซนติเมตร เป็นต้น

เมื่อพิจารณาในรายละเอียดที่ปรากฏพบว่าพีกในช่วง 1,350-4,000 ต่อเซนติเมตร จะเป็นช่วงความถี่ของแถบการดูดกลืนคลื่นแสงของพันธะในของหมู่ ฟังก์ชันัลต่างๆ ที่ค่อนข้างคงที่ ซึ่งกำหนดเป็นย่านความถี่ของหมู่ฟังก์ชันัล (Group functional region) และในช่วงประมาณ 910-1,350 ต่อเซนติเมตร จะได้แถบการดูดกลืนคลื่นแสง ที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว เรียกว่า ย่านรอยพิมพ์นิ้วมือ (Finger print region)

การใช้เครื่อง FTIR วิเคราะห์ตัวอย่างใช้เวลาไม่นานและไม่ต้องเปลี่ยนสารเคมีจึงนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการวิเคราะห์ เพื่อการตรวจสอบสารในเชิงคุณภาพ หรือเพื่อการยืนยันสูตรโครงสร้างของสารตัวอย่าง โดยการพิจารณา เปรียบเทียบจากอินฟราเรด สเปกตรัมของสารประกอบมาตรฐานกับตัวอย่าง ที่วัดในตัวกลางชนิดเดียวกัน เมื่อนำมา เปรียบเทียบกันพีคต่อพีค ภาตรงกันเหมือนกันย่อมแสดงว่าเป็นสารชนิดเดียวกัน เช่นการวิเคราะห์ชนิดหมึกพิมพ์บนแผ่น กระดาษ ชนิดเส้นใยของสิ่งทอ สารเคลือบผิวภาชนะบรรจุอาหาร ตัวอย่างโพลีเมอร์ แผ่นพลาสติก เป็นต้น

2.8.5 การวิเคราะห์หาค่าพีเอช ที่ให้ความหนาแน่นของประจุบนพื้นผิวเป็นศูนย์ (Point of Zero Charge , pH_{PZC}) (Soonglendsongpha, 2006)

การหาประจุบนพื้นผิวเพื่อหาค่าพีเอชที่ Point of Zero Charge (pH_{PZC}) เป็นค่าพีเอชที่เปลี่ยนไปจนถึงพีเอชระดับหนึ่งที่จำนวนประจุลบและประจวบกับพื้นผิวสารดูดซับ มีจำนวนเท่ากัน นั่นก็คือ จำนวนประจุสุทธิ (net charge) ซึ่งหมายถึงผลต่างของประจุทั้ง 2 ชนิด เท่ากับศูนย์

การหาค่า pH_{PZC} ทำการวัดโดยวิธีไทเทรตด้วย กรด -ด่าง ในภาพของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้สมการดังนี้

$$[OH^-] + [Cl^-] + [negative\ surface] = [H^+] + [Na^+] + [positive\ surface]$$

หรือ

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= [positive\ surface] - [negative\ surface] \\ &= [C_A - C_B] - [H^+ - OH^-]\end{aligned}$$

เมื่อ	σ_0	=	ประจุบนพื้นผิว
	[positive surface]	=	ความเข้มข้นของประจวบกับพื้นผิว
	[negative surface]	=	ความเข้มข้นของประจุลบบนพื้นผิว
	$[H^+]$	=	10^{-pH}
	$[OH^-]$	=	10^{pH-pK_w}
	$[Cl^-]$	=	$[HCl]_{add} + [NaCl]_{add}$
	$[Na^+]$	=	$[NaOH]_{add} + [NaCl]_{add}$
	$[C_A - C_B]$	=	$[Cl^-] - [Na^+]$
		=	$[HCl]_{add} - [NaOH]_{add}$

เมื่อประจุบนพื้นผิวเป็นกลาง ประจุลบและประจุบวกบนพื้นผิวจะมีค่าเท่ากัน หมายความว่า บนพื้นผิวมีประจุเป็นศูนย์ ที่พีเอชนี้มีประจุเป็นศูนย์นี้ (pH_{PZC}) สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$[C_A - C_B] = [H^+ - OH^-]$$

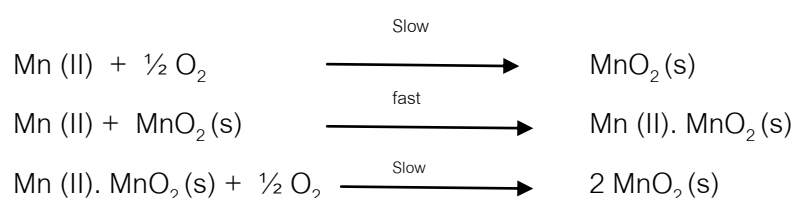
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายที่ห่อหุ้มหรือล้อมรอบสารดูดซับโดย สารละลายมีค่าพีเอชที่สูงกว่าค่า pH_{PZC} จะเกิดประจุลบบนพื้นผิวของสารดูดซับ และในทางตรงข้าม ถ้าสารละลายมีค่าพีเอช ที่ต่ำกว่าค่า pH_{PZC} จะเกิดประจุบวกบนพื้นผิวของสารดูดซับ

2.9 แมงกานีสออกไซด์

โลหะออกไซด์ เช่น เหล็กออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ และแมงกานีสออกไซด์ มีความสามารถในการดูดซับมลพิษในน้ำเสีย โดยการใช้แมงกานีสออกไซด์บริสุทธิ์ ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจาก ขนาดของโลหะออกไซด์มีขนาดค่อนข้างเล็ก จึงทำให้แยกออกจากน้ำได้ยาก (Han และ คณะ, 2007) ดังนั้น จึงมีการนำแมงกานีสออกไซด์มาประยุกต์ใช้งาน เช่น นำทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์มาดูดซับสังกะสีและนิกเกิล (พณจิตร รัตนสิน , 2539) นำดินเบาเคลือบแมงกานีสออกไซด์มาดูดซับโลหะหนัก (พรเพ็ญ มีทองมุล , 2545) และนำดินเบาที่ปรับสภาพโดยแมงกานีสออกไซด์มาดูดซับสีย้อมเบสิกและรีแอกทีฟ (Khraisheh และคณะ, 2004)

ส่วนใหญ่แล้วไอออนของแมงกานีสมักจะอยู่ในน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน ซึ่งในน้ำใต้ดินนั้น ไอออนเหล่านี้จะอยู่ในภาพที่ถูกรีดิวซ์ เป็นแมงกานีสที่มีประจุบวก 2 ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ แต่ถ้าอยู่ในน้ำผิวดินที่มีออกซิเจนละลายอยู่ แมงกานีสประจุบวก 2 ถูกออกซิไดซ์เป็นแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแมงกานีสประจุบวก 2 เป็นออกไซด์แคทาติค สามารถเขียนได้ดังนี้ (ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่เกิดสมดุลกันระหว่างน้ำกับโปรตอน) (Forstner and wittman, 1981)



โดยพบว่า การเกิดออกซิเดชันของแมงกานีสประจุบวก 2 ด้วยออกซิเจนละลายน้ำ มีอัตราส่วนสตอยชิโอเมตริกเท่ากับ $MnO_{1.9}$ เฉพาะในสภาวะต่าง ๆ เท่านั้น ไฮดรอกไซด์

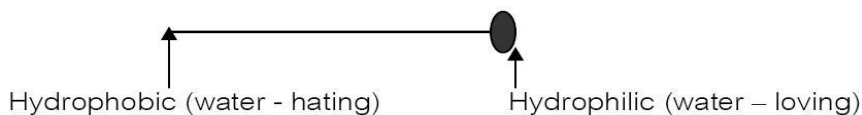
ออกไซด์ของแมงกานีส มักกระจายอยู่ทุกหนทุกแห่งไม่ว่าจะเป็นในดินเหนียว ดินหรือตะกอนต่างๆ โดยจะเคลือบอยู่บนผิวของแร่ธาตุต่างๆ และจัดอยู่ในภาพของอนุภาคออกไซด์ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ออกไซด์เปรียบเสมือนตะกอนของโลหะหนัก

2.10 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) (จิรสา กรงกรด, 2548)

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ คำว่า Surfactant มาจากคำว่า Surface active agent มีคุณลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นประจุ (Polar head) ที่ละลายน้ำได้ (Hydrophilic group) และ อีกส่วนที่ไม่เป็นประจุ (Non-polar) ไม่ละลายน้ำไม่ได้ (Hydrophobic group) (ภาพที่ 2.5)

ส่วนที่ไม่เป็นประจุจะเป็นหมู่อัลคิล (Alkyl group) มีคาร์บอนตั้งแต่ 8-18 อะตอม ลักษณะโมเลกุลที่มีส่วนเป็นประจุและส่วนที่ไม่เป็นประจุอยู่ด้วยกันเรียกว่า แอมฟิฟิลล์ (Amphiphile) หรือมีลักษณะเป็นแอมฟิพาธิค (Amphipathic) เมื่ออยู่ในน้ำส่วนของโมเลกุลที่ละลายน้ำไม่ได้ (Hydrophobic group) จะถูกผลักทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวไปรวมตัวกันที่ผิวน้ำ ซึ่งมีผลทำให้พลังงานอิสระ (Free energy) ของโมเลกุลของน้ำที่ผิวลดลง ทำให้แรงตึงผิว (Surface tension) ของน้ำจึงลดลงด้วย เมื่อสารลดแรงตึงผิวในน้ำมีปริมาณมากขึ้น โมเลกุลอิสระของสารลดแรงตึงผิว จะเข้ารวมตัวกันเอง เกิดโครงสร้างลักษณะคล้ายทรงกลมเรียกไมเซลล์ (Micelle) โดยที่ส่วนโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำจะดูกันเองอยู่ภายใน และส่วนโมเลกุลที่ชอบน้ำซึ่งมีประจุไฟฟ้าจะผลัดกันและกระจายอยู่รอบผิว ซึ่งจะช่วยให้ลดแรงผลักรวมตัวของน้ำที่มีต่อส่วนโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ

ความเข้มข้นที่พอเหมาะที่ทำให้แอมฟิฟิลล์รวมตัวกันเป็นไมเซลล์ (Micelle) เรียกว่า Critical Micelle Concentration (CMC) ซึ่งจะมีค่าจำเพาะสำหรับแอมฟิฟิลล์แต่ละชนิด โครงสร้างไมเซลล์ในน้ำจะอยู่ตัวเนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่าง หมู่ไฮโดรคาร์บอนซึ่งอยู่ด้านในของไมเซลล์ แรงนี้เรียกว่า Hydrophobic interaction การเกิดโครงสร้างในภาพไมเซลล์ทำให้แอมฟิฟิลล์ละลายน้ำได้ และสามารถละลายคราบไขมันที่ติดบนภาชนะหรือเสื้อผ้าเข้ามาละลายในส่วนที่ไม่เป็นประจุซึ่งอยู่ด้านในเป็นหยดเล็กๆ แขนงลอยอยู่ในน้ำ



ภาพที่ 2.5 สารลดแรงตึงผิว (จิรสา ทรงกรด, 2548)

หลักการการทำงานของสารลดแรงตึงผิว คือ ส่วนที่ชอบน้ำจะทำการจับน้ำ และส่วนที่ชอบน้ำมันจะทำการจับสิ่งสกปรกพวกไขมันที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกไปแล้วแขวนลอยอยู่ในน้ำ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด กลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของทุกคนรอบครัว ไม่ว่าจะเป็นของใช้ส่วนตัว เช่น สบู่ ยาสระผม ฯลฯ หรือจะเป็นของใช้ในครัวเรือน เช่น ผงซักฟอก น้ำยาทำความสะอาดพื้น น้ำยาล้างจาน เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่กล่าวถึงเหล่านี้ ล้วนมีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบทั้งสิ้น

2.10.1 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม ขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ (Hydrophilic) โดยสามารถแยกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. Anionic surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ประจุลบ ส่วนมากแสดงอยู่ในภาพ carboxylate, sulfate, sulfonate หรือ phosphate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภท ผงซักฟอก, ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด, น้ำยาล้างชาม เป็นต้น โดยใช้มากถึงร้อยละ 49 ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด เนื่องจากสามารถใช้ขจัดคราบสกปรกได้ดี

2. Cationic surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ประจุบวก ส่วนมากมักจะเป็นพวก quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10-11) เนื่องจาก ammonium salt จะมีการสูญเสียประจุบวก ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวประเภท cationic จะทำให้เกิดการระคายเคืองมากกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภท anionic นิยมใช้ในพวกน้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการจัดแต่งทรงผม เป็นต้น

3. Nonionic surfactant สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภท anionic และ cationic ตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวก polyether หรือ polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผงซักฟอก น้ำยาล้างถ้วยชาม ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว เป็นต้น

4. Amphoteric surfactant หรือ Zwitterions เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic สามารถให้ทั้งประจุบวกและลบ โดยจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ต่างของสภาวะแวดล้อม ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง ($\text{pH} > 7$) ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic จะให้ประจุลบ ถ้าสภาวะแวดล้อม เป็นกรด ($\text{pH} < 7$) ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic จะให้ประจุบวก และในสภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิว หรือ ผม ในปัจจุบัน ยังใช้น้อยกว่าสารตึงผิวประเภทอื่นๆ

2.10.2 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว (Properties of surfactant)

จากโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวซึ่งมีส่วนที่ละลายน้ำและละลายในไขมัน อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน เมื่อสารนี้ละลายน้ำจะมีคุณสมบัติดังนี้

1. การลดแรงตึงผิว (Lowering of surface tension) ปกติโมเลกุลของน้ำที่ผิวจะอิสระต่อการเคลื่อนไหวมากกว่าโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายใน หรือกล่าวได้ว่าโมเลกุลของน้ำที่ผิวมีพลังงานอิสระ (Free energy) มากกว่าผลต่างของพลังงานอิสระดังกล่าวต่อหน่วยพื้นที่แรงตึงผิว (Surface tension) คือ แรงที่น้ำใช้ไปในการรักษาผิวของน้ำให้มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป ส่วนของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ละลายน้ำจะถูกผลักออกไป โดยจะไปเรียงตัวอยู่ที่ผิวของน้ำ ทำให้โมเลกุลของพื้นที่ผิวดลน้อยลงเป็นผลให้แรงตึงผิวลดลงตามมาด้วย

2. การทำให้เปียก (Wetting) เมื่อหยดน้ำลงบนกระดาษที่เคลือบด้วยไข หยดน้ำที่หยดนั้นจะยังคงสภาพภาพทรงของหยดน้ำเอาไว้ ต่อเมื่อมีการเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป หยดน้ำก็จะแผ่กว้างออก จากปรากฏการณ์นี้ อาจกล่าวได้ว่าสารลดแรงตึงผิวช่วยให้มุมสัมผัสของหยดน้ำที่มีต่อผิวดลลง และถ้ามุมสัมผัสนี้มีค่าน้อยลงมาก พื้นที่ที่เปียกก็จะยิ่งมากขึ้น

3. การดึงสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว (Detergency) สิ่งสกปรก เช่น เขม่าควันไฟที่ติดอยู่ที่พื้นผิว เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป สารลดแรงตึงผิวจะไปลดแรงดึงดูดกันระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นผิว จากนั้นก็จะหันเอาส่วนของโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำไปสัมผัส และเมื่อมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลต่างๆ ภายในน้ำก็จะทำให้เกิดแรงตึงจนทำให้เขม่าควันไฟหลุดออกจากพื้นผิวที่ติดอยู่ได้

4. การแขวนลอยในน้ำ (Emulsion) โดยปกติน้ำมันจะไม่ผสมรวมเข้ากันกับน้ำ เมื่อมีการใส่สารลดแรงตึงผิวลงไปพร้อมทั้งกวนอย่างแรงเพื่อให้น้ำมันกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวก็จะไปล้อมรอบหยดน้ำมันเล็กๆ เหล่านั้น โดยจุ่มเอาส่วนของโมเลกุลที่ละลายได้ในน้ำมันเข้าไปในหยดน้ำมัน ทำให้หยดน้ำมันเล็กๆ แขวนลอยอยู่ในน้ำได้

5. การละลาย (Solubilizing) ภายในกลุ่มของสารลดแรงตึงผิวที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะและสมบัติคล้ายน้ำมัน ดังนั้นจึงสามารถที่จะละลายสารที่ละลายในน้ำมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็กๆได้ แต่ในเรื่องผงซักฟอกแล้วคุณสมบัติในการแขวนลอย น่าจะมีประโยชน์มากกว่า

6. การกระจายตัว (Dispersion) สิ่งสกปรก เช่น เขม่าควันไฟเมื่อถูกดึงออกจากพื้นผิวแล้ว ก็ยังสามารถกลับรวมกันใหม่ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และอาจกลับเข้าไปจับบนพื้นผิวได้อีก แต่การที่สารลดแรงตึงผิวไปจับรอบๆ สิ่งสกปรกเล็กๆ ที่ถูกดึงออกนั้น จะทำให้เกิดเป็นชั้นบางๆ ของประจุไฟฟ้าห่อหุ้มเอาไว้คล้ายกับกลุ่มสารลดแรงตึงผิว (Micelle) ทำให้เกิดการผลักระหว่างกันของสิ่งสกปรกเล็กๆ สิ่งสกปรกก็ไม่อาจรวมตัวกันใหญ่ขึ้นได้ และกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำ

7. การป้องกันการกลับเข้าไปจับใหม่ (Suspension) สิ่งสกปรกเมื่อถูกดึงออกจากพื้นผิวชั้นบางๆ ของประจุไฟฟ้าที่เหมือนกันที่ล้อมรอบพื้นผิวทั้งสองจะช่วยให้สิ่งสกปรกเกิดแรงผลักระหว่างพื้นผิวจึงป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกกลับเข้าไปจับพื้นผิวได้อีก

2.10.3 การนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์

สารลดแรงตึงผิวมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ในร่างกายมนุษย์ก็มีสารลดแรงตึงผิวประกอบอยู่ เช่น Gall Acid ซึ่งจะย่อยสารประเภทไขมันได้ สารลดแรงตึงผิวมีประโยชน์หลายๆ ด้าน โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ต่างๆ และเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตต่างๆ ได้แก่

1. สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เช่น ผงซักฟอก สบู่ ยาสีฟัน ยาสระผม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์ที่มีฟอง เป็นต้น
2. สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางและครีมกันแดด
3. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์ ผลิตภัณฑ์
4. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น กระบวนการย้อมผ้า การเคลือบสีไม้หรือโลหะ การผลิตพลาสติก การทำหนังสัตว์ การผลิตเนยเทียม เค้กและไอศกรีม เป็นต้น
5. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น บำบัดน้ำเสีย กำจัดมลพิษทางดิน ดูดซับของเสีย เป็นต้น
6. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในกระบวนการสกัดแยก เช่น การสกัดแยกแร่ การแยกน้ำมัน ออกจากน้ำ เป็นต้น

นอกจากนี้ ยังมีการนำสารลดแรงตึงผิวมาใช้ในเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น นาโนเทคโนโลยี เทคโนโลยีชีวภาพ งานพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องบันทึกแถบแม่เหล็ก เป็นต้น นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวจะมีบทบาทในชีวิตประจำวันแล้ว เช่น ในกระบวนการทำความสะอาด สารลดแรงตึงผิวยังมีบทบาทที่สำคัญและนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆมากมายรวมทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย อย่างไรก็ตามแล้วแต่การนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์นั้นจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ ทั้งนี้เพราะสารลดแรงตึงผิวก็สามารถทำลายสิ่งแวดล้อมได้เช่นกันถ้ามีการใช้ในปริมาณที่ไม่ถูกต้องและมีนำสารลดแรงตึงผิวผิดประเภทมาใช้ ตัวอย่างเช่น ในการปล่อยน้ำทิ้งจากครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบ จะทำให้เกิดฟองอย่างมาก จะทำลายสุนทรียภาพของแม่น้ำลำคลองแล้ว สร้างผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และอาจต้องใช้เวลานานที่กระบวนการธรรมชาติโดยแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารลดแรงตึงผิวได้หมด US.EPA. ได้กำหนดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในน้ำดื่มให้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลกระทบที่เกิดจากการที่สารลดแรงตึงผิว เช่น LAS จะไปล่อลวงจับพื้นผิวสารอินทรีย์ต่างๆที่มีในแหล่งน้ำ เมื่อมีความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้ขบวนการย่อยสลายเกิดการชะงักงัน นอกจากนี้ LAS ยังมีอันตรายต่อสัตว์น้ำ โดย LAS ที่มีจำนวนคาร์บอนมากขึ้นความเป็นพิษยิ่งเพิ่มขึ้น

2.10.4 สารลดแรงตึงผิวกับสีย้อม

ในปัจจุบันมีการนำสารลดแรงตึงผิวมาใช้ประโยชน์กันมากมาย เช่น การทำความสะอาดร่างกายและของใช้ การใช้เครื่องสำอาง กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม เป็นต้น อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารลดแรงตึงผิวในกระบวนการฟอกย้อม โดยใช้ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (Preparation) การย้อมสี (Dyeing) และการตกแต่งสำเร็จ (Finishing) เพื่อให้ทำความสะอาดผ้าเพื่อเตรียมเส้นด้ายหรือผ้าดิบไปย้อมหรือตกแต่งสำเร็จ และล้างสีส่วนเกินและสารช่วยย้อมออกจากผ้า(กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

การที่มีสารลดแรงตึงผิวและสีย้อมอยู่ด้วยกัน จะมีการทำปฏิกิริยาโดยขึ้นอยู่ชนิดของไอออนของสารลดแรงตึงผิวและสีย้อม ถ้าสารลดแรงตึงผิวและสีย้อมมีประจุตรงข้ามกัน จะทำปฏิกิริยากัน แต่ในกรณีสารลดแรงตึงผิวและสีย้อมมีประจุเหมือนกันจะมีการแข่งกันระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสีย้อมในการดูดติดที่เส้นใย(Akbas และ Kartal, 2007)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับแก้ว

Atun และ คณะ (1998) ศึกษาการดูดซับซาฟราไนท์ โอ (safranin-O) ที่มีการเตรียมพื้นผิวของผงแก้วด้วยส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำ โดยทำการศึกษาที่หลายอุณหภูมิ (25–55 องศาเซลเซียส) จากการทดลองพบว่าพื้นผิวส่วนที่ไม่ชอบน้ำสามารถดูดซับซาฟราไนท์ โอ ได้มากกว่าพื้นผิวที่ชอบน้ำที่ความเข้มข้นต่ำ ส่วนค่าการอิ่มตัวของซาฟราไนท์ โอ บนส่วนพื้นผิวที่ชอบน้ำมีค่ามากกว่าพื้นผิวส่วนที่ไม่ชอบน้ำ การดูดซับของซาฟราไนท์ โอ ที่ความเข้มข้นสูงทั้งสองพื้นผิวเป็นแบบไอโซเทอมแลงเมียร์

2.11.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเมงกานีสออกไซด์

Khraisheh และคณะ (2004) ศึกษาการนำดินเบาที่ปรับสภาพด้วยเมงกานีสออกไซด์มากำจัดสีย้อม โดยศึกษาอิทธิพลของพีเอช จากการผลการทดลอง พบว่า เมื่อใช้ดินเบา มาปรับสภาพด้วยเมงกานีสออกไซด์ 1 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาการสัมผัส 48 ชั่วโมง จะได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับสีเมทิลีนบลู คือ 11 สำหรับสีรีแอกทีฟโทนดำและสีรีแอกทีฟโทนเหลือง ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับเท่ากับ 2 นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของขนาดตัวดูดซับ โดยดินเบาที่ปรับสภาพด้วยเมงกานีสออกไซด์สามารถดูดซับสีย้อมได้มากขึ้น เมื่อลดขนาดตัวกลางดูดซับ

Eren (2009) ศึกษาการดูดซับสีคริสตัลไวโอเล็ต ด้วยดินเบนโทไนต์และดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยเมงกานีสออกไซด์ จากการทดลอง พบว่า การดูดซับสีคริสตัลไวโอเล็ตเป็นการดูดซับแบบแลงเมียร์โดยความสามารถในการดูดซับของดินเบนโทไนต์และดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยเมงกานีสออกไซด์เท่ากับ 0.32 มิลลิโมลต่อกรัม และ 1.12 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ

Zou และคณะ (2006) ศึกษาการดูดซับคอปเปอร์และตะกั่วด้วยซีโอไลต์และซีโอไลต์เคลือบเมงกานีสออกไซด์ จากการทดลอง พบว่า เมื่อใช้ซีโอไลต์และซีโอไลต์เคลือบเมงกานีสออกไซด์ 2 กรัมต่อลิตร ดูดซับคอปเปอร์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 2.46 มิลลิโมลต่อลิตร จะมีความสามารถในการดูดซับ 0.061 มิลลิโมลต่อลิตรและ 0.108 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนการดูดซับตะกั่ว ความเข้มข้นเริ่มต้น 2.89 มิลลิโมลต่อลิตร จะมีความสามารถในการดูดซับ 0.134 มิลลิโมลต่อลิตร 0.243 ตามลำดับ

พจนจิตร ธนสิน (2539) ศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสังกะสีและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบ

แมงกานีสออกไซด์ พบว่า ตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนสังกะสีและไอออนนิกเกิลได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 6 โดยประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนสังกะสีและไอออนนิกเกิลเท่ากับร้อยละ 68.92 และร้อยละ 69.52 สำหรับทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และสำหรับทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์เท่ากับร้อยละ 60.66 และร้อยละ 68.27

พรเพ็ญ มีทองมูล (2545) ศึกษาความสามารถในการดูดซับอาร์เซนิก แคลเดียม และตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการใช้ดินเบาเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลอง พบว่า การใช้ดินเบาเคลือบแมงกานีสออกไซด์ปริมาณ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับอาร์เซนิกเท่ากับ 7 ระยะเวลาการสัมผัส 12 ชั่วโมง โดยจะได้ประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับร้อยละ 35.19 ส่วนการดูดซับแคลเดียม มีค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 5 ระยะเวลาการสัมผัส 8 ชั่วโมง โดยจะได้ประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับร้อยละ 91.67 และการดูดซับตะกั่ว ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 4 ระยะเวลาการสัมผัส 45 นาที โดยจะได้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าร้อยละ 99

2.11.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการบำบัดสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว

Klimiuk และคณะ (2005) ศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟ (Brilliantorange 3R ,Scarlet R) ที่มีสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Borutosol KRN, Siarcznol) และไม่มีประจุ (Rpkafenol N-8) อยู่ด้วย บนตัวกลางไคติน จากการทดลองพบว่า ที่พีเอช 6.2 ความสามารถในการดูดซับสีย้อมลดลง เมื่อมีสารลดแรงตึงผิวประจุลบและสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุอยู่

Janos และ Smidova (2005) ศึกษาการดูดซับสีย้อมเบสิก ได้แก่ สีเมทิลีนบลู (methylene blue) สีมาลาไคน์กรีน (malachite green) สีโรดามาย บี (rhodamine B) และ สีคริสตัลไวโอเล็ต (crystal violet) ที่มีสารลดแรงตึงผิวอยู่ บนตัวกลางเหล็ก ฮิวเมต (iron humate) จากผลการทดลอง พบว่า กา รมีอยู่ของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก (cetyltrimethylammonium bromide) และ สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ (TritonX-100) มีผลต่อการดูดซับสีย้อมน้อย ซึ่งตรงกันข้ามกับการมีอยู่ของสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (SDS) ที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเบสิกที่มีประจุบวก

Talman และ Atun (2006) ศึกษาการดูดซับสีย้อมประจุบวกทูลิดีน (toluidine) ด้วยเถ้าลอยโดยที่มีสารลดแรงตึงผิวประจุบวก (ซินดีว ไพลิดีนีม คลอไรด์ : Cetyl pyridium Chloride (CPC)) และสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต : Sodium dodecyl sulfate (SDS)) อยู่ด้วย จากผลการทดลอง พบว่า ความสามารถในการดูดซับสีย้อมทูลิดีนลดลง

เมื่อมี CPC อยู่ด้วย เนื่องจากการแข่งกันการดูดซับที่พื้นผิวเดียวกันระหว่างสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุเดียวกัน ส่วนการดูดซับสีย้อมทฤษฎีที่ความเข้มข้น SDS ต่ำ พบว่า การดูดซับสีย้อมทฤษฎีเพิ่มขึ้น เนื่องจาก มีการเพิ่มพื้นผิวประจุลบของสารลดแรงตึงผิว โดยส่วนหางของสารลดแรงตึงผิวที่มีกลุ่มไฮโดรคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับส่วนที่ไม่ชอบของเก้าลอย ทำให้ยังมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิวยังอยู่ ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มพื้นผิวประจุลบด้วย

Cestari และคณะ (2006) ศึกษาการดูดซับสีย้อมที่ฟิโตนเหลืองและรีแอกทีฟฟิโตนแดง ที่มีสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (SDS) ความเข้มข้นน้อยกว่าจุดวิกฤต (CMC) อยู่ด้วยที่พีเอช 4 ด้วยอะมิโนไฟฟิว ซิลิกา (aminopropyl-silica: Si-NH₂) จากผลการทดลอง พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ด้วยอะมิโนไฟฟิว ซิลิกาดูดซับสีย้อมที่ฟิโตนเหลืองมากกว่าสีย้อมที่ฟิโตนแดง แสดงว่าการที่มี SDS อยู่ในสารละลายจะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังพบว่า โครงสร้างทางเคมีและตำแหน่งของกลุ่มซิลฟูเนตของสีย้อมยังเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดูดซับ

Punyapalakul และ Takizawa (2006) ศึกษาการคัดเลือกมลสารในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Triton X-100) ที่อยู่ในสีย้อมมีประจุ ได้แก่ สีย้อมเบสิก เยลโล่ 1 (Basic Yellow 1) และสีย้อม แอซิด 45 (Acid Blue 45) บนตัวกลางดูดซับ hexagonal mesoporous silicates (HMSs) ที่มีลักษณะหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกัน ได้แก่ n-Octyldimethyl-(OD-HMS), 3-aminopropyltriethoxy-(AM-HMS), 3-mercaptopropyl-(MP-HMS), Silanol (HMS, Ti-HMS) และถ่านกัมมันต์ จากผลการทดลอง พบว่า HMS ทุกชนิด ยกเว้น AM-HMS สามารถดูดซับสารลดแรงตึงผิวได้สูงกว่าถ่านกัมมันต์ โดย HMSs ดูดซับสีย้อมเบสิกเยลโล่ 1 และสีย้อมแอซิด 45 ด้วยพันธะไฮโดรเจน และ TX-100 มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเบสิกเยลโล่ 1 เนื่องจากเป็นการดูดซับด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าเช่นเดียวกัน ซึ่งต่างจากการดูดซับสีย้อมแอซิด 45

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองศึกษาการนำเศษแก้วสีชา จากกระบวนการบดขวดแก้วที่ไม่ใช้แล้วจากโรงงานรีไซเคิลขวดแก้วมาเคลือบด้วยเมงกานีสออกไซด์ เพื่อกำจัดสีขุ่นและสารลดแรงตึงผิวโดยศึกษาแบบที่ละเอียดและแบบคอลัมน์

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิว (BET Surface Area Analyzer) ยี่ห้อ Quantachrome รุ่น Autosorb-1, Thermo Finnigan / Sorptomatic 1990
2. เครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum One
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV
4. เครื่องวิเคราะห์เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF)แบบ Wavelength Dispersive ยี่ห้อ Philips รุ่น PW2400
5. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer, AAS) ยี่ห้อ Varian รุ่น AA 280 FS
6. เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo Electron Corporation, U.S.A รุ่น Helios Alpha
7. เครื่องมือวัดพีเอช (pH meter) รุ่น UB-10 ยี่ห้อ DENVER INSTRUMENT
8. เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น DRAGON 204 ยี่ห้อ Mettler toledo
9. เครื่องเขย่าแบบวง (orbital shaker)
10. เครื่องเขย่าคัดขนาด (Sieve Shaker)
11. เครื่องบดแก้ว
12. กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) ยี่ห้อ Whatman
13. ตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 100
14. โถดูดความชื้น (desiccators)
15. หัวกรองพลาสติก (filter holder) ขนาด 25 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Swinnex

16. คอลัมน์แก้วยี่ห้อ Chromaflex ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร
17. ปั้มน้ำ รุ่น CX1-51-PPC-K ยี่ห้อ N-feeder
18. เครื่องแก้ว

3.1.2 สารเคมี

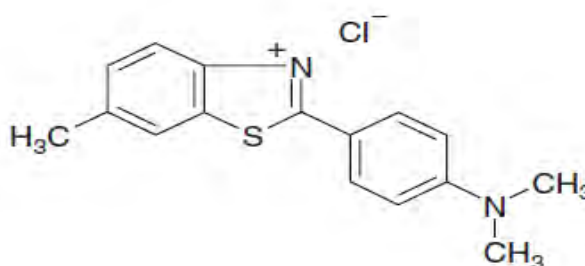
1. วัสดุดิบ : เศษแก้วสีชา จากกระบวนการบดขวดแก้วที่ไม่ใช้แล้วจากโรงงานรีไซเคิลขวดแก้ว

2. สารเคมี

- แมงกานีสคลอไรด์ ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ยี่ห้อ Univar
- โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ยี่ห้อ J.T. Baker
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ยี่ห้อ J.T. Baker
- โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) ยี่ห้อ Univar
- ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ยี่ห้อ VolChem
- กรดไนตริก (HNO_3) ยี่ห้อ Fisher Scientific
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ยี่ห้อ Fisher Scientific

3. สีย้อม : กลุ่มสีย้อมที่ใช้ ได้แก่

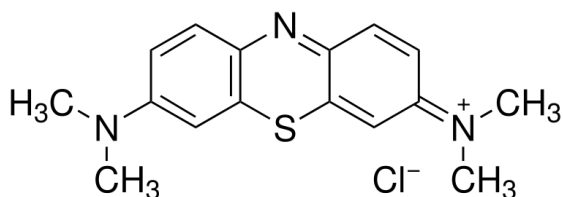
- สีย้อมประจวบกร ได้แก่ สีเบสิด เยลโลว์ 1 (BY1) Thioflavin T ยี่ห้อ Aldrich



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างโมเลกุลของสีเบสิด เยลโลว์ 1 (BY1)

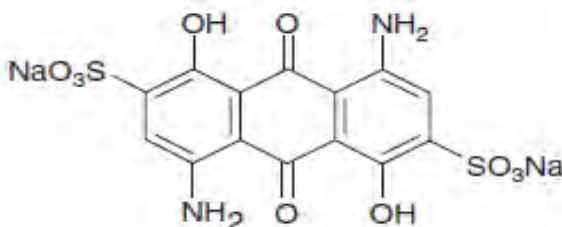
(Punyapalakul และ Takizawa, 2006)

- สีย้อมประจวบทุก ได้แก่ สีเมทิลีนบลู (MB) ยี่ห้อ Aldrich, U.S.A.



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างโมเลกุลของสีเมทิลีนบลู (MB)
(Neuroprotection, 2553)

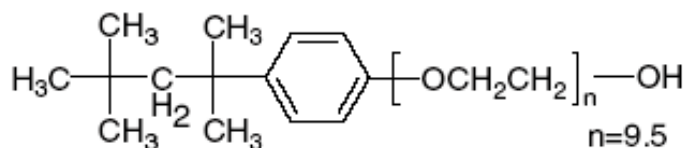
- สีย้อมประจวบ และ สีแอสิด บลู 45 (AB 45) ยี่ห้อ Aldrich, U.S.A.



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างโมเลกุลของสีแอสิด บลู 45 (AB 45)
(Punyapalakul และ Takizawa, 2006)

4. สารลดแรงตึงผิว

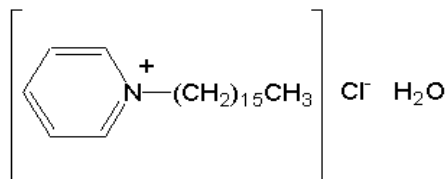
- สารลดแรงตึงผิวผิวประเภทไม่มีประจุ ได้แก่ iso-octylphenol ethoxylate (Triton X-100) เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ ความยาวเฉลี่ยของสาย เท่ากับ 9.5 โมโนเมอร์ ยี่ห้อ Panreac



ภาพที่ 3.4 โครงสร้างโมเลกุลของ iso-octylphenol ethoxylate (Triton X-100)
(Punyapalakul และ Takizawa, 2006)

- สารลดแรงตึงผิวประเภทประจุบวก ได้แก่ Cetyl pyridium Chloride (CPC)

ยี่ห้อ Fluka

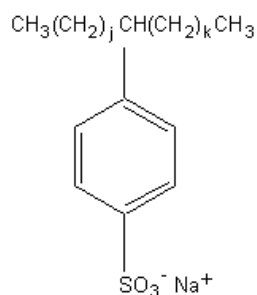


ภาพที่ 3.5 โครงสร้างโมเลกุลของ Cetyl pyridium Chloride (CPC)

(Choppinet และคณะ, 1999)

- สารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบ ได้แก่ Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)

ยี่ห้อ Fluka



ภาพที่ 3.6 โครงสร้างโมเลกุลของ Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)

(International program on chemical safety environmental health, 2553)

ตารางที่ 3.1 สมบัติของสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว

สารถูกดูดซับ	ประจุ	มวลโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	pKa	CMC (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความยาวคลื่นที่ใช้ วัด (นาโนเมตร)
Basic Yellow 1	บวก	318.86	2.4 ^a	-	412
Methylene Blue	บวก	319.85	3.8 ^b	-	660
Acid Blue 45	ลบ	474.34	2.0 ^c	-	595
Triton X-100	ไม่มีประจุ	647	-	150 (Guangzhi และคณะ, 2009)	275
CPC	บวก	358.01	-	161 (Talman และ Atun, 2006)	259
LAS	ลบ	348.80	-	194 (Tripathi และ Brown, 2008)	225

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่มี, a อ้างอิงจาก Biemann และคณะ (1983), b อ้างอิงจาก Schoonheydt และ Cenens (1998) , c อ้างอิงจาก Moltke และ Heyn (1995)

3.2 วิธีการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แบ่งการทดลองออกเป็น 10 ส่วน คือ

3.2.1 การเตรียมตัวดูดซั้บ

3.2.1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์

3.2.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมี

3.2.3 ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซั้บสีย้อม

3.2.4 ศึกษาไอโซเทอมการดูดซั้บสีย้อม

3.2.5 ศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซั้บสีย้อม

3.2.6 ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซั้บสารลดแรงตึงผิว

3.2.7 ศึกษาไอโซเทอมการดูดซั้บสารลดแรงตึงผิว

3.2.8 ศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซั้บสารลดแรงตึงผิว

3.2.9 ศึกษาคุณสมบัติของสารดูดซั้บในการคัดเลือกมลสารระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสีย้อม

3.2.10 ศึกษาความสามารถในการดูดซั้บสีย้อม สารลดแรงตึงผิวและสีย้อมผสม

สารลดแรงตึงผิว โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์



ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมตัวดูดซับ (Khraisheh และคณะ, 2004)

3.2.1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์

1.1 ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว

- 1) นำเศษแก้วสีชาที่บดแล้วมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 (ขนาด 150 ไมโครเมตร) จำนวน 15 กรัม มาล้างน้ำดีไอแล้วมาอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาแช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 2) หลังจากนั้น นำมาแช่ลงในแมงกานีสคลอไรด์ ความเข้มข้น 2.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยปรับให้มีพีเอช 1-2 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
- 3) นำมาแช่ลงในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น นำอบ 100 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น
- 4) ทำข้อ 1-3 ซ้ำ เปลี่ยนระยะเวลาในการแช่แมงกานีสคลอไรด์เป็น 10 20 และ 24 ชั่วโมง
- 5) เตรียมสารละลายสี ย้อม ได้แก่ สี เบสิค เบลโล่ 1 (BY1) และ สีแอซิด บลู 45 (AB45) ให้มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ Triton X-100 (TX100) , Cetyl pyridium Chloride (CPC), Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) ให้มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร
- 6) เติมตัวกลางดูดซับ ปริมาณ 0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร) ใส่ลงไปในช่วงภาพชมพู ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 7) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 0 5 10 30 60 120 180 240 300 และ 360 นาที
- 8) นำตัวอย่างสารละลายที่ได้กรองเพื่อแยกสารดูดซับออกด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของสีด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล

1.2 ความเข้มข้นของสารละลายแอมกานีสคลอไรด์

- 1) วิธีการเตรียมเหมือนข้อ 1 ของระยะเวลาในการเคลือบ
- 2) นำมาแช่ลงในแอมกานีสคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยปรับให้มีพีเอช 1-2 โดยใช้เวลาที่เหมาะสมในการเคลือบจากการทดลองระยะเวลาในการเคลือบ ที่อุณหภูมิห้อง
- 3) นำมาแช่ลงในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น นำอบ 100 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น
- 4) ทำข้อ 1-3 ซ้ำ เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายแอมกานีสคลอไรด์เป็น 2.0 2.5 และ 3.0 โมลต่อลิตร
- 5) เตรียมสารละลายสี่ ย้อม ได้แก่ สี เบสิค เยลโล่ 1 (BY1) และ สี แอซิด บลู 45 (AB45) ให้มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ Triton X-100 (TX100) , Cetyl pyridium Chloride (CPC), Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) ให้มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร
- 6) เติมตัวกลางดูดซับ ปริมาณ 0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร) ใส่ลงไปในช่วงภาพชมพูควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 7) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 0 5 10 30 60 120 180 240 300 และ 360 นาที
- 8) นำตัวอย่างสารละลายที่ได้กรองเพื่อแยกสารดูดซับออกด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของสีด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล

1.3 การชะละลายของแอมกานีสที่ออกมาจากตัวกลางดูดซับ

เตรียมน้ำกลั่น ปรับค่าพีเอช 5 7 และ 9 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ใส่ตัวกลางดูดซับ ที่เตรียมจากการทดลองระยะเวลาในการเคลือบและความเข้มข้นของสารละลายแอมกานีสคลอไรด์ ปริมาณ 0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และควบคุมที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์หาปริมาณแอมกานีสที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer, AAS)

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและช่วงที่ทำการศึกษาค่าการเตรียมเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์

ตัวแปร	ช่วงที่ทำการศึกษา
ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายเมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว	5, 10, 20, 24 ชั่วโมง
ความเข้มข้นของสารละลายเมงกานีสคลอไรด์	1.5, 2.0, 2.5, 3.0 โมลต่อลิตร
การชะละลายของเมงกานีสที่ออกมาจากตัวกลางดูดซับ	พีเอช 5 7 และ 9

3.2.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์

3.2.2.1 ลักษณะพื้นที่ผิว

- นำเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสแกน (Scanning Electron Microscope, SEM) ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2.2 พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุนและปริมาตรรูพรุน

- นำเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิว (BET Surface Area Analyzer) ณ วิทยาลัยปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบ

- นำเศษแก้ว วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF) ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว

- นำเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2.5 การวิเคราะห์หาค่าหาค่าพีเอชที่ให้ความหนาแน่นของประจุบนพื้นผิว เป็นศูนย์ (Point of Zero Charge (pH_{PZC}) ด้วยวิธีวิธีไทเทรตด้วยกรด-ด่าง (Al-Ghouti และคณะ, 2003)

วิธีการหาประจุบนพื้นผิวโดยทำการตรวจวัดโดยวิธีไทเทรตด้วย กรด-ด่าง มีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำสารดูดซับผสมกับน้ำดีไอออไนซ์จำนวน 10 มิลลิลิตร หรือ 1 กรัมต่อน้ำดีไอออไนซ์ 1 ลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่
- 2) เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.025 โมลต่อลิตร หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลต่อลิตร เพื่อปรับ พีเอชให้เท่ากับ 3 5 7 9 และ 11
- 3) เจือจางส่วนผสมให้ได้ปริมาณ 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำดีไอออไนซ์
- 4) ปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร
- 5) นำตัวอย่างไปเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส
- 6) ทำการวัดค่าพีเอช ซึ่งจะบอกความเข้มข้นของ โปรตอน(H^+) และ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-)
- 7) คำนวณหาประจุบนพื้นผิวได้จากสมการดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นของประจุบนพื้นผิว (C/g)} = \{[\text{HCl}]_{\text{add}} - [\text{NaOH}]_{\text{add}} - [\text{H}^+] + [\text{OH}^-]\} \times 96500/W$$

โดย	$[\text{HCl}]_{\text{add}}$	คือ ความเข้มข้นของไฮโดรคลอริกที่เติมลงไป (โมลต่อลิตร)
	$[\text{NaOH}]_{\text{add}}$	คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลงไป (โมลต่อลิตร)
	$[\text{H}^+]$	คือ ความเข้มข้นของโปรตอน (โมลต่อลิตร) คำนวณจาก $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$
	$[\text{OH}^-]$	คือ ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (โมลต่อลิตร) คำนวณจาก $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$ และ $\text{pOH} = 14 - \text{pH}$

3.2.2.6 การหาปริมาณแอมกานีสออกไซด์จากตัวดูดซับที่เตรียมจากเศษแก้วเคลือบด้วยแอมกานีสออกไซด์ โดยดัดแปลงวิธีจากวิธี US.EPA METHOD 3050B มีขั้นตอนดังนี้

- ชั่งตัวดูดซับมา 1 กรัม
- เติมสารละลาย 1:1 HNO₃ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดฝาด้วยกระจกนาฬิกา นำไปให้ความร้อนบนแผ่นความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-15 นาที โดยไม่ให้เดือด ทิ้งไว้ให้เย็น
- เติมกรด HNO₃ เข้มข้น 5 มิลลิลิตร เปิดกระจกนาฬิกาออก แล้ว reflux ต่อ 30 นาที หากเกิดควันสีน้ำตาลให้ทำขั้นตอนนี้ซ้ำโดยการเติมกรด HNO₃ ลงไปอีก 5 มิลลิลิตร หรือ เติมจนกว่าไม่เกิดควันสีน้ำตาล
- ปลอ่ยให้สารละลายระเหยเหลือประมาณ 5 มิลลิลิตร โดยไม่ให้เดือด
- จากนั้นปลอ่ยทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 5 นาที แล้วเติม 30 เปอร์เซ็นต์ H₂O₂ 5 มิลลิลิตร ปิดกระจกนาฬิกาแล้วนำไปให้ความร้อนต่อจนปริมาตรของสารละลายประมาณ 5 มิลลิลิตร
- ปลอ่ยทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมกรด HCl เข้มข้นลงไป 10 มิลลิลิตร ปิดกระจกนาฬิกาแล้ว reflux ต่อเป็นเวลา 15 นาที
- นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.41
- นำสารละลายใส่ที่ได้ไปปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน
- นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กด้วยเทคนิค FAAS

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ต่างๆ และวิธีการวิเคราะห์

รายการ	วิธีวิเคราะห์
การศึกษาลักษณะพื้นผิว	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope, SEM)
การศึกษาพื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุน	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิว (BET Surface Area Analyzer)
การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบ	เครื่องวิเคราะห์เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโทรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF)
การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว	เครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR)
วิเคราะห์หาค่า Point of Zero Charge (pH _{PZC})	วิธีไทเทรตด้วย กรด- ด่าง (Al-Ghouti และคณะ, 2003)
การหาปริมาณแอมกานีสออกไซด์จากตัวกลางเศษแก้วเคลือบด้วยแอมกานีสออกไซด์	วิธี US.EPA METHOD 3050B

3.2.2.7 การวัดสีข้อมและสารลดแรงตึงผิวในสารละลายสารลดแรงตึงผิวผสมสีข้อม

- 1) เตรียมสารละลายสารลดแรงตึงผิวผสมกับสีข้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ
- 2) วัดค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance) ของสารลดแรงตึงผิวและสีข้อมที่ความยาวคลื่นของแต่ละตัว ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล จะได้ตารางกราฟมาตรฐานของสารละลายสารลดแรงตึงผิวผสมกับสีข้อม
- 3) นำตัวอย่าง สารละลายสารลดแรงตึงผิวผสมกับสีข้อม วัดค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่นของแต่ละตัว ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
- 4) สร้างกราฟมาตรฐานของสีข้อมจากค่าที่ได้จากตารางกราฟมาตรฐานของสารละลายสารลดแรงตึงผิวผสมกับสีข้อมของความยาวคลื่นของสีข้อม
- 5) นำค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance) ของสีข้อมที่วัดมาแทนในสมการของกราฟมาตรฐานของสีข้อม บันทึกผลความเข้มข้นของสีข้อม
- 6) นำค่าความเข้มข้นของสีข้อมที่ได้ ไปแทนในตารางกราฟมาตรฐานของสารละลายสารลดแรงตึงผิวผสมกับสีข้อมของความยาวคลื่นของสารลดแรงตึงผิว
- 7) ทำการ interpolate จะสามารถหาค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance) ของสารลดแรงตึงผิวได้ สร้างกราฟมาตรฐานของสารลดแรงตึงผิว
- 8) นำค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance) ของสารลดแรงตึงผิวที่วัดมาแทนในสมการของกราฟมาตรฐานของสารลดแรงตึงผิว บันทึกผลความเข้มข้นของสีข้อม

3.2.3 ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับสีข้อม

- 1) เตรียมสารละลายสีข้อมให้มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิตร
- 2) เติมตัวกลางดูดซับปริมาณ 0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่
- 3) ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 4) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 5 10 30 60 120 180 240 300 และ 360 นาที
- 5) นำตัวอย่างสารละลายที่ได้กรองเพื่อแยกสารดูดซับออกด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของสีด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล

6) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่าง เป็นสารละลายสีย้อม 3 ชนิด ได้แก่ สีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) สีเมทิลีนบลู (MB) และ สีแอสิด บลู 45 (AB45)

7) นำข้อมูลมาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่ เพื่อให้ได้เวลาที่กระบวนการดูดซับเข้าสู่สมดุล

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรที่ใช้ในศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อม

ชนิดตัวแปร	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรควบคุม	พีเอช	พีเอชเท่ากับ 7 โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	อุณหภูมิ	25±2 องศาเซลเซียส
	ค่าความแรงไอออน	0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	ปริมาณสารดูดซับ	0.5 กรัม
	ปริมาณและความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม	ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
	จำนวนรอบในการปั่นกวน	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	เวลา	0 5 10 30 60 120 180 240 300 และ 360 นาที
	ชนิดของสารดูดซับ	- เศษแก้ว - เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์
	ชนิดของสีย้อม	- สีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) - สีเมทิลีนบลู (MB) - สีแอสิด บลู 45 (AB45)
ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่	-

3.2.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสี่ย้อม

- 1) เตรียมสารละลายสี่ย้อมความเข้มข้น 25 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร
- 2) ชั่งสารดูดซับปริมาณ 0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร) ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่
- 3) ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 4) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างสารละลายเมื่อถึงเวลาเข้าสู่สมดุลโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาจลนศาสตร์ของสี่ย้อม
- 5) นำตัวอย่างสารละลายที่ได้กรองเพื่อแยกสารดูดซับออกด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของสีด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล
- 6) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่าง เป็นสารละลายสี่ย้อม 3 ชนิด ได้แก่ สีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) สีเมทิลีนบลู (MB) และ สีแอสติค บลู 45 (AB45)
- 7) นำข้อมูลมาวาดกราฟระหว่างความเข้มข้นของสี่ย้อมที่สภาวะสมดุล และความสามารถในการดูดซับสี่ย้อม เพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสี่ย้อม

ชนิดตัวแปร	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรควบคุม	พีเอช	พีเอชเท่ากับ 7 โดยฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	อุณหภูมิ	25 ± 2 องศาเซลเซียส
	ค่าความแรงไอออน	0.01 โมลาร์ โดยฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	ปริมาณสารดูดซับ	0.5 กรัม
	ปริมาณสารละลายสี่ย้อม	ปริมาณ 100 มิลลิลิตร
	เวลา	เข้าสู่สมดุล
	จำนวนรอบในการปั่นกวน	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	ความเข้มข้นของสารละลายสี่ย้อม	25 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
	ชนิดของสารดูดซับ	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์
	ชนิดของสี่ย้อม	- สีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) - สีเมทิลีนบลู (MB) - สีแอสติค บลู 45 (AB45)
ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นของสี่ย้อมที่เหลืออยู่	-

3.2.5 การศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อม

- 1) เตรียมสารละลายสีย้อม ความเข้มข้น 25 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร
- 2) ชั่งสารดูดซับปริมาณ 0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร) ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่
- 3) ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 5 7 และ 9 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 4) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างสารละลายเมื่อถึงเวลาเข้าสู่สมดุลโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาจลนศาสตร์ของสีย้อม
- 5) นำตัวอย่างสารละลายที่ได้กรองเพื่อแยกสารดูดซับออกด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของสีด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล
- 6) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่างเป็นสีย้อม 2 ชนิด ได้แก่ สีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) และสีแอซิด บลู 45 (AB 45)
- 7) นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นสีย้อมที่สภาวะสมดุลและความสามารถในการดูดซับ เพื่อหาค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุด

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับสีย้อม

ชนิดตัวแปร	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรควบคุม	อุณหภูมิ	25 ± 2 องศาเซลเซียส
	ปริมาณสารดูดซับ	0.5 กรัม
	ปริมาณสารละลายสีย้อม	ปริมาณ 100 มิลลิลิตร
	เวลา	เข้าสู่สมดุล
	ค่าความแรงไอออน	0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	จำนวนรอบในการปั่นกวน	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม	25 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
	พีเอช	พีเอชเท่ากับ 5 7 และ 9
	ชนิดของสารดูดซับ	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์
	ชนิดของสีย้อม	- สีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) - สีแอซิด บลู 45 (AB45)
ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่	-

3.2.6. ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับสารลดแรงตึงผิว

- 1) เตรียมสารละลายสารลดแรงตึงผิว ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2) เติมตัวกลางดูดซับปริมาณ 0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร) ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่
- 3) ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 4) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 0 5 10 30 60 120 180 240 300 และ 360 นาที
- 5) นำตัวอย่างสารละลายที่ได้กรองเพื่อแยกสารดูดซับออกด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิว ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล
- 6) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่างเป็นสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ Triton X-100 (TX100) ,Cetyl pyridium Chloride(CPC), Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
- 7) นำข้อมูลมาวาดกราฟระหว่างเวลาและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหลือ เพื่อหาเวลาที่เข้าสู่สมดุล

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาจลนศาสตร์ของสารลดแรงตึงผิว

ชนิดตัวแปร	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรควบคุม	พีเอช	พีเอชเท่ากับ 7 โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	อุณหภูมิ	25 ± 2 องศาเซลเซียส
	ค่าความแรงไอออน	0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	ปริมาณสารดูดซับ	0.5 กรัม
	ปริมาณและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว	ปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
	จำนวนรอบในการปั่นกวน	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	เวลา	0 5 10 30 60 120 180 240 300 และ 360 นาที
	ชนิดของสารดูดซับ	- เศษแก้วและเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์
	สารลดแรงตึงผิว	- Triton X-100 (TX100), - Cetyl pyridium Chloride (CPC) - Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่	-

3.2.7 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว

- 1) เตรียมสารลดแรงตึงผิว ความเข้มข้น 50 100 200 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร
- 2) เติมตัวกลางดูดซับปริมาณ 0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร) ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่
- 3) ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนพอสเฟต (NaH₂PO₄) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนพอสเฟต (Na₂HPO₄)
- 4) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25±2 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างสารละลายเมื่อเวลาเข้าสู่สมดุลโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาจลนศาสตร์ ของสารลดแรงตึงผิว
- 5) ตัวอย่างสารละลายที่ได้กรองเพื่อแยกสารดูดซับออกด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวด้วยเครื่องยูวี- วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล
- 6) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่างเป็นสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ Triton X-100 (TX100) , Cetyl pyridium Chloride (CPC), Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
- 7) นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิว ที่สภาวะสมดุล และความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว เพื่อหาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวสูงสุด

ตารางที่ 3.8 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว

ชนิดตัวแปร	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรควบคุม	พีเอช	พีเอชเท่ากับ 7 โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	ปริมาณสารดูดซับ	0.5 กรัม
	ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว	ปริมาณ 100 มิลลิลิตร
	เวลา	เข้าสู่สมดุล
	อุณหภูมิ	25±2 องศาเซลเซียส
	ค่าความแรงไอออน	0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	จำนวนรอบในการปั่นกวน	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว	50 100 200 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร
	ชนิดของสารดูดซับ	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์
ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ที่เหลืออยู่	-

3.2.8 ศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว

- 1) เตรียมสารลดแรงตึงผิว ความเข้มข้น 50 100 200 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร
- 2) ชั่งสารดูดซับปริมาณ 0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร) ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่
- 3) ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 5 7 และ 9 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 4) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างสารละลายเมื่อถึงเวลาเข้าสู่สมดุลโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาจลนศาสตร์ของสารลดแรงตึงผิว
- 6) นำตัวอย่างสารละลายที่ได้กรองเพื่อแยกสารดูดซับออกด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
- 7) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่างเป็นสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ Triton X-100, Cetyl pyridium Chloride (CPC), Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
- 8) นำข้อมูลที่ได้มา เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวที่สภาวะสมดุลและความสามารถในการดูดซับ เพื่อหาค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุด

ตารางที่ 3.9 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว

ชนิดตัวแปร	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรควบคุม	อุณหภูมิ	25 ± 2 องศาเซลเซียส
	ปริมาณสารดูดซับ	0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร)
	ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว	ปริมาณ 100 มิลลิลิตร
	เวลา	เข้าสู่สมดุล
	ค่าความแรงไอออน	0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	จำนวนรอบในการปั่นกวน	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม	25 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
	พีเอช	พีเอชเท่ากับ 5 7 และ 9
	ชนิดของสารดูดซับ	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์
	ชนิดของสารลดแรงตึงผิว	- Triton X-100 (TX100) - Cetyl pyridium Chloride (CPC) - Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่	-

3.2.9 การศึกษาคุณสมบัติของสารดูดซับในการคัดเลือกมลสารระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์

การทดลองขั้นที่ 1 ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อความสามารถการดูดซับสีย้อม

- 1) เตรียมสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ความเข้มข้น 50 100 200 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร
- 2) เติมสารละลายสีย้อมเบสิด เยลโล่ 1(BY1)ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร
- 3) เติมตัวกลางดูดซับปริมาณ 0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร)
- 4) ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 5) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างสารละลายเมื่อเวลาเข้าสู่สมดุลโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาจลนศาสตร์ ของสารลดแรงตึงผิว
- 6) ตัวอย่างสารละลายที่ได้กรองเพื่อแยกสารดูดซับออกด้วยกระดาษกรองใยแก้วGF/C แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของสีและสารลดแรงตึงผิวด้วยเครื่องยูวี- วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล
- 7) ทำการทดลองซ้ำ 1-6 โดยเปลี่ยนสารละลายสีย้อมเป็น สีแอสิด บลู 45 (AB 45) ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 8) ทำการทดลองซ้ำ 1-6 โดยเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวเป็น Cetyl pyridium Chloride (CPC) และสารละลายสีย้อมเป็นสีเบสิด เยลโล่ 1(BY1)ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 9) ทำการทดลองซ้ำ 1-6 โดยเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวเป็น Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) และสารละลายสีย้อมเป็นสีแอสิด บลู 45 (AB 45)ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 10) ข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิว ที่สภาวะสมดุลและความสามารถในการดูดซับสีย้อม และความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ 3.10 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อความสามารถการดูดซับสีย้อม

ชนิดตัวแปร	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรควบคุม	พีเอช	พีเอชเท่ากับ 7 โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	ปริมาณสารดูดซับ	0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร)
	ปริมาณ	ปริมาณ 50 มิลลิลิตร
	ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว - สี่เบสิก เกล็ด 1 (BY1) - สี่แอซิด บลู 45 (AB 45)	- ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร - ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
	อุณหภูมิ	25±2 องศาเซลเซียส
	ปริมาณของสารละลายสีย้อม	ปริมาณ 50 มิลลิลิตร
	เวลา	เข้าสู่สมดุล (จากการทดลองที่ 4.3.3)
	ค่าความแรงไอออน	0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	จำนวนรอบในการปั่นกวน	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว	50 100 200 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร
	ชนิดของสารดูดซับ	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์
	ชนิดของสีย้อม	- สี่เบสิก เกล็ด 1 (BY1) - สี่แอซิด บลู 45 (AB 45)
	ชนิดของสารลดแรงตึงผิว	- Triton X-100 (TX100) , - Cetyl pyridium Chloride (CPC) - Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
ตัวแปรตาม	- ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่ - ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่	-

การทดลองขั้นที่ 2 คือศึกษาผลของสีย้อมต่อความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว

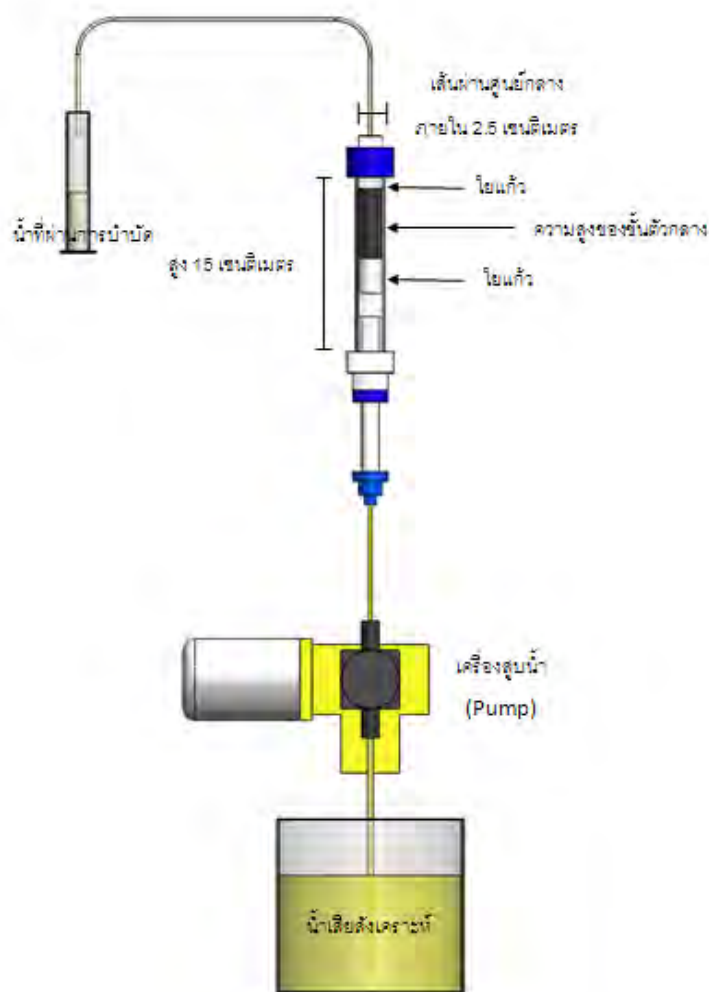
- 1) เตรียมสารละลายสีย้อม ความเข้มข้น 25 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร
- 2) เติมเตรียมสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่
- 3) เติมตัวกลางดูดซับปริมาณ 0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร)
- 4) ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 5) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างสารละลายเมื่อเวลาเข้าสู่สมดุลโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาจลนศาสตร์ ของสีย้อม
- 6) นำสารละลายที่ได้กรองเพื่อแยกสารดูดซับออกด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C แล้วนำสารละลายไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวโดยเครื่องยูวีสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
- 7) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่างเป็นสารละลายสีย้อม 2 ชนิด ได้แก่ สีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) และสีแอซิด บลู 45 (AB 45)
- 8) ทำการทดลองซ้ำ 1-7 โดยเปลี่ยนสารละลายสารลดแรงตึงผิวเป็น Cetyl pyridium Chloride (CPC) ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายสีย้อมเป็นสีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1)
- 9) ทำการทดลองซ้ำ 1-7 โดยเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวเป็น Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายสีย้อมเป็นสีแอซิด บลู 45 (AB 45)
- 10) นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้น ของสีย้อม ที่สภาวะสมดุลและความสามารถในการดูดซับสีย้อม และความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ 3.11 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของสีย้อมต่อความสามารถการดูดซับสารลดแรงตึงผิว

ชนิดตัวแปร	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรควบคุม	พีเอช	พีเอชเท่ากับ 7 โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	ปริมาณสารดูดซับ	0.5 กรัม (5 กรัมต่อลิตร)
	ปริมาณ	ปริมาณ 50 มิลลิลิตร
	ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว	- ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร - ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร - ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร
	อุณหภูมิ	25±2 องศาเซลเซียส
	ปริมาณของสารละลายสีย้อม	ปริมาณ 50 มิลลิลิตร
	เวลา	เข้าสู่สมดุล (จากการทดลองที่ 4.3.3)
	ค่าความแรงไอออน	0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	จำนวนรอบในการปั่นกวน	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม	25 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
	ชนิดของสารดูดซับ	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์
	ชนิดของสีย้อม	- สีย้อมสีเบสียล 1 (BY1) - สีย้อมสีแอซิด บลู 45 (AB 45)
	ชนิดของสารลดแรงตึงผิว	- Triton X-100 (TX100) , - Cetyl pyridium Chloride (CPC) - Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
ตัวแปรตาม	- ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่ - ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่	-

3.2.10 ศึกษาความสามารถการดูดซับสีย้อม สารลดแรงตึงผิว และสีย้อมผสมสารลดแรงตึงผิว โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์

ทำการทดลองโดยให้ น้ำเสียสังเคราะห์ ไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเซกแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ โดยใช้คอลัมน์แก้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร โดยให้น้ำเสียสังเคราะห์ไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนโดยมีเครื่องปั้มน้ำสำหรับเพิ่มความดัน มีขนาดและการติดตั้งคอลัมน์ ดังแสดงในภาพที่ 3.7 และมีขั้นตอนวิธีการดังนี้



ภาพที่ 3.7 ขนาดและการติดตั้งคอลัมน์

การทดลองตอนที่ 1 ศึกษาความสามารถการดูดซับสีย้อมแบบคอลัมน์

- 1) เตรียมสารละลายสีย้อมให้มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2) เติมตัวกลางดูดซับปริมาณ 5 กรัม ลงในคอลัมน์
- 3) ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 4) ป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยอัตราการไหลประมาณ 5 มิลลิตรต่อนาที
- 5) เก็บตัวอย่างน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์แล้วทุก 5 นาที จนกว่าค่าความเข้มข้นที่บำบัดได้ใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้น หรือถึงจุดเบรคทROUGH
- 6) นำตัวอย่างสารละลายที่ได้วิเคราะห์ความเข้มข้นของสีย้อม ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล
- 7) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่าง เป็นสารละลายสีย้อม 2 ชนิด ได้แก่ สีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) และ สีแอซิด บลู 45 (AB45)
- 8) นำข้อมูลมาวาดกราฟเบรคทROUGH

ตารางที่ 3.12 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความสามารถการดูดซับสีย้อมแบบคอลัมน์

ชนิดตัวแปร	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรควบคุม	พีเอช	พีเอชเท่ากับ 7 โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	อุณหภูมิ	25±2 องศาเซลเซียส
	ค่าความแรงไอออน	0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	ปริมาณสารดูดซับ	5 กรัม
	ความเข้มข้นของ - สีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) - สีแอซิด บลู 45 (AB45)	- เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร - เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
	จำนวนรอบในการปั่นกววน	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	เวลา	เก็บตัวอย่างจนถึงเบรคทROUGH
	ชนิดของสารดูดซับ	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์
	ชนิดของสีย้อม	- สีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) - สีแอซิด บลู 45 (AB45)
ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่	-

การทดลองตอนที่ 2 ศึกษาความสามารถการดูดซับสารลดแรงตึงผิวแบบคอลัมน์

- 1) เตรียมสารละลาย Cetyl pyridium Chloride(CPC) ให้มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2) เติมตัวกลางดูดซับปริมาณ 5 กรัม ลงในคอลัมน์
- 3) ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 4) บ่อน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยอัตราการไหลประมาณ 5 มิลลิตรต่อนาที
- 5) เก็บตัวอย่างน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์แล้วทุก 5 นาที จนกว่าค่าความเข้มข้นที่บำบัดได้ใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้น หรือถึงจุดเบรคทูล์
- 6) นำตัวอย่างสารละลายที่ได้วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล
- 7) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่างเป็น Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมตัวกลางดูดซับปริมาณ 15 กรัม ลงในคอลัมน์
- 8) นำข้อมูลมาวาดกราฟเบรคทูล์

ตารางที่ 3.13 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความสามารถการดูดซับสารลดแรงตึงผิวแบบคอลัมน์

ชนิดตัวแปร	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรควบคุม	พีเอช	พีเอชเท่ากับ 7 โดยฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	อุณหภูมิ	25±2 องศาเซลเซียส
	ค่าความแรงไอออน	0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	ปริมาณสารดูดซับ	5 กรัม (สำหรับการทดลองCPC) 15 กรัม (สำหรับการทดลองLAS)
	ความเข้มข้นของ CPC	- เข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
	ความเข้มข้นของ LAS	- เข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตัวแปรอิสระ	เวลา	เก็บตัวอย่างจนถึงเบรคทูล์
	ชนิดของสารดูดซับ	เศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์
	สารลดแรงตึงผิว	- Cetyl pyridium Chloride (CPC) - Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่	-

การทดลองตอนที่ 3 ศึกษาความสามารถการดูดซับสีของผสมสารลดแรงตึงผิวแบบคอลลอยด์

- 1) เตรียมสารละลาย Cetyl pyridium Chloride(CPC) ให้มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และเตรียมสารละลายสีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) ให้มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างละ 2.5 ลิตร แล้วนำมาผสมกัน
- 2) เติมหักกลางดูดซับปริมาณ 15 กรัม ลงในคอลลอยด์
- 3) ควบคุมพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7 และปรับค่าความแรงไอออน (ionic strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
- 4) ป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยอัตราการไหลประมาณ 5 มิลลิเมตรต่อนาที
- 5) เก็บตัวอย่างน้ำตัวอย่างที่ผ่าน คอลลอยด์แล้วทุก 5 นาที จนกว่าค่าความเข้มข้นที่บำบัดได้ใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้น หรือถึงจุดเบรคทวร์จ
- 6) นำตัวอย่างสารละลายที่ได้วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แล้วบันทึกผล
- 7) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่าง เป็น Cetyl pyridium Chloride(CPC) ให้มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และเตรียมสารละลายสีเบสิค เยลโล่ 1 (BY1) ให้มีความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 8) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่างเป็น Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และเตรียมสารละลายสีแอสிட บลู 45 (AB45) ให้มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 9) ทำการทดลองโดยเปลี่ยนน้ำตัวอย่างเป็น Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และเตรียมสารละลายสีแอสิด บลู 45 (AB45) ให้มีความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 10) นำข้อมูลมาวาดกราฟเบรคทวร์จ

ตารางที่ 3.14 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวผสมกับสีย้อมแบบคอลลอยด์

ชนิดตัวแปร	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรควบคุม	พีเอช	พีเอชเท่ากับ 7 โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
	ปริมาณสารดูดซับ	- 15 กรัม (สำหรับการทดลอง CPC+BY1) - 40 กรัม (สำหรับการทดลอง LAS+AB45)
	เวลา	เก็บตัวอย่างจนถึงเบรคทอร์จ
	อัตราการไหล	5 มิลลิลิตรต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม	- 50 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร - 50 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
	ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว	- CPC - LAS
	ชนิดของสารดูดซับ	- เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์
	ชนิดของสีย้อม	- สีย้อมสีเบสียล 1 (BY1) - สีย้อมสีแอซิด บลู 45 (AB 45)
	ชนิดของสารลดแรงตึงผิว	- Cetyl pyridium Chloride (CPC) - Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)
	ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลืออยู่ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่

บทที่ 4

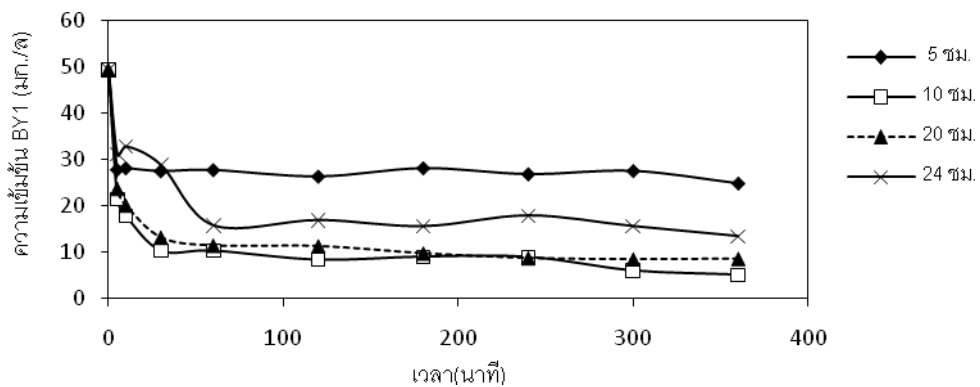
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์

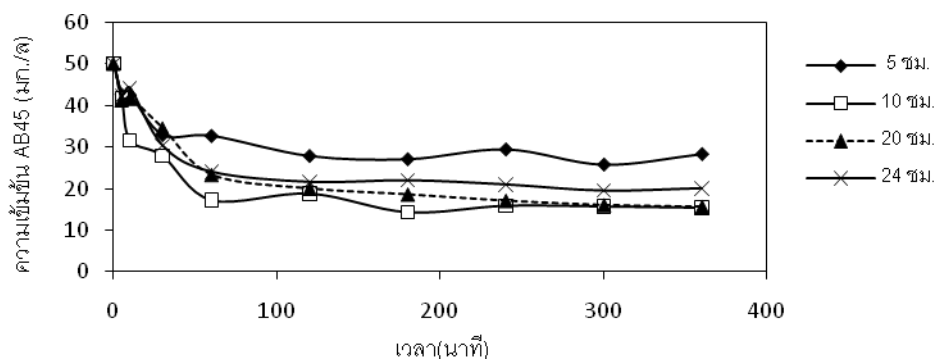
การทดลองส่วนนี้ใช้เศษแก้วสีขาจากกระบวนการบดขูดแก้วที่ไม่ใช้แล้วจากโรงงานรีไซเคิลขวดแก้ว นำมาบดแล้วมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 (ขนาด 150 ไมโครเมตร) เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ โดยตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว และความเข้มข้นของสารละลายแมงกานีสคลอไรด์ โดยทำการดูดซับ สารละลายประเภทสีย้อม คือ สีเบสียค เยลโล่ 1 (BY1) และ สีแอซิด บลู 45 (AB45) และ สารลดแรงตึงผิว คือ Triton X-100 (TX100) Cetyl pyridium Chloride (CPC) และ Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) และการชะละลายของแมงกานีสจากตัวกลางดูดซับ

4.1.1 ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว

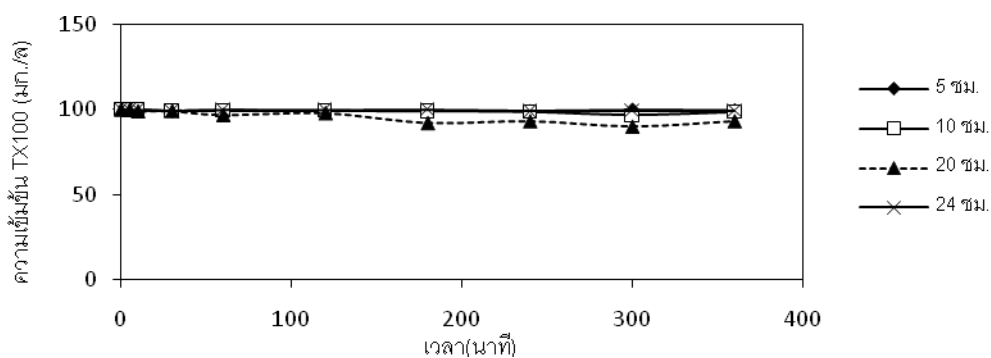
ในการศึกษานี้จะใช้ความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ 2.5 โมลาร์ คงที่ และแปรเปลี่ยน ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว เป็นเวลา 5, 10, 20 และ 24 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



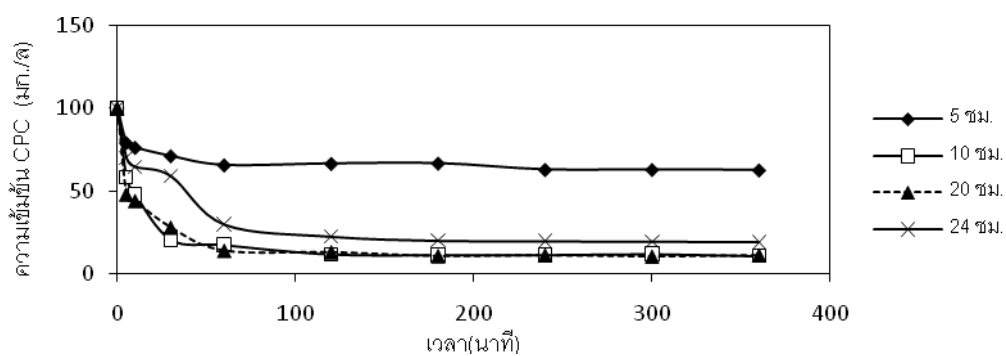
ภาพที่ 4.1 การดูดซับสีย้อม BY1 บนพื้นผิวตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ที่ระยะเวลาการกวนผสมต่างกัน พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



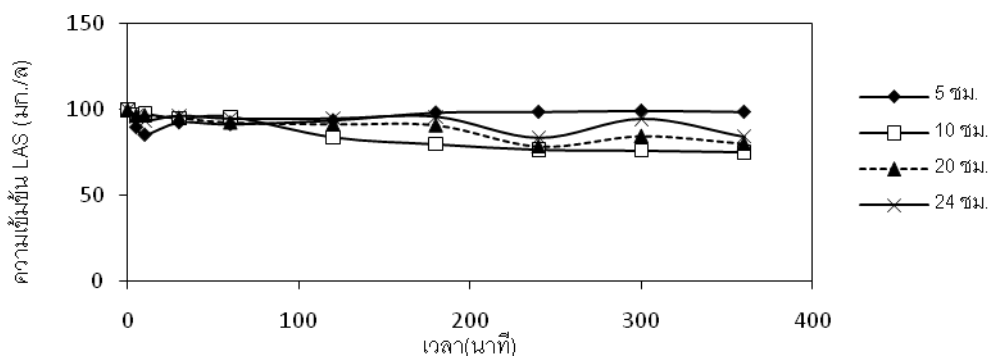
ภาพที่ 4.2 การดูดซับสีย้อม AB45 บนพื้นผิวตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ที่ระยะเวลาการผสมต่างกัน พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.3 การดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 บนพื้นผิวตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ที่ระยะเวลาการผสมต่างกัน พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.4 การดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC บนพื้นผิวตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ที่ระยะเวลาการผสมต่างกัน พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์

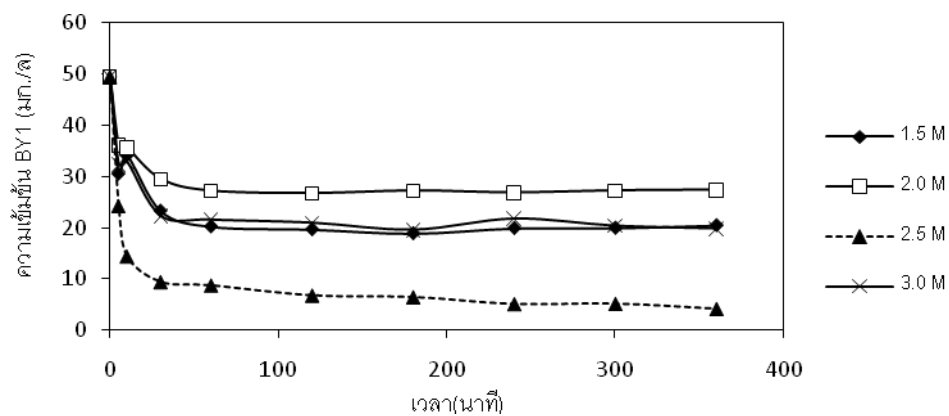


ภาพที่ 4.5 การดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS บนพื้นผิวตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ที่ระยะเวลาการกวนผสมต่างกัน พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์

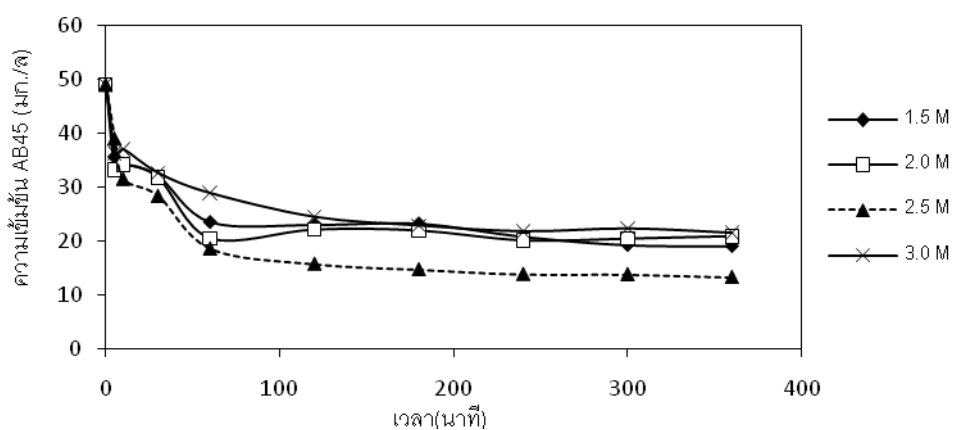
จากผลการทดลองภาพที่ 4.1- 4.5 พบว่า ระยะเวลาในการ กวนผสมระหว่าง สารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว ที่ทำให้ได้ตัวกลางดูดซับที่นำมากำจัด สีขี้อมและสารลดแรงตึงผิว แล้วมีประสิทธิภาพจากมาก สุดไปน้อยที่สุด คือ ระยะเวลา ในการกวนผสม 10, 20, 24 และ 5 ชั่วโมง ยกเว้นกรณีการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 ที่ไม่เป็นตามการดูดซับจนเห็นความแตกต่างซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าน้อยมา ก ดังนั้น จึงเลือกระยะเวลา เคลือบเพื่อเตรียมตัวกลางเศษแ ก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่ 10 ชั่วโมง เพราะทำให้ได้ตัวกลางดูดซับ ที่มีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุด และยังเป็น การประหยัดพลังงานและเวลาการเตรียมเมื่อเทียบกับ ตัวกลางดูดซับอื่น

4.1.2 ความเข้มข้นของสารละลายแมงกานีสคลอไรด์

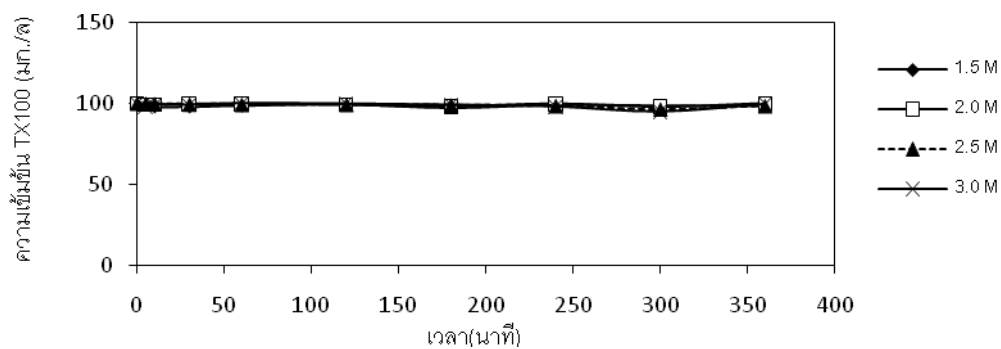
ในการศึกษานี้จะใช้ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว 10 ชั่วโมงคงที่ (จากผลการทดลอง 4.1.1) และแปรเปลี่ยน ความเข้มข้นของสารละลายแมงกานีสคลอไรด์ เป็น 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 โมลาร์ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



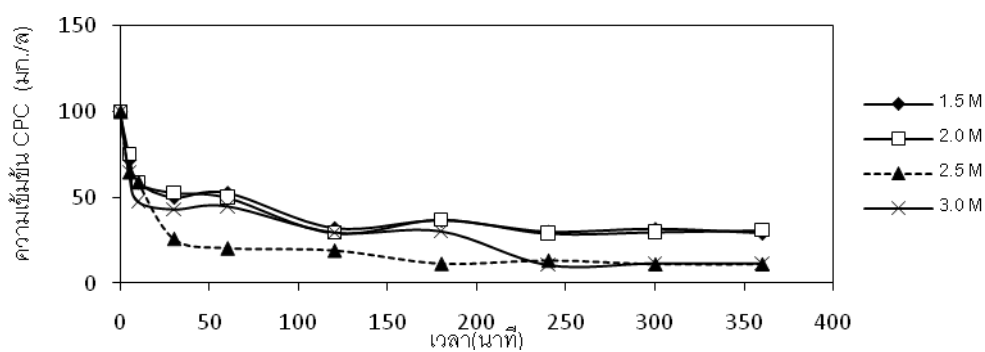
ภาพที่ 4.6 การดูดซับสีย้อม BY1 บนพื้นผิวตัวกลางที่เตรียมด้วยความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ต่างกัน พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



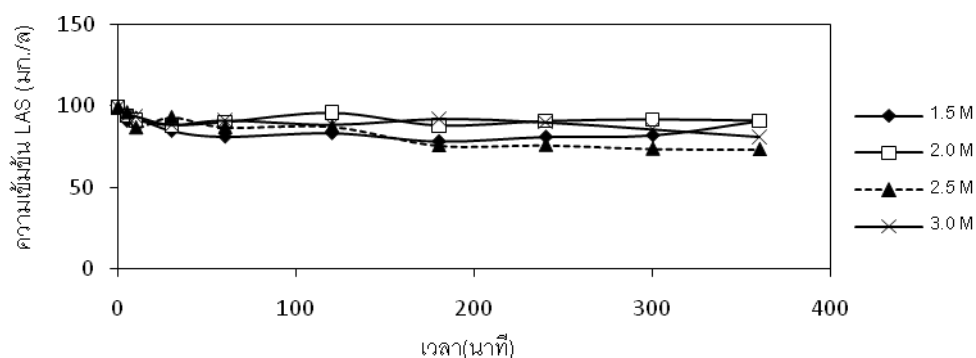
ภาพที่ 4.7 การดูดซับสีย้อม AB45 บนพื้นผิวตัวกลางที่เตรียมด้วยความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ต่างกัน พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.8 การดูดัชนีสารลดแรงตึงผิว TX100 บนพื้นผิวดักกลางที่เตรียมด้วยความเข้มข้น
แมงกานีสคลอไรด์ต่างกัน พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.9 การดูดัชนีสารลดแรงตึงผิว CPC บนพื้นผิวดักกลางที่เตรียมด้วยความเข้มข้นแมงกานีส
คลอไรด์ต่างกัน พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.10 การดูดัชนีสารลดแรงตึงผิว LAS บนพื้นผิวดักกลางที่เตรียมด้วยความเข้มข้น
แมงกานีสคลอไรด์ต่างกัน พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์

จากผลการทดลองภาพที่ 4.6 - 4.10 พบว่า ความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ ที่ทำให้ได้ตัวกลางดูดซับที่นำมากำจัด สีขุ่นและสารลดแรงตึงผิว แล้วมีประสิทธิภาพจากมาก สูดไปน้อยที่สุด คือ 2.5 โมลาร์ รองลงมา คือ 3 โมลาร์ ยกเว้นกรณีการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 ที่ไม่เป็นตามการดูดซับจนเห็นความแตกต่างซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าน้อยมาก แสดงว่า ถึงแม้เพิ่มความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ให้สูงขึ้น ก็ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะพื้นที่ผิวของเศษแก้วมีจำกัด เมื่อเพิ่มความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์เข้าไปอีกก็ไม่สามารถเกาะติดบนพื้นผิวได้ ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมที่จะนำไปเตรียมตัวกลางดูดซับเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป คือ ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้วที่ 10 ชั่วโมง โดยใช้ความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ 2.5 โมลาร์

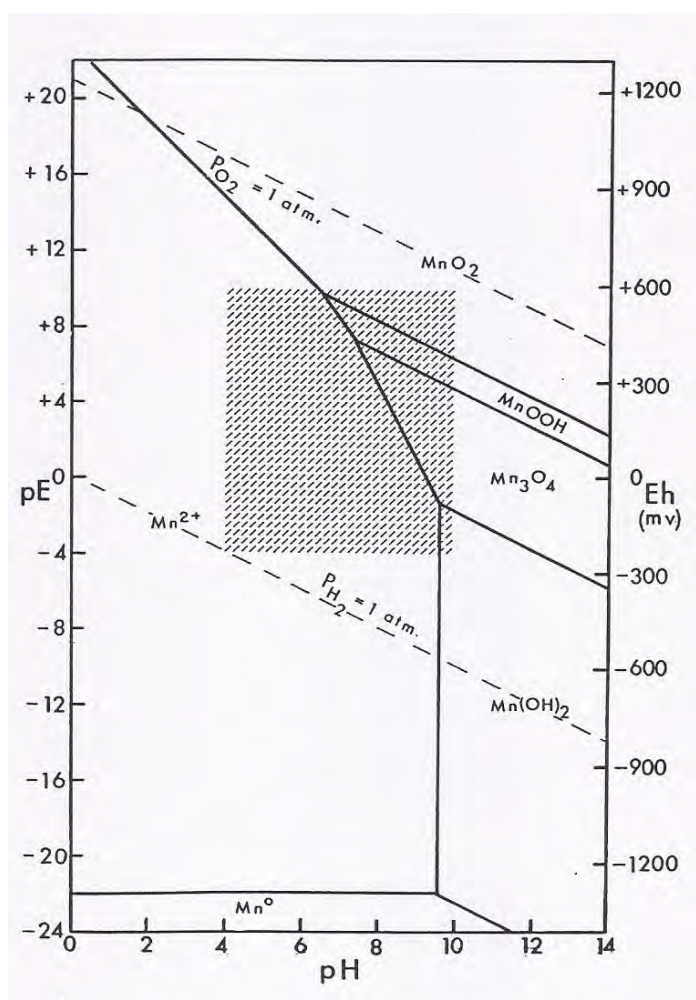
4.1.3 การชะละลายของแมงกานีส

ในการศึกษาส่วนนี้ จะศึกษาการชะละลายของแมงกานีสที่ ออกมาจากตัวกลางดูดซับซึ่ง เตรียมจากระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว และความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ที่ต่างกัน ที่พีเอช 5 7 และ 9 เพื่อเป็นตัวแปรหนึ่งในการพิจารณา เลือกวิธีการเตรียมตัวกลางดูดซับ ที่เหมาะสม จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 พบว่าตัวกลางดูดซับที่เตรียมจากระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว และความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ที่ต่างกัน มีร้อยละการชะละลายของแมงกานีสออกจากตัวกลางดูดซับ น้อยมาก ยกเว้นที่พีเอช 5 มีค่าร้อยละการชะละลายของแมงกานีส ออกมามาก ประมาณร้อยละ 2-10 ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการละลายของแมงกานีสที่พีเอชต่ำๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.11

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการชะละลายของแมงกานีสกับวิธีการเตรียมตัวกลางดูดซับที่ ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้วต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกวนผสมมากขึ้น จะมีร้อยละการชะละลายของแมงกานีสออกมาน้อยกว่าที่ใช้ระยะเวลาสั้นๆในการกวนผสม อาจเนื่องจากการพอร์มโครงสร้างของแมงกานีสออกไซด์ ถ้าให้เวลาในการกวนผสมนาน จะทำให้มีเวลามากพอในการทำปฏิกิริยากันระหว่างแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว ทำให้ได้โครงสร้างแมงกานีสออกไซด์ที่ยึดกับเศษแก้วได้ดีกว่า ส่วนวิธีการเตรียมตัวกลางดูดซับ ที่ความเข้มข้นแมงกานีส คลอไรด์ต่างกัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับร้อยละการชะละลายของแมงกานีส ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าที่พีเอช 7 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ จะทำให้ร้อยละการชะละลายของแมงกานีสออกมาน้อย ส่วนที่พีเอช 5 และ 9 ร้อยละการชะละลายของแมงกานีสออกมากไม่มีความสัมพันธ์เด่นชัด แต่ที่เหมือนกัน คือ ที่ความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ 2 โมลาร์ จะมีร้อยละการชะละลายแมงกานีส

ออกมามากที่สุด ซึ่งเมื่อถึงร้อยละการชะละลายของแมงกานีสที่พีเอชเดียวกัน จะเห็นได้ว่าไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัย ดังนั้น ในการใช้ตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ควร นำไปใช้กับน้ำที่มีพีเอชสูงจะดีกว่าที่พีเอชต่ำ เพื่อประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีและป้องกันการถูกชะ ละลายของแมงกานีสออกไซด์ที่เคลือบบนผิวเศษแก้ว

สรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ คือ ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว ที่ 10 ชั่วโมง โดยใช้ ความเข้มข้นแมงกานีส คลอไรด์ 2.5 โมลาร์ ซึ่งมีการชะละลาย ของแมงกานีสออกมา ค่อนข้างต่ำ และไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่ เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังเป็นการประหยัดเวลาในการเตรียมรวมถึง ได้ประสิทธิภาพใน การกำจัดดีอีกด้วย



ภาพที่ 4.11 แผนภาพแสดงขอบเขตความคงตัวของแมงกานีส (พลวงจิตร รัตนสิน, 2539)

ตารางที่ 4.1 แสดงการชะละลายของแมงกานีสของตัวกลางที่เตรียมระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้วต่างกัน ที่ความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ 2.5 โมลาร์คงที่

ตัวอย่าง		ความเข้มข้นแมงกานีสที่ชะละลาย(มก. /ล)	ความเข้มข้นแมงกานีสในน้ำต่อตัวกลาง(มก. /ก.)	ความเข้มข้นแมงกานีสบนตัวกลางต่อตัวกลางก่อนชะละลาย (มก. /ก.)	ร้อยละการชะละลายของแมงกานีส
ระยะเวลา กวนผสม	พีเอช	(1)	(2)	(3)	(4)
5 ชม.	5	1.891	3.781	35.982	10.51
	7	0.493	0.985	35.982	2.74
	9	0.144	0.288	35.982	0.80
10 ชม.	5	0.582	1.163	56.217	2.07
	7	0.119	0.237	56.217	0.42
	9	0.038	0.076	56.217	0.14
20 ชม.	5	1.406	2.812	73.227	3.84
	7	0.111	0.223	73.227	0.30
	9	0.077	0.154	73.227	0.21
24 ชม.	5	0.742	1.485	93.032	1.60
	7	0.062	0.124	93.032	0.13
	9	0.032	0.063	93.032	0.07

หมายเหตุ: (1) และ (2) ใช้น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ตัวกลาง 0.5 กรัม ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์

(3) หาโดยวิธี US.EPA METHOD 3050B

(4) หาโดย $(2) \times 100 / (3)$

ตารางที่ 4.2 แสดงการชะละลายของแมงกานีสของตัวกลางที่เตรียมจากความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ต่างกัน ที่ระยะเวลาในการกวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว 10 ชั่วโมงคงที่

ตัวอย่าง		ความเข้มข้นแมงกานีสที่ชะละลาย(มก. /ล)	ความเข้มข้นแมงกานีสในน้ำต่อตัวกลาง(มก. /ก.)	ความเข้มข้นแมงกานีสบนตัวกลางต่อตัวกลางก่อนชะละลาย (มก. /ก.)	ร้อยละการชะละลายของแมงกานีส
ความเข้มข้น	พีเอช	(1)	(2)	(3)	(4)
1.5 M	5	0.877	1.753	40.998	4.28
	7	0.125	0.250	40.998	0.61
	9	0.019	0.037	40.998	0.09
2.0 M	5	1.378	2.755	41.300	6.67
	7	0.090	0.180	41.300	0.44
	9	0.039	0.078	41.300	0.19
2.5 M	5	0.582	1.163	56.217	2.07
	7	0.119	0.237	56.217	0.42
	9	0.038	0.076	56.217	0.14
3.0 M	5	1.085	2.170	74.508	2.91
	7	0.120	0.240	74.508	0.32
	9	0.031	0.062	74.508	0.09

หมายเหตุ: (1) และ (2) ใช้ น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ตัวกลาง 0.5 กรัม ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์

(3) หาโดยวิธี US.EPA METHOD 3050B

(4) หาโดย $(2) * 100 / (3)$

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวกลาง

ในส่วนนี้จะนำเศษแก้วและ เศษแก้วที่เตรียมได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ในการเตรียมเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ซึ่งจากการศึกษา พบว่า ต้องใช้ ความเข้มข้น แมงกานีสคลอไรด์ 2.5 โมลาร์ในการรบกวนผสม ระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว เป็นเวลา 10 ชั่วโมง มาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี

4.2.1 ปริมาณธาตุองค์ประกอบ

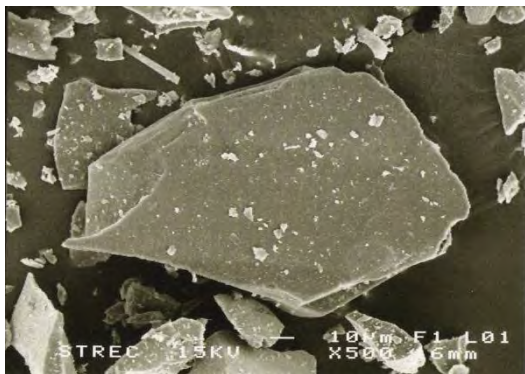
จากผลการ วิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบ ของเศษแก้ว ด้วยเครื่องวิเคราะห์ เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโทรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF) ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3 พบว่า เศษแก้วมีปริมาณธาตุองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ร้อยละ 71.324 โซเดียมไดออกไซด์ ร้อยละ 14.183 แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 10.914 แมกนีเซียม ออกไซด์ร้อยละ 1.587 และอะลูมิเนียมออกไซด์ ร้อยละ 1.304 ส่วนธาตุองค์ประกอบที่เหลือมี ปริมาณน้อยมากไม่ถึงร้อยละ 1

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบเศษแก้ว

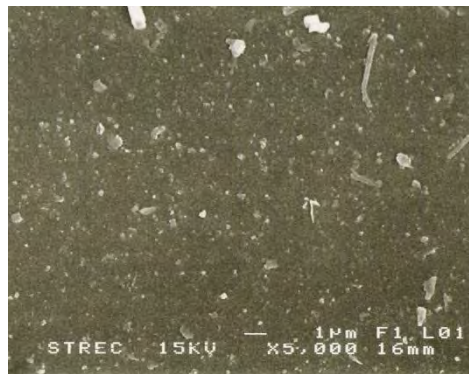
สารประกอบ	ปริมาณสารประกอบ (% โดยน้ำหนัก)	สารประกอบ	ปริมาณสารประกอบ (% โดยน้ำหนัก)
Na ₂ O	14.183	K ₂ O	0.156
MgO	1.587	CaO	10.914
Al ₂ O ₃	1.304	TiO ₂	0.087
SiO ₂	71.324	Cr ₂ O ₃	0.017
P ₂ O ₅	0.022	Fe ₂ O ₃	0.295
SO ₃	0.037	ZrO ₂	0.013
Cl	0.051	PbO	0.013

4.2.1 ลักษณะพื้นผิว

จากผลการ วิเคราะห์ พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่า ลักษณะพื้นผิวของเศษแก้วมีลักษณะผิวที่ ราบเรียบ ส่วนลักษณะพื้นผิวของเศษแก้ว เคลือบแมงกานีสออกไซด์จะมีลักษณะขรุขระ ดังแสดง ในภาพที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ



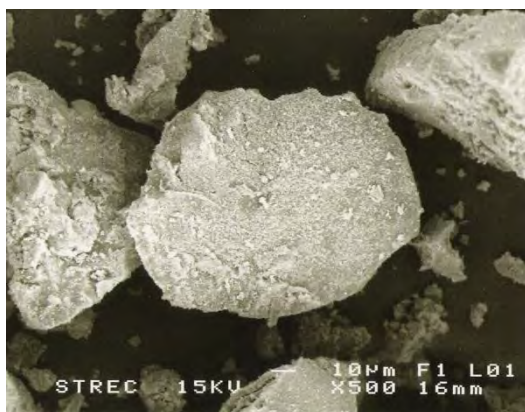
(ก)



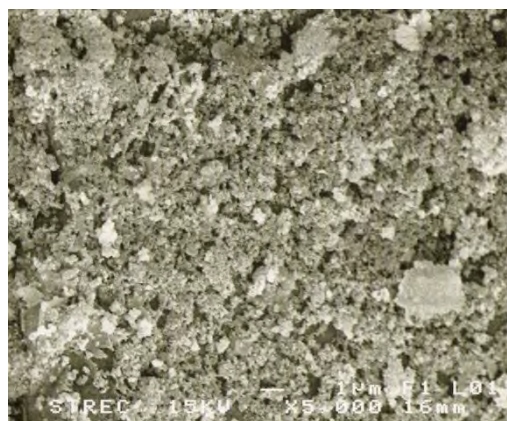
(ข)

ภาพที่ 4.12 ลักษณะพื้นผิวของเศษแก้วจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(ก) กำลังขยาย 500 เท่า (ข) กำลังขยาย 5,000 เท่า



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิวของเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์จากกล้องจุลทรรศน์

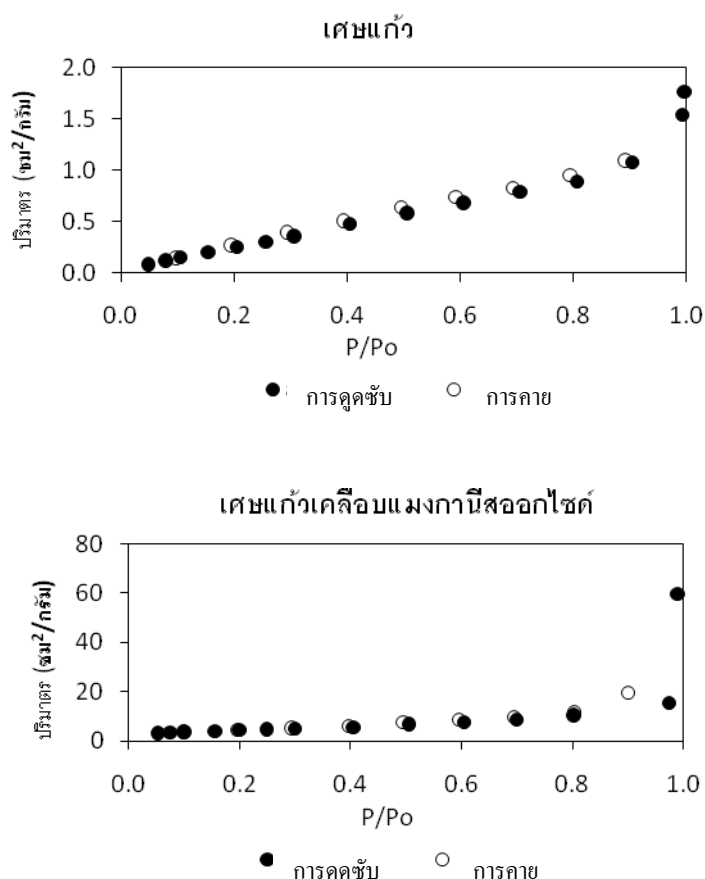
อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) กำลังขยาย 500 เท่า (ข) กำลังขยาย 5,000 เท่า

4.2.3 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน

จากผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิว (BET Surface Area Analyzer) โดยอาศัยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิว หรือรูพรุนด้วยแก๊สไนโตรเจน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากความขรุขระ (จากผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว) โดยเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์มีปริมาตรรูพรุนที่น้อยมาก และจากภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าตัวกลางทั้งสองชนิดนี้เป็นตัวกลางที่ไม่มีรูพรุน

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุน ของเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิว (ม ² /กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (ซม ³ /กรัม)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (อังสตรอม)
เศษแก้ว	2.08	0.0035	67.78
เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์	16.31	0.0921	225.90



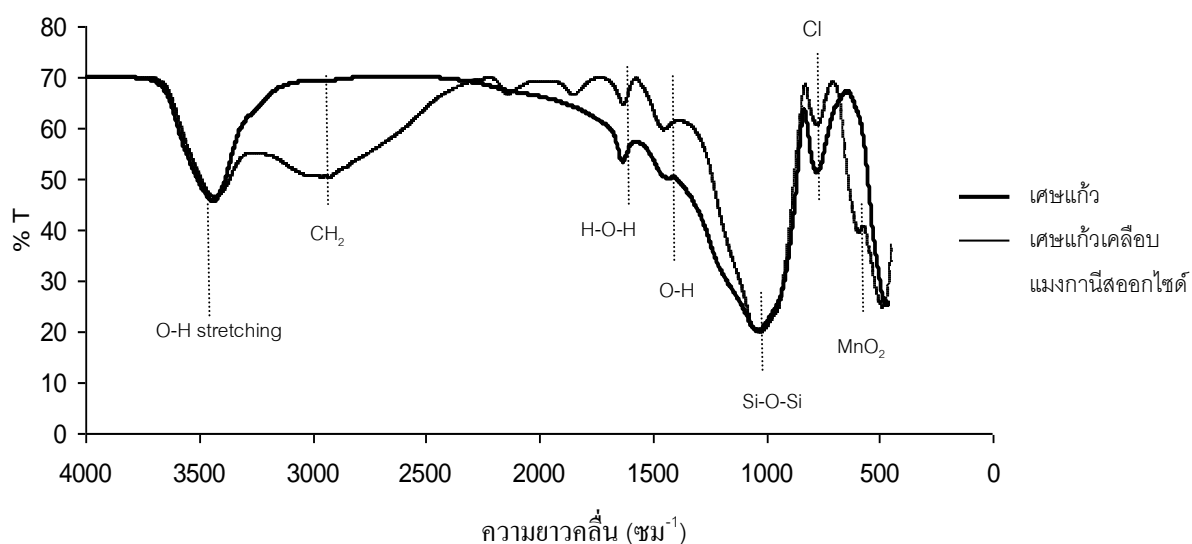
ภาพที่ 4.14 ไอโซเทอมการดูดซับไนโตรเจนของเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์

4.2.4 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวกลาง

จากการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของเศษแก้วและ เศษแก้วเคลือบแมงกานีส ออกไซด์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.15 พบว่า เศษแก้วและเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ มีหมู่ O-H stretching, H-O-H, O-H และ Si-O-Si ที่เหมือนกัน และพบหมู่ MnO_2 และ CH_2 เฉพาะในเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ แสดงให้เห็นว่า ตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์มีแมงกานีสออกไซด์เคลือบอยู่บนตัวกลางจริง

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์

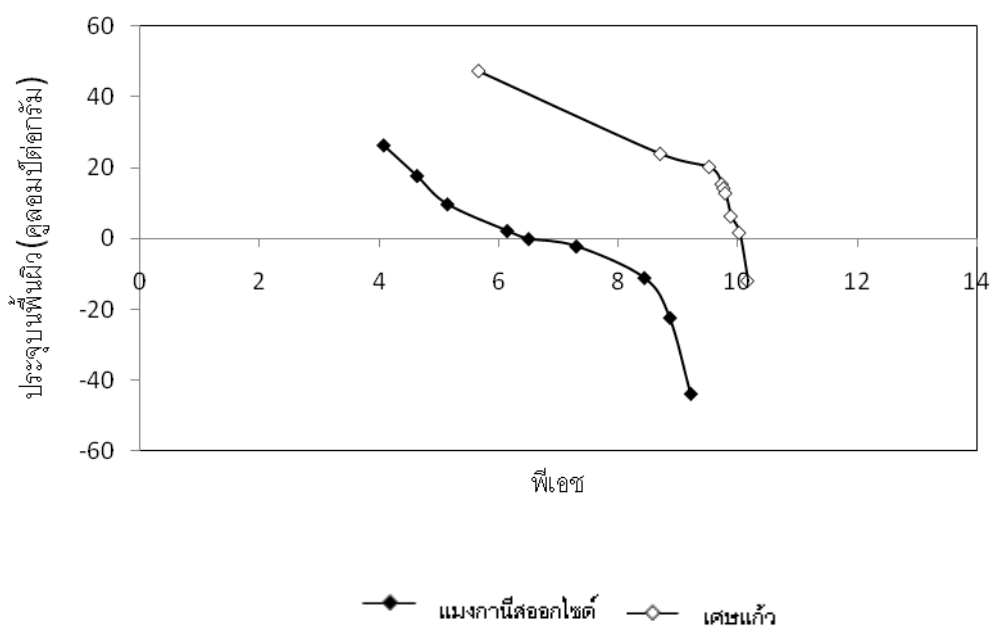
เศษแก้ว		เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์		
ค่าความยาวคลื่น (cm^{-1})	หมู่	ค่าความยาวคลื่น (cm^{-1})	หมู่	อ้างอิง
3435.61	O-H stretching	3435.71	O-H stretching	Gulnaz และคณะ, 2006
1629.50	H-O-H	1635.94	H-O-H	Eren และคณะ, 2009
1423.93	O-H	1455.69	O-H	Gulnaz และคณะ, 2006
1035.85	Si-O-Si	2922.00	CH_2	Gulnaz และคณะ, 2006
		603.43, 595.85	MnO_2	Julien, 2006



ภาพที่ 4.15 ผลวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ด้วย FTIR

4.2.5 ค่าพีเอชที่ให้ความหนาแน่นของประจุบนพื้นผิวเป็นศูนย์ (pH Point of Zero Charge ,pH_{PZC})

จากผลของค่าพีเอชที่ให้ความหนาแน่นของประจุบนพื้นผิวเป็นศูนย์ Point of Zero Charge (pH_{PZC}) ที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.16 พบว่า เศษแก้วและเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์มีค่า pH_{PZC} เท่ากับ 9.77 และ 6.50 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงค่า pH_{PZC} ของเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ น่าจะมีความเป็นไปได้ที่ เมงกานีสออกไซด์ที่เคลือบอยู่บน เศษแก้วนี้จะอยู่ในรูป β -MnO₂ เนื่องจาก ค่า pH_{PZC} ของ β -MnO₂ เท่ากับ 7.20 (Benjamin, 2002) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า pH_{PZC} ของเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองพีเอชที่ 5 7 และ 9 ซึ่งจะส่งผลต่อประจุบนพื้นผิวของตัวกลาง ดังแสดงในตารางที่ 4.6



ภาพที่ 4.16 ความหนาแน่นของประจุที่ค่าพีเอชต่างๆ

ตารางที่ 4.6 ค่า pH_{PZC} และประจุของตัวกลางในสารละลายพีเอชต่างๆ

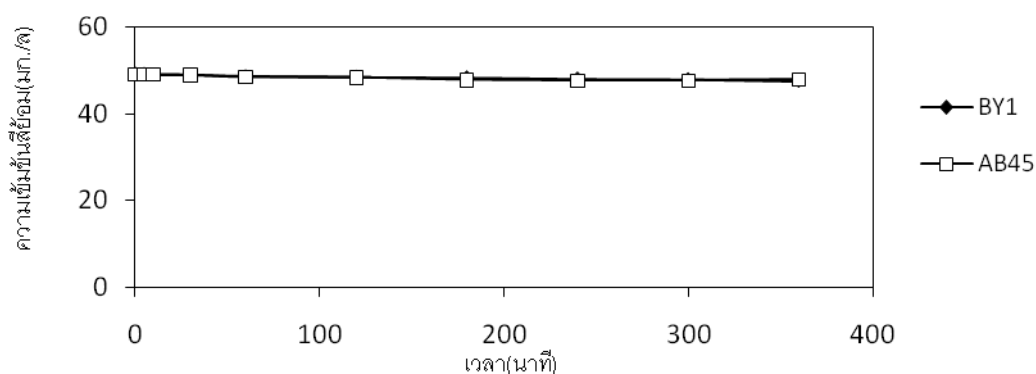
ตัวกลาง	pH _{PZC}	ประจุบนพื้นผิว		
		พีเอช 5	พีเอช 7	พีเอช 9
เศษแก้ว	9.77	+	+	+
เศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์	6.50	+	กลาง,-	-

4.3 การดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวแบบทีละเท

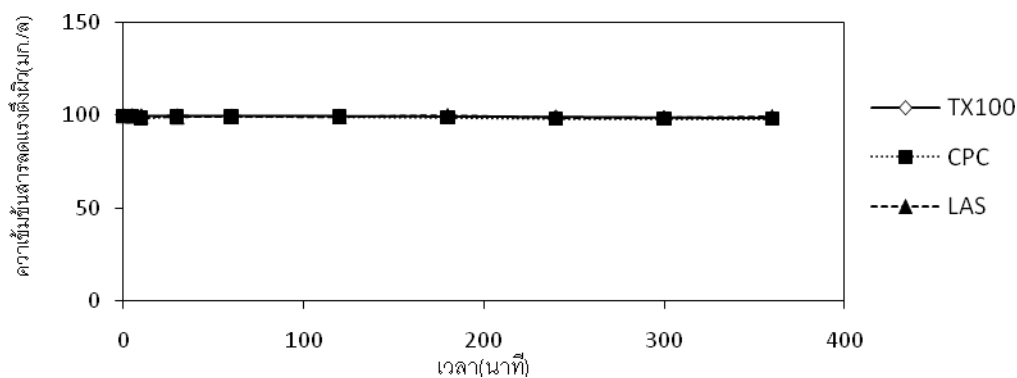
ในส่วนนี้จะใช้เศษแก้วและเศษแก้วที่เตรียมจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ 0.5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์ มาศึกษาความสามารถในการดูดซับสารละลายประเภทสีย้อม คือ สีเบสิก เบลโล่ 1 (BY1) และสีแอสิด บลู 45 (AB45) และ สารลดแรงตึงผิว คือ Triton X-100 (TX100), Cetyl pyridium Chloride (CPC), Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) โดยทำการศึกษาจลนศาสตร์ และไอโซเทอมในการดูดซับโดยการทำการศึกษาแบบทีละเท

4.3.1 จลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว

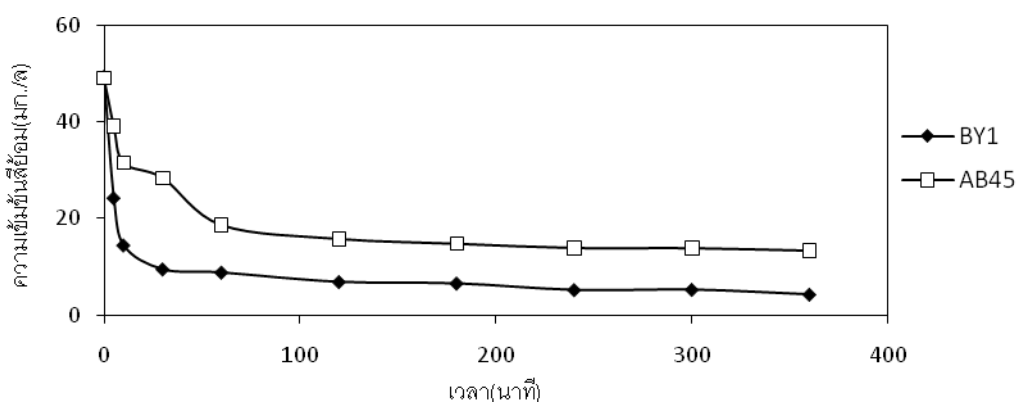
จากผลการทดลองจลนศาสตร์ของเศษแก้ว ดัง แสดงในภาพที่ 4.17 และภาพที่ 4.18 พบว่าเศษแก้วไม่สามารถดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวได้ และผลการทดลองจลนศาสตร์ของเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ดังแสดงในภาพที่ 4.19 และภาพที่ 4.20 พบว่า เวลาที่ใช้ในการดูดซับสีย้อม BY1 และสีย้อม AB45 จะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 120 นาที และสารลดแรงตึงผิว CPC กับ LAS จะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 180 นาที ส่วนสารลดแรงตึงผิว TX100 ไม่สามารถดูดซับได้ เมื่อดูถึงประสิทธิภาพการกำจัด พบว่า เศษแก้วไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว ดังนั้น ในการศึกษาไอโซเทอมในการดูดซับจะศึกษาเฉพาะ ตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์



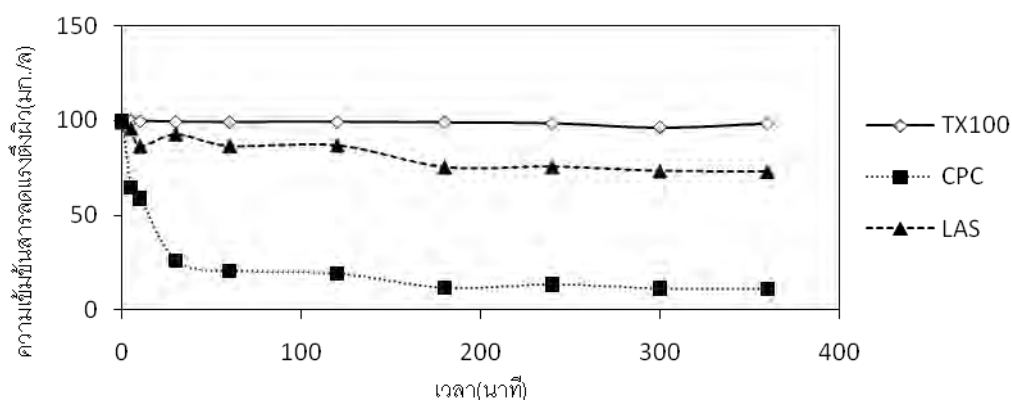
ภาพที่ 4.17 จลนศาสตร์การดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 บนพื้นผิวตัวกลางเศษแก้ว
ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25°C และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.18 จลนศาสตร์การดูดซับ สารลดแรงตึงผิว TX100, CPC และ LAS บนพื้นผิวตัวกลางเศษแก้ว ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.19 จลนศาสตร์การดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 บนพื้นผิวตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.20 จลนศาสตร์การดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100, CPC และ LAS บนพื้นผิวตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์

จากข้อมูลการศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับ เราสามารถนำมาศึกษาอันดับปฏิกิริยาที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ โดยทำการเปรียบเทียบจากสมการอันดับปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน (Pseudo first-order reaction) และ ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน (Pseudo second-order reaction) ตามสมการที่ 4.1 และ 4.2 (Ho และ Mckay, 2000) ตามลำดับ

1) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน (Pseudo first-order reaction)

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (4.1)$$

โดย q_e = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวกลางดูดซับ ที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_t = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวกลางดูดซับ ที่เวลาต่างๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

t = ระยะเวลาในการดูดซับ (นาที)

k_1 = ค่าคงที่การดูดซับของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน (1 ต่อ นาที)

2) ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน (Pseudo second-order reaction)

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4.2)$$

โดย q_e = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวกลางดูดซับ ที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

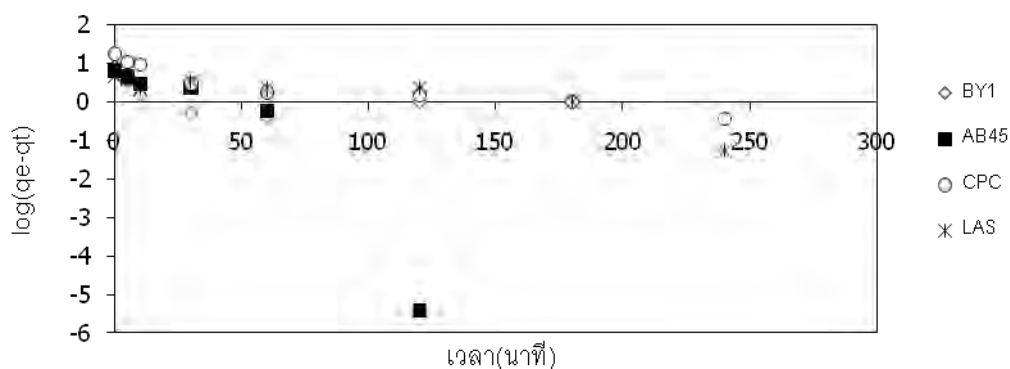
q_t = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวกลางดูดซับ ที่เวลาต่างๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

t = ระยะเวลาในการดูดซับ (นาที)

k_1 = ค่าคงที่การดูดซับของปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน (กรัมต่อมิลลิกรัม.นาที)

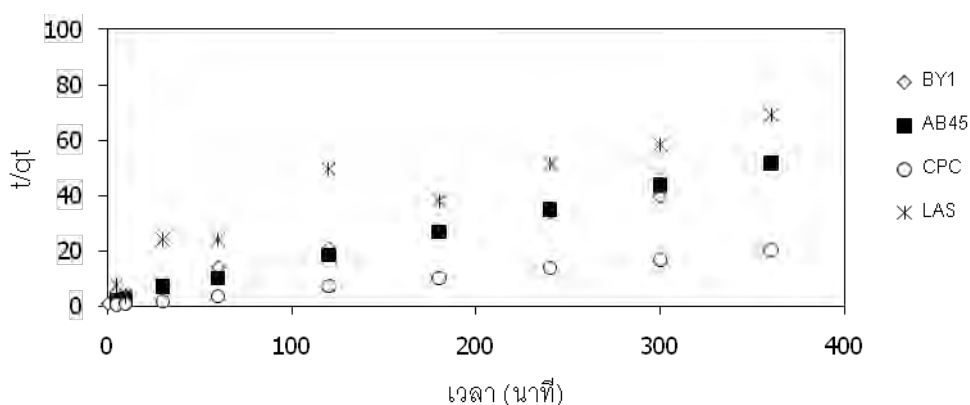
จากผลการทดลองที่ดังแสดงในภาพที่ 4.21 และภาพที่ 4.22 และค่าคงที่และตัวแปรต่างๆ ของอันดับปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าค่า R^2 ที่คำนวณได้จากปฏิกิริยาอันดับสองเสมือนมีค่ามากกว่า R^2 ที่คำนวณได้จากปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า q_e ทั้งหมดที่คำนวณได้ ($q_{e[cal]}$) จากสมการปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการทดลอง ($q_{e[exp]}$) มากกว่าปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน ดังนั้น การดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวด้วยตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ จึงมีความสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน ซึ่งกลไกการดูดซับที่เกิดขึ้นน่าจะมีข้องเกี่ยวกับการดูดซับโมเลกุลเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวดักกลางดูดซับ โดยจะเกิดพันธะระหว่างตัวกลางดูดซับและสารถูกดูดซับ (Ho และ McKay, 2000) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึง ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน (k_2) ซึ่งจะบอกถึงอัตราเร็วในการดูดซับ ถ้า k_2 มาก แสดงว่า อัตราเร็วในการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและเข้าสู่สมดุลการดูดซับได้เร็วกว่า k_2 ที่มีค่าน้อย ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับระยะเวลาเข้าสู่สมดุลที่ สีย้อม BY1 และ AB45 ใช้เวลาเข้าสู่สมดุลน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS ตามลำดับ



ภาพที่ 4.21 อันดับปฏิกิริยาหนึ่งเสมือน (Pseudo first-order reaction)

(หมายเหตุ: สารลดแรงตึงผิว TX100 ไม่เกิดการดูดซับ)



ภาพที่ 4.22 อันดับปฏิกิริยาสองเสมือน (Pseudo second-order reaction)

(หมายเหตุ: สารลดแรงตึงผิว TX100 ไม่เกิดการดูดซับ)

ตารางที่ 4.7เปรียบเทียบค่าคงที่และตัวแปรของอันดับปฏิกิริยาการดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 และสารลดแรงตึงผิว TX100 CPC และ LAS

สารถูกดูดซับ	$q_e[\text{exp}]$	ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมือน			ปฏิกิริยาอันดับสองเสมือน		
		R^2	k_1 (นาที่ ⁻¹)	$q_e[\text{cal}]$	R^2	k_2 (ก./มก. นาที่)	$q_e[\text{cal}]$
BY1	8.5339	0.7836	0.0465	1.8532	0.9995	0.0202	9.0744
AB45	6.4634	0.8807	0.1131	3.5995	0.9994	0.0094	7.2254
CPC	17.6271	0.8561	0.0136	2.5654	0.9994	0.0057	18.1488
LAS	4.7235	0.7628	0.0140	1.9999	0.8745	0.0020	6.2112

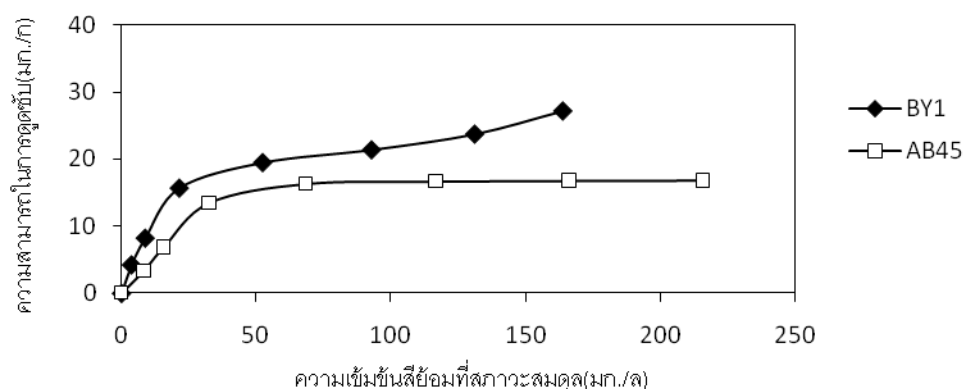
$q_e[\text{exp}]$ คือ ความสามารถในการดูดซับจากการทดลอง

$q_e[\text{cal}]$ คือ ความสามารถในการดูดซับจากการคำนวณ

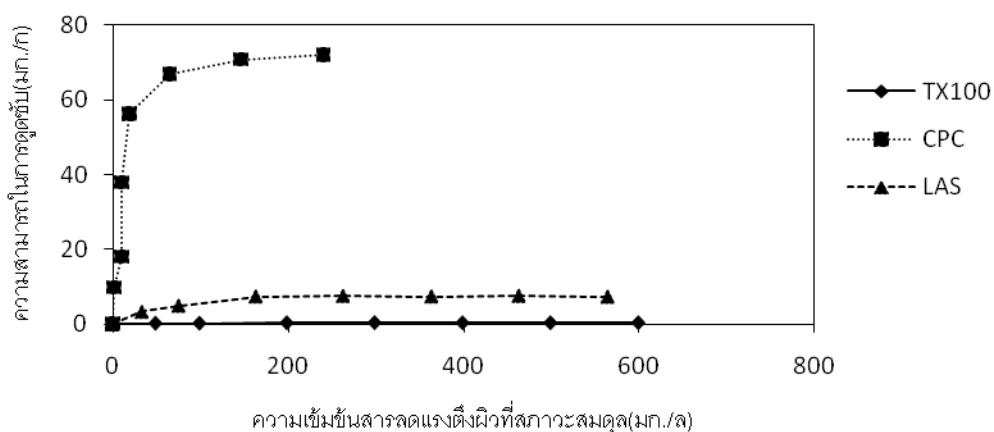
หมายเหตุ: สารลดแรงตึงผิว TX100 ไม่เกิดการดูดซับ

4.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว

จากผลการทดลองความสามารถในการดูดซับ สารละลายประเภทสีย้อม คือ สีย้อมสีเหลือง 1 (BY1) และ สีย้อมสีน้ำเงิน 45 (AB45) และ สารลดแรงตึงผิว คือ Triton X-100 (TX100) , Cetyl pyridium Chloride (CPC), Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์ โดยใช้เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ 0.5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.23 และภาพที่ 4.24

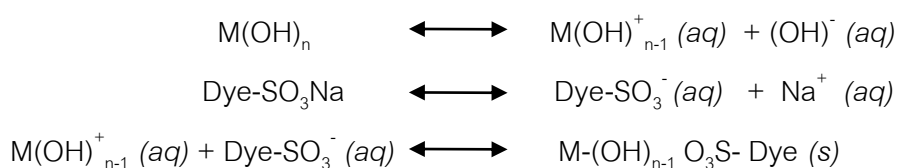


ภาพที่ 4.23 ความสามารถในการดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25°C และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.24 ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100, CPC และ LAS ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์

จากผลการทดลองภาพที่ 4.23 พบว่า ตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ มีความสามารถในการดูดซับสีย้อม BY1 มากกว่าสีย้อม AB45 เนื่องจาก ตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์มีค่า pH_{pzc} ประมาณ 6.5 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าพีเอช 7 ส่งผลให้พื้นผิวของตัวกลางดูดซับค่อนข้างจะเป็นกลางแต่จะมีประจุลบมากกว่าประจุบวกเล็กน้อย จึงสามารถดูดซับสีย้อม BY1 ที่มีประจุบวกได้ แต่ก็สามารถดูดซับสีย้อม AB45 ที่เป็นประจุลบได้ด้วย โดยแรงที่ใช้ในการดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 น่าจะไม่ใช่แรงดึงดูดระหว่างหรือพันธะไฮโดรเจนเป็นหลัก น่าจะมีแรงอื่นๆประกอบอยู่ด้วย เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งจากงานวิจัยของ Netpradit และคณะ, 2003 พบว่า การดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟ ซึ่งมีหมู่ซัลฟูลนิก (SO_3^-) สามารถแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างหมู่ซัลฟูลนิก กับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ของโลหะออกไซด์ได้ ดังแสดงในสมการ



เมื่อ $n = 2$ หรือ 3 และ $M(OH)_n =$ โลหะออกไซด์

จากผลการทดลองภาพที่ 4.24 พบว่า ตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์มีความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC ได้มากที่สุด รองลงมา คือ สารลดแรงตึงผิว LAS และสารลดแรงตึงผิว TX100 ไม่สามารถดูดซับได้ โดยส่วนประกอบของสารลดแรงตึงผิวจะประกอบไปด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic group) ซึ่งจะแสดง ประจุไฟฟ้า และส่วนที่ไม่

ชอบน้ำ (Hydrophobic group) จะไม่มีประจุไฟฟ้า เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CPC, LAS และ TX100 เพิ่มขึ้นจะเกิด Critical micelle concentration (c.m.c) ซึ่งค่า c.m.c ของสารลดแรงตึงผิว CPC จะเกิดที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 161 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป (Talman และ Atun, 2006) สารลดแรงตึงผิว LAS จะเกิดที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 194 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป (Tripathi และ Brown, 2008) และสารลดแรงตึงผิว TX100 จะเกิดที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 150 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป (Guangzhi และคณะ, 2009) โดยที่จุด c.m.c ส่งผลให้เกิดการรวมตัวกัน กลายเป็นไมเซลล์ (Micelle) ของส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic group) เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง พบว่า การรวมตัวกันของสารลดแรงตึงผิวเป็นไมเซลล์ไม่ได้ช่วยในการดูดซับให้มากขึ้น โดยการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS สามารถดูดซับบนพื้นผิวของตัวกลางเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ ด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุ เนื่องจากตัวกลางเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ มีค่า pH_{pzc} ประมาณ 6.5 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าพีเอช 7 ส่งผลให้พื้นผิวของตัวกลางดูดซับค่อนข้างจะเป็นกลางแต่จะมีประจุลบมากกว่าประจุบวกเล็กน้อย ซึ่งแรงดึงดูดระหว่างประจุไม่ใช่แรงหลักในการดูดซับ น่าจะมีแรงอื่นๆ ประกอบอยู่ด้วย เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน โดยจากงานวิจัยของ Ou และคณะ, 1996 ที่ระบุว่า ส่วนที่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิว LAS สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะออกไซด์ได้

จากข้อมูลการดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว สามารถนำมาหาไอโซเทอม เพื่อหาไอโซเทอมที่เหมาะสมในการอธิบายกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้น โดยใช้ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ และไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช เพื่อหาไอโซเทอมที่เหมาะสมในการอธิบาย กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้น ตามสมการที่ 4.3 และ 4.4

1) ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์

$$\frac{C_e}{q} = \left(\frac{1}{bq_m} \right) + \frac{C_e}{q_m} \quad (4.3)$$

โดย C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ภาวะสมดุลที่ยังเหลืออยู่ในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

q = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวกลางดูดซับ ที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับได้สูงสุดต่อหน่วยน้ำหนักของตัวกลางดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

b = ค่าคงที่พลังงานของระบบ

2) ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4.4)$$

โดย C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ภาวะสมดุลที่ยังเหลืออยู่ในสารละลาย
(มิลลิกรัมต่อลิตร)

q = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวกลางดูดซับ
ที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K_f = ค่าคงที่ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับ

n = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของระบบ

โดยค่าคงที่และตัวแปรต่างๆ ของไอโซเทอมการดูดซับ ของสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวแสดงดังในตารางที่ 4.8 จากผลการทดลอง พบว่า ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวมีความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับแบบ แลงเมียร์มากกว่า ฟรุนดลิช เนื่องจากมีค่า R^2 สูงกว่า แสดงว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการ ดูดซับแบบชั้นเดียว และเป็นกระบวนการดูดซับทางเคมี นอกจากนี้เมื่อพิจารณา ค่า q_m ของไอโซเทอม แลงเมียร์ ถ้าค่า q_m มีค่ามาก แสดงว่า มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง โดยในกรณีสีย้อม ค่า q_m สูงสุด คือ สีย้อม BY1 มีค่าเท่ากับ 29.24 มิลลิกรัมต่อกรัม รองลงมา คือ สีย้อม AB45 มีค่าเท่ากับ 19.19 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนในกรณีสารลดแรงตึงผิว ค่า q_m สูงสุด คือ สารลดแรงตึงผิว CPC มีค่าเท่ากับ 76.34 มิลลิกรัมต่อ กรัม รองลงมา คือ สารลดแรงตึงผิว LAS มีค่าเท่ากับ 7.98 มิลลิกรัมต่อกรัม และสารลดแรงตึงผิว TX100 เท่ากับ 0.35 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งค่า q_m ของสารลดแรงตึงผิว TX100 มีค่าน้อยมากเทียบได้ว่าไม่เกิดการดูดซับ ส่วนค่า $1/n$ เป็นค่าความชันของสมการ ไอโซเทอมฟรุนดลิช โดยถ้ามีค่าความชันมากจะเกิดการดูดซับได้ดีที่ความเข้มข้นสูง ๆ แต่เกิดการดูดซับได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำโดยทั่วไป เมื่อเส้นไอโซเทอ มีค่าความชันมากจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเมื่อนำไปใช้ในระบบสัมผัส (Continuous Treatment) ส่วนเส้นไอโซเทอมความชันน้อยจะเหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดแบบทีละเท (Batch Treatment) (จรรยาพร พุ่มงาม, 2545) ซึ่งทั้งสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวมีค่า $1/n$ น้อยกว่า 1

ตารางที่ 4.8 ตัวแปรไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ และฟรุนดลิช

สารดูดซับ	ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์			ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช		
	R^2	b (ลิตร/มก.)	q_m (มก./ก.)	R^2	K_f (ลิตร/ก.)	1/n
BY 1	0.9869	0.0423	29.240	0.9371	2.9282	0.4517
AB45	0.9855	0.0423	19.194	0.8147	1.8387	0.4575
TX100	0.9896	0.0270	0.347	0.8084	0.0785	0.2349
CPC	0.9907	0.0771	76.336	0.8273	11.6896	0.3780
LAS	0.9940	0.0303	7.981	0.8353	0.2834	1.4031

4.3.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมชนิดอื่น

ในส่วนนี้จะใช้ เศษแก้วและ เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ 0.5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์ มาศึกษาความสามารถในการดูดซับสารละลายประเภทสีเมทิลีนบลู (MB) ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการศึกษาจลนศาสตร์ และไอโซเทอมในการดูดซับแบบที่ละเท

จากผลการศึกษาจลนศาสตร์ของสีเมทิลีนบลู พบว่า เศษแก้วไม่สามารถดูดซับสีเมทิลีนบลู ได้ส่วนเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ พบว่า เวลาที่ใช้ในการดูดซับ สีเมทิลีนบลู จะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 180 นาที เมื่อถึงประสิทธิภาพการกำจัด พบว่า เศษแก้ว ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลีนบลู ดังนั้น ในการศึกษาไอโซเทอมในการดูดซับจะศึกษาเฉพาะตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์

เมื่อนำข้อมูล การดูดซับ สีเมทิลีนบลู มาหาไอโซเทอม ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการอธิบายกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้น โดยจะใช้ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ และไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช พบว่า การดูดซับสีเมทิลีนบลู เป็นไปตามความสัมพันธ์ของแบบแลงเมียร์มากกว่าแบบฟรุนดลิช เนื่องจากมีค่า R^2 ที่สูงกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวที่ผิวของตัวกลางดูดซับและเป็นกระบวนการดูดซับทางเคมี โดยมีความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 31.75 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และฟรุนดลิช

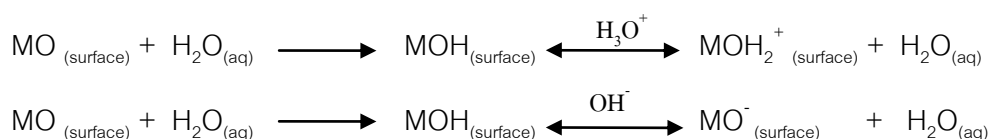
ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์			ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช		
R ²	b (ลิตร/มก.)	q _m (มก./ก.)	R ²	K _f (ลิตร/ก.)	1/n
0.9938	0.21	31.75	0.9199	5.375	0.4894

4.3.4 ผลกระทบค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

การศึกษาผลกระทบค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการดูดซับ จะปรับเปลี่ยนค่าพีเอชของสารละลายสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวที่ 5 7 และ 9 และควบคุมค่าความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 โมลาร์ และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.25- ภาพที่ 4.29

จากผลการทดลองพบว่า สีย้อม BY1 และสารลดแรงตึงผิว CPC มีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดคือ พีเอช 9 รองลงมา พีเอช 7 และ 5 ตามลำดับ ส่วนสีย้อม AB45 และสารลดแรงตึงผิว LAS มีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดคือ พีเอช 5 รองมา พีเอช 7 และ 9 ตามลำดับ และสารลดแรงตึงผิว TX100 ไม่สามารถดูดซับได้

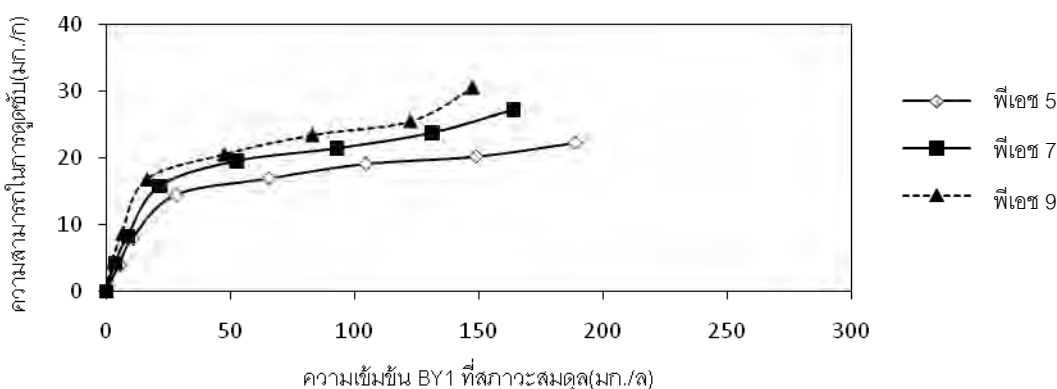
การที่ตัวกลาง เศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์สามารถดูดซับ สีย้อม BY1 และสารลดแรงตึงผิว CPC ซึ่งเป็นสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวประจุบวกได้เพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น และดูดซับสีย้อม AB45 และสารลดแรงตึงผิว LAS ซึ่งเป็นสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวประจุลบได้เพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของสารละลายลดลง เนื่องมาจากเมื่อโลหะออกไซด์สัมผัสกับน้ำจะถูกไฮโดรไลซ์ โดยถ้าสารละลายมีความเป็นกรดที่ผิวของโลหะออกไซด์จะถูกเติมโปรตอนด้วยไฮโดรเนียมไอออน (H₃O⁺) และส่งผลทำให้พื้นที่ผิวเป็นประจุบวก และในทางตรงกันข้ามถ้าสารละลายมีความเป็นด่างที่ผิวของโลหะออกไซด์จะถูกดึงโปรตอนออกจากไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) จะทำให้พื้นที่ผิวเป็นประจุลบ ดังแสดงในสมการ (Gupta และคณะ, 1990)



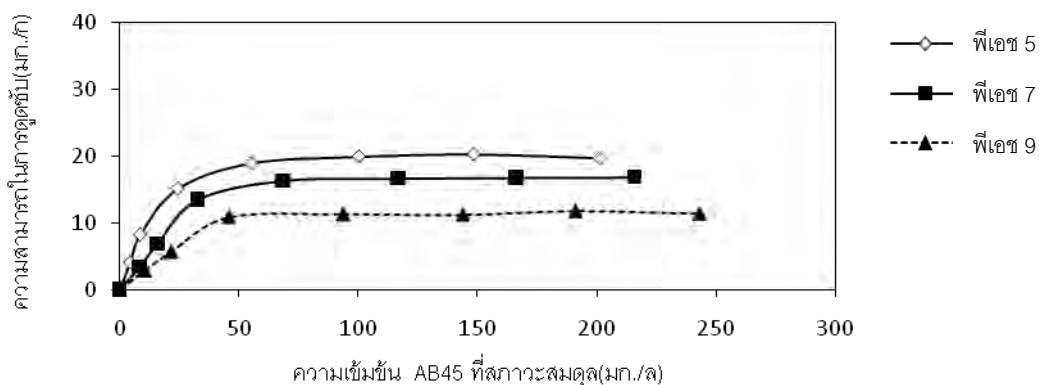
เมื่อ M = Al, Ca, Si, etc.

จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่าถ้าสารละลายมีความเป็นกรดจะทำให้ที่ผิวของโลหะออกไซด์ถูกเติมโปรตอน พื้นที่ผิวจะกลายเป็น อนุประจุบวกซึ่งสามารถดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวประจุลบได้ และในทางตรงกันข้ามถ้าสารละลายมีความเป็นด่างที่ผิวของโลหะออกไซด์จะถูกดึงโปรตอนออก จะทำให้พื้นที่ผิวเป็นประจุลบ จะสามารถดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวประจุบวกได้

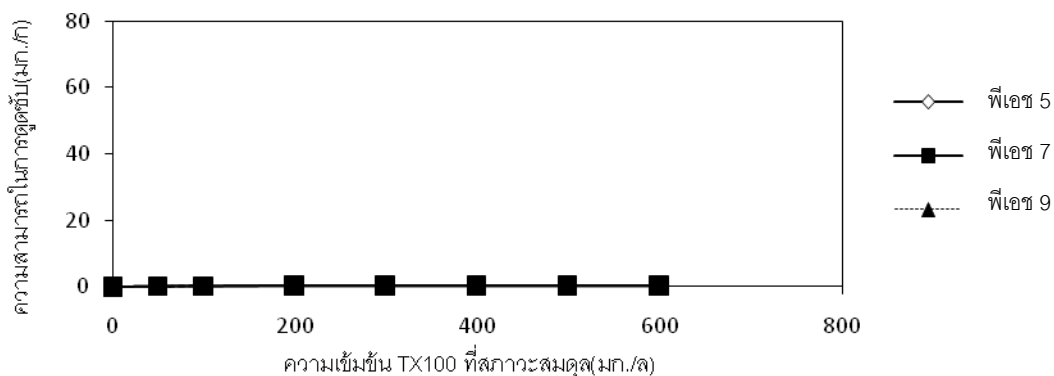
เมื่อพิจารณาค่า pH_{pzc} ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกสมบัติเคมีที่ผิวของตัวดูดซับ โดยเมื่อตัวกลางดูดซับอยู่ในสารละลายที่มีพีเอชต่ำกว่าค่า pH_{pzc} พื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีประจุบวก และในทางตรงกันข้ามถ้าเมื่อตัวกลางดูดซับอยู่ในสารละลายที่มีพีเอชสูงกว่าค่า pH_{pzc} พื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีประจุลบ จากผลการทดลองค่า pH_{pzc} พบว่า ตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ มีค่า pH_{pzc} ประมาณ 6.5 ดังนั้น เมื่อสารละลายมีพีเอชต่ำกว่า 6.5 จะทำให้ผิวหน้าของ เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์มีประจุบวก และที่สารละลายมีพีเอชสูงกว่า 6.5 จะทำให้ผิวหน้าของ เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์มีประจุลบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ สีย้อม BY1 และสารลดแรงตึงผิว CPC มีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีที่สุด คือ พีเอช 9 ส่วนสีย้อม AB45 และสารลดแรงตึงผิว LAS ที่มีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีที่สุด คือ พีเอช 5 แสดงว่า กลไกการดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 และสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS เป็นแรงดึงดูดระหว่างประจุ



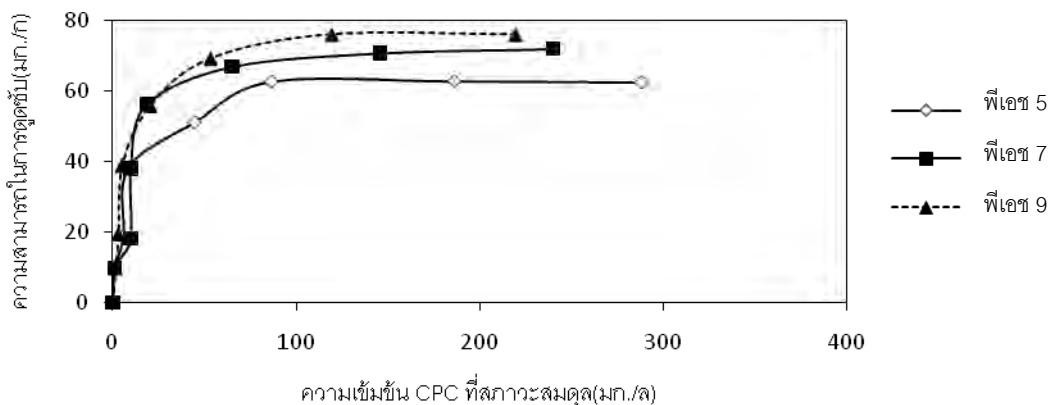
ภาพที่ 4.25 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม BY1 ที่อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



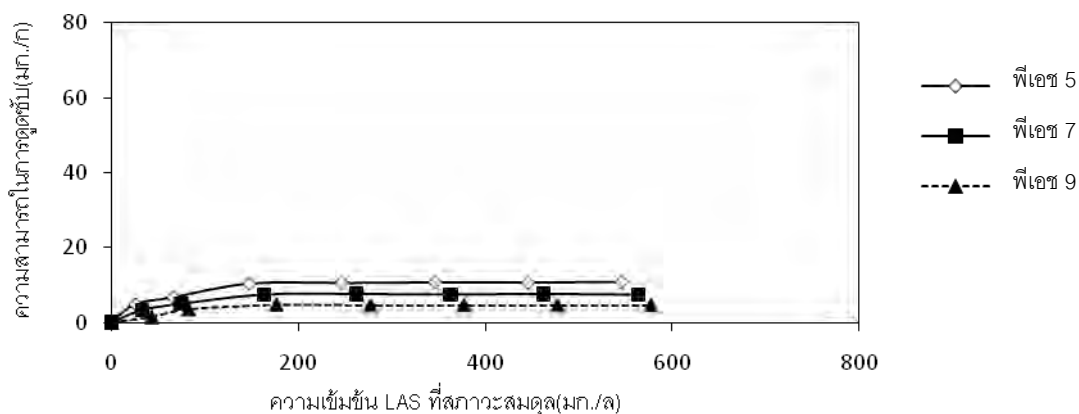
ภาพที่ 4.26 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม AB45 ที่อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.27 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 ที่อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.28 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC ที่อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.29 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS ที่อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์

ตารางที่ 4.10 ผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว

สารถูกดูดซับ	พีเอช	ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์			ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช		
		R ²	b (ลิตร/มก.)	q _m (มก./ก.)	R ²	K _f (ลิตร/ก.)	1/n
BY1	5.00	0.9948	0.0396	24.390	0.9132	2.4581	0.4422
	7.00	0.9869	0.0423	29.240	0.9371	2.9282	0.4517
	9.00	0.9776	0.0520	31.447	0.9372	3.6771	0.43
AB45	5.00	0.9961	0.0835	21.459	0.8500	3.2426	0.3861
	7.00	0.9855	0.0423	19.194	0.8147	1.8387	0.4575
	9.00	0.9874	0.0451	12.837	0.7950	1.5132	0.407
TX100	5.00	0.9979	0.0325	0.263	0.8904	0.0772	0.1925
	7.00	0.9896	0.0270	0.347	0.8084	0.0785	0.2349
	9.00	0.9566	0.0157	0.181	0.5645	0.0163	0.3854
CPC	5.00	0.9987	0.1184	64.935	0.8664	11.9179	0.3379
	7.00	0.9907	0.0771	76.336	0.8273	11.6896	0.3780
	9.00	0.9992	0.1182	79.365	0.8294	13.0677	0.3827
LAS	5.00	0.9972	0.0314	11.669	0.8825	0.269	2.2382
	7.00	0.9940	0.0303	7.981	0.8353	0.2834	1.4031
	9.00	0.9760	0.0181	5.260	0.6816	0.3773	0.5079

4.3.5 ปรากฏการณ์การดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว

กรณีสีย้อม : ตัวกลางเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์มีความสามารถในการดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 เป็นไปตามค่า pH_{pzc} แสดงว่า ตัวกลางดูดซับสามารถดูดซับสีย้อมได้ด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุได้ (จากผลการทดลอง 4.3.4 ผลกระทบค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการดูดซับ) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของสีย้อม BY1 และ AB45 พบว่า สามารถเกิดการดูดซับด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนและแรงพันธะไฮโดรเจนได้อีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ว่า ที่พีเอช 5 พื้นผิวของตัวกลางดูดซับมีประจุบวกยังสามารถดูดซับสีย้อม AB45 ที่เป็นประจุลบได้ และที่พีเอช 9 พื้นผิวของตัวกลางดูดซับมีประจุลบยังสามารถดูดซับสีย้อม BY1 ที่เป็นประจุบวกได้ ซึ่งการแลกเปลี่ยนไอออน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Netpradit และคณะ, 2003 ที่พบว่า หมู่ซัลฟูนิค (SO_3^-) ของสีย้อมรีเอกทีฟ สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ของโลหะออกไซด์ได้ โดยสีย้อม AB45 มีหมู่ซัลฟูนิค (SO_3^-) ประกอบอยู่ในโครงสร้างด้วย โดยการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกของตัวกลางดูดซับกับสีย้อม BY1 ที่เป็นประจุบวกจะเกิดที่พีเอช 5 และ 7 ส่วนการแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบกับสีย้อม AB45 ที่เป็นประจุลบจะเกิดที่พีเอช 7 และ 9 สรุปได้ว่า การดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 เกิดจากแรงหลายๆแรงรวมกัน ได้แก่ แรงดึงดูดระหว่างประจุ การแลกเปลี่ยนไอออนและพันธะไฮโดรเจน

กรณีสารลดแรงตึงผิว: ตัวกลางเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์มีความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS ลักษณะเหมือนกับการดูดซับสีย้อม โดยการดูดซับเกิดจากแรงหลายๆแรงรวมกัน ได้แก่ แรง ดึงดูดระหว่างประจุ การแลกเปลี่ยนไอออนและพันธะไฮโดรเจน ซึ่งการแลกเปลี่ยนไอออนของตัวกลางดูดซับระหว่างไอออนส่วนที่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ou และคณะ, 1996 ที่ระบุว่า ส่วนที่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิว LAS สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะออกไซด์ได้ ส่วนในกรณีสารลดแรงตึงผิว TX100 ไม่สามารถเกิดการดูดซับ โดยสรุปแรงที่ใช้ในการดูดซับ สีย้อมและสารลดแรงตึงผิวดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แรงที่ใช้ในการดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว

สารถูกดูดซับ	แรงที่ใช้ในการดูดซับ			
	แรงดึงดูดระหว่างประจุ	การแลกเปลี่ยนไอออน	พันธะไฮโดรเจน	แรงแวนเดอร์วาลส์
BY 1	◎	◎	◎	x
AB45	◎	◎	◎	x
TX100	x	x	x	x
CPC	◎	◎	◎	x
LAS	◎	◎	◎	x

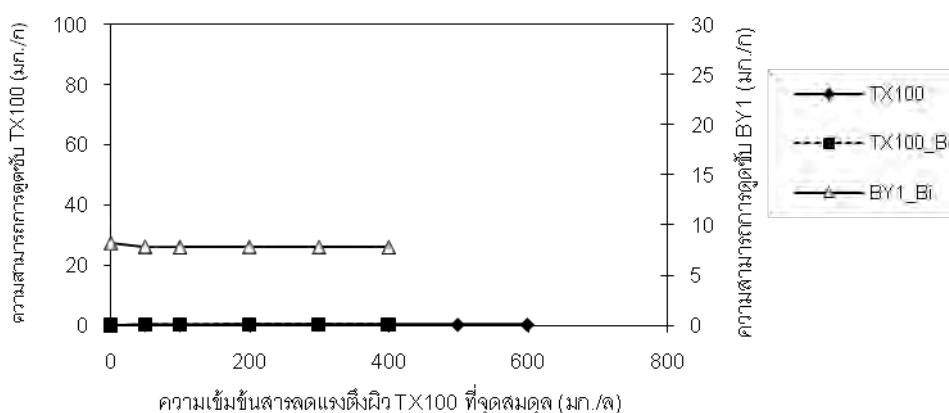
หมายเหตุ: ◎ หมายถึง มี , x หมายถึง ไม่มี

4.4 การคัดเลือกมลสารระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสีย้อม

ในการส่วนนี้จะควบคุมสารละลายที่พีเอช 7 ความแรงไอออน 0.01 โมลาร์ และที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส โดยผลการศึกษาผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อการดูดซับสีย้อมจะควบคุมความเข้มข้นของสีย้อม และผสมกับสารลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้นต่างๆ ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4.30(ก) - ภาพที่ 4.33 (ก) และดังแสดงในตารางที่ 4.10

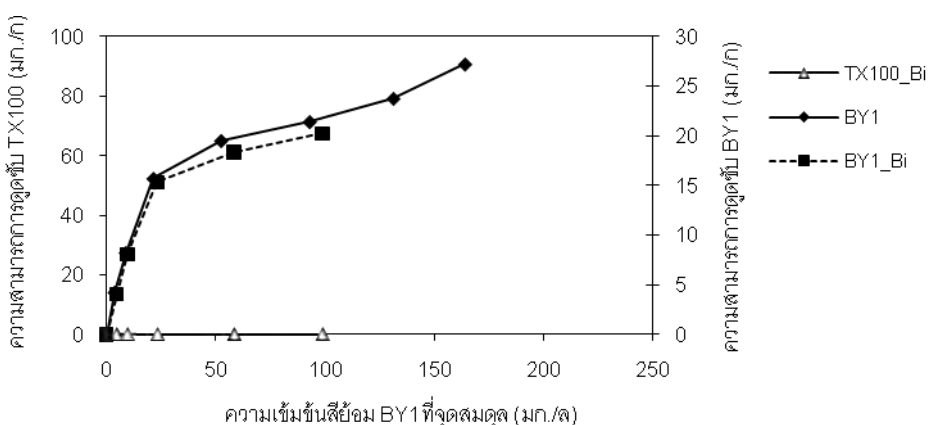
ส่วนผลการศึกษาผลกระทบของสีย้อมต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิว จะควบคุมความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว และผสมกับสีย้อมที่มีความเข้มข้นต่างๆ ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4.30(ข) - ภาพที่ 4.33 (ข) และดังแสดงในตารางที่ 4.12

(ก)

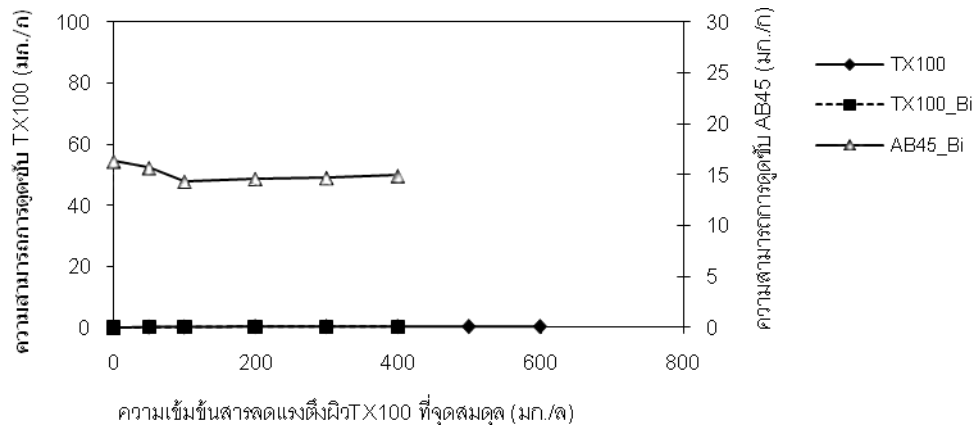


ภาพที่ 4.30 (ก) ผลของสารลดแรงตึงผิว TX100 ต่อการดูดซับสีย้อม BY1 โดยใช้สีย้อม BY1 ความเข้มข้น 50 มก. /ล.คงที่ และแปรเปลี่ยนความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว TX100

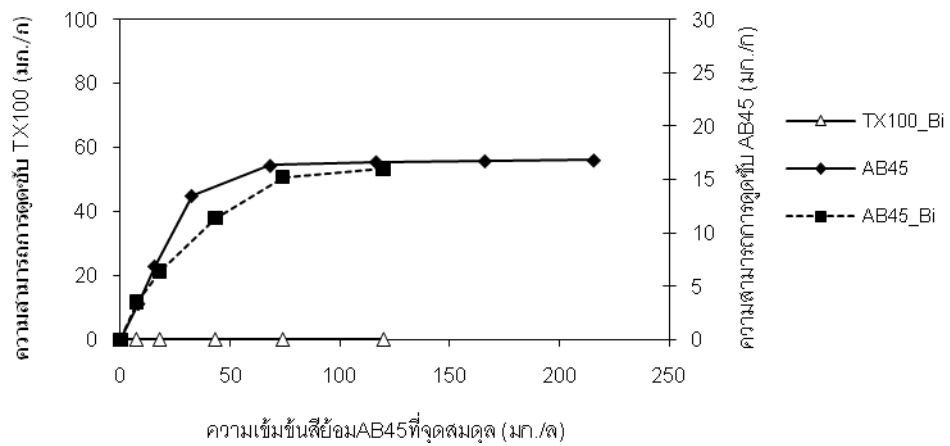
(ข)



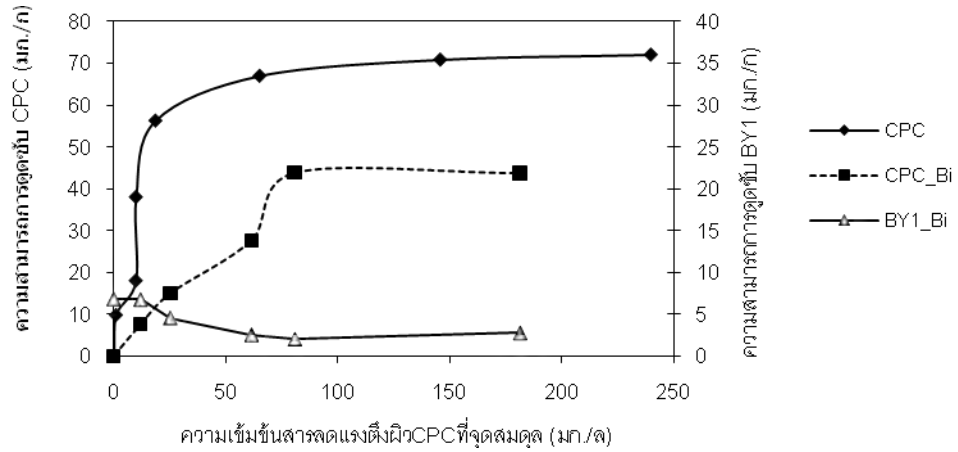
ภาพที่ 4.30 (ข) ผลของสีย้อม BY1ต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 โดยใช้สารลดแรงตึงผิว TX100 ความเข้มข้น 100 มก. /ล.คงที่และแปรเปลี่ยนความเข้มข้นสีย้อม BY1



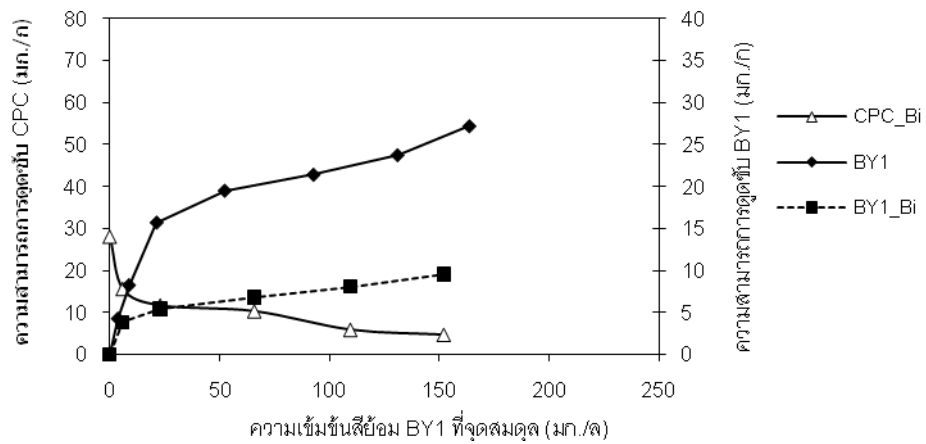
ภาพที่ 4.31(ก) ผลของสารลดแรงตึงผิว TX100 ต่อการดูดซับสีย้อม AB45 โดยใช้สีย้อม AB45 ความเข้มข้น 150 มก. /ล.คงที่ และแปรเปลี่ยนความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว TX100



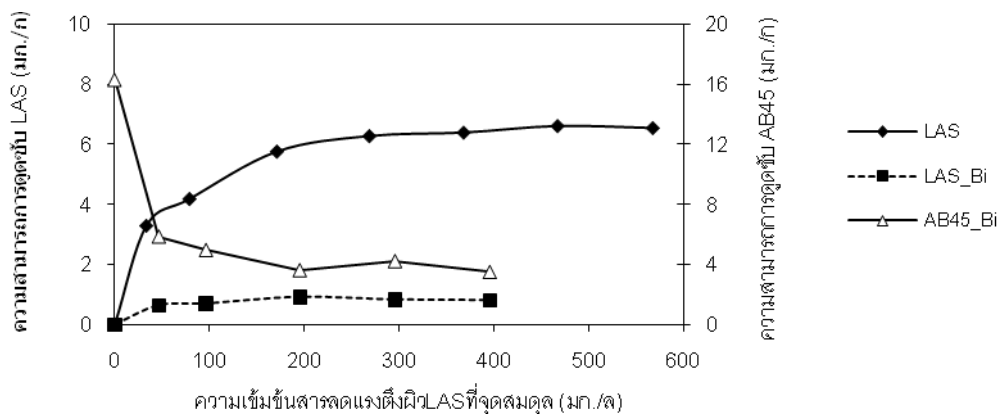
ภาพที่ 4.31 (ข) ผลของสีย้อม AB45 ต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 โดยใช้สารลดแรงตึงผิว TX100 ความเข้มข้น 100 มก. /ล.คงที่และแปรเปลี่ยน ความเข้มข้นสีย้อม AB45



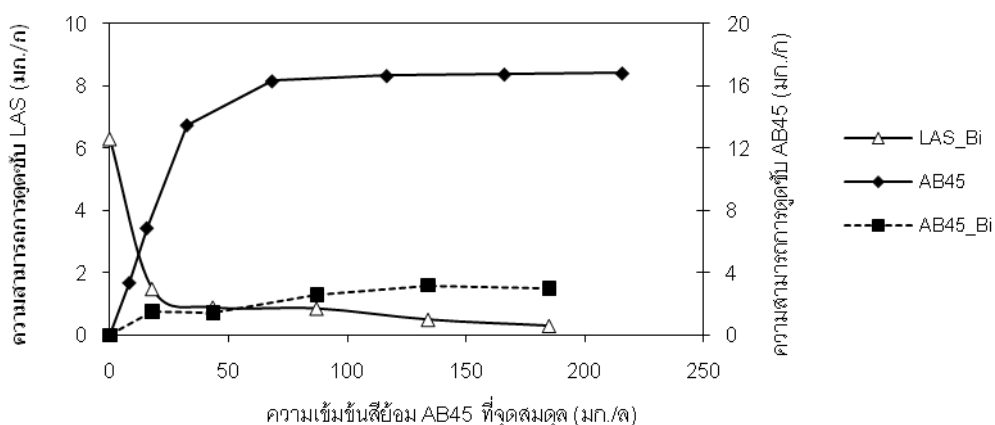
ภาพที่ 4.32 (ก) ผลของสารลดแรงตึงผิว CPC ต่อการดูดซับสีย้อม BY1 โดยใช้สีย้อม BY1 ความเข้มข้น 50 มก./ล.คงที่ และแปรเปลี่ยนความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว CPC



ภาพที่ 4.32 (ข) ผลของสีย้อม BY1 ต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC โดยใช้สารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้น 150 มก./ล.คงที่และแปรเปลี่ยนความเข้มข้นสีย้อม BY1



ภาพที่ 4.33 (ก) ผลของสารลดแรงตึงผิว LAS ต่อการดูดซับสีย้อม AB45 โดยใช้สีย้อม AB45 ความเข้มข้น 150 มก./ล.คงที่ และแปรเปลี่ยนความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว LAS



ภาพที่ 4.33 (ข) ผลของสีย้อม AB45 ต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS โดยใช้สารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้น 300 มก./ล.คงที่ และแปรเปลี่ยนความเข้มข้นสีย้อม AB45

- △— คือ ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวเมื่อไม่ผสมสีย้อม หรือความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมื่อไม่ผสมสารลดแรงตึงผิว
- ◆— คือ ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวเมื่อผสมกับสีย้อม หรือความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมื่อผสมกับสารลดแรงตึงผิว
- คือ ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมื่อผสมกับสารลดแรงตึงผิว หรือความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว เมื่อผสมกับสีย้อม

ตารางที่ 4.12 ความสามารถในการดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวสูงสุด เมื่อผสมสีย้อมกับสารลดแรงตึงผิว

สารถูกดูดซับ	ประจุ	ความสามารถการดูดซับสูงสุด (มก./ก.) *		ร้อยละการดูดซับลดลง	
		สีย้อม	สารลดแรงตึงผิว	สีย้อม	สารลดแรงตึงผิว
BY1	บวก	29.240	-	-	-
AB45	ลบ	19.194	-	-	-
TX100	ไม่มี	-	0.347	-	-
CPC	บวก	-	76.336	-	-
LAS	ลบ	-	7.981	-	-
BY1+TX100	บวก+ ไม่มี	21.240	0.310	27.36	11.43
AB45+TX100	ลบ+ ไม่มี	16.330	0.300	17.94	14.29
BY1+CPC	บวก+ บวก	10.100	44.270	65.46	42.01
AB45+LAS	ลบ+ ลบ	3.880	0.840	80.50	89.47

หมายเหตุ * ค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดคิดจากค่า q_m ของสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์

จากภาพที่ 4.30 (ก) สารลดแรงตึงผิว TX100 ผสมสีย้อม BY1 และ ภาพที่ 4.31(ก) สารลดแรงตึงผิว TX100 ผสมสีย้อม AB45 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของ TX-100 เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 ลดลงประมาณร้อยละ 27 และ 18 ตามลำดับ แสดงว่า TX100 มีผลกระทบต่อ การดูดซับสีย้อม น้อยมาก ส่วนภาพที่ 4.30(ข) สารลดแรงตึงผิว TX100 ผสมสีย้อม BY1 และ ภาพที่ 4.31(ข) สารลดแรงตึงผิว TX100 ผสมสีย้อม AB45 เมื่อความเข้มข้นของสีย้อม BY1 และ AB45 เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 ลดลงเล็กน้อย โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับ TX100 ลดลงประมาณร้อยละ 12 และ 15

สรุปได้ว่า สารลดแรงตึงผิว TX100 และสีย้อม BY1 และ AB45 มีผลกระทบต่อ การดูดซับต่อกันน้อยมาก เนื่องจากตัวกลางพิเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ จะดูดซับสีย้อมด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุ ส่วนสารลดแรงตึงผิว TX100 ดูดซับได้น้อยเทียบได้ว่าไม่สามารถดูดซับได้ ดังนั้นจึงไม่ส่งผลกระทบต่อ การดูดซับสีย้อม

ภาพที่ 4.32 (ก) สารลดแรงตึงผิว CPC ผสมสีย้อม BY1 และ ภาพที่ 4.33 (ก) สารลดแรงตึงผิว LAS ผสมสีย้อม AB45 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดูดซับสีย้อมทั้ง BY1 และ AB45 ลดลง ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 ลดลงประมาณร้อยละ 65 และ 80 ตามลำดับ แสดงว่า สารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS ส่งผลกระทบต่อการดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 ตามลำดับ ส่วนภาพที่ 4.32(ข) สารลดแรงตึงผิว CPC ผสมสีย้อม BY1 และภาพที่ 4.33 (ข) สารลดแรงตึงผิว LAS ผสมสีย้อม AB45 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสีย้อม BY1 และ AB45 เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS ลดลง โดยประสิทธิภาพการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS ลดลงประมาณร้อยละ 42 และ 90 ตามลำดับ แสดงว่า สีย้อม BY1 และ AB45 ส่งผลกระทบต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS ตามลำดับ

สรุปได้ว่า สารลดแรงตึงผิว CPC ผสมสีย้อม BY1 และสารลดแรงตึงผิว LAS ผสมสีย้อม AB45 มีผลกระทบต่อการดูดซับต่อกัน เนื่องจากตัวกลางเศษแก้วเคลือบเมงกานีสออกไซด์ดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 ด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุ เหมือนกับสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS ซึ่งสีย้อม BY1 กับสารลดแรงตึงผิว CPC มีประจุบวกเหมือนกัน และสีย้อม AB45 กับสารลดแรงตึงผิว LAS มีประจุลบเหมือนกัน ดังนั้น จึงมีการแข่งกันการดูดซับบน พื้นผิวเดียวกันของตัวกลาง จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารลดแรงตึงผิวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Talman และ Atun (2006) ที่นำเกลือย้อมมาดูดซับสีย้อมประจุบวกทูลูอิดีน (toluidine) ที่ผสมสารลดแรงตึง CPC พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมทูลูอิดีนลดลงเมื่อมี CPC อยู่ด้วย

นอกจากนี้ การดูดซับสีย้อม AB45 ลดลงมากกว่าสีย้อม BY1 เมื่อผสมสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS ตามลำดับ เนื่องจากทำการทดลองที่พีเอช 7 ซึ่งมากกว่า pH_{pzc} ของตัวกลางที่มีค่า 6.5 ทำให้พื้นผิวของตัวกลางมีประจุเป็นลบ จึงสามารถดูดซับสีย้อม BY1 ที่เป็นประจุบวกได้ดีกว่า สีย้อม AB45 ทำให้ประสิทธิภาพ การดูดซับของสีย้อม BY1 ลดลงน้อยกว่า สีย้อม AB45

4.5 การดูดซับสีย้อม สารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวผสมสีย้อมแบบคอลัมน์

ในการทดลองส่วนนี้ใช้คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 2.5 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร บรรจุตัวกลางเศษแก้วเคลือบ บแมงกานีสออกไซด์ โดยให้น้ำเสียสังเคราะห์ไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนด้วยเครื่องปั้มน้ำสำหรับเพิ่มความดัน ด้วยอัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์ มาศึกษาความสามารถในการดูดซับ สารละลายประเภทสีย้อม สารลดแรงตึงผิว และ สีย้อมผสมสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่เลือกจากความสามารถสูงสุดในการดูดซับแบบที่ละเท ยกเว้นในกรณีสีย้อม BY1 และจำนวนปริมาณตัวกลางดูดซับที่ต่างกัน ตามความสามารถในการดูดซับของแต่ละผลสาร ดังแสดงในตารางที่ 4.13 โดยจะทำการเก็บตัวอย่างจนถึงจุดหมดสภาพ (Exhaustion point) คือ ความเข้มข้นที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) เท่ากับ 0.95 หลังจากนั้นจะนำค่าที่ได้ไปสร้างโค้งเบรคทรูจ (Breakthrough curve) ระหว่างค่า C/Co กับค่า Bed Volume โดยการคำนวณ Bed Volume ตามสมการ 4.5

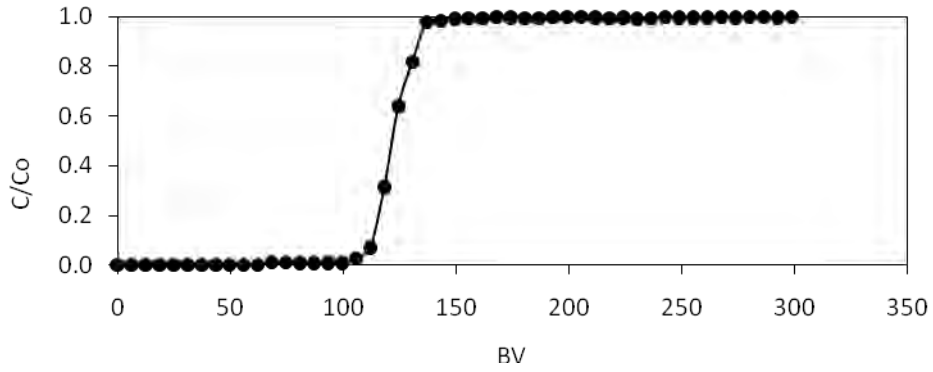
$$\text{Bed Volume} = \frac{\text{ปริมาตรของน้ำที่ผ่านการบำบัด(มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาตรของชั้นตัวกลางดูดซับ (มิลลิลิตร)}} \quad (4.5)$$

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าที่ใช้ในการทดลองการดูดซับแบบคอลัมน์ (Column) ของสารละลายประเภทสีย้อม สารลดแรงตึงผิวและสีย้อมผสมสารลดแรงตึงผิว

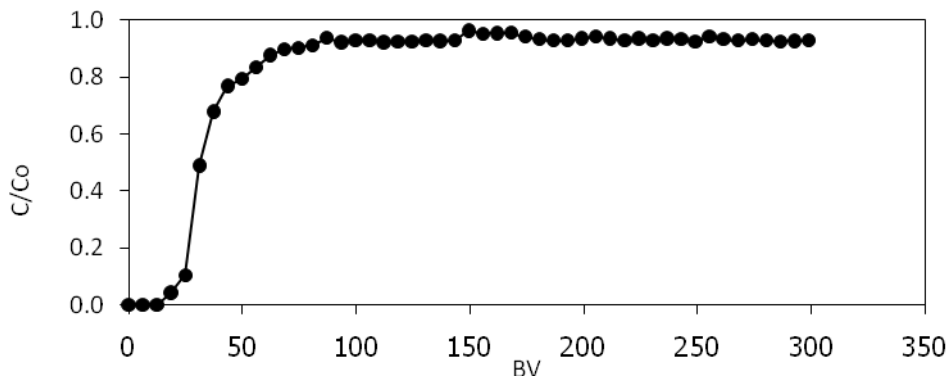
สารถูกดูดซับ	ประจุ	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก. /ล)	ปริมาณตัวกลาง ที่ใช้ (กรัม)	ปริมาตรชั้นตัวกลาง (มล.)
BY1	บวก	100	5	4.015
AB45	ลบ	100	5	4.015
CPC	บวก	200	5	4.015
LAS	ลบ	300	15	12.045
BY1+CPC	บวก+ บวก	50+150	15	12.045
BY1+CPC	บวก+ บวก	150+100	15	12.045
AB45+LAS	ลบ+ ลบ	50+200	40	32.120
AB45+LAS	ลบ+ ลบ	150+100	40	32.120

จากผลการทดลอง เส้นโค้งเบรคทูร์จ (Breakthrough curve) ดังแสดงในภาพที่ 4.34 - ภาพที่ 4.41 พบว่า อัตราเร็วในการหมดสภาพของ ตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ จะมีค่าไม่คงที่ โดยในช่วงแรกคุณภาพน้ำที่ได้จากระบบจะดีอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อปริมาณน้ำไหลผ่านคอลัมน์มากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้คุณภาพน้ำเริ่มแยกลง จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่มีอัตราเร็วในการหมดสภาพของตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเรียกจุดนี้ว่า จุดแตกหัก (Breakthrough point) เช่น กำหนดให้จุดแตกหัก (Breakthrough point) ที่ความเข้มข้นออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นที่เข้าคอลัมน์ หรือ (C/Co) เท่ากับ 0.05 ซึ่งในการออกแบบระบบคอลัมน์เมื่อถึงค่า C/Co เท่ากับ 0.05 ให้ทำการเปลี่ยน ตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ทันที ถ้าหากปล่อยเดินระบบต่อไปตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ จะหมดสภาพอย่างรวดเร็วและอาจจะมีการคายสารออกมาได้ (desorption) และอีกไม่นานค่า C/Co จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดคือ C/Co เท่ากับ 1 โดยจะเรียกจุดนี้ว่า จุดหมดสภาพ (Exhaustion point) ซึ่งจุดนี้ตัวกลางดูดซับจะหมดประสิทธิภาพในการดูดซับ สำหรับการทดลองนี้จะใช้จุดหมดสภาพที่ $C/Co = 0.95$ โดยตัวกลางดูดซับจะมีปริมาตรที่จุดหมดสภาพ คิดเป็นค่า Bed volume (BV) ดังแสดงในตารางที่ 4.14

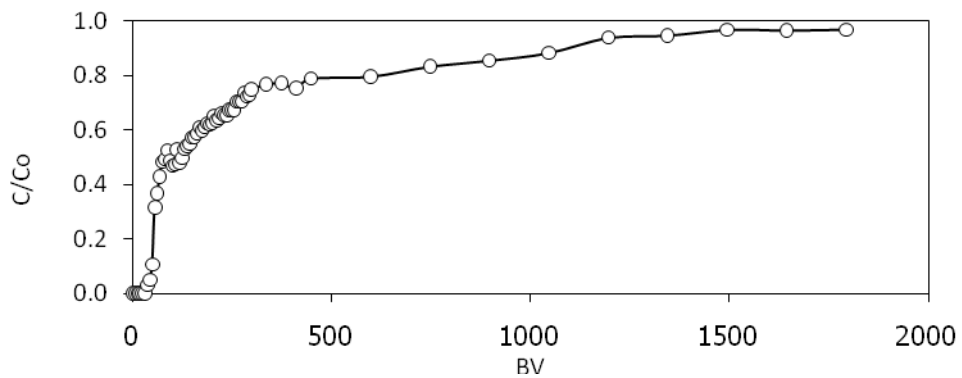
จากตารางที่ 4.12 พบว่า ค่า BV ของสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว มีค่าดังนี้ สีย้อม BY1 มีค่า BV เท่ากับ 136.9 สีย้อม AB45 มีค่า BV เท่ากับ 87.1 สารลดแรงตึงผิว CPC มีค่า BV เท่ากับ 1,195.5 และสารลดแรงตึงผิว LAS มีค่า BV เท่ากับ 68.4 โดยเรียงจากค่า BV มากสุดไปน้อยสุด ได้ดังนี้ สารลดแรงตึงผิว CPC มีค่า BV มากสุด รองลงมา คือ สีย้อม BY1 สีย้อม AB45 และสารลดแรงตึงผิว LAS ตามลำดับ ส่วนค่า BV ของสีย้อมผสมสารลดแรงตึงผิว มีค่าดังนี้ สีย้อม BY1 ผสมสารลดแรงตึงผิว CPC ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 50 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า BV เท่ากับ 72.6 และ 398.5 ตามลำดับ สีย้อม BY1 ผสมสารลดแรงตึงผิว CPC ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 150 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า BV เท่ากับ 70.5 และ 60.1 ตามลำดับ ส่วนสีย้อม AB45 ผสมสารลดแรงตึง LAS ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่า BV เท่ากับ 34.2 และ 42.0 ตามลำดับ ส่วนสีย้อม AB45 ผสมสารลดแรงตึง LAS ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 150 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า BV เท่ากับ 32.6 และ 18.6 ตามลำดับ



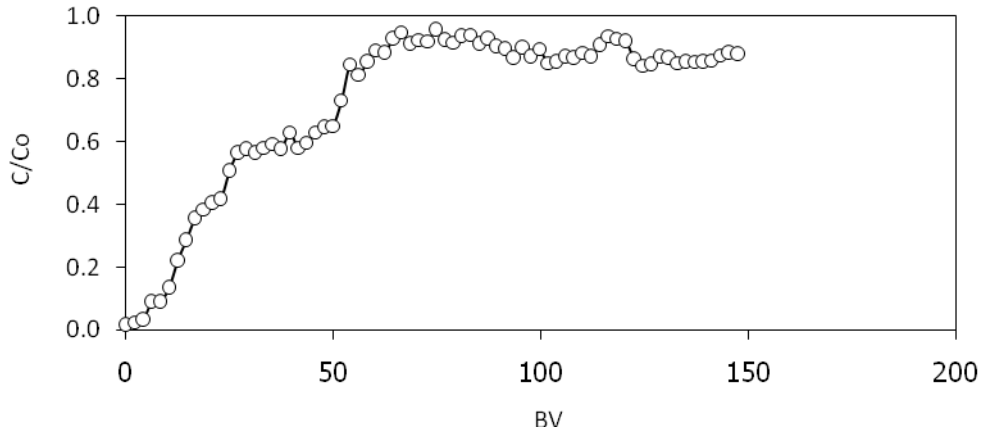
ภาพที่ 4.34 เส้นโค้งเบรคทอร์จของสีย้อม BY1 ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มก. /ล
ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



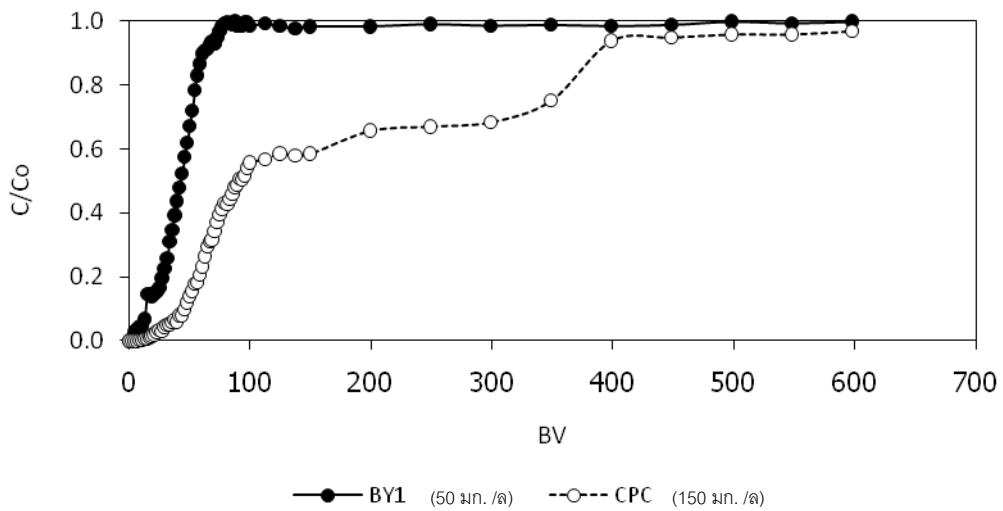
ภาพที่ 4.35 เส้นโค้งเบรคทอร์จของสีย้อม AB45 ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มก. /ล
ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



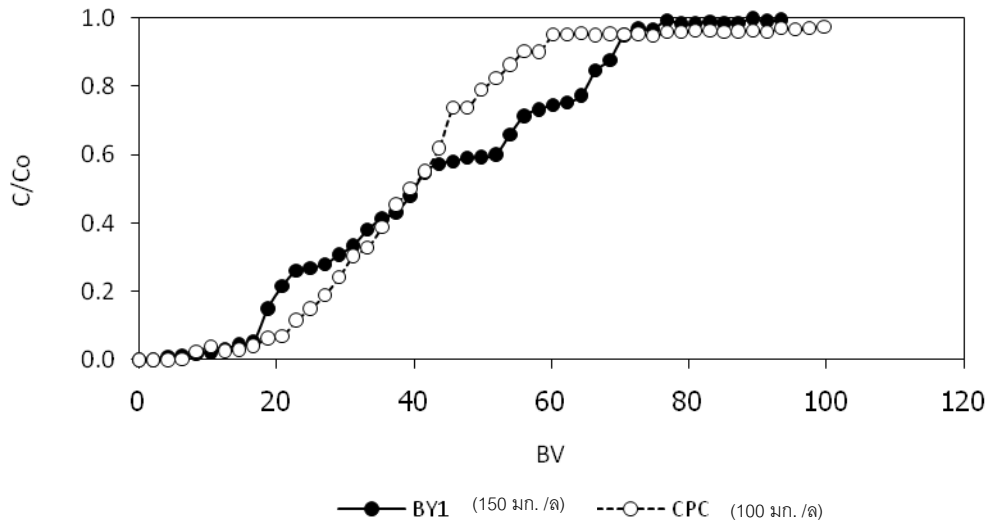
ภาพที่ 4.36 เส้นโค้งเบรคทอร์จของสีย้อม CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มก. /ล
ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



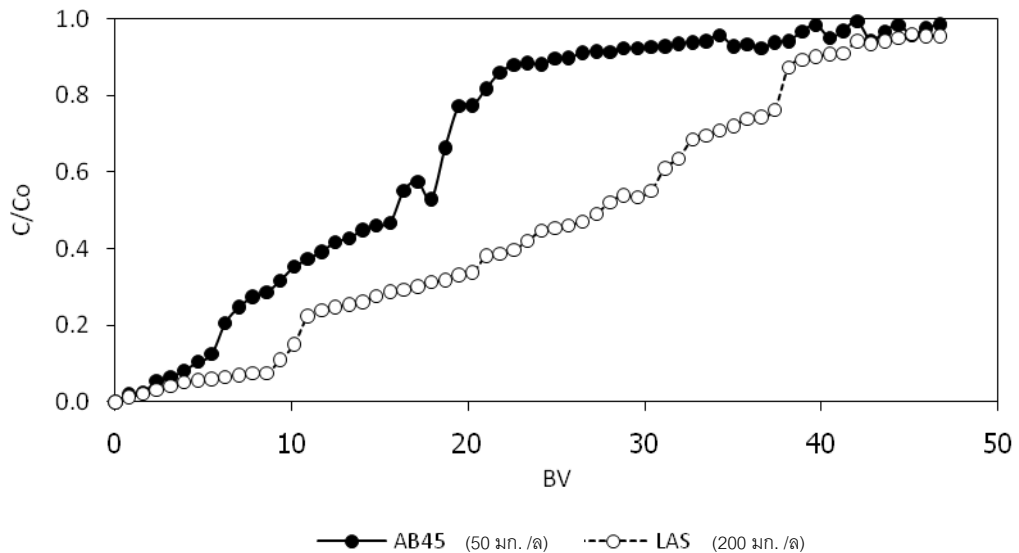
ภาพที่ 4.37 เส้นโค้งเบอร์คทอร์จของสารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 300 มก./ล
ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



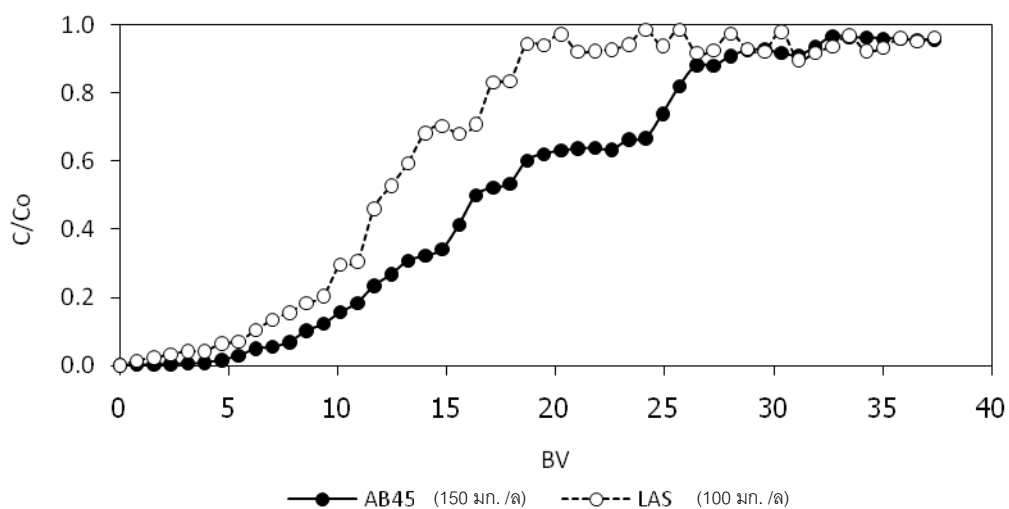
ภาพที่ 4.38 เส้นโค้งเบอร์คทอร์จของสีย้อม BY1 ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มก. /ล
ผสมกับสารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มก. /ล
ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.39 เส้นโค้งเบรคทอร์จของสีย้อม BY1 ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มก./ล
 ผสมกับสารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มก./ล
 ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.40 เส้นโค้งเบรคทอร์จของสีย้อม AB45 ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มก./ล
 ผสมกับสารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มก./ล
 ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์



ภาพที่ 4.41 เส้นโค้งเบรคทรูทซ์ของสีย้อม AB45ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มก./ล
ผสมกับสารลดแรงตึงผิว LASความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มก./ล
ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 25 °ซ และความแรงไอออน 0.01 โมลาร์

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองการดูดซับแบบคอลัมน์ (Column) ของสารละลายประเภทสีย้อม
สารลดแรงตึงผิว และสีย้อมผสมสารลดแรงตึงผิว

สารถูกดูดซับ	ความเข้มข้น (มก.ล)	ปริมาตรชั้นตัวกลาง (มล.)	เวลาเก็บกัก(นาที)		ค่า Bed volume (BV)	
			สีย้อม	สารลดแรงตึงผิว	สีย้อม	สารลดแรงตึงผิว
BY1	100	4.015	0.8	-	136.986	-
AB45	100	4.015	0.8	-	87.173	-
CPC	200	4.015	-	0.8	-	1,195.517
LAS	300	12.045	-	2.4	-	68.493
BY1+CPC	50+150	12.045	2.4	2.4	72.644	398.506
BY1+CPC	150+100	12.045	2.4	2.4	70.569	60.191
AB45+LAS	50+200	32.120	6.4	6.4	34.247	42.030
AB45+LAS	150+100	32.120	6.4	6.4	32.690	18.680

จากข้อมูลการทดลองการดูดซับแบบคอลัมน์ (Column) เราสามารถนำมาคำนวณหาความสามารถในการดูดซับของตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ได้ โดยในการทดลองจะใช้วิธีการคำนวณ 2 วิธี คือ 1) คำนวณโดยหาพื้นที่เหนือกราฟ Breakthrough curve และ 2) วิธี Kinetic Approach ได้มาจาก Thomas(1948) ที่ประยุกต์มาจากสมการ Bohart และ Adams (1920)(Reynolds และ Richards, 1996) ตามสมการ 4.6

สมการของ Thomas สำหรับการดูดซับคอลัมน์ ดังสมการ 4.6

$$\ln \left(\frac{C_0}{C} - 1 \right) = \frac{k_1 \cdot q_0 \cdot M}{Q} - \frac{k_1 \cdot C_0 \cdot V}{Q} \quad (4.6)$$

เมื่อ	C	= ความเข้มข้นของมลสารที่ออกจากคอลัมน์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	C ₀	= ความเข้มข้นของมลสารที่มีเข้าสู่คอลัมน์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	k ₁	= ค่าคงที่ของกระบวนการดูดซับ (ลิตรต่อนาที่.มิลลิกรัม)
	q ₀	= ค่าอัตราส่วนของการดูดซับสูงสุดของมลสารที่ถูกดูดซับได้ต่อตัวกลางดูดซับที่ใช้ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
	M	= มวลหรือปริมาณของวัสดุดูดซับที่ใช้ (กรัม)
	V	= ปริมาตรของสารละลายหรือไอก๊าซที่ไหลผ่านวัสดุดูดซับ (ลิตร)
	Q	= อัตราการไหลของสารละลายหรือไอก๊าซที่ไหลผ่านวัสดุดูดซับ (ลิตรต่อชั่วโมง)

นำมาสร้างสมการเส้นตรงได้ $y = mx + b$ โดยเทอม $y = \ln(C_0/C - 1)$, $X = V$, $m = k_1 C_0 / Q$, $b = k_1 q_0 M / Q$

โดยผลการทดลองความสามารถในการดูดซับแบบคอลัมน์ ของตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ด้วยวิธีหาพื้นที่เหนือ เส้นโค้ง เบรคทวร์จ (Breakthrough curve) และ วิธี Thomas equation ดังแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่า วิธีการคำนวณความสามารถในการดูดซับแบบคอลัมน์ของ Thomas equation ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ เนื่องจาก บางกราฟให้ค่า R² ที่ยอมรับได้ (R² = 0.9650) และบางกราฟให้ค่า R² ที่ต่ำไม่เป็นที่ยอมรับ (R² = 0.2817 ถึง R² = 0.8494) นอกจากนี้เส้นโค้ง เบรคทวร์จ (Breakthrough curve) ที่ได้มีลักษณะไม่เป็นตามเส้นแนวโน้มของ Thomas model ที่มีลักษณะคล้ายรูปตัวเอส (S- Shape) โดยเส้นแนวโน้มของ Thomas model จะทำนายความเป็นไปได้ของ เส้นโค้ง เบรคทวร์จ โดยจะใช้สมมติฐานที่ว่า

จลนศาสตร์การดูดซับและคายออกเป็นอันดับปฏิกิริยาอันดับสอง ที่สามารถผันกลับเองได้ (Al-Ghoutic และคณะ, 2007)

ดังนั้น ในการทดลองนี้จะใช้วิธีการคำนวณความสามารถในการดูดซับแบบคอลัมน์ของตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ด้วยวิธีหาพื้นที่เหนือ เส้นโค้ง เบรคทรูจ (Breakthrough curve) โดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.16 พบว่า ความสามารถในการดูดซับแบบคอลัมน์ของตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ มากที่สุด คือ สารลดแรงตึงผิว CPC เท่ากับ 65.56 มิลลิกรัมต่อกรัม รองลงมา คือ สีย้อม BY1 เท่ากับ 24.56 มิลลิกรัมต่อกรัม สีย้อม AB45 เท่ากับ 10.58 มิลลิกรัมต่อกรัม และสารลดแรงตึงผิว LAS เท่ากับ 2.85 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองแบบคอลัมน์มีแนวโน้มเดียวกับผลการทดลองแบบที่ละเท สำหรับกรณีไม่ผสมสาร คือ มีความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC มากที่สุด รองลงมา สีย้อม BY1 สีย้อม AB45 และสารลดแรงตึงผิว LAS ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 แต่สำหรับกรณีสารลดแรงตึงผิวผสมกับสีย้อมมีแนวโน้มแตกต่างกัน

จากข้อมูล ความสามารถในการดูดซับแบบที่ละเทและแบบคอลัมน์ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ความสามารถในการดูดซับแบบคอลัมน์น้อยกว่าแบบที่ละเท โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผสมระหว่างสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว อาจเนื่องมาจากใช้อัตราการไหลที่มีค่ามากเกินไป (5 มิลลิลิตรต่อนาที) ทำให้มีเวลาในการเก็บกักไม่เพียงพอในการที่สารละลายจะเข้าสู่คอลัมน์ (Padmesh และคณะ, 2005) ดังแสดงในตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า เวลาในการเก็บกักน้อยกว่าเวลาที่เข้าสู่สมดุลของสีย้อมที่เวลา 120 นาทีและสารลดแรงตึงผิวที่เวลา 180 นาที(แบบที่ละเท) ซึ่งจะทำให้เวลาในจุดแตกหัก (Breakthrough point) ลดลง (Goel และคณะ, 2005) จึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสารละลายลดลง นอกจากนี้อาจจะเกี่ยวข้องกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ ซึ่งจากงานวิจัยของ Al-Ghoutic และคณะ (2007) พบว่า เมื่อเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอลัมน์ทำให้ความสามารถในการดูดซับสารละลายเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาลักษณะความปั่นป่วนระหว่างคอลัมน์และแบบที่ละเท จะเห็นได้ว่า การดูดซับแบบที่ละเทมีความปั่นป่วนดีกว่าแบบคอลัมน์ทำให้ตัวกลางดูดซับสามารถดูดซับมลสารได้ดี

ดังนั้น การที่เราจะเลือกใช้อัตราไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที สำหรับการทดลองกับคอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 2.5 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตรจึงไม่เหมาะสม เพราะฉะนั้น ถ้าจะใช้คอลัมน์ขนาดเดียวกับการทดลองนี้ในการทำการทดลองครั้งต่อไป จึงควรเลือกอัตราการไหลให้น้อยกว่า 5 มิลลิลิตรต่อนาที

ตารางที่ 4.15 ความสามารถในการดูดซับแบบคอลัมน์ด้วยวิธีหาพื้นที่เหนือกราฟ Breakthrough curve และ Thomas equation

สารถูกดูดซับ	ความเข้มข้น (มก./ล)	ความสามารถในการดูดซับ							
		คำนวณจากพื้นที่เหนือกราฟ (q) (มก./ก)		คำนวณจาก Thomas equation					
				q ₀ (มก./ก)		k ₁ (ลิตร/ชม.มก.)		R ²	
		สี่เหลี่ยม	สารถัดแรงดึงผิว	สี่เหลี่ยม	สารถัดแรงดึงผิว	สี่เหลี่ยม	สารถัดแรงดึงผิว	สี่เหลี่ยม	สารถัดแรงดึงผิว
BY1	100	24.565	-	11.332		7.93E-04	-	0.8494	-
AB45	100	10.582	-	4.946		2.21E-04	-	0.2817	-
CPC	200	-	65.565	-	56.983		2.26E-05	-	0.2534
LAS	300	-	2.858	-	8.338		3.86E-05	-	0.5670
BY1+CPC	50+150	3.120	12.195	-0.646	26.217	1.40E-04	4.10E-05	0.3368	0.4830
BY1+CPC	150+100	2.840	2.711	5.357	4.058	1.97E-04	3.15E-04	0.8498	0.8099
AB45+LAS	50+200	0.386	0.633	11.332	4.107	4.64E-04	1.06E-04	0.9123	0.9650
AB45+LAS	150+100	0.465	0.341	4.946	1.123	7.93E-04	2.55E-04	0.9023	0.7736

หมายเหตุ : q, q₀ ความสามารถในการดูดซับสูงสุด ยกเว้นกรณีสี่เหลี่ยม BY1

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับแบบคอลัมน์ และแบบทีละเท

สารถูกดูดซับ	ประจุ	ความเข้มข้น (มก./ล)	ความสามารถในการดูดซับ				ความสามารถในการดูดซับของคอลัมน์ลดลง (ร้อยละ)	
			แบบทีละเท (batch) (มก./ก)*		แบบคอลัมน์ (column) (คำนวณจากพื้นที่เหนือกราฟ) (มก./ก)			
			สี่เหลี่ยม	สารถัดแรงดึงผิว	สี่เหลี่ยม	สารถัดแรงดึงผิว	สี่เหลี่ยม	สารถัดแรงดึงผิว
BY1	บวก	100	29.240	-	24.565	-	15.99	-
AB45	ลบ	100	19.194	-	10.582	-	44.87	-
CPC	บวก	200	-	76.336	-	65.565	-	14.11
LAS	ลบ	300	-	7.981	-	2.858	-	64.19
BY1+CPC	บวก+ บวก	50+150	8.800	44.270	3.120	12.195	-	72.45
BY1+CPC	บวก+ บวก	150+100	5.500	3.000	2.840	2.711	64.55	72.45
AB45+LAS	ลบ+ ลบ	50+200	4.000	0.840	0.386	0.633	48.36	9.63
AB45+LAS	ลบ+ ลบ	150+100	3.880	1.500	0.465	0.341	90.35	24.64

หมายเหตุ * ค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดคิดจากค่า q_m ของสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์

4.6 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกับตัวกลางดูดซับชนิดอื่น ๆ

ความสามารถในการดูดซับสีย้อม (BY1, MB, AB45) และสารลดแรงตึงผิว (TX100, CPC, LAS) ของตัวกลางเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวกลางชนิดอื่นๆ ดังแสดงในตาราง ที่ 4.17 พบว่า มีความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าตัวกลางชนิดอื่นๆ แต่ในที่นี้ยังไม่ได้คิดค่าใช้จ่ายในการเตรียมตัวกลางดูดซับชนิดต่างๆ ดังนั้น ถ้าต้องการจะใช้เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์จะคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการเตรียม ความสามารถในการดูดซับและการนำไปใช้กับน้ำเสียจริง

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกับตัวกลางดูดซับชนิดอื่น ๆ

สารถูกดูดซับ	ตัวกลางดูดซับ	ความสามารถในการดูดซับสูงสุด (มก. / ก)	อ้างอิง
BY1	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC)	490.68	ปรวงศิริ ศรีศุภพัชร, 2551
	สลัดจ์ไม่ถูกกระตุ้น	54.30	ปรวงศิริ ศรีศุภพัชร, 2551
	hexagonal mesoporous silicates (HMSs)	23.00	Punyapalakul และ Takizawa (2006)
	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์	29.24	งานวิจัยนี้
MB	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC)	440	Kannan และ Sundaram (2001)
	ดินเหนียว	272	Chang และ Juang (2004)
	เม็ดไคโตซาน (chitosan bead)	202	Chang และ Juang (2005)
	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์	31.75	งานวิจัยนี้
AB45	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC)	50.00	Mohamed (2004)
	FSM-16	55.40	Mohamed (2004)
	3-aminopropyltriethoxy hexagonal mesoporous silicates (AM-HMS)	28.00	Punyapalakul และ Takizawa (2006)
	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์	19.19	งานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

TX100	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC)	310.00	Punyapalakul และ Takizawa (2006)
	Titanium-substituted HMS (Ti-HMS)	720.00	Punyapalakul และ Takizawa (2006)
	ดิน	110.00	Guangzhi และคณะ (2009)
	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์	ไม่สามารถดูดซับได้	งานวิจัยนี้
CPC	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC)	53.07	Choi และ คณะ (2009)
	Activated carbon cloth (ACC)	323.93	Duman และ Ayranci (2010)
	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์	76.33	งานวิจัยนี้
LAS	เกล็ดไคโตซาน (chitosan flake)	100.00	Lukaszczuk และคณะ (2004)
	เซลลูโลส	425.00	Lukaszczuk และคณะ (2004)
	เม็ดไคโตซาน (chitosan bead)	740.00	Chang และ Juang (2005)
	เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์	7.98	งานวิจัยนี้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แมงกานีสออกไซด์เคลือบเศษแก้ว สีชาที่ได้จากกระบวนการบดขูดแก้วที่ไม่ใช้แล้วจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตและหลอมขวดแก้วมากำจัดสีขุ่นและสารลดแรงตึงผิว รวมถึงการคัดเลือกมลสารระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสีขุ่น จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ คือระยะเวลาในการ กวนผสมระหว่างสารละลายแมงกานีสคลอไรด์กับเศษแก้ว ที่ 10 ชั่วโมง โดยใช้ความเข้มข้นแมงกานีสคลอไรด์ 2.5 โมลาร์ ซึ่งมีการชะละลาย ของแมงกานีสออกมา ค่อนข้างต่ำ และมีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดี

5.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของพบว่า เศษแก้ว มีลักษณะพื้นผิวที่ราบเรียบ โดยมีพื้นที่ผิว 2.08 ตารางเมตรต่อกรัม ส่วนเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็น 16.31 ตารางเมตรต่อกรัม เนื่องจากความขรุขระ ซึ่งตัวกลางทั้งสองชนิดนี้เป็นตัวกลางที่ไม่มีรูพรุน เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเศษแก้วและ เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ แสดงให้เห็นว่า ตัวกลาง เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ มีแมงกานีสออกไซด์เคลือบอยู่บนตัวกลางจริง และมีค่าพีเอชที่ให้ความหนาแน่นของประจุบนพื้นผิวเป็นศูนย์ (Point of Zero Charge , pH_{pzc}) ของเศษแก้วและเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ เท่ากับ 9.77 และ 6.50 ตามลำดับ

5.1.3 จลนศาสตร์การดูดซับ พบว่า เศษแก้วไม่สามารถดูดซับสีขุ่นและสารลดแรงตึงผิวได้ ส่วน เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ สามารถดูดซับสีขุ่น BY1 สีขุ่น AB45 ได้ โดยเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 120 นาที ขณะที่สีขุ่นเมทิลีนบลู จะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 180 นาที ส่วนสารลดแรงตึงผิว CPC กับ LAS จะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 180 นาทีสอดคล้องกับเป็นปฏิกิริยาอันดับสองเหมือน แต่ตัวกลางดูดซับทุกชนิดไม่สามารถดูดซับ สารลดแรงตึงผิว TX100 ได้

5.1.4 การดูดซับสีขุ่นและสารลดแรงตึงผิวของ เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ สอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ แสดงว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

5.1.5 การศึกษาผลกระทบของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการดูดซับ สีย้อม BY1 และสารลดแรงตึงผิว CPC มีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดที่พีเอช 9 ส่วนสีย้อม AB45 และสารลดแรงตึงผิว LAS มีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดที่พีเอช 5 แต่สารลดแรงตึงผิว TX100 ไม่พบการดูดซับ โดยประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม BY1 สีย้อม AB45 สารลดแรงตึงผิว CPC และ สารลดแรงตึงผิว LAS ของเศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ดูดซับสัมพันธ์กับแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างประจุ แต่อาจจะมีแรงอื่นๆประกอบด้วย เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน หรือ พันธะไฮโดรเจน

5.1.6 การคัดเลือกมลสารระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสีย้อม ในกรณี สารลดแรงตึงผิว TX100 ผสม สีย้อม BY1และสารลดแรงตึงผิว TX100 ผสม สีย้อม AB45 พบว่า สีย้อมและสารลดแรงตึงผิวส่งผลกระทบต่อ การดูดซับ ต่อกันน้อยมาก ส่วนในกรณีสารลดแรงตึงผิว CPC ผสม สีย้อม BY1และ LAS ผสม สีย้อม AB45 พบว่า สีย้อมและสารลดแรงตึงผิวต่างส่งผลกระทบต่อ การดูดซับซึ่งกันและกัน โดยประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม BY1 และ AB45 ลดลงประมาณร้อยละ 65 และ 80 ตามลำดับ และการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC และ LAS ลดลงประมาณร้อยละ 42 และ 90 ตามลำดับ

5.1.7 การดูดซับแบบ คอลลิมน์มีแนวโน้มเดียว กันกับการดูดซับแบบที่ละเท แต่ความสามารถในการดูดซับแบบคอลลิมน์น้อยกว่าแบบที่ละเทในกรณีไม่มีการผสมสาร สำหรับกรณี สารลดแรงตึงผิวผสมสีย้อมมีแนวโน้มที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้ว่า เศษแก้วเคลือบแมงกานีสออกไซด์ มีความเป็นไปได้ในการนำมากำจัดสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว และสามารถคัดเลือกมลสารได้ดีในกรณีที่สารละลายสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุผสมกับสีย้อม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการนำเศษแก้วมาเคลือบด้วยโลหะออกไซด์ชนิดอื่นๆ เช่น เหล็กออกไซด์

5.2.2 ควรศึกษาการนำเศษแก้วมาเคลือบแมงกานีสออกไซด์ กำจัดมลสารชนิดอื่น เช่น โลหะหนัก

5.2.3 ควรศึกษาการคัดเลือกมลสารระหว่างสีย้อมกับสารอื่นๆ ที่ปะปนมากับน้ำเสียสีย้อม เช่น อิเล็กโตรไลต์ชนิดต่างๆ และโลหะหนัก

5.2.4 ควรศึกษาการนำเศษแก้วมาเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ในการใช้กับน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กวรรณิการ์ รักกิจ.2547. การกำจัดไอน้ำของแฉะออกจากน้ำเสียโดยการดูดซับบนถ่านกัมมันต์
วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- ควบคุมมลพิษกรม. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมฟอกย้อม.
[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_water.cfm?task=protect [2552, มีนาคม 8]
- เคมีวิศวกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. Surface Area and Porosity Analyzer (BET).
[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.kmitl.ac.th/sisc /XRF/GettingStartOf_XRFs.htm.
[2551, สิงหาคม 28]
- จรรยาพร พุ่มงาม.2545. การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกหอยแครงและเปลือก
หอยแมลงภู่. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิรสา กรงกรด. สารลดแรงตึงผิว. [ออนไลน์]. 2548. แหล่งที่มา: www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_7_2548_surfactant.pdf . [2552, มีนาคม 8]
- ชฎาภรณ์ บุญแท้. 2545. การดูดซับโลหะหนักบางชนิดจากน้ำเสียด้วยดินเบา. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- มณฑา จันทร์เกิดเลิศ. 2541. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร :หอรตน์ชัยการพิมพ์.
- ปรางศิริ ศรีสุภาพพร.2551. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมโดยถ่านกัมมันต์ และ
สไลด์จ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสไลด์จ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต,
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- ปานัสร์ม อังกูรอดิศัย และพิมพ์ประภา การุณมรรคผล.2550. วัฏจักรของบรรจุภัณฑ์ประเภทแก้ว
ของสินค้าบริโภค. โครงการงานวิศวกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พนจิตร ธนสิน. 2539. การกำจัดสังกะสีและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวกลางทรายเคลือบออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรเพ็ญ มีทองมูล. 2545. การดูดซับโลหะหนักบางชนิดจากน้ำเสียด้วยดินเบาเคลือบแมงกานีสออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2543. เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. X-ray fluorescence spectrometry (XRF) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRF/GettingStartOf_XRFs.htm. [2552, มีนาคม 8]

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2544. คู่มือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าและฟอกย้อม. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

อรรถัย สีสภาพนาพร. Fourier Transform Infrared Spectrometer [ออนไลน์]. 2546. แหล่งที่มา: www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/lpd_10_2546_ft-ir.pdf [2551, สิงหาคม 28]

ภาษาอังกฤษ

- Akbas, h. and Kartal, C. Conductometric studies of the interaction of C.I. reactive orange 16 with cationic alkyltrimethylammonium bromide surfactants. Dyes and Pigments. 72 (2007): 383-386.
- Al-Ghouti, M.A., Khraisheh, M.A.M., Allen, M.S.J. and Ahmad, M.N.M. The removal of dyes from textile wastewater : a study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth. Journal of Environmental Management. 69 (2003): 229–238.
- Al-Ghouti, M.A., Khraisheh, M.A.M., Allen, M.S.J. and Ahmad, M.N.M. Microcolumn studies of dye adsorption onto managanese oxide modified diatomite. Journal of Hazardous Materials.146 (2007): 316–327.
- Atun, G., Hisarli, G. and Tuncay, M. Adsorption of safranin-O on hydrophilic and hydrophobic glass surfaces. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 143 (1998): 27–33.
- Benjamin, M.M. Water Chemistry. Mc Graw Hill.2002.
- Biemann, M., Claibornefj, Al., Ghisla, S., Masseyfji, V. and Hemmerich, P. Oxidation of 2-Thioflavins by Peroxides. The journal of Biological Chemistry. 258 (1983): 5440-5448.
- Cestari, A.R., Vieira, E.F.S., Vieira, G.S. and Almeida, L.E. The removal of anionic dyes from aqueous solutions in the presence of anionic surfactant using aminopropylsilica—A kinetic study. Journal of Hazardous Materials. 138 (2006): 133–141.
- Chang, M.Y. and Juang, R.S. Adsorption of tannic acid, humic acid, and dyes from water using the composite of chitosan and activated clay. J. Colloid Interf. Sci. 278 (2004): 18–25.
- Chang, M.Y. and Juang, R.S. Equilibrium and kinetic studies on the adsorption of surfactant, organic acids and dyes from water onto natural biopolymers. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects .269 (2005) :35–46.

- Choppinet, P., Jullien, L. and Valeur, B. Multichromophoric cyclodextrins as fluorescent sensors. Interaction of heptachromophoric α -cyclodextrins with surfactants. J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2 (1999): 249–255.
- Choi, H.D., Jung, W.S., Cho, J.M., Ryu, B.G., Yang, J.S. and Baek, K. Adsorption of Cr(VI) onto cationic surfactant-modified activated carbon. Journal of Hazardous Materials. 166 (2009): 642–646.
- Dumana, O. and Ayranci, E. Adsorptive removal of cationic surfactants from aqueous solutions onto high-area activated carbon cloth monitored by in situ UV spectroscopy. Journal of Hazardous Materials. 174 (2010): 359–367.
- Eren, E.I. Removal of basic dye by modified Unye bentonite. Journal of Hazardous Materials. 162 (2009): 1355–1363.
- Forstner and Wittman. Metal transfer between solid and aqueous phase. Metal pollution in the Aquatic Environment, 1981.
- Goel, J., Kadirvelu, K., Rajagopal, C. and Garg, V.K. Removal of lead(II) by adsorption using treated granular activated carbon: Batch and column studies. Journal of Hazardous Materials. 125 (2005): 211–220.
- Guangzhi, Z., Hao, H., Weiling, S. and Jinren, N. Sorption of Triton X-100 on soil organic matter fractions: Kinetics and isotherms. Journal of Environmental Sciences. 21 (2009): 795–800.
- Gulnaz, O., Kaya, A. and Dincer, S. The reuse of dried activated sludge for adsorption of reactive dye. Journal of Hazardous Materials. 134 (2006): 190–196.
- Gupta, G.S., Prasad, G. and Singh, V.N. Removal of chrome dye from aqueous solution by mixed adsorbents: fly ash and coal. Water Research. 24 (1990): 45–50.
- Han, R., Zou, W., Zhang, Z., Shi, J. and Yang, J. Removal of copper(II) and lead(II) from aqueous solution by manganese oxide coated sand: I. Characterization and kinetic study. Journal of Hazardous Materials. 137 (2006): 384–395.
- Ho, Y.S. and McKay, G. The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. Water Research. 34 (2000): 735–742.

- International program on chemical safety environmental health. Linear alkylbenzene sulfonates and related compounds. [Online]. Available from :
<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc169.htm#PartNumber:1> .
[2010, March 6]
- Janos, P. and Smidova, V. Effects of surfactants on the adsorptive removal of basic dyes from water using an organomineral sorbent—iron humate. Journal of Colloid and Interface Science. 291 (2005)
- Julien, C.M. Local structure of lithiated manganese oxides. Solid State Ionics. 177 (2006): 11-19.
- Kannan, N. and Sundaram, M.M. Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbon-a comparative study. Dyes Pigments 51 (2001):25–40.
- Klimiuk, E., Kabardo, K., Gusiatin, Z. and Filipkowska, U. The adsorption of reactive dyes from mix containing surfactants onto chitin. Polish Journal of Environmental Studies.14 (2005): 771-780.
- Khraisheh, M. A.M., Al-Ghouti, M. A., Allen, S. J. and Ahmad, M. N. M. The effect of pH, temperature, and molecular size on the removal of dyes from textile effluent using manganese oxides-modified diatomite. Water Environment Research. 76 (2004): 2655-2663.
- Lukaszczyk, J., Lekawska, E., Lunkwitz, K. and Petzold, G. Sorbents for removal of surfactant from aqueous solution: surface modification of natural solids to enhance sorption ability. J. Appl. Polym. Sci. 92 (2004):1510-1515.
- Mohamed, M.M. Acid dye removal: comparison of surfactant-modified mesoporous FSM-16 with activated carbon derived from rice husk. Journal of Colloid and Interface Science. 272 (2004): 28–34.
- Moltke, S. and Heyn, P. Photovoltage Kinetics of the Acid-Blue and Acid-Purple Forms of Bacteriorhodopsin: Evidence for No Net Charge Transfer. Biophysical Journal 69 (1995): 2066-2073.
- Netpradit, S., Thiravetyan, P. and Towprayoon, S. Application of 'waste' metal hydroxide sludge for adsorption of azo reactive dyes. Water Research . 37 (2003): 763–772.

- Neuroprotection. Methylene blue [Online]. Available from : <http://homepage.psy.utexas.edu/homepage/students/Rojas-Martinez/strategies/strategies.html> .
.[2010, March 6]
- Ou, Z., Yediler, A., He, Y., Jia, L., Kettrup, A. and Sun, T. Adsorption of linear benzene sulfonate (LAS) on soils. Chemosphere. 32 (1996): 827-839.
- Padmesh, T.V.N., Vijayaraghavan, K., Sekaran, G. and Velan, M. Batch and column studies on biosorption of acid dyes on fresh water macro alga *Azolla filiculoides*. Journal of Hazardous Materials .125 (2005): 121–129.
- Punyapalakul, P. and Takizawa, S. Selective adsorption of nonionic surfactant on hexagonal mesoporous silicates (HMSs) in the presence of ionic dyes. Water Research. 40 (2006): 3177 – 3184
- Reynolds, T.D. and Richards, P.A. Unit operations and processes in environmental engineering. Second Edition. PWS Publishing company, 1996.
- Schoonheyd, R.A. and Cenens, J. Visible spectroscopy of methylene blue on hectorite, Laponite B and BARASYM in aqueous suspension. Clays and Clay Minerals. 36 (1988): 214-224.
- Soonglendsongpha, S. Removal of haloacetic acid by adsorption on mesoporous silicates. The Master's Thesis, Department of Science Program in Environmental Management Chulalongkorn University, 2006.
- Talman, R.Y. and Atun, G. Effects of cationic and anionic surfactants on the adsorption of toluidine blue onto fly ash. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects . 281 (2006): 15–22.
- Tripathi, S. and Brown, D.R. Effects of Linear Alkylbenzene Sulfonate on the Sorption of Brij 30 and Brij 35 onto Aquifer Sand. Environ. Sci. Technol. 42 (2008): 1492–1498.
- Zou, W., Han, R., Chen, Z., Jinghua, Z. and Shi, J. Kinetic study of adsorption of Cu(II) and Pb(II) from aqueous solutions using manganese oxide coated zeolite in batch mode. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 279 (2006): 238–246.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ ก1 ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อม BY1

เวลา (นาทีก)	ความเข้มข้นสีย้อม (มก./ล.)	q_e	q_t	$\log (q_e-gt)$	t/q_t
0	49.495	8.534	0.000	0.931	0.000
5	24.263	8.534	5.046	0.543	0.991
10	14.477	8.534	7.004	0.185	1.428
30	9.440	8.534	8.011	-0.282	3.745
60	8.768	8.534	8.146	-0.411	7.366
120	6.826	8.534	8.534	-	14.061
180	6.505	8.534	8.598	-	20.935
240	5.144	8.534	8.870	-	27.056
300	5.220	8.534	8.855	-	33.879
360	4.211	8.534	9.057	-	39.749

หมายเหตุ: - หมายถึง หาค่าไม่ได้

ตารางที่ ก2 ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสีย้อม AB45

เวลา (นาทีก)	ความเข้มข้นสีย้อม (มก./ล.)	q_e	q_t	$\log (q_e-gt)$	t/q_t
0	48.068	6.463	0.000	0.810	0.000
5	38.068	6.463	2.000	0.650	2.500
10	30.558	6.463	3.502	0.472	2.856
30	27.389	6.463	4.136	0.367	7.254
60	18.600	6.463	5.894	-0.244	10.181
120	15.751	6.463	6.463	-5.423	18.566
180	14.732	6.463	6.667	-	26.998
240	13.864	6.463	6.841	-	35.084
300	13.826	6.463	6.848	-	43.806
360	13.298	6.463	6.954	-	51.769

หมายเหตุ: - หมายถึง หาค่าไม่ได้

ตารางที่ ก3 ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)	q_e	q_t	$\log (q_e - qt)$	t/q_t
0	99.913	0.174	0.000	-0.760	0.000
5	99.913	0.174	0.000	-0.760	-
10	99.913	0.174	0.000	-0.760	-
30	99.478	0.174	0.087	-1.061	345.000
60	99.043	0.174	0.174	-	345.000
120	99.478	0.174	0.087	-1.061	1380.000
180	99.043	0.174	0.174	-	1035.000
240	98.609	0.174	0.261	-	920.000
300	96.435	0.174	0.696	-	431.250
360	98.609	0.174	0.261	-	1380.000

หมายเหตุ: - หมายถึง หาค่าไม่ได้

ตารางที่ ก4 ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)	q_e	q_t	$\log (q_e - qt)$	t/q_t
0	99.763	17.627	0.000	1.246	0.000
5	64.763	17.627	7.000	1.026	0.714
10	59.000	17.627	8.153	0.977	1.227
30	26.203	17.627	14.712	0.465	2.039
60	20.610	17.627	15.831	0.254	3.790
120	19.339	17.627	16.085	0.188	7.460
180	11.627	17.627	17.627	-	10.212
240	13.492	17.627	17.254	-0.428	13.910
300	11.373	17.627	17.678	-	16.970
360	11.288	17.627	17.695	-	20.345

หมายเหตุ: - หมายถึง หาค่าไม่ได้

ตารางที่ ก5 ข้อมูลจลนศาสตร์การดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)	q_e	q_t	$\log (q_e - q_t)$	t/q_t
0	99.386	4.724	0.000	0.674	0.000
5	96.177	4.724	0.642	0.611	7.793
10	86.826	4.724	2.512	0.345	3.981
30	93.174	4.724	1.242	0.542	24.148
60	87.031	4.724	2.471	0.353	24.282
120	87.304	4.724	2.416	0.363	49.661
180	75.768	4.724	4.724	-	38.107
240	76.041	4.724	4.669	-1.263	51.404
300	73.720	4.724	5.133	-	58.444
360	73.379	4.724	5.201	-	69.213

หมายเหตุ: - หมายถึง หาค่าไม่ได้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสี้อมและสารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ ข1 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม BY1 ที่พีเอช 5

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
25.00	0.5001	5.348	3.930	1.361	0.728	0.594
50.00	0.5005	10.624	7.867	1.350	1.026	0.896
100.00	0.5002	27.888	14.417	1.934	1.445	1.159
150.00	0.5008	65.430	16.887	3.875	1.816	1.228
200.00	0.5009	104.430	19.080	5.473	2.019	1.281
250.00	0.5001	148.980	20.200	7.375	2.173	1.305
300.00	0.5001	188.760	22.244	8.486	2.276	1.347

ตารางที่ ข2 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม AB45 ที่พีเอช 5

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
25.00	0.5001	4.397	4.120	1.067	0.643	0.615
50.00	0.5004	8.615	8.270	1.042	0.935	0.918
100.00	0.5003	24.231	15.145	1.600	1.384	1.180
150.00	0.5004	55.160	18.953	2.910	1.742	1.278
200.00	0.5002	100.308	19.930	5.033	2.001	1.300
250.00	0.5001	148.540	20.288	7.322	2.172	1.307
300.00	0.5001	201.380	19.720	10.212	2.304	1.295

ตารางที่ ข3 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 ที่พีเอช 5

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
50.00	0.5001	49.220	0.156	315.576	1.692	-0.807
100.00	0.5003	99.080	0.184	538.801	1.996	-0.735
200.00	0.5006	198.830	0.234	850.720	2.298	-0.631
300.00	0.5002	298.750	0.250	1195.478	2.475	-0.602
400.00	0.5003	398.770	0.246	1621.989	2.601	-0.609
500.00	0.5001	498.780	0.244	2044.589	2.698	-0.613
600.00	0.5001	598.760	0.248	2414.838	2.777	-0.606

ตารางที่ ข4 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC ที่พีเอช 5

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
50.00	0.5002	1.257	9.745	0.129	0.099	0.989
100.00	0.5003	5.760	18.837	0.306	0.760	1.275
200.00	0.5005	8.478	38.266	0.222	0.928	1.583
300.00	0.5004	44.522	51.055	0.872	1.649	1.708
400.00	0.5009	86.487	62.590	1.382	1.937	1.797
500.00	0.5001	185.980	62.791	2.962	2.269	1.798
600.00	0.5001	287.770	62.434	4.609	2.459	1.795

ตารางที่ ข5 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS ที่พีเอช 5

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
50.00	0.5002	25.550	4.888	5.227	1.407	0.689
100.00	0.5007	66.065	6.778	9.748	1.820	0.831
200.00	0.5004	147.623	10.467	14.104	2.169	1.020
300.00	0.5001	246.660	10.666	23.126	2.392	1.028
400.00	0.5003	345.860	10.822	31.960	2.539	1.034
500.00	0.5001	445.740	10.850	41.083	2.649	1.035
600.00	0.5001	545.580	10.882	50.137	2.737	1.037

ตารางที่ ข6 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม BY1 ที่พีเอช 7

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
25.00	0.5003	3.711	4.255	0.872	0.570	0.629
50.00	0.5004	8.784	8.237	1.066	0.944	0.916
100.00	0.5002	21.437	15.706	1.365	1.331	1.196
150.00	0.5002	52.409	19.510	2.686	1.719	1.290
200.00	0.5003	92.888	21.410	4.339	1.968	1.331
250.00	0.5005	131.200	23.736	5.527	2.118	1.375
300.00	0.5001	163.950	27.205	6.027	2.215	1.435

ตารางที่ ข7 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม AB45 ที่พีเอช 7

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
25.00	0.5001	8.234	3.353	2.456	0.916	0.525
50.00	0.5006	15.625	6.867	2.275	1.194	0.837
100.00	0.5003	32.532	13.485	2.412	1.512	1.130
150.00	0.5002	68.378	16.318	4.190	1.835	1.213
200.00	0.5005	116.679	16.647	7.009	2.067	1.221
250.00	0.5001	166.210	16.755	9.920	2.221	1.224
300.00	0.5002	215.860	16.821	12.833	2.334	1.226

ตารางที่ ๗8 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 ที่พีเอช 7

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
50.00	0.5002	49.030	0.194	252.884	1.690	-0.712
100.00	0.5001	98.980	0.204	485.584	1.996	-0.691
200.00	0.5000	198.420	0.316	628.288	2.298	-0.501
300.00	0.5005	298.320	0.336	888.745	2.475	-0.474
400.00	0.5002	398.360	0.328	1215.241	2.600	-0.484
500.00	0.5000	498.400	0.320	1558.123	2.698	-0.495
600.00	0.5000	598.410	0.318	1882.169	2.777	-0.498

ตารางที่ ๗9 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC ที่พีเอช 7

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
50.00	0.5001	1.013	9.795	0.103	0.006	0.991
100.00	0.5004	9.835	18.019	0.546	0.993	1.256
200.00	0.5003	9.887	38.000	0.260	0.995	1.580
300.00	0.5002	18.609	56.256	0.331	1.270	1.750
400.00	0.5001	65.100	66.967	0.972	1.814	1.826
500.00	0.5006	145.770	70.761	2.060	2.164	1.850
600.00	0.5005	239.760	71.976	3.331	2.380	1.857

ตารางที่ ข10 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS ที่พีเอช 7

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	C_e/q_e	$\log C_e$	$\log q_e$
50.00	0.5002	33.505	3.298	10.160	1.525	0.518
100.00	0.5001	75.320	4.935	15.262	1.877	0.693
200.00	0.5004	163.134	7.367	22.143	2.213	0.867
300.00	0.5001	262.443	7.510	34.946	2.419	0.876
400.00	0.5002	362.973	7.403	49.034	2.560	0.869
500.00	0.5001	462.320	7.534	61.360	2.665	0.877
600.00	0.5000	563.420	7.307	77.104	2.751	0.864

ตารางที่ ข11 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม BY1 ที่พีเอช 9

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
25.00	0.5003	2.653	4.467	0.594	0.424	0.650
50.00	0.5005	6.450	8.701	0.741	0.810	0.940
100.00	0.5008	16.292	16.715	0.975	1.212	1.223
150.00	0.5008	47.430	20.481	2.316	1.676	1.311
200.00	0.5009	82.975	23.363	3.552	1.919	1.369
250.00	0.5003	122.540	25.477	4.810	2.088	1.406
300.00	0.5001	147.540	30.486	4.840	2.169	1.484

ตารางที่ ข12 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสีย้อม AB45 ที่พีเอช 9

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
25.00	0.5001	10.551	2.889	3.652	1.023	0.461
50.00	0.5002	21.619	5.674	3.810	1.335	0.754
100.00	0.5003	45.801	10.833	4.228	1.661	1.035
150.00	0.5004	93.718	11.247	8.332	1.972	1.051
200.00	0.5007	144.038	11.177	12.887	2.158	1.048
250.00	0.5001	191.210	11.756	16.265	2.282	1.070
300.00	0.5000	243.210	11.358	21.413	2.386	1.055

ตารางที่ ข13 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว TX100 ที่พีเอช 9

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
50.00	0.5001	49.770	0.046	1082.173	1.697	-1.337
100.00	0.5003	99.250	0.156	636.407	1.997	-0.807
200.00	0.5006	199.760	0.158	1262.336	2.299	-0.802
300.00	0.5002	299.450	0.158	1894.492	2.476	-0.802
400.00	0.5001	399.560	0.160	2495.499	2.601	-0.796
500.00	0.5001	499.270	0.158	3160.189	2.698	-0.801
600.00	0.5001	599.850	0.158	3793.227	2.778	-0.801

ตารางที่ ข14 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว CPC ที่พีเอช 9

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
50.00	0.5002	1.590	9.678	0.164	0.201	0.986
100.00	0.5005	3.209	19.339	0.166	0.506	1.286
200.00	0.5005	5.230	38.915	0.134	0.719	1.590
300.00	0.5007	20.609	55.800	0.369	1.314	1.747
400.00	0.5009	53.420	69.191	0.772	1.728	1.840
500.00	0.5001	119.320	76.121	1.568	2.077	1.882
600.00	0.5001	219.430	76.099	2.883	2.341	1.881

ตารางที่ ข15 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับสารลดแรงตึงผิว LAS ที่พีเอช 9

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	น้ำหนักตัวกลางดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นที่สมดุล (มก./ล.)	ความสามารถในการดูดซับ (มก./ก.)	Ce/ q _e	log Ce	log q _e
50.00	0.5001	42.784	1.443	29.649	1.631	0.159
100.00	0.5007	81.976	3.600	22.773	1.914	0.556
200.00	0.5004	175.979	4.800	36.660	2.245	0.681
300.00	0.5001	276.749	4.653	59.468	2.442	0.668
400.00	0.5003	377.701	4.657	80.889	2.576	0.668
500.00	0.5000	479.431	4.653	102.444	2.678	0.668
600.00	0.5001	566.501	4.659	123.786	2.761	0.668

ภาคผนวก ค
ข้อมูลการดูดซับสีย้อม สารลดแรงตึงผิวและ
สารลดแรงตึงผิวผสมสีย้อมแบบคอลัมน์

ตารางที่ ค 1 ผลการทดลองคอลัมน์ของสี่ย้อม BY1 ความเข้มข้นเริ่มต้น 98.773 มก./ล
อัตราการไหล 5 มล./นาที ที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นตัวกลาง 4.015 มิลลิลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล)	C/C ₀	ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume (BV)
0	0.000	0.000	0	0.000
5	0.000	0.000	25	6.227
10	0.015	0.000	50	12.453
15	0.015	0.000	75	18.680
20	0.015	0.000	100	24.907
25	0.031	0.000	125	31.133
30	0.031	0.000	150	37.360
35	0.031	0.000	175	43.587
40	0.031	0.000	200	49.813
45	0.046	0.000	225	56.040
50	0.061	0.001	250	62.267
55	1.043	0.011	275	68.493
60	1.043	0.011	300	74.720
65	0.844	0.009	325	80.946
70	0.813	0.008	350	87.173
75	0.951	0.010	375	93.400
80	0.951	0.010	400	99.626
85	2.837	0.029	425	105.853
90	7.055	0.071	450	112.080
95	30.982	0.314	475	118.306
100	63.037	0.638	500	124.533
105	80.675	0.817	525	130.760
110	96.472	0.977	550	136.986
115	96.933	0.981	575	143.213
120	97.853	0.991	600	149.440
125	98.006	0.992	625	155.666
130	97.699	0.989	650	161.893
135	98.466	0.997	675	168.120
140	98.313	0.995	700	174.346
145	98.160	0.994	725	180.573
150	98.160	0.994	750	186.800
155	98.466	0.997	775	193.026
160	98.466	0.997	800	199.253
165	98.466	0.997	825	205.479
170	98.466	0.997	850	211.706
175	98.006	0.992	875	217.933
180	98.313	0.995	900	224.159
185	98.313	0.995	925	230.386
190	98.160	0.994	950	236.613
195	98.466	0.997	975	242.839
200	98.313	0.995	1000	249.066
205	98.313	0.995	1025	255.293
210	98.313	0.995	1050	261.519
215	98.620	0.998	1075	267.746
220	98.313	0.995	1100	273.973
225	98.620	0.998	1125	280.199
230	98.620	0.998	1150	286.426
235	98.313	0.995	1175	292.653
240	98.620	0.998	1200	298.879

ตารางที่ ค2 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อม AB45 ความเข้มข้นเริ่มต้น 100.883 มก./ล อัตราการไหล 5 มล./นาที ที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นตัวกลาง 4.015 มิลลิลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล)	C/C ₀	ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume (BV)
0	0.000	0.000	0	0.000
5	0.000	0.000	25	6.227
10	0.000	0.000	50	12.453
15	4.329	0.043	75	18.680
20	10.018	0.099	100	24.907
25	49.293	0.489	125	31.133
30	68.551	0.680	150	37.360
35	77.562	0.769	175	43.587
40	80.035	0.793	200	49.813
45	84.276	0.835	225	56.040
50	88.516	0.877	250	62.267
55	90.636	0.898	275	68.493
60	91.166	0.904	300	74.720
65	92.049	0.912	325	80.946
70	94.700	0.939	350	87.173
75	93.110	0.923	375	93.400
80	93.640	0.928	400	99.626
85	93.816	0.930	425	105.853
90	93.110	0.923	450	112.080
95	93.286	0.925	475	118.306
100	93.286	0.925	500	124.533
105	93.816	0.930	525	130.760
110	93.463	0.926	550	136.986
115	93.640	0.928	575	143.213
120	97.173	0.963	600	149.440
125	96.113	0.953	625	155.666
130	95.936	0.951	650	161.893
135	96.466	0.956	675	168.120
140	95.053	0.942	700	174.346
145	93.816	0.930	725	180.573
150	93.463	0.926	750	186.800
155	93.640	0.928	775	193.026
160	94.523	0.937	800	199.253
165	95.053	0.942	825	205.479
170	94.346	0.935	850	211.706
175	93.110	0.923	875	217.933
180	94.346	0.935	900	224.159
185	93.816	0.930	925	230.386
190	94.346	0.935	950	236.613
195	94.170	0.933	975	242.839
200	92.933	0.921	1000	249.066
205	93.286	0.925	1025	255.293
210	93.993	0.932	1050	261.519
215	93.640	0.928	1075	267.746
220	94.170	0.933	1100	273.973
225	93.463	0.926	1125	280.199
230	93.286	0.925	1150	286.426
235	93.463	0.926	1175	292.653
240	93.640	0.928	1200	298.879

ตารางที่ ค3 ผลการทดลองคอลัมน์ของสารลดแรงตึงผิว ว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 200.870 มก./ล อัตราการไหล 5 มล./นาที ที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นตัวกลาง 4.015 มิลลิลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล)	C/C ₀	ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume (BV)
0	0.000	0.000	0	0.000
5	0.000	0.000	25	6.227
10	0.000	0.000	50	12.453
15	0.000	0.000	75	18.680
20	0.087	0.000	100	24.907
25	0.174	0.001	125	31.133
30	6.261	0.031	150	37.360
35	10.000	0.050	175	43.587
40	21.217	0.106	200	49.813
45	63.478	0.316	225	56.040
50	73.826	0.368	250	62.267
55	86.000	0.428	275	68.493
60	97.043	0.483	300	74.720
65	98.696	0.491	325	80.946
70	105.739	0.526	350	87.173
75	98.087	0.488	375	93.400
80	94.174	0.469	400	99.626
85	95.217	0.474	425	105.853
90	106.087	0.528	450	112.080
95	96.522	0.481	475	118.306
100	100.087	0.498	500	124.533
105	106.696	0.531	525	130.760
110	108.696	0.541	550	136.986
115	110.435	0.550	575	143.213
120	115.130	0.573	600	149.440
125	115.565	0.575	625	155.666
130	117.739	0.586	650	161.893
135	122.522	0.610	675	168.120
140	120.348	0.599	700	174.346
145	122.609	0.610	725	180.573
150	125.304	0.624	750	186.800
155	124.696	0.621	775	193.026
160	125.913	0.627	800	199.253
165	130.783	0.651	825	205.479
170	127.652	0.635	850	211.706
175	129.391	0.644	875	217.933
180	133.043	0.662	900	224.159
185	131.652	0.655	925	230.386
190	131.652	0.655	950	236.613
195	135.304	0.674	975	242.839
200	135.304	0.674	1000	249.066
205	133.913	0.667	1025	255.293
210	141.565	0.705	1050	261.519
215	141.565	0.705	1075	267.746
220	141.565	0.705	1100	273.973
225	148.348	0.739	1125	280.199
230	145.391	0.724	1150	286.426
235	146.609	0.730	1175	292.653
240	150.435	0.749	1200	298.879

ตารางที่ ค3 ผลการทดลองคอลัมน์ของสารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 200.870 มก./ล อัตราการไหล 5 มล./นาที ที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นตัวกลาง 4.015 มิลลิลิตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล)	C/C ₀	ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume (BV)
270	154.261	0.768	1350	336.239
300	155.130	0.772	1500	373.599
330	151.652	0.755	1650	410.959
360	158.609	0.790	1800	448.319
480	160.000	0.797	2400	597.758
600	167.304	0.833	3000	747.198
720	171.826	0.855	3600	896.638
840	177.391	0.883	4200	1046.077
960	188.522	0.939	4800	1195.517
1080	190.261	0.947	5400	1344.956
1200	194.609	0.969	6000	1494.396
1320	194.087	0.966	6600	1643.836
1440	194.783	0.970	7200	1793.275

ตารางที่ ค4 ผลการทดลองคอลัมน์ของสารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 299.688 มก./ล
อัตราการไหล 5 มล./นาที ที่พีเอช 7 ปริมาตรชั้นตัวกลาง 12.045 มิลลิลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล)	C/C ₀	ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume (BV)
0	0.000	0.000	0	0.000
5	2.027	0.007	25	2.076
10	6.777	0.023	50	4.151
15	9.867	0.033	75	6.227
20	27.542	0.092	100	8.302
25	27.409	0.091	125	10.378
30	40.864	0.136	150	12.453
35	66.777	0.223	175	14.529
40	86.047	0.287	200	16.604
45	106.977	0.357	225	18.680
50	114.618	0.382	250	20.756
55	121.927	0.407	275	22.831
60	125.249	0.418	300	24.907
65	152.159	0.508	325	26.982
70	169.767	0.567	350	29.058
75	173.090	0.578	375	31.133
80	169.435	0.565	400	33.209
85	174.086	0.581	425	35.284
90	177.409	0.592	450	37.360
95	173.422	0.579	475	39.435
100	188.372	0.629	500	41.511
105	173.754	0.580	525	43.587
110	178.405	0.595	550	45.662
115	188.704	0.630	575	47.738
120	194.020	0.647	600	49.813
125	195.017	0.651	625	51.889
130	219.269	0.732	650	53.964
135	253.156	0.845	675	56.040
140	243.854	0.814	700	58.115
145	256.478	0.856	725	60.191
150	266.777	0.890	750	62.267
155	265.116	0.885	775	64.342
160	278.405	0.929	800	66.418
165	284.385	0.949	825	68.493
170	273.754	0.914	850	70.569
175	276.412	0.922	875	72.644
180	275.415	0.919	900	74.720
185	287.375	0.959	925	76.795
190	277.409	0.926	950	78.871
195	274.086	0.915	975	80.946
200	281.063	0.938	1000	83.022
205	281.395	0.939	1025	85.098
210	273.754	0.914	1050	87.173
215	278.738	0.930	1075	89.249
220	271.429	0.906	1100	91.324
225	268.771	0.897	1125	93.400
230	260.465	0.869	1150	95.475
235	269.767	0.900	1175	97.551
240	261.794	0.874	1200	99.626

ตารางที่ ค4 ผลการทดลองคอ ลัมน์ของสารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 299.688 มก./ล อัตราการไหล 5 มล./นาที่ ที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นตัวกลาง 12.045 มิลลิลิตร (ต่อ)

เวลา (นาที่)	ความเข้มข้น (มก./ล)	C/C ₀	ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume (BV)
245	268.106	0.895	1225	101.702
250	254.485	0.849	1250	103.778
255	256.811	0.857	1275	105.853
260	261.794	0.874	1300	107.929
265	260.133	0.868	1325	110.004
270	264.452	0.882	1350	112.080
275	261.794	0.874	1375	114.155
280	272.757	0.910	1400	116.231
285	280.399	0.936	1425	118.306
290	278.073	0.928	1450	120.382
295	276.412	0.922	1475	122.457
300	259.136	0.865	1500	124.533
305	252.159	0.841	1525	126.609
310	254.153	0.848	1550	128.684
315	261.794	0.874	1575	130.760
320	260.133	0.868	1600	132.835
325	254.485	0.849	1625	134.911
330	256.811	0.857	1650	136.986
335	256.146	0.855	1675	139.062
340	256.478	0.856	1700	141.137
345	257.143	0.858	1725	143.213
350	262.458	0.876	1750	145.289
355	265.116	0.885	1775	147.364
360	264.120	0.881	1800	149.440

ตารางที่ ค5 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อม BY1 ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.938 มก. /ล ผสม
สารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 151.984 มก. /ล อัตราการไหล 5 มล./ นาที ที่พีเอช 7
ปริมาตรขั้นตัวกลาง 12.045 มิลลิลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล)		C/C ₀		ปริมาตรน้ำที่ ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume(BV)
	BY1	CPC	BY1	CPC		
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	25	2.076
10	1.434	0.017	0.028	0.000	50	4.151
15	1.984	1.183	0.039	0.008	75	6.227
20	2.225	0.116	0.044	0.001	100	8.302
25	2.346	0.190	0.046	0.001	125	10.378
30	3.445	0.885	0.068	0.006	150	12.453
35	7.399	0.952	0.145	0.006	175	14.529
40	7.426	1.464	0.146	0.010	200	16.604
45	7.105	2.288	0.139	0.015	225	18.680
50	7.547	3.080	0.148	0.020	250	20.756
55	7.802	4.216	0.153	0.028	275	22.831
60	8.512	5.232	0.167	0.034	300	24.907
65	9.960	4.698	0.196	0.031	325	26.982
70	11.528	6.600	0.226	0.043	350	29.058
75	13.164	7.440	0.258	0.049	375	31.133
80	15.845	7.872	0.311	0.052	400	33.209
85	17.614	8.656	0.346	0.057	425	35.284
90	19.973	9.756	0.392	0.064	450	37.360
95	22.252	9.113	0.437	0.060	475	39.435
100	24.330	12.177	0.478	0.080	500	41.511
105	26.676	12.080	0.524	0.079	525	43.587
110	29.290	14.880	0.575	0.098	550	45.662
115	31.568	18.280	0.620	0.120	575	47.738
120	34.249	21.400	0.672	0.141	600	49.813
125	36.662	23.760	0.720	0.156	625	51.889
130	39.946	26.960	0.784	0.177	650	53.964
135	42.292	27.440	0.830	0.181	675	56.040
140	44.102	31.071	0.866	0.204	700	58.115
145	45.710	35.317	0.897	0.232	725	60.191
150	46.314	40.159	0.909	0.264	750	62.267
155	46.448	44.683	0.912	0.294	775	64.342
160	47.252	47.460	0.928	0.312	800	66.418
165	47.654	48.016	0.936	0.316	825	68.493
170	47.252	52.341	0.928	0.344	850	70.569
175	48.324	56.349	0.949	0.371	875	72.644
180	49.330	60.079	0.968	0.395	900	74.720
185	50.134	62.579	0.984	0.412	925	76.795
190	50.536	65.794	0.992	0.433	950	78.871
195	50.737	65.040	0.996	0.428	975	80.946
200	50.469	67.103	0.991	0.442	1000	83.022
205	50.402	69.643	0.989	0.458	1025	85.098
210	50.871	73.135	0.999	0.481	1050	87.173
215	50.134	74.087	0.984	0.487	1075	89.249
220	50.201	77.262	0.986	0.508	1100	91.324
225	50.268	76.865	0.987	0.506	1125	93.400

ตารางที่ ค5 ผลการทดลองคอลัมน์ของสี่เหลี่ยม BY1 ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.938 มก./ล ผสม สารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 151.984 มก./ล อัตราการไหล 5 มล./ นาที ที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นตัวกลาง 12.045 มิลลิลิตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล)		C/C ₀		ปริมาตรน้ำที่ ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume(BV)
	BY1	CPC	BY1	CPC		
230	50.804	78.413	0.997	0.516	1150	95.475
235	50.737	82.381	0.996	0.542	1175	97.551
240	50.067	84.921	0.983	0.559	1200	99.626
270	50.536	86.429	0.992	0.569	1350	112.080
300	50.134	72.103	0.984	0.474	1500	124.533
330	49.799	88.175	0.978	0.580	1650	136.986
360	50.000	89.008	0.982	0.586	1800	149.440
480	50.201	99.762	0.986	0.656	2400	199.253
600	50.402	101.786	0.989	0.670	3000	249.066
720	50.201	104.127	0.986	0.685	3600	298.879
840	50.335	114.167	0.988	0.751	4200	348.692
960	50.134	142.738	0.984	0.939	4800	398.506
1080	50.268	144.722	0.987	0.952	5400	448.319
1200	50.804	145.873	0.997	0.960	6000	498.132
1320	50.603	145.833	0.993	0.960	6600	547.945
1440	50.804	147.421	0.997	0.970	7200	597.758

ตารางที่ ๑๖ ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อม BY1 ความเข้มข้นเริ่มต้น 150.536 มก. /ล ผสม สารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 100.081 มก. /ล อัตราการไหล 5 มล ./นาที่ ที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นตัวกลาง 12.045 มิลลิลิตร

เวลา (นาที่)	ความเข้มข้น (มก./ล)		C/C ₀		ปริมาตรน้ำที่ไหล ผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume (BV)
	BY1	CPC	BY1	CPC		
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000
5	0.054	0.000	0.000	0.000	25	2.076
10	1.515	0.017	0.010	0.000	50	4.151
15	1.609	0.067	0.011	0.001	75	6.227
20	2.359	2.397	0.016	0.024	100	8.302
25	3.351	3.861	0.022	0.039	125	10.378
30	4.812	2.702	0.032	0.027	150	12.453
35	6.676	3.000	0.044	0.030	175	14.529
40	8.097	4.072	0.054	0.041	200	16.604
45	22.654	6.116	0.150	0.061	225	18.680
50	32.306	6.721	0.215	0.067	250	20.756
55	39.142	11.382	0.260	0.114	275	22.831
60	40.349	14.634	0.268	0.146	300	24.907
65	41.957	18.699	0.279	0.187	325	26.982
70	46.247	24.355	0.307	0.243	350	29.058
75	48.928	30.242	0.325	0.302	375	31.133
80	57.239	33.040	0.380	0.330	400	33.209
85	62.064	39.360	0.412	0.393	425	35.284
90	64.879	45.440	0.431	0.454	450	37.360
95	72.386	50.080	0.481	0.500	475	39.435
100	82.440	55.600	0.548	0.556	500	41.511
105	86.327	62.000	0.573	0.620	525	43.587
110	87.265	74.206	0.580	0.741	550	45.662
115	88.874	74.444	0.590	0.744	575	47.738
120	89.276	79.286	0.593	0.792	600	49.813
125	90.349	82.857	0.600	0.828	625	51.889
130	99.330	86.349	0.660	0.863	650	53.964
135	107.373	90.476	0.713	0.904	675	56.040
140	110.322	90.238	0.733	0.902	700	58.115
145	112.332	95.079	0.746	0.950	725	60.191
150	113.539	95.873	0.754	0.958	750	62.267
155	116.354	95.840	0.773	0.958	775	64.342
160	127.346	95.680	0.846	0.956	800	66.418
165	132.172	95.680	0.878	0.956	825	68.493
170	142.895	95.280	0.949	0.952	850	70.569
175	145.710	96.080	0.968	0.960	875	72.644
180	145.845	96.048	0.969	0.960	900	74.720
185	149.464	96.613	0.993	0.965	925	76.795
190	147.989	96.400	0.983	0.963	950	78.871
195	147.989	96.400	0.983	0.963	975	80.946
200	148.928	96.855	0.989	0.968	1000	83.022
205	148.525	96.080	0.987	0.960	1025	85.098
210	148.257	96.640	0.985	0.966	1050	87.173
215	150.268	96.613	0.998	0.965	1075	89.249
220	149.196	96.371	0.991	0.963	1100	91.324
225	149.866	97.419	0.996	0.973	1125	93.400
230	149.598	97.177	0.994	0.971	1150	95.475

ตารางที่ ค6 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อม BY1 ความเข้มข้นเริ่มต้น 150.536 มก./ล ผสมสารลดแรงตึงผิว CPC ความเข้มข้นเริ่มต้น 100.081 มก./ล อัตราการไหล 5 มล./นาทีที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นต้น 12.045 มิลลิลิตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล)		C/C ₀		ปริมาตรน้ำที่ไหล ผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume(BV)
	BY1	CPC	BY1	CPC		
235	150.000	97.984	0.996	0.979	1175	97.551
240	150.268	97.419	0.998	0.973	1200	99.626
245	149.732	97.742	0.995	0.977	1225	101.702
250	149.062	98.226	0.990	0.981	1250	103.778
255	148.794	97.984	0.988	0.979	1275	105.853
260	148.928	98.468	0.989	0.984	1300	107.929
265	149.196	99.194	0.991	0.991	1325	110.004
270	149.732	99.355	0.995	0.993	1350	112.080
275	149.866	99.839	0.996	0.998	1375	114.155
280	149.598	99.597	0.994	0.995	1400	116.231
285	149.464	99.597	0.993	0.995	1425	118.306
290	149.330	99.274	0.992	0.992	1450	120.382
295	150.000	99.597	0.996	0.995	1475	122.457
300	149.732	99.355	0.995	0.993	1500	124.533
305	149.732	99.355	0.995	0.993	1525	126.609
310	148.928	99.274	0.989	0.992	1550	128.684
315	150.000	99.597	0.996	0.995	1575	130.760
320	149.598	99.597	0.994	0.995	1600	132.835
325	149.732	99.597	0.995	0.995	1625	134.911
330	149.598	99.597	0.994	0.995	1650	136.986
335	149.732	99.597	0.995	0.995	1675	139.062
340	150.000	99.597	0.996	0.995	1700	141.137
345	149.866	99.597	0.996	0.995	1725	143.213
350	149.008	98.790	0.990	0.987	1750	145.289
355	149.866	99.597	0.996	0.995	1775	147.364
360	149.732	99.919	0.995	0.998	1800	149.440

ตารางที่ ๗ ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อม AB45 ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.248 มก. /ล ผสมสารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 202.527 มก. /ล อัตราการไหล 5 มล. /นาที ที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นตัวกลาง 32.120 มิลลิลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล)		C/C ₀		ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume (BV)
	AB45	LAS	AB45	LAS		
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000
5	1.008	2.531	0.020	0.012	25	0.778
10	1.157	4.239	0.023	0.021	50	1.557
15	2.760	6.327	0.055	0.031	75	2.335
20	3.207	8.325	0.064	0.041	100	3.113
25	4.116	10.308	0.082	0.051	125	3.892
30	5.207	11.277	0.104	0.056	150	4.670
35	6.198	12.068	0.123	0.060	175	5.448
40	10.331	13.171	0.206	0.065	200	6.227
45	12.397	14.204	0.247	0.070	225	7.005
50	13.802	14.938	0.275	0.074	250	7.783
55	14.298	15.342	0.285	0.076	275	8.562
60	15.868	22.154	0.316	0.109	300	9.340
65	17.686	30.324	0.352	0.150	325	10.118
70	18.678	45.237	0.372	0.223	350	10.897
75	19.669	48.333	0.391	0.239	375	11.675
80	20.826	50.093	0.414	0.247	400	12.453
85	21.488	51.411	0.428	0.254	425	13.232
90	22.479	52.816	0.447	0.261	450	14.010
95	23.140	56.115	0.461	0.277	475	14.788
100	23.471	58.403	0.467	0.288	500	15.567
105	27.769	59.268	0.553	0.293	525	16.345
110	28.760	60.840	0.572	0.300	550	17.123
115	26.446	63.218	0.526	0.312	575	17.902
120	33.388	64.253	0.664	0.317	600	18.680
125	38.678	66.914	0.770	0.330	625	19.458
130	38.678	68.401	0.770	0.338	650	20.237
135	40.992	77.030	0.816	0.380	675	21.015
140	42.975	77.811	0.855	0.384	700	21.793
145	43.967	80.186	0.875	0.396	725	22.572
150	44.298	85.037	0.882	0.420	750	23.350
155	44.298	90.222	0.882	0.445	775	24.128
160	44.959	93.556	0.895	0.462	800	24.907
165	45.620	93.370	0.908	0.461	825	25.685
170	45.950	95.359	0.914	0.471	850	26.463
175	45.620	99.263	0.908	0.490	875	27.242
180	45.620	105.525	0.908	0.521	900	28.020
185	46.281	109.138	0.921	0.539	925	28.798
190	46.281	108.404	0.921	0.535	950	29.577
195	46.281	111.339	0.921	0.550	975	30.355
200	46.612	123.407	0.928	0.609	1000	31.133
205	46.942	128.681	0.934	0.635	1025	31.912
210	46.942	138.571	0.934	0.684	1050	32.690
215	47.273	140.695	0.941	0.695	1075	33.468
220	47.934	143.060	0.954	0.706	1100	34.247
225	46.612	145.751	0.928	0.720	1125	35.025
230	46.612	149.414	0.928	0.738	1150	35.803
235	46.281	150.606	0.921	0.744	1175	36.582

ตารางที่ ค7 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อม AB45 ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.248 มก./ล ผสมสารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 202.527 มก./ล อัตราการไหล 5 มล./นาที่ ที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นตัวกลาง 32.120 มิลลิลิตร (ต่อ)

เวลา (นาที่)	ความเข้มข้น (มก./ล)		C/C ₀		ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume (BV)
	AB45	LAS	AB45	LAS		
240	46.942	154.322	0.934	0.762	1200	37.360
245	47.273	176.527	0.941	0.872	1225	38.138
250	48.595	180.618	0.967	0.892	1250	38.917
255	49.256	182.464	0.980	0.901	1275	39.695
260	47.603	183.686	0.947	0.907	1300	40.473
265	48.595	184.255	0.967	0.910	1325	41.252
270	49.917	190.452	0.993	0.940	1350	42.030
275	47.273	189.324	0.941	0.935	1375	42.808
280	48.595	190.436	0.967	0.940	1400	43.587
285	49.256	192.246	0.980	0.949	1425	44.365
290	47.934	194.426	0.954	0.960	1450	45.143
295	48.926	193.176	0.974	0.954	1475	45.922
300	49.256	193.333	0.980	0.955	1500	46.700

ตารางที่ ค8 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อม AB45 ความเข้มข้นเริ่มต้น 150.413 มก./ล ผสม
สารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 99.061 มก./ล อัตราการไหล 5 มล./นาที
ที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นตัวกลาง 32.120 มิลลิลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล)		C/C ₀		ปริมาตรน้ำที่ ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume (BV)
	AB45	LAS	AB45	LAS		
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000
5	0.314	1.404	0.002	0.001	25	0.778
10	0.446	2.321	0.003	0.002	50	1.557
15	0.628	3.130	0.004	0.003	75	2.335
20	0.843	4.214	0.006	0.004	100	3.113
25	1.223	4.085	0.008	0.004	125	3.892
30	2.413	6.452	0.016	0.006	150	4.670
35	4.331	6.867	0.029	0.009	175	5.448
40	7.273	10.208	0.048	0.001	200	6.227
45	8.264	13.343	0.055	0.135	225	7.005
50	10.248	15.505	0.068	0.157	250	7.783
55	15.207	18.101	0.101	0.183	275	8.562
60	18.182	20.000	0.121	0.202	300	9.340
65	23.471	29.329	0.156	0.296	325	10.118
70	27.769	30.316	0.185	0.306	350	10.897
75	35.041	45.796	0.233	0.462	375	11.675
80	40.331	52.354	0.268	0.529	400	12.453
85	46.281	58.862	0.308	0.594	425	13.232
90	48.264	67.468	0.321	0.681	450	14.010
95	51.240	69.928	0.341	0.706	475	14.788
100	62.149	67.320	0.413	0.680	500	15.567
105	75.372	70.016	0.501	0.707	525	16.345
110	78.347	82.548	0.521	0.833	550	17.123
115	80.331	82.762	0.534	0.835	575	17.902
120	90.579	93.624	0.602	0.945	600	18.680
125	93.554	93.208	0.622	0.941	625	19.458
130	94.876	96.530	0.631	0.974	650	20.237
135	95.868	91.422	0.637	0.923	675	21.015
140	96.198	91.470	0.640	0.923	700	21.793
145	95.207	91.905	0.633	0.928	725	22.572
150	99.835	93.479	0.664	0.944	750	23.350
155	100.165	97.764	0.666	0.987	775	24.128
160	111.074	93.096	0.738	0.940	800	24.907
165	123.306	97.837	0.820	0.988	825	25.685
170	132.562	90.955	0.881	0.918	850	26.463
175	132.562	91.719	0.881	0.926	875	27.242
180	136.529	96.601	0.908	0.975	900	28.020
185	139.174	92.110	0.925	0.930	925	28.798
190	139.504	91.287	0.927	0.922	950	29.577
195	137.851	97.134	0.916	0.981	975	30.355
200	136.860	88.933	0.910	0.898	1000	31.133
205	140.496	91.050	0.934	0.919	1025	31.912
210	145.455	92.863	0.967	0.937	1050	32.690
215	144.793	96.158	0.963	0.971	1075	33.468
220	144.793	91.450	0.963	0.923	1100	34.247
225	144.463	92.492	0.960	0.934	1125	35.025
230	144.132	95.289	0.958	0.962	1150	35.803
235	143.471	94.498	0.954	0.954	1175	36.582

ตารางที่ ค8 ผลการทดลองคอลัมน์ของสีย้อม AB45 ความเข้มข้นเริ่มต้น 150.413 มก./ล ผสม สารลดแรงตึงผิว LAS ความเข้มข้นเริ่มต้น 99.061 มก./ล อัตราการไหล 5 มล./นาที ที่พีเอช 7 ปริมาตรขั้นตัวกลาง 32.120 มิลลิลิตร (ต่อ)

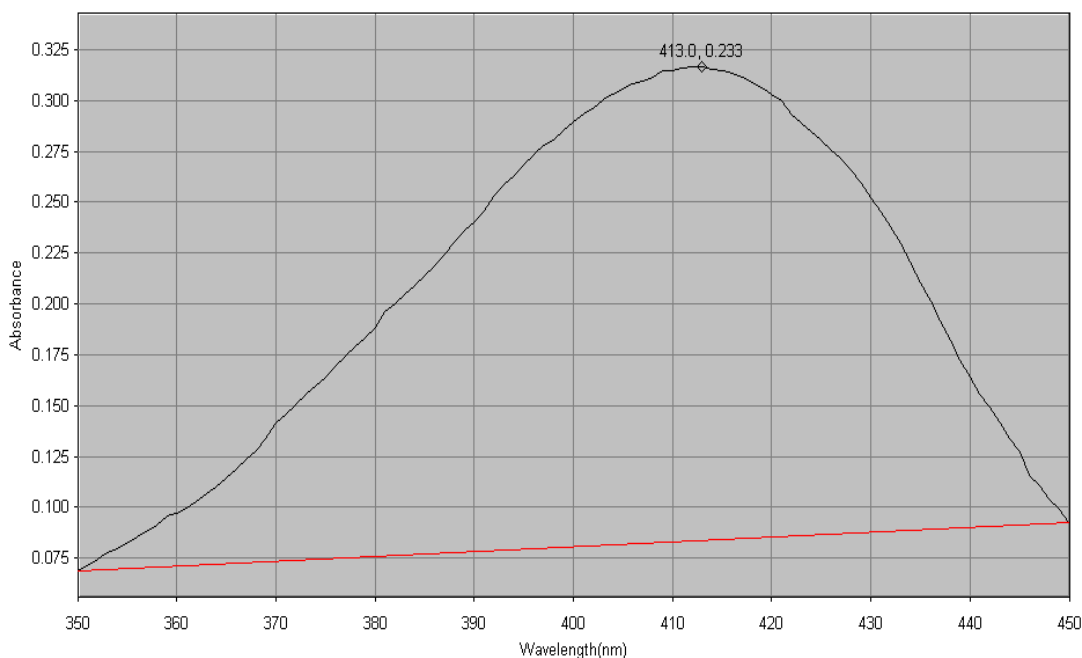
เวลา (นาที)	ความเข้มข้น (มก./ล)		C/C ₀		ปริมาตรน้ำที่ ไหลผ่าน (มล.)	ค่า Bed volume (BV)
	AB45	LAS	AB45	LAS		
245	143.471	98.602	0.954	0.995	1225	38.138
250	149.752	97.667	0.996	0.986	1250	38.917
255	145.785	95.535	0.969	0.964	1275	39.695
260	148.430	95.390	0.987	0.963	1300	40.473
265	147.438	97.602	0.980	0.985	1325	41.252
270	146.777	94.385	0.976	0.953	1350	42.030
275	148.760	94.268	0.989	0.952	1375	42.808
280	142.149	93.886	0.945	0.948	1400	43.587
285	149.752	98.576	0.996	0.995	1425	44.365
290	144.463	98.723	0.960	0.997	1450	45.143
295	143.802	96.565	0.956	0.975	1475	45.922
300	143.802	94.286	0.956	0.952	1500	46.700

ภาคผนวก ง
การวัดค่าสีข้อมและสารลดแรงตึงผิว

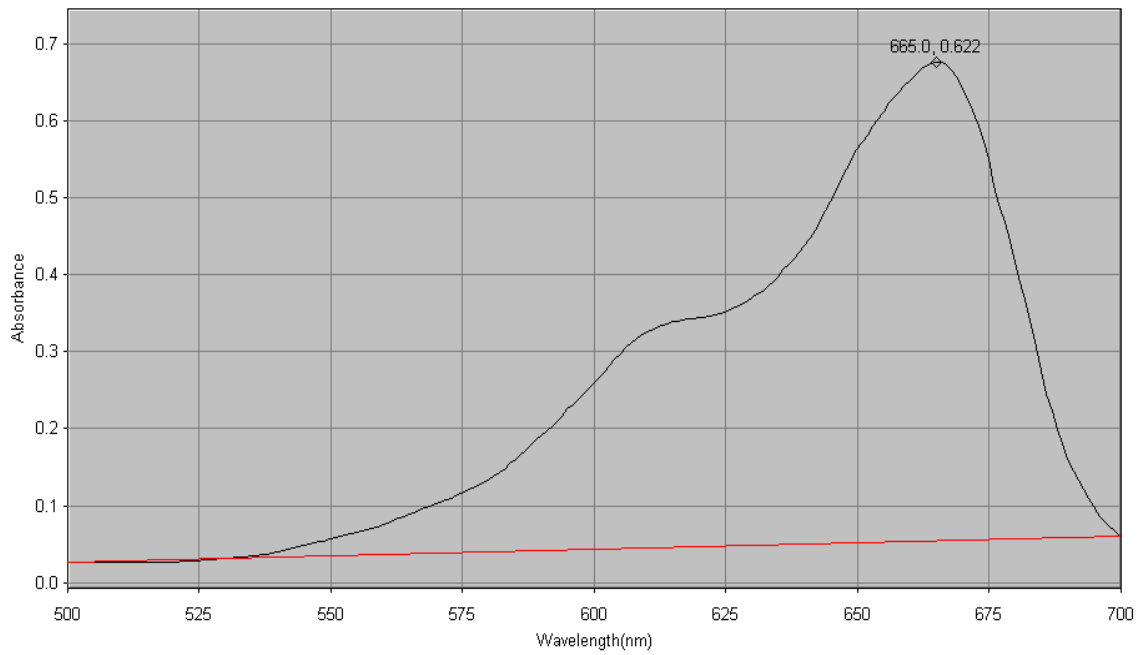
การวัดค่าสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว

เครื่องมือ	: เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)
ยี่ห้อ	: Thermo Electron Corporation, U.S.A รุ่น Helios Alpha
ความยาวคลื่นที่วัดได้	: 190-1,100 นาโนเมตร
แหล่งกำเนิดแสง	: หลอดดิวทีเรียม(ช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 นาโนเมตร) และหลอด ทังสแตน-ฮาโลเจน(ช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 300-1,000 นาโนเมตร)
ระบบการทำงานของแสง	: Double beam
ตัวรับสัญญาณ	: Photomultiplier
ความเร็วในการสแกน	: 1-3,800 นาโนเมตร/นาที

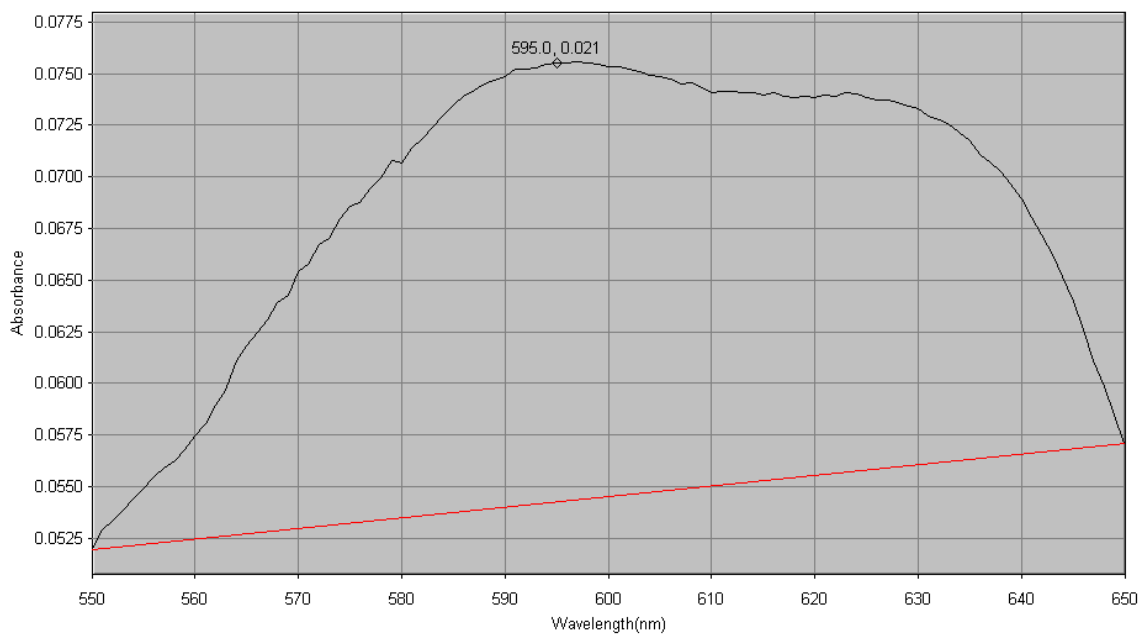
การหาความยาวคลื่นที่ใช้ในการวัดสีย้อมและสารลดแรงตึงผิว จะใช้วิธีการสแกนหาความยาวคลื่นที่สูงที่สุดที่สามารถวัดสีย้อมหรือสารลดแรงตึงผิวได้ดังแสดงในภาพที่ 1 ถึง ภาพที่ 6 โดยสีย้อมจะใช้ความยาวคลื่นที่วิสิเบิล (Visible wavelength) และสารลดแรงตึงผิวใช้ความยาวคลื่นที่ยูวี (UV wavelength)



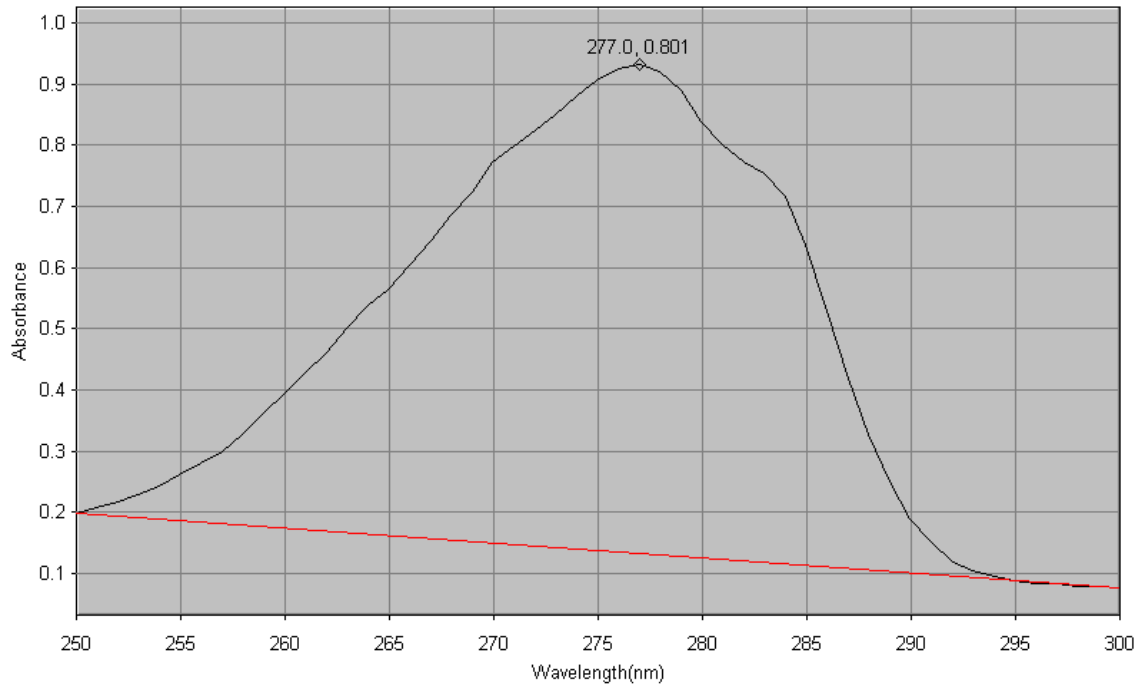
ภาพที่ 1 ความคลื่นสูงสุดของสีเบสิค เบลโล่ 1 (BY1)



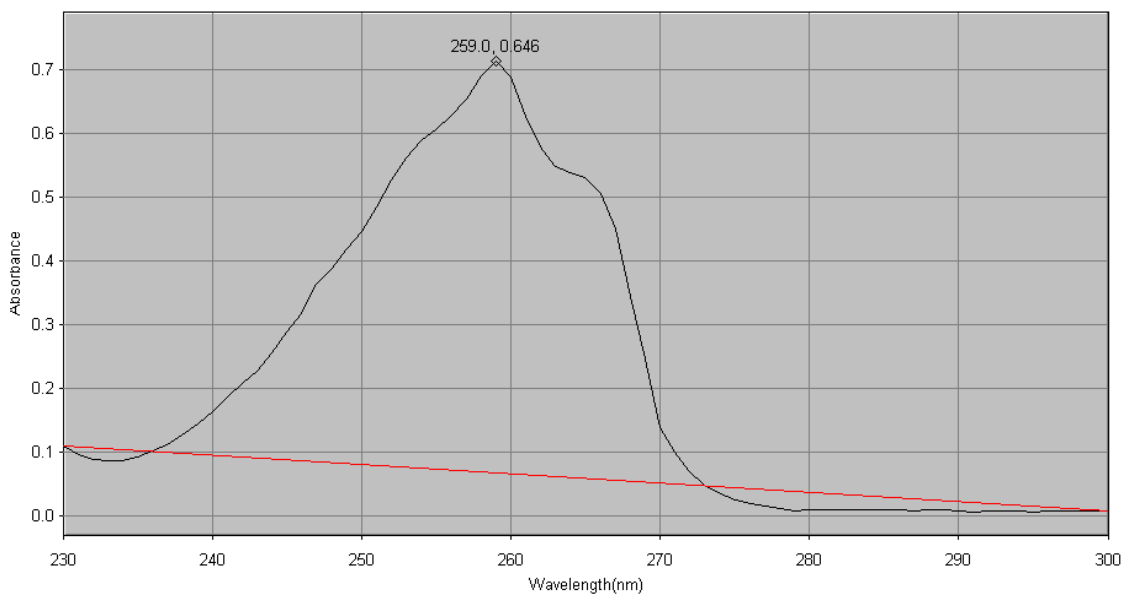
ภาพที่ ง2 ความคลื่นสูงสุดของสีเมทิลีนบลู (MB)



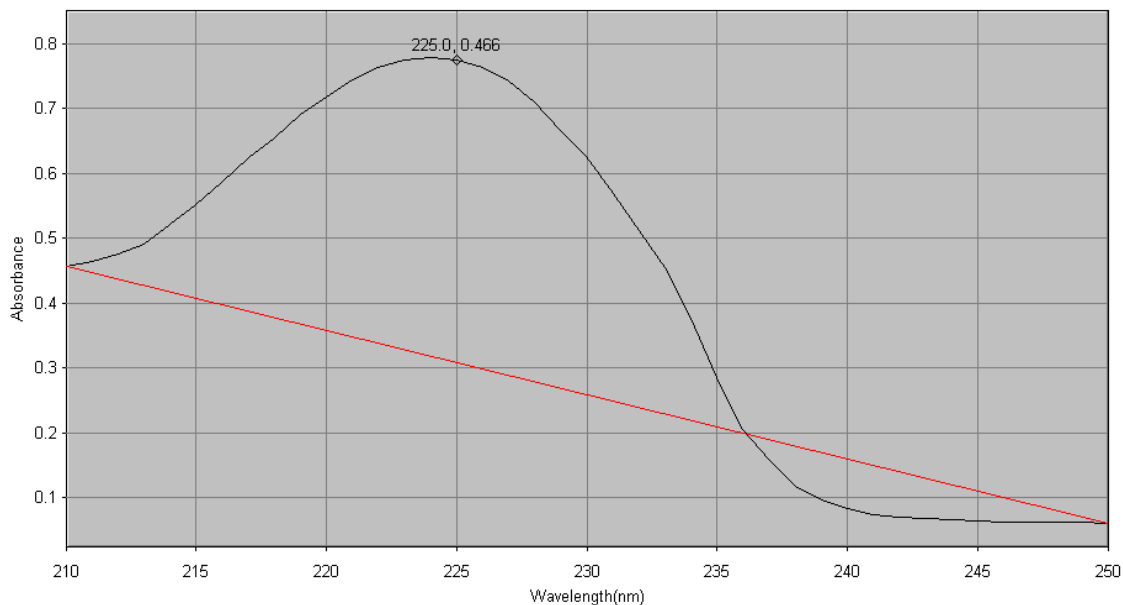
ภาพที่ ง3 ความคลื่นสูงสุดของสีแอซิด บลู 45 (AB 45)



ภาพที่ 4 ความคลื่นสูงสุดของ iso-octylphenol ethoxylate (Triton X-100)



ภาพที่ 5 ความคลื่นสูงสุดของ Cetyl pyridium Chloride (CPC)



ภาพที่ ๖6 ความคลื่นสูงสุดของ Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)

การวัดค่าสีย้อมและสารลดแรงตึงในสารละลายสารลดแรงตึงผิวผสมสีย้อม

การวัดค่าสีย้อมและสารลดแรงตึงในสารละลายสารลดแรงตึงผิวผสมสีย้อม จะใช้วิธีผสมสีย้อมและสารลดแรงตึงผิวในสัดส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ ๖1 ถึง ตารางที่ ๖4

ตารางที่ ๖1 สารลดแรงตึงผิว TX100 ผสมสีย้อม BY1

TX100 (มก. / ล)	0	100	200	300	400
BY1 (มก. / ล)	0	0+100	0+200	0+300	0+400
5	5+0	5+100	5+200	5+300	5+400
10	10+0	10+100	10+200	10+300	10+400
15	15+0	15+100	15+200	15+300	15+400
20	20+0	20+100	20+200	20+300	20+400

ตารางที่ ง2 สารลดแรงตึงผิว TX100 ผสมสีย้อม AB45

TX100 (มก. / ล) AB45 (มก. / ล)	0	100	200	300	400
0	0+0	0+100	0+200	0+300	0+400
5	5+0	5+100	5+200	5+300	5+400
10	10+0	10+100	10+200	10+300	10+400
15	15+0	15+100	15+200	15+300	15+400
20	20+0	20+100	20+200	20+300	20+400

ตารางที่ ง-3 สารลดแรงตึงผิว CPC ผสมสีย้อม BY1

TX100 (มก. / ล) BY1 (มก. / ล)	0	10	20	30	40
0	0+0	0+10	0+20	0+30	0+40
5	5+0	5+10	5+20	5+30	5+40
10	10+0	10+10	10+20	10+30	10+40
15	15+0	15+10	15+20	15+30	15+40
20	20+0	20+10	20+20	20+30	20+40

ตารางที่ ง4 สารลดแรงตึงผิว LAS ผสมสีย้อม AB45

TX100 (มก. / ล) AB45 (มก. / ล)	0	2	4	6	8
0	0+0	0+2	0+4	0+6	0+8
2	2+0	2+2	2+4	2+6	2+8
4	4+0	4+2	4+4	4+6	4+8
6	6+0	6+2	6+4	6+6	6+8
8	8+0	8+2	8+4	8+6	8+8

ภาคผนวก จ

ข้อมูลวิเคราะห์เศษแก้วด้วยเครื่องเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์

(X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF)

5/23/08 13:14

Page 1

Chulalongkorn University
Quantified peaks in c:\superq\data\1376n1__pks

สี

Summary of results

Sample:	1376N1
Measured:	5/23/08 04:27
Quantified:	5/23/08 13:07
Sum:	100. %
RMS:	0.000
Used lines:	13
Traces:	Co
Qual. program:	SemiQ2004

Concentrations

Analyte	Type	Calibration status	Compound	Concentration (%)	Calculation method
	Binder	Not matched	H3BO3	9.676	Fixed
Na	Sample	Calibrated	Na2O	14.183	Calculate
Mg	Sample	Calibrated	MgO	1.587	Calculate
Al	Sample	Calibrated	Al2O3	1.304	Calculate
Si	Sample	Calibrated	SiO2	71.324	Calculate
P	Sample	Calibrated	P2O5	0.022	Calculate
S	Sample	Calibrated	SO3	0.037	Calculate
Cl	Sample	Calibrated	Cl	0.051	Calculate
K	Sample	Calibrated	K2O	0.156	Calculate
Ca	Sample	Calibrated	CaO	10.914	Calculate
Ti	Sample	Calibrated	TiO2	0.087	Calculate
Cr	Sample	Calibrated	Cr2O3	0.017	Calculate
Fe	Sample	Calibrated	Fe2O3	0.295	Calculate
Zr	Sample	Calibrated	ZrO2	0.013	Calculate
Pb	Sample	Manually added	PbO	0.013	Fixed

Sample preparation

Sample type:	Powder (binder: H3BO3)
Initial weight:	4.63 g
Final weight:	5.08 g
Area ratio:	1.09
Additive/sample:	0.1
Film:	None
Normalise:	to 100.0%
X-ray path:	Vacuum

Quantify parameters

Recipe:	c:\superq\data\new.rcp
Spectrometer resp. file:	c:\superq\data\semiq.sti
Use compound list:	c:\superq\example\semiq.cpl
Apply drift corr.:	No
Disall. elem. set:	None
Disall. lines set:	None
Error weighting:	Root
Max. Flow detector intensity:	2000 keps
Max. Sealed detector intensity:	1000 keps
Max. Scint detector intensity:	1000 keps
Max. Duplex detector intensity:	3000 keps

Disallowed elements

No elements disallowed

ภาพที่ ๑1 ข้อมูลวิเคราะห์เศษแก้วด้วยเครื่องเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรมิเตอร์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธนพร คำขจร เกิดเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2527 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จ
การศึกษาระดับปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2549 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550