

การดูดซับเมทิลีนบลูด้วยดินเบาที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
Adsorption of methylene blue using diatomaceous earth activated by KOH



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับเมทิลีนบลูด้วยดินเบาที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
Adsorption of methylene blue using diatomaceous earth activated by KOH



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Adsorption of methylene blue using diatomaceous earth activated by KOH



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE
DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
THE ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปริญญาโท

ปริญญาโทเรื่อง การดัดซบเมทิลีนบลูด้วยดินเบาที่กระตุ้นด้วย
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

โดย สุชาวดี ฤกษ์จันทร์
ศิริวิทย์ จันทะวงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาโทนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาโท

ดวงกมล ณ ระนอง

ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง)



กรรมการ
(ผศ.ดร.สุรัตน์ อาริรัตน์)

กุลนันท์

กรรมการ
(รศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การดูดซับเมทิลีนบลูด้วยดินเบาที่กระตุ้นด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
โดย	สุชาวดี ฤงจันทร์ ศิริวิทย์ จันทะวงษ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการดูดซับเมทิลีนบลู ซึ่งเป็นสีย้อมในอุตสาหกรรมที่ทราบกันดีว่าเป็นสารก่อมะเร็ง สารก่อกลายพันธุ์ และมีผลต่อสิ่งต่างๆในระบบนิเวศอย่างมากเมื่อถูกปล่อยเป็นของเสียสู่แหล่งธรรมชาติ ไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธหรือดินเบาที่มีราคาที่ย่อมเยาถูกนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยเบสแก่หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และมันจะถูกใช้เป็นตัวดูดซับต่อไป โดยสนใจผลกระทบของความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนของไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพตัวดูดซับว่าส่งผลกับประสิทธิภาพในการดูดซับอย่างไร โดยได้ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในช่วง 1-5 M อัตราส่วนของไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.05-0.15 g/ml อุณหภูมิในช่วง 50-70 °C และเวลาที่ใช้เพิ่มประสิทธิภาพ 1-3 ชั่วโมง โดยทำการทดลองเป็นการดูดซับแบบกะ จากผลการทดลองพบว่าตัวแปรทุกตัวที่นำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพตัวดูดซับล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับอย่างยิ่ง สภาวะที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดคือ ความเข้มข้น KOH 3 M, DA : สารละลาย KOH 0.1 g/ml, อุณหภูมิ 70 °C, เวลา 1 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับ ณ สมดุล (Adsorption capacity at equilibrium time, q_e) โดยเพิ่มขึ้นถึง 1.42 เท่า อยู่ที่ 58.77 mg/g และทำให้ค่าร้อยละการดูดซับ (%Removal) เพิ่มขึ้นถึง 1.45 เท่า อยู่ที่ 39.47 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report title	Adsorption of methylene blue using diatomaceous earth activated by KOH
By	Suchawadee Tungchan Siravit chantawong
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2022
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Duangkamol Na-Ranong

Abstract

This research aims to study the adsorption of methylene blue, an industrial dye that are known to have carcinogenic, mutagenic, and high coloring effects on the entire ecosystem when discharged as waste in the environment. Inexpensive diatomaceous earth is enriched with strong base or potassium hydroxide, and it is used as an adsorbent. To optimize absorption efficiency, the effect of KOH concentration 1-3 M, ratio of diatomite and KOH solution 0.05-0.15 g/ml, temperature in the range of 50-70 °C and activation time in the range of 1-3 hours were studied, through batch experiments. From the results, the maximum adsorption capacity achieve from these activation conditions, 3 M of KOH, 0.1 g/ml for DA : KOH solution, 80 ° C and activate time for 2 hours. The maximum absorption capacity at equilibrium time (q_e) increased by 1.42 times to 58.77 mg/g and the removal efficiency increased by 1.45 times to 39.47 %.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การดูซับเมทิลีนบลูด้วยดินเบาที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นการศึกษาเพื่อความสำเร็จการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง, นายสรารุฒิ สนิพิชัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือในการทำการทดลองเป็นอย่างมากจาก นายศิริวิทย์ จันทะวงษ์ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดีผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

ผู้จัดทำงานวิจัย
สุชาวดี ฤกษ์จันทร์
ศิริวิทย์ จันทะวงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	V
สารบัญตาราง.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การดูดซับ.....	3
2.2 เมทิลีนบลู (Methylene Blue).....	6
2.3 ดินเบาหรือไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธ (Diatomaceous Earth).....	7
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	10
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	10
3.2 วัสดุและสารเคมี.....	10
3.3 วิธีการทดลอง.....	11
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	15
4.1 ผลการทดลอง.....	15
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	21
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	21
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	22
อ้างอิง.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างการดูดซับ (Adsorption) และการดูดซึม (Absorption) [5].....	4
รูปที่ 2.2 สารละลายเมทิลีนบลูและผงเมทิลีนบลู	7
รูปที่ 2.3 ดินเบาหรือแร่ไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธ (Diatomaceous earth).....	7
รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับ (Adsorption capacity, q_e) ของ BDA ทั้ง 9 ตัว.....	15
รูปที่ 4.2 ร้อยละการดูดซับ (%Removal) ของ BDA ทั้ง 9 ตัว	16
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายKOH ที่ใช้ในการเตรียม BDA เทียบกับ ประสิทธิภาพการดูดซับ	17
รูปที่ 4.4 ผลกระทบของอัตราส่วนของไดอะตอมไมต์ต่อสารละลายKOH ที่ใช้ในการเตรียม BDA เทียบกับประสิทธิภาพการดูดซับ	18
รูปที่ 4.5 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียม BDA เทียบกับประสิทธิภาพการดูดซับ	19
รูปที่ 4.6 ผลกระทบของเวลาที่ใช้ในการเตรียม BDA เทียบกับประสิทธิภาพการดูดซับ	20
รูปที่ ก.1.1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ BDA	25

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 วัตถุประสงค์ การปรับปรุงประสิทธิภาพ และสารที่ถูกลดระดับของแต่ละงานวิจัย	9
ตารางที่ 3.1 สรุปข้อมูลของตัวแปรที่ใช้ในการเตรียมไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเบสแก่ (BDA)	11
ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการดูดซับ	14
ตารางที่ ก.1.1 ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับและร้อยละการดูดซับแบบเฉลี่ยของ RDA และ BDA ทั้งหมด	23
ตารางที่ ก.1.2 ค่าการดูดกลืนแสงของกราฟมาตรฐานความเข้มข้น (concentration calibration curve)	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การปนเปื้อนของน้ำที่เกิดจากอุตสาหกรรมสีย้อม ได้แก่ อาหารเครื่องหนัง สิ่งทอ พลาสติก เครื่องสำอาง การทำกระดาษ การพิมพ์ และการสังเคราะห์สีย้อม ได้รับความสนใจมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสีย้อมส่วนใหญ่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม [1]

สีเบสิก (basic or cationic dye) เป็นหนึ่งในประเภทของสีย้อม มักถูกใช้อย่างแพร่หลายในการย้อมเส้นใยโปรตีนในลอนและใยอะคริลิก เนื่องจากง่ายต่อการใช้งาน ทนทาน และคงทนต่อวัสดุใดๆก็ตาม ผลเสียของสีย้อมต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมหาศาลมาก เป็นที่ทราบกันดีว่าสีย้อมเบสิก เป็นสารก่อมะเร็ง สารก่อกลายพันธุ์ และมีผลต่อสีสูงต่อระบบนิเวศทั้งหมดเมื่อถูกปล่อยทิ้งเป็นของเสียในสิ่งแวดล้อม เมทิลีนบลู (Methylene blue) เป็นสีย้อมเบสิกที่มีการใช้งานที่กว้างมากทำให้เป็นสิ่งที่ทำให้เป็นหนึ่งในสารมลพิษทั่วไปหรือส่วนประกอบของน้ำทิ้งที่มีสี และจนถึงปัจจุบันได้มีนักวิจัยมากมายพยายามแก้ปัญหาน้ำเสียจากเมทิลีนบลูที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ด้วยการพัฒนาและประยุกต์ใช้ตัวดูดซับต่างๆหลายชนิด [2]

การกำจัดเมทิลีนบลูในน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธีเช่น วิธีการทางชีวเคมี (biochemical method: activated sludge) กระบวนการทางกายภาพและเคมี (physical-chemical process: adsorption) และวิธีทางเคมี (chemical method: advanced oxidation and photocatalysis) โดยเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธีแล้วพบว่า วิธีการดูดซับ (adsorption) สามารถดำเนินการได้ง่าย และใช้งบประมาณไม่เยอะในการกำจัดเมทิลีนบลูในน้ำเสีย อีกหนึ่งข้อดีคือตัวดูดซับสามารถผลิตขึ้นจากสารตั้งต้นซึ่งเป็นขยะมูลฝอยได้หลายชนิดเช่น ชีวมวล พลาสติก กากของเสียที่เหลือจากการหมัก เป็นต้น และการนำขยะมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ในการผลิตตัวดูดซับ ก็เป็นการกำจัดของเสียอีกทางหนึ่งซึ่งดีต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน

ดินเบา/ แร่ไดอะตอมไมต์ หรือ แร่ไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธ (Diatomite/ Diatomaceous earth) เป็นหินตะกอนเนื้ออ่อน ที่เกิดจากการสะสมตัวของสาหร่ายเซลล์เดียวตายทับถมอยู่ชั้นดินในแหล่งน้ำจืด มีคุณสมบัติที่ดี เช่น พื้นผิวสูง ความพรุนสูง ขนาดอนุภาคเล็ก และการนำความร้อนต่ำ ซึ่งทำให้ไดอะตอมไมต์เหมาะสำหรับการดูดซับสารประกอบโมเลกุลอินทรีย์ ไดอะตอมไมต์จึงถูกใช้เป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดสีย้อม และโลหะหนักต่างๆจากน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3]

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการใช้ไดอะตอมไมต์ที่มีต้นทุนต่ำและมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดนำไปเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการดูดซับเพื่อกำจัดเมทิลีนบลูในน้ำเสียต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการดูดซับสารเมทิลีนบลูด้วยไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยการใช้เบสแก่
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนของไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพตัวดูดซับว่าส่งผลกับประสิทธิภาพในการดูดซับอย่างไร

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. วัสดุชีวมวลที่ใช้ คือ ดินเบาหรือไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธ (Diatomaceous Earth)
2. ตัวถูกดูดซับที่ คือ เมทิลีนบลู (Methylene Blue)
3. เพิ่มประสิทธิภาพด้วยการใช้เบสแก่ คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide: KOH)
4. ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนของไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพตัวดูดซับว่าส่งผลกับประสิทธิภาพในการดูดซับอย่างไร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้การดูดซับสารเมทิลีนบลูด้วยไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยการใช้เบสแก่
2. เข้าใจถึงผลกระทบของความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนของไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพตัวดูดซับว่าส่งผลกับประสิทธิภาพในการดูดซับอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดูดซับ

2.1.1 ความหมายการดูดซับ [4]

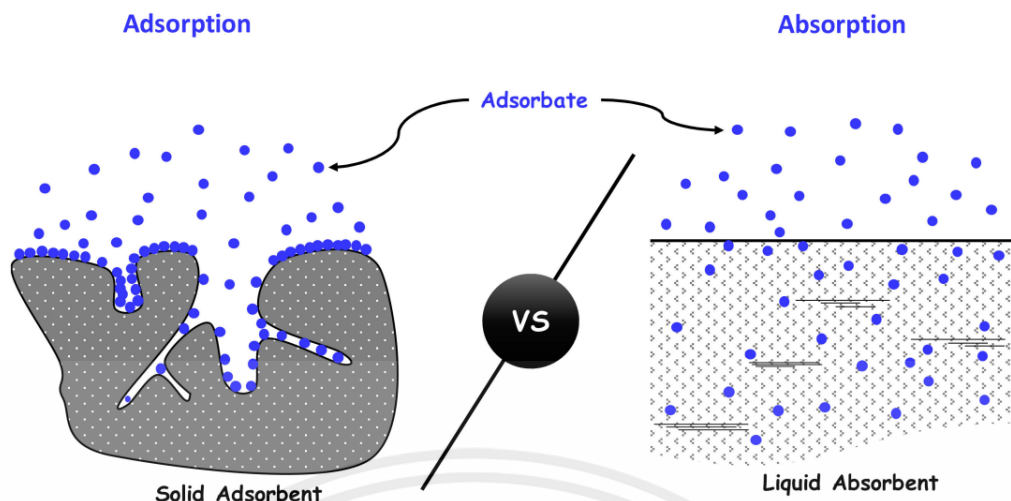
การดูดซับ (Adsorption) เกิดเมื่อมีสารสองชนิดมาสัมผัสกันและมีความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสเท่านั้น เป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นระหว่างสารสองสถานะ (Phase) เช่น ของแข็งกับของแข็ง ของแข็งกับของเหลว ของแข็งกับก๊าซ ของเหลวกับก๊าซ เป็นต้น

สารที่สามารถดูดซับอะตอมหรือโมเลกุลสารอื่นเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) และอะตอมหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) การดูดซับอาจจะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) หรือทางเคมี (Chemical adsorption) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของแรงที่ก่อให้เกิดการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี

Adsorbate	หมายถึง โมเลกุลของตัวถูกดูดซับโดยผิวของแข็งหรือผิวของตัวดูดซับ
Adsorbent	หมายถึง ตัวดูดซับหรือสารที่มีผิวเป็นที่ยึดเกาะจับของ Adsorbate
Adsorption	หมายถึง การดูดซับ
Absorption	หมายถึง การดูดซึม
Solute	หมายถึง โมเลกุลของสารหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลว
Sorption	หมายถึง การดูดติดทั้งสองชนิด ได้แก่ Adsorption และ Absorption

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างการดูดซับ (Adsorption) และการดูดซึม (Absorption) [5]

2.1.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ [6]

ปริมาณการดูดซับบนผิวของแข็ง คือปริมาณการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับสามารถคำนวณได้ตั้งสมการที่ 1 ดังนี้

$$q_t = \frac{C_0 - C_t}{m} V \quad (\text{สมการที่ 1})$$

q_t	คือ	ประสิทธิภาพการดูดซับ ณ เวลาใดๆ (Adsorption capacity) mg/g
C_0	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายตัวถูกดูดซับ ณ เวลาเริ่มต้น (Concentration at initial) mg/L
C_t	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายตัวถูกดูดซับ ณ เวลาใดๆ (Concentration at t moment) mg/L
m	คือ	น้ำหนักของตัวดูดซับ (mass of adsorbent) g
V	คือ	ปริมาตรสารละลายของตัวถูกดูดซับ (Volume of solution) L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณร้อยละการดูดซับ แสดงดังสมการที่ 2 ดังนี้

$$\% \text{adsorption} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 2})$$

เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นของสารละลายตัวถูกดูดซับ ณ เวลาเริ่มต้น
(Concentration at initial) mg/L

C_t คือ ความเข้มข้นของสารละลายตัวถูกดูดซับ ณ เวลาใดๆ
(Concentration at t moment) mg/L

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ประสิทธิภาพในการดูดซับขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวดูดซับ ตัวถูกดูดซับ และปัจจัยภายนอกต่างๆดังนี้

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ (Pore size and surface area of adsorbent)

ขนาดของตัวดูดซับจะแปรผกผันกับอัตราเร็วในการดูดซับโดยตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราเร็วในการดูดซับสูง ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะแปรผันโดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) โดยตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

2. ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับ (Solubility of adsorbate)

การดูดซับจะเกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับ ถูกดึงออกจากตัวทำละลาย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำแล้วจึงไปเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับ หากตัวถูกดูดซับสามารถละลายในตัวทำละลายได้ดี ก็จะทำให้ยากต่อการดูดซับ เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวทำละลาย แต่อย่างไรก็ตามอาจไม่เป็นเช่นนี้เสมอไป เพราะตัวถูกดูดซับบางชนิด ที่ละลายน้ำได้ดีก็สามารถเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ ดังนั้นความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถการดูดซับได้

3. ค่าพีเอช (pH)

เนื่องจากค่าพีเอชมีผลต่อความสามารถในการละลาย ซึ่งตัวถูกดูดซับบางชนิดละลายได้ดี ในสภาวะที่มีพีเอชสูงหรือละลายได้ดีในสภาวะที่มีพีเอชต่ำ และยังมีผลต่อการแตกตัวของไอออน ซึ่งจะส่งผลต่อการดูดซับที่เป็นการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนไอออน

4. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิจะมีผลต่อการดูดซับหรือไม่ขึ้นอยู่กับว่า การดูดซับในระบบเป็นการดูดซับทางกายภาพหรือทางเคมี หากเป็นการดูดซับทางกายภาพ อุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับน้อยลงหรือคงที่ แต่ถ้าหากเป็นการดูดซับทางเคมี อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น เพราะความร้อนจะไปช่วยเร่งสร้างพันธะเคมี และเพิ่ม โอกาสในการเคลื่อนที่เข้าหากันระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ และ ใบทำนองเดียวกันที่อุณหภูมิลดลงความสามารถในการดูดซับก็จะลดลงตามไปด้วย

5. ความปั่นป่วน (Turbulence)

ความปั่นป่วนของระบบ จะมีผลต่อความหนาของชั้นฟิล์มของตัวทำละลายซึ่งอยู่ล้อมรอบตัวดูดซับ โดยถ้าหากระบบมีความปั่นป่วนของตัวทำละลายต่ำ ชั้นฟิล์มก็จะมีความหนามาก ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่เข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับจึงเป็นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม แต่ในทางตรงข้ามหากระบบมีความปั่นป่วนของตัวทำละลายสูง ชั้นฟิล์มที่อยู่ล้อมรอบตัวดูดซับก็จะมีความหนาไม่มาก ทำให้ตัวถูกดูดซับสามารถผ่านชั้นฟิล์มได้เร็วขึ้น เพื่อเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน การแพร่ผ่านรูพรุนจึงกลายเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

2.2 เมทิลีนบลู (Methylene Blue)

เมทิลีนบลู (Methylene Blue) เป็นผงของแข็ง ไม่มีกลิ่น สีเขียวเข้มที่อุณหภูมิห้องและให้สารละลายสีน้ำเงินเมื่อละลายในน้ำ สามารถละลายน้ำได้สูง ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $C_{16}H_{18}N_3ClS$ [7]

ประเภทของสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายชนิด เช่น สีรีแอทีฟ สีเอซิด สีเบสิค สีไดเร็กต์ สีแว็ต และสีดิสเพอร์ส หนึ่งในวัสดุที่มีการใช้สูงสุดในอุตสาหกรรมสีย้อมคือเมทิลีนบลู ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้สำหรับระบายสีผ้าไหม ขนสัตว์ ฝ้าย และกระดาษ เมทิลีนบลูถูกจัดเป็นสีเบสิค (Basic Dyes) ที่ละลายน้ำได้มีโครงสร้างเป็นแคทไอออนในสภาวะที่ให้อิออน ซึ่งถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียหลังจากกิจกรรมทางอุตสาหกรรมต่างๆ และเป็นหนึ่งในสารปนเปื้อนที่มีมากที่สุดในสิ่งแวดล้อมทางน้ำ จนเป็นที่น่าสังเกตเนื่องจากความเป็นพิษที่อาจเกิดขึ้นได้ เมทิลีนบลูมีผลอันตรายหลายอย่างทั้งต่อมนุษย์และสัตว์ อาจทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น มีอาการคลื่นไส้ และอาเจียนเป็นต้น [8,9]



รูปที่ 2.2 สารละลายเมทิลีนบลูและผงเมทิลีนบลู

2.3 ดินเบาหรือไดอะตอมมาเชียสเอิร์ธ (Diatomaceous Earth)

ดินเบา/ แร่ไดอะตอมไมต์ หรือ แร่ไดอะตอมมาเชียสเอิร์ธ (Diatomite/ Diatomaceous earth) มีองค์ประกอบเคมีดังนี้ $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ เป็นหินตะกอนเนื้ออ่อน สีซีด น้ำหนักเบา ประกอบด้วยแร่ซิลิกาเป็นหลัก โดยเกิดจากการสะสมตัวของสาหร่ายเซลล์เดียวตายทับถมอยู่ชั้นดินในแหล่งน้ำจืด มีคุณสมบัติที่ดี เช่น พื้นที่ผิวสูง ความพรุนสูง ขนาดอนุภาคเล็ก และการนำความร้อนต่ำ ซึ่งทำให้ไดอะตอมไมต์เหมาะสำหรับการดูดซับสารประกอบโมเลกุลอินทรีย์ ไดอะตอมไมต์ถูกใช้เป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดสีย้อม และโลหะหนักต่างๆจากน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3]



รูปที่ 2.3 ดินเบาหรือแร่ไดอะตอมมาเชียสเอิร์ธ (Diatomaceous earth)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การเตรียมตัวดูดซับซิลิกาจากไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่ใช้แล้วและนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลาย (Silica adsorbent prepared from spent diatomaceous earth and its application to removal of dye from aqueous solution) [11]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระตุ้นประสิทธิภาพของดินเบาที่ใช้แล้ว (spent diatomaceous earth: SDE) การเตรียมตัวดูดซับซิลิกาโดยใช้กระบวนการคืนสภาพด้วยความร้อน (thermal regeneration) และวิธีการกระตุ้นด้วยกรดและด่าง จากการทดลองพบว่าวิธีการกระตุ้นด้วยเบสโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) นั้น มีประสิทธิภาพมากกว่ากระบวนการคืนสภาพด้วยความร้อนหรือวิธีการกระตุ้นแบบอื่นอย่างชัดเจน ค่าความพรุน (Porosity, ϵ) ของตัวดูดซับมีค่ามากกว่า 0.2 ซึ่งบ่งชี้ว่ารูพรุนเหล่านั้นมีลักษณะเป็นเมโซพอร์ส (Mesoporous) ซึ่งเป็นรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2 – 50 นาโนเมตร ดังนั้นตัวดูดซับที่เตรียมได้ดีที่สุดนี้จึงถูกใช้เป็นตัวดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู โดยผลลัพธ์จากการดูดซับพบว่าตัวดูดซับซิลิกานี้สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้มากกว่า 50 mg/g จากการคาดการณ์ของไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) ทั้งโมเดลของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

2.4.2 ใช้ไดอะตอมไมต์เชิงพาณิชย์สำหรับการดูดซับยาปฏิชีวนะเตตราไซคลินในสารละลาย (Commercial diatomite for adsorption of Tetracycline antibiotic from aqueous solution) [3]

ยาปฏิชีวนะถูกใช้อย่างแพร่หลายในการเป็นยารักษาของมนุษย์และในอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งส่งผลให้เกิดการสะสมและอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้ไดอะตอมไมต์ซึ่งเป็นหินทรายที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและมีค่าการดูดซับต่อสารประกอบอินทรีย์ได้ดีมากจึงถูกนำมาใช้ในการดูดซับยาปฏิชีวนะเตตราไซคลิน (Tetracycline) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาในส่วนของจลนศาสตร์การดูดซับ ไอโซเทอมของการดูดซับ อุณหพลศาสตร์ และผลกระทบของปริมาณตัวดูดซับและความแรงไอออนิก โดยทำการทดลองการดูดซับแบบแบทช์ การดูดซับของเตตราไซคลินบนไดอะตอมไมต์เป็นไปตามแบบจำลองอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับสอง และถึงจุดสมดุลของการดูดซับได้ในเวลา 120 นาที และในสมการไอโซเทอรัมเป็นไปตามแบบจำลองของแลงเมียร์ซึ่งสามารถทำนาย ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ดูดซับได้สูงสุด 303.03 mg/g ที่ 318 K โดยใช้ไดอะตอมไมต์ 1 g/L

2.4.3 การดูดซับ BTEX, MTBE และ TAME โดยไดอะตอมไมต์ธรรมชาติและไดอะตอมไมต์ดัดแปลง (Adsorption of BTEX, MTBE and TAME on natural and modified diatomite) [12]

การกำจัดสารปนเปื้อน BTEX (Benzene, Toluene, Ethyl-benzene and m-,p-,o-Xylenes), MTBE (Methyl tertiary butyl ether) และ TAME (Tertiary amyl methyl ether) ออกจากสารละลาย โดยใช้ไดอะตอมไมต์ปกติ และไดอะตอมไมต์ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนทางเคมี และทั้งสองอย่าง โดยทำการทดลองการดูดซับแบบกะ มีการเตรียมและดูดซับตัวอย่างไดอะตอมไมต์ที่แตกต่างกัน 14 ตัวอย่าง โดยมีการวิเคราะห์ในด้านลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับ เช่น พื้นที่ผิวจำเพาะและการกระจายของรูพรุนด้วย จากผลการทดลองพบว่าไดอะตอมไมต์มีประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX, MTBE และ TAME ออกจากสารละลายที่เป็นน้ำได้ โดยตัวอย่างที่ได้รับการกระตุ้นด้วยกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid: HCl) จะเป็นมีประสิทธิภาพมากที่สุด และในส่วนของจลนพลศาสตร์ของการดูดซับพบว่าเป็นไปตามแบบจำลองอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับสอง ในขณะที่ข้อมูลการทดลองแบบไอโซเทอมนั้นเหมาะสมกับแบบจำลองของฟรุนดิช

ตารางที่ 2.1 วัตถุประสงค์ การปรับปรุงประสิทธิภาพ และสารที่ถูกดูดซับของแต่ละงานวิจัย

วัตถุประสงค์	การปรับปรุงประสิทธิภาพ	สารที่ถูกดูดซับ	q_m (mg/g)	% removal	อ้างอิง
ไดอะตอมไมต์	ใช้กรดและเบสแก่	Methylene Blue	50	-	[11]
ไดอะตอมไมต์	-	Tetracycline	303.03	-	[3]
ไดอะตอมไมต์	ใช้กรดและเบสแก่	BTEX MTBE TAME	-	-	[12]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบ (Oven)
2. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
3. เครื่องกรองแบบสุญญากาศ (Vacuum filter)
4. กระดาษวัดค่าพีเอช (pH test strip)
5. เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Orbital shaker)
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Electronic scales)
7. ไมโครปิเปต (Micropipettes)
8. ขวดแก้วพร้อมฝาปิดขนาด 60 และ 120 มิลลิลิตร
9. ไมโครฟิลเตอร์ 0.45 ไมโครเมตร
10. ไชริงค์แก้วขนาด 5 มิลลิลิตร
11. UV-Visible Spectrophotometer (UV-vis)

3.2 วัสดุและสารเคมี

1. ดินเบาหรือไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธ (Diatomaceous Earth)
2. เมทิลีนบลู (Methylene Blue) แบบผงความเข้มข้น 95% ผลิตสำหรับทางการแพทย์
3. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) แบบเม็ด เข้มข้น 85%
4. น้ำปราศจากไอออน (DI water)

3.3 วิธีการทดลอง

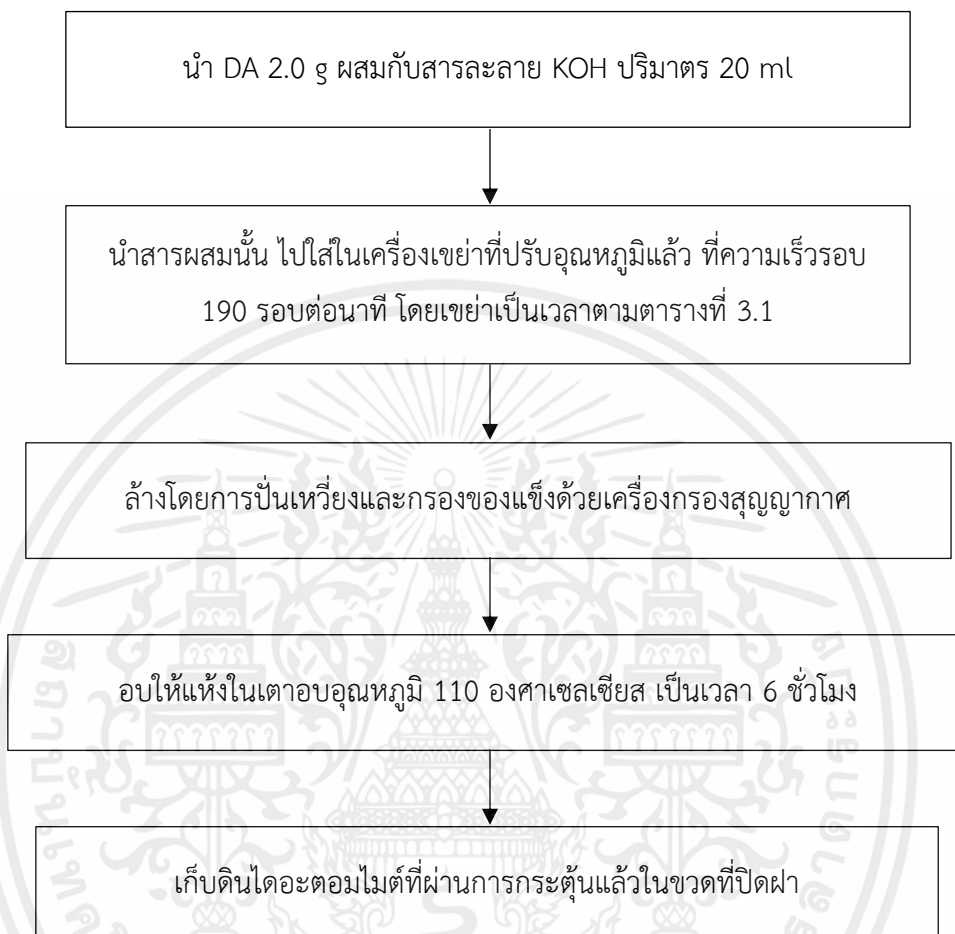
3.3.1 การเตรียมไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเบสแก่ (Base-diatomaceous earth: BDA)

สำหรับการเตรียมไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเบสแก่ (Base-diatomaceous earth: BDA) เราได้ทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรอย่างความเข้มข้นของKOH อัตราส่วนของไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธต่อสารละลายKOH อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธเพื่อนำไปดูดซับเมทิลีนบลูต่อไป โดยมีรายละเอียดของตัวแปรนั้นๆ ตามตารางที่ 3.1 และรายละเอียดของ BDA ที่เตรียมแตกต่างกันทั้ง 9 ตัว ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 สรุปข้อมูลของตัวแปรที่ใช้ในการเตรียมไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเบสแก่ (BDA)

Activating reagent		หน่วย
ชื่อ	KOH แบบเม็ด เข้มข้น 85%	
ความเข้มข้น	1, 3, 5	M
ปริมาตร	20	ml
น้ำหนักDA : สารละลายKOH	0.05, 0.1, 0.15	g/ml
Adsorbent source		
ชื่อ	ไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธ (Diatomaceous Earth)	
ปริมาณ	2	g
Activation condition		
ความเร็วรอบ	190	rpm
อุณหภูมิ	50, 60, 70	°C
เวลาที่ใช้	1, 2, 3	h

ในส่วนวิธีการเตรียมไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเบสแก่ (Base-diatomaceous earth: BDA) มีขั้นตอนแสดงดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การดูดซับเมทิลีนบลู

ในการทดลองจะใช้สารละลายเมทิลีนบลูเป็นสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) และไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเบสแก่ (Base-diatomaceous earth: BDA) เป็นสารดูดซับ (adsorbent) การดูดซับเกิดขึ้นในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้



ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการดูดซับ

Adsorption condition		หน่วย
Initial concentration	300	mg/L
Adsorbent loading	2	g/L
Adsorbent weight	0.02	g
Temperature	32 (Room temperature)	°C
Equilibrium time	6	h



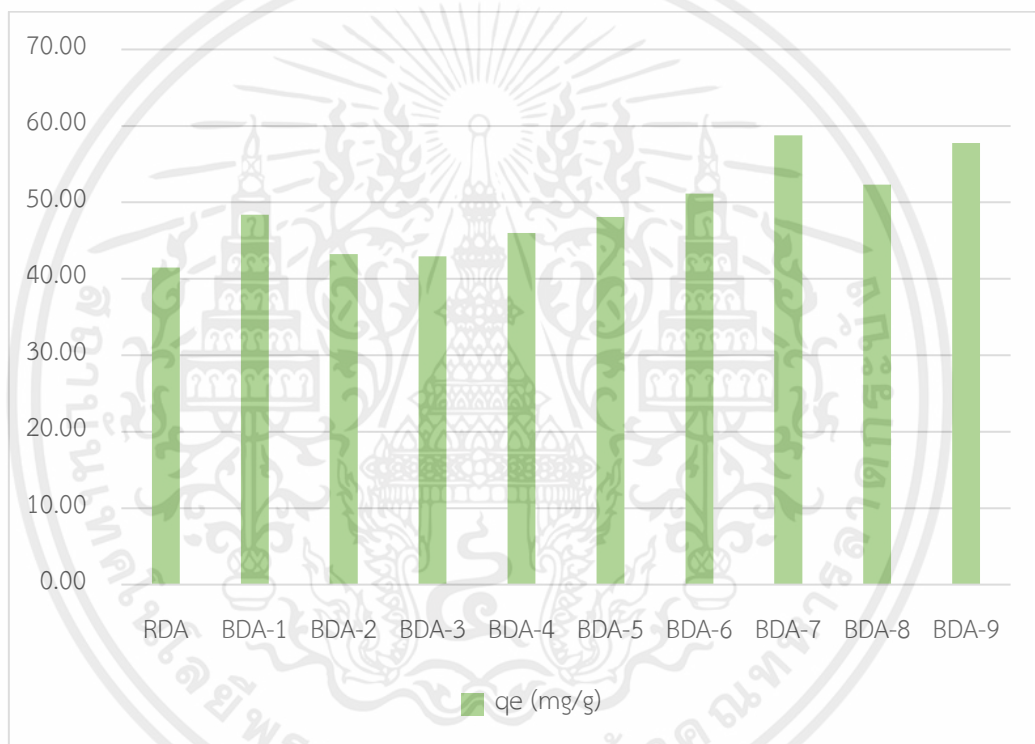
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

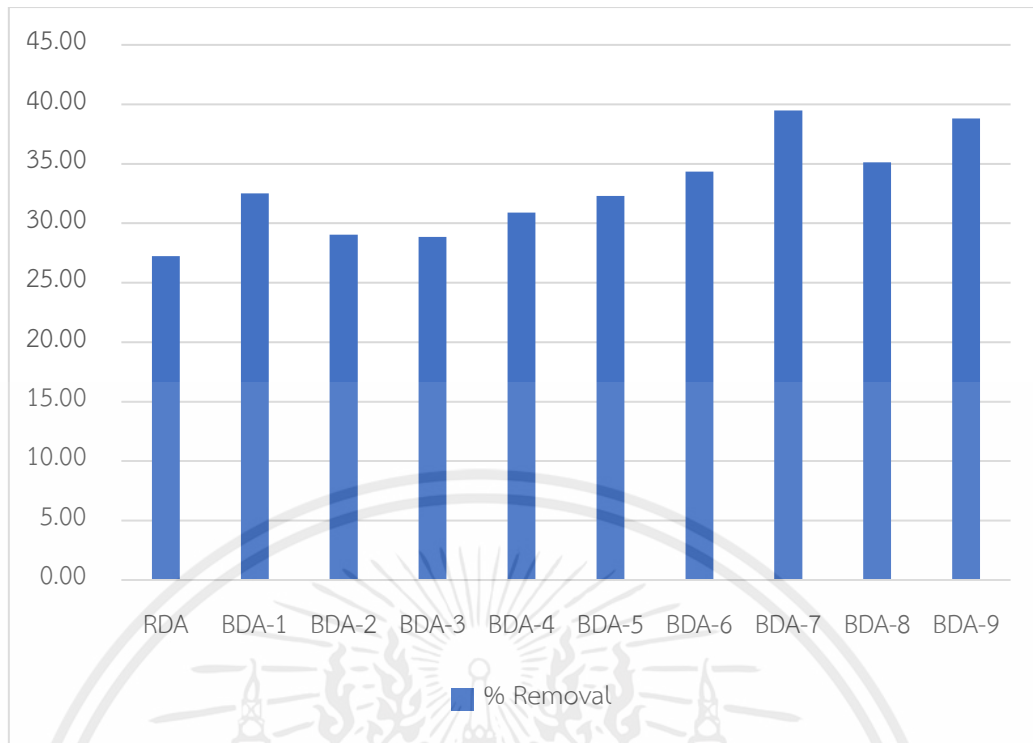
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองนำไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเบสแก่ หรือ BDA ที่เตรียมต่างกันทั้ง 9 ตัว มาดูดซับเมทิลีนบลูจากสารละลาย ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ (Adsorption capacity, q_e) และร้อยละการดูดซับ (%Removal) ตามรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับดังนี้



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับ (Adsorption capacity, q_e) ของ BDA ทั้ง 9 ตัว

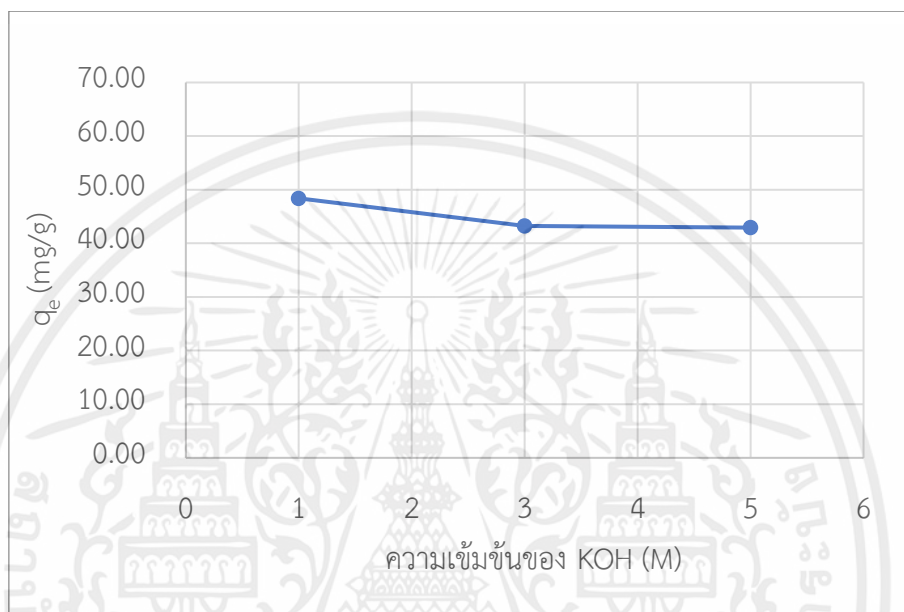


รูปที่ 4.2 ร้อยละการดูดซับ (%Removal) ของ BDA ทั้ง 9 ตัว

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าทั้งประสิทธิภาพการดูดซับ (Adsorption capacity, q_e) และ ร้อยละการดูดซับ (%Removal) มีแนวโน้มสอดคล้องกัน และ BDA-7 ให้ค่า q_e และ %Removal มากที่สุดอยู่ที่ 58.77 mg/g และ 39.47%

4.1.1 ผลกระทบของความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการเตรียมไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเบสแก่

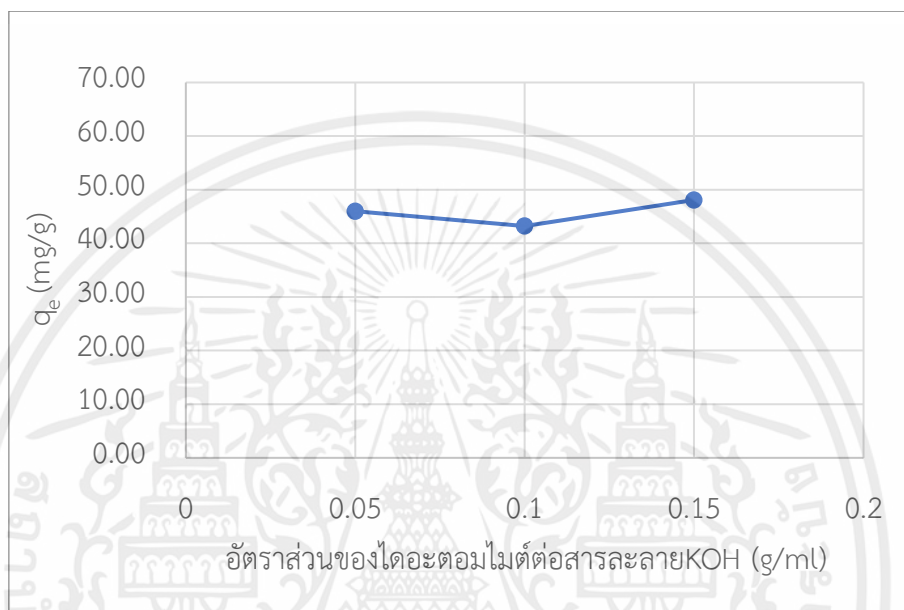
เมื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KOH ขึ้น แนวโน้มของ q_e ลดลง โดยจะได้ q_e สูงที่สุดที่ความเข้มข้น 1 M และที่ความเข้มข้น 3 และ 5 M q_e ลดลงมีค่าลดลงเล็กน้อย และมีแนวโน้มคงที่แม้จะเพิ่มความเข้มข้นขึ้นอีก



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลาย KOH ที่ใช้ในการเตรียม BDA เทียบกับประสิทธิภาพการดูดซับ

4.1.2 ผลกระทบของอัตราส่วนของไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการเตรียมไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเบสแก่

เมื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.4 พบว่าที่อัตราส่วนของไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธต่อสารละลายKOH มีค่า 0.15 g/ml ได้ค่า q_e สูงที่สุดอยู่ที่ 48.09 mg/g ถึงอย่างนั้นจากกราฟจะเห็นได้ว่าแม้จะปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนนี้ ก็ส่งผลต่อค่า q_e เล็กน้อยเท่านั้น

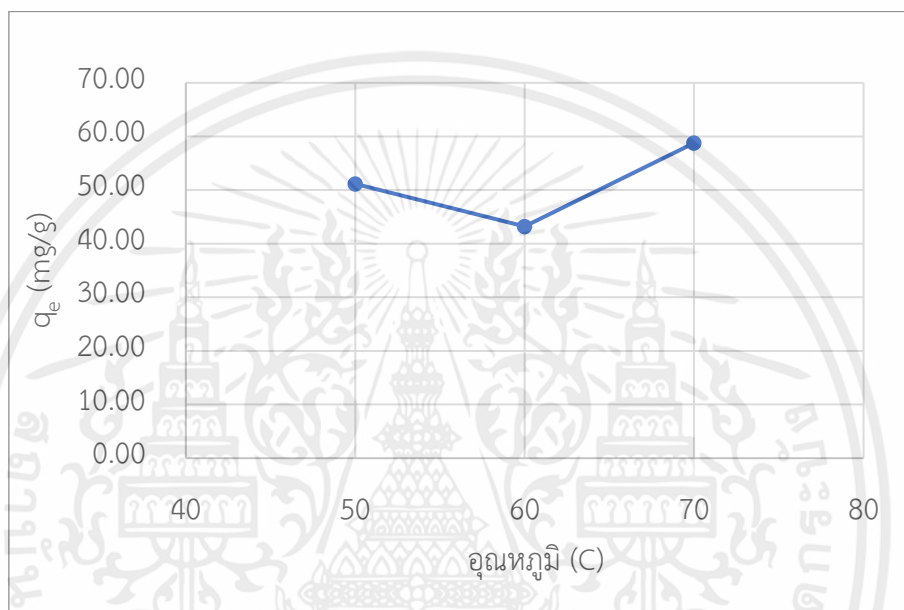


รูปที่ 4.4 ผลกระทบของอัตราส่วนของไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธต่อสารละลายKOH ที่ใช้ในการเตรียม BDA เทียบกับประสิทธิภาพการดูดซับ

4.1.3 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่ม

ประสิทธิภาพด้วยเบสแก่

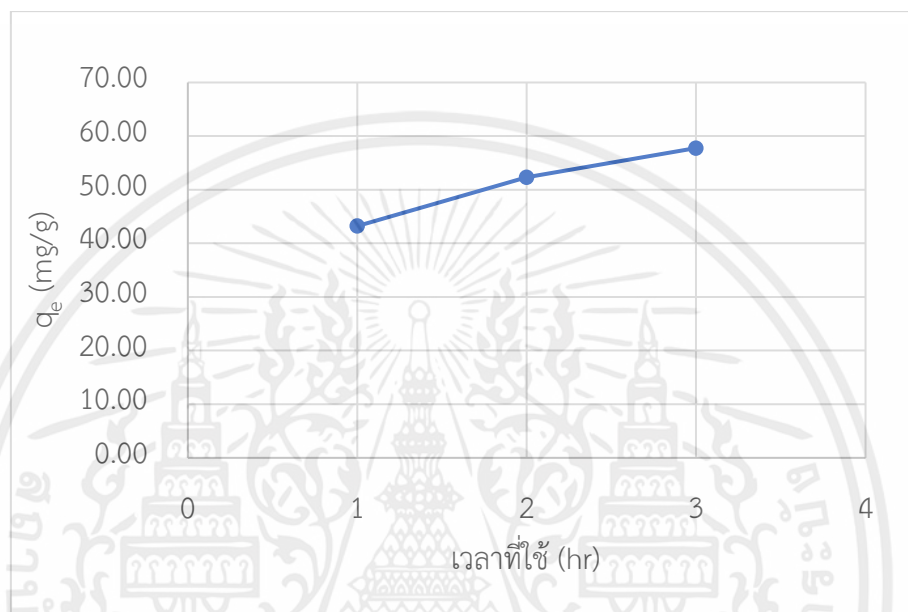
เมื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพขึ้น แนวโน้มของ q_e จะสูงขึ้นด้วย โดยจะได้ q_e สูงที่สุดที่อุณหภูมิ 70 °C และที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °C ค่า q_e ลดลงอย่างชัดเจน และจากกราฟมีแนวโน้มว่าหากเพิ่มอุณหภูมิต่อไปก็คาดว่าค่า q_e จะมีค่าสูงขึ้นอีก



รูปที่ 4.5 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียม BDA เทียบกับประสิทธิภาพการดูดซับ

4.1.4 ผลกระทบของเวลาที่ใช้ในการเตรียมไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเบสแก่

เมื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการกระตุ้นสูงขึ้น ทำให้ q_e มีค่าสูงขึ้น โดยจะได้ q_e สูงที่สุดที่ 3 ชั่วโมง และจากกราฟมีแนวโน้มว่าหากเพิ่มเวลาในการกระตุ้นต่อไปก็คาดว่าค่า q_e จะมีค่าสูงขึ้นอีก



รูปที่ 4.6 ผลกระทบของเวลาที่ใช้ในการเตรียม BDA เทียบกับประสิทธิภาพการดูดซับ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ในเบื้องต้นต้องการศึกษาการดูดซับสารเมทิลีนบลูด้วยไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยการใช้เบสแก่ (Base-diatomaceous earth: BDA) โดยศึกษาผลกระทบของ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพตัวดูดซับว่าส่งผลกับประสิทธิภาพในการดูดซับอย่างไร งานวิจัยนี้จึงได้ทำการเตรียม BDA โดยมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรต้นดังต่อไปนี้ ความเข้มข้นของ KOH อัตราส่วนของไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธต่อสารละลาย KOH อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธเพื่อนำไปดูดซับเมทิลีนบลู

จากผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. ดินเบาหรือไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธนี้เป็นวัสดุดิบในการผลิตตัวดูดซับที่ดี ด้วยคุณสมบัติที่เหมาะสมเช่น พื้นที่ผิวสูง ความพรุนสูง ขนาดอนุภาคเล็ก และการนำความร้อนต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธที่ไม่ได้รับการกระตุ้น ได้ค่า q_e เป็น 38.67 mg/g และ %Removal เป็น 31.81%

2. ผลกระทบของความเข้มข้นของ KOH (1 2 3 M) อัตราส่วนไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธต่อสารละลาย KOH (0.05 0.1 0.15 g/ml) อุณหภูมิ (50 60 70 °C) และเวลา (1 2 3 ชั่วโมง) ที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพตัวดูดซับล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับอย่างยิ่ง สภาวะที่ดีที่สุดในการใช้เพิ่มประสิทธิภาพตัวดูดซับคือ ความเข้มข้น KOH 3 M, DA : สารละลาย KOH 0.1 g/ml, อุณหภูมิ 70 °C, เวลา 1 ชั่วโมง (BDA-7) เป็นสภาวะที่ทำให้ค่า q_e เพิ่มขึ้นถึง 1.42 เท่า อยู่ที่ 58.77 mg/g และทำให้ค่า %Removal เพิ่มขึ้นถึง 1.45 เท่า อยู่ที่ 39.47%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาไดอะโตมมาเซียสเอิร์ธที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยการใช้กรดเช่นกัน ด้วยคุณสมบัติที่มีการกัดกร่อนคล้ายกับเบส โดยคาดว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ตัวดูดซับได้เช่นกัน

2. ควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของ การดูดซับโดยใช้แบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงขอบเขตของการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนผิวตัวดูดซับในเชิงปริมาณ และจลนพลศาสตร์การดูดซับ (Adsorption Kinetics) เป็นการแสดงอัตราในการการดูดซับสารบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

3. จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่า ดินเบาหรือไดอะโตมมาเซียสเอิร์ธนี้เป็นวัตถุดิบในการผลิตตัวดูดซับที่ดี จึงควรมีการศึกษาการดูดซับแบบต่อเนื่อง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการใช้เป็นตัวดูดซับในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

ภาคผนวก ก

ก.1 ผลจากการทดลองดูดซับเมทิลีนบลู

ก.1.1 ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับและร้อยละการดูดซับ

ตารางที่ ก.1.1 ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับและร้อยละการดูดซับแบบเฉลี่ยของ RDA และ BDA ทั้งหมด

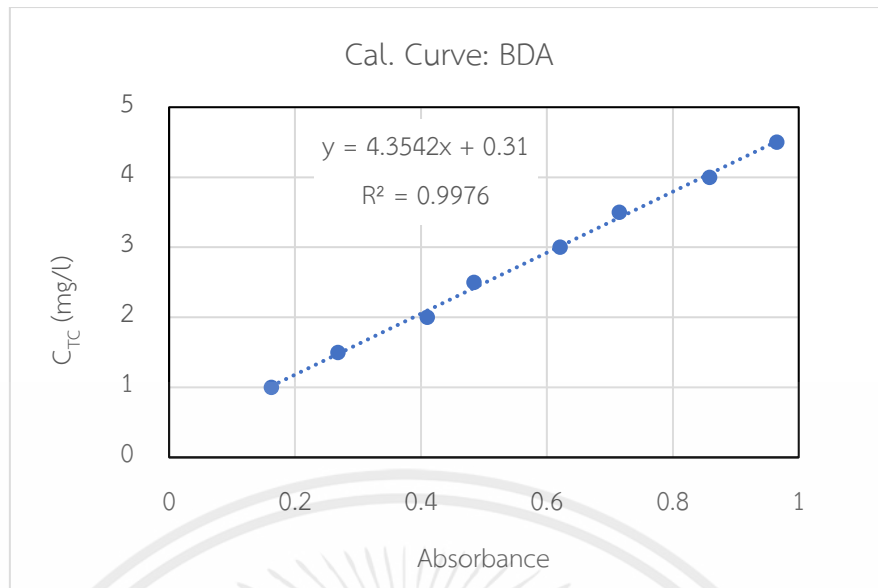
No.	Name	%Removal (Avg)	q_e (Avg)
		(%)	(mg/g)
Ref	RDA	27.23	41.46
1	BDA-1	32.51	48.40
2	BDA-2	29.03	43.22
3	BDA-3	28.84	42.94
4	BDA-4	30.90	46.01
5	BDA-5	32.30	48.09
6	BDA-6	34.35	51.15
7	BDA-7	39.47	58.77
8	BDA-8	35.14	52.31
9	BDA-9	38.80	57.77

ก.1.2 กราฟมาตรฐานความเข้มข้น (Concentration calibration curve)

ตารางที่ ก.1.2 ค่าการดูดกลืนแสงของกราฟมาตรฐานความเข้มข้น (concentration calibration curve)

Calibration Curve		
Concentration	C_{MB}	Absorbance
Level	(mg/l)	(-)
0	0	0
1	1	0.162
2	1.5	0.268
3	2	0.410
4	2.5	0.484
5	3	0.621
6	3.5	0.715
7	4	0.858
8	4.5	0.965
slope		4.3542
intercept		0.3100
R^2		0.9976

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1.1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของ BDA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิง

- [1] J. Fu, Z. Chen, M. Wang, S. Liu, J. Zhang, J. Zhang, R. Han, Q. Xu, Adsorption of methylene blue by a high-efficiency adsorbent (polydopamine microspheres): Kinetics, isotherm, thermodynamics and mechanism analysis, *Chemical Engineering Journal*. 259 (2015) 53–61.
<https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2014.07.101>.
- [2] M. Auta, B.H. Hameed, Chitosan–clay composite as highly effective and low-cost adsorbent for batch and fixed-bed adsorption of methylene blue, *Chemical Engineering Journal*. 237 (2014) 352–361.
<https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2013.09.066>.
- [3] Y. Chao, W. Zhu, F. Chen, P. Wang, Z. Da, X. Wu, H. Ji, S. Yan, H. Li, Commercial Diatomite for Adsorption of Tetracycline Antibiotic from Aqueous Solution, *Separation Science and Technology (Philadelphia)*. 49 (2014) 2221–2227.
<https://doi.org/10.1080/01496395.2014.914954>.
- [4] S. Wang, B. Gao, Y. Li, A. Mosa, A.R. Zimmerman, L.Q. Ma, W.G. Harris, K.W. Migliaccio, Manganese oxide-modified biochars: Preparation, characterization, and sorption of arsenate and lead, *Bioresour Technol*. 181 (2015) 13–17.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.044>.
- [5] N. Jamaludin, S.A. Rashid, T. Tan, Natural Biomass as Carbon Sources for the Synthesis of Photoluminescent Carbon Dots, *Synthesis, Technology and Applications of Carbon Nanomaterials*. (2019) 109–134.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815757-2.00005-X>.
- [6] M.Z.H. Kazmi, A. Karmakar, V.K. Michaelis, F.J. Williams, Separation of cellulose/hemicellulose from lignin in white pine sawdust using boron trihalide reagents, *Tetrahedron*. 75 (2019) 1465–1470.
<https://doi.org/10.1016/j.tet.2019.02.009>.

- [7] I. Khan, K. Saeed, I. Zekker, B. Zhang, A.H. Hendi, A. Ahmad, S. Ahmad, N. Zada, H. Ahmad, L.A. Shah, T. Shah, I. Khan, Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation, *Water* 2022, Vol. 14, Page 242. 14 (2022) 242. <https://doi.org/10.3390/W14020242>.
- [8] A.F. Hassan, A.M. Abdel-Mohsen, M.M.G. Fouda, Comparative study of calcium alginate, activated carbon, and their composite beads on methylene blue adsorption, *Carbohydr Polym.* 102 (2014) 192–198. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2013.10.104>.
- [9] R. Sivakumar, N.Y. Lee, Adsorptive removal of organic pollutant methylene blue using polysaccharide-based composite hydrogels, *Chemosphere.* 286 (2022). <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.131890>.
- [10] V. Isham, N. Keiding, T. Louis, N. Reid, R. Tibshirani, H. Tong Stochastic, O. BandorjJ-Nielsen, D. Cox, Local Polynomial Modelling and Its Applications : Monographs on Statistics and Applied Probability 66, Local Polynomial Modelling and Its Applications. 21 (2018) 33. <https://doi.org/10.1201/9780203748725>.
- [11] W.T. Tsai, K.J. Hsien, J.M. Yang, Silica adsorbent prepared from spent diatomaceous earth and its application to removal of dye from aqueous solution, *J Colloid Interface Sci.* 275 (2004) 428–433. <https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2004.02.093>.
- [12] M. Aivalioti, P. Papoulias, A. Kousaiti, E. Gidaragos, Adsorption of BTEX, MTBE and TAME on natural and modified diatomite, *J Hazard Mater.* 207–208 (2012) 117–127. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2011.03.040>.