

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาวิธีการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี

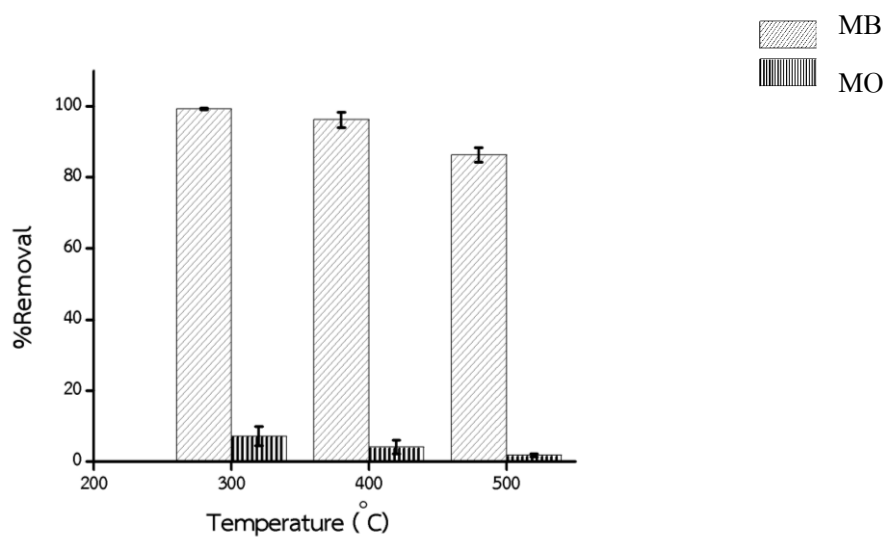
4.1.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเบนโทไนท์

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเบนโทไนท์ ที่อุณหภูมิ 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

ผลการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเบนโทไนท์

อุณหภูมิ (°C)	ร้อยละการกำจัดสีข้อมเมทิลีนบลู (เปอร์เซ็นต์)	ร้อยละการกำจัดสีข้อมเมทิลออเรนจ์ (เปอร์เซ็นต์)
300	99.27±0.31	7.18±2.70
400	96.21±2.15	4.10±1.93
500	86.3±2.41	1.79±0.44



ภาพที่ 4.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเบนโทไนท์

จากภาพที่ 4.1 พบว่าเบนโทไนท์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับสารละลาย สีย้อมเมทิลลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ได้ดี เนื่องจาก กระบวนการให้ความร้อนเป็นการทำให้ โครงสร้างมีรูพรุน โดยทำให้เกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่คาร์บอน โดยการเผาไหม้อุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าคาร์บอน ส่งผลให้ มีร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลง ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาเบนโทไนท์ คือ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (Marrakchi, 2017 และ Suryadi, 2016)

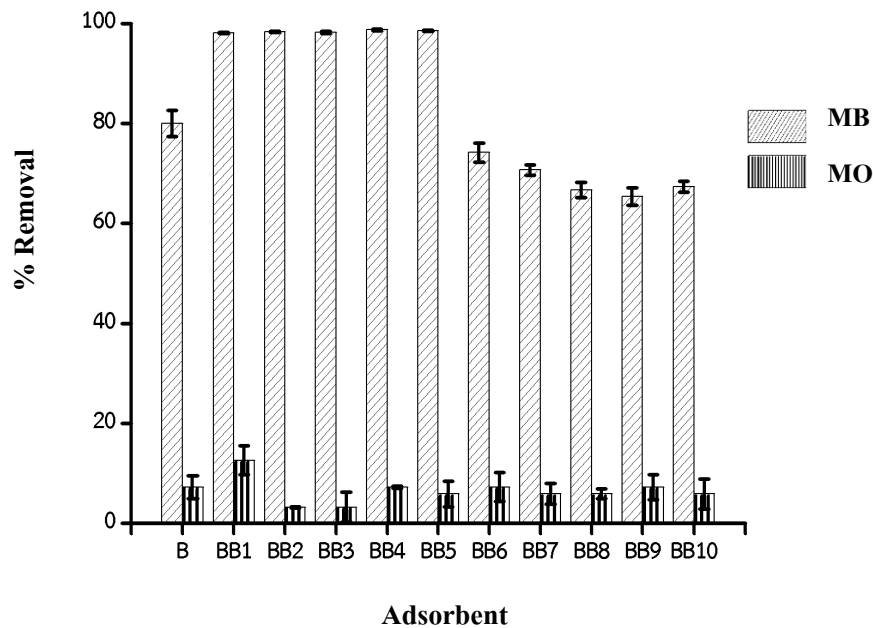
4.1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการกระตุ้นต่อ ร้อยละการกำจัดเมทิลลีนบลูและเมทิลออเรนจ์

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมด้วยเบนโทไนท์แต่ละชนิด เป็นการศึกษาการเตรียมวัสดุดูดซับชนิดต่าง ๆ จากเบนโทไนท์ โดยให้นำเบนโทไนท์ไปกระตุ้นด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน คือ 0.25 – 5.0 โมลาร์ แช่ทิ้งไว้ 2 และ 24 ชั่วโมง เพื่อนำไปเป็นวัสดุดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ เพื่อศึกษาวัสดุดูดซับที่เหมาะสม ดัง ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการกระตุ้น

วัสดุดูดซับ	ร้อยละการกำจัดสีย้อม เมทิลลีนบลู (เปอร์เซ็นต์)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม เมทิลออเรนจ์ (เปอร์เซ็นต์)
B	80.00±2.60	7.26±2.32
BB1	99.69±0.10	12.63±2.92
BB2	98.28±0.12	3.23±0.12
BB3	99.17±0.23	3.23±2.98
BB4	98.71±0.19	7.26±0.19
BB5	98.58±0.08	5.91±2.58
BB6	74.17±1.91	7.26±2.91
BB7	70.67±1.02	5.91±2.07
BB8	66.67±1.56	5.91±0.96
BB9	65.33±1.74	7.26±2.54
BB10	67.33±1.10	5.91±2.98



ภาพที่ 4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการกระตุ้น

4.1.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการกระตุ้นต่อการดูดซับเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์

การศึกษาระสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมด้วยเบนโทไนท์แต่ละชนิดเป็นการศึกษาการเตรียมวัสดุดูดซับชนิดต่าง ๆ จากเบนโทไนท์ โดยให้นำเบนโทไนท์ไปกระตุ้นด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นต่างกัน คือ 0.25 – 5.0 โมลาร์ แช่ทิ้งไว้ 2 และ 24 ชั่วโมง เพื่อนำไปเป็นวัสดุดูดซับสีย้อมแคทไอออนเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ เพื่อศึกษาวัสดุดูดซับที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

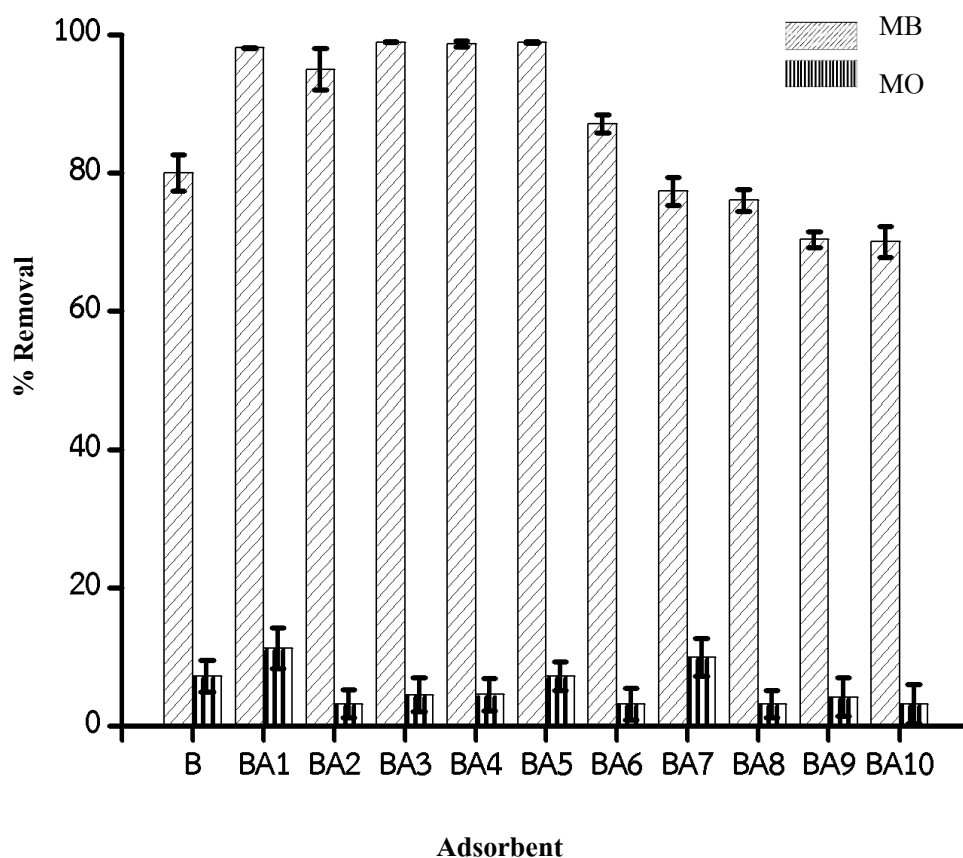
ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการกระตุ้น

วัสดุดูดซับ	ร้อยละการกำจัดสีย้อม	
	เมทิลีนบลู	เมทิลออเรนจ์
B	80.00±2.60	7.26±2.32
BA1	98.11±0.04	11.29±2.98
BA2	94.99±2.99	3.23±2.03
BA3	98.92±0.06	4.56±2.50

(ต่อ)

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

วัสดุดูดซับ	ร้อยละการกำจัดสีข้อม	ร้อยละการกำจัดสีข้อม
	เมทิลลิโนบลู	เมทิลออเรนจ์
BA4	98.67±0.46	4.57±2.33
BA5	98.91±0.10	7.25±2.07
BA6	87.09±1.30	3.22±2.30
BA7	77.33±1.98	9.99±2.74
BA8	76.00±1.59	3.22±2.01
BA9	70.33±1.18	4.25±2.76
BA10	70.00±2.26	3.22±2.86



ภาพที่ 4.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการกระตุ้น

จากภาพที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.3 พบว่าการดูดซับสีเขียวเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ด้วยวัสดุดูดซับจากเบนโทไนท์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายไฮโดรคลอริก ผลการทดลองพบว่า วัสดุดูดซับสามารถดูดซับสีเขียวเมทิลีนบลูได้ดีกว่าสีเขียวเมทิลออเรนจ์ และการกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีร้อยละการกำจัดที่ดีที่สุดถึง 99.69 ± 0.10 เนื่องจากเบนโทไนท์ มีโครงสร้างของการรวมตัวแบบ 2:1 มีชั้นเตตระฮีดรอลอ่อน ๆ รวมทั้งแคทไอออนอยู่ระหว่างชั้น ปฏิกริยาระหว่างสารละลายเบสและเบนโทไนท์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเบสจะทำการเพิ่มพื้นที่ผิวและเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนบนตัวดูดซับ สามารถเพิ่มปริมาณรูพรุนและเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะได้ดีมาก จึงทำให้ประสิทธิภาพร้อยละการดูดซับสูงขึ้น (รวินิภา ศรีมูล, 2559, น. 419-434)

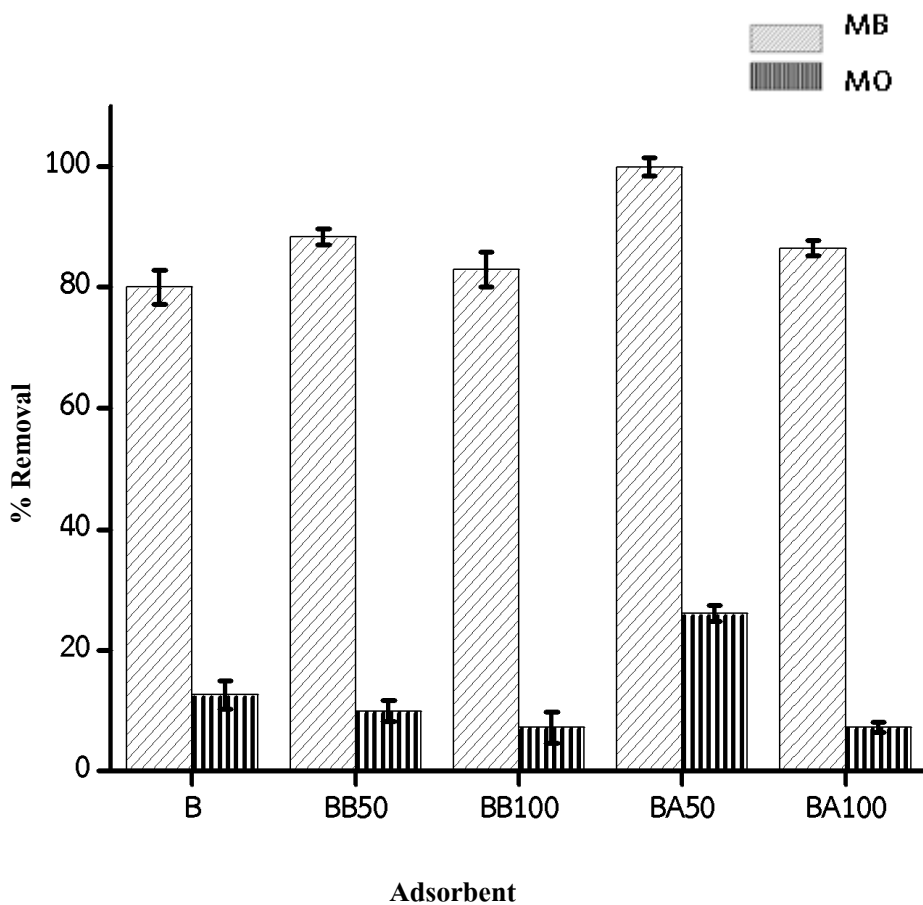
4.1.4 ผลการศึกษาการให้ความร้อนในการกระตุ้นวัสดุดูดซับต่อการดูดซับสีเขียวเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์

ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับสีเขียวด้วยวัสดุดูดซับ โดยการเตรียมเบนโทไนท์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วนำไปให้ความร้อนภายใต้การปั่นกวน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำทดสอบการดูดซับสีเขียวเมทิลีนบลูและสีเขียวเมทิลออเรนจ์ เพื่อให้ได้วัสดุดูดซับที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4

ผลการศึกษาการให้ความร้อนในการกระตุ้น (Thermal Activation) วัสดุดูดซับต่อการดูดซับสีเขียวเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์

วัสดุดูดซับ	ร้อยละการกำจัดสีเขียวเมทิลีนบลู	ร้อยละการกำจัดสีเขียวเมทิลออเรนจ์
B	79.99 ± 2.80	12.63 ± 2.33
BB50	88.33 ± 1.30	9.94 ± 1.70
BB100	82.92 ± 2.89	7.23 ± 2.56
BA50	99.93 ± 1.44	26.07 ± 1.30
BA100	86.46 ± 1.30	7.23 ± 0.82



ภาพที่ 4.4 ผลการศึกษาการให้ความร้อนในการกระตุ้น (Thermal Activation) วัสดุดูดซับต่อการดูดซับสีซีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์

จากภาพที่ 4.4 เมื่อทำการดูดซับสารละลายสีซีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ จากการทดลองพบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับสารละลายสีซีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ได้ดีกว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เนื่องจาก การให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่สูงเกินไป โครงสร้างของเบนโทไนท์จะเสียสภาพไป ทำให้มีร้อยละการกำจัดที่ลดลง (Suryadi, 20161, p.146-154, รวินิภา ศรีมูล, 2559, น. 419-434) เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อตัวดูดซับ การเพิ่มอุณหภูมิทำให้การดูดซับเกิดขึ้นได้ดี แต่ในกระบวนการคายความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การดูดซับน้อยลง เนื่องจากการละลายของสีซีย้อม แรงดึงดูดระหว่างสีซีย้อมกับตัวดูดซับลดลง จึงทำให้มีร้อยละการกำจัดลดลง

4.2 ผลการศึกษาสมบัติและลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับ

การศึกษาร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (% Yield) การหาประจุที่ผิวเป็นศูนย์ Point of zero chang (pH_{pzc}) การหาปริมาณรูพรุน พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนของวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นด้วยเทคนิค Brunauer Emmett-Telle (BET); BEL JAPAN, ING; model Belsorp-mini และการศึกษาห่มู่ฟังก์ชันของวัสดุดูดซับด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

4.2.1 การศึกษาร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้

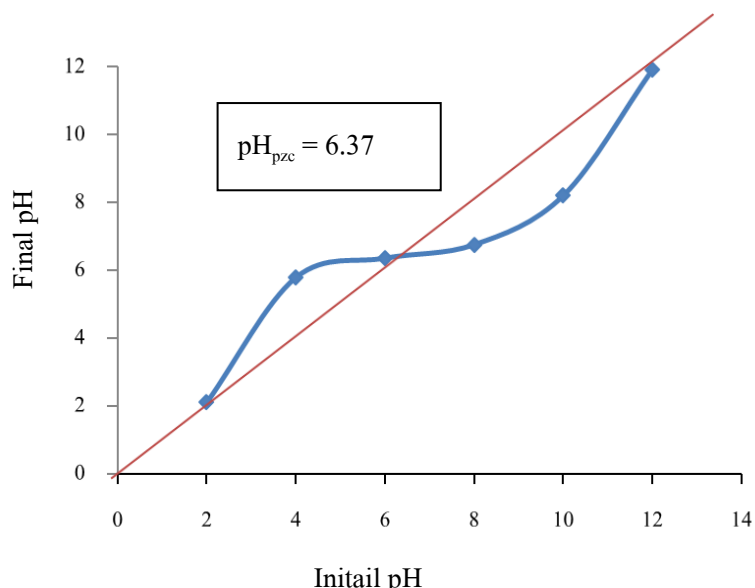
ตารางที่ 4.5

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์เซชัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละผลผลิต (เปอร์เซ็นต์)	ร้อยละการกำจัด (เปอร์เซ็นต์)
300	99.18±0.07	99.27±0.29
400	98.16±1.15	96.21±2.15
500	96.34±8.68	86.3±2.05

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ BA50 พบว่าวัสดุดูดซับชนิด BA50 มีร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 99.18 มีความสามารถในการดูดซับได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่มากพอที่จะนำมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับ

4.2.2 การหาประจุที่ผิวเป็นศูนย์ Point of zero charge (pH_{pzc})



ภาพที่ 4.5 Point of zero charge (pH_{pzc}) ของวัสดุดูดซับประเภท BA50

การวิเคราะห์หาค่า Point of zero charge (pH_{pzc}) คือ pH ที่ผลรวมของประจุบนพื้นผิวของตัวดูดซับเท่ากับศูนย์ เมื่อ $pH < pH_{pzc}$ ประจุบนพื้นผิวของตัวดูดซับจะเป็นประจุบวก แต่ถ้า $pH > pH_{pzc}$ บนประจุพื้นผิวของตัวดูดซับจะเป็นประจุลบ (Yang et al., 2004) ผลการทดลองพบว่าวัสดุดูดซับเบนโทไนท์ มีค่า pH_{pzc} เท่ากับ 6.37 (ภาพที่ 4.5) ผลการทดลองค่า pH_{pzc} ที่ได้สอดคล้องกับค่า pH ที่เหมาะสมได้จากผลการทดลองที่ 4.3.2 ที่ว่า pH ของสารละลายต่อการดูดซับสีข้อมเมทิลลิ้นบลูมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีที่ดีที่สุดที่ pH 12 ซึ่ง $pH 12 > pH_{pzc}(6.37)$ ส่วนสารละลายสีข้อมเมทิลออเรนจ์ มีค่า pH 2 ซึ่ง $pH 2 < pH_{pzc}(6.37)$ อธิบายว่าค่า pH ของสารละลายสีข้อมเมทิลลิ้นบลูเมื่อละลายน้ำจะได้ประจุเป็นบวก จึงถูกดูดซับด้วยวัสดุดูดซับ BA50 ที่ผิวจะเป็นประจุลบ ส่วนสารละลายเมทิลออเรนจ์มีค่า pH ประจุเป็นลบ จึงถูกดูดซับด้วยวัสดุดูดซับ BA50 ที่ผิวมีประจุเป็นบวก

4.2.4 ผลของการศึกษาการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET (Brunauer-Emmett Teller)

ผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิว (Surface area) ปริมาตรรูพรุน (Pore Volume) และขนาดรูพรุนเฉลี่ย (Average pore size) ด้วยเทคนิค BET; BEL JAPAN, INC; model Belsorp-mini ของวัสดุดูดซับ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

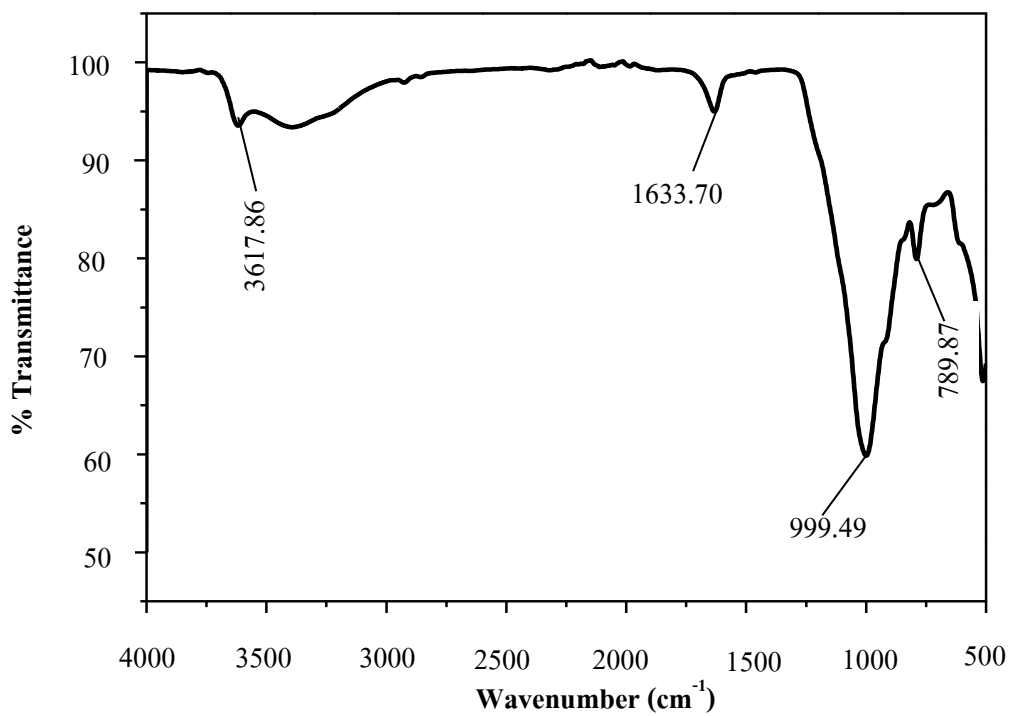
ผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET

Adsorbent	BET surface area (m ² /g)	Pore volume (cm ³ /g)	Pore size (nm)
B	78.76	0.1705	86.59
BB1	81.11	0.1989	95.74
BB6	76.68	0.1826	95.23
BB50	42.58	0.1290	121.1
BB100	39.73	0.1282	129.0
BA1	83.59	0.2195	105.0
BA6	89.30	0.2415	108.2
BA50	98.39	0.1953	79.40
BA100	37.56	0.1120	118.4

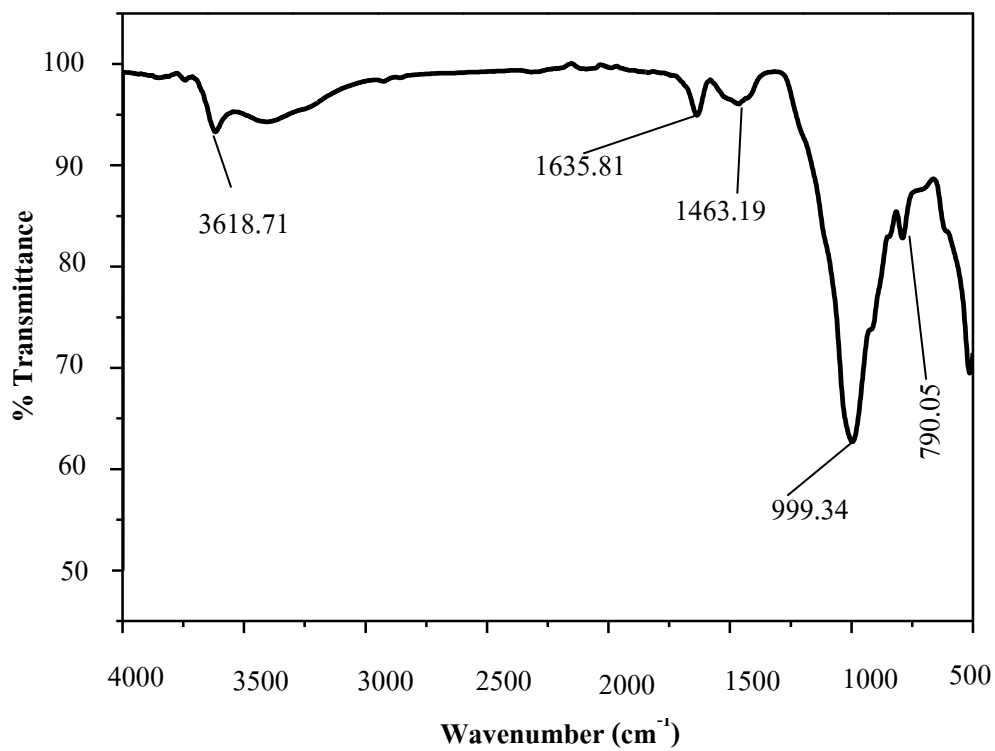
การวิเคราะห์เบนโทไนท์ด้วยเทคนิค BET คือ โมเลกุลที่ถูกดูดซับในชั้นแรกจะเป็นพื้นผิวในการเกาะของสารที่ถูกดูดซับในชั้นที่สองและชั้นต่อ ๆ ไป ดังนั้นโมเลกุลในชั้นที่สองจะเกาะอยู่บนสารที่ถูกดูดซับไม่ใช่พื้นผิวของตัวดูดซับ จึงเหมือนอยู่ในภาวะ อิ่มตัวของของเหลว แตกต่างจากในชั้นแรกที่โมเลกุลสัมผัสกับพื้นผิวของสารดูดซับโดยตรง (วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2558) ซึ่งพื้นที่ผิวสามารถหาได้จาก การหาปริมาณแก๊สดังกล่าวมาเปลี่ยนจำนวนโมเลกุลของแก๊สที่ปกคลุมพื้นผิวเต็มหนึ่งชั้น คูณด้วยพื้นที่สำหรับการปกคลุมด้วยแก๊สหนึ่งโมเลกุล จากนั้นนำพื้นที่ทั้งหมด ไปหารด้วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่นำมาทดสอบจะได้พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับนั้น จากผลการวิเคราะห์ วัสดุดูดซับเบนโทไนท์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ในตารางที่ 4.6 วัสดุดูดซับ BA50 (ระยะเวลาในการปั่นกววน 2 ชั่วโมง ใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในการกระตุ้น) มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Surface area) เท่ากับ 98.39 m²/g ซึ่งมากที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุดูดซับที่กระตุ้นด้วยสถานะอื่น ๆ

4.2.3 ผลการศึกษาหุ้ฟงักซันของวัสดุดูดซับด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

การศึกษาหุ้ฟงักซันของเบนโทไนท์ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์หุ้ฟงักซัน



ภาพที่ 4.6 FTIR Spectrum ของ BA50



ภาพที่ 4.7 FTIR Spectrum ของ BA50 หลังการดูดซับ

เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เป็นเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ สามารถบอกหมู่ฟังก์ชันในสารได้ การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันของเบนโทไนด์ จากภาพที่ 4.6 ปรากฏพีคที่ตำแหน่งประมาณ 3632 cm^{-1} เป็นของ Al(Mg)-O-H พีคที่ตำแหน่งประมาณ 1633 cm^{-1} ของ H-O-H bending พีคที่ตำแหน่งประมาณ 1004 cm^{-1} ของ Si-O-Si stretching พีคที่ตำแหน่งประมาณ 790 cm^{-1} ของ Si-O stretching of silica and quartz (Eric Kristia Putra et al, 2009, 2419 – 2430) ของหมู่ฟังก์ชันของเบนโทไนด์ และพบว่าเมื่อนำ BA50 ไปดูดซับเมทิลีนบลู จากภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า BA50 ดูดซับเมทิลีนบลูและจะทำให้หมู่ฟังก์ชัน OH ที่ตำแหน่ง 1633 cm^{-1} มีความเข้มลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการดูดซับที่ตำแหน่งนี้

4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ด้วยวัสดุดูดซับ

ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การดูดซับแบบกะ ได้แก่ ระยะเวลาในการดูดซับ พีเอชของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ และไอโซเทอมการดูดซับ

4.3.1 ระยะเวลาในการดูดซับต่อการดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์

การศึกษาระยะเวลาในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยวัสดุซับ BA50 ที่เวลา 0 - 180 นาที และศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นทำการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูที่ 300 500 700 และ 900 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.7

ระยะเวลาในการดูดซับสีของเมทิลีนบลูที่มีต่อวัสดุดูดซับประเภท BA50 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการกำจัดสีของ เมทิลีนบลู (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณการดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)
0	300	72.23 ±0.06	124.56±0.66
	500	82.39±0.02	169.83±2.12
	700	89.67±2.27	243.67±2.40
	900	92.65±0.31	255.46±2.43
15	300	75.86±0.07	116.46±0.72
	500	85.41±0.08	174.32±0.70
	700	94.71±1.06	269.77±2.48
	900	98.72±0.16	335.81±2.68
30	300	79.23±0.06	114.72±1.02
	500	85.39±0.03	188.84±0.83
	700	94.67±0.14	269.07±2.35
	900	98.96±0.69	339.45±1.95
60	300	79.69±0.05	115.21±1.00
	500	86.51±0.03	189.07±0.77
	700	94.71±0.05	269.77±2.16
	900	99.09±1.43	340.28±2.52
120	300	79.65±0.06	115.21±1.03
	500	86.47±0.08	188.99±0.84
	700	94.15±0.11	269.72±2.06
	900	99.18±0.39	341.51±2.23
180	300	79.73±0.02	115.30±0.94
	500	86.63±0.01	189.29±0.82
	700	94.16±0.18	269.73±2.03
	900	99.47±0.79	345.84±2.73

และระยะเวลาในการดูดซับสี่ข้อมเมทิลออเรนจ์ ที่เวลา 0 - 180 นาที และผลของความเข้มข้นเริ่มต้นทำการดูดซับสี่ข้อมเมทิลินบลู เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสี่ข้อมเมทิลินบลูที่ 150 300 500 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร

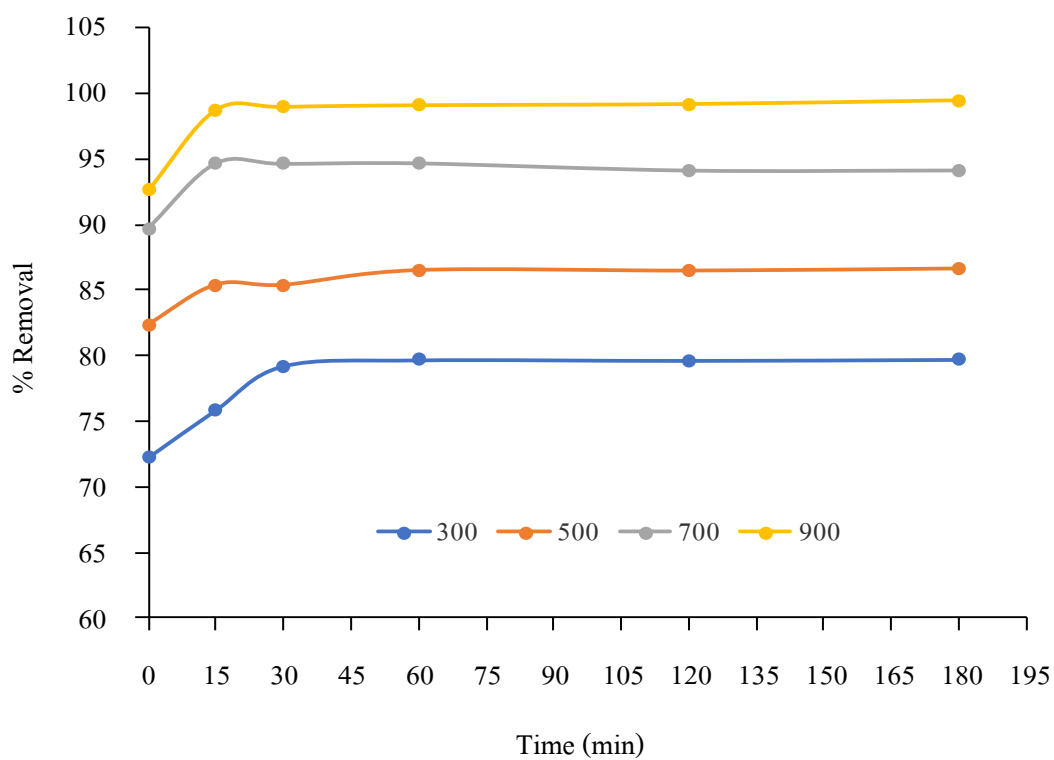
ตารางที่ 4.8

ระยะเวลาในการดูดซับสี่ข้อมเมทิลออเรนจ์ที่มีต่อวัสดุดูดซับประเภท *BA50* ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน

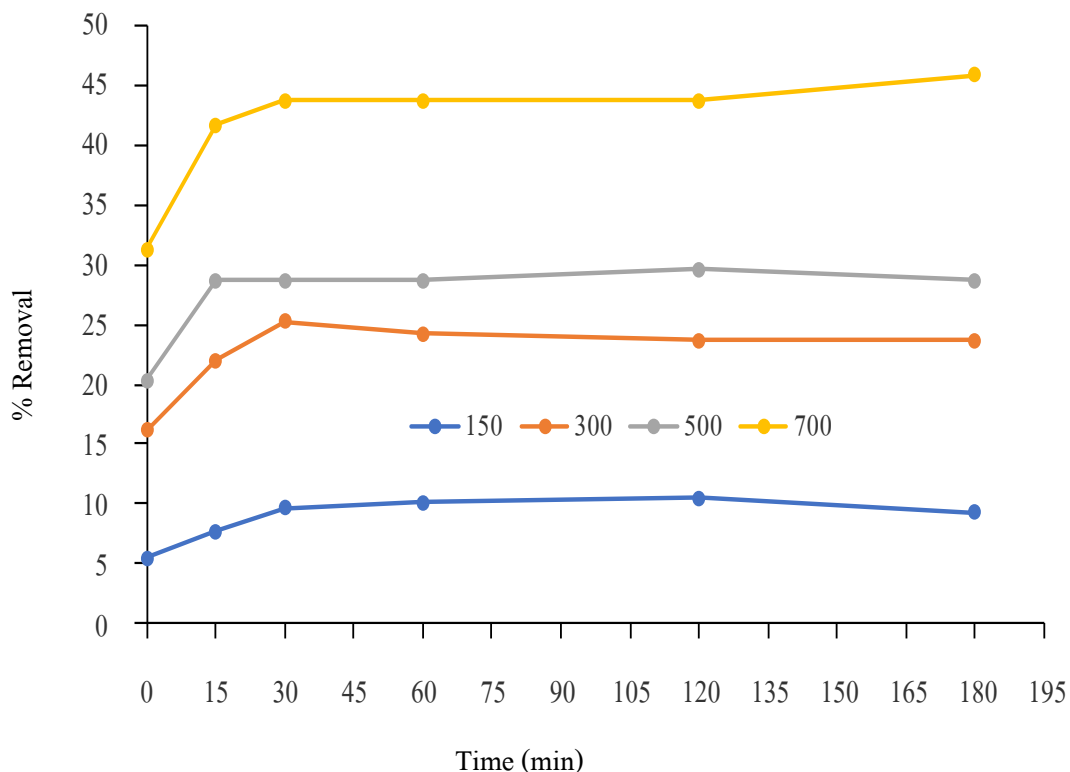
เวลา (นาที)	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการกำจัดสี่ข้อม เมทิลออเรนจ์ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณการดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)
0	150	5.43±2.69	18.43±2.53
	300	16.13±2.59	24.15±1.90
	500	20.37±1.60	32.07±2.66
	700	31.25±2.25	15.09±2.54
15	150	7.75±0.67	24.78±2.17
	300	22.04±0.93	33.76±1.56
	500	28.70±1.60	43.42±1.90
	700	41.67±2.61	21.57±1.83
30	150	9.69±2.69	25.75±2.80
	300	25.26±2.46	34.18±2.36
	500	28.70±2.24	49.44±2.04
	700	43.75±2.25	26.59±2.25
60	150	10.08±2.42	25.98±2.77
	300	24.19±1.61	33.88±2.25
	500	28.70±2.24	47.77±2.96
	700	43.75±2.25	27.87±2.49
120	150	10.46±2.07	25.99±2.80
	300	23.66±0.11	35.18±1.97
	500	29.63±1.60	46.56±2.52
	700	43.75±2.25	29.02±2.40

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการกำจัดสีข้อม เมทิลออเรนจ์ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณการดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)
180	150	9.30±1.16	27.26±2.11
	300	23.66±0.93	34.04±2.03
	500	28.70±1.60	47.02±1.61
	700	45.83±2.61	25.58±2.23



ภาพที่ 4.8 ระยะเวลาในการดูดซับสีข้อมเมทิลอินบลูที่มีต่อวัสดุดูดซับประเภท BA50 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.9 ระยะเวลาในการดูดซับสีข้อมเมทิลออเรนจ์ที่มีต่อวัสดุดูดซับประเภท BA50 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.8 และ 4.9 ระยะเวลาในการดูดซับสารละลายสีข้อมเมทิลลิโนบลูและสารละลายเมทิลออเรนจ์ของวัสดุดูดซับ BA50 ที่เวลา 0 - 1440 นาที เข้าสู่สถานะสมดุลที่เวลา 15 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงถึงร้อยละ 98.86 สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากในช่วงแรกพื้นที่ผิวตัวดูดซับยังมีปริมาณมาก และเมื่อปริมาณพื้นที่การดูดซับอิ่มตัวการดูดซับจะลดลงจนเข้าสู่สถานะสมดุล (Renji Zheng et al., 2017 และ Suryadi, 2016) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีข้อม ความสามารถในการดูดซับจึงสูงขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวล ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นสารบนตัวดูดซับกับสารละลาย (Sharma et al, 2016 และ Shazlina, 2017)

4.3.2 ผลของพีเอชของสารละลายต่อการดูดซับสีข้อมเมทิลลิโนบลูและเมทิลออเรนจ์

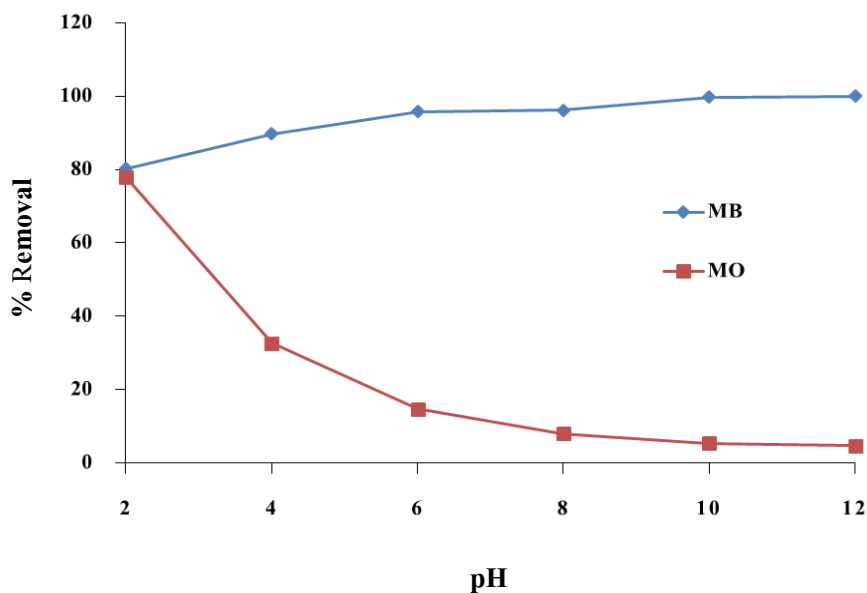
ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของ พีเอช ของสารละลายสีข้อมเมทิลลิโนบลูและสารละลายเมทิลออเรนจ์ที่มีต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยนำสารละลายสีข้อม มาปรับค่า พีเอช เป็น 2.0

4.0 6.0 8.0 10.0 และ 12.0 ก่อนที่จะนำไปทดสอบการดูดซับด้วยวัสดุดูดซับ เวลาในการดูดซับ 60 นาที แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9

พีเอชของสารละลายเมทิลีนบลูที่มีต่อวัสดุดูดซับประเภท BA50

พีเอช	ร้อยละการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลู (เปอร์เซ็นต์)	ร้อยละการกำจัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ (เปอร์เซ็นต์)
2.0	80.20±0.45	78.00±0.05
4.0	89.72±0.22	32.67±1.44
6.0	95.80±0.13	14.67±1.15
8.0	96.20±0.02	8.00±2.00
10	99.80±0.24	5.33±0.92
12	99.94±0.16	4.67±2.63

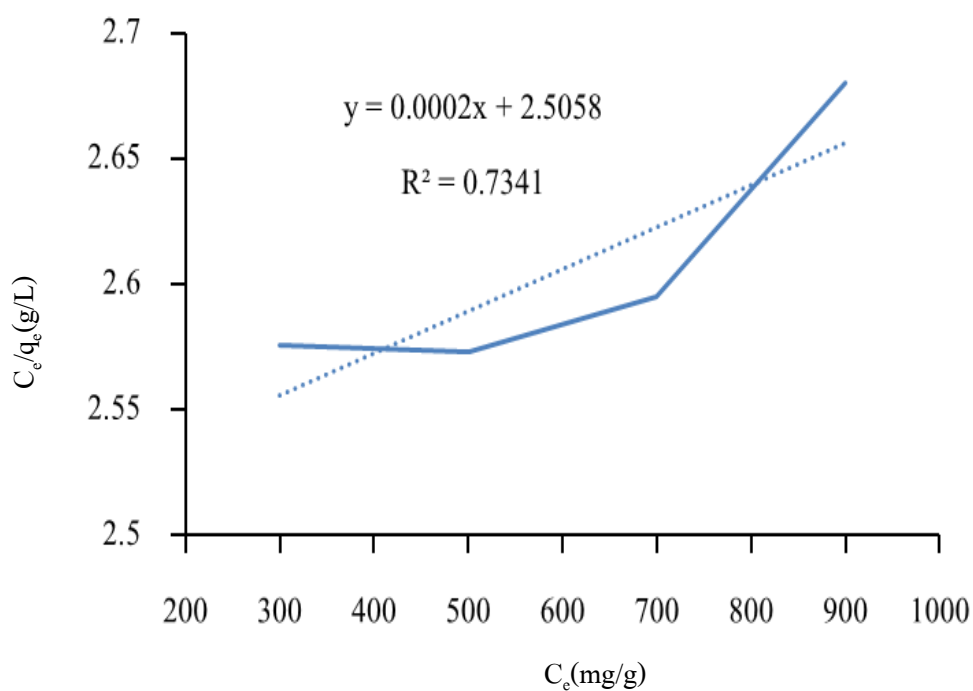


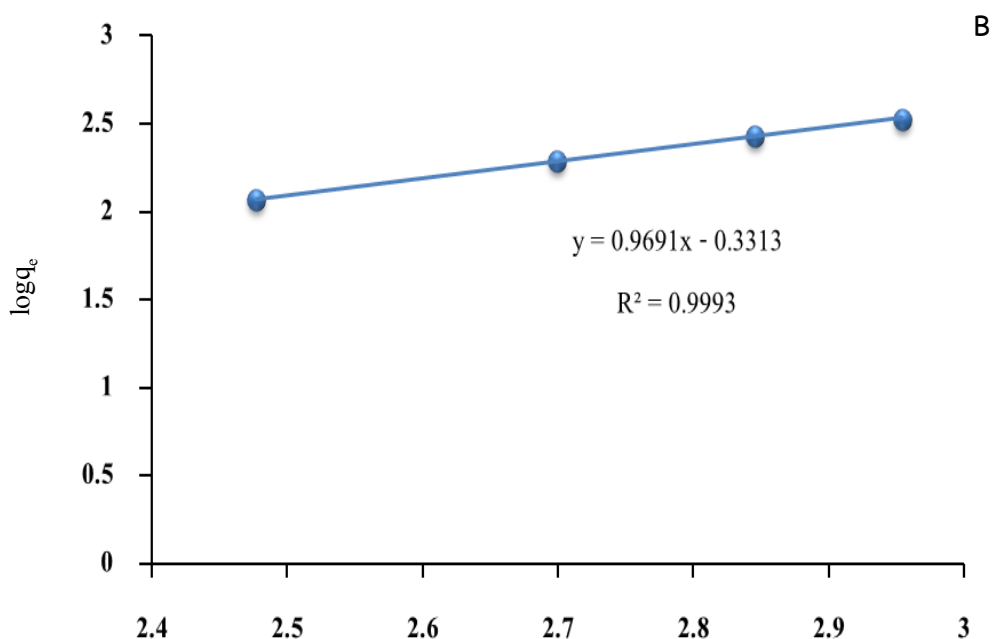
ภาพที่ 4.10 ผลของพีเอชของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ที่มีต่อวัสดุดูดซับประเภท BA50

ผลของ pH ของสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร วัสดุดูดซับ 0.03 กรัม เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่ 2 4 6 8 10 และ 12 พบว่า วัสดุดูดซับ BA50 มีร้อยละการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูดีที่สุดที่ pH 12 ส่วนสีย้อมเมทิลออเรนจ์ วัสดุดูดซับ BA50 มีร้อยละการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูดีที่สุดที่ pH 2 ดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 อธิบายว่า การที่สารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูมีค่าความเป็นกรดจะทำให้ความสามารถในการดูดซับต่ำ แต่จะดูดซับได้ดีที่ pH เริ่มเป็นกลาง (พชรวรรณ อังศิริสวัสดิ์ และ เฉลิม เรื่องวิริยะชัย, 2016, น. 343-350) ส่วนสารละลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์สามารถดูดซับได้ดีที่สารละลายมีค่าความเป็นกรด แต่ดูดซับได้ไม่ดีที่ pH ที่เป็นเบส (เอื้องพร เกรงขาม และพิศตะวัน คณะวาปี, 2556)

4.3.4 ผลการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ของ BA50

ศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของวัสดุดูดซับ BA50 โดยศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิชและแลงเมียร์ซึ่งเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q) กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย (C) ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่





ภาพที่ 4.11 ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู $\log C_e$ ดับ BA50 (A) แบบแลงเมียร์ (B) แบบฟรุนลิช

ตารางที่ 4.10

ค่าคงที่จากสมการไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมแบบฟรุนลิช

ไอโซเทอมแลงเมียร์			ไอโซเทอมฟรุนลิช		
q_m (mg/g)	K_L	R^2	K_F	$1/n$	R^2
5000	0.00007	0.7341	2.144	0.9691	0.9993

ไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) มีสมมุติฐานที่ว่า โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ จะเกิดการดูดซับบนผิวในตำแหน่งที่แน่นอนของวัสดุดูดซับ แต่ละโมเลกุลของวัสดุดูดซับเกิดการดูดซับบนผิวแบบชั้นเดียว และมีลักษณะแบบเดียวกัน จากสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์ดังภาพที่ 4.10 (A) พบว่ามีค่า q_m เท่ากับ 500 mg/g มีค่าความเป็นเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.7341 ค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์ ค่า K_L หาได้จากความชัน ในการพล็อตกราฟระหว่าง C_e และ $C_e(X/M)$ ค่า K_L คือ สัมประสิทธิ์ของการดูดซับ (ml/mg) จะแสดงถึงพลังงานยึดเหนี่ยวสัมพัทธ์ (Relative binding energies) และความแข็งแรงในการดูดซับ ถ้าค่า K_L สูงแสดงถึงพลังงานในการยึดเหนี่ยวและ

ความแข็งแรงในการดูดซับสูง จากศึกษาพบว่ามีความค่า K_L เท่ากับ 0.0007 ซึ่งแสดงได้ว่าสามารถเกิดการดูดซับได้ดี เนื่องจากมีค่า $0 < K_L < 1$

ไอโซเทอมของฟรอนด์ลิช (Freundlich) มีสมมุติฐานที่ว่า การดูดซับที่ผิวของวัสดุดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer) สมการที่ได้จากการสังเกตและทดลองการดูดซับโดยอาศัยสมมุติฐานของทฤษฎีนี้เป็นแนวความคิดของแบบจำลองแบบหลายชั้น

$$\log q_e = \log K_f + (1/n) \log C_e \quad (4-1)$$

เมื่อ K_f คือค่าที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (mg/g) และ n คือค่าคงที่แสดงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (B) จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $(1/n)$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log K_f$ ความหมายของค่าคงที่ n จะแสดงถึงความแข็งแรงของการดูดซับ (Strength of Adsorption) ถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ไม่ดี ถ้าค่า n มีค่าน้อยกว่า 1 หรือใกล้เคียง 1 หมายถึงการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความเข้มข้นสูงและแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นมีบทบาทต่อความสามารถในการดูดซับของวัสดุดูดซับมาก นั่นคือ ถ้าสารที่ถูกดูดซับมีความเข้มข้นสูงวัสดุดูดซับมีแนวโน้มในการดูดซับสารนั้นได้ดี ส่วนค่า K_f คือค่าคงที่ของการดูดซับซึ่งจะใช้แสดงถึงความจุในการดูดซับ (mg/g) ถ้าค่า K_f สูงแสดงว่าตัวดูดซับมีประจุในการดูดซับสูงด้วย

ผลการศึกษาไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และแบบฟรอนด์ลิชในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยวัสดุดูดซับ BA50 พบว่า การดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบฟรอนด์ลิชมากกว่าไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ เนื่องจากมีค่า $R^2 = 0.9993$ ซึ่งสูงกว่าของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ ($R^2 = 0.7341$) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าพฤติกรรมของการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของวัสดุดูดซับ AB50 เป็นการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งอธิบายกระบวนการดูดซับบนพื้นผิวได้หลายชั้น เมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น (รวินิภา ศรีมูล, 2559)