

บทที่ 4

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นศึกษาการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีเหลือทิ้งจากการแปรรูป โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ และลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ผลการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีขนาด 180 ไมครอน มีปริมาณความชื้นของเมล็ดสละอยู่ร้อยละ 36.91 โดยทั่วไปโครงสร้างของเมล็ดจะมีเปลือกหุ้มทำหน้าที่ป้องกันการระเหยของน้ำที่สะสมอยู่ในเอนโดสเปิร์ม (Endosperm) เพื่อใช้สำหรับเป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโตเป็นต้นพืชของเอ็มบริโอ (Embryo) ดังนั้น น้ำหนักแห้งเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เหลืออยู่ เท่ากับ ร้อยละ 63.09 อาจจะประกอบไปด้วย คาร์บอน และสารระเหยง่ายต่าง ๆ เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน เป็นต้น ซึ่งการเตรียมถ่านกัมมันต์จะต้องใช้วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก จึงเป็นผลดีสำหรับการนำเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ มีร้อยละผลผลิตของถ่าน เท่ากับ ร้อยละ 32.18 และร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ เท่ากับ ร้อยละ 10.69 เมื่อใช้ความร้อนในการทำคาร์บอนไนซ์เซชัน และการกระตุ้นถ่าน จะทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ และคาร์บอนบางส่วน รวมถึงสารระเหยง่ายต่าง ๆ และน้ำ ถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีโครงสร้างของรูพรุน และมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุทำให้ร้อยละผลผลิตของถ่านและร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ลดลง

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

จากการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี โดยเผากระตุ้นถ่านด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อนำถ่านกัมมันต์มาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

ลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์	ผลการวิเคราะห์
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	0.35 ± 0.01
การดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	532.32 ± 59.08
การดูดซับเมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)	12.81 ± 0.04

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีปริมาณความชื้น เท่ากับร้อยละ 0.35 ± 0.01 ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีปริมาณความชื้นตามเกณฑ์มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดให้ถ่านกัมมันต์มีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900-2547, 2547 : หน้า 3) เนื่องจากปริมาณความชื้นของถ่านกัมมันต์จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ โดยปริมาณความชื้นที่สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง

การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ มีค่าการดูดซับไอโอดีน เท่ากับ 532.32 ± 59.08 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งถ่านกัมมันต์มีค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำกว่าเกณฑ์ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดให้ถ่านกัมมันต์มีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900-2547, 2547 : หน้า 3) สาเหตุมาจากการที่ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีพื้นที่ผิวน้อย ทำให้สามารถดูดซับไอโอดีนได้ต่ำกว่าเกณฑ์

การวิเคราะห์ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้ มีค่าการดูดซับเมทิลีนบลู เท่ากับ 12.81 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยค่าการดูดซับเมทิลีนบลูจะสามารถบอกค่าการดูดซับและปริมาณรูพรุนขนาดกลางได้ เนื่องจากขนาดโมเลกุลของเมทิลีนบลูมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ จึงไม่เกิดการดูดซับขึ้นภายในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ทำให้การดูดซับเกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ผิวภายนอกของถ่านกัมมันต์เท่านั้น การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีรูพรุนขนาดเล็ก เนื่องจากมีปริมาณการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าปริมาณการดูดซับเมทิลีนบลู (ประมาณ 1.58 นาโนเมตร) จึงไม่เกิดการดูดซับขึ้นภายในรูพรุนของถ่านกัมมันต์และเกิดการดูดซับขึ้นบริเวณพื้นที่ผิวภายนอกของถ่านกัมมันต์เท่านั้น (Jaguaribe, E.F. et al. 2005 : pp. 41-47)

วิเคราะห์พื้นที่ผิว (BET surface area) ปริมาตรรูพรุนรวม (Total pore volume) ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (Average pore diameters) ของถ่านกัมมันต์ ด้วยวิธี Bruner-Emmet-Teller (BET)

จากการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีเหลือทิ้ง โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อนำมาวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย ด้วยวิธี Bruner-Emmet-Teller (BET) แสดงผลดังตารางที่ 4.2

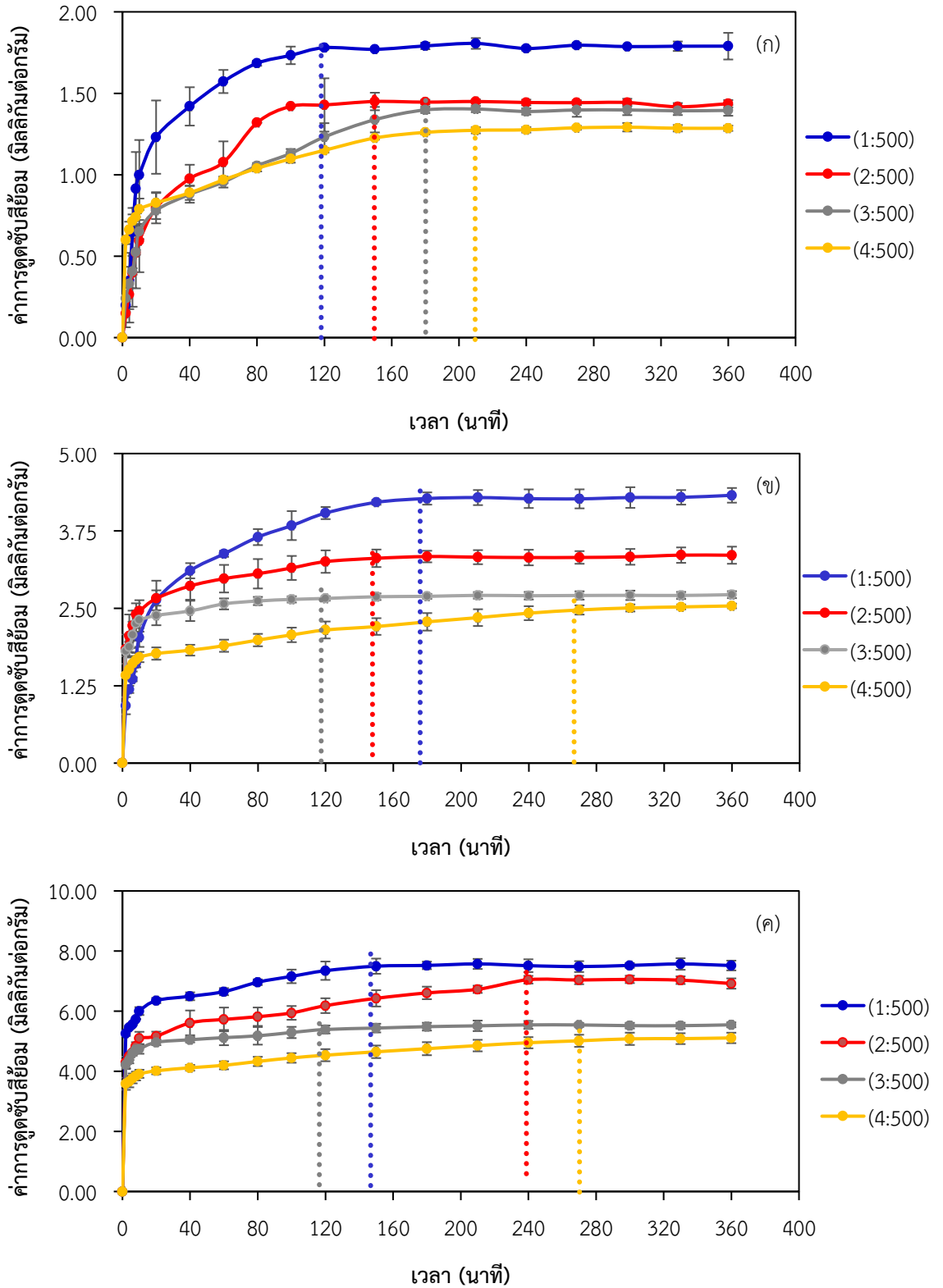
ตารางที่ 4.2 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่กระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ชนิดถ่านกัมมันต์	พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)	ปริมาตรรูพรุนรวม (ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อกรัม)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)
เมล็ดสละพันธุ์สุมาลี	500.29	0.250	0.997

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีมีพื้นที่ผิว 500.29 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนรวม 0.250 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.997 นาโนเมตร ซึ่งข้อมูลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูที่ว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก ซึ่งจะมีรัศมีของรูพรุนน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตร มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.6 มิลลิกรัมต่อกรัม

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์

การดูดซับสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่กระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมในน้ำเสีย อัตราส่วนของถ่านกัมมันต์ต่อน้ำเสีย และเวลาที่ใช้ในการดูดซับสีข้อมในน้ำเสีย ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4.1 ซึ่งผลการศึกษากการดูดซับสีข้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อสีข้อม 1:500, 2:500, 3:500 และ 4:500 กรัมต่อมิลลิกรัม และระยะเวลาในการดูดซับสีข้อมตั้งแต่ 2-360 นาที พบว่า ที่อัตราส่วนต่าง ๆ จะมีความสามารถในการดูดซับสีข้อมได้ไม่เท่ากัน แสดงผลดังภาพที่ 4.1 และตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.1 ค่าการดูดซับสีย้อมด้วยอัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อสีย้อมต่าง ๆ ที่เวลาตั้งแต่ 2-360 นาที (ก) ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ข) ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค) ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาการดูดซับสี้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ ดังภาพที่ 4.1 และตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของสี้อมมากขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสี้อมก็เพิ่มตามไปด้วย เนื่องจากความเข้มข้นของสี้อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีโมเลกุลของสี้อมมากขึ้น โอกาสที่โมเลกุลของสี้อมจะเคลื่อนที่เข้าไปสัมผัสพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เป็นไปได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพงษ์ศักดิ์ ขาวอินทร์ (2555 : หน้า 74) และจากการศึกษาอัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อสารละลายสี้อม จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์มากขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับสี้อมจะลดลง และทำให้เวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับช้าลงตามไปด้วย อาจเป็นเพราะถ้าปริมาณถ่านกัมมันต์น้อยจะมีการกระจายตัวในสารละลายได้ดี และเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณมาก เนื่องจากหากถ่านกัมมันต์มีปริมาณมากเกินไป จะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับลดลง หากเพิ่มอัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อสี้อม เป็น 4:500 กรัมต่อมิลลิลิตร จะทำให้สามารถดูดซับสี้อมได้หมด แต่จะใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลนานขึ้น

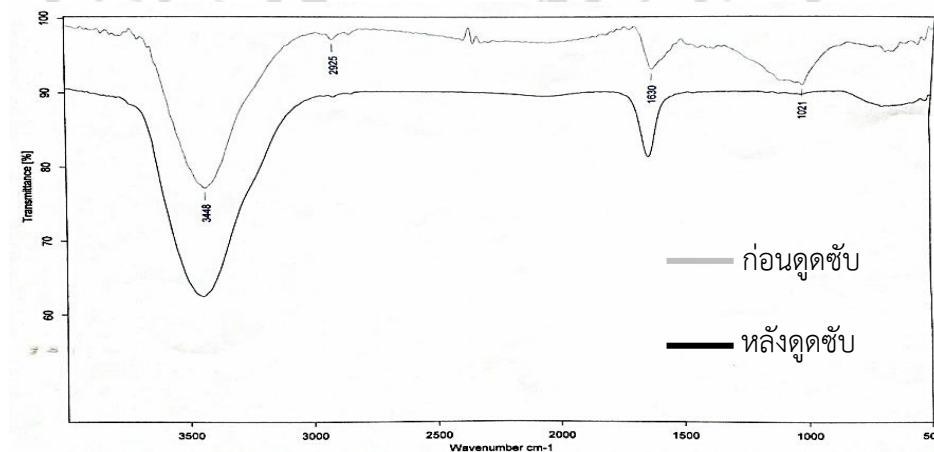
ตารางที่ 4.3 ผลการดูดซับสี้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่สภาวะต่าง ๆ

ความเข้มข้นเริ่มต้น ของสี้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ ต่อสี้อม (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาณการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	เวลาที่เข้าสู่สมดุล (นาที)
50	1:500	1.80 ± 0.01	120
	2:500	1.45 ± 0.05	150
	3:500	1.40 ± 0.02	180
	4:500	1.27 ± 0.05	210
100	1:500	4.27 ± 0.10	180
	2:500	3.31 ± 0.14	150
	3:500	2.66 ± 0.04	120
	4:500	2.47 ± 0.07	270
200	1:500	7.50 ± 0.25	150
	2:500	7.05 ± 0.13	240
	3:500	5.39 ± 0.13	120
	4:500	5.01 ± 0.20	270

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด-สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ทั้งก่อนและหลังการดูดซับสี้อม โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับสี้อมที่อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อสี้อม 4:500 กรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยเทคนิคฟูเรียร์-

ทรานซฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงคลื่น $4000-500\text{ cm}^{-1}$ พบสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ แสดงดังภาพที่ 4.2 ซึ่งพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ทั้งก่อนและหลังการนำไปดูดซับสีย้อมมีแถบการสั่นอยู่ในช่วง $3,500-2,500\text{ cm}^{-1}$ มีลักษณะกว้างและตื้น เกิดจากพันธะ O-H ของหมู่ไฮดรอกซิลที่มีความถี่ของการสั่นในรูปแบบการยืด (Stretching Vibration) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu, Q.S. et al. (2010 : pp. 233-238) แถบการสั่นอยู่ในช่วง $1,750-1,540\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นของหมู่ C=O และมีแถบการสั่นอยู่ในช่วง $3,000-2,850\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นของหมู่ C-H ซึ่งเป็นการสั่นในอนุพันธ์ของเบนซีนสเปกตรัมตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ทั้งก่อนและหลังการดูดซับสีย้อมใกล้เคียงหรือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลียังคงมีองค์ประกอบอินทรีย์เหลืออยู่ และการดูดซับสีย้อมด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ เป็นการดูดซับทางกายภาพเท่านั้น

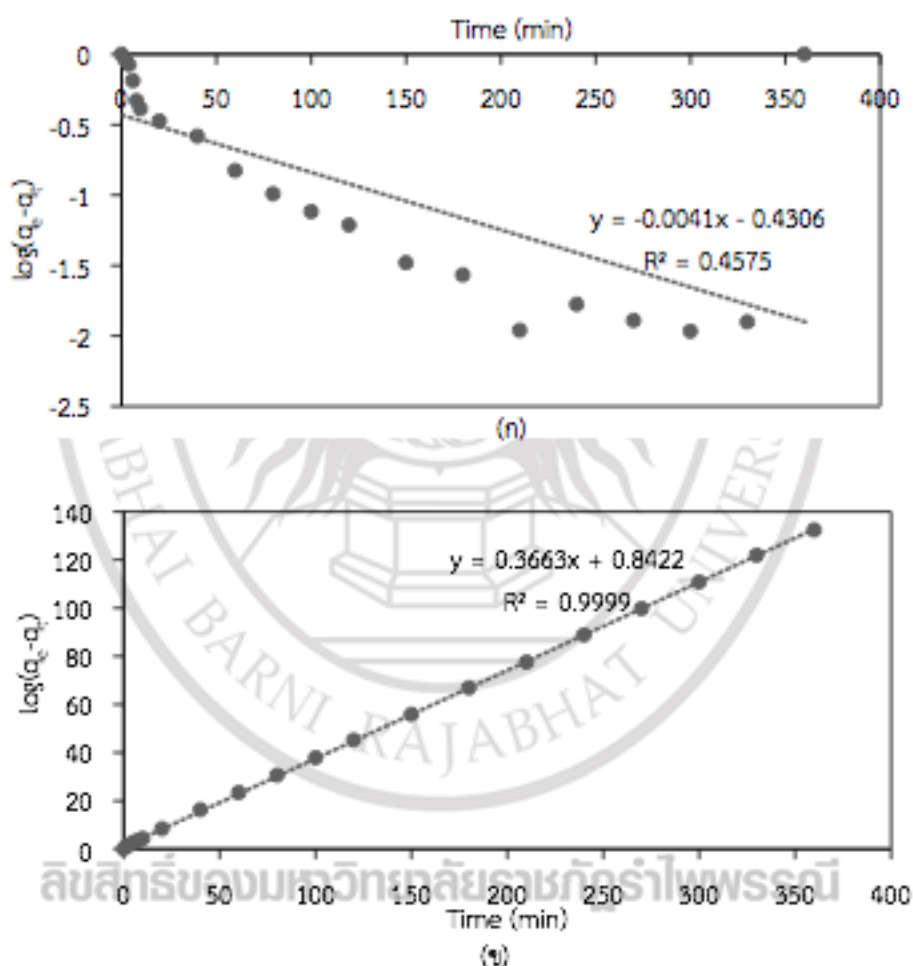


ภาพที่ 4.2 สเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี โดยนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยสมการการดูดซับตามแบบจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งเทียมและอันดับสองเทียม แสดงดังภาพที่ 4.3 ซึ่งแสดงจลนพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อม เพื่อศึกษากลไกการดูดซับ ซึ่งเป็นการถ่ายโอนมวลสารระหว่างสีย้อมและถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปมีการอธิบายกลไกการดูดซับ 2 วิธี คือ ปฏิกริยาอันดับหนึ่งเทียม และปฏิกริยาอันดับสองเทียม ซึ่งกลไกทั้ง 2 แบบตั้งบนสมมติฐานว่ากระบวนการดูดซับและการคายซับเป็นปฏิกริยาเคมีเทียม (Pseudo Chemical Reaction) และอัตราการดูดซับขึ้นกับตำแหน่งในการเกิดปฏิกริยาของถ่านกัมมันต์ เมื่อนำผลการ

ทดลองมาวิเคราะห์ด้วยสมการการดูดซับตามแบบจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งเทียมและอันดับสองเทียม พบว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเทียมมากกว่าปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม มีค่าเท่ากับ 0.4575 และ ปฏิกิริยาอันดับสองเทียมมีค่าเท่ากับ 0.9999 ซึ่งสูงกว่าแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม แสดงว่า ปฏิกิริยาอันดับสองเทียมสอดคล้องกับผลการทดลองที่ว่า การดูดซับบนสารดูดซับนั้นคงที่เมื่อเวลาผ่านไป และอัตราการดูดซับขึ้นอยู่กับจำนวนตำแหน่งบนพื้นผิวของสารดูดซับที่เกิดพันธะทั้งหมด ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมมากขึ้น จะทำให้ตำแหน่งการดูดซับเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ดังภาพที่ 4.1 (ก-ค)



ภาพที่ 4.3 จลนพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสะปะพันธุ์สุมาลี (ก) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (ข) ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม

การเปรียบเทียบผลการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาการนำเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีเหลือทิ้งจากการแปรรูปมาใช้ประโยชน์โดยนำมาเตรียมเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี โดยทำการคาร์บอนีเซชันที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร อัตราส่วนระหว่างสารกระตุ้นต่อถ่าน 3:1 เผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละที่มีพื้นที่ผิวและความสามารถในการดูดซับสูงสุด และนำไปใช้ในการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่า ประสิทธิภาพของการดูดซับสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ มีค่าเท่ากับ 2.90 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อใช้สารละลายสีย้อมเข้มข้นเริ่มต้นที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์ต่อสารละลายสีย้อม 1:500 กรัมต่อมิลลิลิตร และเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 40 นาที (Raksaphort, S. et al., 2018 : pp. 254-257) แต่ยังไม่สามารถกำจัดสีย้อมออกได้หมด จึงได้ศึกษาต่อในงานวิจัยนี้ โดยศึกษาการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เผากระตุ้นถ่านด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 36 มิลลิโมลต่อกรัม อัตราส่วนระหว่างสารกระตุ้นต่อถ่าน 20:32 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาทดสอบการดูดซับสีย้อม โดยใช้สารละลายสีย้อมเข้มข้นเริ่มต้นที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากัน แต่ปรับอัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์ต่อสารละลายสีย้อมเป็น 1:500 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าสามารถดูดซับสีย้อมได้สูงสุด ที่ปริมาณการดูดซับเท่ากับ 4.27 มิลลิกรัมต่อกรัม และเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 180 นาที หากเปรียบเทียบที่เวลาในการดูดซับ 40 นาทีเท่ากัน สามารถดูดซับสีย้อมได้มีปริมาณเท่ากับ 3.11 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสามารถสรุปลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์และผลการทดลองของงานวิจัยทั้งสองได้ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่กระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนรวมต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก แต่ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสารกระตุ้นทั้งสองชนิดเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก ส่งผลให้ปริมาณการดูดซับสีย้อมที่ได้ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมผ้าประเภทสีมอดแทนท์เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ทั้งสองชนิด จึงดูดซับได้แค่บริเวณผิวด้านนอกของถ่านกัมมันต์เท่านั้น และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่กระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถดูดซับสีย้อมได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกนั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณสีย้อมที่ใช้มีปริมาณมากกว่า (1:500 กรัมต่อมิลลิลิตร) ทำให้ถ่านกัมมันต์สามารถกระจายตัวในสารละลายได้ดีกว่าการใช้สีย้อมปริมาณน้อย (1:50 กรัมต่อมิลลิลิตร) จึงดูดซับได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติและการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จาก เมล็ดสะระพันธุ์สุมาลีที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และสารละลาย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

ตัวแปรต่าง ๆ	สารกระตุ้น	
	H_3PO_4	KOH
ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	100	100
อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อสีย้อม (กรัมต่อมิลลิลิตร)	1:50	1:500
เวลาในการดูดซับ (นาที)	40	40
ปริมาณการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	2.90	3.11
พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)	1,195.66	500.29
ปริมาตรรูพรุนรวม (มิลลิลิตรต่อกรัม)	0.563	0.250
ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)	0.935	0.997

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี