รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

การศึกษาการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยกากกาแฟและถ่านไม้มะขาม

รหัสโครงการ 207952

ศศิกานต์ ปานปราณีเจริญ และนันทรักษ์ รอดเกตุ

สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2568

งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568

จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

รหัสโครงการวิจัย 207952

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยกากกาแฟและถ่านไม้มะขาม

The Study of the Methylene Blue Adsorption with Spent Coffee Grounds and Tamarind Wood Charcoal

ศศิกานต์ ปานปราณีเจริญ สาขาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นันทรักษ์ รอดเกตุ สาขาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568
จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับจัดสรรงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ 2568 ซึ่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากหลายๆ ฝ่าย ข้าพเจ้าผู้ทำวิจัยและคณะ ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย และขอขอบคุณร้านกาแฟจ่านรินทร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อกากกาแฟ ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักและเป็นข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว อาจารย์ และเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศศิกานต์ ปานปราณีเจริญ

1 สิงหาคม 2568

ชื่องานวิจัย การศึกษาการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยกากกาแฟและถ่านไม้มะขาม
ผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิกานต์ ปานปราณีเจริญ
ผู้ร่วมวิจัย อาจารย์ ดร.นันทรักษ์ รอดเกตุ
สาขาวิชา เคมี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ปีเสร็จวิจัย 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลีนบลูด้วยกากกาแฟและถ่านไม้มะขามที่มีในท้องถิ่นเพื่อเป็นประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสี ได้แก่ ปริมาณของกากกาแฟและถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับ โดยใช้กากกาแฟและถ่านที่มีปริมาณแตกต่างกัน คือ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25 g พบว่าในเวลา 24 ชั่วโมง มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมมากถึง 98.59% และ 98.02% ตามลำดับ ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหมาะสมต่อการดูดซับ โดยใช้ความเข้มข้นสี 10, 15, 20, 25 และ 30 ppm ในปริมาณกากกาแฟและถ่านที่เท่ากัน พบว่าในเวลา 24 ชั่วโมง สามารถดูดซับสีย้อมมากถึง 99.78% และ 100% ตามลำดับ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 25, 40, 55, 70 และ 85 °C ที่ปริมาณกากกาแฟและถ่านในความเข้มข้นของน้ำสีเท่ากัน สามารถดูดซับสีได้มากถึง 99.59% และ 98.06% ตามลำดับ และความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ที่เหมาะสมต่อการดูดซับโดยใช้น้ำสี 20 ppm ที่มีค่า pH ที่แตกต่างกันคือ pH 3, 7 และ 11 จากผลการทดลองพบว่าสามารถดูดซับสีได้มากที่สุด 99.02% และ 100% ตามลำดับ

คำสำคัญ : การดูดซับ, เมทิลลีนบลู, กากกาแฟ, ถ่านไม้มะขาม

Research Title The Study of the Methylene Blue Adsorption with Spent Coffee Grounds and Tamarind Wood Charcoal

Researcher Asst. Prof. Dr. Sasikarn Panpraneecharoen

Co-researcher Dr. Nantharak Rodkate

Program Chemistry

Faculty of Science and Technology

Phetchabun Rajaphat University

Year 2025

Abstract

This research study the adsorption efficiency of methylene blue by spend coffee grounds and tamarind wood charcoal that are useful in treating wastewater from the textile industry. The optimum conditions were amount of spend coffee grounds and charcoal by using different amounts of spend coffee grounds and charcoal 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 and 1.25 g. The results found that at 24 hours were showed 98.59% and 98.02% of the highest adsorption values, respectively. The optimum conditions were amount of dye concentration by using 10, 15, 20, 25 and 30 ppm of different concentrations with the same amount of spend coffee grounds and charcoal. The results found that at 24 hours was showed 99.78% and 100% of the highest adsorption values, respectively. The optimum temperature for adsorption were carried out at 25, 40, 55, 70 and 85 °C with the same amount of spend coffee grounds, charcoal and the dye concentration. The adsorption values were showed 99.59% and 98.06% of the highest adsorption values, respectively. The acid-base of the solution suitable for adsorption used 20 ppm of the dye concentration with different pH values (pH 3, 7 and 11). The results showed the highest adsorption 99.02% and 100%, respectively.

Keywords : Adsorption, Methylene Blue, Spend Coffee Grounds, Tamarind Wood Charcoal

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ซ
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1	ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2	คำสำคัญของโครงการวิจัย	1
1.3	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.4	ขอบเขตของการทำวิจัย	2
1.5	ระยะเวลาทำการทดลอง	2
1.6	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.7	ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) กรอบแนวความคิดของวิธีดำเนินการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		4
2.1	สีย้อม	4
2.2	เมทิลีนบูล	14
2.3	วัสดุดูดซับกากกาแฟและถ่านไม้มะขาม	14
2.4	การกำจัดสีย้อม	15
2.5	การดูดซับ	16
2.6	หลักการของเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer	18
2.7	เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	20
2.8	เอกสารและงานนวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย		31
3.1	สารเคมี	25
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือ	25
3.3	การเตรียมตัวอย่างและสารเคมี	26
3.4	วิธีการดำเนินการวิจัย	27

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล		30
4.1	ผลการศึกษาปริมาณตัวดูดซับต่อการดูดซับเมทิลีนบลู	30
4.2	ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	33
4.3	ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลู	35
4.4	ผลการศึกษาความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลู	38
4.5	ผลการศึกษาความเป็นกรด-เบสของพื้นผิว	41
4.6	ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของกากกาแฟและถ่านไม้มะขามก่อนและหลังการดูดซับ	42
4.7	ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเมทานอลหลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ		44
5.1.	สรุปผลการวิจัย	44
5.2.	ข้อเสนอแนะ	44
บรรณานุกรม		45
ภาคผนวก		49
ภาคผนวก ก ภาพประกอบการวิจัย		50
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง		56
ประวัติคณะผู้วิจัย		75

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟในปริมาณที่แตกต่างกัน	31
4.2	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามในปริมาณที่แตกต่างกัน	32
4.3	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	33
4.4	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	35
4.5	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	36
4.6	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	37
4.7	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่มีค่า pH แตกต่างกัน	39
4.8	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่มีค่า pH แตกต่างกัน	40
4.9	ค่า Surface acidity ของกากกาแฟ	41
4.10	ค่า Surface acidity ของถ่านไม้มะขาม	41
4.11	ค่า Surface Basicity ของกากกาแฟ	42
4.12	ค่า Surface Basicity ของถ่านไม้มะขาม	42
ผข 1	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟในปริมาณต่าง ๆ ที่ 1 ชั่วโมง	57
ผข 2	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟในปริมาณต่าง ๆ ที่ 6 ชั่วโมง	58
ผก 3	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟในปริมาณต่าง ๆ ที่ 24 ชั่วโมง	58
ผข 4	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ 1 ชั่วโมง	59
ผก 5	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ 6 ชั่วโมง	59
ผข 6	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ 24 ชั่วโมง	60
ผข 7	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ pH ต่าง ๆ ที่ 1 ชั่วโมง	60
ผข 8	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ pH ต่าง ๆ ที่ 6 ชั่วโมง	61
ผข 9	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ pH ต่าง ๆ ที่ 24 ชั่วโมง	61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ผข 10	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูความเข้มข้น 20 mg/l ที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ 1 ชั่วโมง	62
ผข 11	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูความเข้มข้น 20 mg/l ที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ 6 ชั่วโมง	62
ผข 12	การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 1 ชั่วโมง	63
ผข 13	การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 6 ชั่วโมง	64
ผข 14	การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 24 ชั่วโมง	65
ผข 15	การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 1 ชั่วโมง	66
ผข 16	การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 6 ชั่วโมง	67
ผข 17	การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 24 ชั่วโมง	68
ผข 18	การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 1 ชั่วโมง	69
ผข 19	การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 6 ชั่วโมง	70
ผข 20	การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 1 ชั่วโมง	71
ผข 21	การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 6 ชั่วโมง	71

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครโมฟอร์ และออกโซโครม	4
2.2	ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีเอซิดบราวน์ 113	7
2.3	โครงสร้างทางเคมีของสีไดเร็กท์เรด 17	7
2.4	โครงสร้างทางเคมีของสีเบสิกเรด 18	8
2.5	โครงสร้างทางเคมีของสีดิสเพิร์ส ชนิดโมโนเอโซ	9
2.6	โครงสร้างทางเคมีของสีดิสเพิร์ส ชนิดแอนทราควิโนน	9
2.7	โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟเยลโล่ 167	10
2.8	โครงสร้างทางเคมีของสีเอโซอิค	10
2.9	โครงสร้างทางเคมีของสีอินดิโก	11
2.10	โครงสร้างทางเคมีของสีแอนทราควิโนน	11
2.11	โครงสร้างทางเคมีของสีมอร์แดนท์ หรือโครม	11
2.12	โครงสร้างทางเคมีของสีพทาโลไซยานิน	12
2.13	โครงสร้างทางเคมีของสีซัลเฟอร์	12
2.14	โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู	13
2.15	หลักการทำงานของเครื่อง UV-Visible spectrophotometer	19
4.1	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟในปริมาณที่แตกต่างกัน	31
4.2	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามในปริมาณที่แตกต่างกัน	32
4.3	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	34
4.4	เปอร์เซ็นต์การดูดซับมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	35
4.5	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	36
4.6	เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	37
4.7	เปอร์เซ็นต์การดูดซัเมทิลีนบลูของกากกาแฟที่มีค่า pH แตกต่างกัน	39
4.8	เปอร์เซ็นต์การดูดซัเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่มีค่า pH แตกต่างกัน	40
4.9	ลักษณะพื้นผิวของกากกาแฟที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด: ก) ก่อนดูดซับเมทิลีนบลู ข) หลังดูดซับเมทิลีนบลู	43
4.10	ลักษณะพื้นผิวของถ่านไม้มะขามที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด: ก) ก่อนดูดซับเมทิลีนบลู ข) หลังดูดซับเมทิลีนบลู	43
ผก 1	เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ผก 2	เครื่อง Scanning Electron Microscope	51
ผก 3	เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า	52
ผก 4	เครื่องวัดพีเอช	52
ผก 5	การต้มทำความสะอาดกากกาแฟ	53
ผก 6	ลักษณะของผงถ่านที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 32 MESH	53
ผก 7	สีของสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 20 ppm pH 3 ก่อนและหลังการดูดซับ	54
ผก 8	สีของสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 20 ppm pH 7 ก่อนและหลังการดูดซับ	54
ผก 9	สีของสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 20 ppm pH 11 ก่อนและหลังการดูดซับ	54
ผก 10	สีของสารละลายที่ทำการไทเทรตเพื่อศึกษาความเป็นกรดของพื้นผิว	55
ผก 11	สีของสารละลายที่ทำการไทเทรตเพื่อศึกษาความเป็นเบสของพื้นผิว	55
ผก 12	สีเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 20 ppm ที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร	55

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เครื่องนุ่งห่มเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ของการดำรงชีวิตของมนุษย์ อุตสาหกรรมสิ่งทอนับได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมสำคัญที่ทำรายได้อย่างสูง และโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นด้วย กิจการดังกล่าวส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อมหรือเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน แต่อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งที่เกิดจากอุตสาหกรรมนี้มีปริมาณมาก เนื่องจากต้องอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในกระบวนการผลิตเกือบทุกขั้นตอน กระบวนการย้อมสีผ้าจะมีสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ซึมเข้าสู่เนื้อผ้า ในขณะที่สีอีกบางส่วนเมื่อใช้เสร็จก็ถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำทิ้งซึ่งมีลักษณะเป็นสีที่กำจัดได้ยาก รวมกับน้ำล้างซึ่งใช้ในกระบวนการผลิต (คณิตตา ธรรมจริยวงศา, ม.ป.ป.)

สีย้อมส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ดี แต่ย่อยสลายยากเนื่องจากทนทานต่อแสง และความเป็นกรดด่าง ทำให้ยากต่อการบำบัด ปัจจุบันการบำบัดสีย้อมมีเทคนิคที่หลากหลาย เช่น การใช้จุลินทรีย์ที่เหมาะสมย่อยสลายโมเลกุลสี หรือการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง (Ultrasonic) สลายโมเลกุล แต่วิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมในการบำบัดสีย้อมในน้ำ นั่นคือ การดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ เนื่องจากสามารถดูดซับสีย้อมได้ดี ตัวดูดซับสามารถนำมาใช้ซ้ำได้หลายครั้ง ทำได้ง่าย และใช้เงินลงทุนต่ำ ตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูง และนิยมใช้กันมาก คือ ถ่านกัมมันต์ (Activatedcarbon) แต่ก็มีตัวดูดซับอื่นๆ ที่ใช้งานได้ดีไม่ต่างจากถ่านกัมมันต์ เช่น เพอร์ไลท์ (Perlite) เบนโตไนท์ (Bentonite) ซิลิกา (Silica) ซีโอไลท์ (Zeolite) และแร่ดินเหนียว (Clay minerals) เป็นต้น (รวินิภา ศรีมูล, 2559) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับสีเมทิลีนบลูโดยใช้ตัวดูดซับทางธรรมชาติจากกากกาแฟและถ่านไม้มะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อเป็นประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมสิ่งทอต่อไป

1.2 คำสำคัญของโครงการวิจัย

1.2.1 การดูดซับ

1.2.2 เมทิลีนบลู

1.2.3 กากกาแฟ

1.2.4 ถ่านไม้มะขาม

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยกากกาแฟ

1.3.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านไม้มะขาม

1.4 ขอบเขตของการทำวิจัย

1.4.1 ขอบเขตเนื้อหา

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยกากกาแฟและถ่านไม้มะขาม

1.4.2 ขอบเขตพื้นที่

1.4.2.1 ในงานวิจัยมีการเก็บกากกาแฟที่ใช้แล้วจากร้านใน อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

1.4.2.2 ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเคมี อาคารสิรินธร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

1.5 ระยะเวลาทำการทดลอง

ตั้งแต่วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2568 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม 2568

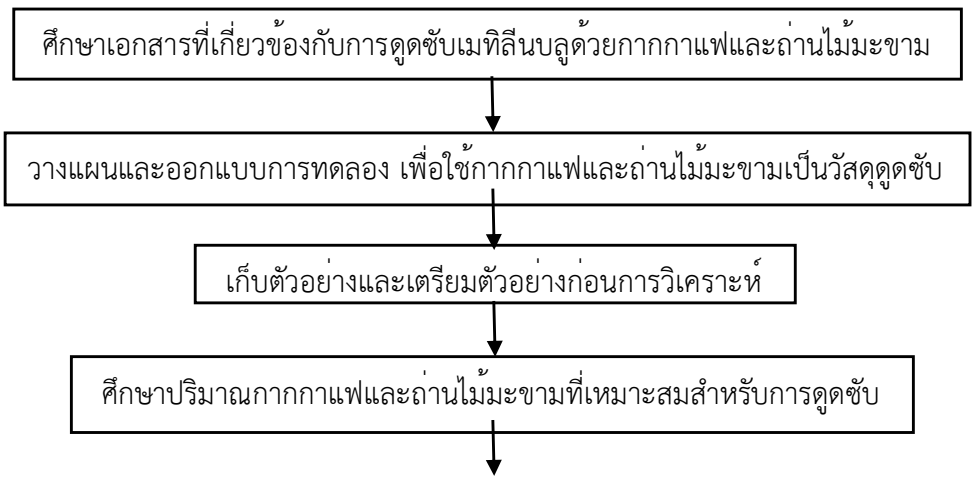
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

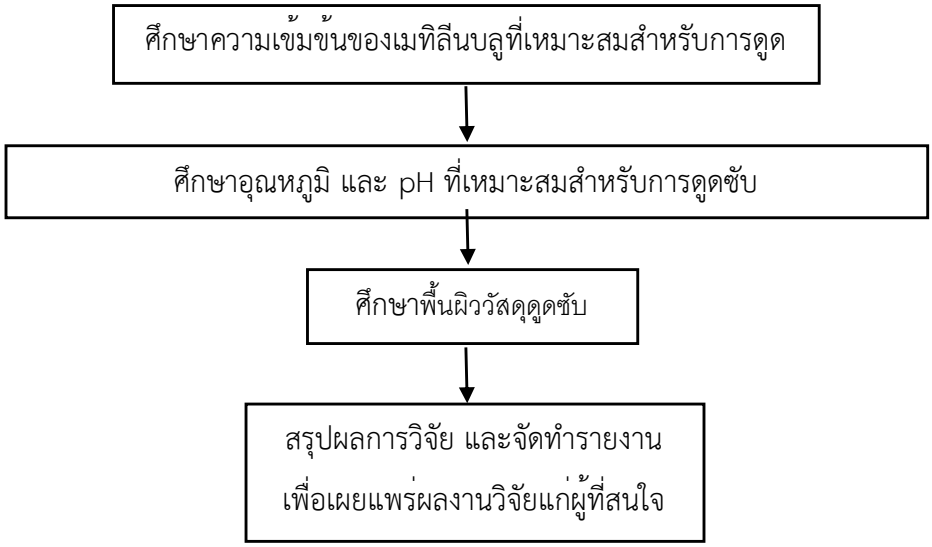
1.6.1 ได้ใช้ประโยชน์จากกากกาแฟและเศษจากถ่านไม้มะขามแทนการนำไปทิ้ง

1.6.2 ได้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีเมทิลีนบลูด้วยกากกาแฟ

1.6.3 ได้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีเมทิลีนบลูด้วยถ่านไม้มะขาม

1.7 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) กรอบแนวความคิดของวิธีดำเนินการวิจัย




ศึกษาความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหมาะสมสำหรับการดูด
ศึกษาอุณหภูมิ และ pH ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ
ศึกษาพื้นผิววัสดุดูดซับ
สรุปผลการวิจัย และจัดทำรายงาน
เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยแก่ผู้ที่สนใจ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

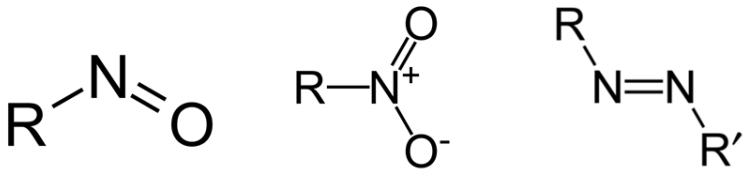
2.1 สีย้อม

สีย้อม (Dyestuffs) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมเส้นใยของผ้าอาจจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำแต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใยโดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก หรือพันธะโควาเลนท์ กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปคตรัมต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันไป ซึ่งสายตาสามารถรับภาพได้ จึงทำให้โมเลกุลสีย้อมต่างโทนสีกันแสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาออกมาเป็นต่างกันไป (ขนิษฐา, 2007)

2.1.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของสีย้อม

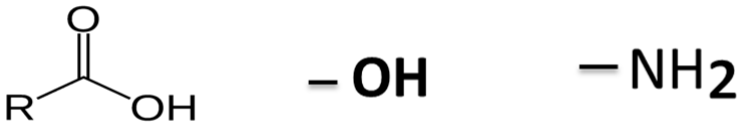
โครงสร้างของสีย้อมมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ โครโมฟอร์ (Chromophore) และออกโซโครม (Auxochrome) โครโมฟอร์ คือ หมู่ฟังก์ชันที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร เช่น หมู่ไนโตรโซ (Nitroso group) หมู่ไนโตร (Nitro group) และหมู่เอโซ (Azo group) เป็นต้น สีย้อมจะต้องมีหมู่โครโมฟอร์อย่างน้อย 1 หมู่ภายในโมเลกุล นอกจากนี้ในโครงสร้างโมเลกุลจะต้องมีลักษณะพันธะคู่แบบคอนจูเกต (Conjugated) เช่น วงแหวนแอโรมาติก และเกิดเรโซแนนซ์ของอิเล็กตรอนภายในโมเลกุลได้ ส่วนออกโซโครม คือหมู่ที่อยู่ในโมเลกุลของสีย้อมที่มีผลต่อการเกิดสี ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสง และความสามารถในการละลายของสีย้อม ตัวอย่างเช่น หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) และหมู่อะมิโน (Amino group) เป็นต้น (รวินิภา ศรีมูล, 2559)

หมู่โครโมฟอร์



หมู่ไนโตรโซ หมู่ไนโตร หมู่เอโซ

หมู่ออกโซโครม



หมู่คาร์บอกซิล หมู่ไฮดรอกซิล หมู่อะมิโน

ภาพที่ 2.1 โครโมฟอร์ และออกโซโครม

ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Nitroso

https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Nitro-group.png

https://hmong.in.th/wiki/Azo_compound

https://www.pngegg.com/th/png-tfgau

2.1.2 ประเภทของสีย้อม

2.1.2.1 สีย้อมธรรมชาติ (Natural dyestuffs) เป็นสีย้อมที่มาจากแหล่งธรรมชาติ โดยเฉพาะพืชและสัตว์ สีย้อมที่มาจากส่วนประกอบพืช เช่นส่วนลำต้น ส่วนดอก ส่วนที่เป็นเปลือก ส่วนที่เป็นใบ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น สีดำจากลูกมะเกลือ สีน้ำเงินจากต้นคราม สีเหลืองจากเนื้อไม้โอ๊ก สีแสดจากดอกกรรณิการ์ สีแดงจากรากต้นเข็ม ส่วนสีย้อมที่มาจากสัตว์ เช่น สีม่วงแดงของครั่ง สีม่วงจากหอยสังข์หนาม เป็นต้น (ขนิษฐา, 2007)

1. สีย้อมธรรมชาติจากพืช (Vegetable Dyes) สีย้อมที่ได้จากพืชจัดเป็นกลุ่มสารสีหลักของสีย้อมธรรมชาติ โดยเป็นสีย้อมที่ได้จากทุกส่วนของพืชทั้ง ราก เปลือก ลำต้น เนื้อไม้ ใบ ดอก ผล และเมล็ด ซึ่งสีย้อมกลุ่มนี้มีความหลากหลาย สามารถแบ่งโดยใช้กรรมวิธีการย้อมเป็นเกณฑ์ได้ 2 กลุ่ม คือ การย้อมเย็น หรือการย้อมแบบหมัก เป็นสีย้อมที่ได้จากพืช เช่น ผลมะเกลือ ห้อม และคราม เป็นการย้อมสีจากพืชที่มีกรรมวิธีการย้อมโดยไม่ใช้ความร้อน แต่อาศัยคุณสมบัติธรรมชาติของสารสี และปฏิกิริยาเคมีทางธรรมชาติช่วยให้สารสีติดกับเส้นใย โดยจะหมักเส้นใยไว้ในน้ำย้อมที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีรายละเอียดวิธีการย้อมที่แตกต่างกันตามชนิดของสารสีที่ได้จากพืช การย้อมแบบร้อน สีย้อมธรรมชาติที่ใช้การย้อมแบบร้อน จะเป็นสีย้อมที่ได้จากพืชทั่วไป และครั่ง โดยจะนำวัตถุดิบย้อมสีมาสับให้ละเอียดแล้วต้มให้เดือดเพื่อสกัดสารสีออกจากพืช จากนั้นจึงทำการย้อมกับเส้นใย จะมีการใช้ความร้อนและสารช่วยย้อมช่วยให้สารสีติดกับเส้นใย (ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6, 2554)

2. สีย้อมธรรมชาติจากสัตว์ (Animal Dyes) สีธรรมชาติจากสัตว์ คือ สารสีที่ได้จากสารที่ขับออกจากตัวสัตว์ หรือตัวสัตว์เอง สำหรับประเทศไทยมีการใช้สีจากแมลง คือ ครั่ง โดยตัวครั่งจะดูดกินน้ำเลี้ยงของต้นไม้แล้วขับสารสีแดงที่เรียกว่า ยางครั่ง ออกมาหุ้มรอบตัวเป็นรัง สารสีแดงที่ถูกขับออกมาจากตัวครั่งดังกล่าวมานี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ ทั้งในการย้อมสิ่งทอ ผสมในอาหาร และใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท สำหรับเส้นใยที่ย้อมด้วยครั่งคือ ไหม ขนสัตว์ และฝ้าย เชื่อกันว่าคุณภาพของสีที่ได้จากการย้อมด้วยครั่งจะขึ้นกับชนิดของต้นไม้ที่ใช้เลี้ยงครั่ง (ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6, 2554)

3. สีย้อมธรรมชาติจากแร่ธาตุ (Mineral Dyes) สีธรรมชาติประเภทนี้เป็นสีที่เกิดจากสารประกอบของโลหะ จำพวกเหล็ก โครเมียม ตะกั่ว แมงกานีส ทองแดง โคบอลต์ และนิกเกิล ซึ่งในอดีตเป็นกลุ่มสีที่มีความสำคัญมากแต่ในปัจจุบันไม่ปรากฏแหล่งผลิต และการใช้สีกลุ่มดังกล่าวสำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน ยังมีการใช้สีธรรมชาติจากแร่ธาตุในการย้อมสีสิ่งทอ คือ สีจากโคลน และดินแดง ซึ่งเป็นวัสดุที่มีสารประกอบพวกอลูมิโนซิลิเกต และสารประกอบโลหะอยู่ (ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6, 2554)

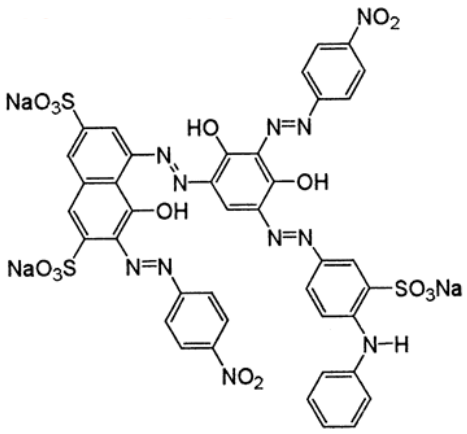
2.1.2.2 สีย้อมสังเคราะห์ (Synthetic dyestuffs) เป็นสีย้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางเคมี ได้แก่

1. สีเอซิด (Acid Dyes) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีเอซิดบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน ใยขนแกะ ไหม และอะคลิริกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซัก และไม่ทนเหงื่อ (indafix, 2019) สีเอซิดแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 Levelling dyeing acid dyes สีกลุ่มนี้สามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี เพราะมีการกระจายเป็นโมเลกุลไม่เกาะกันเป็นกลุ่มๆ ทำให้ได้ผลการย้อมสีสม่ำเสมอ การย้อมสีจะทำในสภาพเป็นกรดช่วง pH 2-3 โดยการใช้กรดแก่ เช่น กรดกำมะถัน และเนื่องจากเป็นสีที่มีอนุภาคขนาดเล็กขณะกระจายตัวในน้ำจึงสามารถดูดซับเส้นใยได้รวดเร็ว โดยทั่วไปจึงใช้ย้อมร่วมกับเกลือโซเดียมซัลเฟต ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวช่วยชะลอการดูดซับสี สีกลุ่มนี้มีความคงทนต่อแสงดี แต่ความคงทนต่อการซักไม่ดี (thaiphamai, 2023)

กลุ่มที่ 2 Milling dyeing acid dyes สีกลุ่มนี้กระจายตัวไม่ดี แต่ให้คุณสมบัติด้านความคงทนสูงต่อการซักกว่ากลุ่มแรก การย้อมจะได้ผลดีในสารละลายสีย้อมที่จุดเดือด ที่มีสภาพเป็นกรด ช่วง pH 5.2-6.2 การย้อมสีกลุ่มนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ย้อมร่วมกับเกลือโซเดียมซัลเฟตเพราะเมื่อ pH ของสารละลายสีย้อมมากกว่า 4.7 การเติมเกลือลงไปจะทำให้เร่งการดูดซับสี เกิดการย้อมติดสีไม่สม่ำเสมอ (thaiphamai, 2023)

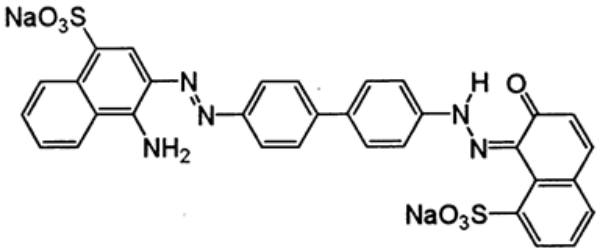
กลุ่มที่ 3 Neutral dyeing acid dyes หรือ Super milling เป็นสีที่จะกระจายตัวเป็นวุ้นที่อุณหภูมิต่ำ แต่ที่อุณหภูมิสูงเกือบจุดเดือดจะกระจายเป็นโมเลกุล สีกลุ่มนี้เป็นสีที่ย้อมให้ติดสม่ำเสมอได้ยาก การย้อมจะได้ผลดีในสารละลายสีย้อมที่มีสภาพเป็นกลางหรือเป็นกรดน้อยมากที่จุดเดือด โดยทั่วไปจะใช้ร่วมกับเกลือแอมโมเนียม เช่น แอมโมเนียมอะซิเตต หรือแอมโมเนียมซัลเฟตทำหน้าที่เป็นตัวช่วยชะลอการดูดซับและจับผิววัสดุ แต่ในบางกรณีอาจใช้เกลือโซเดียมซัลเฟตแทนก็ได้ สีกลุ่มนี้จะให้ความคงทนต่อแสงและการซักดี (thaiphamai, 2023)



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีเอซิดบราวน์ 113

ที่มา : http://thaiphamai.blogspot.com/2013/04/acid-dyes.html

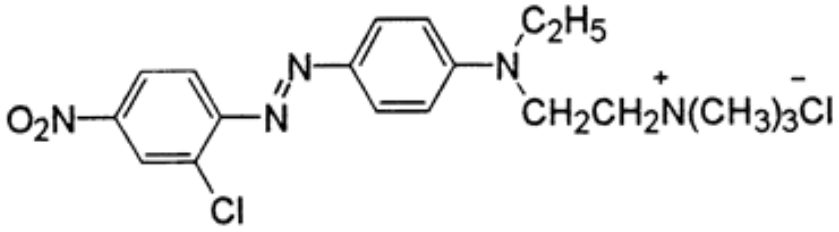
2. สีไดเร็กท์ (Direct Dye) หรืออาจเรียกว่า สีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง (ขนิษฐา, 2007)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของสีไดเร็กท์เรด 17

ที่มา : http://www.worlddyevariety.com/direct-dyes/direct-red-17.html

3. สีเบสิก (Basic Dyes) เป็นเกลือของด่างอินทรีย์ละลายน้ำได้ ย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เพียงเล็กน้อยหรือไม่ติดเลยมีโครโมฟอร์ (chromophore) ให้ประจุบวก (cation) บางครั้งเรียก สีแคทไอออน ถ้าย้อมเส้นใยเซลลูโลส เส้นใยต้องย้อมด้วยสารประกอบที่สามารถก่อรูปเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำกับตัวสีได้ก่อน เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นเสมือนหนึ่งสะพานเชื่อมโยงระหว่างตัวสีกับเส้นใย สารประกอบนี้เรียกว่า สารช่วยติด (Mordant) สีในกลุ่มนี้มีสีสดใส แต่ไม่ทนแสง (Administrator, 2555) นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอนและใยอะคริลิกได้ดี ในขณะย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติ เพราะจะไม่ทนการซักและแสง (ขนิษฐา, 2007)



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของสีเบสิกเรด 18

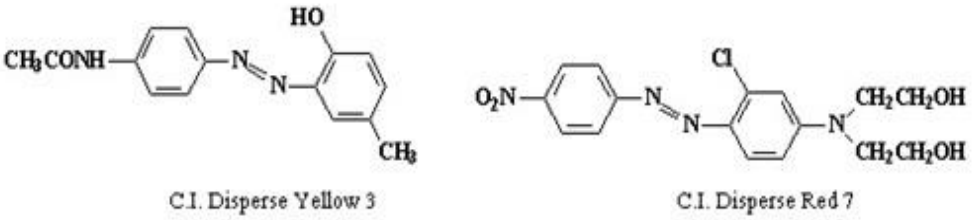
ที่มา : https://www.worlddyevariety.com/basic-dyes/basic-red-18.html

4. สีดิสเพิร์ส (Disperse Dyes) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพา (Carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิ และความดันสูง สีดิสเพิร์ส เป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนตรัสออกไซด์ สีดิสเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณากลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมเอโซ (Azo Dyes) และสีย้อมแอมมิโน แอนทราคิวโนน (Amino Antraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทราโนลามีน (Ethanolamine; $NH_2CH_2CH_2CH$) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน (phisit, n.d.)

โครงสร้างและสมบัติของสีดิสเพิร์ส

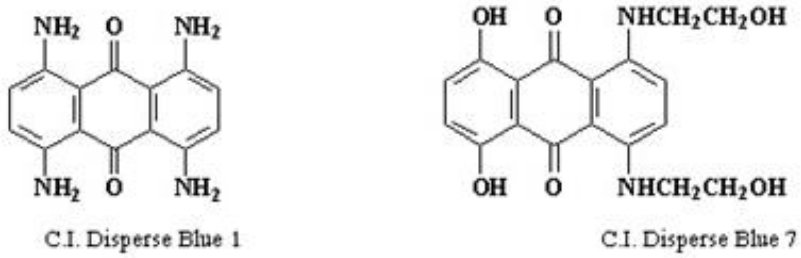
สีดิสเพิร์ส เป็นสีที่ไม่มีประจุ ข้อแตกต่างของสีดิสเพิร์ส เมื่อเปรียบเทียบกับสีที่ละลายน้ำได้ คือสีกลุ่มนี้จะไม่มีหมู่ช่วยละลายน้ำ เช่น ซัลโฟเนต หรือคาร์บอกซิเลตในโครงสร้าง เลยทำให้สีดิสเพิร์ส ไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องหรือละลายน้ำได้บ้างเล็กน้อยที่อุณหภูมิสูง สีดิสเพิร์สส่วนใหญ่มีขนาดเล็ก น้ำหนักโมเลกุลต่ำและโมเลกุลของสีประกอบด้วยหมู่แทนที่ที่มีขั้ว เช่น หมู่ไฮดรอกซี่เอทิลอะมิโน หมู่ไฮดรอกซี่เอทิล เป็นต้น ทำให้สามารถเกิดแรงไดโพลและพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลสีกับเส้นใยได้ ซึ่งส่งผลให้สีดิสเพิร์ส ละลายน้ำได้เล็กน้อย สำหรับโครโมฟอร์ที่สำคัญของสีดิสเพอร์ส ได้แก่

โมโนเอโซ (Monoazo) สีดิสเพิร์ส ที่อยู่ในกลุ่มนี้มีประมาณ 50% ของสีดิสเพิร์สทั้งหมด การสังเคราะห์ทำได้ง่ายด้วยปฏิกิริยา Diazotisation และปฏิกิริยา Coupling โดยสามารถใช้สารตั้งต้นที่มีหมู่แทนที่ต่างๆ กัน ทำให้ได้เฉดสีที่หลากหลาย ตั้งแต่สีเหลือง ส้ม น้ำตาล แดง ม่วง จนถึงสีฟ้า มีค่าการทนทานต่อการซักปานกลางถึงดี ตัวอย่างของสีดิสเพิร์ส ชนิดโมโนเอโซ แสดงใน ภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของสีดิสเพิร์ส ชนิดโมโนเอโซ
ที่มา : https://www.phisit.com/knowledge/-disperse-dyes.

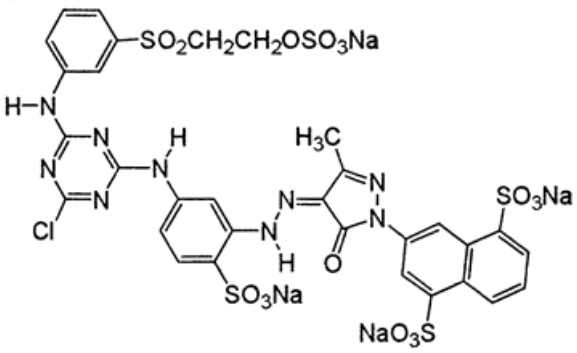
แอนทราควิโนน (Anthraquinone) สีดิสเพิร์ส กลุ่มนี้มีประมาณ 25% ของสีดิสเพิร์สทั้งหมด โดยสามารถให้สีม่วง ฟ้า แดงและชมพู สีที่ได้ค่อนข้างสด และมีความเสถียรต่อแสง แต่ความเข้มของสีส่วนใหญ่จะต่ำกว่าสีเอโซ และมีค่าการทนทานต่อการซักที่ไม่ดีนัก ตัวอย่างของสีดิสเพิร์สชนิดแอนทราควิโนนแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของสีดิสเพิร์ส ชนิดแอนทราควิโนน
ที่มา : https://www.phisit.com/knowledge/-disperse-dyes.

5. สีรีแอกทีฟ (Reactive Dyes) คือ สีย้อมที่สามารถทำปฏิกิริยาเกิดพันธะทางเคมีกับเส้นใยในสภาวะที่เหมาะสมได้ ก่อนที่จะมีการค้นพบสีรีแอคทีฟ เมื่อปี ค.ศ. 1956 นั้น สีย้อมฝ้ายที่สำคัญมีเพียงสีไดเร็กท์ สีแวต และสีอะโซอิค เท่านั้น สีย้อมทั้ง 3 ประเภทนี้ ล้วนมีข้อจำกัดในการใช้งาน กล่าวคือ สีไดเร็กท์ แม้ว่าจะใช้ง่าย ราคาถูก แต่ความคงทนต่อการซักยังไม่ดีพอ ส่วนสีแวตนั้นแม้ว่าจะให้ผ้าย้อมมีความคงทนดีเลิศ แต่มันก็มีราคาแพงและวิธีการย้อมค่อนข้างยุ่งยากทั้งเฉดสีก็ค่อนข้างจำกัด ส่วนสีอะโซอิคนั้น ก็มีปัญหาเวลาต้องการจะย้อมให้ได้สีเดิม โดยเฉพาะในกรณีการใช้สีผสม (phisit, n.d.) สีรีแอกทีฟ เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (-OH) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ในสภาวะที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอกทีฟมี 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง

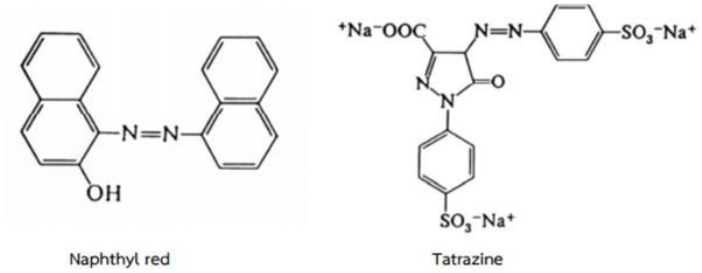
70-75 °C และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิปกติ สีรีแอกทีฟให้สีที่สดใส และทุกสีติดทนในทุกสภาวะ (ขนิษฐา, 2007)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟเยลโล่ 167

ที่มา : https://www.worlddyevariety.com/reactive-dyes/reactive-yellow-167.html

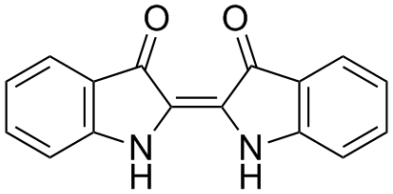
6. สีเอโซอิค (Azoic Dyes) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็นสี (Coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพแนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีเอโซอิคใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตท สีเอโซอิคเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขัดถู (ขนิษฐา, 2007)



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของสีเอโซอิค

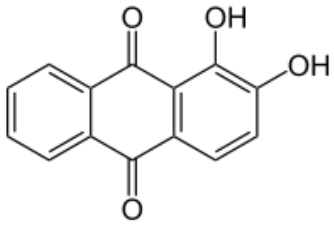
ที่มา : http://www.thai-inthanil.com/article/6/azo-dye

7. สีแว็ต (Vat Dyes) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแว็ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว็ตจะถูกรีดิวส์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแว็ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (Indigoid) และสีแอนทราควินอยด์ (Antraquinoid) (indafix, 2019)



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของสีอินดิโก

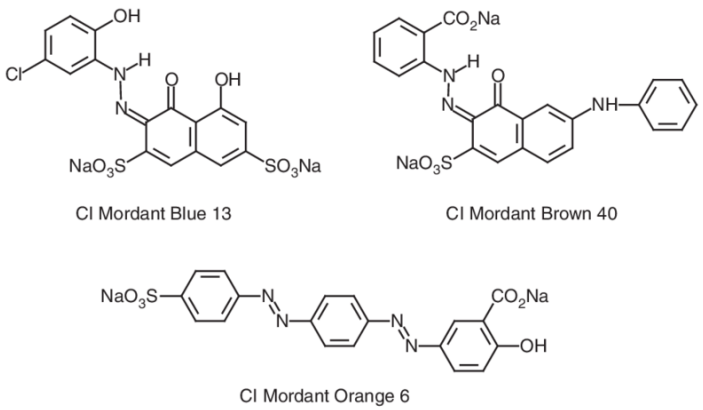
ที่มา : https://www.chemsrc.com/en/cas/482-89-3_1008280.html



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของสีแอนทราควิโนน

ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Anthraquinone_dyes

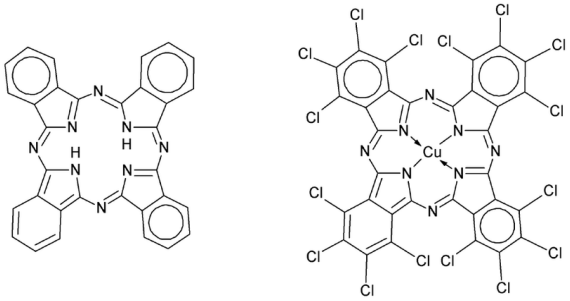
8. สีมอร์แดนท์ หรือโครม (Mordant or chrome dyes) เป็นสีที่มีโมเลกุลใหญ่ ซึ่งเกิดจากสีมอร์แดนท์หลายโมเลกุลจับกับโลหะแล้วละลายน้ำได้ จึงทำให้ย้อมได้ง่าย ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน และเส้นใยพอลีเอไมด์ได้ดี (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ม.ป.ป.) สีย้อมชนิดนี้ต้องใช้สารช่วยติดเข้าไปช่วยเพื่อให้เกิดการติดสีบนเส้นใย สารที่ช่วยติดที่ใช้คือสารประกอบออกไซด์ของโลหะ เช่น โครเมียม ดีบุก เหล็กอะลูมิเนียม เป็นต้น (ขนิษฐา, 2007)



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของสีมอร์แดนท์ หรือโครม

ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structures-of-the-mordant-and-natural-dyes-used-in-this-study_fig2_287955801

9. สีอินเกรน เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำ สีย้อมชนิดนี้ใช้สำหรับย้อมฝ้าย (ขนิษฐา, 2007)



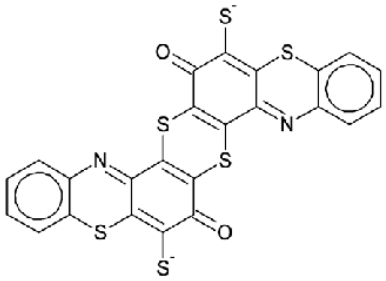
Phthalocyanine Phthalocyanine green

ภาพที่ 2.12 โครงสร้างทางเคมีของสีพทาโลไซยานิน

ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structures-of-some-phthalocyanine-dyes_fig11_291421245

10. สีออกซิเดชัน (Oxidation dyes) คือสีย้อมที่สามารถถูกออกซิไดส์ให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำโดยสีจะติดแน่น อาศัยปฏิกิริยาการตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย ใช้สำหรับย้อมฝ้ายและขนสัตว์ (ขนิษฐา, 2007)

11. สีซัลเฟอร์ (Sulfer dyes) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์สีเพื่อให้โมเลกุลอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ แต่สีซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ นิยมนำสีซัลเฟอร์มาย้อมฝ้าย สีจะติดทน และยังเป็นสีที่มีราคาถูก แต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก (ขนิษฐา, 2007)



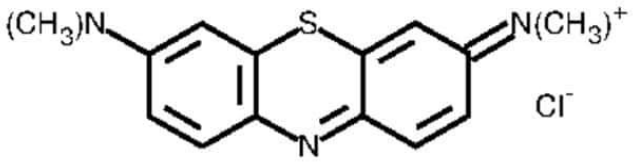
Sulfur Black I

ภาพที่ 2.13 โครงสร้างทางเคมีของสีซัลเฟอร์

ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structures-of-some-sulfur-dyes-Univocal-identification-of-a-definite_fig12_291421245

2.2 เมทิลีนบลู (Methylene Blue)

เมทิลีนบลู หรือ เมทิลไทโอนิเนียมคลอไรด์ (Methylthioninium chloride) ถูกค้นพบครั้งแรกโดยไฮน์ริช คาโร นักเคมีชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1876 เป็นสีย้อมในกลุ่มไทอะซีน อนุพันธ์ฟีโนไทอะซีน มีสูตรเคมีคือ $C_{16}H_{18}ClN_3S$ มวลโมเลกุล 319.86 กรัมต่อโมล ลักษณะเป็นผงสีเขียวเข้ม ไม่มีกลิ่น มีค่า pH 6 ในน้ำที่อุณหภูมิ 25 °C มีจุดเดือดที่ 100 °C จุดหลอมเหลวที่ 190 °C เมทิลีนบลูละลายในน้ำ เอทานอล และคลอโรฟอร์ม แต่ไม่ละลายในเอทิลอีเทอร์ ไซลีน และกรดโอเลอิก เมื่อละลายในน้ำและเอทานอลจะได้สารละลายสีน้ำเงิน



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู

ที่มา : https://www.fishersci.co.uk/shop/products/methylene-blue-1-w-v-aqueous-solution-alfa-aesar/11305597

2.3 วัสดุดูดซับกากกาแฟและถ่านไม้มะขาม

2.3.1 กากกาแฟ

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่มีการบริโภคกันอย่างแพร่หลายมากที่สุดในโลก โดยมีการผลิตและจำหน่ายเมล็ดกาแฟถึง 7.4 ล้านตันต่อปี นอกจากนี้ยังใช้ในการค้าสูงสุดเป็นอันดับสองรองจากปิโตรเลียมซึ่งแสดงถึงบทบาทที่สำคัญในระบบเศรษฐกิจ การบริโภคกาแฟของชาวเกาหลีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และตามสถิติปี 2017 การบริโภคกาแฟต่อปีของผู้ใหญ่ชาวเกาหลีโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 512 ถ้วย จากข้อมูลของกรมศุลกากรและอุตสาหกรรมกาแฟของเกาหลี มูลค่าตลาดกาแฟของประเทศนั้นสูงถึง 11 ล้านล้านวอน ซึ่งมากกว่าใหญ่กว่าเมื่อ 10 ปีที่แล้วถึง 3 เท่า (Hong, 2018)

การบริโภคกาแฟที่เพิ่มขึ้น ปริมาณกากกาแฟที่ใช้แล้วซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการบริโภคกาแฟก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย รัฐบาลกรุงโซลคาดการณ์ว่าปริมาณกากกาแฟที่ใช้แล้วในแต่ละวันในกรุงโซลจะสูงถึง 140 ตัน ในปี 2014 ต่างจากอัตราการเติบโตอย่างรวดเร็วของตลาดกาแฟตรงที่ยังไม่มีการสร้างระบบรวบรวมและรีไซเคิลกากกาแฟใช้แล้ว ดังนั้นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการจัดการกับกากกาแฟที่ใช้แล้วจึงจำเป็นต้องนำมาใช้ อย่างไรก็ตาม กากกาแฟที่ใช้แล้วไม่ได้เป็นตัวแทนของเศษอาหารธรรมดาๆ และอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ กากกาแฟที่ใช้แล้วมีสารประกอบอินทรีย์

ในระดับสูงซึ่งมีผลทางชีวภาพต่างๆ รวมทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ ยาต้านจุลชีพ และกิจกรรมอื่นๆ (Rufián-Henares & de la Cueva, 2009; Xu et al., 2015) นอกจากนี้ ยังปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งมีผลเชิงลบมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 2.5 เท่าต่อภาวะโลกร้อน (Jihyun & Hong, 2019) ดังนั้นการกำจัดหรือเผากากกาแฟที่ใช้แล้วลงในหลุมฝังกลบจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการพยายามใช้กากกาแฟที่ใช้แล้วหลายครั้งในระดับโลก และมีการเสนอทางเลือกในการใช้เป็นไบโอดีเซลหรือปุ๋ย (Caetano et al., 2012; Prakash et al., 2007)

2.3.2 ถ่านไม้มะขาม

ถ่านไม้มะขามเป็นถ่านที่ได้รับความนิยมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการปิ้งย่างและหุงต้ม เนื่องจากให้ความร้อนสูงและมีควันน้อย. นอกจากนี้ ถ่านไม้มะขามยังเป็นที่ต้องการของตลาดเนื่องจากมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ทำให้เป็นที่นิยมในหมู่ผู้บริโภค

คุณสมบัติของถ่านไม้มะขาม:ให้ความร้อนสูงถ่านไม้มะขามมีคุณสมบัติในการให้ความร้อนสูง ซึ่งเหมาะสำหรับการทำอาหารประเภทปิ้งย่าง ควันน้อยเมื่อเทียบกับถ่านชนิดอื่นๆ ถ่านไม้มะขามมีควันน้อยกว่า ทำให้ผู้บริโภครู้สึกสบายและปลอดภัยเมื่อใช้งาน ถ่านไม้มะขามมีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ซึ่งสามารถเพิ่มอรรถรสในการรับประทานอาหารได้ สามารถติดไฟได้นาน ทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนถ่านบ่อยๆ ในระหว่างการใช้งาน ถ่านไม้มะขามมีคุณภาพดี ไม่แตกประทุขณะใช้งาน ทำให้ปลอดภัยและใช้งานได้ง่าย

การผลิตถ่านไม้มะขามการผลิตถ่านไม้มะขามสามารถทำได้โดยการนำไม้มะขามมาเผาในเตาเผาถ่านแบบง่ายๆ ซึ่งมีโครงสร้างทำด้วยอิฐทนไฟและฉาบภายนอกและภายในด้วยดินเหนียว. การเผาถ่านจะใช้เวลาประมาณ 4 วัน โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 800-1,000 ^{O}C

2.4 การกำจัดสีย้อม

เทคโนโลยีการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสีย้อมและสารเคมีที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำ สามารถใช้เทคนิคการบำบัดได้วิธีดังนี้ (welkinchemi, ม.ป.ป.)

2.4.1 การบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment)

เป็นการกำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การแยกเศษขยะออกจากน้ำเสียด้วยตะแกรง การตกตะกอน กรวดทราย โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง เพื่อลดภาระการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดในขั้นต่อไป ระบบบำบัดขั้นต้นที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ตะแกรงดักขยะ (Screen) และ ถังปรับสภาพ (Equalization)

2.4.2 กระบวนการบำบัดทางเคมีกายภาพ (Physicochemical treatment)

เทคโนโลยีที่มีการนำมาใช้ในโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอในประเทศไทย ได้แก่

2.4.2.1 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical coagulation flocculation) เป็นวิธีสำหรับแยกสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กออกจากน้ำเสีย โดยใช้สารเคมีในการตกตะกอน เช่น สารส้ม และปูนขาว นิยมนำมาใช้ในการกำจัดสี และสารอินทรีย์

2.4.2.2 กระบวนการโอโซนออกซิเดชัน (Ozone oxidation) ไอโซน (O_3) เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง จึงนิยมนำมาใช้ในการย่อยสลายสีและสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม

2.4.2.3 การดูดซับ (Adsorption) นิยมใช้การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีที่ไม่สามารถกำจัดในระบบตกตะกอนทางเคมี หรือระบบบำบัดทางชีวภาพมักใช้เป็นระบบขั้นสุดท้ายก่อนระบายน้ำทิ้งออกจากโรงาน แต่ถ่านกัมมันต์อาจมีราคาแพงและไม่คุ้มค่ากับการนำมาใช้ใหม่ สารดูดซับที่ราคาถูกและมีประสิทธิภาพดี เช่น ไคโตซาน และแทนนิน ถูกนำมาพัฒนาเม็ดบีดไคโตซานแทนนิน เพื่อใช้กำจัดสีในน้ำเสีย

2.4.2.4 การกรอง (Filtration) นิยมใช้เป็นถังกรองทราย มักใช้เป็นระบบขั้นสุดท้ายก่อนระบายน้ำทิ้ง ทำหน้าที่กรองสารแขวนลอย หรือตะกอนเบาที่หลุดออกมาจากระบบบำบัดก่อนหน้า

2.4.2.5 กระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrochemical process) เป็นกระบวนการที่มีความสัมพันธ์ระหว่างเคมี และพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ สามารถกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียได้ข

2.4.3 กระบวนการบำบัดทางชีวกภาพ (Biological treatment)

วิธีนี้มีวัตถุประสงค์หลักคือการกำจัดบีโอดีที่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย โดยอาศัยจุลินทรีย์มาย่อยสลายเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ต่างๆ ไปเป็น CO_2 (ถ้าใช้ระบบเติมอากาศ) หรือไปเป็น CH_4 และ H_2S (ถ้าใช้ระบบไม่เติมอากาศ) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

2.4.3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic treatment process) ได้แก่ ระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge) และบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon)

2.4.3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic treatment process) ได้แก่ ระบบบ่อไร้ออกซิเจน (Anaerobic ponds)

2.4.3.3 ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลียนแบบกลไกทางธรรมชาติ ได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization ponds)

2.5 การดูดซับ

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดจับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) (Pradthana's Weblog, 2008)

2.5.1 กลไกของกระบวนการดูดติดผิว

การดูดติดผิว (Adsorption) เป็นกระบวนการกักพวกสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า Adsorbent การดูดติดผิวนี้จะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะ ต่างๆทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และของแข็ง ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว- ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง

ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ

2.5.2 ประเภทของการดูดซับ

2.5.2.1 การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย และแรงไฟฟ้าสถิตย์ การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านี้ โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2.5.2.2 การดูดซับทางเคมี การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่าการกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวเท่านั้น

2.5.3 กลไกการดูดซับ

2.4.3.1 การแพร่ภายนอก (External diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายในสารละลายภายนอก (Bulk solution) เข้าถึงผิวด้านนอกของสารดูดซับ ซึ่งพื้นผิวด้านนอกของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลของสารถูกดูดซับแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ

2.4.3.2 การแพร่ภายใน (Internal or Pore Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแพร่เข้าสู่ภายในรูเล็กๆจำนวนมากมายภายในเนื้อสารดูดซับ รูเล็กๆ ดังกล่าว จะก่อให้เกิดพื้นที่ผิวปริมาณมากมายในสารดูดซับ

2.4.3.3 ปฏิกิริยาที่พื้นผิว (Surface reaction) ปฏิกิริยาที่พื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายถูกดูดติดที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ (ปนัดดา แทนสุโพธิ์ และภิรมย์ สุวรรณสม, 2557)

2.6 หลักการของเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

2.6.1 เทคนิค UV-Vis spectroscopy

เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง Ultraviolet (UV) จนถึงช่วง Visible light หรือแสงขาว โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ คือ เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณของแสงและค่า Intensity หรือความเข้มแสงในช่วงรังสียูวีจนถึงช่วงแสงขาวที่เกิดจากทั้งการทะลุผ่าน การส่องผ่าน และการสะท้อนของวัสดุตัวอย่างที่ถูกวางไว้ในตัวเครื่องมือ โดยที่แต่ละความยาวคลื่นตลอดช่วงการวัดจะมีความสัมพันธ์กับทั้งในเชิงปริมาณ และชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้

โดยหลักการทั่วไปของการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวที่มีพลังงานที่เหมาะสมนั้นไปที่วัสดุตัวอย่างจะทำให้เกิดการย้ายระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมของสสารนั้นๆ ที่เกิดจากการดูดกลืนแสงดังกล่าว ทำให้อิเล็กตรอนเหล่านั้นไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่า แล้วเกิดการคายพลังงานออกมาอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่เหมาะสมในรูปของความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งตัวเครื่องจะทำการ Detect ช่วงของพลังงานเหล่านั้น เพื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านการสะท้อนและการส่องผ่านจากวัสดุตัวอย่าง แล้วนำมาทำการเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ ตามกฎของ Beer-Lambert โดยค่าการดูดกลืนแสงหรือ ค่า Absorbance ของสสารนั้นๆ จะแปรผันตรงกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้น จึงสามารถนำเทคนิคนี้มาใช้สำหรับการระบุทั้งชนิดและปริมาณของสารต่างๆ ที่มีอยู่ในวัสดุตัวอย่างได้ (entech, 2021)

2.6.2 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ม.ป.ป.)

2.6.2.1 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอด้วย หลอดกำเนิดแสงมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสง

2.6.2.2 Monochromator

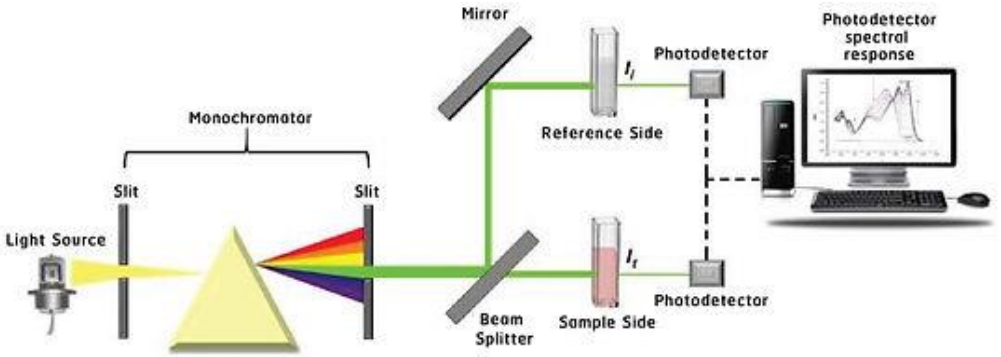
ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสงซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว ใช้ฟิลเตอร์ (กระจกสี) ปริซึม หรือ เกรตติ้ง

2.6.2.3 เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง

เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวทท์ รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาถูกดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอร์ตซ์ (Quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

2.6.2.4 Detector

ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง คือ แม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อยก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบัน คือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier tube, PMT) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (Silicon diode detector)



ภาพที่ 2.15 หลักการทำงานของเครื่อง UV-Visible spectrophotometer

ที่มา : https://www.industrial.automation.co.th/uv-vis-spectrophotometer

2.7 เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)

เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง นิยมนำมาตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของตัวอย่าง ตรวจสอบการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบการรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงตัวอย่างจากการดึง โดย Energy Dispersive Spectrometry (EDS) เครื่องตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ใน SEM ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้เพิ่มเติม(มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ม.ป.ป.)

2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิสาพร มูหะมัด และคณะ (2559) งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของกากชาที่เหลือใช้ โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับคือ ปริมาณกากชาที่เหมาะสม (0.1-1.6 กรัม) ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสีย้อม (6.5-65 มิลลิกรัม/ลิตร) ความเป็นกรดเบสของสีย้อม (pH 3-11) และศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับ (25-95 °C) โดยการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีเมทิลีนบลูด้วยเทคนิคสเปคโตรสโกปี ที่ความยาวคลื่น 667 nm พร้อมทั้งศึกษาสภาพพื้นผิวก่อนและหลังการดูดซับสีย้อมของกากชาโดย SEM ผลการศึกษาพบว่าความสารมารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูความเข้มข้น 13 มิลลิกรัม/ลิตร ด้วยกากชา

0.1 กรัม มีค่าประมาณ 12.70 มิลลิกรัม/กรัม ที่ pH 8 และกากชาสามารถดูดซับสีย้อมได้ดีที่อุณหภูมิตั้งแต่ 70 °C โดยมีค่าการดูดซับประมาณ 12.60 มิลลิกรัม/กรัม

ขวัญเนตร สมบัติสมภพ และคณะ (2564) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการการจัดสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยวัสดุดูดซับ 3 ชนิดได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านจากไม้ไผ่ โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้แก่ ปริมาณวัสดุดูดซับ (0.5-2.0 กรัม) ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ (0-120 นาที) ความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลู (65-140 มิลลิกรัม/ลิตร) และ pH (3-9) และศึกษาความสามารถในการดูดซับด้วยสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรุนดิช จากการศึกษาพบว่า วัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณ และระยะเวลาที่เหมาะสมเท่ากับ 2 กรัม และ 90 นาที ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการจัดสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ ถ่านหุงต้ม และถ่านไม้ไผ่ มีค่าเท่ากับ 75.48, 23.90 และ 16.57% ตามลำดับ จากการศึกษาไอโซเทอม พบว่า กลไกการดูดซับของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิดสอดคล้องกับสมการ Langmuir โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 18.73, 5.18 และ 0.81 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับสูงสุดต่อพื้นที่ผิวในการดูดซับของถ่านแต่ละชนิด พบว่าถ่านหุงต้มมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือถ่านไม้ไผ่ และ ถ่านกัมมันต์ ตามลำดับ ถ้าพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ถ่านหุงต้มมีราคาถูกที่สุด ดังนั้น ถ่านหุงต้มจึงเป็นวัสดุดูดซับในท้องถิ่นที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้ในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบูล

ประดินันท์ เอี่ยมสะอาด และวัชราภรณ์ ตันติพนาทิพย์ (2566) การปนเปื้อนของสีสังเคราะห์ในสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ รวมทั้งสุขภาพของมนุษย์เป็นอย่างมาก นำไปสู่ความสนใจในการพัฒนาแนวทางการบำบัดสีย้อมอุตสาหกรรมที่มักพบปนเปื้อนในน้ำทิ้งที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชีวมวลผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) ซึ่งเป็นวัชพืชน้ำและเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับสีย้อมคองโกเรด โดยการเตรียมวัสดุดูดซับจากชีวมวลผักตบชวาที่มีขนาด 250-425 µm เพื่อใช้ในการศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ในการดูดซับสีย้อมคองโกเรดในระดับห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองพบว่าปริมาณวัสดุดูดซับ 1 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นสีย้อมคองโกเรด 60 มิลลิกรัม/ลิตร ระยะเวลาดูดซับ 150 นาที และค่า pH สารละลายเท่ากับ 2 เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อมคองโกเรดของวัสดุดูดซับชีวมวลผักตบชวา โดยให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดในช่วงระหว่าง 75.58–93.25% นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ค่าประจุรวมบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับยังพบว่าประจุรวมบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวมวลผักตบชวาเป็นประจุบวก (pH_{zpc} = 5.8) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมคองโกเรดที่สูงสุดในสารละลายสีย้อมที่มีค่า pH = 2 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชีวมวลผักตบชวาสามารถพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับสีย้อมคองโกเรดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ยังพบว่าการศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับยังเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนารูปแบบการบำบัดสีย้อมอุตสาหกรรมชนิดอื่น ๆ ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

วิรังรอง แสงอรุณเลิศ (2015) งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการบริโภค โดยการกระตุ้นทางเคมี การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง เตรียมได้ 2 ขั้นตอน ขั้นแรกคือกระบวนการคาร์บอไนเซชันตามด้วยกระบวนการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ความพรุนสูงจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ และอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง ได้แก่ อุณหภูมิในการเผาให้เป็นถ่าน 600 °C และอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง 1:3 โดยใช้เวลาในการเผาให้เป็นถ่าน 30 นาที ที่สภาวะดังกล่าวได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุดเท่ากับ 510.44 มิลลิกรัมต่อกรัม และพื้นที่ผิวจำเพาะ BET เท่ากับ 717.45 ตารางเมตรต่อกรัม นอกจากนี้ได้นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงที่สภาวะที่เหมาะสมมากำจัดสีเมทิลเรดจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยกระบวนการดูดซับ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีเมทิลเรด ที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ เวลาในการดูดซับ ปริมาณถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย และชนิดของถ่านกัมมันต์ ผลการวิจัยพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลเรดได้ดีที่สุด คือ 64471.79 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ คิดเป็นร้อยละของการกำจัดสีย้อมเมทิลเรด 64.47 สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับคือ เวลาในการดูดซับ 60 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายสีเมทิลเรดเริ่มต้นสูงสุด 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเป็นกรดด่างของสารละลายสีเมทิลเรดที่สภาวะเป็นกรด

พชรวรรณ อึ้งศิริสวัสดิ์ และเฉลิม เรืองวิริยะชัย (2559) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูในสารละลายโดยใช้เปลือกหน่อไม้ที่อบแห้งเป็นวัสดุดูดซับ โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ ได้แก่ ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย (pH 3-9) เวลาในการดูดซับ (5-90 นาที) อัตราเร็วของการเขย่า (100-300 รอบต่อนาที) ปริมาณตัวดูดซับ (0.10-0.30 กรัม) และความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลู (5-300 มิลลิกรัมต่อลิตร) แล้วตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเทคนิคอัลตร้าไวโอเลตวิซิเบิลสเปกโทรโฟโทเมทรี จากผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมชนิดนี้ด้วยเปลือกหน่อไม้แห้งมีค่า 29.24 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ pH 7 เมื่อใช้ตัวดูดซับ 0.15 กรัม การดูดซับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ภายในเวลา 60 นาที เมื่อเขย่าสารผสมด้วยอัตราเร็ว 250 รอบต่อนาที นอกจากนี้พบว่า ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมนี้สอดคล้องกับแบบฟรุนดลิช (R^2 = 0.988) แสดงว่าเปลือกหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งนี้สามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมในน้ำทิ้งได้อย่างดี

พัชรนันท์ จันทร์พลอย และคณะ (2563) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอที่เตรียมได้จากการเผาแบบเตาลานได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่ ระยะเวลาในการดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลู จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการดูดซับพบว่า การดูดซับเกิดขึ้นเร็วในช่วงแรก และเริ่มคงที่ที่เวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง และเมื่อศึกษาความเข้มชั้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลู พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นมีผลทำให้ตัวดูดซับเกิดการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นมากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการดูดซับสีย้อมของตัวดูดซับเพิ่มขึ้นน้อยมาก การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ พบว่าข้อมูลจากการทดลองมีความสอดคล้องกับแบบจำลองสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม และไอโซเทอมการดูดซับเป็นไปตามแบบจำลองแลงเมียร์ เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยมีความสามารถในการดูดซับสูงสุด 166.67 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านเปลือกส้มโอ นอกจากนี้ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอเทียบกับวัสดุดูดซับชนิดอื่นๆ ที่สภาวะเดียวกัน พบว่าถ่านเปลือกส้มโอมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าเปลือกส้มโอแห้งซึ่งไม่ผ่านการดัดแปร อีกทั้งยังมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าถ่านต้นลำไย ถ่านอัดแท่ง ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านต้นลิ้นจี่ และถ่านต้นมะขาม ตามลำดับ

ณภัทร โพธิ์วัน (2020) งานวิจัยนี้ทำการเตรียมวัสดุดูดซับจากผักตบชวาสำหรับดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำเสีย โดยผักตบชวาถูกนำไปเตรียมดังนี้ 1) เตรียมเป็นผงขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร 2) ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ 3) เตรียมเป็นถ่านชีวภาพ ผลการศึกษาพบว่า ถ่านชีวภาพสามารถดูดซับปริมาณไอโอดีนได้สูงสุด คือ 636.30±4.16 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับโครงสร้างทางเคมีของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิดที่เตรียมขึ้นถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูริเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่าสเปกตรัมของวัสดุดูดซับมีลักษณะที่คล้ายกัน โดยแสดงหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของเซลลูโลส นอกจากนี้ยังได้ศึกษาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส ปริมาณวัสดุดูดซับ และไอโซเทอมของการดูดซับ พบว่าเวลาในการดูดซับที่เหมาะสมเท่ากับ 8 ชั่วโมง ปริมาณวัสดุดูดซับเท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร ในขณะที่ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด พบว่าไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ซึ่งเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 21.88 มิลลิกรัมต่อกรัม

Ali H. Jawad and Ahmed Saud Abdulhameed (2020) วัสดุชีวมวลจากเศษไม้ไผ่ถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยเตรียมถ่านกัมมันต์เศษไม้ไผ่แบบ mesoporous โดยใช้ KOH กระตุ้นด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ใช้วิธีการวิเคราะห์ลักษณะต่างๆ เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา ความเป็นผลึกของวัสดุ คุณสมบัติของพื้นที่ผิว องค์ประกอบของธาตุ และกลุ่มฟังก์ชันพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เศษไม้ไผ่ (BCAC) การวิเคราะห์ของ Brunauer Emmett–Teller แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์เศษไม้ไผ่มีพื้นที่ผิว (720.69 m^2/g) และมีโครงสร้างแบบ mesoporous (เส้นผ่าศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 7.32 นาโนเมตร) และหาคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์เศษไม้ไผ่สำหรับกำจัดเมทิลเลนบลู (MB) น้ำเสียที่การดูดซับในสภาวะต่างๆ เช่น

ปริมาณถ่านกัมมันต์เศษไม้ไผ่ (0.02–0.1 กรัม/ลิตร) pH (3–10) อุณหภูมิ (30–50 °C) และเวลา (5–20 นาที) ซึ่งสามารถอธิบายสมดุลการดูดซับได้โดยแบบจำลองไอโซเทอมของ Freundlich ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของสีย้อม MB อยู่ที่ 305.3 mg/g ที่ 40 °C กลไกการดูดซับสีย้อม MB บนพื้นผิวถ่านกัมมันต์เศษไม้ไผ่แสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาระหว่างสีย้อม และตัวดูดซับต่าง ๆการดึงดูดด้วยไฟฟ้าสถิต อันตรกิริยา และพันธะไฮโดรเจน การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของเศษไม้ไผ่ในการเป็นสารตั้งต้นชีวมวลสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างมีประสิทธิภาพพร้อมคุณสมบัติการดูดซับสีย้อมประจุบวกที่ดี

Kouassi Narcisse Aboua et al. (2015) ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกของผลไม้ใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับกำจัดสีย้อม เมทิลีนบลู (MB) และเมทิลออเรนจ์ (MO) ออกจากสารละลายปนเปื้อนในน้ำ ซึ่งการดูดซับนั้นสามารถดูดซับได้ดีใน pH ที่เป็นกรด โดยมีค่าการดูดซับที่เหมาะสมที่คือ pH 2 โดยมีอัตราการดูดซับมากกว่า 98% สีย้อมทั้งสองมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิห้อง อัตราการดูดซับคงที่ที่ค่าประมาณ 99% การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับแสดงให้เห็นว่าการดูดซับบนสีย้อมที่ศึกษาเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวตามข้อมูลการดูดซับไอโซเทอมของ Langmuir และ Freundlich นอกจากนี้พบว่ากระบวนการดูดซับเป็นปรากฏการณ์ดูดความร้อนที่ดีและเกิดขึ้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

3.1.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrocholric acid ; HCl) มวลโมเลกุล 36.458 กรัมต่อโมล บริษัท RCI LABSCAN

3.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide ; NaOH) มวลโมเลกุล 39.997 กรัมต่อโมล บริษัท CARLO ERBA

3.1.3 เมทิลีนบลู (Methylene blue ; $C_{16}H_{18}ClN_3S$) มวลโมเลกุล 319.86 กรัมต่อโมล บริษัท FISHER SCIENTIFIC

3.1.4 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein ; $C_{20}H_{14}O_4$) มวลโมเลกุล 318.32 กรัมต่อโมล

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) รุ่น S220 บริษัท METTLER TORLEDO

3.2.2 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaking Water bath) รุ่น IL.60714 บริษัท POLYSCIENCE

3.2.3 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer) รุ่น SPECORD 200 Plus บริษัท Analytikjene

3.2.4 เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) รุ่น Phenom XL Desktop SEM

3.2.5 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บริษัท METTLER TOLEDO

3.2.6 ตะแกรงขนาด 32 MESH

3.2.7 พาราฟิล์ม

3.2.8 อะลูมิเนียมฟอยล์

3.2.9 บีกเกอร์ ขนาด 50, 250 และ 2000 มิลลิลิตร

3.2.10 บิวเรตต์ ขนาด 50 มิลลิลิตร ขาตั้ง และตัวจับบิวเรตต์

3.2.11 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 500 และ 1000 มิลลิลิตร

3.2.12 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 และ 250 มิลลิลิตร

3.2.13 กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.2.14 ปิเปตต์ ขนาด 2, 20 และ 25 มิลลิลิตร

3.2.15 แท่งแก้ว

3.2.16 ช้อนตักสาร

3.2.17 กระดาษกรอง

3.2.18 หลอดหยด

3.3 การเตรียมตัวอย่างและสารเคมี

3.3.1 การเตรียมวัสดุดูดซับ

3.3.1.1 การเตรียมตัวดูดซับจากกากกาแฟได้ประยุกต์จากวิธีของ B.H. Hameed, 2009 (Hameed & Ahmad, 2009)

นำกากกาแฟที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ต้มด้วยน้ำกลั่นอย่างน้อย **10** ครั้ง เพื่อให้กากกาแฟสะอาดและไม่มีสีหลงเหลืออยู่ จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และเมื่อแห้งนำไปเก็บไว้ในขวดที่มีฝาปิดมิดชิดปราศจากความชื้น โดยห้ามปนเปื้อนสารเคมีหรือสารอื่นๆ ก่อนนำไปใช้งานต่อไป

3.3.1.2 การเตรียมถ่านไม้มะขาม

นำไม้ที่ต้องการเผาบรรจุลงในเตาเผา เมื่อบรรจุไม้จนเต็มเตาเผาแล้วปิดฝาเตาให้สนิทโดยใช้ค้อนตอกบนฝาเตา จากนั้นนำดินเหนียวประสานรอยต่อระหว่างฝาเตากับเตาให้สนิท ทำการจุดไฟใต้เตา นำดินมากลบบริเวณฝาเตาให้มิด ใส่เชื้อเพลิงที่ในช่องจุดไฟไปทีละน้อย (ประมาณ 3-4 ชั่วโมง) จากนั้นปล่อยให้เชื้อเพลิงใต้เตาเผาไหม้จนหมด หรือไฟในช่องจุดไฟใต้เตาดับลง (ประมาณ 3 ชั่วโมง) จากนั้นรอให้อุณหภูมิลดลงจึงทำการเก็บถ่านในเตาเผา นำถ่านที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดและนำมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 32 MESH จากนั้นเก็บตัวอย่างที่ได้ใส่พาชนะที่มีฝาปิด

3.3.2 การเตรียมสารละลายเมทิลีนบลู

3.3.2.1 สารละลายเมทิลีนบลู 10 ppm

ชั่งเมทิลีนบลู 0.01 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

3.3.2.2 สารละลายเมทิลีนบลู 15 ppm

ชั่งเมทิลีนบลู 0.015 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

3.3.2.3 สารละลายเมทิลีนบลู 20 ppm

ชั่งเมทิลีนบลู 0.02 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

3.3.2.4 สารละลายเมทิลีนบลู 25 ppm

ชั่งเมทิลีนบลู 0.025 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

3.3.2.5 สารละลายเมทิลีนบลู 30 ppm

ชั่งเมทิลีนบลู 0.03 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

3.3.2.6 สารละลายเมทิลีนบลู 20 ppm pH 3

ชั่งเมทิลีนบลู 0.02 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร นำไปปรับค่า pH ให้มีค่าเป็น 3 ด้วยสารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 0.05 M

3.3.2.7 สารละลายเมทิลีนบลู 20 ppm pH 7

ชั่งเมทิลีนบลู 0.02 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร นำไปปรับค่า pH ให้มีค่าเป็น 7 ด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.05 M

3.3.2.8 สารละลายเมทิลีนบลู 20 ppm pH 11

ชั่งเมทิลีนบลู 0.02 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร นำไปปรับค่า pH ให้มีค่าเป็น 11 ด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.05 M

3.3.3 การเตรียมสารละลายกรด HCl และ NaOH ความเข้มข้น 0.05 M

3.3.3.1 การเตรียมสารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 0.05 M

ปิเปตต์กรด HCl 2 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่นอยู่ และปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร

3.3.3.2 การเตรียมสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.05 M

ชั่ง NaOH 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร

3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.4.1 ศึกษาปริมาณของถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

ชั่งถ่านที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน คือ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 1.25 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร และเติมสีเมทิลีนบลูความเข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 6 และ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรอง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังการดูดซับด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร และนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับสีเมทิลีนบลู

การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการหาค่าเฉลี่ย (X) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ ANOVA (Analysis of Variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Duncan® ที่นัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.4.2 ศึกษาความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

ชั่งถ่าน 0.50 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และเติมสีเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันคือ 10, 15, 20, 25 และ 30 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 6 และ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรอง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังการดูดซับด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร และนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับสีเมทิลีนบลู

การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการหาค่าเฉลี่ย (X) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ ANOVA (Analysis of Variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Duncan® ที่นัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.4.3 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

ชั่งถ่าน 0.50 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร และเติมสีเมทิลีนบลูความเข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 25, 40, 55, 70 และ 85 °C เป็นเวลา 1 และ 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรอง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังการดูดซับด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร และนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับสีเมทิลีนบลู

การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการหาค่าเฉลี่ย (X) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ ANOVA (Analysis of Variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Duncan® ที่นัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.4.4 ศึกษาความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

ชั่งถ่าน 0.50 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร และเติมสีเมทิลีนบลูความเข้มข้น 20 ppm ที่มี pH แตกต่างกันคือ pH 3, 7 และ 11 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 6 และ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรอง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังการดูดซับด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร และนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับสีเมทิลีนบลู

การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการหาค่าเฉลี่ย (X) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ ANOVA (Analysis of Variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Duncan® ที่นัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.4.5 ศึกษาความเป็นกรด-เบสของพื้นผิว (Surface acidity, Surface Basicity)

3.4.5.1 ศึกษาความเป็นกรดของพื้นผิว (Surface acidity)

ชั่งถ่าน 0.2 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ปิดด้วยพาราฟิล์ม แล้วนำไปเขย่า ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าเป็นเวลา 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นกรองสารละลาย และปิเปตต์สารละลายที่กรองได้มา 15 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ และทำการไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.05 โมลาร์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน เป็นอินดิเคเตอร์ เพื่อหาสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลืออยู่ และทำการคำนวณหาค่า Surface acidity ในหน่วย mmol/g

3.4.5.2 ศึกษาความเป็นเบสของพื้นผิว (Surface Basicity)

ชั่งถ่าน 0.2 กรัม เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ปิดด้วยพาราฟิล์ม แล้วนำไปเขย่า ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าเป็นเวลา 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นกรองสารละลาย และปิเปตต์สารละลายที่กรองได้ มา 15 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ และทำการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน เป็นอินดิเคเตอร์ เพื่อหาสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เหลืออยู่ และทำการคำนวณหาค่า Surface Basicity ในหน่วย mmol/g

3.4.6 ศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของถ่านไม้มะขามก่อน และหลังการดูดซับ

นำถ่านทั้งก่อนและหลังการดูดซับมาศึกษาสัณฐาน และรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หรือ SEM (Scanning Electron Microscopy)

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

หลังจากนำสารละลายสีเมทิลีนบลูสแกนหาความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมในการดูดกลืนแสงสูงสุด โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank ด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer พบว่าค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสีย้อมเมทิลีนบลู คือ 663 nm จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมและแสดงผลที่ได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาปริมาณตัวดูดซับต่อการดูดซับเมทิลีนบลู

4.1.1 ผลการศึกษาปริมาณกากกาแฟต่อการดูดซับเมทิลีนบลู

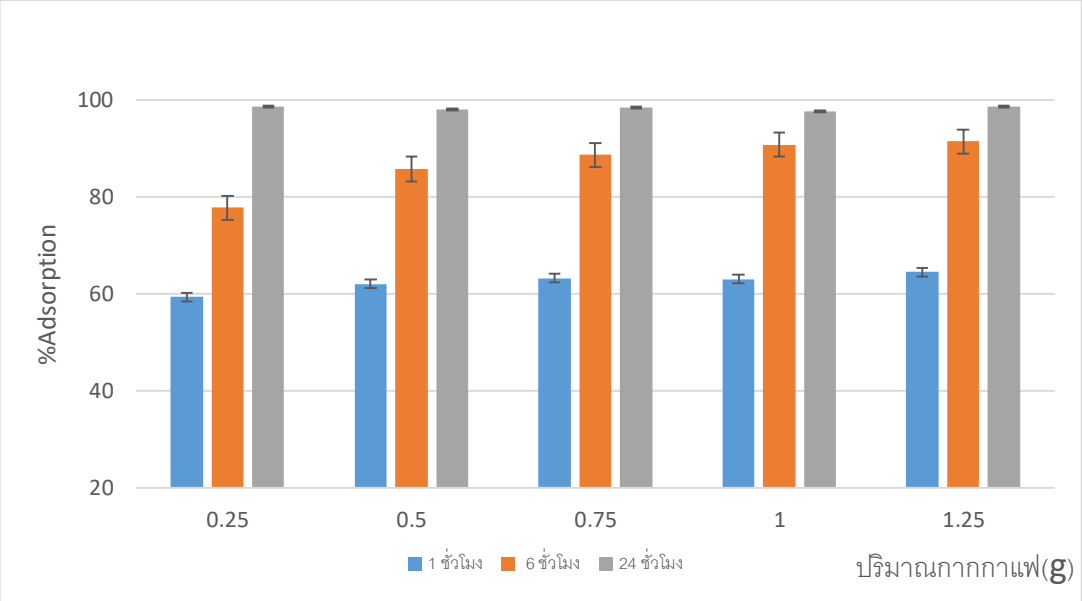
จากการศึกษาปริมาณกากกาแฟคือ 0.25, 0.5, 0.75, 1.00 และ 1.25 g ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้นของเมทิลลีนบลู 20 mg/L ในเวลาต่างกัน พบว่าในเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณกากกาแฟ 0.25 g สามารถดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูได้ 59.29±1.30 % ส่วนกากกาแฟ 0.5, 0.75, 1.00 และ 1.25 g มีความสามารถในการดูดซับเมทิลลีนบลูได้ 62.00±2.21%, 63.17±2.44%, 62.96±3.71 และ 64.40±3.40 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มเวลาการดูดซับเป็น 6 ชั่วโมง พบว่ากากกาแฟ 0.25 0.5 0.75 1.00 และ 1.25 g มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้ 77.68±4.22% 85.66±1.53% 88.60±1.18% 90.71±0.23% และ 91.36±2.13% เมื่อเพิ่มเวลาจนครบ 24 ชั่วโมง กากกาแฟในปริมาณต่างๆ กัน สามารถดูดซับสีย้อมได้ 98% เมื่อเพิ่มเวลาและปริมาณของตัวดูดซับมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับเมทิลลีนบลูจะเพิ่มมากขึ้น โดยกากกาแฟปริมาณ 0.5 g มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมใกล้เคียงกับปริมาณ 0.25 ถึง 1.25 g เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การดูดซับด้วย Anova และหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan® พบว่าค่าเฉลี่ยของการดูดซับสีเมทิลลีนบลูที่ 24 ชั่วโมง โดยใช้กากกาแฟตั้งแต่ 0.25-1.25 g ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

จากงานวิจัยก่อนหน้าที่ศึกษาการดูดซับสีเมทิลลีนบูลด้วยกากกาชา 0.10 g จะดูดซับสีได้มากที่สุดเท่ากับ 100 % ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ (พชรวรรณ อึ้งศิริสวัสดิ และ เฉลิม เรืองวิริยะชัย 2559)

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟในปริมาณที่แตกต่างกัน

ปริมาณกากกาแฟ (g)	% Adsorption		
	1 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
0.25	59.29±1.30[a]	77.68±4.22[c]	98.51±0.27[a]
0.5	62.00±2.21[a]	85.66±1.53[b]	97.94±0.87[a]
0.75	63.17±2.44[a]	88.60±1.18a[b]	98.39±0.29[a]
1.00	62.96±3.71[a]	90.71±0.23[a]	97.60±1.40[a]
1.25	64.40±3.40[a]	91.36±2.13[a]	98.59±0.34[a]

หมายเหตุ : a-c = ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันอยู่ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan® ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



ภาพที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟในปริมาณที่แตกต่างกัน

4.1.2 ผลการศึกษาปริมาณถ่านไม้มะขามต่อการดูดซับเมทิลีนบลู

จากการศึกษาปริมาณของถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับ โดยใช้ถ่าน 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ1.25 กรัม ในน้ำสีที่มีความเข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยที่แต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากการทดลองพบว่า ปริมาณถ่าน 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ1.25 กรัม ที่ 1 ชั่วโมง สามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ 70.47%-84.67% ที่ 6 ชั่วโมง สามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ 86.41%-96.96% และ 24 ชั่วโมง สามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ 89.24%- 98.72% จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับสีเมทิลีนบลูเพิ่มมากขึ้น ซึ่งถ่านสามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ดีในช่วง 0.50-1.25 กรัม

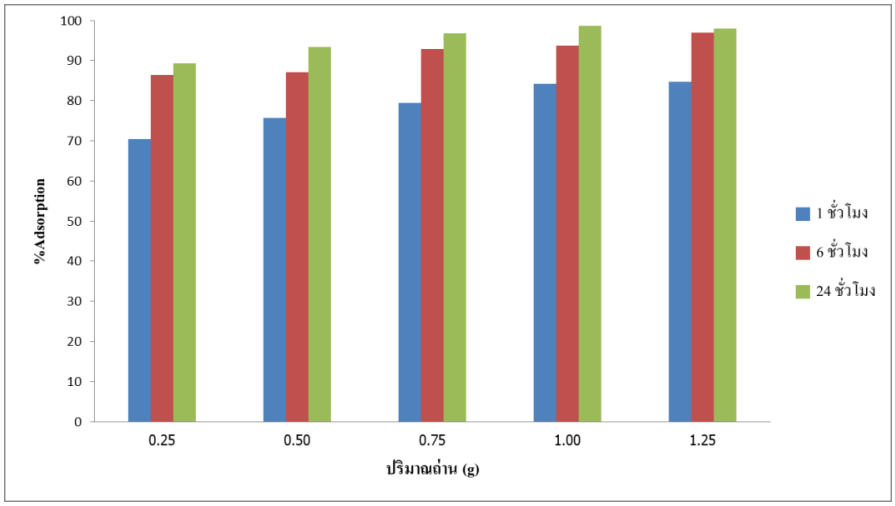
เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การดูดซับด้วย ANOVA และหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan® พบว่าค่าเฉลี่ยของการดูดซับสีเมทิลลีนบูลที่ปริมาณถ่าน 0.50-1.25 กรัม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ผลการศึกษาปริมาณของถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับในงานวิจัยนี้มีค่าการดูดซับมากที่สุดเท่ากับ 98.72% ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาปริมาณกากชาที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีเมทิลีนบลูของ นิสาพร มูหะมัด และคณะ (2559) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 100%

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามในปริมาณที่แตกต่างกัน

ปริมาณถ่าน (กรัม)	%Adsorption		
	1 ชั่วโมง	**6 ชั่วโมง**	**24 ชั่วโมง**
0.25	70.47±1.35^{c}	86.41±1.04^{c}	89.24±0.80^{c}
0.50	75.77±0.61^{b}	87.12±3.36^{c}	93.31±3.80^{b}
0.75	79.47±4.13^{b}	92.84±0.23^{b}	96.74±2.41^{ab}
1.00	84.21±0.88^{a}	93.74±1.86^{ab}	98.72±0.19^{a}
1.25	84.67±1.91^{a}	96.96±0.70^{a}	98.02±0.73^{a}

หมายเหตุ $^{a-c}$ = ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันอยู่ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan® ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



ภาพที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามในปริมาณที่แตกต่างกัน

4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

4.2.1 ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากกากกาแฟ

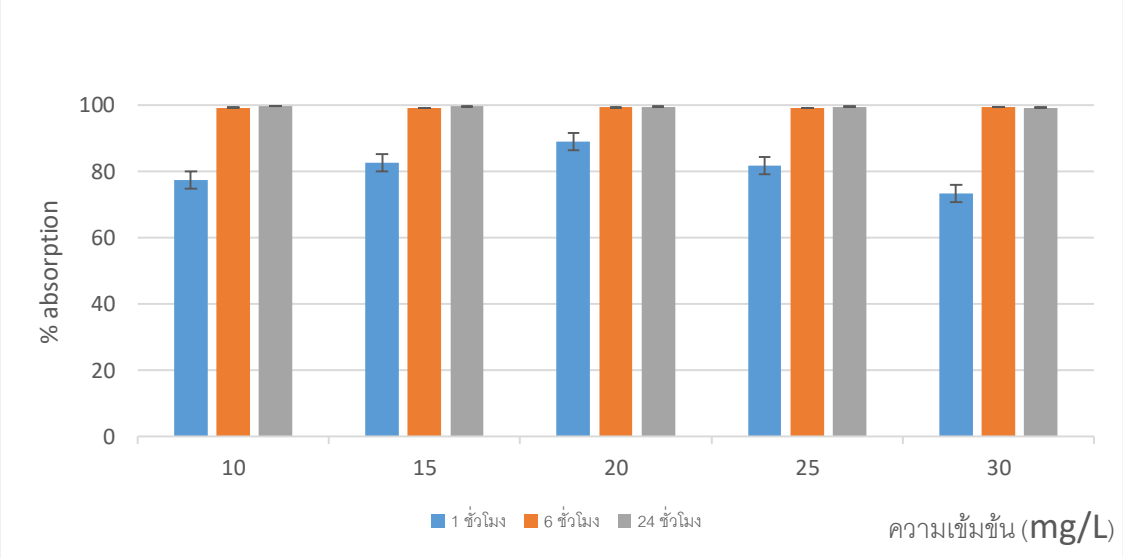
กากกาแฟ 0.5 g ทำการทดลองด้วยสีย้อมที่มีความเข้มข้นต่างกัน: 10, 15, 20, 25, และ 30 mg/L ที่เวลา 1, 6 และ 24 ชั่วโมง พบว่า ในการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้น 10 mg/L ที่เวลา 1, 6 และ 24 ชั่วโมง ความสามารถของกากกาแฟในการดูดซับอยู่ที่ 77.50±2.62 และสามารถดูดซับได้ 99% เมื่อครบ 24 ชั่วโมง เพิ่มความเข้มข้นสีของสีย้อมที่ 15 และ 20 mg/L ในชั่วโมงแรก พบว่า กากกาแฟปริมาณ 0.5 g สามารถดูดซับสีย้อมได้ 82.61±0.40% และ 89.03±1.71% ตามลำดับ เมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นจนครบ 24 ชั่วโมง กากกาแฟสามารถดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้น 15 และ 20 mg/L 99% ขณะที่ความเข้มข้นของสีย้อมที่ 25 และ 30 mg/L นั้นกากกาแฟปริมาณ 0.5 g สามารถดูดซับสีย้อมได้ระหว่าง 73-81% ในชั่วโมงที่ 1 และเมื่อทำการทดลองทิ้งไว้จนครบ 24 ชั่วโมง ความสามารถในการดูดซับของกากกาแฟอยู่ที่ 99% เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การดูดซับด้วย Anova และหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธีDuncan®พบว่าค่าเฉลี่ยของการดูดซับสีเมทิลลีนบูลที่ 24 ชั่วโมง โดยใช้ความเข้มข้นของสีเมทิลลีนบูลตั้งแต่ 10-30 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

จากงานวิจัยก่อนหน้าที่ศึกษาการดูดซับสีเมทิลลีนบูลที่ความเข้มข้น 6.5 mg/L จะดูดซับสีได้มากที่สุดเท่ากับ 96 % ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ (พชรวรรณ อึ้งศิริสวัสดิ และ เฉลิม เรืองวิริยะชัย 2559)

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

ความเข้มข้นของสีย้อม (mg/l)	% adsorption		
	1 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
10	77.50±2.62^{cd}	99.29±0.61^{a}	99.78±0.16^{a}
15	82.61±0.40^{b}	99.15±0.93^{a}	99.63±0.03^{a}
20	89.04±1.71^{a}	99.30±0.87^{a}	99.54±0.07^{ab}
25	81.81±2.21^{bc}	99.22±0.76^{a}	99.53±0.10^{ab}
30	73.46±3.83^{d}	99.45±0.98^{a}	99.22±0.37^{b}

หมายเหตุ : $^{a-d}$ = ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันอยู่ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan® ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



ภาพที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

4.2.2 ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากถ่านไม้มะขาม

จากการศึกษาหาความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูที่เหมาะสมต่อการดูดซับที่ความเข้มข้น 10, 15, 20, 25 และ 30 ppm ปริมาณถ่าน 0.5 กรัม สีเมทิลีนบลู 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็น เวลา 1, 6 และ 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ พบว่าเวลา 1 ชั่วโมง น้ำสี 10, 15, 20, 25 และ 30 ppm สามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ 54.65%-82.26% เวลา 6 ชั่วโมง สามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ 79.26%-96.56% และเวลา 24 ชั่วโมง สามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ 86.96%-100% จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับสีเมทิลีนบลูลดลง ซึ่งถ่านสามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ดีในช่วง 10-20 ppm

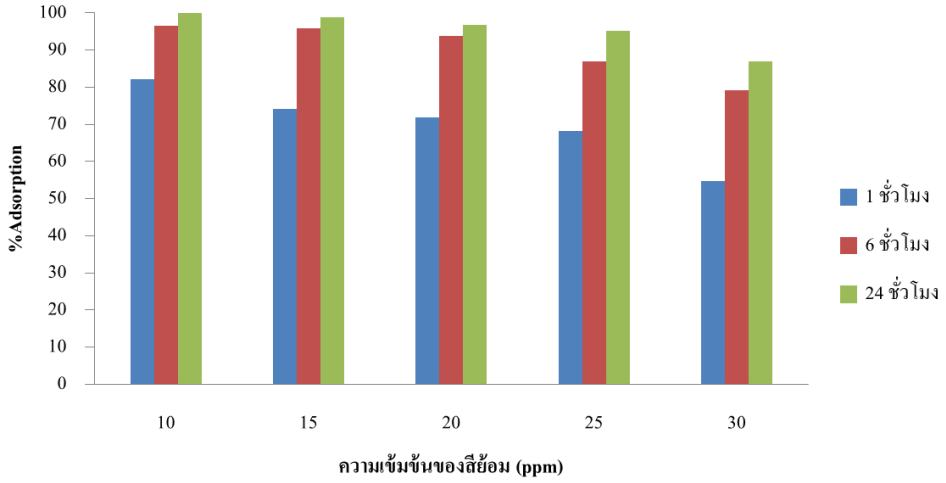
เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การดูดซับด้วย ANOVA และหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan® พบว่าค่าเฉลี่ยของการดูดซับสีเมทิลลีนบูลที่ความเข้มข้น 10-20 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ผลศึกษาความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูที่เหมาะสมต่อการดูดซับในงานวิจัยนี้มีค่าการดูดซับมากที่สุดเท่ากับ 100% ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีเมทิลีนบลูด้วยกากชาของ นิสาพร มูหะมัด และคณะ (2559) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 100%

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

ความเข้มข้นของน้ำสี (ppm)	%Adsorption		
	1 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
10	82.26±0.85[a]	96.56±0.69[a]	100±0.00[a]
15	74.26±1.68[b]	95.81±0.90[ab]	98.94±0.93[ab]
20	71.96±3.51[bc]	93.84±1.35[b]	96.70±0.85[bc]
25	68.11±2.83[c]	86.89±0.81[c]	95.21±2.11[c]
30	54.65±1.06[d]	79.26±2.39[d]	86.96±2.25[d]

หมายเหตุ [a-d] = ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันอยู่ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan® ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



ภาพที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การดูดซับมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลู

4.3.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูจากกากกาแฟ

กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ทำการทดลองกับสีย้อมที่มีความเข้มข้น 20 mg/L ที่อุณหภูมิต่างๆในเวลา 1 และ 6 ชั่วโมง พบว่าเมื่อทำการทดลองกากกาแฟในเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 40 และ 55 °C กากกาแฟมีเปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการดูดซับสีย้อมที่ 98.15±0.46

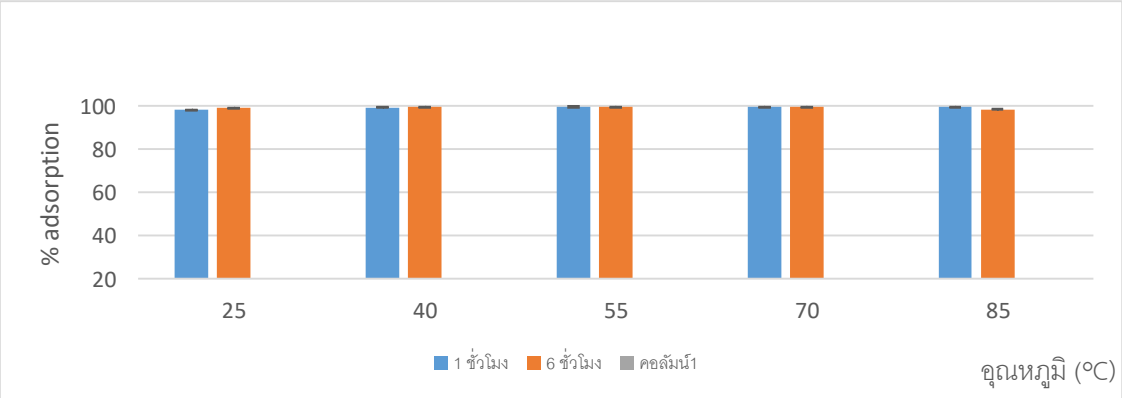
99.25±0.09 และ 99.59±0.31 ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ 70 และ 85 °C เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับสีย้อมอยู่ที่ 99.45±0.21 และ 99.52±0.21 % และเมื่อทำการทดลองทิ้งไว้จนครบ 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 40 และ 55 °C กากกาแฟมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับสีย้อมที่ 99.02±0.11 99.51±0.33 และ99.38±0.21 ตามลำดับ ในขณะเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ 70 และ 85 °C เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการดูดซับสีย้อมอยู่ที่ 99.38±0.21 และ 98.48±0.15 % เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การดูดซับด้วย Anova และหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan® พบว่าค่าเฉลี่ยของการดูดซับสีเมทิลลีนบูลที่ 1 และ 6 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิ 40-70°C ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

จากงานวิจัยก่อนหน้าที่ศึกษาการดูดซับสีเมทิลลีนบูลที่อุณหภูมิ 95% จะดูดซับสีได้มากที่สุดเท่ากับ 100 % ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ (พชรวรรณ อึ้งศิริสวัสดิ และเฉลิม เรืองวิริยะชัย 2559)

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	% adsorption	
	1 ชั่วโมง	**6 ชั่วโมง**
25	98.15±0.46^{b}	99.02±0.11^{b}
40	99.25±0.09^{a}	99.51±0.33^{a}
55	99.59±0.31^{a}	99.38±0.21^{ab}
70	99.45±0.21^{a}	99.38±0.21^{ab}
85	99.52±0.21^{a}	98.48±0.15^{c}

หมายเหตุ : $^{a-c}$ = ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันอยู่ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan® ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



ภาพที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

4.3.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูจากไม้มะขาม

จากการศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับ ที่ 25, 40, 55, 70 และ 85 °C ความเข้มข้นของเมทิลีนบลู 20 ppm 100 มิลลิลิตร ปริมาณถ่าน 0.5 กรัม เป็นเวลา 1 และ 6 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ พบว่า เวลา 1 ชั่วโมง ที่ 25, 40, 55, 70 และ 85 °C สามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ 77.82%-98.06% เวลา 6 ชั่วโมง สามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ 86.15%-97.35% จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการดูดซับจะทำให้ความสามารถในการดูดซับสีเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่ดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ดีอยู่ในช่วง 40-85 °C

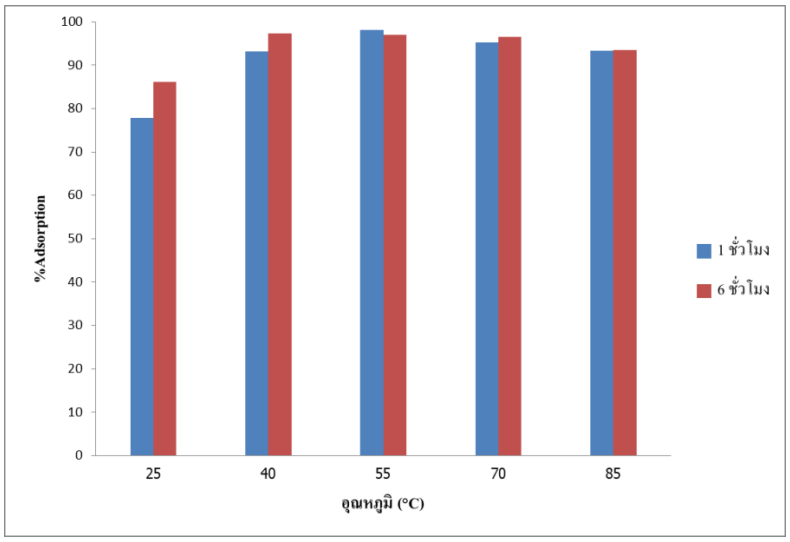
เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การดูดซับด้วย ANOVA และหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan® พบว่าค่าเฉลี่ยของการดูดซับสีเมทิลลีนบูลที่อุณหภูมิ 40-85 °C ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ผลศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับในงานวิจัยนี้มีค่าการดูดซับมากที่สุดเท่ากับ 98.06% ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีเมทิลีนบลูด้วยกากชาของ นิสาพร มูหะมัด และคณะ (2559) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับตั้งแต่ 71.08%-99.37%

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	%Adsorption	
	1 ชั่วโมง	**6 ชั่วโมง**
25	77.82±1.49^{c}	86.15±1.88^{c}
40	93.08±1.46^{b}	97.35±1.32^{a}
55	98.06±0.38^{a}	96.94±1.11^{a}
70	95.17±2.98^{ab}	96.58±0.86^{a}
85	93.28±1.71^{b}	93.49±1.84^{b}

หมายเหตุ $^{a-c}$ = ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันอยู่ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan® ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



ภาพที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

4.4 ผลการศึกษาความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลู

4.4.1 ผลการศึกษาความเป็นกรด-เบสต่อการดูดซับเมทิลีนบลูจากกากกาแฟ

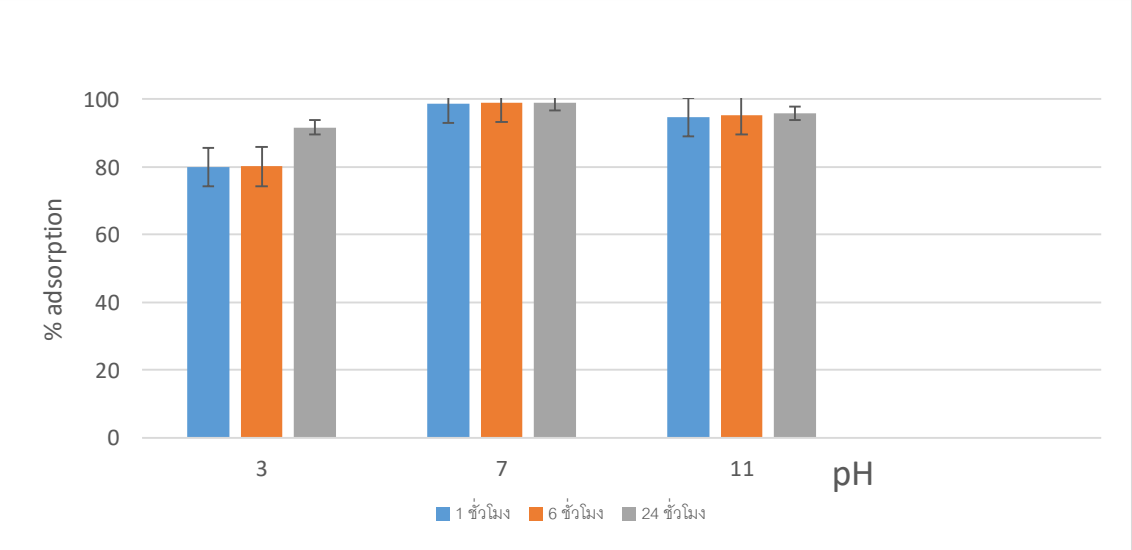
นำกากกาแฟปริมาณ 0.5 g ทำการทดลองกับสีย้อมที่มีความเข้มข้นสีย้อมที่ความเข้มข้น 20 mg/L ปริมาตร 100 mL โดยสีย้อมในแต่ละขวดมีค่า pH ที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อทำการทดลองกากกาแฟกับสีย้อมเมทิลลีนบลูที่ pH 3, 7 และ 11 ในชั่วโมงแรก เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับเป็น 79.94±2.80, 98.72±0.04 และ 94.67±0.30 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มเวลาเป็น 6 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับของกากกาแฟเพิ่มขึ้นเป็น 80.12±0.04, 99.02±0.55 และ 95.26±0.87 ตามลำดับ แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้จนครบ 24 ชั่วโมง ความสามารถในการดูดซับสีย้อมของกากกาแฟมีค่า 91.72±0.03, 98.94±0.87 และ 95.84±0.30 % ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การดูดซับด้วย Anova และหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan® พบว่าค่าเฉลี่ยของการดูดซับสีเมทิลลีนบลูที่ 1, 6 และ 24 ชั่วโมง ที่ pH 3, 7 และ 11 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

จากงานวิจัยก่อนหน้าที่ศึกษาการดูดซับสีเมทิลลีนบลูที่ 6.5 mg/L จะดูดซับสีได้มากที่สุดเท่ากับ 96 % ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ (พชรวรรณ อึ้งศิริสวัสดิ และเฉลิม เรืองวิริยะชัย 2559)

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่มีค่า pH แตกต่างกัน

ค่า pH	% adsorption		
	1 ชั่วโมง	**6 ชั่วโมง**	**24 ชั่วโมง**
3	79.94±2.80^{c}	80.73±0.53^{c}	91.72±1.23^{c}
7	98.72±0.04^{a}	99.02±0.15^{a}	98.94±0.12^{a}
11	94.67±0.30^{b}	95.26±0.87^{b}	95.84±0.36^{b}

หมายเหตุ : $^{a-b}$ = ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันอยู่ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan® ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



ภาพที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟที่มีค่า pH แตกต่างกัน

4.4.2 ผลการศึกษาความเป็นกรด-เบสต่อการดูดซับเมทิลีนบลูจากไม้มะขาม

จากการศึกษาความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับ โดยใช้ความเข้มข้นของเมทิลีนบลู 20 ppm 100 มิลลิลิตร ที่มีค่า pH แตกต่างกันคือ pH 3, 7 และ11 ปริมาณถ่าน 0.5 กรัม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 6 และ 24 ชั่วโมง พบว่า ที่เวลา 1 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีคือ 59.49%-83.28% ที่เวลา 6 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีคือ 64.11%-86.99% และที่เวลา 24 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีคือ 93.20%-100% จากผลการทดลองพบว่าถ่านสามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ดีที่ช่วง pH 7 และ pH 11

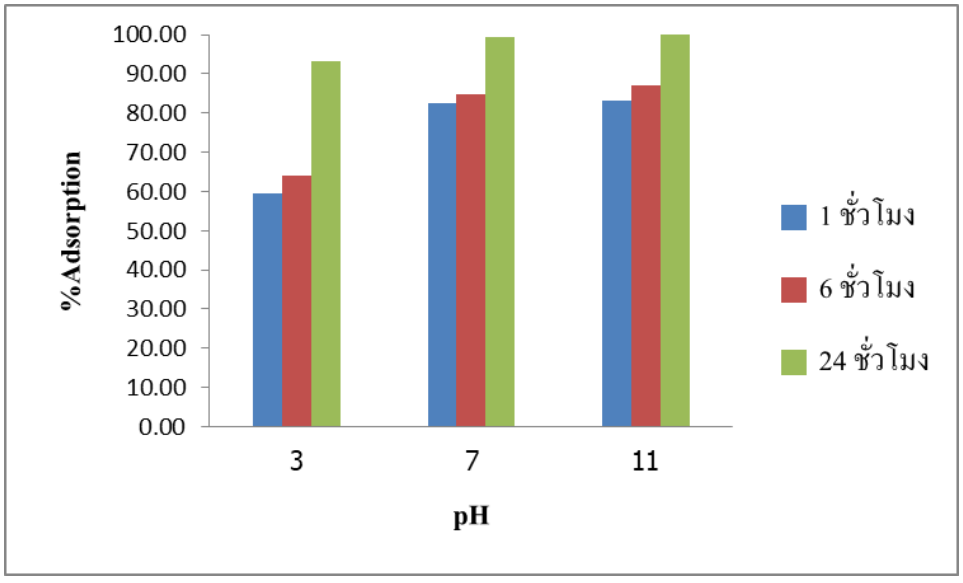
เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การดูดซับด้วย ANOVA และหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan® พบว่าค่าเฉลี่ยของการดูดซับสีเมทิลลีนบูลที่ pH 7 และ 11 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ผลการศึกษาความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับในงานวิจัยนี้มีค่าการดูดซับมากที่สุดเท่ากับ 100% ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีเมทิลีนบลูด้วยกากชาของ นิสาพร มูหะมัด และคณะ (2559) ซึ่งดูดซับสีเมทิลีนบลูได้มากที่สุดในสภาวะที่เป็นเบส ในเวลา 24 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 98.02%

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่มีค่า pH แตกต่างกัน

pH	%Adsorption		
	1 ชั่วโมง	**6 ชั่วโมง**	**24 ชั่วโมง**
3	59.49±1.53[b]	64.11±1.38[b]	93.20±3.85[b]
7	82.53±2.47[a]	84.89±3.75[a]	99.38±0.45[a]
11	83.28±0.53[a]	86.99±1.58[a]	100±0.00[a]

หมายเหตุ [a-b] = ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันอยู่ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan® ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



ภาพที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้มะขามที่มีค่า pH แตกต่างกัน

4.5 ผลการศึกษาความเป็นกรด-เบสของพื้นผิว

จากการศึกษาหาค่าความเป็นกรด-เบสของพื้นผิว (Surface acidity, Surface Basicity) ที่พื้นผิวของกากกาแฟและถ่านไม้มะขามพบว่า ค่า Surface acidity มีค่ามากกว่าค่า Surface basicity ดังนั้นพื้นผิวของกากกาแฟและถ่านไม้มะขามจึงมีค่าเป็นกรด ดังแสดงผลในตารางที่ 4.9 ถึง 4.12

ตารางที่ 4.9 ค่า Surface acidity ของกากกาแฟ

Surface acidity	**ครั้ง 1**	**ครั้ง 2**	**ครั้ง 3**
ปริมาตรของสารละลายที่ไทเทรต	20	20	20
ความเข้มข้นของ HCl ที่ใช้ไทเทรต (M)	0.05	0.05	0.05
ปริมาตรของ HCl (mL) ที่ใช้	17.80	17.30	17.10
ความเข้มข้นของ NaOH (M) ที่เหลืออยู่	0.0445	0.0433	0.04275
ความเข้มข้นของ NaOH (mmol) ที่เหลืออยู่เทียบให้มีปริมาตร 25 mL	1.1125	1.0825	1.06875
ปริมาณ NaOH ที่ถูกดูดซับ (mmol)	0.125	0.1675	0.1812
ปริมาณ NaOH ที่ถูกดูดซับต่อกรัมกากกาแฟ (mmol/g)	0.625	0.838	0.906
ดังนั้นค่า Surface acidity (mmol/g) ที่ได้	0.7897		

ตารางที่ 4.10 ค่า Surface acidity ของถ่านไม้มะขาม

ปริมาณถ่าน (กรัม)	0.2044	0.2058	0.2018
ปริมาณ HCl ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)	13.00	12.80	13.20
ความเข้มข้นของ HCl (M)	0.05		
ความเข้มข้นของ NaOH (M) ที่เหลืออยู่ ต่อ 15 mL	0.0433	0.0427	0.0440
ความเข้มข้นของ NaOH (mmol) ที่เหลืออยู่ ต่อ 25 mL	1.0833	1.0667	1.1000
ปริมาณ NaOH ที่ถูกดูดซับ (mmol) ต่อถ่าน 0.20 กรัม	0.1667	0.1833	0.1500
ปริมาณ NaOH ที่ถูกดูดซับ ต่อถ่าน 1 กรัม (mmol/g)	0.8154	0.8908	0.7433
ค่าเฉลี่ย (mmol/g)	0.82		

ตารางที่ 4.11 ค่า Surface Basicity ของกากกาแฟ

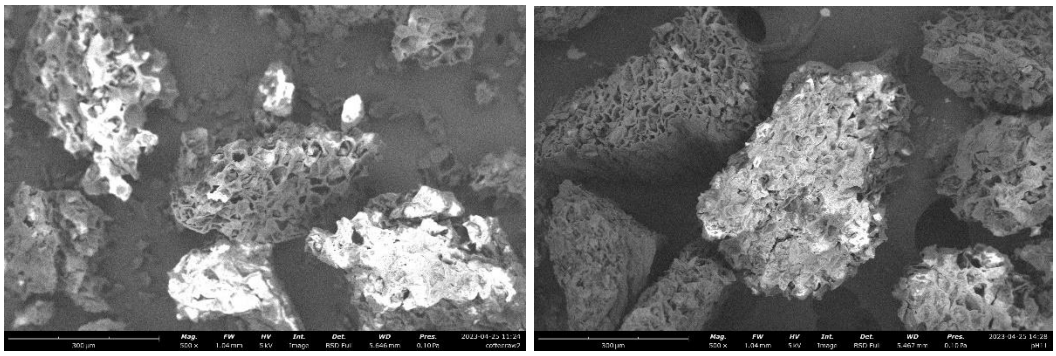
surface Basicity	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3
ปริมาตรของสารละลายที่ไทเทรต	20	20	20
ความเข้มข้นของ NaOh ที่ใช้ไทเทรต (M)	0.05	0.05	0.05
ปริมาตรของ NaOH (mL) ที่ใช้	19.20	19.30	19.20
ความเข้มข้นของ HCl (M) ที่เหลืออยู่	0.048	0.04825	0.048
ความเข้มข้นของ HCl (mmol) ที่เหลืออยู่เทียบให้มีปริมาตร 25 mL	1.2	1.2063	1.2
ปริมาณ HCL ที่ถูกดูดซับ (mmol)	0.05	0.0437	0.05
ปริมาณ HCl ที่ถูกดูดซับต่อกรัมกากกาแฟ (mmol/g)	0.25	0.2185	0.25
ดังนั้นค่า Surface acidity (mmol/g) ที่ได้	0.2395		

ตารางที่ 4.12 ค่า Surface Basicity ของถ่านไม้มะขาม

ปริมาณถ่าน (กรัม)	0.2031	0.2036	0.2051
ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)	13.50	13.40	13.50
ความเข้มข้นของ NaOH (M)	0.05		
ความเข้มข้นของ HCl (M) ที่เหลืออยู่ ต่อ 15 mL	0.0450	0.0447	0.0450
ความเข้มข้นของ HCl (mmol) ที่เหลืออยู่ ต่อ 25 mL	1.1250	1.1167	1.1250
ปริมาณ HCl ที่ถูกดูดซับ (mmol) ต่อถ่าน 0.20 กรัม	0.1250	0.1333	0.1250
ปริมาณ HCl ที่ถูกดูดซับ ต่อถ่าน 1 กรัม (mmol/g)	0.6155	0.6549	0.6095
ค่าเฉลี่ย (mmol/g)	0.63		

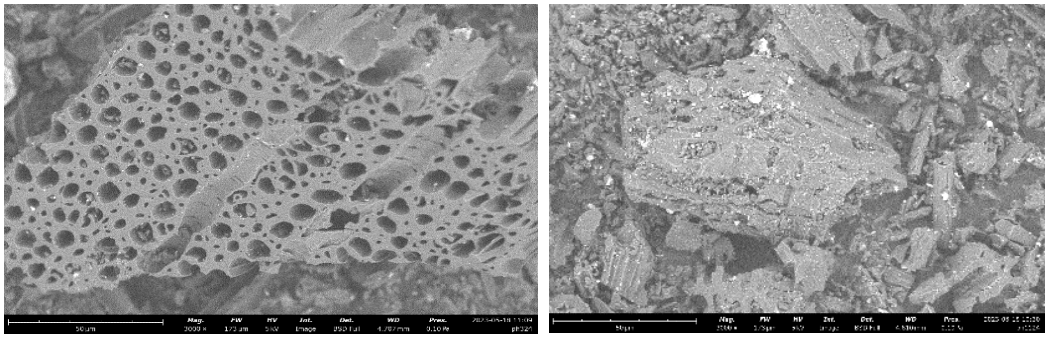
4.6 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของกากกาแฟและถ่านไม้มะขามก่อนและหลังการดูดซับเมทิลีนบลู

จากการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของกากกาแฟและถ่านไม้มะขามก่อนและหลังการ ดูดซับด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดหรือ SEM (Scanning Electron Microscopy) พบว่าพื้นผิวของกากกาแฟและถ่านไม้มะขามก่อนการดูดซับมีรูพรุนที่มีความกว้างจำนวนมาก และพื้นผิวของถ่านไม้มะขามหลังการดูดซับมีรูพรุนที่มีขนาดเล็กลง



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิวของกากกาแฟที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด : ก) ก่อนดูดซับเมทิลีนบลู ข) หลังดูดซับเมทิลีนบลู



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวของถ่านไม้มะขามที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด: ก) ก่อนดูดซับเมทิลีนบลู ข) หลังดูดซับเมทิลีนบลู

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับสีเมทิลีนบลูด้วยกากกาแฟและถ่านไม้มะขาม ที่สภาวะการทดลองต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของถ่าน ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลู ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย และอุณหภูมิต่อการดูดซับ โดยการนำไปวัดความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูทั้งก่อนและหลังการดูดซับด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer สามารถสรุปได้ว่า การใช้ปริมาณกากกาแฟและถ่านไม้มะขามที่ 1.25 กรัม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถดูดซับเมทีลีนบลูได้ถึง 98.59% และ 98.02% ตามลำดับ เมื่อนำไปศึกษาการดูดซับเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ที่ความเข้มข้น 10 ppm การใช้กากกาแฟและถ่านไม้มะขามให้ประสิทธิภาพการดูดซับดีที่ 99.78% และ 100% ตามลำดับ สำหรับอุณหภูมิที่ให้การดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีจะอยู่ที่อุณหภูมิ 55 °C โดยให้ปริมาณการดูดซับถึง 99.59% และ 98.06% ตามลำดับ และความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูจะอยู่ในสภาวะเป็นเบส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาค่าความเป็นกรด-เบสที่พื้นผิวของกากกาแฟและถ่านไม้มะขาม พบว่า พื้นผิวของกากกาแฟและถ่านไม้มะขามมีคุณสมบัติเป็นกรด และผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของกากกาแฟและถ่านไม้มะขามก่อนและหลังการดูดซับด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าพื้นผิวของกากกาแฟและถ่านไม้มะขามก่อนการดูดซับมีรูพรุนที่มีความกว้างจำนวนมาก และพื้นผิวของถ่านไม้มะขามหลังการดูดซับมีรูพรุนที่มีขนาดเล็กลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำกากกาแฟและถ่านไม้มะขามไปศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมชนิดอื่น ๆ
2. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับเมทิลีนบลูจากวัสดุเหลือใช้ในธรรมชาติชนิดอื่น ๆ

บรรณานุกรม

ขนิษฐา. (2007). **สีย้อม.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://www.tpa.or.th. (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 เมษายน 2566).

ขวัญเนตร สมบัติสมภพ อภิวัชร์ บุญกูลธนพัฒน์ และกมลทิพย์ ดีบุกคา. (2564). **การกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้วัสดุดูดซับในท้องถิ่น.** วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. 17(3).

คณิตตา ธรรมจริยวงศา. **น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://blog.bru.ac.th. (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤษภาคม 2566).

ณภัทร โพธิ์วัน. (2020). **การศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ของวัสดุดูดซับที่เตรียมจากผักตบชวา.** วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 15(2).

นิสาพร มูหมัด สมภพ เภาทอง อุบล ตันสม และปิยศิริ สุนทรนนท์. (2559). **การดูดซับสีย้อม ด้วยกากชา.** วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

ปนัดดา แทนสุโพธิ์ และภิรมย์ สุวรรณสม. (2557). **การพัฒนาวัสดุดูดซับราคาถูกจากวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อการกำจัดสีย้อม.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://research.rmu.ac.th. (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤษภาคม 2566).

ประดินันท์ เอี่ยมสะอาด และวัชราภรณ์ ตันติพนาทิพย์. (2566). **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมคองโกเรดด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลผักตบชวา.** วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 18(1).

พชรวรรณ อึ้งศิริสวัสดิ์ และ เฉลิม เรืองวิริยะชัย. (2559). **การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้เปลือกหน่อไม้แห้ง.** ThevNationdl and Interantional Graduate Research Conference.

พัชรนันท์ จันทร์พลอย กฤติยาภรณ์ หลวงดี และนภารัตน์ จิวาลักษณ์. (2563). **การดูดซับสีย้อม เมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอที่เตรียมจากการเผาแบบเตาลาน.** RMUTP Research Journal. 14(1).

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (ม.ป.ป.). **Comptox Dyes.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://comptox.sci.ku.ac.th/dyes. (วันที่สืบค้นข้อมูล 26 เมษายน 2566).

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (ม.ป.ป.). **UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETER.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://mic.eng.ku.ac.th. (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤษภาคม 2566).

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (ม.ป.ป.). **SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM).** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://mic.eng.ku.ac.th. (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2566).

รวินิภา ศรีมูล. (2559). **การบำบัดสีย้อมในน้ำเสียด้วยกระบวนการดูดซับ.** วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 44(3). : 419-434.

บรรณานุกรม (ต่อ)

รัตนา มหาชัย. (2543). **การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของโลหะหนักบางตัวบนวัสดุดูดซับเถ้าแกลบ** ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น:ขอนแก่น.]. https://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/97654

วนิดา ชูอักษร. (2555). **เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม:** Color Removal Technology in Industrial Wastewater. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 17(1), Article 1.

วิรังรอง แสงอรุณเลิศ. (2015). **การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกไข่และเปลือกหอยแครงโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี.** วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. 7(7).

ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6. (2554). **วัตถุดิบย้อมสีธรรมชาติ.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://kmipc6.blogspot.com. (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 เมษายน 2566).

อภิวัชร์ บุญกูลธนพัฒน์, กมลทิพย์ ดีบุกคำ, & ขวัญเนตร สมบัติสมภพ*. (2564). **การกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้วัสดุดูดซับในท้องถิ่น (Removal of Methylene Blue Dye using Local Adsorbent Materials.)** วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 17(3), 16–27. https://doi.org/10.14416/j.ind.tech.2021.09.002

อรพิน โทนเดี่ยว, นิพนธ์ ตังคณานรักษ์, พิลาณี ไวถนอมสัตย์, วิทยา ปั้นสุวรรณ, และ คณิตา ตังคณานรักษ์. (2007). **การบำบัดสังกะสีและทองแดงในน้ำเสียจากโรงงานผลิตโลหะโดยใช้กากชา** [วารสารสิ่งแวดล้อม มก., วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์]. http://research.ku.ac.th/forest/Publish.aspx?PublishID=3691

Aboua, K. N., Yobouet, Y. A., Yao, K. B., Goné, D. L., and Trokourey, A. (2015). **Investigation of dye adsorption onto activated carbon from the shells of Macoré fruit.** Journal of Environmental Management. 156. : 10–14.

Administrator. (2555). **การพัฒนาสีย้อมผ้า และผ้าที่ต้านทานแบคทีเรีย.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://www.scimath.org. (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 เมษายน 2566).

Caetano, N., Silva, V., & Mata, T. (2012). **Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production.** 26, 267–272. https://doi.org/10.3303/CET1226045

บรรณานุกรม (ต่อ)

entech. (2021). **หลักการและการประยุกต์ใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer).** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://www.entech.co.th. (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤษภาคม 2566).

Hameed, B. H., & Ahmad, A. A. (2009). **Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass.** Journal of Hazardous Materials, 164(2–3), 870–875. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.084

Hong, K. H. (2018). **Effects of tannin mordanting on coloring and functionalities of wool fabrics dyed with spent coffee grounds.** Fashion and Textiles, 5(1), 33. https://doi.org/10.1186/s40691-018-0151-3

indafix. (2019). **สีย้อมผ้า มีกี่ประเภท.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://www.indafix.com. (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 เมษายน 2566).

Jawad, A. H., and Abdulhameed, A. S. (2020). **Statistical modeling of methylene blue dye adsorption by high surface area mesoporous activated carbon from bamboo chip using KOH-assisted thermal activation.** Energy, Ecology and Environment. 5(6).

Jihyun, B., & Hong, K. (2019). **Optimized Dyeing Process for Enhancing the Functionalities of Spent Coffee Dyed Wool Fabrics Using a Facile Extraction Process. Polymers, 11.** https://doi.org/10.3390/polym11040574

Mussatto, S. I., Ballesteros, L. F., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). **Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds.** Separation and Purification Technology, *83*, 173–179. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.09.036

Prakash, B., Srinivasamurthy, C., & Vasanthi, B. (2007). **Maturity Indices as an Index to Evaluate the Quality of Compost of Coffee Waste Blended with Other Organic Wastes.**

phisit. (n.d.). **สีดิสเพิร์ส (Disperse Dyes).** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://www.phisit.com. (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 เมษายน 2566).

บรรณานุกรม (ต่อ)

phisit. (n.d.). **สีรีแอคทีฟ (Reactive Dyes).** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://www.phisit.com. (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 เมษายน 2566).

Pradthana. (2008). **กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process).** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://pradthana.wordpress.com. (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤษภาคม 2566).

thaiphamai. (2023). **สีแอสิด (Acid dyes).** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://thaiphamai.blogspot.com/2013/04/acid-dyes.html. (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 เมษายน 2566).

Rufián-Henares, J. A., & de la Cueva, S. P. (2009). **Antimicrobial Activity of Coffee Melanoidins—A Study of Their Metal-Chelating Properties.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(2), 432–438. https://doi.org/10.1021/jf8027842

welkinchemi. (n.d.) **วิธีการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อม.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://www.welkinchemi.com. (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤษภาคม 2566). : 456–469.

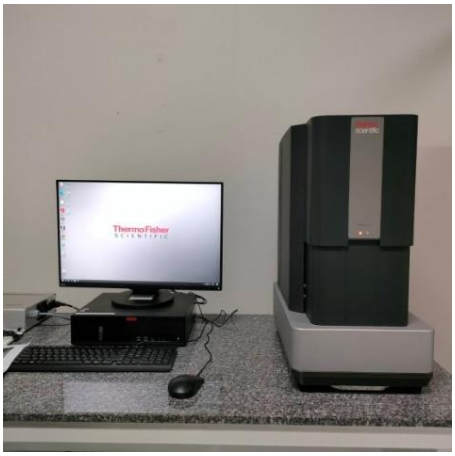
Xu, H., Wang, W., Liu, X., Yuan, F., & Gao, Y. (2015). **Antioxidative phenolics obtained from spent coffee grounds (Coffea arabica L.)** by subcritical water extraction. Industrial Crops and Products, 76, 946–954. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.054

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

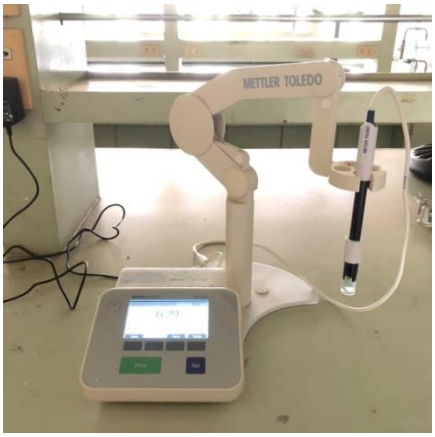
ภาพประกอบการวิจัย

ภาพที่ ผก 1 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETER)

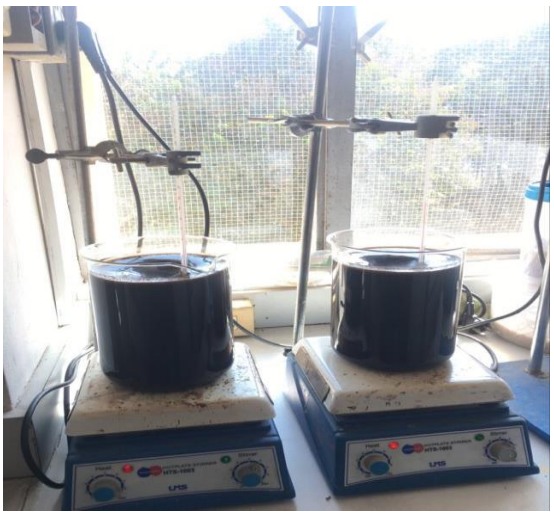


ภาพที่ ผก 2 เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)

ภาพที่ ผก 3 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaking Water bath)

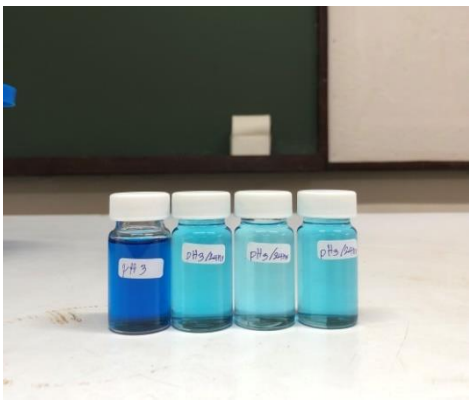


ภาพที่ ผก 4 เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)

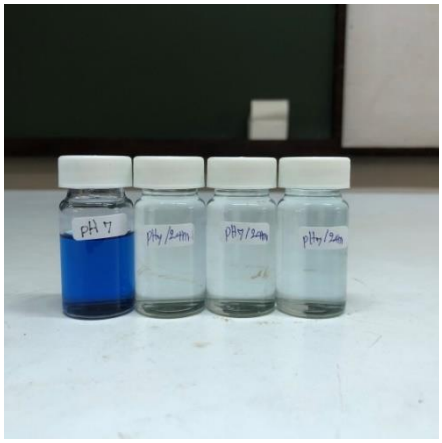


ภาพที่ ผข 5 การต้มทำความสะอาดของกากกาแฟ

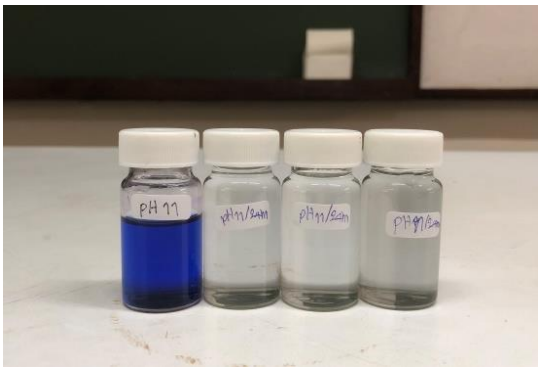
ภาพที่ ผก 6 ลักษณะของผงถ่านที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 32 MESH



ภาพที่ ผก 7 สีของสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 20 ppm pH 3 ก่อนและหลังการดูดซับ



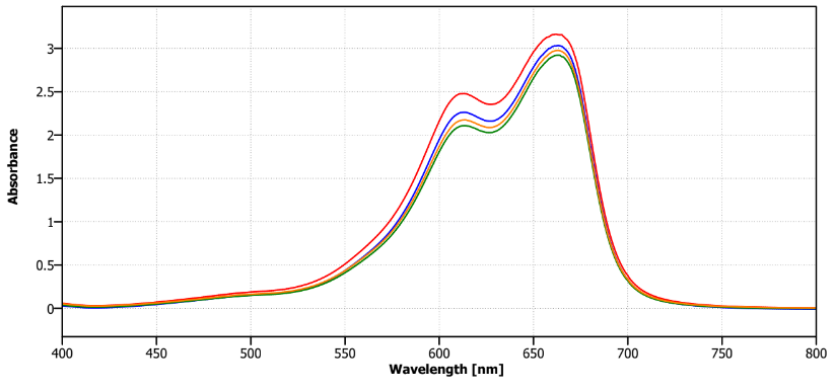
ภาพที่ ผก 8 สีของสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 20 ppm pH 7 ก่อนและหลังการดูดซับ



ภาพที่ ผก 9 สีของสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 20 ppm pH 11 ก่อนและหลังการดูดซับ

ภาพที่ ผก 10 สีของสารละลายที่ทำการไทเทรตเพื่อศึกษาความเป็นกรดของพื้นผิว

ภาพที่ ผก 11 สีของสารละลายที่ทำการไทเทรตเพื่อศึกษาความเป็นเบสของพื้นผิว



ภาพที่ ผก 12 สีเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 20 ppm ที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร

ภาคผนวก ข
ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง

วิธีการคำนวณ % ของการดูดซับเมทิลีนบลูจากกากกาแฟ

สามารถคำนวณได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\% \text{ Adsorption} = \frac{A_{ก่อน} - A_{หลัง}}{A_{ก่อน}} \times 100$$

เมื่อค่า $A_{ก่อน}$ คือค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมก่อนการดูดซับ

$A_{หลัง}$ คือค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมหลังการดูดซับ

ตารางที่ ผค 1 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟในปริมาณต่าง ๆ ที่ 1 ชั่วโมง

น้ำหนักตัวอย่าง (g) 1hr	**abs**			**% Absorption**					
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**เฉลี่ย**	**SD**	**%RSD**
0.25	1.3592	1.3743	1.2935	58.7821	58.3242	60.7745	59.29	1.30	2.20%
0.50	1.1783	1.3245	1.2560	64.2680	59.8344	61.9117	62.00	2.22	3.58%
0.75	1.1385	1.2056	1.2990	65.4749	63.4401	60.6077	63.17	2.44	3.87%
1.00	1.1307	1.1726	1.3605	65.7114	64.4408	58.7427	62.96	3.71	5.89%
1.25	1.0951	1.1244	1.3023	66.7910	65.9025	60.5076	64.40	3.40	5.28%

ตารางที่ ผค 2 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟในปริมาณต่าง ๆ ที่ 6 ชั่วโมง

น้ำหนักตัวอย่าง (g) 6hr	abs			% Absorption					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	%RSD
0.25	0.8962	0.6446	0.6671	72.8227	80.4525	79.7701	77.68	4.22	5.43%
0.50	0.4704	0.5246	0.4236	85.7351	84.0915	87.1543	85.66	1.53	1.79%
0.75	0.3353	0.4133	0.3789	89.8320	87.4666	88.5098	88.60	1.19	1.34%
1.00	0.3080	0.3134	0.2979	90.6599	90.4961	90.9662	90.71	0.24	0.26%
1.25	0.3662	0.2459	0.2422	88.8950	92.5431	92.6553	91.36	2.14	2.34%

ตารางที่ ผค 3 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของกากกาแฟในปริมาณต่าง ๆ ที่ 24 ชั่วโมง

น้ำหนักตัวอย่าง (g) 24hr	abs			% Absorption					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	%RSD
0.25	0.0338	0.0453	0.0492	98.9750	98.6263	98.5080	98.70	0.24	0.25%
0.50	0.0601	0.0336	0.0835	98.1775	98.9811	97.4679	98.21	0.76	0.77%
0.75	0.0560	0.0413	0.0415	98.3018	98.7476	98.7415	98.60	0.26	0.26%
1.00	0.1055	0.0754	0.0255	96.8007	97.7135	99.2267	97.91	1.23	1.25%
1.25	0.0297	0.0494	0.0422	99.0993	98.5019	98.7203	98.77	0.30	0.31%

ตารางที่ ผค 4 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ 1 ชั่วโมง

methylene blue (ppm) 1hr	abs			%Adsorption					
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**เฉลี่ย**	**SD**	**%RSD**
10.00	0.7416	0.7848	0.6234	76.7144	75.3580	80.4258	77.50	2.62	3.39%
15.00	0.6097	0.5826	0.5903	82.1590	82.9520	82.7266	82.61	0.41	0.49%
20.00	0.3319	0.3857	0.2815	89.0725	87.3012	90.7319	89.04	1.72	1.93%
25.00	0.3146	0.3530	0.4009	83.9359	81.9751	79.5292	81.81	2.21	2.70%
30.00	0.5324	0.5428	0.6837	75.9008	75.4300	69.0521	73.46	3.83	5.21%

ตารางที่ ผค 5 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ 6 ชั่วโมง

methylene blue (ppm) 6hr	abs			%Adsorption					
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**เฉลี่ย**	**SD**	**%RSD**
10.00	0.0226	0.0350	0.0015	99.1910	98.7472	99.9463	99.29	0.61	0.61%
15.00	0.0126	0.0592	0.0069	99.5897	98.0724	99.7753	99.15	0.93	0.94%
20.00	0.0231	0.0060	0.0008	98.3700	99.5766	99.9436	99.30	0.82	0.83%
25.00	0.0227	-0.0017	0.0212	98.7335	100.0948	98.8172	99.22	0.76	0.77%
30.00	0.0011	-0.0021	0.0555	99.9669	100.0633	98.3281	99.45	0.98	0.98%

ตารางที่ ผค 6 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ 24 ชั่วโมง

methylene blue (ppm) 24hr	abs			%Adsorption					
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**เฉลี่ย**	**SD**	**%RSD**
10.00	0.0073	0.0023	0.0130	99.7849	99.9322	99.6170	99.78	0.16	0.16%
15.00	0.0120	0.0122	0.0107	99.6190	99.6126	99.6602	99.63	0.03	0.03%
20.00	0.0112	0.0152	0.0123	99.6007	99.4580	99.5614	99.54	0.07	0.07%
25.00	0.0095	0.0093	0.0134	99.5857	99.5944	99.4156	99.53	0.10	0.10%
30.00	0.0121	0.0247	0.0112	99.4085	98.7926	99.4525	99.22	0.37	0.37%

ตารางที่ ผค 7 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ pH ต่าง ๆ ที่ 1 ชั่วโมง

pH 1hr	abs			%Adsorption					
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**เฉลี่ย**	**SD**	**%RSD**
3	0.4909	0.5830	0.6505	82.87	79.66	77.30	79.94	2.80	3.50%
7	0.035	0.0359	0.0375	98.76	98.73	98.67	98.72	0.04	0.05%
11	0.0618	0.0623	0.0624	94.70	94.66	94.65	94.67	0.03	0.03%

ตารางที่ ผค 8 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ pH ต่าง ๆ ที่ 6 ชั่วโมง

pH	abs			%Adsorption					
6hr	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	%RSD
3	0.5399	0.5475	0.5693	81.16	80.89	80.13	80.73	0.53	0.66%
7	0.0242	0.0324	0.0265	99.14	98.85	99.06	99.02	0.15	0.15%
11	0.0448	0.0558	0.0651	96.16	95.21	94.42	95.26	0.87	0.91%

ตารางที่ ผค 9 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ในการดูดซับสีย้อมที่ pH ต่าง ๆ ที่ 24 ชั่วโมง

pH	abs			%Adsorption					
24hr	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	%RSD
3	0.2101	0.2772	0.2247	92.67	90.33	92.16	91.72	1.23	1.34%
7	0.0296	0.0335	0.0265	98.95	98.81	99.06	98.94	0.12	0.13%
11	0.062	0.0578	0.0537	94.68	95.04	95.39	95.04	0.36	0.37%

ตารางที่ ผค 10 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูความเข้มข้น20 mg/l ที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ 1 ชั่วโมง

T	abs			%Adsorption					
1hr	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	%RSD
25	0.0593	0.0371	0.0425	97.64	98.52	98.31	98.15	0.46	0.47%
40	0.0166	0.0165	0.0203	99.34	99.34	99.19	99.29	0.09	0.09%
55	0.0188	0.0085	0.0037	99.25	99.66	99.85	99.59	0.31	0.31%
70	0.0187	0.0144	0.0084	99.25	99.43	99.67	99.45	0.21	0.21%
85	0.0182	0.0099	0.0081	99.27	99.61	99.68	99.52	0.21	0.22%

ตารางที่ ผค 11 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูความเข้มข้น 20 mg/l ที่ใช้กากกาแฟปริมาณ 0.5 g ที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ 6 ชั่วโมง

T	abs			%Adsorption					
6hr	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	%RSD
25	0.0278	0.0234	0.0229	98.89	99.07	99.09	99.02	0.11	0.11%
40	0.0207	0.0117	0.0044	99.17	99.53	99.82	99.51	0.33	0.33%
55	0.0197	0.0172	0.0096	99.21	99.31	99.62	99.38	0.21	0.21%
70	0.0209	0.0151	0.0105	99.17	99.40	99.58	99.38	0.21	0.21%
85	0.0385	0.0342	0.0417	98.46	98.64	98.34	98.48	0.15	0.15%

วิธีการคำนวณ % ของการดูดซับเมทิลีนบลูจากถ่านไม้ไผ่

ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับสีย้อม

จากสมการ $\%Absorbance = \frac{OD_i - OD_e}{OD_i} \times 100$

แทนค่า $\%Absorbance = \frac{(3.1581 - 0.9140)}{3.1581} \times 100$

$\%Absorbance = 71.0585$

หมายเหตุ ค่า OD_i คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมก่อนการดูดซับ

OD_e คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมหลังการดูดซับ

ตารางที่ ผข 12 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 1 ชั่วโมง

ปริมาณถ่าน (กรัม)	Absorbance (ก่อน)	Absorbance (หลัง)	%Absorbance	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
0.25	3.1581	0.9140	71.0585	70.47	1.35	1.92
	3.1581	0.9025	71.4227			
	3.1581	0.9815	68.9212			
0.50	3.1581	0.7439	76.4447	75.77	0.61	0.80
	3.1581	0.7811	75.2668			
	3.1581	0.7702	75.6119			
0.75	2.9558	0.7447	74.8055	79.47	4.13	5.20
	2.9558	0.5630	80.9527			
	2.9558	0.5124	82.6646			
1.00	2.9558	0.4756	83.9096	84.21	0.88	1.05
	2.9558	0.4373	85.2054			
	2.9558	0.4871	83.5205			
1.25	3.0307	0.5315	82.4628	84.67	1.91	2.26
	2.9558	0.4222	85.7162			
	2.9558	0.4187	85.8346			

ตารางที่ ผข 13 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 6 ชั่วโมง

ปริมาณถ่าน (กรัม)	Absorbance (ก่อน)	Absorbance (หลัง)	%Absorbance	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
0.25	3.0324	0.3767	87.5775	86.41	1.04	1.20
	3.0324	0.4224	86.0704			
	3.0324	0.4371	85.5857			
0.50	3.0324	0.2802	90.7598	87.12	3.36	3.86
	3.0324	0.4813	84.1281			
	3.0324	0.4099	86.4827			
0.75	2.8899	0.2118	92.6710	92.84	0.23	0.24
	2.8899	0.1996	93.0932			
	2.8899	0.2097	92.7437			
1.00	3.0324	0.2536	91.6370	93.74	1.86	1.98
	3.0324	0.1679	94.4631			
	3.0324	0.1476	95.1326			
1.25	3.0324	0.1097	96.3824	96.96	0.70	0.72
	3.0324	0.0687	97.7345			
	3.0324	0.0986	96.7485			

ตารางที่ ผข 14 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 24 ชั่วโมง

ปริมาณถ่าน (กรัม)	Absorbance (ก่อน)	Absorbance (หลัง)	%Absorbance	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
0.25	3.0324	0.3495	88.4745	89.24	0.80	0.89
	3.0324	0.3012	90.0673			
	3.0324	0.3282	89.1769			
0.50	3.1650	0.3449	89.1027	93.31	3.80	4.07
	3.1650	0.1792	94.3381			
	3.1650	0.1112	96.4866			
0.75	3.1650	0.0567	98.2085	96.74	2.41	2.49
	3.1650	0.0617	98.0506			
	3.1650	0.1913	93.9558			
1.00	3.1650	0.0397	98.7457	98.72	0.19	0.19
	3.1650	0.0349	98.8973			
	3.1650	0.0467	98.5245			
1.25	2.9210	0.0818	97.1996	98.02	0.73	0.74
	2.9210	0.0412	98.5895			
	2.9210	0.0505	98.2711			

ตารางที่ ผข 15 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 1 ชั่วโมง

ความเข้มข้นของสารละลาย (ppm)	Absorbance (ก่อน)	Absorbance (หลัง)	%Absorbance	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
10	1.6280	0.2991	81.6278	82.26	0.85	1.04
	1.6280	0.2943	81.9226			
	1.6280	0.2730	83.2310			
15	2.3812	0.6526	72.5937	74.26	1.68	2.26
	2.3812	0.5726	75.9533			
	2.3812	0.6135	74.2357			
20	2.8899	0.6935	76.0026	71.96	3.51	4.88
	2.9312	0.8886	69.6848			
	2.9312	0.8736	70.1965			
25	3.2281	0.9498	70.5771	68.11	2.83	4.15
	3.2281	1.1291	65.0228			
	3.2281	1.0096	68.7246			
30	3.4167	1.5442	54.8043	54.65	1.06	1.94
	3.4167	1.5879	53.5253			
	3.4167	1.5161	55.6268			

ตารางที่ ผข 16 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 6 ชั่วโมง

ความเข้มข้นของสารละลาย (ppm)	Absorbance (ก่อน)	Absorbance (หลัง)	%Absorbance	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
10	1.5907	0.0628	96.0521	96.56	0.69	0.72
	1.5907	0.0421	97.3534			
	1.5907	0.0591	96.2847			
15	2.3812	0.0838	96.4808	95.81	0.90	0.94
	2.3812	0.0912	96.1700			
	2.3812	0.1242	94.7841			
20	2.9827	0.2273	92.3794	93.84	1.35	1.44
	2.9827	0.1761	94.0960			
	2.9827	0.1478	95.0448			
25	3.2887	0.4003	87.8280	86.89	0.81	0.93
	3.2887	0.4473	86.3989			
	3.2887	0.4455	86.4536			
30	3.4454	0.6414	81.3839	79.26	2.39	3.02
	3.4454	0.8038	76.6703			
	3.4414	0.6977	79.7263			

ตารางที่ ผข 17 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 24 ชั่วโมง

ความเข้มข้นของสารละลาย (ppm)	Absorbance (ก่อน)	Absorbance (หลัง)	%Absorbance	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
10	1.6280	0	100	100	0	0
	1.6280	0	100			
	1.6280	0	100			
15	2.3812	0.0346	98.5470	98.94	0.93	0.94
	2.3812	0.0413	98.2656			
	2.3812	0	100			
20	2.9312	0.0925	96.8443	96.70	0.85	0.88
	2.9312	0.1236	95.7833			
	2.9312	0.0745	97.4584			
25	3.2775	0.1539	95.3043	95.21	2.11	2.22
	3.2775	0.0894	97.2723			
	3.2775	0.2276	93.0557			
30	3.4167	0.5151	84.9240	86.96	2.25	2.58
	3.4167	0.4581	86.5923			
	3.4167	0.3632	89.3699			

ตารางที่ ผข 18 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 1 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (°C)	Absorbance (ก่อน)	Absorbance (หลัง)	%Absorbance	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
25	2.9674	0.6071	79.5410	77.82	1.49	1.92
	2.9674	0.6805	77.0675			
	2.9674	0.6869	76.8518			
40	3.1167	0.2667	91.4429	93.08	1.46	1.57
	3.1167	0.1789	94.2600			
	3.1167	0.2011	93.5477			
55	2.9333	0.0462	98.4250	98.06	0.38	0.39
	2.9333	0.0685	97.6647			
	2.9333	0.0564	98.0773			
70	3.0049	0.1407	95.3176	95.17	2.98	3.14
	3.0049	0.2369	92.1162			
	3.0049	0.0577	98.0798			
85	2.9674	0.1479	95.0158	93.28	1.71	1.83
	2.9674	0.2011	93.2230			
	2.9674	0.2491	91.6054			

ตารางที่ ผข 19 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 6 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (°C)	Absorbance (ก่อน)	Absorbance (หลัง)	%Absorbance	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
25	2.9741	0.4738	84.0691	86.15	1.88	2.18
	2.9741	0.3974	86.6380			
	2.9741	0.3648	87.7341			
40	2.9741	0.1228	95.8710	97.35	1.32	1.36
	2.9741	0.0474	98.4062			
	2.9741	0.0663	97.7708			
55	2.9741	0.1230	95.8643	96.94	1.11	1.15
	2.9741	0.0569	98.0868			
	2.9741	0.0932	96.8663			
70	2.9741	0.1311	95.5919	96.58	0.86	0.89
	2.9741	0.0838	97.1823			
	2.9741	0.0901	96.9705			
85	2.9741	0.2556	91.4058	93.49	1.84	1.97
	2.9741	0.1739	94.1529			
	2.9741	0.1516	94.9027			

ตารางที่ ผข 20 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 1 ชั่วโมง

pH	Absorbance (ก่อน)	Absorbance (หลัง)	%Absorbance	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
3	2.8593	1.1355	60.2875	59.49	1.53	2.56
	3.0593	1.2930	57.7354			
	3.0593	1.2097	60.4583			
7	3.1083	0.6134	80.2657	82.53	2.47	2.99
	3.1083	0.5542	82.1703			
	2.9273	0.4345	85.1570			
11	2.5995	0.4198	83.8507	83.28	0.53	0.63
	2.5995	0.4469	82.8082			
	2.5995	0.437	83.1891			

ตารางที่ ผข 21 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 6 ชั่วโมง

pH	Absorbance (ก่อน)	Absorbance (หลัง)	%Absorbance	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
3	3.0593	1.0685	65.0737	64.11	1.38	2.15
	3.0593	1.0788	64.7370			
	3.0593	1.1463	62.5306			
7	2.9373	0.5644	80.7851	84.89	3.75	4.42
	2.9373	0.4185	85.7522			
	2.9373	0.3484	88.1388			
11	1.6555	0.2411	85.4364	86.99	1.58	1.82
	1.6555	0.2161	86.9465			
	1.6555	0.1887	88.6016			

ตารางที่ ผข 22 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ Absorbance ที่ 24 ชั่วโมง

pH	Absorbance (ก่อน)	Absorbance (หลัง)	%Absorbance	ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
3	3.0593	0.1297	95.7605	93.20	3.85	4.13
	3.0593	0.1511	95.0610			
	3.0593	0.3436	88.7687			
7	3.1083	0.0070	99.7748	99.38	0.45	0.46
	3.1083	0.0159	99.4885			
	3.1083	0.0346	98.8869			
11	1.6054	0	100.0000	100.00	0.00	0.00
	1.6054	0	100.0000			
	1.6054	0	100.0000			

การหาค่าความเป็นกรด-เบสบนพื้นผิวของกากกาแฟ

Ex 1. ความเข้มข้นของ NaOH (M) ที่เหลืออยู่

$C_aV_a = C_bV_b$

$0.05M \times 17.80ml = C_b \times 20ml$

$C_b = 0.05M \times 17.80ml / 20ml$

$= 0.0445\ M$

Ex 2. ความเข้มข้นของ NaOH (mmol) ที่เหลืออยู่

$mmol = (CV / 1000) * 1000$

$= (0.0445 \times 25ml / (1000)) \times 1000$

$= 1.1125\ mmol$

Ex 3. ปริมาณ NaOH ที่ถูกดูกซับ (mmol) = ปริมาณ$NaOH_{(เริ่มต้น)}$–ปริมาณ$NaOH_{(ที่เหลืออยู่)}$

$NaOH_{(เริ่มต้น)}$

mmol = (CV / 1000) × 1000 = (0.05M × 25ml / (1000))*1000

= 1.25 mmol

ดังนั้นความเข้มข้นของ NaOH(เริ่มต้น) = 1.25 mmol–1.125mmol

ดังนั้นปริมาณ NaOH ที่ถูกดูดซับ = 0.125mmol

Ex 4. ปริมาณ NaOH ที่ถูกดูดซับต่อกรัมของกากกาแฟ (mmol/g)

= ปริมาณ NaOH ที่ถูกดูกซับ (mmol) / ปริมาณของกากกาแฟ 0.2 g

ดังนั้นปริมาณ NaOH ที่ดูดซับ 1 g จะดูดซับกากกาแฟ

= 1 × 0.125 / 0.2

= 0.625 mmol/g

การหาค่าความเป็นกรด-เบสบนพื้นผิวของถ่านไม้ไผ่

ความเข้มข้นของ NaOH (M) ที่เหลืออยู่ ต่อ 15 mL

$$C_aV_a = C_bV_b$$

$$0.05\ M \times 13.00\ mL = C_b \times 15\ mL$$

$$C_b = \frac{0.05\ M \times 13.00\ mL}{15\ mL}$$

$$= 0.0433\ M$$

ความเข้มข้นของ NaOH (mmol) ที่เหลืออยู่ ต่อ 25 mL

$$= \left(\frac{CV}{1000}\right)\times 1000$$

$$= \left(\frac{0.0433 \times 25}{1000}\right)\times 1000$$

$$= 1.0833\ mmol$$

ปริมาณ NaOH ที่ถูกดูดซับ (mmol) ต่อถ่าน 0.2044 กรัม

$$= 1.25 - 1.0825$$

$$= 0.1667$$

ปริมาณ NaOH ที่ถูกดูดซับ ต่อถ่าน 1 กรัม (mmol/g)

ถ่าน 0.2044 กรัม ดูดซับ NaOH 0.1667 mmol

ถ่าน 1.0 กรัม ดูดซับ NaOH $\frac{1\times0.1667}{0.2044}$ mmol

$= 0.8154$ mmol/g

ความเข้มข้นของ HCl (M) ที่เหลืออยู่ ต่อ 15 mL

$$C_aV_a = C_bV_b$$

$$C_a\times 15 == 0.05\ M \times 13.50\ mL$$

$$C_a = \frac{0.05\ M \times 13.50\ mL}{15\ mL}$$

$$= 0.045\ M$$

ความเข้มข้นของ HCl (mmol) ที่เหลืออยู่ ต่อ 25 mL

$$= (\frac{cv}{1000})\times1000$$

$$= (\frac{0.045 \times 25}{1000})\times1000$$

$$= 1.1250 \text{ mmol}$$

ปริมาณ HCl ที่ถูกดูดซับ (mmol) ต่อถ่าน 0.2031 กรัม

$$= 1.25 - 1.125$$

$$= 0.1250$$

ปริมาณ HCl ที่ถูกดูดซับ ต่อถ่าน 1 กรัม (mmol/g)

ถ่าน 0.2031 กรัม ดูดซับ HCl 0.1250 mmol

ถ่าน 1.0 กรัม ดูดซับ HCl $\frac{1\times0.1250}{0.2031}$ mmol

$= 0.6155$ mmol/g

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นางสาวศศิกานต์ ปานปราณีเจริญ
2. ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000
โทร. 095-6432243 email: Sasikarn.pan@pcru.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (เคมี)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.ม.(เคมี)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.บ.(เคมี)
มหาวิทยาลัยนเรศวร

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

เคมีอุตสาหกรรม เคมีสิ่งทอ พลังงานทดแทน

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

พ.ศ. 2559 ชุดผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาติ ได้รับทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2559
พ.ศ. 2560 คุณสมบัติทางเคมีและกระบวนการหมักเอทานอลจากมันพื้นเมืองสกุล Dioscorea sp. ได้รับทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2560
พ.ศ. 2562 การศึกษาการสกัดน้ำมัน ปริมาณคาเฟอีน สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากกากกาแฟ

ในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้รับทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2562

พ.ศ. 2564 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากบัตเตอร์และผงโกโก้ เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตให้กับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มโกโก้นางั่ว จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้รับทุนวิจัยโครงการ Pre talent ประจำปีงบประมาณ 2564

พ.ศ. 2565 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกากกาแฟ ได้รับทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2565

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นางสาวนันทรักษ์ รอดเกตุ
2. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000
โทร. 086-6128873 email: nantharakr@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

ปร.ด. (เคมี)
มหาวิทยาลัยนเรศวร
วท.ม.(เคมีอุตสาหกรรม)
มหาวิทยาลัยนเรศวร
วท.บ.(เคมี)
มหาวิทยาลัยนเรศวร

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

เคมีพอลิเมอร์ เคมีอินทรีย์ เคมีเครื่องสำอาง

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

พ.ศ. 2564 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากบัตเตอร์และผงโกโก้ เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตให้กับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มโกโก้นางั่ว จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้รับทุนวิจัยโครงการ Pre talent ประจำปีงบประมาณ 2564
พ.ศ. 2565 การสกัดและการเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายทางชีวภาพจากกัมมะขามร่วมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล ได้รับทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2565