

การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกไข่และเปลือกหอยแครง โดยวิธีกระตุ้นทางเคมี

Adsorption of Methyl Red Dye by Activated Carbon from Egg Shell and Ark Shell by Chemical Activation Method

วิรรอง แสงอรุณเลิศ*

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อำเภอเมือง
จังหวัดนครสวรรค์ 60000

*Email: wirungrongs@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการบริโภค โดยการกระตุ้นทางเคมี การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง เตรียมได้ 2 ขั้นตอน ขั้นแรกคือกระบวนการคาร์บอนในเซชันตามด้วยกระบวนการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ความพรุนสูงจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงซึ่งได้แก่ อุณหภูมิและอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง ได้แก่ อุณหภูมิในการเผาให้เป็นถ่าน 600 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง 1:3 โดยใช้เวลาในการเผาให้เป็นถ่าน 30 นาที ที่สภาวะดังกล่าวได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนับเบอริงสูงที่สุดเท่ากับ 510.44 มิลลิกรัมต่อกรัม และพื้นที่ผิวจำเพาะ -BET เท่ากับ 717.45 ตารางเมตรต่อกรัม นอกจากนี้ได้นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงที่สภาวะที่เหมาะสมมาจัดสีเมทิลเรดจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยกระบวนการดูดซับ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีเมทิลเรดที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ เวลาในการดูดซับ ปริมาณถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย และชนิดของถ่านกัมมันต์ ผลการวิจัยพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลเรดได้ดีที่สุด คือ 64,471.79 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ คิดเป็นร้อยละของการกำจัดสีย้อมเมทิลเรด 64.47 สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับคือ เวลาในการดูดซับ 60 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายสีเมทิลเรดเริ่มต้นสูงสุด 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเป็นกรดต่างของสารละลายสีเมทิลเรดที่สภาวะเป็นกรด

คำสำคัญ : การดูดซับ ถ่านกัมมันต์ วิธีกระตุ้นทางเคมี เปลือกไข่ เปลือกหอยแครง

Abstract

The objective of this research is the preparation of activated carbons from egg shell and ark shell, a waste of significant amounts from consumption, by a chemical activation method. Activated carbons from egg shell and ark shell were prepared in a two-step process of carbonization and chemical activation with ZnCl_2 . The influences of activated carbon condition variables such as carbonization temperature and egg shell/ark shell ratio were investigated to find the optimum condition. The optimum condition from the experimental result was: carbonization temperature of 600°C and egg shell/ark shell ratio in a ratio of 3:1 by weight, using carbonization time of 60 minute. The characteristics of the derived activated carbon produced at optimum condition were: iodine number of 510.44 mg/g and BET surface area of $717.45\text{ m}^2/\text{g}$. In addition, activated carbon obtained from egg shell/ark shell at optimum condition was used to adsorb methyl red dye from synthetic waste water. The influences of activated carbon adsorption variables such as adsorption time, amount of activated carbon, initial concentration of methyl red and pH of solution were investigated to find the optimum condition for batch adsorption. Result showed that the derived activated carbon was able to decolorize methyl red dye at 64,471.79 mg/g, which is 64.47% of decolorization. The adsorption was effective at adsorption time of 60 minute, amount of activated carbon of 0.5 g, maximum initial concentration of solution of 300 mg/L and pH of solution was acid.

Keywords: Adsorption, Activated carbon, Chemical activation, Egg shell, Ark shell

บทนำ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีการปล่อยน้ำเสียออกมาเป็นปริมาณมาก โดยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมจะมีสีย้อมเป็นสารปนเปื้อน คุณสมบัติของสีย้อมสังเคราะห์นั้นมีโครงสร้างซับซ้อนทำให้สีเหล่านี้มีความคงตัวสูง ทนต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ทำให้น้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมสีย้อมในกระบวนการผลิตไม่สามารถที่จะกำจัดออกได้โดยวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป รวมทั้งสีสังเคราะห์และสารเมตาบอลิต์ของสีสังเคราะห์บางชนิดมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็งในสิ่งมีชีวิต (Farah, Daniel, & Danielle (2011))

เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม มีหลายวิธีได้แก่วิธีทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้กระบวนการกรองด้วยเยื่อแผ่น ก็จะต้องควบคุมระดับความดันน้ำ อัตราการไหลของน้ำ ค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิ การสร้างตะกอนและการรวมตะกอนโดยใช้สารส้ม ปูนขาว และสารประกอบเหล็ก ก็เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง แต่จะมีกากตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณมากซึ่งยุ่งยากในการนำไปกำจัด กระบวนการเฟนตัน (Fenton process) ก็ต้องควบคุมความเข้มข้นของเหล็ก ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่าง และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา การใช้โอโซน ก็ต้องควบคุมอุณหภูมิ ความดัน ความเป็นกรดต่าง และความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เนื่องจากโอโซนจะทำให้ปฏิกิริยากับสารบางชนิดทำให้เกิดเป็นสารก่อมะเร็ง กระบวนการดูดซับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีวิธีการที่ง่ายและมีค่าใช้จ่ายน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสารพิษและสีย้อมออกจากน้ำเสีย ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้ในการดูดซับได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) โดยเป็นตัวดูดซับสำหรับการบำบัดน้ำเสียซึ่งสามารถดูดซับสีย้อม โลหะหนัก อินทรีย์สาร ได้ วัสดุดูดซับที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์นั้นมีหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ ได้แก่ กะลามะพร้าว กาบมะพร้าว เปลือกข้าว และเปลือกของผลไม้บางชนิด เช่น ทุเรียน เป็นต้น

สีกลุ่มอะโซเป็นสีที่มีโครงสร้างเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่อะโซ ($-N=N-$) 1 หมู่หรือมากกว่า 1 หมู่ในโครงสร้าง เช่น สีเมทิลเรด (Methyl red) สีอะโซเป็นสีที่มีการสังเคราะห์มาใช้ในการค้ามากที่สุดกลุ่มหนึ่ง (Zollinger, 1991) และเป็นสีที่นิยมใช้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมชนิดต่างๆ ถึง 60-70% ของสีทั้งหมด (Shaul, Holdsworth, Demmpsey, & Dostal, 1991; Chen, 2002) ในปี ค.ศ. 1994 มีการใช้สีสังเคราะห์ประมาณ 1 ล้านตัน โดยมากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณที่ใช้เป็นสีอะโซ (Stolz, 1999) สีอะโซนิยมใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมย้อมผ้า อาหาร เครื่องสำอาง กระดาษ ผลิตภัณฑ์หนังฟอก เป็นต้น

สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้ จะใช้เปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับ ทั้งนี้เนื่องจากมีโครงสร้างรูพรุนที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยจะมุ่งเน้นการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีในการกำจัดสีเมทิลเรด โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับสีเมทิลเรดด้วยถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ผลของเวลาที่เข้าสู่สมดุล ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดซับสีเมทิลเรด ผลของปริมาณสี เมทิลเรด ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสีเมทิลเรด ผลจากการวิจัยนี้อาจจะเป็นทางเลือกหนึ่งต่อการลดค่าใช้จ่ายของวัสดุดูดซับในการลดต้นทุนในการบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้ง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

การเตรียมสีเมทิลเรดจะเตรียมด้วยการละลายด้วยตัวทำละลาย Dimethyl sulfoxide (DMSO) เพราะสีเมทิลเรด ละลายในน้ำได้น้อยมาก รวมทั้งการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 7% (w/v) เพื่อทำให้เป็นสารสีที่มีลักษณะคล้ายกับน้ำเสียที่ปนเปื้อนโรงงานผลิตสีที่จะมีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์อยู่ร้อยละ 7 (Nimrat, Sawangchit, & Vuthiphandchai, 2004)

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate analysis) ของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ปริมาณเถ้า (Ash) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ของเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแครง ตามมาตรฐาน ASTM (American Standard of Testing Materials)

3. การเตรียมถ่านกัมมันต์เปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง

ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเปลือกไข่ต่อเปลือกหอยแครง คือ 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 ตามลำดับ และเลือกอุณหภูมิในการเผาที่ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการเผาให้เป็นถ่าน 30 นาที จากนั้นกระตุ้นด้วยสารละลาย $ZnCl_2$ ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (อัตราส่วนที่ใช้ระหว่าง carbon และ $ZnCl_2$ คือ 1:1 โดยน้ำหนัก) และทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ $110^{\circ}C$ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ภายใต้แก๊สไนโตรเจน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับ pH ด้วยสารละลาย HCl ความเข้มข้น 1.0 M จนได้ pH เท่ากับ 7 อนุผลิตภัณฑ์โดยใช้เตาเผาอบที่อุณหภูมิ $110^{\circ}C$ เป็นเวลาอีก 12 ชั่วโมงแล้วร่อนโดยใช้ตะแกรกร่อนให้มีขนาด 150-180 ไมโครเมตร ให้เก็บถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ในโถดูดความชื้น เพื่อใช้ในการดูดซับเมทิลเรด

4. การทดสอบความสามารถในการดูดซับปริมาณไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ และการทดสอบสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับปริมาณไอโอดีน ค่าการดูดซับปริมาณไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ ทดสอบโดยใช้วิธีการไตเตรทแบบไอโอดิเมทรี (Iodometry) เพื่อหาปริมาณของไอโอดีนที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับไว้โดยใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เป็นไตเตรนต์ ซึ่งเป็น

การทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 4607-86 ค่าที่ได้เรียกว่า ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine number) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g)

พื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ ถูกกำหนดโดย Nitrogen adsorption - desorption isotherms และวัดการดูดซับของแก๊สโดยก่อนทำการทดสอบพื้นที่ผิวเฉพาะ จะทำการไล่แก๊สก่อน ที่อุณหภูมิ 300 °C ภายใต้อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 12 ชั่วโมง โดยข้อมูลของ Nitrogen adsorption- desorption isotherms จะถูกบันทึกไว้ที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว (77 K) โดยพื้นที่ผิวจำเพาะจะทำการคำนวณโดยใช้สมการ BET (Brauner Emmet Teller)

5. การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ของสารละลายสีเมทิลเรด

การสร้างกราฟมาตรฐาน ใช้ความเข้มข้นของสารละลายสีเมทิลเรด 0.5 , 1 , 5 , 10 , 15 และ 20 mg/L ในตัวทำละลาย DMSO และทำวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 430.0 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายสีเมทิลเรด

6. ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสีเมทิลเรดในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ทำการศึกษา

1. เวลาในการดูดซับ

ใช้ผงถ่านกัมมันต์หนัก 0.5 กรัม ขนาดถ่านกัมมันต์ 150 – 250 ไมโครเมตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 250 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 200 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไป 30, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่สีเมทิลเรดดูดกลืนแสงสูงสุด

2. ปริมาณถ่านกัมมันต์

โดยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของถ่านกัมมันต์เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ขนาดถ่านกัมมันต์ 150 – 250 ไมโครเมตร ความเข้มข้นเริ่มต้น 250 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 200 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างที่เวลาที่ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลเรดสูงสุดและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่สีเมทิลเรดดูดกลืนแสงสูงสุด

3. ปริมาณสีเมทิลเรดเริ่มต้น

ใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ขนาด 150–250 ไมโครเมตร ที่ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลเรดสูงสุด โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสีย้อม เริ่มต้นเป็น 300, 350, 400 และ 450 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 200 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างที่เวลาที่ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลเรด

สูงสุดและนำไปวัดหาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าความยาวคลื่นที่สีเมทิลเรดดูดกลืนแสงสูงสุด

4. ความเป็นกรด – ต่างของสารละลาย

โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ขนาด 150–250 ไมโครเมตร ที่ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลเรดสูงสุด โดยเปลี่ยนแปลง pH เริ่มต้นของสารละลายตั้งแต่ 3.0, 5.0, 7.0 และ 9.0 ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 250 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 200 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างที่เวลาที่ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลเรดสูงสุด โดยปรับ pH สารละลายสีย้อมเริ่มต้นด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 M และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate analysis) ของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแครง แสดงในตารางที่ 1 พบว่าเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแครงมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับร้อยละ 30.46 และ 37.10 ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอที่นำมาพัฒนาเป็นถ่านกัมมันต์ได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชีวมวลอื่นๆ เช่น กะลาผลปาล์ม 19.8 เปอร์เซนต์ (Guo & Lua, 2001) ต้นโอลิกานัม 23.0 เปอร์เซนต์ (Timur, Cem Kantarli, Ikizoglu, & Yanik, 2006) การมีคาร์บอนคงตัวที่สูงถือว่าเป็นสมบัติที่ดีของวัตถุดิบที่จะนำมาเตรียมถ่านกัมมันต์ต่อไป และการมีปริมาณเถ้าต่ำจะทำให้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สูงตามไปด้วย ซึ่งจะได้ทำการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแครง

ตัวอย่าง	องค์ประกอบแบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	ความชื้น	สารระเหย	เถ้า	คาร์บอนคงตัว
เปลือกไข่ไก่	1.11	63.13	5.27	30.46
เปลือกหอยแครง	0.33	59.73	2.81	37.10

2. ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง

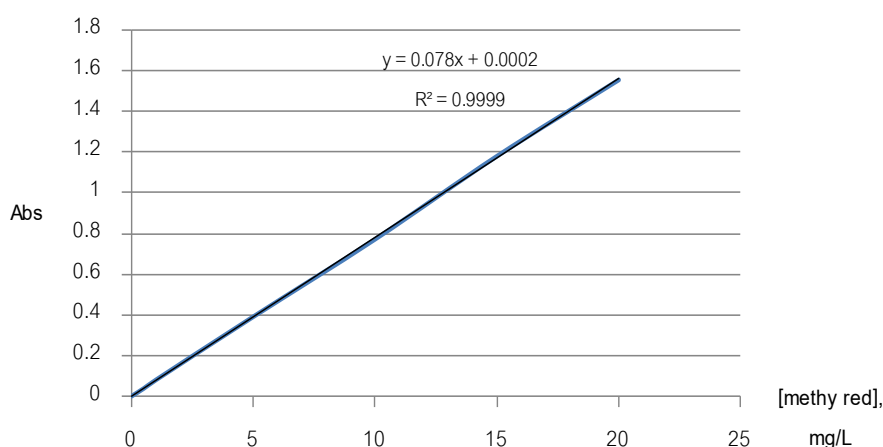
ผลการทดลองพบว่า การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลาย ZnCl_2 ที่อัตราส่วนของเปลือกไข่ต่อเปลือกหอยแครง 1:3 และอุณหภูมิในการเผาให้เป็นถ่าน 600 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากให้ค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงที่สุด

3. ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับปริมาณไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ และการทดสอบสมบัติทางกายภาพของถ่าน กัมมันต์

ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นที่สภาวะที่เหมาะสมมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงที่สุด คือ 510.44 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานของถ่านกัมมันต์ทางการค้าไม่มาก โดยถ่านกัมมันต์ทางการค้าจะมีค่าไอโอดีนัมเบอร์ไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET) เท่ากับ 717.45 ตารางเมตรต่อกรัม

4. ผลการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายสีเมทิลเรด

กราฟมาตรฐานของสารละลายสีเมทิลเรด แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Abs) (x) และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (y) คือ $y = 0.078x$ โดยมีค่า $R^2 = 0.9999$



รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมเมทิลเรด ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร

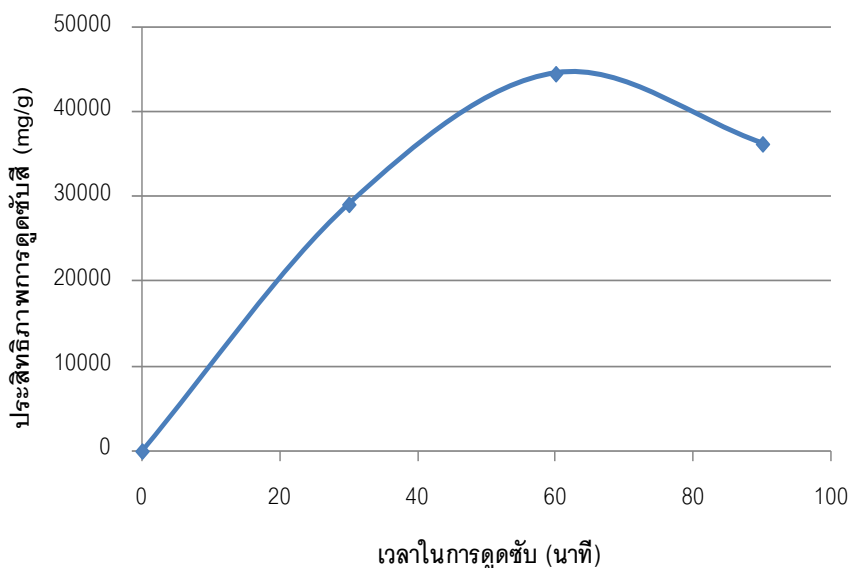
5. ผลของปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสีเมทิลเรดในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์

5.1 เวลาในการดูดซับ

ในการศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเมทิลเรดในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมกับเปลือกหอยแครงที่สภาวะที่เหมาะสม โดยใช้ผงถ่านกัมมันต์หนัก 0.5 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้น 250 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 150 รอบ/นาที เก็บตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไป 30, 60 และ 90 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับสี พบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับหรือปริมาณดูดซับจำเพาะ มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากแรงขับเคลื่อนที่มากอันเนื่องมาจากผลต่างของความเข้มข้นของสีย้อมในสารละลายกับปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับ หลังจากนั้นปริมาณดูดซับจำเพาะ จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kavitha and Namasivayam (2007) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการที่ปริมาณดูดซับจำเพาะเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากเกิดการแพร่ของสีย้อมจากสารละลายมายังผิวของตัวดูดซับ และปริมาณดูดซับจำเพาะในช่วงหลังมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการแพร่ของสีย้อมจากผิวของตัวดูดซับเข้าสู่พรุนของตัวดูดซับ ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีสูงที่สุด คือ 44,523.08 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ คิดเป็นร้อยละของการกำจัดสีย้อม 44.52 และที่เวลาในการดูดซับมากกว่า 60 นาที ถ่านกัมมันต์จะเกิดการคายซับทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับสีลดลงอีกครั้ง แสดงได้ดังรูปที่ 2

ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ คือ 60 นาที ซึ่งจะใช้ในการศึกษาผลของปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลเรดต่อไป



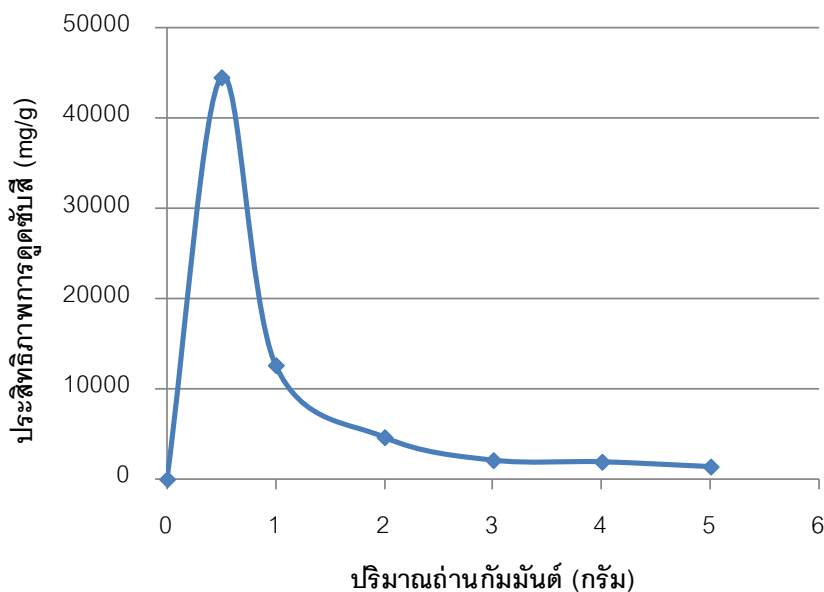
รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการดูดซับสีของเมทิลเรดในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เวลาในการดูดซับต่างๆ

5.2 ปริมาณถ่านกัมมันต์

สำหรับการศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดซับสีของโดยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของถ่านกัมมันต์เป็น 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของสี 250 mg/L ปริมาตร 200 ml ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบ/นาที ที่เวลาในการดูดซับ 60 นาที และนำไปวัดหาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร

จากนั้นคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับสี พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ ความสามารถในการดูดซับสีของเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลายมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับหรือค่าปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าลดลง เนื่องจากน้ำหนักของสีต่อน้ำหนักของตัวดูดซับมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 3

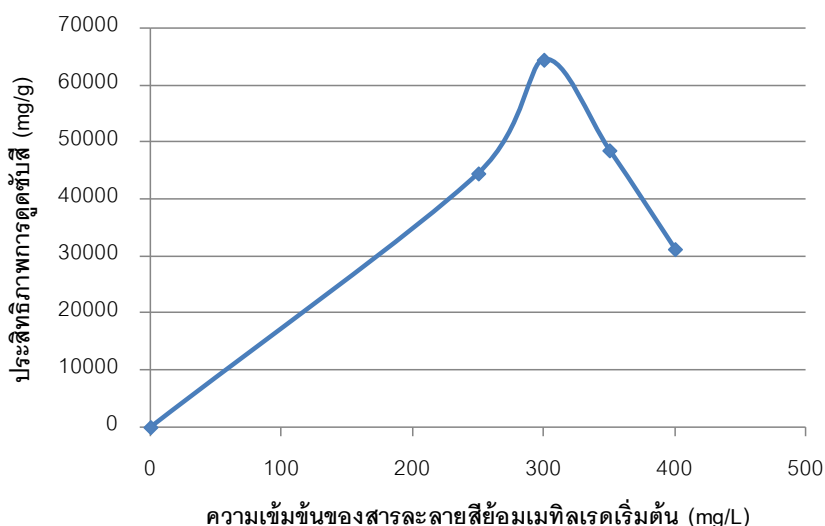
ดังนั้นปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับ คือ 0.5 กรัม โดยให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีของสูงที่สุดคือ 44,523.08 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ คิดเป็นร้อยละของการกำจัดสี 44.52 ซึ่งจะใช้ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายสีเริ่มต้นต่อไป



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดซับสีของเมทิลเรดในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ในปริมาณต่างๆ

5.3 ความเข้มข้นของสารละลายสีของเมทิลเรดเริ่มต้น

สำหรับการศึกษาผลของความเข้มข้นสีของเมทิลเรดเริ่มต้นโดยใช้ถ่านกัมมันต์หนัก 0.5 กรัม โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสีของเมทิลเรดเริ่มต้นเป็น 300, 350 และ 400 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที ใช้เวลาในการดูดซับ 60 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 430 nm จากนั้นคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับสี พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับหรือปริมาณดูดซับจำเพาะที่สมดุลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย เป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนให้การถ่ายเทมวลซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างปริมาณของสีของเมทิลเรดบนตัวดูดซับกับสารละลาย ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะที่สมดุลของตัวดูดซับมีค่าเพิ่มสูงขึ้น (ช่วงความเข้มข้นของสารละลายสีของเมทิลเรด 250-300 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของสารละลายสีของเมทิลเรดสูงสุดที่สามารถถูกดูดซับได้เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม คือ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับสีของเมทิลเรด คือ 64,471.79 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ คิดเป็นร้อยละของการกำจัดสีของเมทิลเรด 64.47 และการเพิ่มความเข้มข้นในขณะที่มีปริมาณตัวดูดซับคงที่ คือ 0.5 กรัม นั้น ทำให้ร้อยละของการกำจัดสีของเมทิลเรดมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้น (มากกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทำให้ปริมาณสีของเมทิลเรดที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสีของเมทิลเรดทั้งหมดในสารละลายที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4



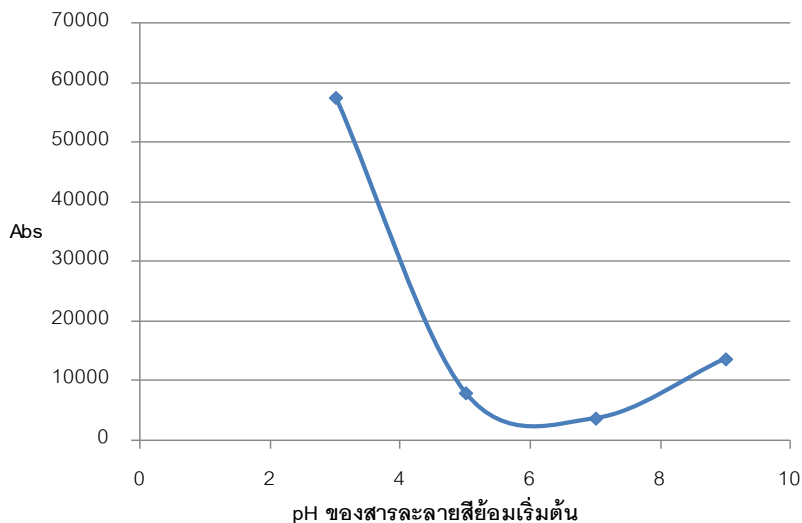
รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลเรดในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้สารละลายสีย้อมความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ

5.4 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายสีย้อมเมทิลเรด

ในการศึกษาผลของ pH ของสารละลายสีย้อมเริ่มต้น โดยใช้ถ่านกัมมันต์หนัก 0.5 กรัม โดยเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายเริ่มต้นเป็น 3.0, 5.0, 7.0 และ 9.0 ตามลำดับ ความเข้มข้นสีย้อม 300 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 150 รอบ/นาที เวลาในการดูดซับ 60 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 430 nm

จากนั้นคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับสี พบว่าสามารถดูดซับสีย้อมเมทิลเรดได้สูงสุดที่ pH เท่ากับ 3 โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม คือ 57,497.44 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ คิดเป็นร้อยละของการกำจัดสีย้อม 57.50 และจะลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น

ทั้งนี้เนื่องจากสีย้อมเมทิลเรดเป็นสีย้อมกรด การดูดซับบนตัวดูดซับที่เตรียมขึ้นจึงเกิดได้ดีในสารละลายที่มี pH ต่ำและเมื่อเพิ่ม pH ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะมีแนวโน้มที่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลเรดในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสีย้อมเริ่มต้นต่างๆ

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงโดยการกระตุ้นด้วยสารละลาย $ZnCl_2$

เปลือกไข่และเปลือกหอยสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ โดยสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าไอโอดีนัมเบอร์มีค่าสูงสุด 510.44 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ และพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ 717.45 ตารางเมตรต่อกรัม ได้แก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกไข่ต่อเปลือกหอยแครง 1:3 อุณหภูมิในการทำให้เป็นถ่าน $600\text{ }^{\circ}\text{C}$

2. การดูดซับสีเมทิลเรดด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงที่สภาวะที่เหมาะสม

การจัดสีเมทิลเรด โดยวิธีการดูดซับด้วยตัวกลางคือ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงที่สภาวะที่เหมาะสม พบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลเรดได้ดีที่สุดคือ 64,471.79 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ คิดเป็นร้อยละของการกำจัดสีย้อมเมทิลเรด 64.47 โดยสภาวะในการกำจัดสี เมทิลเรดที่เหมาะสม คือ เวลาในการดูดซับ 60 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายสีเมทิลเรดเริ่มต้นสูงสุด 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสีเมทิลเรดที่สภาวะเป็นกรด โดยสามารถสรุปผลของปัจจัยที่มีต่อการดูดซับสีเมทิลเรดได้ดังนี้

2.1 เวลาในการดูดซับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับหรือปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากแรงขับเคลื่อนที่มากอันเนื่องมาจากผลต่างของความเข้มข้นของสีย้อมในสารละลายกับปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับ หลังจากนั้นปริมาณดูดซับจำเพาะ จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการที่ปริมาณดูดซับจำเพาะเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากเกิดการแพร่ของสีย้อมจากสารละลายมายังผิวของตัวดูดซับ และปริมาณดูดซับจำเพาะในช่วงหลังมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการแพร่ของสีย้อมจากผิวของตัวดูดซับเข้าสู่รูพรุนของตัวดูดซับ แต่อย่างไรก็ตามอาจเกิดการคายซับของโมเลกุลของสีได้เมื่อปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับมากกว่าความเข้มข้นของสีย้อมในสารละลาย

2.2 ปริมาณถ่านกัมมันต์ เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลายมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับหรือค่าปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าลดลง เนื่องจากน้ำหนักของสีย้อมต่อน้ำหนักของตัวดูดซับมีค่าลดลง

2.3 ความเข้มข้นของสารละลายสีเมทิลเรดเริ่มต้น พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายในขณะที่ปริมาณตัวดูดซับคงที่นั้น ทำให้ร้อยละของการกำจัดสีย้อมมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นทำให้ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสีย้อมทั้งหมดในสารละลายที่เพิ่มขึ้น

2.4 ความเป็นกรดต่างของสารละลายสีเมทิลเรด เมื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับหรือปริมาณดูดซับจำเพาะมีแนวโน้มที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสีย้อมเมทิลเรดเป็นสีย้อมกรด การดูดซับบนตัวดูดซับที่เตรียมขึ้นจึงเกิดได้ดีในสารละลายที่มี pH ต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Chen, M. Y. (2002). Understanding decolorization characteristics of reactive azo dye by *Pseudomonas luteola*: toxicity and kinetics. *Process Biochemistry*, 38, 437.
- Farah, M. D. C.; Daniel, J. D.; & Danielle, P. O. (2011). *Azo dyes and their metabolites: Does the discharge of the Azo dye into water bodies represent human and ecological risks?*.

Retrieved November 30, 2014, from <http://www.intechopen.com/books/advances-in-treating-textile-effluent/azo-dyes-and-their-metabolites-does-the-discharge-of-the-azo-dye-into-water-bodies-represent-human-a>

- Guo, J. & Lua, A.C. (2001). Kinetic study on pyrolysis process of oil-palm stone using two-step consecutive reaction model. *Biomass and Bioenergy*, 20, 223-233.
- Kavitha, D. & Namasivayam, C. (2007). Experimental and kinetic studies on methylene blue adsorption by Coir Pith carbon *Bioresource Technology*, 98, 14-21.
- Nimrat, S.; Sawangchit, P.; & Vuthiphandchai, V. (2004). Removal of malachite green employing physical and billogical processes. *Science Asia*, 30, 351-357.
- Shaul, G. M.; Holdsworth, T. J.; Demmpsey C. R.; & Dostal, K. A. (1991). Fate of water soluble azo dyes in the activated sludge process. *Chemosphere*, 22, 107.
- Stolz, A. (1999). Degradation of substituted naphthalene sulfonic acids by *Sphingomonas xenophaga* BN6. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 23(4-5), 391.
- Timur, S.; Cem Kantarli, I.; Ikizoglu, E.; & Yanik J. (2006). Preparation of a carbons from *Oreganum* stalks by chemical activation. *Energy and Fuels*, 20(6), 2636-2641.
- Zollinger, H. (1991). Syntheses, properties and applications of organic dyes and pigments. *Color Chemistry*, 496.