

การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษด้วยถ่านกัมมันต์

Color removal of wastewater from pulp and paper industry by activated carbon

ยุวรัตน์ เงินเย็น¹ ขนิษฐา คำวิไลศักดิ์² ไศรดา ชะโน³ และ พรนิภา เขียมดำรง⁴

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

123 ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

E-mail: nyuvarat@kku.ac.th¹ khanitta_k@hotmail.com² love_ortistry@hotmail.com³, iamdumrong@hotmail.com⁴

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบำบัดสีของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ โดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ได้ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสี ทั้งในกระบวนการดูดซับแบบกะและแบบหอดูดซับ ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาในกระบวนการดูดซับแบบกะ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และปริมาณตัวดูดซับ จากผลการศึกษาพบว่า ในกระบวนการดูดซับแบบกะ ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 1.5 กรัม สามารถกำจัดสีของน้ำเสีย ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ได้ 100 % โดยใช้เวลา 24 ชั่วโมง ในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ และในกระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ จำนวน 7 คอลัมน์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณคอลัมน์ละ 20 กรัม ต่อ น้ำเสีย 2000 มิลลิลิตร พบว่า หอดูดซับ สามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้สูงสุด 70 % ในเวลา 12 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ปริมาตรของน้ำเสียและเวลาในการดูดซับเท่ากัน พบว่ากระบวนการดูดซับแบบกะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่ากระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ

คำสำคัญ : กระบวนการดูดซับ, ถ่านกัมมันต์, น้ำเสีย, สี

Abstract

The purpose of this research is to study the color removal from wastewater by using activated carbon adsorption process. The determination of color removal efficiency was done on both batch and column adsorptions. The adsorption parameters, adsorption time and amount of adsorbent, were studied in batch adsorption. It was found that in batch adsorption, the maximum efficiency of color removal from 50 ml of wastewater was 100% at the amount of activated carbon of 1.5 g and the equilibrium time of 24 hr. In the column adsorption that included 7 columns with each of 20 g of activated carbon, the maximum efficiency of color removal from 2000 ml of wastewater was 70%. When compared the efficiency of color removal by using equal amount of volume of wastewater and time of adsorption, it was found that batch adsorption gave higher efficiency of color removal than column adsorption.

Keywords: Adsorption, Activated carbon, Wastewater, Color

1. บทนำ

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศไทย ส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ขึ้นมากมาย น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ ซึ่งหากไม่มีการบำบัดก็จะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น กระทรวงอุตสาหกรรมจึงได้มีการออกกฎหมายกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงาน เช่น ค่าความเป็นกรด – ด่าง ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี สี และกลิ่น เพื่อเป็นการควบคุมปัญหามลพิษที่จะเกิดขึ้น

น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตในส่วนของกการต้มเยื่อ ล้างเยื่อ และฟอกขาว ประกอบไปด้วยสารเคมีต่าง ๆ รวมถึง ลิกนิน และแทนนิน ซึ่งมีอยู่ในโครงสร้างของเส้นใยพืชที่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ทำให้น้ำทิ้งที่ปล่อยออกมา มีสีน้ำตาลเข้ม และยากต่อการย่อยสลายด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพของทางโรงงาน โดยพบว่า ภายหลังจากการบำบัดน้ำทิ้งด้วยกระบวนการทางชีวภาพแล้ว ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ได้ผ่านมาตรฐาน ยกเว้นค่าความเข้มสี เนื่องจากสีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด ยังคงมีสีน้ำตาลเข้ม เป็นที่น่ารังเกียจ จึงจำเป็นต้องหาวิธีการบำบัด ก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

กระบวนการบำบัดสีจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การ

บำบัดโดยวิธีการโฟโตแคตาไลซิส โดยใช้สารไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium – Dioxide, TiO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [1] หรือการบำบัดโดยใช้กระบวนการโอโซนออกซิเดชัน [2] ซึ่งเป็นกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง ใช้บำบัดสีและอีกทั้งยังสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งได้ แต่กระบวนการเหล่านี้มีราคาแพง

กระบวนการดูดซับ คือ กระบวนการที่อะตอมหรือโมเลกุลหรือไอออนของสารที่ถูกดูดซับ เข้ามายึดเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวอนุภาคของตัวดูดซับด้วยแรงทางเคมีหรือฟิสิกส์ [3] โดยสมบัติของตัวดูดซับต้องเป็นวัสดุที่มีรูพรุน และมีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก เช่น ซีโอไลต์ อะลูมินา ซิลิกาเจล และถ่านกัมมันต์ โดยถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับชั้นดี ที่ถูกนำมาใช้เป็นอย่างมากในการกำจัดสารพิษต่าง ๆ สามารถดูดซับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้หลายชนิด เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนสูง มีพื้นที่ผิวมาก (มากถึง $2000 \text{ m}^2/\text{g}$) และการมีหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ที่พื้นผิว (surface functional groups) ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่โครงสร้างรูพรุนมีความซับซ้อน สามารถผลิตได้จากวัสดุทุกชนิดที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางการค้า ได้แก่ ถ่านหิน ลิกไนต์ และกะลามะพร้าว เป็นต้น นอกจากนั้น ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ เช่น กากงา [4] กากกาแฟ [5] และชานอ้อย [6] เป็นต้น สำหรับตัวอย่างประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ การบำบัดน้ำ การบำบัดน้ำเสีย [7] การผลิตอาหารและเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ การนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ ใช้เป็นยารักษาโรค การกำจัดกลิ่น การกำจัดสารพิษ การแยกแก๊ส และตัวเร่งปฏิกิริยา [8]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาถูก อีกทั้งกระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการที่เข้าใจได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก และไม่ซับซ้อน โดยทำการศึกษาในกระบวนการดูดซับแบบกะ เพื่อทดสอบเบื้องต้นถึงความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการนี้และแบบหอดูดซับ (แบบต่อเนื่อง) เพื่อจำลองลักษณะการบำบัดที่สามารถนำไปขยายขนาดเพื่อใช้ในการบำบัดจริง

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นถ่านกัมมันต์ทางการค้า จาก บริษัท ซีไอแกนนติกคาร์บอน จำกัด จ.นครราชสีมา มีลักษณะเป็นผงสีดำ โดยมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย เป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น ซึ่งเป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพของทางโรงงานแล้ว

ตารางที่ 1 สมบัติต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติ	
ความชื้น (%)	8.5
ปริมาณเถ้า (%)	5.4
ค่า pH	10.5
ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm ³)	0.51
การกระจายขนาด (%)	
เกิน 325 mesh	5.6
ผ่าน 325 mesh	94.4

2.2 การวิเคราะห์สมบัติรูพรุนของถ่านกัมมันต์

การศึกษาสมบัติรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ทำโดยการวัดความสามารถในการดูดซับแก๊ส N₂ ที่อุณหภูมิ -196°C ด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (ASAP 2010, Micromeritics) ซึ่งสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ พื้นที่ผิว (surface area, S_{BET}) โดยใช้สมการของ Brunauer-Emmett-Teller (BET) ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก (micropore volume, V_{mic}) โดยใช้สมการของ Dubinin-Radushkevich (DR) ปริมาตรรูพรุนรวม (total pore volume, V_T) โดยวัดที่ความดันสัมพัทธ์ (relative pressure, P/P₀) = 0.99 ปริมาตรรูพรุนขนาดกลางและขนาดใหญ่ (V_{meso+mac}) คำนวณจากปริมาตรรูพรุนรวมลบด้วยปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก และขนาดรูพรุนเฉลี่ย (average pore diameter, D_p) คำนวณจากสมการ (4V_T)/S_{BET}

2.3 กระบวนการดูดซับแบบกะ

2.3.1 การศึกษาเวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับสีในกระบวนการดูดซับแบบกะ

นำถ่านกัมมันต์ปริมาณ 1 กรัม แฉ่งลงในน้ำเสียจริงจากโรงงานปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 ถึง 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้น นำตัวอย่างไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ และนำตัวอย่างที่ผ่านการกรอง ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรสโคปี (G11034, Agilent) ที่ความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) 400 นาโนเมตร คำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสี จากสมการที่ (1)

$$\% \text{ removal} = \left[\frac{\text{Abs}_0 - \text{Abs}_t}{\text{Abs}_0} \right] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ Abs_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียเริ่มต้น และ Abs_t คือ ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียภายหลังการดูดซับที่เวลาต่าง ๆ

2.3.2 การศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับสีในกระบวนการดูดซับแบบกะ

ใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.25 0.5 1 และ 1.5 กรัม แสงในน้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 ถึง 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้น นำตัวอย่างไปกรองและวัดค่าการดูดกลืนแสง คำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสีดังสมการที่ (1)

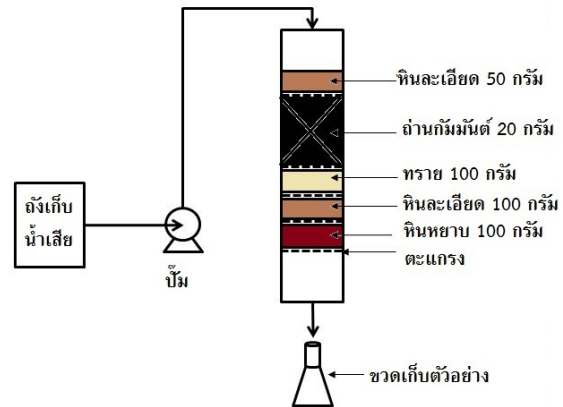
2.4 การศึกษาการกระบวนการดูดซับสีจากน้ำเสียจริงในแบบหอดูดซับ (แบบต่อ เนื่อง)

ศึกษาโดยการสร้างหอดูดซับที่บรรจุถ่านกัมมันต์ จำนวน 7 คอลัมน์ โดยแต่ละคอลัมน์ใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 20 กรัม หินละเอียด 150 กรัม หินหยาบ 100 กรัม และทราย 100 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยทำการทดลองการดูดซับสีด้วยคอลัมน์ที่บรรจุเฉพาะหินละเอียด หินหยาบ และทราย เพื่อตรวจสอบว่าวัสดุเหล่านี้มีผลต่อการดูดซับสีหรือไม่ พบว่า คอลัมน์ที่บรรจุเฉพาะวัสดุเหล่านี้ ไม่สามารถดูดซับสีได้ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นผง เมื่อละลายน้ำทำให้มีความหนืดสูง ถ้าบรรจุลงในหอดูดซับโดยตรง ทำให้เกิดการอุดตัน ดังนั้น จึงต้องทำการผสมหินละเอียด หินหยาบ และทราย ลงในหอดูดซับด้วย

จากนั้น ป้อนน้ำเสียจริงปริมาตร 2000 มิลลิลิตร จากถังเก็บน้ำเสีย ให้ไหลเข้าทางด้านบนของหอดูดซับ โดยใช้ความเร็วของปั๊มเท่ากับ 20 สโตรก ซึ่งได้อัตราการไหลเข้าหอดูดซับของน้ำเสีย 10

มิลลิลิตรต่ออนาที เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านหอดูดซับแต่ละคอลัมน์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงและคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสีตามสมการที่

(1)



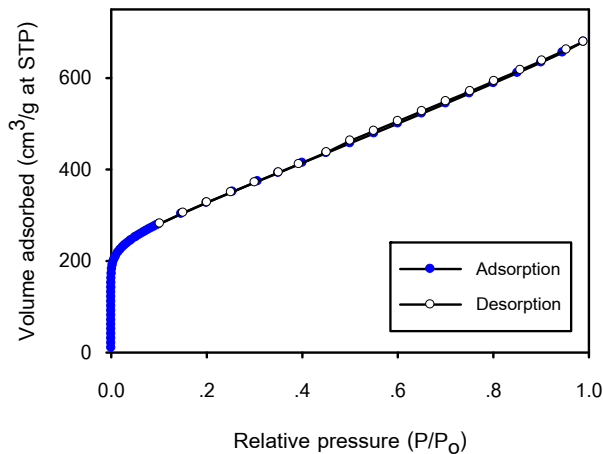
รูปที่ 1 การศึกษาการดูดซับสีในกระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ

3. ผลการทดลองและอภิปราย

3.1 สมบัติรูปพรุนของถ่านกัมมันต์

การศึกษาสมบัติรูปพรุนของถ่านกัมมันต์โดยการดูดซับแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -196°C ได้ไอโซเทิร์มการดูดซับ แสดงในรูปที่ 2 พบว่า เมื่อความดันสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับแก๊สไนโตรเจนมีค่าสูงขึ้น โดยไอโซเทิร์มการดูดซับที่ได้เป็นไอโซเทิร์มการดูดซับชนิดที่ 4 เมื่อแบ่งตาม IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) [9] ซึ่งแสดงลักษณะการดูดซับของตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดกลาง

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติรูปพรุนที่ได้จากไอโซเทิร์มการดูดซับแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -196°C พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัยมีพื้นที่ผิว 1,129 ตารางเมตรต่อกรัม มีปริมาตรรูพรุนรวม 1.05 ตาราง



รูปที่ 2 ไอโซเทอริมการดูดซับ (สัญลักษณ์ทึบ) และการคายซับ (สัญลักษณ์โปร่ง) ของแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -196°C ของถ่านกัมมันต์

เซนติเมตรต่อกรัม โดยเป็นปริมาตรรูพรุนขนาดกลาง และขนาดใหญ่ถึง 96% และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 3.72 นาโนเมตร โดย IUPAC ได้แบ่งขนาดรูพรุนของตัวดูดซับออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ รูพรุนขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง < 2 นาโนเมตร) รูพรุนขนาดกลาง (เส้นผ่านศูนย์กลาง $2 - 50$ นาโนเมตร) และรูพรุนขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง > 50 นาโนเมตร) [10] ดังนั้น ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัยจึงเป็นตัวดูดซับที่มีรูพรุนเป็นขนาดกลาง

รูปที่ 3 แสดงการศึกษาเวลาในการดูดซับสีจากน้ำเสียในกระบวนการดูดซับแบบกะ โดยใช้น้ำเสียทั้ง 3 วัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสียในแต่ละวัน มีค่าเท่ากัน กล่าวคือ ประมาณ 80% จากปริมาณของถ่านกัมมันต์เริ่มต้น 1 กรัม ถึงแม้ว่า ความเข้มข้นสีของน้ำเสียในแต่ละวันจะแตกต่างกัน (ดังตารางที่ 3) โดยเมื่อเวลาการดูดซับเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การ

กำจัดสีจะเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่สมดุลที่เวลาในการดูดซับประมาณ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 สมบัติรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัย

S_{BET} (m^2/g)	V_{mic} (cm^3/g)	$V_{\text{meso+mac}}$ (cm^3/g)	V_{T} (cm^3/g)	D_p (nm)
1129	0.04 (4%)	1.01 (96%)	1.05	3.72

3.2 ผลการบำบัดสีในกระบวนการดูดซับแบบกะ

3.2.1 เวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับสีใน

กระบวนการดูดซับแบบกะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจริงเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บได้ มีค่าการดูดกลืนแสง ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า น้ำเสียในแต่ละวัน มีค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันอย่างไม่น่าสำคัญ ซึ่งสีของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษนี้เกิดจากการมีองค์ประกอบของลิกนิน

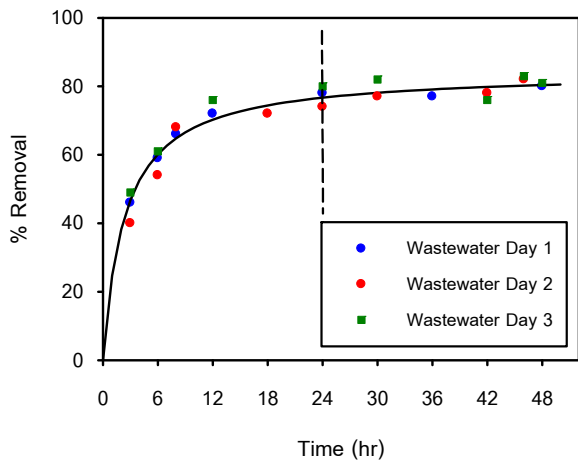
ตารางที่ 3 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง

วันที่เก็บน้ำเสีย	ค่าการดูดกลืนแสง
Day 1	0.621
Day 2	0.886
Day 3	0.600

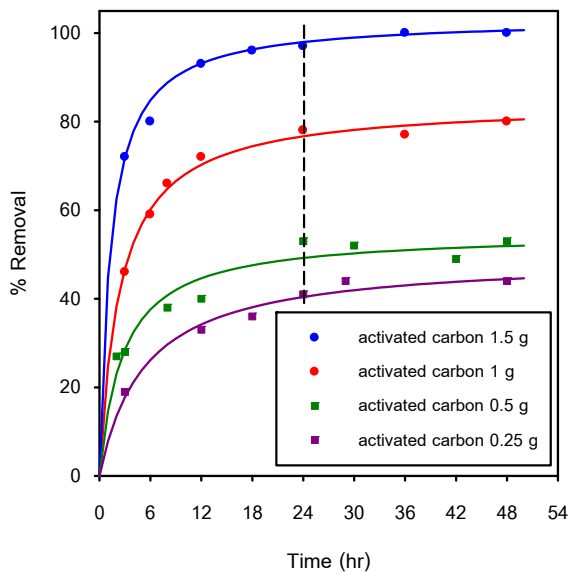
3.2.2 การศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับสี ในกระบวนการดูดซับแบบกะ

รูปที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำเสีย ในวันที่ 1 หรือ Day 1 (ใช้น้ำเสียเพียง 1 วัน เนื่องจากความเข้มข้นสีของน้ำเสียในแต่ละวัน ไม่มีผลต่อการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 3) ด้วยถ่านกัมมันต์ปริมาณต่าง ๆ

พบว่า ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.25 0.5 1 และ 1.5 กรัม ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด คือ 40 50 80 และ 100% ตามลำดับ กล่าวคือ เมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดสีก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยสามารถกำจัดสีได้ 100% เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 1.5 กรัม นอกจากนี้ ยังพบว่าเวลาในการดูดซับที่เข้าสู่สมดุลสำหรับทุก ๆ การทดลอง คือ 24 ชั่วโมงเช่นกัน



รูปที่ 3 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำเสียในแต่ละวัน ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ ในกระบวนการดูดซับแบบกะ (ปริมาณถ่านกัมมันต์ 1 กรัม)



รูปที่ 4 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำเสียที่ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่าง ๆ (ตัวอย่างน้ำเสียวันที่ 1 หรือ Day 1)

รูปที่ 5 เปรียบเทียบสีของน้ำเสียเริ่มต้นและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณต่างๆ ที่เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีสูงสุด ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น ความเข้มสีของน้ำเสียจะลดลง โดยถ่านกัมมันต์ปริมาณ 1.5 กรัม สามารถกำจัดสีของน้ำเสีย ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ได้อย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 5 (ง)



(ก) ถ่านกัมมันต์ 0.25 กรัม
ประสิทธิภาพการกำจัด 40%



(ข) ถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม
ประสิทธิภาพการกำจัด 50%



(ค) ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม
ประสิทธิภาพการกำจัด 80%



(ง) ถ่านกัมมันต์ 1.5 กรัม
ประสิทธิภาพการกำจัด 100%

รูปที่ 5 การเปรียบเทียบสีของน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับ ที่ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างๆ กับน้ำเสียเริ่มต้น (ตัวอย่างน้ำเสียวันที่ 1 หรือ Day 1) เมื่อรูปขวดตัวอย่างด้านซ้าย คือ น้ำเสียก่อนการดูดซับ รูปขวดตัวอย่างด้านขวา คือ น้ำเสียหลังการดูดซับ

3.3 ผลการบำบัดสีในกระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ

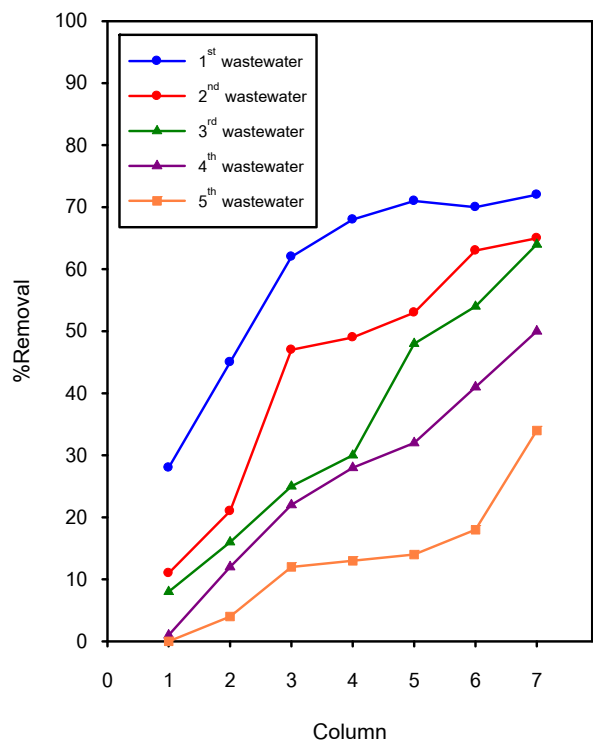
3.3.1 การดูดซับสีของน้ำเสียในกระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ

จากการทดลองการกำจัดสีโดยใช้กระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ โดยให้น้ำเสีย (ใช้ตัวอย่างน้ำเสียวันที่ 1 หรือ Day 1) ผ่านหอดูดซับทั้งหมด 7 คอลัมน์ ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านคอลัมน์ที่ 1 ถึงคอลัมน์ที่ 7 (เส้น 1st wastewater) พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนหอดูดซับ ประสิทธิภาพในการดูดซับมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสีย เริ่มคงที่ที่คอลัมน์ที่ 4 ซึ่งสามารถกำจัดสีได้สูงสุดประมาณ 70%

เพื่อเป็นตรวจสอบการใช้งานของหอดูดซับแต่ละคอลัมน์ ได้ทำการทดลองโดยผ่านน้ำเสียเข้าไปในคอลัมน์ ทั้งหมด 5 ครั้ง (เส้น 2nd – 5th wastewater) พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีของแต่ละคอลัมน์ลดลง เมื่อทำการทดลองในครั้งที่ 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ โดยหอดูดซับคอลัมน์ที่ 1 จะไม่สามารถใช้งานได้ (ประสิทธิภาพการกำจัดสีเป็นศูนย์) เมื่อทำการดูดซับน้ำเสียไปแล้ว 5 ครั้ง โดยประสิทธิภาพของการกำจัดสียังคงสูงขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนหอดูดซับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของกระบวนการดูดซับแบบกะและกระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ โดยสำหรับกระบวนการดูดซับแบบกะ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 1.5 กรัม ต่อน้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิลิตร สามารถกำจัดสีได้ 100% ส่วนกระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ เมื่อใช้หอดูดซับจำนวน 4 คอลัมน์ ต้องใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ทั้งหมด 80 กรัม (คอลัมน์ละ 20 กรัม) ต่อน้ำเสียปริมาตร 2000 มิลลิลิตร สามารถกำจัดสีได้ 70%

ดังนั้น สำหรับกระบวนการดูดซับแบบกะ เมื่อคิดปริมาตรน้ำเสียเท่ากับกระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับคือ 2000 มิลลิลิตร จะต้องใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 60 กรัม จึงจะสามารถบำบัดน้ำเสียได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กระบวนการดูดซับแบบกะใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์น้อยกว่ากระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ 20 กรัม และได้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่า อย่างไรก็ตาม กระบวนการดูดซับแบบกะ ต้องใช้เวลาในการดูดซับถึง 24 ชั่วโมง ในขณะที่กระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ ใช้เวลาในการดูดซับ 12 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบโดยใช้เวลาในการดูดซับเท่ากันคือ 12 ชั่วโมง ปริมาตรน้ำเสีย 2000 มิลลิลิตร พบว่า กระบวนการดูดซับแบบกะ ให้ประสิทธิภาพในการ



รูปที่ 6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีจากน้ำเสียโดยใช้กระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ (ตัวอย่างน้ำเสียวันที่ หรือ Day 1) เมื่อใช้หอดูดซับจำนวน 7 คอลัมน์ และทำการบำบัดทั้งหมด 5 ครั้ง

กำจัดสี 92% ซึ่งยังสูงกว่ากระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ (70%) และใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์น้อยกว่า 20 กรัม ดังนั้น กระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้อยกว่ากระบวนการดูดซับแบบกะ

ตารางที่ 4 ปริมาณและราคาถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

ระบบการดูดซับ	% การกำจัดสี	ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคาถ่านกัมมันต์ (บาท)
แบบกะ	100	30	1,950
	80	20	1,300
	50	10	650
	40	5	325
แบบหอดูดซับ	70 (4 คอลัมน์)	40	2,600
	60 (3 คอลัมน์)	30	1,950
	45 (2 คอลัมน์)	20	1,300
	30 (1 คอลัมน์)	10	650

เมื่อทำการคำนวณราคาถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการบำบัด โดยคิดราคาต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ทั้งระบบการดูดซับแบบกะ และระบบการดูดซับแบบหอดูดซับ จะมีค่าใช้จ่ายดังแสดงในตารางที่ 4 โดยถ่านกัมมันต์ราคา 65 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งถ้าต้องการประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงขึ้น ก็ต้องใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์มากขึ้น และต้องเสียค่าถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นเช่นเช่นกัน แต่กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ยังถือได้ว่ามีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับ

กระบวนการบำบัดสีโดยวิธีการโฟโตแคตาไลซิส โดยใช้สารไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (กระบวนการแบบกะ) ซึ่งใช้ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 4 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร ได้ประสิทธิภาพการกำจัด 70% [1] และถ้าหากต้องการบำบัดน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 4 กิโลกรัม โดยไทเทเนียมไดออกไซด์ มีราคา กิโลกรัมละ 650 บาท [11] จะมีค่าใช้จ่าย 2,600 บาท ในขณะที่ ถ้าใช้กระบวนการดูดซับแบบกะด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้ประสิทธิภาพถึง 100% จะมีค่าใช้จ่ายเพียง 1,950 บาท

4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ โดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในกระบวนการดูดซับแบบกะ และกระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับพบว่า เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสียในปริมาตรที่เท่ากัน พบว่า กระบวนการดูดซับแบบกะใช้ ปริมาณของถ่านกัมมันต์น้อยกว่ากระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ โดยให้ประสิทธิภาพในการกำจัด 100 % ในขณะที่กระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับให้ประสิทธิภาพในการกำจัด 70 % แต่กระบวนการดูดซับแบบกะใช้เวลาในการดูดซับ (24 ชั่วโมง) นานกว่ากระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ (12 ชั่วโมง) และเมื่อเปรียบเทียบโดยใช้เวลาในการดูดซับและปริมาตรน้ำเสียเท่ากัน พบว่า กระบวนการดูดซับแบบกะ ยังคงให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่ากระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ และยังใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์น้อยกว่า ดังนั้น กระบวนการดูดซับแบบ

กะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากกว่ากระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการบำบัดสีน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาถูก และกระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน เหมือนกระบวนการบำบัดอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และกองทุนวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอขอบคุณ บริษัท ซีไอแกนต์คาร์บอน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ถ่านกัมมันต์

เอกสารอ้างอิง

- [1] ภิญญ์ทิศา มุ่งการดี, ฉลาด บรรเทา และชูสิทธิ์ ศรีสุทธิภักมล. "การบำบัดสีน้ำเสียโรงงานกระดาษด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์" การประชุมวิชาการเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2551.
- [2] วราภรณ์ อภิวัดนาภิวัด, ต่อบงศ์ กวีธาชาติ และพิลาณี ไวถนอมสัจย์. "การลดสีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษโดยไอโซนออกซิเดชัน" การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45. 2550.
- [3] พูนศิริ หอมจันทร์. "การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกสับปะรดโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี" รายงานการศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตร

มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2550.

- [4] ปัญจพัชรกร บุญพร้อม. "การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติโดยระบบบึงประดิษฐ์". วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, 2554. 12.
- [5] Boonamnuyvitaya V, Sae-ung S, Tanthapanichakoon W. "Preparation of activated carbons from coffee residue for the adsorption of formaldehyde". Separation and Purification Technology, 2005. 42: p. 159-168.
- [6] Punsuwan N, Tangsathitkulchai C, Tangsathitkulchai M. "Chemically activated carbon from bagasse and the removal of chromium from aqueous solution with activated carbon". Suranaree Journal of Science and Technology, 2006. 13: p. 143-158.
- [7] มัลลิกา ถานบุตร. "ถ่านกัมมันต์จากกากงา". วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, 2553. 11.
- [8] Mozammel HM, Masahiro O, Bhattacharya SC. "Activated charcoal from coconut shell using $ZnCl_2$ activation". Biomass and Bioenergy, 2002. 22: p. 397-400.
- [9] Duong D. Do. "Adsorption analysis: equilibrium and kinetics" Uto – Print. Singapore. 1998.

- [10] Partrick J.W. "Porosity in carbons: characterization and applications" Edward Arnold. London. 1995.
- [11] Bakerylands. "Titanium Dioxide" <http://www.Bakeryland2008.com>. 2008.