

**การบำบัดสีอะมิโดแบล็คด้วยวิธีการตกตะกอนอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับการดูดซับ
ด้วยถ่านกัมมันต์หรือดิน**

สุบัตติ นิมรัตน์^{1*} อรวรรณ สมบูรณ์เงิน² และวีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย³

**Amido black treatment by precipitation with aluminum chloride and adsorption
with activated carbon or soil**

Subuntith Nimrat,^{1*} Orawan Somboonngern² and Verapong Vuthiphandchai³

¹ภาควิชาจุลชีววิทยาและโครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

³ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

*Corresponding author. E-mail: subunti@buu.ac.th

บทคัดย่อ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการบำบัดสีอะมิโดแบล็คด้วยวิธีผสมผสานระหว่างวิธีทางเคมีคือ การตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับวิธีทางกายภาพคือ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์หรือดิน โดยมี 4 ชุดการทดลอง คือ ชุดที่ 1: การตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ต่อการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ชุดที่ 2: การตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ต่อการดูดซับด้วยดิน ชุดที่ 3: การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ต่อการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ และชุดที่ 4: การดูดซับด้วยดินต่อการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้สีอะมิโดแบล็คเป็นตัวแทนของสีอะโซ ผลการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ 3 คือการบำบัดด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ตามด้วยการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์สามารถกำจัดความเข้มของสีได้ดีที่สุดคือจากสีน้ำเงินเข้มสุด (ระดับ 0) ลดลงเป็นไม่มีสีน้ำเงินของสีอะมิโดแบล็คหลงเหลืออยู่ (ระดับ 10) และสามารถลดค่าซีไอของน้ำสีเท่ากับ 99.26 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชุดการทดลองที่ 1 พบว่าสามารถกำจัดความเข้มของสีได้ดีที่สุดเช่นกัน คือ ระดับ 0 ลดลงเป็นระดับ 10 และสามารถลดค่าซีไอของน้ำสี เท่ากับ 94.56 ± 0.75 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 2 และ 4 พบว่าสามารถกำจัดความเข้มของสี

ได้ดี คือ เปลี่ยนจากระดับ 0 ลดลงเป็นระดับ 10 แต่จะมีสีน้ำตาลอ่อนของสีดินปะปนออกมา และสามารถลดค่าซีโอดีของน้ำสีเท่ากับ 37.30 ± 9.05 และ 14.40 ± 9.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: สีอะมิโดแบล็ค สีอะโซ การตกตะกอน การดูดซับ ถ่านกัมมันต์ อะลูมิเนียมคลอไรด์ ดิน

Abstract

The objective of the present study is to assay the hybrid process between the chemical process (the precipitation with aluminium chloride) and the physical process (the adsorption with activated carbon or soil) for amido black treatment. There were 4 treatments: (T1) Precipitation with aluminium chloride followed by adsorption with activated carbon, (T2) Precipitation with aluminium chloride followed by adsorption with soil, (T3) Adsorption with activated carbon followed by precipitation with aluminium chloride, and (T4) Adsorption with soil followed by precipitation with aluminium chloride. Amido black was utilized as the representative of azo dye in this study. Results concluded that T3 (adsorption with activated carbon followed by precipitation with aluminium chloride) demonstrated the best performance for 0.1 mM amido black treatment in terms of color intensity reduction from score 0 (the highest deep blue color intensity) to score 10 (the lowest color intensity as clear color) and COD reduction for $99.26 \pm 0.16\%$. T1 showed the decrease of color intensity from score 0 to score 10 with COD reduction for $94.56 \pm 0.75\%$. T2 and T4 can also reduced the color intensity from score 0 to score 10 with light brown color from soil filtrate and decrease the COD for $37.30 \pm 9.05\%$ and $14.40 \pm 9.66\%$, respectively.

Keywords: Amido Black Azo dye, Coagulation, Adsorption, Activated carbon, Aluminium chloride, Soil

บทนำ

ประเทศไทยในปัจจุบันมีการพัฒนาชุมชนตลอดจนพัฒนาอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้นทำให้มีปริมาณน้ำเสียเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอีกแหล่งหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ เนื่องจากมีการใช้สีย้อมในกระบวนการผลิต โดยอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องการใช้น้ำและสารเคมีในกระบวนการผลิตจึงก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ในกระบวนการล้างสิ่งทอนั้น ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีมากถึง 150 ลิตรต่อสิ่งทอ 1 กิโลกรัม นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตจะใช้เกลืออนินทรีย์ต่าง ๆ กรดและสารลดแรงตึงผิวปริมาณมาก เพื่อทำให้ผ้าติดสีย้อมได้ดียิ่งขึ้น คงทน และมีความเป็นมันเงา (Stem *et al.*, 2003) นอกจากอุตสาหกรรมสิ่งทอแล้วยังมีอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่ผลิตน้ำเสียที่มีสีปนเปื้อน ได้แก่ อุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า สิ่งพิมพ์ การถ่ายภาพ อุตสาหกรรมพลาสติกและอื่นๆ และมีการคาดการณ์กันว่าปริมาณการใช้สีย้อมจะเพิ่มมากขึ้นทุกปี น้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เหล่านี้จะถูกปนเปื้อนด้วยสีย้อม ชนิดต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสีย้อมที่ได้จากการสังเคราะห์มากกว่าสีย้อมจากธรรมชาติ เนื่องจากสีย้อมสังเคราะห์มีการผลิตได้ในปริมาณมากและมีคุณภาพที่แน่นอนกว่าสีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ รวมทั้งสีสังเคราะห์ยังหาได้ง่ายและมีราคาถูกกว่าสีย้อมธรรมชาติประเภทเดียวกันดังนั้นสีสังเคราะห์จึงได้รับความนิยมมากกว่า (Zoolinger, 1987) ในปัจจุบันทั่วโลกมีการผลิตสีสังเคราะห์ในปริมาณที่สูงมาก ยกตัวอย่างเช่น ในประเทศอินเดียมีการผลิตสีย้อมในปริมาณสูงถึง 60,000 ตันต่อปี คิดเป็น 6.6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณสีที่ผลิตขึ้นทั่วโลก (Shenai, 1995) อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้สีย้อมที่สังเคราะห์ขึ้นมากที่สุด ประมาณ 2 ใน 3 ของมูลค่าการตลาดทั้งหมด (Anjaneyulu *et al.*, 2005)

สีกลุ่มอะโซเป็นกลุ่มสีที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเป็นกลุ่มสีที่มีการผลิตมากที่สุด คิดเป็นเกือบ 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสีที่ผลิตทั้งหมดทั่วโลก (Forgacs *et al.* 2004) ส่งผลให้สีอะโซเป็นสีกลุ่มใหญ่ที่สุดที่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (Chang *et al.*, 2001) ในปริมาณมากที่สุด สีอะโซเป็นที่นิยมในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลายทั่วโลก ในปัจจุบันนั้นเป็นเพราะสีกลุ่มนี้เป็นสีที่มีราคาถูกผลิตได้ง่ายในปริมาณมาก มีความเสถียรและมีหลายเฉดสีให้เลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสม (Chang *et al.*, 2004) กลุ่มสีอะโซมีสีประมาณ 300 ชนิดที่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ, อาหาร, เครื่องสำอางและเภสัชภัณฑ์ ซึ่งอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นแหล่งที่ใช้สีย้อมจำนวนมาก โดยทั่วไปแล้วมีประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของแหล่งอุตสาหกรรมนั้น จะใช้สารประกอบอะโซเป็นสีในการผลิต เนื่องจากเป็นสีสว่าง มีความคงตัวในน้ำและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีได้ง่าย อีกทั้งมีการกระจายตัวของสีที่สม่ำเสมอซึ่งล้วนแล้วเป็นคุณสมบัติที่ดีและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคจึงได้นำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการย้อมสี polyester, nylon

และ acrylic fibers สีอะซิโหมิหมู่อะไซ (-N=N-) อยู่ 1 หรือมากกว่า 1 (Cruz and Buitron, 2001) ซึ่งเป็นสีย้อมสังเคราะห์ที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนทำให้สีเหล่านี้มีความคงตัวสูง ทนต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในธรรมชาติทำให้น้ำเสียที่เกิดจากโรงงานการผลิตสีย้อมไม่สามารถที่จะกำจัดออกได้ โดยวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป จึงส่งผลให้ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมในปริมาณมาก ด้วยเหตุนี้เอง จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดสีย้อมที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียด้วยวิธีการต่าง ๆ

ในการบำบัดน้ำเสียนั้นจะอาศัยวิธีทางกายภาพและ/หรือวิธีทางเคมีโดยในแต่ละวิธีจะมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่แตกต่างกัน การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพเป็นวิธีที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการบำบัด ซึ่งเป็นเพียงการแยกขยะออกจากน้ำเสียเท่านั้น การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีเป็นการกำจัดแยกสารละลายที่อยู่ในน้ำเสียออกมา (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2539) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีต่าง ๆ อาจมีความสามารถในการกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆ ได้หลายชนิด แต่อาจเป็นส่วนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถหลัก สำหรับการลงทุนติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีต่างๆ อาจมีราคาต่ำ อาทิเช่น 25 สตางค์ต่อการบำบัดน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร หรืออาจมีราคาสูงถึง 20 บาทต่อการบำบัดน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร และการบำบัดน้ำเสียไม่ได้ ใช้เพียงวิธีใดวิธีหนึ่งในการบำบัด แต่เป็นการผสมผสานกันหลายวิธีจึงยากที่จะสรุปผลว่าวิธีใดเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด นอกเหนือจากความรู้ด้านวิชาการแล้วยังต้องอาศัยข้อมูลในอดีตที่ได้เคยทำกันมาด้วยจึงจะได้ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง ประหยัดค่าใช้จ่ายและเหมาะสมที่สุด (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2539)

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบผสมผสาน โดยเริ่มต้นจากการศึกษาถึงการบำบัดสีกลุ่มอะไซ โดยใช้สีอะมิโดแบล็คเป็นตัวอย่างเนื่องจากสีเป็นสีย้อมที่นิยมใช้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมชนิดต่าง ๆ ถึงร้อยละ 60-70 ของสีทั้งหมด (Shaul *et al.*, 1991; Chen, 2002) เพื่อเป็นพื้นฐานในการบำบัดน้ำเสียจริงต่อไป โดยได้ทำการศึกษาการบำบัดสีอะมิโดแบล็คในความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่นิยมใช้ในการศึกษาการบำบัดสารที่ย่อยสลายได้ยาก (สุดสายชล หอมทอง และสุบันจิต นิมรัตน์, 2550; Baran *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2012; Nishide and Shoda, 2012) และในการศึกษานี้จะทำการศึกษาร่วมด้วยวิธีการทางเคมีผสมผสานกับวิธีทางกายภาพหลายวิธีเพื่อตรวจหาวิธีการผสมผสานแบบใดจะเหมาะสมที่สุดในการบำบัดสีอะมิโดแบล็ค

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

1. วิธีการเตรียมสีย้อมมิโดแบล็ค (Nimrat *et al.*, 2004)

การเตรียมสีย้อมมิโดแบล็คจะเตรียมด้วยการละลายด้วยตัวทำละลาย Dimethyl Sulfoxide (DMSO) เพราะสีย้อมมิโดแบล็คละลายในน้ำได้น้อยมาก และปรับสีย้อมมิโดแบล็คความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ในน้ำที่ปราศจากเชื้อ

2. การศึกษาการบำบัดสีย้อมมิโดแบล็คที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ (Nimrat *et al.*, 2004)

ในขั้นตอนนี้แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง

2.1 การทดลองชุดที่ 1 การศึกษาการบำบัดสีย้อมมิโดแบล็คด้วยวิธีทางเคมีคือการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ตามด้วยวิธีทางกายภาพคือการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

2.1.1 ศึกษาการบำบัดสีย้อมมิโดแบล็คด้วยวิธีการทางเคมีคือการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์

ทำการทดลองโดยนำสารละลายสีย้อมมิโดแบล็ค ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 250 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เท่ากับ 8.0 เพื่อให้สภาพเหมาะสมต่อการทำงานของสารตกตะกอน โดยการเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1 นอร์มอล จากนั้นเติมสารตกตะกอน ได้แก่ อะลูมิเนียมคลอไรด์ ($AlCl_3$) 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อจากนั้นนำไปกวนเร็วที่ 100 rpm เป็นเวลา 2 นาที ต่อด้วยการกวนช้า ๆ ที่ 40 rpm เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปรับพีเอชให้เท่ากับ 7.0 เพื่อให้สภาพเหมาะสมต่อการตกตะกอนโดยการเติมกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อแยกตะกอนและน้ำออกจากกัน ต่อมาทำการทิ้ง บันทึกลงโดยวัดปริมาณซีไอดีพีเอช และระดับความเข้มของสีในส่วนน้ำต่อไป

2.1.2 ศึกษาการบำบัดสีย้อมมิโดแบล็คด้วยวิธีการทางกายภาพคือการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

นำสารละลายสีย้อมมิโดแบล็คที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีทางเคมีมาทำการทดสอบการกำจัดสีย้อมมิโดแบล็ค ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านกัมมันต์ 200 กรัม บรรจุลงในคอลัมน์ ขนาด 250 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นตัวรองรับสีที่ผ่านการกรอง เทสารละลายสีย้อมมิโดแบล็คความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ลงในคอลัมน์อย่างละ 250 มิลลิลิตร ในแต่ละตัวอย่าง บันทึกลงโดยวัดค่าซีไอดีและระดับความเข้มของสี

2.2 การทดลองชุดที่ 2 การศึกษาการบำบัดสีย้อมมิโดแบล็คด้วยวิธีทางเคมีคือการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียม-คลอไรด์ต่อเนื่องด้วยวิธีทางกายภาพคือการดูดซับด้วยดิน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองชุดที่ 1 แต่ในศึกษาการบำบัดสีย้อมมิโดแบล็คด้วยวิธีการทางกายภาพ เปลี่ยนจากการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับด้วยดินแทน

2.3 การทดลองชุดที่ 3 การศึกษาการบำบัดสีอะมิโดแบล็คด้วยวิธีทางกายภาพคือการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ต่อเนื่องด้วยวิธีทางเคมีคือการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์

2.3.1 ศึกษาการบำบัดสีอะมิโดแบล็คด้วยวิธีการการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 2.1.2 การทดลองชุดที่ 1

2.3.2 ศึกษาการบำบัดสีอะมิโดแบล็คด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 2.1.1 การทดลองชุดที่ 1

2.4 การทดลองชุดที่ 4 การศึกษาการบำบัดสีอะมิโดแบล็คด้วยการดูดซับด้วยดินและการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียม-คลอไรด์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองชุดที่ 3 แต่ในศึกษาการบำบัดสีอะมิโดแบล็คด้วยวิธีการทางกายภาพ เปลี่ยนจากการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับด้วยดินแทน

ผลการทดลอง

1. การศึกษาการบำบัดสีอะมิโดแบล็คที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ โดยวิธีการทางเคมีด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์และทางกายภาพด้วยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาการบำบัดสารละลายสีอะมิโดแบล็คที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ โดยวิธีการทางเคมีด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ และทางกายภาพด้วยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ได้ผลการทดลองแสดง ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ปริมาณซีโอดีของสีอะมิโดแบล็กที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ หลังจากผ่านการบำบัดด้วยวิธีการ ตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์หรือดิน

ชุดการทดลอง	ค่าซีโอดีเริ่มต้น (mg/l)	ขั้นตอนที่1	ค่าซีโอดี (mg/l)	ขั้นตอนที่2	ค่าซีโอดีทั้งหมด (mg/l)
1	6,500.00	ตกตะกอนด้วย $AlCl_3$	3,100.00	การดูดซับด้วย AC	350.00
2	6,366.67	ตกตะกอนด้วย $AlCl_3$	3,400.00	การดูดซับด้วยดิน	3,966.67
3	6,333.33	การดูดซับด้วย AC	52.67	ตกตะกอนด้วย $AlCl_3$	44.67
4	6,300.00	การดูดซับด้วยดิน	10,000.00	ตกตะกอนด้วย $AlCl_3$	5,333.34

หมายเหตุ: AC; ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon), $AlCl_3$; อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminium chloride)

ตารางที่ 2 ผลการบำบัดสีอะมิโดแบล็กที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ หลังจากผ่านการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์หรือดิน

ชุดการทดลอง	ขั้นตอนที่1	% การลดลงของซีโอดี	ระดับความเข้มของสี	ขั้นตอนที่ 2	% การลดลงของ ซีโอดี	ระดับความเข้มของสี	% การลดลงของ ซีโอดีทั้งหมด	ระดับความเข้มของสี
1	ตกตะกอนด้วย $AlCl_3$	51.98 ± 4.78	1	การดูดซับด้วย AC	88.70 ± 0.59	10	94.56 ± 0.75 a	10
2	ตกตะกอนด้วย $AlCl_3$	46.28 ± 6.33	1	การดูดซับด้วยดิน	-18.42 ± 27.47	10	37.30 ± 9.05 b	10
3	การดูดซับด้วย AC	99.16 ± 0.11	10	ตกตะกอนด้วย $AlCl_3$	15.26 ± 2.55	10	99.26 ± 0.16 a	10
4	การดูดซับด้วยดิน	60.91 ± 22.57	10	ตกตะกอนด้วย $AlCl_3$	46.67 ± 1.53	10	14.40 ± 9.66 c	10

หมายเหตุ: AC; ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon), $AlCl_3$; อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminium chloride)

(a,b,c) ตัวอักษรที่แตกต่างกันแทนวิธีการที่ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณซีโอดีมีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

จากตารางที่ 1 และ 2 การบำบัดสีอะมิโดแบล็กที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ โดยวิธีการทางเคมีและกายภาพซึ่งมีความสามารถในการกำจัดสีและค่าซีโอดี โดยในการทดลองชุดที่ 1 นำสีอะมิโดแบล็กมาตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ ต่อเนื่องด้วยนำไปผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ และในการทดลองชุดที่ 2 นำไปผ่านการดูดซับด้วยดิน ส่วนในการทดลองชุดที่ 3 นำสีอะมิโด

แบล็คมาผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ และในการทดลองชุดที่ 4 นำมาผ่านการดูดซับด้วยดิทต่อนิ่งด้วยการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ พบว่าผลการจางลงของสีลดลงจากระดับสีน้ำเงินเข้ม (ระดับ 0) เป็นระดับ 10 คือ ไม่มีสีน้ำเงินเข้มของสีอะมิโดแบล็ค เมื่อเปรียบเทียบกับชุดเปรียบเทียบมาตรฐานระดับสีอะมิโดแบล็ค ดังรูปที่ 1 แต่ตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับด้วยดินนั้นจะมีสีน้ำตาลของดินแทน ในด้านความสามารถในการลดค่าซีไอดี พบว่าการทดลองชุดที่ 3 การนำสีอะมิโดแบล็คมาผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ต่อเนื่องด้วยการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์นั้นมีความสามารถลดค่าซีไอดีได้ดีกว่าการทดลองชุดที่ 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ ลดลงจาก 6,333.33 มิลลิกรัมต่อลิตรเหลือเพียง 47 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 99.26 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความสามารถลดค่าซีไอดีใกล้เคียงกับการทดลองชุดที่ 1 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งค่าซีไอดีนี้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมมาก



รูปที่ 1 ชุดเปรียบเทียบมาตรฐานระดับสีอะมิโดแบล็ค กำหนดให้ 0 เป็นค่าความเข้มสีน้ำเงินเข้มในตอนต้น เจือจางครั้งละ 2 เท่า จนกระทั่งถึงระดับ 10 เป็นค่าความเข้มสีเมื่อไม่มีสีน้ำเงินเข้มของสีอะมิโดแบล็ค

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าระบบบำบัดโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์และตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการกำจัดความเข้มข้นของสีและค่าซีโอดีของสีอะมิโดแบล็คที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ความสามารถในการลดค่าซีโอดีใกล้เคียงกับการบำบัดด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์/ถ่านกัมมันต์ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งค่าซีโอดีที่เหลือนั้นมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 พุทธศักราช 2539 ที่กำหนดไว้เท่ากับ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำเสียอื่น ๆ และเท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ในกรณีของน้ำเสียฟอกย้อม (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554) จากการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Lee และคณะ (2006) ที่ศึกษาความสามารถในการดูดซับสีกลุ่มอะโซ Orange 16 และ Black 5 พบว่าผงถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสีได้ อีกทั้งความสามารถในการดูดซับนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยของค่าพีเอชเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังศึกษาการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์นั้น มีประสิทธิภาพการกำจัดสี Orange 16 ได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สารตกตะกอน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

การบำบัดโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์นั้นเป็นการแยกสารที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งโดยการดูดซับติดกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยลักษณะการดูดซับเริ่มเกิดขึ้นบริเวณส่วนบนของระบบแล้วบริเวณการดูดซับค่อยๆ เคลื่อนลงเกิดที่ส่วนล่างของชั้น จนกระทั่งหมดสภาพการดูดซับที่ส่วนบนของชั้น เมื่อน้ำที่ต้องการบำบัดมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์น้อย ถ่านกัมมันต์จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับที่เพียงพอ จึงสามารถลดค่าซีโอดีได้มาก แต่เมื่อน้ำที่ต้องการบำบัดมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ถ่านกัมมันต์จึงมีพื้นที่ผิวไม่เพียงพอต่อการดูดซับ หรือกล่าวได้ว่าถึงจุดหมดสภาพ (Exhaustion Point) จึงสามารถลดค่าซีโอดีได้น้อยลง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539) ส่วนการดูดซับสีด้วยดินพบว่าดินไม่มีความสามารถในการลดค่าซีโอดีของสีอะมิโดแบล็คแต่สามารถลดปริมาณสี ทั้งนี้อาจเกิดจากสารอินทรีย์ที่มักพบในดินโดยทั่วไปประมาณร้อยละ 5-10 และสารดังกล่าวเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของดินที่มีคุณสมบัติเป็นแคทไอออน (Cation) ซึ่งน่าจะสามารถยึดจับกับสีอะมิโดแบล็คในส่วนของแอนไอออน (Anion) ทำให้สีอะมิโดแบล็คถูกดูดซับและลดค่าซีโอดีของสีอะมิโดแบล็คได้บางส่วน (Charman and Murphy, 2000) สอดคล้องกับการศึกษาของสุคสายชล หอมทอง และ สุพันธ์ นิมรัตน์ (2550) การบำบัดโดยการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์นั้นเป็นการเติมสารเคมีพวกสารสร้างตะกอนผสมกับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยขนาดเล็ก มีการกวนช้าๆ เพื่อให้เกิดสภาพรวมตะกอน ซึ่งได้มีการเกาะกันระหว่างตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กกับสารสร้างตะกอน จนได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตกตะกอนได้ สาเหตุที่ต้องทำการกวน

อย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้สภาพการเกาะตัวกันเกิดการแตกหลุดจากกันของตะกอนขนาดเล็กเหล่านี้ เมื่อน้ำเสียที่ต้องการบำบัดมีอนุภาคของตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กในปริมาณที่เหมาะสมกับปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เติมลงไป อะลูมิเนียมคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเสียที่มีสภาพเป็นด่างเกิดตะกอนรูปร่างคล้ายหัวเข็มหมุดของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium hydroxide: $Al(OH)_3$) ที่สามารถตกตะกอนมารวมกันได้ดี (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539) จึงสามารถลดค่าซีโอดีได้มาก แต่เมื่อน้ำเสียที่ต้องการบำบัดมีอนุภาคของตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กในปริมาณเพิ่มมากขึ้น อะลูมิเนียมคลอไรด์จึงมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา ทำให้เกิดตะกอนลักษณะละเอียดที่เกิดการตกตะกอนรวมกันได้น้อย มีผลทำให้สามารถลดค่าซีโอดีได้น้อยลง และถ้ามีตะกอนละเอียดบางส่วนแขวนลอยอยู่ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะมีผลทำให้ค่าซีโอดีของน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การบำบัดสีอะมิโดแบล็ค ณ ความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 มิลลิโมลาร์ ด้วยสารเคมีต่อเนื่องด้วยถ่านกัมมันต์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และที่วิจัยมีความมุ่งมั่นที่จะทำการศึกษาต่อไปที่จะทำการศึกษาต่อเนื่องถึงการบำบัดสีชนิดนี้หรือสีชนิดอื่นที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นหรือทำการศึกษาถึงการใช่วิธีผสมผสานกับวิธีทางชีวภาพต่อไป เพื่อให้การบำบัดมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถประยุกต์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยาและภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการทดลองและอุปกรณ์ต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2554). ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ สิ่งแวดล้อม เรื่อง มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคม อุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) วันที่ค้นข้อมูล 6 ธันวาคม 2554 เข้าถึงได้จาก [dhttp://infofile.pcd.go.th/law/3_4_water.pdf?CFID=3200441 & CFTOKEN=44656175](http://infofile.pcd.go.th/law/3_4_water.pdf?CFID=3200441 & CFTOKEN=44656175)

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. (2539). การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.

สุดสายชล หอมทอง และสุบันจิต นิมรัตน์. (2550). การพัฒนาระบบบำบัดสีกลุ่มอะโซด้วยวิธีผสมผสาน. วารสาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี, 1(1), 101-112.

- Anjaneyulu, Y., Sreedhara Chary, N. and Samuel Suman Raj, D. (2005). Decolourization of industrial effluents - available methods and emerging technologies: A review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 4, 245-273.
- Baran, W., Makowshi, A., and Wardas, W. (2003). The influence of FeCl₃ on the photocatalytic degradation of dissolved azo dyes in aqueous TiO₂ suspensions. *Chemosphere*, 53, 87-95.
- Chang, J. S., Chen, B. Y. and Lin, Y. S. (2004). Stimulation of bacterial decolorization of an azo dye by extracellular metabolites from *Escherichia coli* strain NO3. *Bioresource Technology*, 91, 243-248.
- Chang, J. S., Chou, C., Lin, Y., Ho, J. and Hu, T. L. (2001). Kinetic characteristics of bacterial azo-dye decolorization by *Pseudomonas luteola*. *Water Research*, 35, 2841-2850.
- Charman, P. E. V. and Murphy, B. W. (2000). *Soils: their properties and management*, 2nd edition. New South Wales: Land and water conservation.
- Chen, B. Y. (2002). Understanding decolorization characteristics of reactive azo dyes by *Pseudomonas luteola*: toxicity and kinetics. *Process Biochemistry*, 38, 437-446.
- Cruz, A., and Buitron, G. (2001). Biodegradation of disperse blue 79 using sequenced anaerobic/aerobic biofilters. *Water Science and Technology*, 44(4), 159-166.
- Forgacs, E., Cserhati, T. and Oros, G. (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters: A review. *Environment International*, 30, 953- 971.
- Lee, J. W., Choi, S. P. and Thiruvengkatachari, R. (2006). Evaluation of the performance of adsorption and coagulation processes for the maximum removal of reactive dyes. *Dyes and Pigments*, 69, 196-203.
- Lui, G., Zhou, J., Chen, C., Wang, J., Jin, R., and Lv, H. (2012). Decolorization of azo dyes by *Geobacter metallireducens*. *Applied of Microbiology and Biotechnology*, DOI 10.1007/s00253-012-4545-7.
- Nimrat, S. Sawangchit, P. and Vuthiphandchai, V. (2004). Removal of malachite green employing physical and biological processes. *ScienceAsia* 30, 351-357.
- Nishide, S., and Shoda, M. (2012). Comparative study on the decolorization of orange II by zero-valence tin in citric and hydrochloric acids. *Energy and Environment Research*, 2(1), 1-12.

- Shenai, V. A. (1995). Azo dyes on textiles vs German ban, an objective assessment. *Chemical Weekly*, 12, 33-34.
- Shual, G. M., Holdsworth, T. J., Dempsey, C. R., and Dostal, K. A. (1991). Fate of water soluble azo dyes in activated sludge process. *Chemosphere*, 22, 107-119.
- Stern, S. R., Szpyrkowicz, L. and Rodinghiero, I. (2003). Anaerobic treatment of textile dyeing wastewater. *Water Science and Technology*, 47(10), 55-59.
- Zoolinger, H. (1987). *Color chemistry-syntheses, properties and applications of organic dyes and pigments*. VCH: New York.