บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

สรุปผลการทดลอง

1. การทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยตัวกรองชั้นเดียว ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 50, 70 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการบำบัดสี และซีโอดีได้ดีกว่าดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

2. การทดลองบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยตัวกรองหลายชั้น รูปแบบในการต่อชั้นตัวกรอง พบว่า รูปแบบการกำหนดให้ชั้นดินอยู่ด้านบน และชั้นถ่านกัมมันต์อยู่ด้านล่าง มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีได้ดีกว่าอีกรูปแบบหนึ่งที่สลับชั้นกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จึงได้นำรูปแบบดังกล่าวมาเป็นต้นแบบในการทดลองการกรอง 2 ชั้น (ดินต่อด้วยถ่านกัมมันต์) และ 3 ชั้น (ดิน 2 ชั้น ถ่านกัมมันต์ 1 ชั้น) พบว่าในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย การกรอง 2 ชั้น และ 3 ชั้น ล้วนมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดสีแตกต่างกัน โดยการกรอง 3 ชั้นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีได้ต่ำกว่าการกรอง 2 ชั้นที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน

3. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีย้อมด้วยการกรองด้วยชุดกรองแบบต่าง ๆ คือ ดินชั้นเดียว ถ่านกัมมันต์ชั้นเดียว ชุดกรอง 2 ชั้น และชุดกรอง 3 ชั้น พบว่า ชุดกรอง 2 ชั้นมีประสิทธิภาพในการบำบัดสี และซีโอดีได้ดีกว่าชุดกรองอื่น ๆ ในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองดังกล่าวจึงเลือกการกรอง 2 ชั้น ในการทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

4. คุณภาพน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีย้อมที่ผ่านการบำบัดด้วยชุดกรอง 2 ชั้น พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งละลายน้ำ มีปริมาณเกินค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนค่าความเข้มสีลดลงไป 6 ระดับความเข้มข้น แต่ยังคงมีสีหลงเหลืออยู่ และปริมาณโซเดียมคลอไรด์จาก 20,212.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 11,687.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งยังคงมีปริมาณสูง โดยพบว่าชุดกรอง 2 ชั้นนี้สามารถบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพดีที่สุด จึงสรุปได้ว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยชุดกรอง 2 ชั้นยังคงมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในขั้นตอนต่อไป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5. ตะกอนเร่งที่ผ่านการปรับสภาพภายใต้สภาวะต่าง ๆ 4 สภาวะ คือ สภาวะแอโรบิก สภาวะแอโรบิกดีไนตริฟิเคชัน สภาวะดีไนตริฟิเคชัน และสภาวะเมทาโนจินิก พบว่า ทั้ง 4 สภาวะมีประสิทธิภาพของระบบอยู่ในเกณฑ์ดี เหมาะที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

6. การย่อยสลายน้ำเสียสีย้อมที่ผ่านการบำบัดด้วยชุดกรอง 2 ชั้น ด้วยตะกอนเร่งภายใต้สภาวะต่าง ๆ 4 สภาวะ

6.1 น้ำที่ผ่านการบำบัดในทุกสภาวะการทดลองมีสีใส จึงไม่เป็นที่รังเกียจเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

6.2 สภาวะแอโรบิก และสภาวะแอโรบิกดีไนตริฟิเคชัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เท่ากับ 86.36 และ 84.77 ตามลำดับ ภายในระยะเวลา 4 วันของการทดลอง ซึ่งค่าที่วัดได้ผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนสภาวะดีไนตริฟิเคชัน และสภาวะเมทาโนจินิก พบว่าไม่สามารถบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ โดยในวันที่ 4 ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 162.33 และ 165.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

6.3 น้ำที่ผ่านการบำบัดทั้ง 4 สภาวะการทดลอง มีค่าความเป็นกรด-ด่าง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งค่าที่ได้ล้วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยสภาวะดีไนตริฟิเคชัน และสภาวะเมทาโนจินิก มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าสภาวะแอโรบิกและแอโรบิกดีไนตริฟิเคชัน

6.4 สภาวะการทดลองทั้ง 4 สภาวะ มีประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยในวันที่ 2 ของการทดลองพบปริมาณโซเดียมคลอไรด์มีค่าสูงขึ้น จากนั้นลดลงในวันที่ 4 ของการทดลองในทุกสภาวะ

6.5 ในทุกสภาวะการทดลองสามารถบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นสภาวะดีไนตริฟิเคชันและสภาวะเมทาโนจินิก ซึ่งค่าที่วัดได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานยกเว้นวันที่ 4 ของการทดลองสภาวะแอโรบิกที่พบค่าสูงเกินมาตรฐานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

6.6 ในการศึกษาการย่อยสลายน้ำเสียสีย้อมที่ผ่านการกรองด้วยชุดกรอง 2 ชั้น ด้วยตะกอนเร่งภายใต้สภาวะต่าง ๆ 4 สภาวะ เมื่อพิจารณาจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ สรุปได้ว่าสภาวะแอโรบิกดีไนตริฟิเคชัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมได้ดีที่สุด นอกจากระบบดังกล่าวสามารถบำบัดสีย้อมได้ดีในระยะเวลาอันสั้นแล้ว การเตรียมระบบก็ไม่ยุ่งยากเหมือนการบำบัด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนอีกด้วย

อภิปรายผลการทดลอง

1. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตสีย้อมด้วยชุดกรองต่าง ๆ

1.1 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยตัวกรองชั้นเดียว

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของดินและถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำเสียสีย้อม พบว่า ถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดสีและค่าซีโอดีได้ดีกว่าดิน โดยสามารถกำจัดสีออกได้หมด แตกต่างจากดินซึ่งยังคงพบปริมาณสีอยู่ค่อนข้างมาก ส่วนปริมาณซีโอดีพบว่า ถ่านกัมมันต์สามารถลดค่าซีโอดีได้มากกว่าดิน 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ที่ระดับ 85.97-87.51 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ที่ระดับ 58.38-65.17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Nimrat et al. (2004) ที่ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของดินและถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีมาลาไคน์กรีนระดับความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ พบว่า ดินและถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและค่าซีโอดีได้เท่ากับ 66.6 ± 4.2 เปอร์เซ็นต์ และ 52.0 ± 9.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สาเหตุของความไม่สอดคล้องกันเกิดจากประการแรกคือ คุณสมบัติของสีย้อมที่นำมาทำการบำบัดแตกต่างกัน โดยสีมาลาไคน์กรีนนั้นจัดอยู่ในประเภทสีเบสิค ซึ่งเมื่อละลายน้ำโมเลกุลสีจะมีประจุบวก (Culp & Beland, 1996) ทำให้ดินสามารถดูดซับสีไว้ได้ดีกว่าน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีย้อมซึ่งมีสีย้อมหลายประเภทผสมกันคือ สีแอสิด สีไดเร็กท์ และสีรีแอกทีฟ สีเหล่านี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะมีประจุลบ (โมเดอร์น ไดสตัฟส์ แอนด์ พิคเมนท์ส, 2546) ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของดินซึ่งมีประจุลบสามารถดูดซับโมเลกุลสีที่มีประจุบวกได้โดยตรง ส่วนโมเลกุลสีที่มีประจุลบอาจจะจับกับตำแหน่งที่แลกเปลี่ยนประจุที่ไม่จำเพาะเจาะจงในดิน ซึ่งบางตำแหน่งอยู่บนออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม และขอบของแร่ดินเหนียว (Sparks, 1995) จึงเป็นผลทำให้ดินสามารถดูดซับสีย้อมที่มีประจุบวกได้ดีกว่าสีย้อมที่มีประจุลบ ประการที่สองคือ คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นดินทราย จากเอกสารวิชาการกองวิเคราะห์ดินกรมพัฒนาที่ดินพบว่า ในพื้นที่จังหวัดชลบุรีจะพบกลุ่มดินเพลูสทัล (Paleustults) ซึ่งเป็นกลุ่มดินที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินอยู่ในขั้นต่ำ มีวัตถุต้นกำเนิดดินมาจากการสลายตัวของหินแกรนิตเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดลักษณะดิน (นวลศรี กาญจนกูล, สุวรรณีย์ ภูธรราช และขนิษฐศรี ฮุ่นตระกูล, 2543) โดยหินแกรนิตมีองค์ประกอบของแร่ที่สำคัญ คือ แร่ควอร์ตซ์ (Quartz) และ เฟลด์สปาร์

(Feld Spars) ซึ่งเม็ดเล็ก ๆ ของแร่ทั้งสองชนิดนี้ จะเป็นลักษณะจำเพาะของอนุภาคขนาดทรายที่สลายตัวผุพังจากหินกำเนิด (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541) รวมถึงปริมาณอินทรียวัตถุในดินซึ่งวัดได้เท่ากับ 1.08 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์ จากการประเมินพบว่าอยู่ในระดับต่ำ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) นอกจากสาเหตุจะเกิดจากสภาพของกลุ่มดินในพื้นที่แล้ว ลักษณะของดินทรายเอง ซึ่งเป็นดินที่มีการระบายน้ำและระบายอากาศดี แต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำและการดูดซับธาตุอาหารต่ำ จึงทำให้ดินทรายมีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำโดยธรรมชาติ (มานพ ตัณฑะเตมีย์, 2540) จากเหตุผลสัดส่วนของดินเหนียว และปริมาณอินทรียวัตถุซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการดูดซับสีมีปริมาณน้อย จึงส่งผลให้ดินมีการดูดซับสีได้น้อยลงด้วย ประกอบกับการที่สีแอสิด สีไดเร็กท์ และสีรีแอกทีฟ มักมีหมู่ซัลโฟนิก (Sulphonic Group) อยู่ในโมเลกุลซึ่งให้ประจุลบในน้ำ จากรายงานของ Corey (1968) และ Reife and Freeman (1996) พบว่า สีย้อมที่ประกอบด้วยหมู่ซัลโฟนิกหลายหมู่ มีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับในดินได้น้อยกว่าสีย้อมที่มีจำนวนหมู่ซัลโฟนิกน้อยกว่า ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผลการทดลองที่ได้ในการกำจัดสีและค่าซีโอดีของดินมีประสิทธิภาพต่ำกว่ารายงานการศึกษาดังกล่าวข้างต้น อีกทั้งยังเป็นสาเหตุที่ทำให้ดินมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีความได้เปรียบทางด้านลักษณะโครงสร้าง และพื้นที่ผิวที่มีรูพรุน ซึ่งนอกจากจะเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์แล้วยังส่งผลให้การดูดซับมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นอีกด้วย (Babel & Kurniawan, 2003)

ถึงแม้ว่าจากการทดลองดินจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้อยกว่าถ่านกัมมันต์ก็ตาม แต่จากรายงานการศึกษาของปัญญา เศรษฐา (2543) พบว่า การใช้กระบวนการผ่านทรายกรองร่วมกับกระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอน นอกจากจะเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสีแล้ว ยังช่วยยืดอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์ อีกทั้งวิธีการนี้ยังสามารถกำจัดสีทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำได้ดีมากอีกด้วย จากข้อมูลการศึกษาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยตัวกรองหลายชั้นต่อไป

1.2 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยตัวกรองหลายชั้น

จากผลการทดลองต่อชั้นของตัวกรองพบว่า การต่อชั้นกรองแบบที่ 1 คือ กำหนดให้ชั้นกรองดินอยู่ด้านบนและชั้นกรองถ่านกัมมันต์อยู่ด้านล่าง จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและค่าซีโอดีได้ดีกว่าการต่อชั้นกรองแบบที่ 2 ที่กำหนดให้ถ่านกัมมันต์อยู่ด้านบนโดยพบว่า แบบที่ 1 สามารถกำจัดสีออกได้ทั้งหมด แต่แบบที่ 2 ถึงแม้ว่าถ่านกัมมันต์ที่อยู่ด้านบนจะสามารถกำจัดสีออกได้หมด แต่เมื่อน้ำจากส่วนบนไหลผ่านชั้นกรองดินกลับพบว่า มีสีเกิดขึ้นซึ่งเป็นสีที่เกิดจากตัว

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

กรองดินเอง นอกจากนี้สีที่เกิดขึ้นยังส่งผลกระทบต่อการวัดปริมาณซีโอดี โดยทำให้ความสามารถในการลดค่าซีโอดีของการต่อชั้นกรองแบบที่ 2 ด้อยประสิทธิภาพลง ดังนั้น การต่อชั้นตัวกรองแบบชั้นกรองดินอยู่ด้านบน และชั้นกรองถ่านกัมมันต์อยู่ด้านล่าง จึงเป็นการต่อชั้นกรองที่ดีที่สุด

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยการกรอง 2 ชั้นและ 3 ชั้น โดยใช้รูปแบบการต่อชั้นของตัวกรองจากผลการทดลองต่อชั้นข้างต้นพบว่า การกรอง 2 ชั้น (ตัวกรองดิน : ตัวกรองถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 1:1) สามารถกำจัดสีได้ดีกว่าการกรอง 3 ชั้น (ตัวกรองดิน : ตัวกรองถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 2:1) โดยการกรอง 2 ชั้น สามารถกำจัดสีออกได้หมดในทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่การกรอง 3 ชั้น ในระดับความเข้มข้นน้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์ยังคงพบปริมาณสีหลงเหลืออยู่ ส่วนปริมาณซีโอดีพบว่า การกรอง 2 ชั้น และ 3 ชั้น สามารถลดค่าซีโอดีได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ที่ระดับ 89.63-90.73 เปอร์เซ็นต์ การกรองด้วยตัวกรองหลายชั้นสามารถบำบัดน้ำเสียได้โดยเมื่อน้ำเสียสีเคลื่อนที่ผ่านชั้นกรองดิน โมเลกุลสีย้อมซึ่งมีประจุลบอาจจะเข้าจับกับตำแหน่งที่แลกเปลี่ยนประจุที่ไม่จำเพาะเจาะจงในดิน ซึ่งอาจจะอยู่บนออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม และในบางครั้งอาจจะจับอยู่ที่บริเวณขอบของแร่ดินเหนียว (Sparks, 1995) นอกจากนี้โมเลกุลของอินทรียวัตถุในดินซึ่งมีประจุบวกอยู่บางส่วนสามารถช่วยในการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมไว้ได้เช่นเดียวกัน (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

จากเหตุผลดังกล่าวเมื่อน้ำเสียเคลื่อนที่ผ่านดิน ดินจึงสามารถกำจัดสีย้อมออกไปได้ส่วนหนึ่งก่อนเข้าสู่ชั้นกรองถ่านกัมมันต์ ต่อมาเมื่อน้ำเสียที่ได้เคลื่อนที่ผ่านถ่านกัมมันต์ สารส่วนที่เหลือจากชั้นกรองดินซึ่งดินไม่สามารถกำจัดได้อาจจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ อีกทั้งบริเวณพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์นั้นยังมีหมู่ฟังก์ชันหลายตัวที่ช่วยในการดูดซับ เช่น หมู่คาร์บอนิล (Carbonyls), หมู่คาร์บอซิล (Carboxyls), แลคโตน (Lactones), ฟีนอล (Phenols), โอเลฟินิก (Olefinic) และโครงสร้างอะโรมาติก (Aromatic Structures) (Dinesh, Singh, Sinha & Gosh, 2005) น้ำที่ผ่านกระบวนการกรองดังกล่าวจึงมีคุณภาพดีขึ้นคือ มีปริมาณสีและค่าซีโอดีลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนเหตุผลที่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยการกรอง 2 ชั้น ดีกว่าการกรอง 3 ชั้น ซึ่งเมื่อพิจารณาการลดลงของค่าซีโอดีจะพบว่า การกรองทั้งสองแบบล้วนให้ค่าการบำบัดใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของความเข้มสีจะพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์ การกรอง 3 ชั้นไม่สามารถกำจัดสีออกได้หมด ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากประสิทธิภาพของดินในการกำจัดสีนั้นด้อยกว่าถ่านกัมมันต์มาก ดังจากผลการทดสอบประสิทธิภาพของดิน และถ่านกัมมันต์ใน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตอนต้น แบบการกรอง 3 ชั้น ชั้นของดินจะมีปริมาณมากกว่าชั้นถ่านกัมมันต์ อีกทั้งระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้นั้นอยู่ในระดับสูงจึงทำให้ไม่สามารถกำจัดสีออกได้หมด เมื่อเปรียบเทียบกับการกรอง 2 ชั้น ที่มีปริมาณของถ่านกัมมันต์มากกว่า ดังจะเห็นได้จากรายงานการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้กระบวนการดูดซับด้วยขี้เถ้าซึ่งเปรียบเทียบการกำจัดสีของขี้เถ้ากับถ่านกัมมันต์ โดยพบว่า ถ่านกัมมันต์เพียง 2 กรัม สามารถกำจัดสีได้สูงสุด 98.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องใช้ขี้เถ้าถึง 12 กรัม เพื่อที่จะสามารถกำจัดสีได้ใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ คือ 96 เปอร์เซ็นต์ (Basava Rao & Mohan Rao, 2006) เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการบำบัดจึงมีส่วนอย่างมากในการกำจัดสีในน้ำเสียดังกล่าว

โดยสรุปจากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยการกรองด้วยชุดกรองต่าง ๆ กัน 4 แบบคือ ชุดกรองดินชนิดเดียว ชุดกรองถ่านกัมมันต์ชนิดเดียว ชุดกรอง 2 ชั้น และชุดกรอง 3 ชั้น การเพิ่มชั้นของตัวกรองเป็น 2 ชั้นและ 3 ชั้น นอกจากจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีจากน้ำเสียได้มากกว่าการกรองที่ใช้ตัวกรองชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียวแล้ว ยังเป็นการลดปริมาณการใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อลดค่าใช้จ่ายอีกด้วย ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของปัญญา เศรษฐา (2543) ที่พบว่า เมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสีผ่านระบบถังทรายก่อนการบำบัดต่อด้วยถ่านกัมมันต์ ทำให้ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีจาก 23.58-30.80 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 72.40-81.00 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า จากชุดกรองทั้งหมดการกรอง 2 ชั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและค่าซีโอดีได้ดีที่สุด

2. การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีย้อมทางกายภาพต่อด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

2.1 การศึกษาการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพด้วยชุดกรอง 2 ชั้น

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดกรองในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมพบว่าชุดกรอง 2 ชั้น มีประสิทธิภาพดีที่สุด ดังนั้นจึงนำชุดกรอง 2 ชั้นมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียก่อนเข้าสู่กระบวนการทางชีวภาพ ผลการทดลองพบว่า ชุดกรอง 2 ชั้นสามารถลดค่าซีโอดี, ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำได้วัดได้ 630.33, 91.67 และ 13,373.89 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้ 57.49%, 59.56% และ 19.23% ซึ่งค่าที่วัดได้ล้วนเกินค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยกำหนดให้มีปริมาณซีโอดี <120 มิลลิกรัมต่อลิตร, ของแข็งแขวนลอย <50 มิลลิกรัมต่อลิตร และของแข็งละลายน้ำ <3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับระดับความเข้มสีและปริมาณโซเดียมคลอไรด์ ถึงแม้ว่ายังไม่มีมาตรฐานกำหนดแน่นอนแต่พบว่า ยังคงมีปริมาณสูงอยู่วัดค่าได้เท่ากับ 6 และ 11,687.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเพียงค่าความเป็น

กรด-ด่างซึ่งวัดได้ 9.12 พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้คือ 4.5-9 จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยชุดกรอง 2 ชั้นเพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอที่จะบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำด้วยกระบวนการทางชีวภาพต่อไป

2.2 การศึกษาการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

2.2.1 ตะกอนเร่ง

2.2.1.1 พีเอช (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งจะส่งผลต่อระบบบำบัดทางชีวภาพ จึงจำเป็นต้องควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสม จากการ Acclimate ตะกอนเร่งให้อยู่ภายใต้สภาวะต่าง ๆ 4 สภาวะ คือ สภาวะแอโรบิก, แอโรบิกดีไนตริฟิเคชัน, ดีไนตริฟิเคชัน และเมทาโนจินิกพบว่า สภาวะแอโรบิก และแอโรบิกดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้ออกซิเจน มีค่าพีเอชของตะกอนเร่งหลังจาก Acclimate เท่ากับ 6.61 และ 6.26 ตามลำดับ ซึ่งค่าพีเอชดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียคือ 6.5-8.5 โดยถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 เชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าเชื้อแบคทีเรีย (ศุวศา กานตวินิชกูร, 2538; Michael, 2006) ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำลง และสลัดจ์จะตกตะกอนไม่ดี แต่ถ้าค่าพีเอชสูงจะทำให้ฟอสฟอรัสตกตะกอนผลึกแยกออกจากน้ำ ทำให้ระบบทำงานไม่ดีเช่นกัน (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545) ส่วนสภาวะดีไนตริฟิเคชัน และเมทาโนจินิก ซึ่งเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนมีค่าพีเอชของตะกอนเร่งหลังจาก Acclimate เท่ากับ 7.52 และ 7.75 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า มีค่าไม่แตกต่างจากช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.7-7.4 มากนัก (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2547) ดังนั้นสภาวะต่าง ๆ หลังจากการ Acclimate จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาศึกษาการย่อยสลายด้วยตะกอนเร่งต่อไป ซึ่งการ Acclimate นี้จะเป็นการช่วยกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ (Limbergen, Top, & Verstraete, 1998)

2.2.1.2 ค่า Sludge Volume Index (SVI)

จากผลการทดลองวิเคราะห์ค่า SVI หลังจากการ Acclimate ตะกอนเร่งพบว่าสภาวะทั้ง 4 สภาวะล้วนมีค่า SVI อยู่ในช่วง 50-150 มิลลิลิตรต่อกรัมแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบว่าอยู่ในภาวะปกติ (Atlas & Batha, 1998) โดยพบว่าสภาวะดีไนตริฟิเคชันให้ค่า SVI มากที่สุดคือ 113.45 มิลลิลิตรต่อกรัม รองลงมาคือ สภาวะเมทาโนจินิก 94.02 มิลลิลิตรต่อกรัม, สภาวะแอโรบิกดีไนตริฟิเคชัน 79.54 มิลลิกรัมต่อกรัม และสภาวะแอโรบิก 64 มิลลิลิตรต่อกรัม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากระดับของค่า SVI พบว่า สภาวะแอโรบิกและแอโรบิกดีไนตริฟิเคชันมีประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับดีมาก และดีกว่าอีกสองสภาวะที่เหลือ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน, 2535; ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์, 2540)

จากการบันทึกสีของน้ำส่วนบนของตะกอนเร่งในแต่ละสภาวะพบว่า มีสีที่แตกต่างกันทั้งนี้เนื่องมาจากคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และสิ่งที่ละลายในน้ำแตกต่างกันทำให้เรามองเห็นสีได้แตกต่างกัน (นัทธีรา สรรมณี, 2541) ส่วนสีของตะกอนพบว่า ในสภาวะแอโรบิก และแอโรบิกดีไนตริฟิเคชันมีตะกอนสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม ซึ่งนั่นคือสีของตะกอนของจุลินทรีย์ที่อยู่ลักษณะแขวนลอยเรียกว่า ฟล็อก (Floc) (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2548) แต่ในสภาวะดีไนตริฟิเคชัน และเมทาโนจินิกสีของตะกอนจะมีสีเทาเข้มถึงสีดำอาจเกิดจากสภาวะการขาดออกซิเจน (สุรพล สายพานิช, 2538)

2.3.2 การย่อยสลายน้ำเสียโดยใช้ตะกอนเร่งภายใต้สภาวะต่าง ๆ

จากผลการศึกษาการย่อยสลายน้ำเสียสีต่อเนื่องจากการบำบัดทางกายภาพด้วยชุดกรอง 2 ชั้น ภายใต้สภาวะต่าง ๆ ทั้ง 4 สภาวะคือ สภาวะแอโรบิก, สภาวะแอโรบิกดีไนตริฟิเคชัน,สภาวะดีไนตริฟิเคชัน และสภาวะเมทาโนจินิก พบว่า ในระยะเวลาเพียง 4 วัน สภาวะแอโรบิกดีไนตริฟิเคชัน สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่น ๆ ในช่วงเวลาเดียวกัน เห็นได้จากน้ำที่ผ่านการบำบัดวัดค่าตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.3.2.1 ความเข้มสี

จากการตรวจวัดความเข้มสีของน้ำที่ผ่านการบำบัด ตั้งแต่วันแรกของการทดลองในทุกสภาวะพบว่า วัดค่าระดับความเข้มสีเท่ากับ 10 คือ ไม่พบสีหลงเหลืออยู่เลย อาจเนื่องมาจากน้ำเสียที่ผ่านระบบการกรองมีความเข้มสีอยู่ในระดับ 6 ซึ่งพบว่ายังคงมีสีหลงเหลืออยู่ไม่มากนัก เมื่อนำมาทำการย่อยสลายต่อโดยผสมกับตะกอนเร่ง ทำให้ระดับความเข้มสีได้รับการเจือจางจนอยู่ในระดับ 10 ซึ่งไม่พบสีเหลืออยู่ในระบบ

2.3.2.2 ปริมาณซีโอดี

ภายในระยะเวลา 4 วัน สภาวะแอโรบิกดีไนตริฟิเคชันสามารถลดค่าซีโอดีได้มีค่าเท่ากับ 96.33 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 84.77 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมคือ <120 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผลการบำบัดที่ได้ไม่มีความแตกต่างจากสภาวะแอโรบิกซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 86.36 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ถึงแม้ว่าสีย้อมส่วนใหญ่จะทนทานต่อการ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ย่อยสลายในสภาวะที่มีออกซิเจน (Ganesh, Boardman and Michelsen, 1994) เนื่องจากสีย้อมจะไปยับยั้งการหายใจของจุลินทรีย์ในระบบ (Ogawa, Yamada, & Idaka, 1978) แต่จากรายงานของ Coughlin, Kinkk, Tepper, and Bishop (1997) พบว่า สภาวะที่มีออกซิเจนสามารถย่อยสลายสีย้อมอะโซได้ อีกทั้งยังพบว่า การย่อยสลายภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนนั้น จะกระทำโดยการออกซิเดชันของตำแหน่งที่สามารถแทนที่ได้บนวงเบนซีน หรือโมเลกุลที่อยู่ด้านข้าง (Ekici, Leupold, & Parlar, 2001) ซึ่งโดยทั่วไปในสภาวะที่มีออกซิเจนก็สามารถกำจัดสารที่มีค่าซีโอดีสูงได้อย่างสมบูรณ์ โดยการกำหนดการเข้าของสารอินทรีย์ให้มีอัตราของ F/M ต่ำ เพื่อเป็นการกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ที่ระดับความเข้มข้นสูง (Sponza & Isik, 2002) แต่ในระยะเวลาทดลองที่เท่ากันสภาวะดีไนตริฟิเคชัน และเมทาโนจินิกกลับไม่สามารถลดค่าซีโอดีให้ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ได้ โดยวัดได้ค่าได้เท่ากับ 162.33 และ 165.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 74.25 เปอร์เซ็นต์ และ 73.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่พบว่า โดยทั่วไปกระบวนการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนสามารถลดค่าซีโอดีได้ถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ (Zaoyan, Guangling, Fan, Jinshan, & Huanian, 1992) โดยแบคทีเรียที่ย่อยสลายสีย้อมในสภาวะไร้ออกซิเจน สามารถกำจัดสีได้โดยใช้กิจกรรมของเอ็นไซม์ Azoreductase แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นสภาวะที่ไร้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีแตกต่างจากสภาวะการบำบัดที่ใช้ออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 005$) โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดด้อยกว่าสภาวะที่ใช้ออกซิเจน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดของระบบซึ่งสามารถกำจัดค่าซีโอดีต่ำ และการย่อยสลายสีภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนนี้จะเกิด Aromatic Amine ที่ประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชันคือ ---SO_3, ---OH, ---COOH, ---Cl และ N (O' Neill, Lopey, Esteves, Hawkes, Hawkes, & Wilcox, 2000)

2.3.2.3 ความเป็นกรด-ด่าง, ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำ

จากการตรวจวัดคุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดทั้ง 4 สภาวะพบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดในทุกสภาวะผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งคือ 4.5-9 (ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (2539) โดยพบว่า ค่าพีเอชที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงขึ้นในทุกสภาวะเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงการ Acclimate ตะกอนเร่ง ทั้งนี้อาจเกิดจากน้ำที่นำมาบำบัดซึ่งมีสารหลายชนิดผสมกันอยู่ จึงเป็นเหตุให้ค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้นคือ สภาวะที่ใช้ออกซิเจนช่วงค่าพีเอชก่อนทำการทดลองเท่ากับ 6-7 เพิ่มขึ้นเป็น 7-8 ส่วนสภาวะไร้ออกซิเจนจากช่วงพีเอช 7-8 เพิ่มขึ้นเป็น 8-9 ซึ่งทุกสภาวะล้วนมีค่าพีเอชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่ผ่านการบำบัดพบว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งคือ

น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่าสภาวะที่ไร้ออกซิเจนทั้งสองสภาวะวัดค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนในสภาวะที่ใช้ออกซิเจน พบว่า ในวันสุดท้ายของการทดลองวัดค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยได้เกินค่ามาตรฐานไปเล็กน้อย คือ 58.11 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจเกิดจากความผิดพลาดในการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ ซึ่งอาจไปเก็บในส่วนของตะกอนขึ้นมาด้วย จึงมีผลให้การวิเคราะห์เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของแข็งละลายน้ำในทุกสภาวะสามารถวัดปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ใกล้เคียงกัน โดยค่าที่วัดได้สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งเล็กน้อยเท่ากับ 3,668.01 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ในช่วงคือ มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ค่าที่วัดได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งดังกล่าว

2.3.2.4 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์

จากผลการศึกษาปริมาณโซเดียมคลอไรด์พบว่า ปริมาณของโซเดียมคลอไรด์จากผลการทดลองจะเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 2 ของการทดลอง และลดลงในวันที่ 4 ของการทดลอง มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 64.7 , 64.78, 65.57 และ 65.80 เปอร์เซ็นต์ ในสภาวะต่าง ๆ คือ แอโรบิกดีไนตริฟิเคชัน, แอโรบิก, เมทาโนจินิก และดีไนตริฟิเคชัน จากน้อยไปหามาก ตามลำดับ แต่ทุกสภาวะก็สามารถวัดค่าปริมาณโซเดียมคลอไรด์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เหตุที่ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่ลดลงนั้นมิใช่เกิดจากการบำบัดแต่เกิดจากการเจือจางกับตะกอนเร่ง แต่ถึงกระนั้นปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในระบบนั้นมีปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งจะส่งผลต่อการบำบัดในสภาวะต่าง ๆ ดังจากรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดค่าซีโอดีจากน้ำเสียที่มีเกลือเป็นส่วนประกอบพบว่า เกลือสามารถยับยั้งการกำจัดซีโอดีได้ถ้าความเข้มข้นมากกว่า 2% (Dincer & Kargi, 1999) สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Uygur and Kargi (2004) ในการกำจัดธาตุอาหารในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีระดับของเกลือต่าง ๆ กัน โดยใช้ระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือน้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีการกำจัดซีโอดีได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเกลือเป็น 0-6 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจาก 96 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 32 เปอร์เซ็นต์ เป็นที่ชัดเจนว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณเกลือส่งผลในการลดลงของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอย่างมีนัยสำคัญ

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากน้ำที่ผ่านการบำบัดยังพบปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณสูง ดังนั้นจึงควรศึกษาหาวิธีการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำต่อไป

2. ควรมีการศึกษาการใช้ดินชนิดอื่น ๆ ในการทดลอง เช่น ดินเหนียว หรือ ดินร่วน ในการดูดซับสีย้อม เพื่อพัฒนาระบบชุดกรองให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University