การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

Improvement of Removal Efficiency of Organic Matters in Wastewater from Paint Industry by Adding Powdered Activated Carbon in Fixed Film Aeration Process

ครรชิต ชุติไพศาล อุษณีย์ อุยะเสถียร และ วินัย นุตมากุล

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของผงถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 673 – 1,383 มก./ล. และผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้มีค่า iodine number 950 ผลจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ 0 และ 4000 มก./ล. ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มของการทดลองที่ 1 ที่เวลากักน้ำ 48 ชม. อายุตะกอน 30 วัน พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีโดยเฉลี่ยได้เท่ากับ 76.6 $\pm$ 4.4 และ 82.3 $\pm$ 3.0 % ตามลำดับ มีค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 979.3 $\pm$ 217.3 มก./ล. และมีค่าซีโอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วเท่ากับ 221.6 $\pm$ 28.1 และ 168.3 $\pm$ 22.0 มก./ล. ตามลำดับ สามารถกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจากระบบที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 5.7 $\pm$ 2.1 % และผลจากการการเติมผงถ่านกัมมันต์ 0 4000 4500 5000 และ 5500 มก./ล. ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มของการทดลองที่ 2 ที่เวลากักน้ำ 48 ชม. อายุตะกอน 30 วัน พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีได้เท่ากับ 72.8 $\pm$ 7.5, 75.9, 78.4, 79.0 และ 83.6 % ตามลำดับ ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 942.1 $\pm$ 136.6 935.2 807.0 816.0 และ 891.0 มก./ล. ตามลำดับ และมีค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วเท่ากับ 253.6 $\pm$ 67.6 215.0 174.0 171.0 และ 146.0 มก./ล. ตามลำดับ สามารถกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจากระบบที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 3.1 5.6 6.2 และ 10.8 % ตามลำดับ และสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ผงถ่านกัมมันต์เพิ่มในกระบวนการดูดซับธรรมดาต่อจากการบำบัดทางชีวภาพ ในการกำจัดซีโอดีในน้ำทิ้งให้มีค่าตามมาตรฐาน

คำสำคัญ: *น้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้าน ผงถ่านกัมมันต์ ระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม*

Abstract

The objective of this study was to investigate the effect of adding powdered activated carbon to fixed film aeration process on the wastewater treatment efficiency. The wastewater used was effluent from paint factory's chemical treatment process. Their COD values were in the range of 673-1,383 mg/l. The powdered activated carbon

used had the iodine number of 950. The results of adding powdered activated carbon at the dosage of 0 and 4000 mg/l to fixed film aeration process with the hydraulic retention time of 48 hours and the sludge retention time of 30 days of the first experiment, showed that COD could be removed by 76.6 ± 4.4 and 82.3 ± 3.0%, respectively. The influent COD was 979.3 ± 217.3 mg/l, and the effluent COD were 221.6 ± 28.1 and 168.3 ± 22.0 mg/l, respectively. Powdered activated carbon could enhance the COD removal by 5.7 ± 2.1%. In the second experiment of the fixed film aeration process at the same hydraulic retention time and the sludge age, it was found that, with the dosage of powdered activated carbon at 0, 4000, 4500, 5000, and 5500 mg/l, COD could be removed by 72.8 ± 7.5, 75.9, 78.4, 79.0, and 83.6%, respectively. The influent COD were 942.1 ± 136.6, 935.2, 807.0, 816.0, and 891.0 mg/l, respectively, and the effluent COD were 253.6 ± 67.6, 215.0, 174.0, 171.0, and 146.0 mg/l, respectively. Therefore, the fixed film aeration with adding powdered activated carbon could increase COD removal by 3.1, 5.6, 6.2, and 10.8%, respectively, compared with the one without powdered activated carbon, and could save the cost of powdered activated carbon in an ordinary adsorption unit after the biological treatment for removal of COD to meet the effluent standard.

Keywords: *Wastewater from Paint Industry, Powdered Activated Carbon, Fixed Film Aeration Process*

1. บทนำ

น้ำเสียที่มาจากกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีทาบ้านจะมีองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ซึ่งหมายความว่าสัดส่วนของค่าความสกปรกในรูปของบีโอดีต่อค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีมีค่าต่ำ และต้องใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียหลายขั้นตอน ซึ่งโดยทั่วไปรูปแบบการบำบัดอย่างน้อยจะประกอบด้วย กระบวนการบำบัดทางกายภาพ กระบวนการบำบัดทางเคมี และกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ แต่เนื่องจากน้ำเสียที่มาจากกลุ่มโรงงานผลิตสีทาบ้านมีองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบเติมอากาศแต่เพียงอย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอในการบำบัดค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีให้มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งอย่างต่อเนื่องได้

โดยทั่วไปสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากจะบำบัดโดยใช้กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (carbon adsorption) เพื่อดูดซับสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากดังกล่าวต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการลงทุนขั้นต้นและค่าใช้จ่ายในการปรับคืนสภาพถ่านกัมมันต์

การบำบัดน้ำเสียด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง เรียกว่าระบบแพคท์ (the powered activated carbon treatment process, PACT) Flynn (1974, 1975 อ้างถึงใน Sublette และคณะ, 1982) กล่าวว่าสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้และถูกดูดซับได้ หรือ สารที่ย่อยสลายได้ช้าและถูกดูดซับได้ ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดสารเหล่านี้ได้ด้วยประสิทธิภาพที่สูงกว่าระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งธรรมดา โดยได้ให้เหตุผลว่าการลดลงของสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้และถูกดูดซับได้ในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ เกิดจากการถูกดูดซับเท่านั้น ส่วนการลดลงของสารที่ย่อย

สลายทางชีวภาพได้ช้าและถูกดูดซับได้ สารที่ถูกดูดซับเหล่านี้ถูกย่อยสลายทางชีวภาพด้วยกลไกบางอย่าง และทำให้ฟื้นฟูพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้อีก กลไกที่ทำให้เกิดสภาวะเสริมนี้เกิดจากสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ที่ถูกดูดซับเปลี่ยนเป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ สาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาต่อกัน (interaction) ระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลชีพ และ Perrotti และ Rodman (1973 อ้างถึงใน Zhang และคณะ, 1991) ได้มีสมมุติฐานว่า การปลดปล่อยสารที่ถูกดูด ซับออกมา (desorption) เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ถูกหลั่งออกมาภายนอก (exoenzymatic reaction) แม้ว่าแบคทีเรียจะมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะเข้ามาอยู่ในรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ แต่แบคทีเรียจะมีการหลั่งเอนไซม์บางชนิดออกมา ซึ่งจะแพร่เข้าไปในรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ได้ง่ายกว่า และทำปฏิกิริยากับสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งจะได้สารที่ถูกดูดซับได้ต่ำ จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) นอกรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่อไป

สำหรับระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม (fixed film aeration process) ที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จากการศึกษาของ Wanner และคณะ (1988) พบว่าระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียร่วมระหว่างกระบวนการตะกอนเร่ง (activated sludge process) กับกระบวนการฟิล์มชีวภาพ หรือ (fixed film process) จะทำให้การจมตัวของตะกอนดีขึ้น และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย และ Gebara (1999) พบว่านอกจากจะเพิ่มประสิทธิภาพในการจมตัวของตะกอนแล้วยังส่งผลดีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี อีกทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียโดยรวมด้วย จากเหตุผลข้างต้น การวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มเปรียบเทียบกับการไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ซึ่งอาจนำผลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีทาบ้านต่อไป

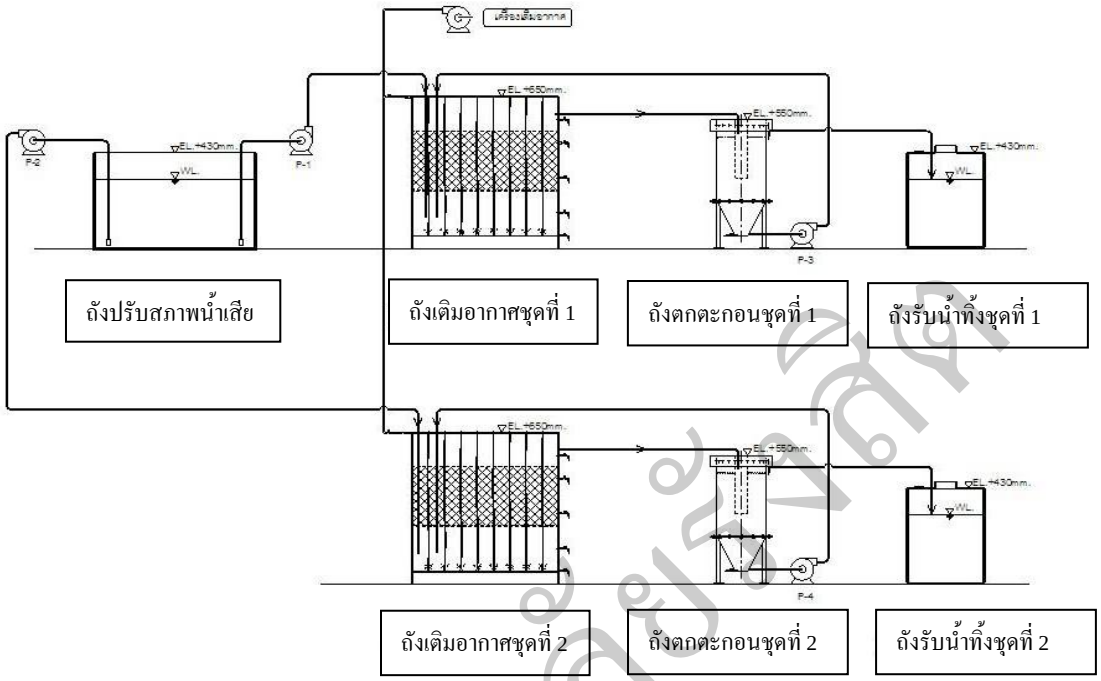
2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ย่อยสลายยากในน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีทาบ้านด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม เปรียบเทียบกับการไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

2. ศึกษาค่าใช้จ่ายการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี โดยระบบที่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม เปรียบเทียบกับการไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

3. อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองมีแผนผังกระบวนการบำบัดน้ำเสียสอดคล้องกับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านโดยทั่วไป แสดงดังรูปภาพที่ 1 โดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีด้วย $FeCl_3$ และโพลิเมอร์ประจุลบ (anionic polymer) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้าน การทดลองมีจำนวน 2 ชุด แสดงดังรูปภาพที่ 2 (ชุดที่ 1 เป็นชุดควบคุม ซึ่งไม่ได้เติมผงถ่านกัมมันต์เพื่อใช้สำหรับนำมาเปรียบเทียบผลการทดลองและชุดที่ 2 เป็นชุดทดลอง) ซึ่งทั้งสองชุดการทดลองเป็นระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่มีการไหลแบบต่อเนื่อง มีตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ในถังเติมอากาศ



รูปภาพที่ 1 แผนผังกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

รูปภาพที่ 2 ชุดทดลองระดับห้องปฏิบัติการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. ถังปรับสภาพน้ำเสีย (equalization tank) ใช้สำหรับพักตัวอย่างน้ำเสีย ทำจากโพลีเอทีลีน ขนาดปริมาตรถัง 260 ลิตร จำนวน 1 ถัง

2. เครื่องสูบน้ำชนิด metering pump อัตราการสูบ 8.5 ลิตรต่อชั่วโมง ที่แรงสูบส่ง 3.0 บาร์ จำนวน 2 ชุด ใช้สูบน้ำจากถังปรับสภาพน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศ

3. ถังเติมอากาศ (aeration tank) ทำจากพลาสติกใสปริมาตร 120 ลิตร ภายในบรรจุตัวกลางพลาสติก ปริมาณ 42 ลิตร จำนวน 2 ชุด พร้อมสายยางเติมอากาศและหัวพ่นอากาศ (air diffuser) ชนิดแท่งทราย

4. เครื่องเติมอากาศ (air pump) ใช้ในการเติมอากาศให้จุลินทรีย์โดยใช้เครื่องเติมอากาศปริมาตรอากาศสุทธิ 45 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง (จ่ายให้กับถังเติมอากาศทั้งสองชุด)

5. ตัวกลางพลาสติก (plastic media) ที่ใส่ในถังเติมอากาศ 42 ลิตรต่อถัง (35 % ของปริมาตรถัง) มีพื้นที่ผิว 240 ตร.ม.ต่อลบ.ม. แสดงดังรูปภาพที่ 3

รูปภาพที่ 3 ตัวกลางพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง

6. ถังตกตะกอน (sedimentation tank) เป็นถังกลมทำจากพลาสติกใสและมีกรวยสำหรับตกตะกอนด้านล่าง เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 เมตร ขนาดความจุ 7.5 ลิตร จำนวน 2 ชุด

7. ถังรับน้ำทิ้งจากระบบ (effluent tank) ใช้สำหรับรองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ทำจากโพลีเอทีลีน ขนาดปริมาตรถัง 100 ลิตร จำนวน 2 ชุด

8. ผงถ่านกัมมันต์ (powdered activated carbon) ที่ใช้ในการทดลองปริมาณประมาณ 30 กิโลกรัม มีค่า iodine number 950

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1. ทดลองหาไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) สารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมี และค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ตามวิธี ASTM D 3860 – 89a (reapproved 1993) Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique

2. เริ่มต้นการทดลอง (Start up) โดยการนำเชื้อจุลินทรีย์และตัวกลางพลาสติกจากถังเติมอากาศของโรงงานผลิตสีทาบ้าน ใส่ถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลอง เพื่อทำให้เชื้อจุลินทรีย์แบบใช้อากาศในถังเติมอากาศมีความพร้อมก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย โดยใส่ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ถังละ 60 ลิตร และใส่ตัวกลางพลาสติกถังละ 42 ลิตร ทำการเติมน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดทางเคมีของโรงงานผลิตสีทาบ้าน ให้เต็มถังแล้วเปิดเครื่องเติมอากาศ จากนั้นเริ่มป้อนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดทางเคมีของโรงงานผลิตสีทาบ้าน เพื่อเลี้ยงจุลินทรีย์แบบต่อเนื่องแล้วจึงดำเนินการเก็บน้ำเสียไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ pH, COD และ MLSS จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) สังเกตได้จากประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี

3. การดำเนินการทดลอง

การทดลองที่ 1 ดำเนินการทดลองโดยกำหนดระยะเวลากักน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุดที่ 48.0 ชั่วโมง โดยชุดที่ 1 ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเติมอากาศ (ชุดควบคุม) ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงถ่านกัมมันต์ 480 กรัม (4000 มก./ล.) ซึ่งความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่เลือกใช้ได้จากผลการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี (Total COD) ของผงถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน โดยเดินระบบอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) และเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 16 กรัม ที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเติมอากาศประมาณวันละ 3.9 ลิตร เพื่อรักษาอายุตะกอน 30 วัน โดยการคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในถังเติมอากาศต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่ทิ้งออกจากระบบ

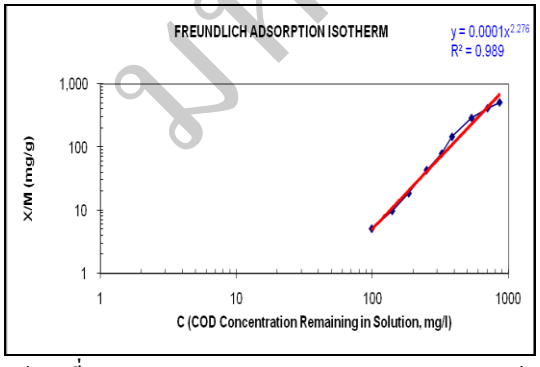
การทดลองที่ 2 ดำเนินการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 โดยกำหนดระยะเวลากักน้ำของ

ระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุดที่ 48.0 ชั่วโมง โดยชุดที่ 1 ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเติมอากาศ (ชุดควบคุม) ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. และเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 16 กรัม ที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเติมอากาศประมาณวันละ 3.9 ลิตร เพื่อรักษาอายุตะกอน 30 วัน และเพิ่มปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 6 กรัม (50 มก./ล.) จนมีความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล.

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองหาไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm)

จากการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี ของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ของ Freundlich adsorption isotherm มีค่าเท่ากับ 0.9890 แสดงดังรูปภาพที่ 4 และสมการ Freundlich แสดงดังสมการที่ 1

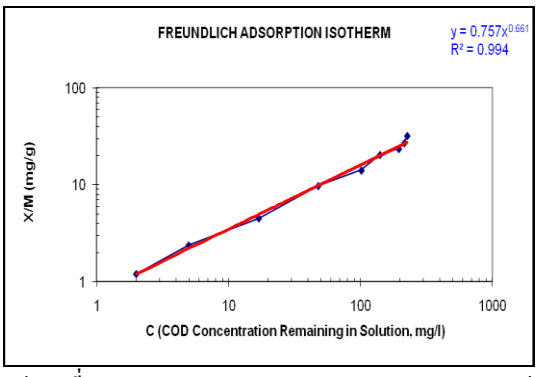


รูปภาพที่ 4 Freundlich adsorption isotherm แสดงการดูดซับซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมี

$$x/m = 0.0001\ C_e^{2.2762} \qquad (1)$$

จากสมการพบว่า ผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีได้ 5.4 มก. เมื่อความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำเสียเท่ากับ 120 มก./ล. และค่าคงที่ K_f และ 1/n เท่ากับ 0.0001 และ 2.2762 (n = 0.4393) ตามลำดับ โดย Mckay และคณะ (1982 อ้างถึงใน Melgoza-Aleman และ Morales-Guzman, 2009) ได้แนะนำว่า ค่าคงที่ n ที่แสดงถึงการดูดซับได้ดีมีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 10

และจากการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ของ Freundlich adsorption isotherm มีค่าเท่ากับ 0.9944 แสดงดังรูปภาพที่ 5 และสมการ Freundlich แสดงดังสมการที่ 2



รูปภาพที่ 5 Freundlich adsorption isotherm แสดงการดูดซับซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ

$$x/m = 0.7571\ C_e^{0.6614} \qquad (2)$$

จากสมการของ Freundlich พบว่า ผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีได้ 18.0 มก. เมื่อความข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียที่เหลืออยู่เท่ากับ 120 มก./ล. และค่าคงที่ K_f และ 1/n เท่ากับ 0.7571 และ 0.6614 (n = 1.5119) ตามลำดับ

และได้นำไปใช้ประเมินความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในถังเติมอากาศชุดที่ 2 (ชุดทดลอง)

ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์

$$= \frac{(243\text{-}120)\text{มก.ซีโอดี/ล.น้ำเสีย}}{18\text{มก.ซีโอดี/ก.ผงถ่านกัมมันต์}}$$

= 6848 มก./ล.

ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในถังเติมอากาศชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) ไม่ควรเกิน 6848 มก./ล. จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล.

4.2 ผลการทดลองของระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสารอินทรีย์

การทดลองที่ 1 ดำเนินการทดลองโดยกำหนดระยะเวลากักน้ำที่ 48 ชั่วโมง ของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุด โดยชุดที่ 1 (ชุดควบคุม) ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเติมอากาศ ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงถ่านกัมมันต์ 480 กรัม (4000 มก. /ล.) ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ซึ่งค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านเท่ากับ 979.3 $\pm$ 217.3 มก./ล. ส่วนค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 221.6 $\pm$ 28.1 มก./ล. และค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 168.3 $\pm$ 22.0 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) แล้ว 20 วัน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสภาวะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง

ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย			พารามิเตอร์							
			pH	DO	SV-30	COD	BOD	SS	MLSS	MLVSS
น้ำเสียเข้าระบบ		เฉลี่ย	6.9	-	-	979.3	414.5	95.5	-	-
		S.D	0.2	-	-	217.3	-	73.7	-	-
สภาวะในถังเติมอากาศ	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	7.7	6.9	513.0	-	-	-	3,382	5,493
		S.D	0.2	0.2	85.2	-	-	-	856	-
	เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	7.7	6.9	245.0	-	-	-	3,979	5,096
		S.D	0.2	0.3	39.0	-	-	-	704	-
น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	-	-	-	221.6	5.0	29.8	-	-
		S.D	-	-	-	28.1	-	16.2	-	-
	เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	-	-	-	168.3	3.6	19.3	-	-
		S.D	-	-	-	22.0	-	7.7	-	-

หมายเหตุ : พารามิเตอร์อื่นๆ ยกเว้น pH และ SV-30 มีหน่วย มก./ล., SV-30 มีหน่วย มล./ล.

การทดลองที่ 2 ดำเนินการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 โดยกำหนดระยะเวลากักน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุดที่ 48.0 ชั่วโมง โดยชุดที่ 1 ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเติมอากาศ (ชุดควบคุม) ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก. /ล. และเพิ่มปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 6 กรัม (50 มก./ล.) จนมีความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ 4000 4500 5000 และ 5500 มก./ล. ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) สภาวะในถังเติมอากาศ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ซึ่งค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านเท่ากับ 942.1 $\pm$ 136.6 มก./ล.ส่วนค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 253.6 $\pm$ 67.6 มก./ล. และค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 4500 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 215.0, 174.0, 171.0 และ 146.0 มก./ล. ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสภาวะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ5500 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง

ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย			พารามิเตอร์							
			pH	DO	SV-30	COD	BOD	SS	MLSS	MLVSS
น้ำเสียเข้าระบบ		เฉลี่ย	7.3	-	-	942.1	552.7	36.8	-	-
		S.D	0.2	-	-	136.6	-	57.4	-	-
สภาวะในถังเติมอากาศ	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	7.9	6.5	469.4	-	-	-	2,859	2,086
		S.D	0.2	0.7	48.2	-	-	-	280.1	-
	เติมผงถ่านกัมมันต์ (มก./ล.)	4000	8.1	4.8	350.0	-	-	-	3,085	-
		4500	8.2	7.3	300.0	-	-	-	3,424	2,710
		5000	8.0	7.0	250.0	-	-	-	3,152	2,790
		5500	8.0	7.1	250.0	-	-	-	3,730	3,242
น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	-	-	-	253.6	15.3	59.1	-	-
		S.D	-	-	-	67.6	-	36.6	-	-
	เติมผงถ่านกัมมันต์ (มก./ล.)	4000	-	-	-	215.0	-	24.0	-	-
		4500	-	-	-	174.0	15.0	13.0	-	-
		5000	-	-	-	171.0	5.3	13.0	-	-
		5500	-	-	-	146.0	7.8	28.0	-	-

หมายเหตุ : พารามิเตอร์อื่นๆ ยกเว้น pH และ SV-30 มีหน่วย มก./ล., SV-30 มีหน่วย มล./ล.

4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี

จากผลการทดลองที่ 1 ผลวิเคราะห์ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) เฉลี่ยเท่ากับ 979.3 ± 217.3 มก./ล. น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ เฉลี่ยเท่ากับ 221.6 ± 28.1 มก./ล. และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 168.3 ± 22.0 มก./ล. ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 76.6 ± 4.4 % และของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. เท่ากับ 82.3 ± 3.0 % ดังนั้นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. เท่ากับ 5.7 ± 2.1 % แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่ 1 ที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง

ชุดการทดลอง		ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (มก./ล.)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (%)	ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้น (%)
ชุดที่ 1	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์	979.3±217.3	221.6±28.1	76.6±4.4	-
ชุดที่ 2	เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล.	979.3±217.3	168.3±22.0	82.3±3.0	5.7 ± 2.1

จากผลการทดลองที่ 2 ผลวิเคราะห์ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) ของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เฉลี่ยเท่ากับ 942.1 ± 136.6 มก./ล. ส่วนผลวิเคราะห์ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) ของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 4500 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 891.0, 807.0, 816.0 และ 891.0 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เฉลี่ยเท่ากับ 253.6 ± 67.6 มก./ล. ส่วนน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 4500 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 215.0, 174.0, 171.0 และ146.0 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เฉลี่ยเท่ากับ 72.8 ± 7.5 % และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 4500 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 75.9 78.4 79.0 และ 83.6 % ตามลำดับ ดังนั้นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 4500 5000 และ 5500 มก./ล.เท่ากับ 3.1 5.6 6.2 และ 10.8 % ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4

มหาวิทยาลัยรังสิต

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่ 2 ที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 4500 5000 และ5500 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง

ชุดการทดลอง			ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (มก./ล.)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (%)	ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้น (%)
ชุดที่ 1	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์		942.1 ±136.6	253.6 ±67.6	72.8±7.5	-
ชุดที่ 2	เติมผงถ่านกัมมันต์เริ่มต้น 4,000 มก./ล. และเพิ่มวันละ 50 มก./ล.	4,000 มก./ล.	891.0	215.0	75.9	3.1
		4,500 มก./ล.	807.0	174.0	78.4	5.6
		5,000 มก./ล.	816.0	171.0	79.0	6.2
		5,500 มก./ล.	891.0	146.0	83.6	10.8

การเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้น สารที่ถูกดูดซับโดยผงถ่านกัมมันต์เหล่านี้อาจถูกย่อยสลายทางชีวภาพด้วยกลไกบางอย่าง และทำให้ฟื้นฟูพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้อีก ซึ่งกลไกที่ทำให้เกิดสภาวะเสริม (synergy) นี้เกิดจากสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ที่ถูกดูดซับเปลี่ยนเป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ สาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาต่อกัน (interaction) ระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลชีพ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Robertaccio และคณะ (1972, 1973, 1978, 1979 อ้างถึงใน Sublette และคณะ, 1982) ที่พบว่า กระบวนการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตะกอนเร่งสามารถกำจัดบีโอดี ซีโอดี และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากได้ดีกว่าระบบเติมอากาศแบบตะกอนเร่งที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Perrotti และ Rodman (1973 อ้างถึงในZhang และคณะ, 1991) ที่ได้กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับการฟื้นฟูสภาพทางชีวภาพของผงถ่านกัมมันต์ (bioregeneration) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่แบคทีเรียหลั่งออกมาและแพร่เข้าไปในรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ และทำปฏิกิริยากับสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งจะได้สารที่ถูกดูดซับได้ต่ำ จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) นอกรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่อไป และเมื่อใช้ linear regression ประมาณกราฟเส้นตรงระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์จะได้สมการ

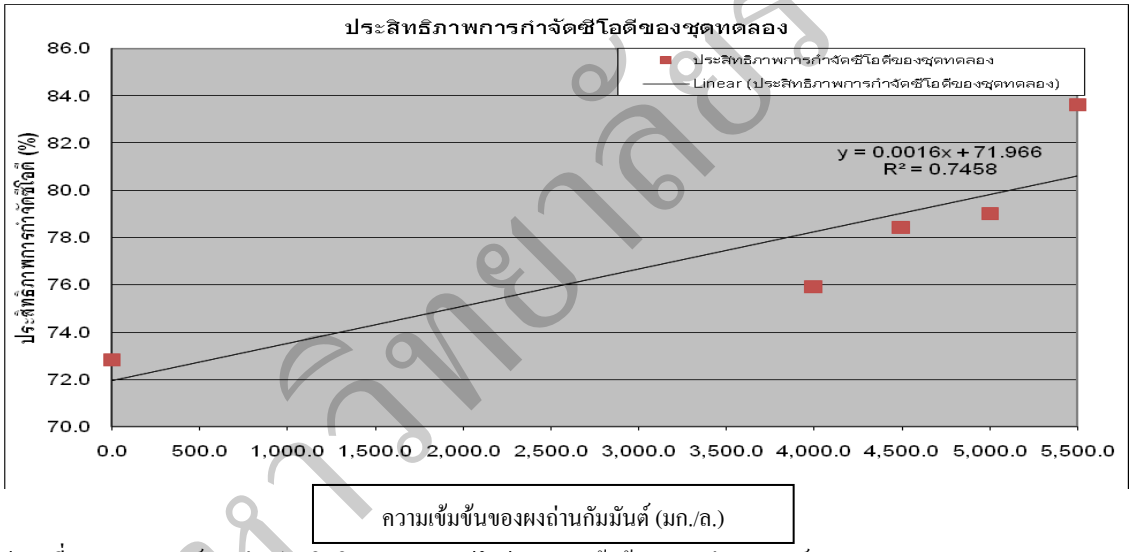
$$y = 0.0016x + 71.97 \quad (3)$$

โดยที่ y = ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)

x = ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัม/ลิตร)

จากสมการ (3) จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ 0.0016 หมายถึง ผงถ่านกัมมันต์เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้มากกว่าระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่ไม่ได้เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.0016 เท่าของความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ ค่าที่กราฟตัดแกน Y คือ ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0

มก./ล. ซึ่งเท่ากับ 71.97 % แสดงดังรูปภาพที่ 6 และจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0 มก./ล. มีค่าเท่ากับ 72.8±7.5 % เมื่อเปรียบเทียบกับการประมาณด้วยกราฟเส้นตรง จะเห็นได้ว่าใกล้เคียงกันแต่การเติมผงถ่านกัมมันต์เพิ่มในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มไม่ควรเติมเกิน 6848 มก./ล. ซึ่งได้จากผลการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่าน กัมมันต์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน เพราะจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และจากการสังเกตเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มให้มากกว่า 5500 มก./ล. พบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านถังตกตะกอนเริ่มจะมีตะกอนทั้งตะกอนเชื้อและตะกอนผงถ่านกัมมันต์หลุดออกมาด้วย ซึ่งคาดว่าขนาดของถังตกตะกอนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ไม่สามารถรับภาระของแข็ง (solids loading) ที่เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงเสนอแนะให้ขยายขนาดของถังตกตะกอนหรือกรองน้ำทิ้งที่ผ่านถังตกตะกอนเพื่อวัดค่าซีโอดีในรูปละลายน้ำ สำหรับนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับความเข้มข้นของผงถ่าน กัมมันต์



รูปภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์

5. บทสรุป

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงผลของผงถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่มีต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 673 – 1,383 มก./ล. และผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้มีค่า iodine number 950 สามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติมได้ดังนี้

1) สรุปผลการทดลอง

1. ผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านได้ 5.4 มก. และตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ได้ 18.0 มก. ที่ความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำเสียเท่ากับ 120.0 มก./ล.

2. จากการทดลองที่ 1 ชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่ระยะเวลากักน้ำ 48 ชม. อายุตะกอน 30 วัน สามารถ

กำจัดซีโอดีโดยเฉลี่ยได้เท่ากับ 76.6 ± 4.4 และ 82.3 ± 3.0 % ตามลำดับ และมีค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วเฉลี่ยเท่ากับ 221.6 ± 28.1 และ 168.3 ± 22.0 มก./ล. ตามลำดับ โดยค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 979.3 ± 217.3 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี พบว่าระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์ สามารถกำจัดซีโอดีได้เพิ่มขึ้นจากระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 5.7 ± 2.1 %

3. จากการทดลองที่ 2 ชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่ระยะเวลากักน้ำ 48 ชม. อายุตะกอน 30 วัน สามารถกำจัดซีโอดีได้เท่ากับ 72.8 ± 7.5, 75.9, 78.4, 79.0 และ 83.6 % ตามลำดับ และมีค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วเท่ากับ 253.6 ± 67.6, 215.0, 174.0, 171.0 และ 146.0 มก./ล. ตามลำดับ โดยค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 942.1 ± 136.6, 935.2, 807.0, 816.0 และ 891.0 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี พบว่าระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์ สามารถกำจัดซีโอดีได้เพิ่มขึ้นจากระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 3.1, 5.6, 6.2 และ 10.8 % ตามลำดับ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผงถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเพิ่มขึ้นไม่มากนัก

4. ระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500มก./ล มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ ถึงแม้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีค่าซีโอดีเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ที่กำหนดให้น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีไม่เกิน 120 มก./ล แต่จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ผงถ่านกัมมันต์เพิ่มในกระบวนการดูดซับธรรมดาต่อจากการบำบัดทางชีวภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำทิ้งที่ยังเกินค่ามาตรฐาน คิดเป็นเงินประมาณ 209, 270, 280 และ 360 บาท/ลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย ตามลำดับ (ราคาของผงถ่านกัมมันต์ 60 บาท/กก.)

2) ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม

1. ควรมีการศึกษาถึงผลของผงถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่มีคุณสมบัติของค่า iodine number ที่สูงขึ้น หรือเวลากักน้ำที่มากกว่า 48 ชม. ที่มีต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

2. ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผงถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มโดยเพิ่มความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ พิจารณาขนาดของถังตกตะกอนให้สามารถรับภาระของแข็ง (solids loading) ที่เพิ่มขึ้นด้วย และ/หรือพิจารณาการกรองน้ำทิ้งที่ผ่านถังตกตะกอนเพื่อวัดค่าซีโอดีในรูปละลายน้ำ (soluble COD) สำหรับหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับความเข้มข้นของผงถ่านกัม

6. เอกสารอ้างอิง

ASTM D 3860-89a (Reapproved 1993). Standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of activated carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique.

Flynn, B.P. (1974). The determination of bacterial kinetics in a powdered activated carbon reactor. Proceedings of the 29th Industrial

Waste Conference. Purdue University. 302-318.

Flynn, B.P. (1975). A model for the powdered activated carbon-activated sludge treatment system. Proceedings of the 30th Industrial Waste Conference. Purdue University. 233-252.

Gebara, F. (1999). Activated sludge biofilm wastewater treatment system. Water Research. 33 (1), 230-238.

McKay, G., Blair, H.S. and Gardener, J.K. (1982). Adsorption of dyes on chitin, equilibrium studies, Journal of Applied Polymer Science. 27, 3043-3057.

Melgoza-Aleman, R.M., Morales-Guzman, F. (2009). Effect of activated carbon on the biodegradability of direct azo dyes in a sequential batch reactor under anaerobic/aerobic environments, Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 3(4), 3677-3683.

Perrotti, A.E. and Rodman, C.A. (1973). Factors involved with biological regeneration of activated carbon. Paper presented at the 75th National Meeting of the American Institute of Chemical Engineering. Detroit. MI.

Robertaccio, F.L. (1973). Powdered carbon addition to biological reactors. Paper presented at the Sixth Mid-Atlantic Industrial Waste Conference. University of Delaware, Newark, DE.

Robertaccio, F.L. (1978). Combined powdered activated carbon-biological treatment: Theory and results. Proceedings of the Second Open Forum on Management of Petroleum Refinery Wastewater. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/2-78-058, 325-343.

Robertaccio, F.L. (1979). Combined powdered activated carbon-biological treatment: Theory and results. Activated Carbon Treatment of Industral Wastewaters. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/2-79-177, 135-153.

Robertaccio, F.L., Grulich G., Hutton, D.G. and Glotzer, H.L. (1972). Treatment of organic chemicals plant wastewater with du Pont PACT process. Paper presented at the 70th National Meeting of the American Institute of Chemical Engineers. Dallas, TX.

Sublette, K.L., Snider, E.H. and Sylvester, N.D. (1982) A review of the mechanism of powdered activated carbon enhancement of activated sludge treatment. Water Research. 16, 1075-1082.

Wanner, J., Kucman, K. and Grau P. (1988). Activated sludge process combined with biofilm cultivation. Water Research. 22 (2), 207-215.

Zhang, X., Wang, Z. and Gu, X. (1991). Simple combination of biodegradation and carbon adsorption-the mechanism of the biological activated carbon process. Water Research. 25, 165-172.