

การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรของ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

Enhancing the Efficiency of the Waste Stabilization Ponds System of Thammasat University (Rangsit Campus)

โตม ลิทธิเวทย์

ภาควิชาเทคโนโลยีขนบพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

กำพล นันทพงษ์

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

ในระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปที่ใช้บ่อปรับเสถียรเป็นบ่อบำบัดในขั้นตอนสุดท้ายเช่นเดียวกับระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต มักประสบปัญหาหาปริมาณสาหร่ายที่มีมากในบ่อบำบัดสุดท้าย ซึ่งถ้ามีการปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำจะก่อให้เกิดการเพิ่มของปริมาณสารอินทรีย์ บีโอดีและความขุ่นในแหล่งน้ำนั้น ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดสาหร่ายออกก่อนโดยทั่วไปมักใช้กรวดหยาบ กรวดละเอียด ถ้าเมื่อใช้ไประยะหนึ่งแล้วจะเกิดการอุดตันที่ยากต่อการล้างเพราะกรวดจะมีน้ำหนักมาก ในการวิจัยในครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายและความขุ่นของน้ำออกจากบ่อบำบัดโดยใช้ถังกรองแนวอนแบบ 2 ชั้นตอน โดยชั้นตอนแรก ใช้ตัวกรองที่มีขายในท้องตลาด ส่วนชั้นตอนที่สองใช้กรวดละเอียดขนาด 2-6 มม. ตัวกรองพลาสติกที่ใช้มี 2 ขนาดคือ 240 m^2/m^3 (SBM) และ 105 m^2/m^3 (BBM) ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ความเร็วการไหลหรืออัตราการกรอง

จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. SBM มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายได้ดีกว่า BBM ซึ่งเฉลี่ยเป็นร้อยละ 89 และ 84 ตามลำดับ และกำจัดความขุ่นได้ร้อยละ 64 และ 58 ตามลำดับ และเมื่อนำมาต่ออนุกรมเข้ากับถังกรวดละเอียด (ชั้นตอนที่สอง) พบว่าการกำจัดสาหร่ายมีประสิทธิภาพร้อยละ 91 และ 86 การกำจัดความขุ่นเฉลี่ยเป็นร้อยละ 66 และ 62 ใน SBM และ BBM ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเร็วการไหลจาก 0.3 ม./ชม. เป็น 1.0 ม./ชม. ใน SBM โดยมีปริมาณสาหร่ายในน้ำเข้า (Influent) อยู่ในช่วง 35 ถึง 143 ไมโครกรัม/ลิตร พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายและความขุ่นเฉลี่ยลดลงเป็นร้อยละ 59 และ 63 ตามลำดับ ประสิทธิภาพรวมของสองชั้นตอนสามารถกำจัดสาหร่ายและความขุ่นเป็นร้อยละ 65 และ 70 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเร็วการไหลจาก 0.3 ม./ชม. เป็น 2.0 ม./ชม. โดยมีปริมาณสาหร่ายในน้ำเข้าอยู่ในช่วง 30 ถึง 327 ไมโครกรัม/ลิตร พบว่า SBM มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายและความขุ่นเฉลี่ยเป็น ร้อยละ 41 และ 64 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพรวมของสองชั้นตอนสามารถกำจัดสาหร่ายและความขุ่นเป็นร้อยละ 50 และ 70 ตามลำดับ และเมื่อมีการลดความเร็วการไหลเป็น 0.3 ม./ชม. ประมาณ 3 วัน แล้วเพิ่มความเร็วไปเป็น 2.0 ม./ชม ตามเดิมพบว่าประสิทธิภาพโดยรวมของการกำจัดสาหร่ายและความขุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยในน้ำออก (Effluent) ทุกความเร็วการไหลมีค่าสูงกว่า 2 มก./ล. และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีโดยเฉลี่ยของทุกความเร็วการไหลมีค่าประมาณร้อยละ 50

ในชุดการทดลองสุดท้ายมีการเพิ่มความเร็วจาก 0.3 ม./ชม. เป็น 3.0 ม./ชม. และมีการเพิ่มปริมาณความขุ่นในน้ำเข้าสูงเกือบถึง 1000 NTU ในลักษณะเป็นพักๆ พบว่าประสิทธิภาพรวมของสองชั้นตอนสามารถกำจัดปริมาณสาหร่ายได้ร้อยละ 20 โดยมีปริมาณสาหร่ายในน้ำออกเฉลี่ย 67 $\mu\text{g/l}$ และกำจัดความขุ่นเฉลี่ยได้เป็นร้อยละ 81 โดยปริมาณความขุ่นที่ออกมามีค่าเท่ากับ 23 NTU โดยเฉลี่ย ซึ่งจากการทดลองในชุดการทดลองสุดท้ายนี้สามารถนำไปออกแบบเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตได้

คำสำคัญ: สาหร่าย ถังกรองแวนอน ตัวกรองพลาสติก ความเร็วการไหล ความขุ่น

Abstract

Using oxidation ponds for polishing the effluent from the secondary treatment as well as the wastewater treatment plant of Thammasat University Rangsit Campus usually encounters the problems of high algae contents which results in the increase of organic and turbidity in the receiving water. Algae removal is normally done by using small and coarse gravel as filter media. However, it is very difficult to clean those gravels when the sediments and algae blocked the whole length of filter media at the end of the run. In this research, the performance of the two-stage horizontal-flow roughing filtration (HRF) was studied in order to remove the algae and reduce the turbidity. In the first-stage, two types of commercial plastic media, that were $240 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (SBM) and $105 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (BBM) and in second-stage, small gravel size 2-6 mm, were applied. The variable factor in this study was flow velocity.

The results showed that under flow velocity of 0.3 m/h, the average algae removal efficiency of 89 percent from SBM was better than that of 84 percent from BBM. The turbidity removal efficiencies were 64 and 58 percent, in SBM and BBM, respectively. The algae removal efficiencies increased to 91 and 86 percent and turbidity removal efficiencies increased to 66 and 62 percent, when passed through secondary stage of small gravel filter for SBM and BBM, respectively. The results also showed that after the flow increased from 0.3 m/h to 1.0 m/h in SBM, the average algae and turbidity removal efficiencies reduced to 59 and 63 percent, respectively when influent algae were in the range of 35 to 143 $\mu\text{g/l}$. The overall average efficiencies of algae

and turbidity removal in two-stage HRF were 65 and 70 percent, respectively. In addition the results also showed that after the flow increased from 0.3 m/h to 2.0 m/h the average algae and turbidity removal efficiencies reduced to 41 and 64 percent, respectively when influent algae were in the range of 30 to 327 $\mu\text{g/l}$. The overall average efficiencies of algae and turbidity removal in two-stage HRF were 50 and 70 percent, respectively. During this run, the flow was reduced from 2.0 m/h to 0.3 m/h for about 3 days after that the flow was increased to 2.0 m/h. It was found that the overall efficiency of the two-stage HRF for removal algae and turbidity was increased. The dissolved oxygen (DO) in the effluent of every run was over 2 mg/l and COD efficiency was average to 30 percent in each run.

In the last run, after the flow increased from 0.3 m/h to 3.0 m/h and turbidity in water was increased up to ~ 1000 NTU by adding china clay intermittently. It was found that the overall efficiency of the two-stage HRF for algae removal was 20 percent. The algae content of the effluent was 67 $\mu\text{g/l}$. Furthermore, the turbidity removal was 81 percent on average. The turbidity content of the effluent was 23 NTU on average. This model is reasonable for design of full scale HRF for improving the pond effluent from the wastewater treatment plant of Thammasat University, Rangsit Campus and is easy to apply.

Keywords: algae, 2-stage, horizontal, flow, roughing, filter, plastic, media, flow, velocity, BBM/SBM

1. บทนำ

ถังกรองหยาบที่ไหลตามแนวราบ (Horizontal-flow Roughing Filter) เป็นระบบกรองที่ใช้วัสดุกรองที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มม. [1] เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยไม่ใช้สารเคมีและไม่ต้องการอุปกรณ์ที่ซับซ้อน มีความยาวในการกรองไม่จำกัด มีความลึกไม่มากทำให้ไม่มีปัญหาในด้านโครงสร้างและยังไม่ต้องการโครงสร้างทางชลศาสตร์ (hydraulic structures) ที่ต้องติดตั้งเพิ่มเติมเหมือนกับการกรองแบบไหลตามแนวตั้ง [3] เนื่องจากน้ำดิบจากทางน้ำเข้าจะไหลไปตามแนวราบโดยจะไหลผ่านชุดอนุกรมของวัสดุกรองที่มีขนาดแตกต่างกันโดยใช้ตะแกรงเป็นตัวแยก วัสดุกรองมีขนาดอยู่ระหว่าง 4 ถึง 20 มม. โดยแบ่งออกเป็น 3 จำพวก คือ หยาบ, ปานกลาง และละเอียด ในถังกรองมีการป้องกันการ

เจริญเติบโตของสาหร่ายโดยติดตั้งระดับฝายน้ำล้นหรือท่อที่ปลายน้ำออกให้ต่ำกว่าชั้นผิวบนของวัสดุกรอง Wegelin [3] ได้แนะนำว่าความเร็วการกรองที่ไหลตามแนวราบที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 1.5 ม./ชม. โดยคำนวณมาจาก ภาระทางชลศาสตร์ (hydraulic loading) (ลบ.ม./ชม. ต่อพื้นที่หน้าตัดของถังกรองในแนวตั้ง (ตร.ม.)) ความยาวของถังกรองนั้นขึ้นอยู่กับความขุ่นของน้ำดิบปรกติอยู่ในช่วงระหว่าง 5 ถึง 7 ม. เมื่อมีความยาวมากทำให้สามารถกักเก็บตะกอนได้มาก ทำให้การกรองที่ไหลตามแนวราบสามารถรองรับความขุ่นที่สูง ซึ่งจะอยู่ในช่วง 500 ถึง 1,000 NTU โดยทั่วไปจึงนิยมใช้เป็นระบบบำบัดก่อน (Pre-treatment) เนื่องจากใช้งานง่ายสามารถใช้ได้กับน้ำผิวดินที่มีคุณลักษณะที่

หลากหลาย [3] สามารถทำให้คุณลักษณะของน้ำดิบเป็นที่ยอมรับได้

Sittivate [6] ได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงการกรองที่ไหลตามแนวราบมาเป็นการกรองที่ไหลตามแนวราบแบบ 2 ขั้นตอน (A Two-stage Horizontal-flow Roughing Filtration) เพื่อใช้ในการกำจัดสาหร่าย โดยชุดกรองประกอบไปด้วย 2 ชุดกรอง ชุดกรองแรกบรรจุด้วยวัสดุกรองที่เป็นกรวดหยาบ (10-20 มม.) และชุดกรองที่ 2 บรรจุด้วยกรวดขนาดเล็ก (2-6 มม.) เมื่อชุดกรองทั้ง 2 ชุดกรองมีการทำงานร่วมกัน ทำให้สามารถกำจัดความขุ่นและสาหร่ายได้ดี รวมทั้งค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ก็มีค่าสูงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งทั่วไป (≥ 2 mg/l) พงศ์ณากา [7] ได้ทำการวิจัยเพิ่มเติมจาก Sittivate[6] ชุดกรองแรกใช้เศษพลาสติกพีวีซีที่ได้มาจากการเหลือใช้ (ผ่านตะแกรงร่อนที่มีรูเปิดขนาด 9.5-22.6 มม.) โดยใช้ความเร็วน้ำเข้าอยู่ที่ 0.3, 1.0 และ 1.5 ม./ชม. เปรียบเทียบกับกรวดหยาบเดิม ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายของวัสดุกรองที่เป็นเศษพลาสติกพีวีซีไม่มีความแตกต่างมากจากกรวดหยาบในทุกอัตราการไหล แต่ความแตกต่างกันระหว่าง 2 วัสดุกรองนี้คือความจุอนุภาคของถังกรอง โดยถังกรองที่บรรจุด้วยกรวดหยาบจะอุดตันก่อนเศษพลาสติกพีวีซี เนื่องมาจากว่าร้อยละความพรุนของวัสดุกรองเศษพลาสติกมากกว่ากรวดหยาบโดยมีค่า 59 และ 44 ตามลำดับ เพื่อให้การใช้งานและการออกแบบโดยมีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อบำบัด สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตัวกรองพลาสติกหยาบที่เหมาะสมที่พบตามท้องตลาดในปัจจุบันมาใช้เป็นวัสดุกรองแทนกรวดหยาบและเศษพลาสติกพีวีซี โดย

ตัวกรองพลาสติกหยาบที่นำมาใช้มีด้วยกัน 2 แบบ คือแบบ Big-Bio Media (BBM) และแบบ Small-Bio Media (SBM) และการวิจัยนี้ได้ประยุกต์มาใช้กับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งมีปริมาณสาหร่ายออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และแสงแดดเป็นไปตามธรรมชาติ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง ประกอบด้วยชุดกรองแรกมีขนาด 0.5*6*1 ม. (ก*ข*ต) ซึ่งจะบรรจุด้วยตัวกรองพลาสติกหยาบที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไปในปัจจุบันซึ่งมี 2 แบบ คือแบบ BBM และแบบ SBM โดยเนื้อวัสดุเป็นพอลิเอทิลีนเนื้อแน่น (HDPE) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.10 เท่ากัน มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 105 และ 240 m^2/m^3 ตามลำดับ และช่องว่าง 95 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนน้ำที่ออกจากชุดกรองแรกในการทดลองจะไหลเข้าสู่ชุดกรองที่ 2 ซึ่งมีขนาด 0.5*4.6*0.5 ม. (ก*ข*ต) ซึ่งบรรจุด้วยกรวดละเอียดขนาด 2-6 มม. แสดงในรูปที่ 1 และ 2 ถังกรองจะมีตำแหน่งเก็บตัวอย่างในแนวตั้ง 2 ระดับ โดยแถวแรกมีความสูง 0.05 ม. และแถวที่ 2 มีความสูง 0.3 ม. จากพื้นของถัง โดยแต่ละแถวมี 4 ตำแหน่งตามความยาวของถัง คือ 0.95, 1.95, 2.95 และ 4.05 ม. ตามลำดับ โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 4 การทดลองดังนี้

การทดลองครั้งที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวม (DO การกำจัดสาหร่าย ความขุ่นและ ซีไอดี) ระหว่างตัวกรองแบบ BBM กับแบบ SBM โดยใช้ความเร็วการไหลเป็น 0.3 ม./ชม.

การทดลองครั้งที่ 2 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพโดยรวมของตัวกรองแบบ SBM เพียงอย่างเดียว โดยใช้ความเร็วการไหลเป็น 0.3 ม./ชม.

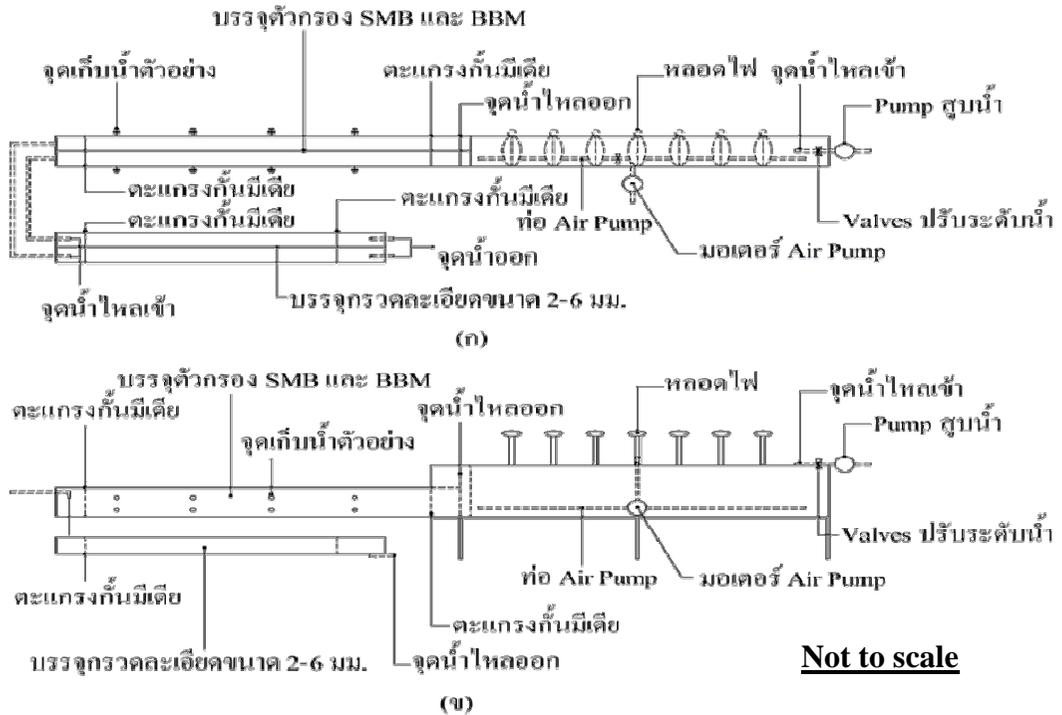
เป็นเวลาประมาณ 15 วัน (ผ่านช่วง Ripening period(6)) แล้วเพิ่มความเร็วการไหลเป็น 1.0 ม./ชม.

การทดลองครั้งที่ 3 เป็นการทดลองโดยชุดกรองแรกจะบรรจุด้วย BBM เป็นระยะทาง 1.5 ม. ส่วนที่เหลือ 2.5 ม. จะบรรจุด้วย SBM โดยใช้ความเร็วการไหลเป็น 0.3 ม./ชม. เป็นเวลา 20 วัน (ผ่านช่วง Ripening period) แล้วเพิ่มความเร็วการไหลเป็น 2.0 ม./ชม.

การทดลองครั้งที่ 4 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพโดยรวมของตัวกรองแบบ SBM เพียงอย่างเดียว โดยใช้ความเร็วการไหลเป็น 0.3 ม./ชม.

เป็นเวลาประมาณ 20 วัน (ผ่านช่วง Ripening period(6)) แล้วเพิ่มความเร็วการไหลเป็น 3.0 ม./ชม.

ในการดำเนินงานวิจัยมีการติดตามออกซิเจนละลายน้ำ (DO), อุณหภูมิ, และ pH ส่วนตัวอย่างน้ำที่เก็บทำการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a), ซีโอดี และความขุ่น ตามวิธี Standard Methods for the Examination Water and Wastewater 20th, 1998 [5] ยกเว้นการหาค่า Chlorophyll a {Chl. (a)} ใช้การวิเคราะห์วิธีของ Pearson และคณะ [2] น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยมาจากน้ำทิ้งจากบ่อสุดท้ายของระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของชุดการทดลอง (ก) ภาพด้านบน (ข) ภาพด้านข้าง



รูปที่ 2 แสดงชุดการทดลองจริง

3. ผลการทดลอง

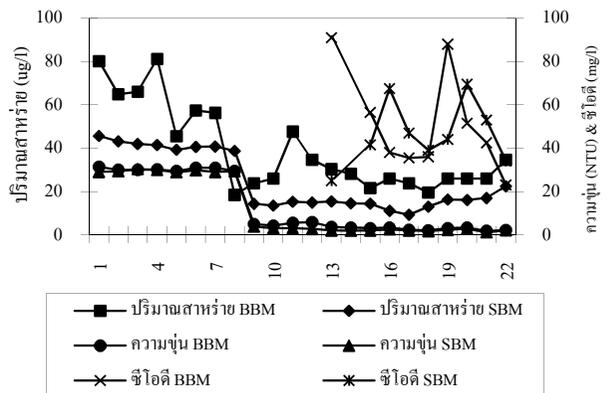
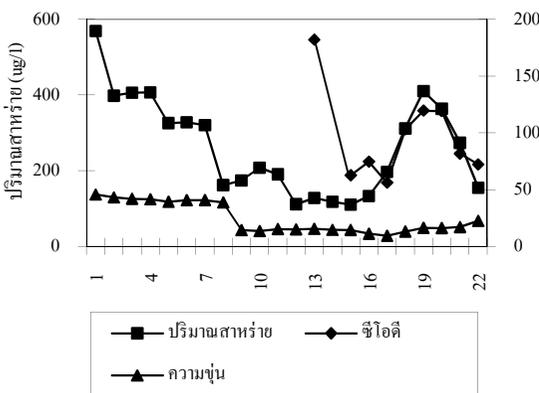
คุณสมบัติของน้ำที่นำมาใช้ในการทดลอง นั้นมีปริมาณสาหร่ายและความขุ่นค่อนข้างจะแปรผันอย่างมากโดยตลอดการทดลองนี้มีปริมาณสาหร่ายต่ำสุดและสูงสุดอยู่ระหว่าง 30-569 $\mu\text{g/l}$ (ในรูปคลอโรฟิลล์ เอ) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น 190 $\mu\text{g/l}$ (ในรูปคลอโรฟิลล์ เอ) ส่วนความขุ่นต่ำสุดและสูงสุดอยู่ระหว่าง 2-46 NTU โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 7 NTU ยกเว้นในการทดลองครั้งที่ 4 ซึ่งมีความขุ่นต่ำสุดและสูงสุดอยู่ระหว่าง 4 – 983 NTU โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 404 NTU (โดยมีการเติมผงดินเหนียวหรือ China clay เพิ่มเข้าไปเป็นช่วงๆ)

เปรียบเทียบตัวกรองแบบ BBM และ SBM

ตารางที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่าย, ความขุ่น และซีโอดี จากจำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์ 22 ชุดระยะเวลาในการทดลอง 912 ชั่วโมง พบว่า ในขั้นตอนแรกของการกรองที่ใช้ตัวกรองต่างกัน คือ BBM และ SBM โดยที่ SBM มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า ซึ่งพบว่าคุณสมบัติของน้ำออกดังแสดงในรูปที่ 2 ของถังกรองที่บรรจุตัวกรอง SBM ดีกว่า BBM ในทุกพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดทั้งนี้เนื่องจากกลไกสำคัญในการกำจัดสารแขวนลอยโดยถังกรองแนวราบคือการตกตะกอน (sediment) ดังนั้นการที่ SBM มีพื้นที่ผิวมากกว่าทำให้มีการกีดกันหรือลดความเร็วของสารแขวนลอยที่เข้าไปข้างล่าง ทำให้การตกตะกอนดีกว่าในแบบ BBM

ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่าย, ความขุ่น และซีโอดี ในขั้นตอนแรกๆของ BBM และ SBM ที่ความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม.

ตัวกรอง	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ		
	สาหร่าย	ความขุ่น	ซีโอดี
BBM	84	58	46
SBM	89	64	44



รูปที่ 2 ปริมาณสาหร่าย, ความขุ่น และซีโอดี ที่ความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. (ก) ในน้ำเข้า (ข) ในน้ำออก

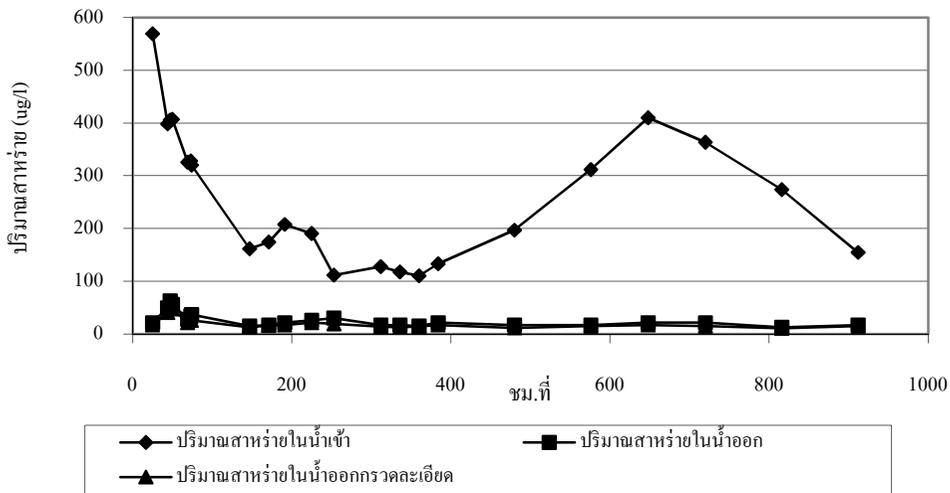
การกำจัดสาหร่ายที่ความเร็วการไหลต่าง ๆ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชุดกรองแรกสามารถกำจัดสาหร่ายได้ตั้งแต่ตอนต้นของถังกรอง โดยกลไกการกำจัดสาหร่ายของการกรองชั้นตอนแรกคือ การตกตะกอนและการกรอง โดยที่สาหร่ายที่ไม่เคลื่อนที่จะถูกกำจัดด้วยกลไกการตกตะกอน[4] ส่วนสาหร่ายที่เคลื่อนที่ได้จะถูกกำจัดด้วยกลไกการกรอง ในขณะที่สาหร่ายที่สามารถเคลื่อนที่ได้จะเคลื่อนที่สู่ตอนบนซึ่งมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมากกว่าตอนล่าง โดยต้องเคลื่อนที่ผ่านตามช่องของตัวกรอง ทำให้มีโอกาสดังถูกกรองด้วยโพรงของตัวกรองทำให้มีโอกาสดังถูกกรองตามช่องว่างของวัสดุกรองสาหร่าย

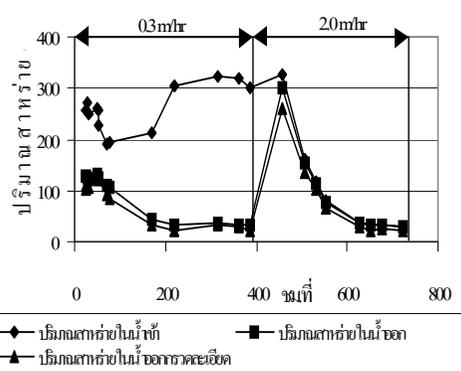
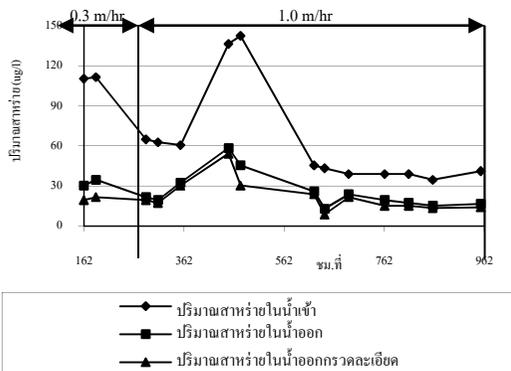
ที่ค่อยๆ ลดลงตามระยะทางของถังกรองซึ่งพบว่ามีลักษณะเดียวกันและมีแนวโน้มที่เหมือนกันทั้งตอนบนและตอนล่างของแต่ละวัสดุกรอง พบว่าในทุกความเร็วการไหลที่ใช้ไม่ว่าจะเป็นถังกรองแบบใด โดยที่บริเวณตอนบนของแต่ละวัสดุกรองจะมีปริมาณสาหร่ายถูกกักมากกว่าตอนล่าง ในการศึกษาประสิทธิภาพการกรองที่ไหลตามแนวราบแบบ 2 ชั้นตอนสำหรับกำจัดสาหร่ายในแต่ละความเร็วการไหลที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Sittivate (1999) และ โคม สิทธิเวชย์และคณะ (2548) [6], [8] โดยผลการทดลองของการกำจัดสาหร่ายที่ได้นั้นแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงร้อยละการกำจัดสาหร่ายเฉลี่ยของ Two-stage HRF เปรียบเทียบกับ One-stage HRF ของวัสดุกรอง SBM ในแต่ละความเร็วการไหล

ความเร็วการไหล	ร้อยละการกำจัดสาหร่ายเฉลี่ย		ปริมาณสาหร่ายเฉลี่ยในน้ำออก ($\mu\text{g/l}$)
	One-stage HRF	Two-stage HRF	Two-stage HRF
0.3 ม./ชม.	89	91	22
1.0 ม./ชม.	55	61	23
2.0 ม./ชม.	3	20	83
3.0 ม./ชม.	11	20	67



รูปที่ 3 ปริมาณสาหร่ายในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองที่ไหลตามแนวราบแบบ 2 ชั้นตอนที่ความเร็วของการไหล 0.3 ม./ชม.

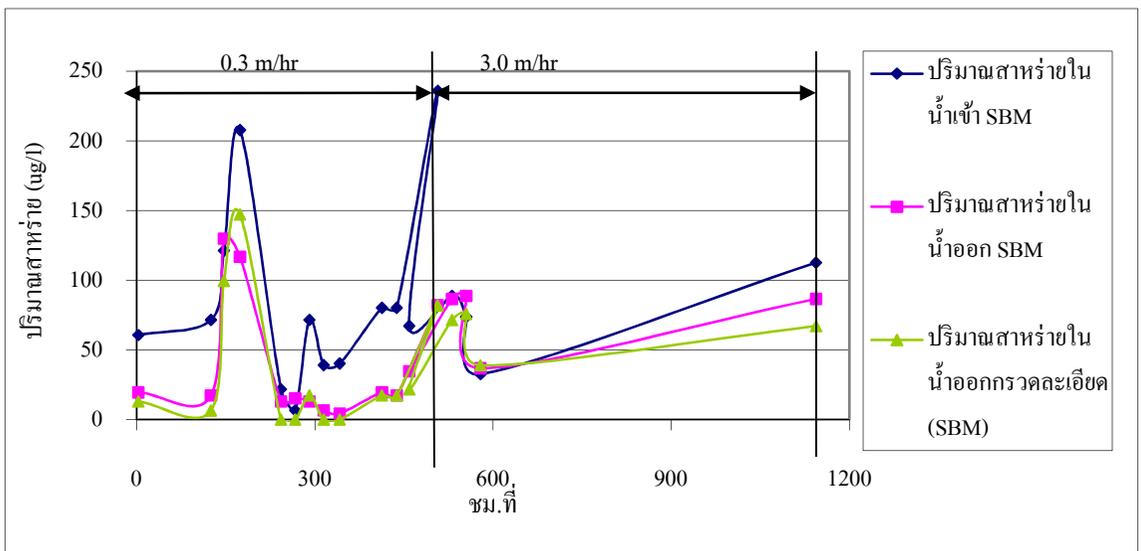


รูปที่ 4 ปริมาณสาหร่ายหน่วย ($\mu\text{g/l}$) ในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองที่ไหลตามแนวราบแบบ 2 ชั้นตอนที่ปรับเปลี่ยนความเร็วการไหลจาก 0.3 ม./ชม. เป็น (ก) 1.0 ม./ชม. (ข) 2.0 ม./ชม.

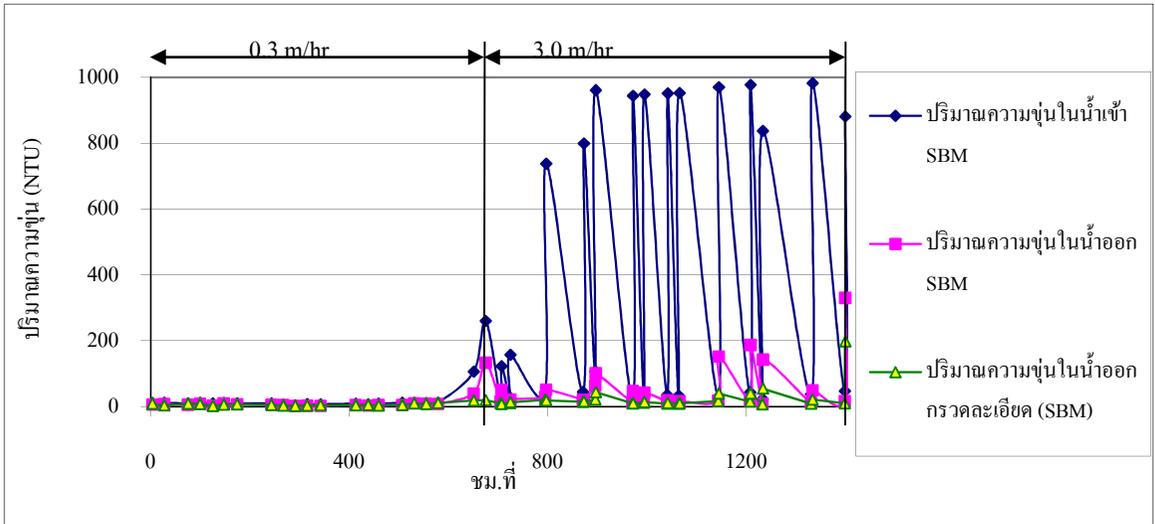
จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายที่ความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. นั้นดีที่สุด ความเข้มข้นสาหร่ายในน้ำออกอยู่ในช่วง 11-54 ไมโครกรัม/ลิตร ดังรูปที่ 3 รองลงมาที่ความเร็วการไหล 1.0 ม./ชม. และ 2.0 ม./ชม. โดยมีความสามารถในการกำจัดเป็นร้อยละ 91, 61 และ 20 ตามลำดับ ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2

เมื่อพิจารณาความสามารถในการกรองโดยแบ่งเป็นแต่ละขั้นตอนการทดลองพบว่าขั้นตอนการกรองแรกที่ความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. มีความสามารถในการกำจัดเป็นร้อยละ 89 ที่ความเร็วการไหล 1.0 ม./ชม. มีความสามารถในการกำจัดเป็นร้อยละ 55 ที่ความเร็วการไหล 2.0ม./ชม. มีความสามารถในการกำจัดเป็นร้อยละ 3 และที่ความเร็วการไหล 3.0ม./ชม. มีความสามารถในการกำจัดเป็นร้อยละ 11 ทั้งนี้เนื่องจากว่าที่ความเร็วการไหลสูงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายนั้น

ลดลงอย่างไรก็ตามในส่วนของการทดลองที่ 4 นั้นกลับพบว่ามีความสามารถในการกำจัดสาหร่ายเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 11 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำที่เข้าสู่ระบบมีความขุ่นสูง (เฉลี่ย 404 NTU) จึงน่าจะเป็นเหตุให้ความขุ่นเหล่านี้ไปอุดตันตามช่องว่างของ SBM จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของขบวนการ Straining และ Sedimentation ดังนั้นสาหร่ายจึงถูกกำจัดได้มากขึ้น [3], [6] ส่วนในขั้นตอนการกรองที่ 2 นั้นจะช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายได้ดีมากยิ่งขึ้น ทำให้เห็นว่าถึงกรองในขั้นตอนที่ 2 นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะช่วยให้การกรองมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ถึงแม้จะทำการเพิ่มความเร็วแต่ปริมาณสาหร่ายในน้ำออกจากถังกรวดละเอียด (การกรองที่ 2) ก็ยังคงต่ำกว่าปริมาณสาหร่ายในน้ำเข้า แสดงว่าความเร็วไม่มีผลต่อการหลุดออกของสาหร่ายที่ถูกเก็บกักไว้ในถังกรอง แสดงไว้ในตารางที่ 2 รูปที่ 4(ก) 4(ข) และ 5(ก)



รูปที่ 5 ก แสดงปริมาณสาหร่ายในน้ำเข้าและน้ำออกของ SBM และกรวดละเอียดที่ความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. แล้วเพิ่มเป็น 3.0 ม./ชม.



รูปที่ 5 ข แสดงปริมาณความขุ่นในน้ำเข้าและน้ำออกของ SBM และกรวดละเอียดที่ความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. แล้วเพิ่มเป็น 3.0 ม./ชม.

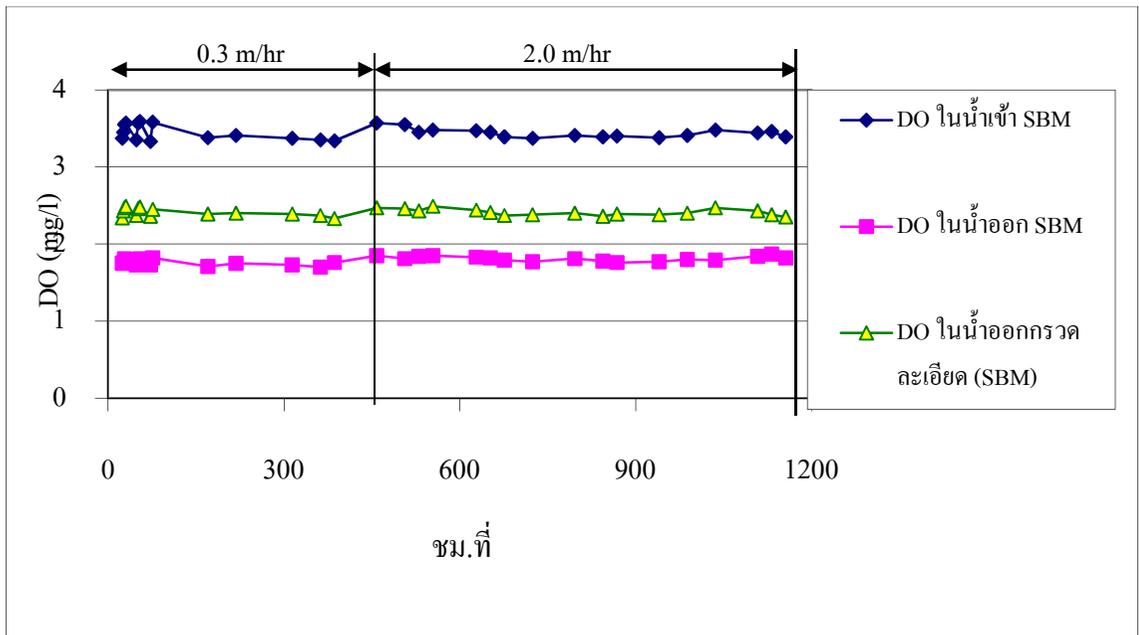
การกำจัดความขุ่นที่ความเร็วการไหลต่าง ๆ

ในการศึกษาประสิทธิภาพการกรองที่ไหลตามแนวราบแบบ 2 ชั้นตอนสำหรับกำจัดความขุ่นในแต่ละความเร็วการไหลที่กล่าวมาข้างต้น โดยผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงไว้ในตารางที่ 3 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ความเร็วการไหล 3.0 ม./ชม. นั้นดีที่สุดทั้งนี้ก็เพราะความขุ่นที่เข้ามาในระบบสูงมาก (983 NTU) จึงมีส่วนให้เปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสูงขึ้นไปด้วย (รูปที่ 5 ข) รองลงมาที่ความเร็วการไหล 2.0 ม./ชม., 1.0 ม./ชม. และที่ความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. โดยมีความสามารถในการกำจัดเป็นร้อยละ 81, 73, 68 และ 66 ตามลำดับ

โดยมีความขุ่นในน้ำออกเท่ากับ 23, 3, 3 และ 12 NTU ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสามารถในการกรองโดยแบ่งเป็นแต่ละชั้นตอนการทดลองพบว่าชั้นตอนการกรองแรกที่ความเร็วการไหล 3.0, 2.0, 1.0 และ 0.3 ม./ชม. มีความสามารถในการกำจัดเป็นร้อยละ 67, 64, 61 และ 64 ตามลำดับ ส่วนร้อยละในการกำจัดความขุ่นในชั้นตอนที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ น่าจะเป็นเนื่องจากว่าความพรุน (Porosity) ของกรวดละเอียดมีค่าน้อยจึงมีส่วนช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของชั้นตอนการกรองที่ 2 นั้นดียิ่งขึ้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงร้อยละการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยของ Two-stage HRF เปรียบเทียบกับ One-stage HRF ของวัสดุกรอง SBM ในแต่ละความเร็วการไหล

ความเร็วการไหล	ร้อยละการกำจัดความขุ่นเฉลี่ย		ปริมาณความขุ่นเฉลี่ยในน้ำออก ($\mu\text{g/l}$)
	One-stage HRF	Two-stage HRF	Two-stage HRF
0.3 ม./ชม.	64	66	12
1.0 ม./ชม.	61	68	3
2.0 ม./ชม.	64	73	3
3.0 ม./ชม.	67	81	23



รูปที่ 6 แสดงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเข้าและน้ำออกของ SBM ที่ความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. แล้วเพิ่มเป็น 2.0 ม./ชม.

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของการกรองที่ไหลตามแนวราบแบบ 2 ขั้นตอน

ในการทดลองครั้งนี้พบว่าน้ำที่ออกจากถังกรองในขั้นตอนแรกของการทดลองนั้นมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อไหลจากท่อน้ำออกสู่ถังน้ำเข้าของถังกรองขั้นตอนที่ 2 โดยมีความสูงต่างกันประมาณ 100 ซม. ทำให้เกิดการเติมออกซิเจนอีกครั้งหนึ่งทำให้น้ำออกของการกรองที่

ไหลตามแนวอนแบบ 2 ขั้นตอนมีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบทรายกรองช้า (≥ 2 มก./ล.) และการเติมอากาศทั้งหมดจะเป็นตัวช่วยจัดปัญหาเรื่องกลิ่นที่เกิดมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดมาจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศ จึงทำให้ต้องมีขั้นตอนการกรองขั้นที่ 2 เพื่อที่จะยกระดับคุณภาพน้ำให้สูงขึ้น ดังแสดงในผลการทดลองรูปที่ 6 [8]

ตารางที่ 4 ปริมาณค่าซีโอดีของ Two-stage HRF ที่ความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. แล้วเพิ่มเป็น 2.0 ม./ชม.

ความเร็วการไหล	ชั่วโมงที่	SBM		กรวดละเอียด		จำนวนตัวอย่าง
		น้ำเข้า (mg/l) (เฉลี่ย)	น้ำออก (mg/l) (เฉลี่ย)	น้ำเข้า (mg/l) (เฉลี่ย)	น้ำออก (mg/l) (เฉลี่ย)	
2.0 ม./ชม.	458-724	51-127 (67)	30-96 (46)	30-96 (46)	22-78 (34)	8
2.0 ม./ชม.	796-1156	61-103 (74)	32-67 (47)	32-67 (47)	13-47 (17)	9

ตารางที่ 5 แสดงร้อยละการกำจัดค่าซีโอดีเฉลี่ยของ Two-stage HRF เปรียบเทียบกับ One-stage HRF ที่ความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. แล้วเพิ่มเป็น 2.0 ม./ชม.

ความเร็วการไหล	ชั่วโมงที่	ร้อยละการกำจัดค่าซีโอดีเฉลี่ย		ปริมาณค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออก (mg/l)	จำนวนตัวอย่าง
		One-stage HRF (SBM)	Two-stage HRF (SBM+กรวด)	Two-stage HRF (SBM+กรวด)	
2.0 ม./ชม.	458-724	33	51	34	8
2.0 ม./ชม.	796-1156	35	55	33	9

การกำจัดค่าซีโอดี

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดีในการทดลองนี้ได้นำน้ำเข้าและน้ำออกของแต่ละถังกรองมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบว่ามีกิจกรรมทางชีวภาพเกิดขึ้นหรือไม่พบว่าค่าซีโอดีที่ออกมาจากถังกรองทุกความเร็วการไหลส่วนใหญ่จะลดลงจากน้ำที่เข้าโดยมีสัดส่วนค่าซีโอดีเข้าต่อค่าซีโอดีออกเฉลี่ยเป็น 1:0.50 ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5 เนื่องจากว่าซีโอดีในสระน้ำนั้นส่วนใหญ่จะเป็นพวกสาหร่ายและของแข็งแขวนลอย ทำ

ให้สรุปได้ว่าเป็นการกรองสาหร่ายและอินทรีย์สารที่เป็นของแข็งแขวนลอยที่เป็นส่วนหนึ่งของค่าซีโอดีออกไปจึงทำให้ค่าซีโอดีลดลง [8] และอีกในกรณีหนึ่งเกิดมาจากแบคทีเรียที่อยู่ในถังกรองได้ย่อยสลายสาหร่ายที่ตายแล้วและของแข็งแขวนลอยที่เป็นอินทรีย์สารจึงทำให้ค่าซีโอดีลดลง[6] ,[8] ซึ่งช่วยทำให้ค่าซีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งและมีเสถียรภาพ

4. สรุปผลการทดลอง

1) พบว่าความสามารถในการกำจัดสาหร่ายโดยแบ่งเป็นแต่ละขั้นตอนพบว่าขั้นตอนการกรองแรกที่มีความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. โดยตัวกรองแบบ BBM และแบบ SBM มีความสามารถในการกำจัดเป็นร้อยละ 84 และ 89 ตามลำดับ ที่ความเร็วการไหล 1.0 ม./ชม. และ 2.0 ม./ชม. ตัวกรองแบบ SBM มีความสามารถในการกำจัดเป็นร้อยละ 55 และ 3 ตามลำดับ

2) ในการศึกษาการกรองที่ไหลตามแนวราบแบบ 2 ขั้นตอนสำหรับกำจัดสาหร่ายที่มีความเร็วการไหล 0.3 ม./ชม. นั้นดีที่สุด โดยตัวกรองแบบ BBM และแบบ SBM มีประสิทธิภาพในการกำจัดเป็นร้อยละ 86 และ 91 ตามลำดับ รองลงมาที่ความเร็วการไหล 1.0 ม./ชม. และ 2.0 ม./ชม. ตามลำดับ โดยตัวกรองแบบ SBM มีความสามารถในการกำจัดเป็นร้อยละ 61 และ 20 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า SBM สามารถใช้แทนกรวดหยาบและเศษพลาสติกพีวีซี ได้เป็นอย่างดี

3) ความยาวของถังกรองนั้นมีส่วนช่วยต่อผลของประสิทธิภาพการกำจัดในการทดลองที่ใช้ความเร็วการไหลสูงๆได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่าที่ความเร็วการไหลที่สูงนั้นตะกอนจะต้องใช้เวลาและระยะทางในการตกตะกอนมากขึ้นเมื่อมีระยะทางที่ยาวขึ้นก็จะช่วยให้ตกตะกอนได้มากขึ้น

4) ซีโอดีที่ออกมาจากชุดถังกรองนี้ ส่วนใหญ่จะลดลงประมาณร้อยละ 50 จากน้ำที่เข้ามา เนื่องจากเป็นการกรองสาหร่ายและอินทรีย์สารที่เป็นของแข็งแขวนลอยที่เป็นส่วนหนึ่งของค่าซีโอดีออกไปจึงทำให้ค่าซีโอดีลดลงและอีกในกรณีหนึ่งเกิดมาจากแบคทีเรียที่อยู่ในถังกรองได้ย่อยสลายสาหร่ายที่ตายแล้วและของแข็งแขวนลอยที่เป็น

อินทรีย์สารจึงทำจากน้ำที่เข้ามา เนื่องจากเป็นการกรองสาหร่ายและอินทรีย์สารที่เป็นของแข็งแขวนลอยที่เป็นส่วนหนึ่งของค่าซีโอดีออกไปจึงทำให้ค่าซีโอดีลดลงซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของ Sittivate [6] และพงศ์ณกาจ [7]

5) ขั้นตอนการกรองที่ 2 นั้นสามารถทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการกรองนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้นมากกว่าเมื่อผ่านการกรองเพียงขั้นตอนเดียว โดยขั้นตอนการกรองที่ 2 ทำหน้าที่เป็นตัวปรับปรุงคุณภาพ (polisher) ของน้ำออกจากขั้นตอนการกรองแรกที่เป็นตัวกรองแบบ SBM และแบบ BBM ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของ Sittivate [6] และพงศ์ณกาจ [7]

6) จากการเพิ่มและลดความเร็วในระหว่างการทดลองในชุดการทดลองที่ 3 เพื่อที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสาหร่ายและความขุ่นในกรณีที่จะเกิดขึ้นจริงในการปฏิบัติงานภาคสนาม พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ทำกลับให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายและความขุ่นสูงขึ้นอีก เพราะเหตุที่ปริมาณของสาหร่ายมีมากขึ้นในถังพัก ส่งผลให้ปริมาณความขุ่นมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ทั้งความขุ่นและปริมาณสาหร่ายในน้ำออกจากระบบยังคงต่ำอยู่อย่างเดิม

7) จากการเพิ่มปริมาณความขุ่นในลักษณะเป็นพักๆ (Shock load) ในชุดการทดลองที่ 4 พบว่าไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเปลี่ยนแปลงไป แต่กลับมีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเดิมมาก ทั้งนี้เพราะปริมาณความขุ่นที่ไหลออกจากระบบมีค่าต่ำประมาณ 20 NTU โดยเฉลี่ย ใดๆ ที่มีการเพิ่มอัตราการไหลเป็น 3.0 ม/ชม. และในการทดลองชุดนี้สามารถนำไปออกแบบเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพ

น้ำของระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตได้

8) จากผลของการทดลองจะเห็นได้ว่าถ้ามีการนำถังกรองแวนอนแบบ 2 ชั้นตอนมาใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์จะทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยฯ มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบนี้ได้ถูกปรับให้มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการทิ้งลงสู่ลำรางสาธารณะและยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) เช่น นำมารดน้ำต้นไม้ในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตได้ เป็นต้น [8]

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Schulz, C.R. and Okun, D.A., Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries, John Wiley and Sons, New York, John Wiley and Sons, pp. 151-156, 1984.
- [2] Pearson, H.W., Mara, D.D. and Bartone, C.R., Guidelines for the Minimum Evaluation of the Performance of Full-scale Waste Stabilization Ponds, Water Research, Vol. 21, No. 6, pp. 693-698, 1987.
- [3] Wegelin, M., Horizontal Flow Roughing Filtration, a Design, Construction and Operation Manual, IRCWD - Report, No.6/86, Switzerland, pp. 1-92, 1986.
- [4] Wegelin, M., Surface water Treatment by Roughing Filters : A Design, Construction and Operation Manual, SANDEC Report, 2/96, Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management (SKAT), pp. (I-1) – (XVII-1), 1996.
- [5] Standard Method for the Experimental Water and Wastewater 20th, pp. (2-9) – (2-11), (4-134) – (4-136), (4-87) - (4-91), (5-15) – (5-16), 1998.
- [6] Sittivate, D., Algae Removal from Surface Water by Horizontal-Flow Roughing Filtration, Philosophy of Engineering Thesis, Civil Engineering Program, The University of Newcastle upon Tyne, pp. 1-241, 1999.
- [7] พงศ์กนก มุ่งกล้ากลาง, การใช้การกรองที่ไหลตามแนวราบแบบ 2 ชั้นตอนสำหรับกำจัดสาหร่าย, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-136, 2544.
- [8] โคม สิทธิเวชย์และคณะ, การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อบำบัดของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, รายงานฉบับสมบูรณ์, 2548.