ผลของการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่มีต่อการบำบัดซีโอดีในน้ำเสีย

Effect of Photosynthetic Bacteria Addition on COD Removal in an Up-flow Anaerobic Filter

ธรรมนูญ ม้าวิเศษ[1*], ทรงยศ มงคลพิศ[2], เพชร เพ็งชัย[3]

Thammanoon Mavises[1*], Songyot Mongkulphit[2], Petch Pengchai[3]

Received: 15 February 2016; Accepted: 24 May 2016

บทคัดย่อ

ถังกรองไร้อากาศราคาไม่แพงและติดตั้งง่าย จึงเป็นที่นิยมใช้บำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัย อย่างไรก็ตาม พบว่าน้ำทิ้งจากที่พักอาศัยหลายแห่งที่ผ่านการบำบัดจากถังกรองไร้อากาศยังคงมีความเข้มข้นซีโอดีเกินเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจากมีระยะเวลากักเก็บไม่เพียงพองานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศภายใต้ระยะเวลากักเก็บสั้นโดยการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงลงไปในระบบช่วงตั้งต้น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ที่ระยะเวลากักเก็บ 1.1-6.5 ชั่วโมง กรณีที่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำจากแป้งและนมได้ร้อยละ 52-90 ซึ่งมากกว่ากรณีไม่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงร้อยละ 49-88 อย่างมีนัยสำคัญผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ในแบบจำลอง Stover-Kincannon พบว่า U_{max} = 11.111 ก. ซีโอดี/ลิตร-วัน K_B = 11.670 ก.ซีโอดี/ลิตร-วัน สำหรับกรณีไม่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และ U_{max} = 12.500 ก.ซีโอดี/ลิตร-วัน K_B = 12.981 ก.ซีโอดี/ลิตร-วัน สำหรับกรณีเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง จากแบบจำลอง Stover-Kincannon กล่าวได้ว่าการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถลดระยะเวลากักเก็บลงได้ร้อยละ 20

คำสำคัญ: ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น ซีโอดี ระยะเวลากักเก็บ ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ แบบจำลอง Stover-Kincannon

Abstract

Anaerobic filters (AF) have been widely used for domestic wastewater treatment due to their low cost and easy installation. According to insufficient hydraulic retention time (HRT) found in many communities, COD concentrations of treated wastewater discharged from AF still exceed the standard value.This research aimed to increase COD removal efficiency of up-flow anaerobic filters (UAFs) under short HRT condition by adding photosynthetic bacteria (PNB) to the system during the start-up period. The result revealed that at HRT 1.1-6.5 hours, an UAF with PNB addition had 52-90 % removal efficiency which was significantly higher than the UAF without PNB addition (49-88 %). Calculated kinetic parameters of Stover-Kincannon model, U_{max} and K_B, were 11.11 gCOD/L-day and 11.67 gCOD/L-day for the UAF without PNB addition; 12.50gCOD/L-day and 12.98 gCOD/L-day for the UAF with PNB addition. PNB addition can reduce HRT for 20%.

Keywords: upflow anaerobic filters, COD, hydraulic retention time, kinetic parameters, Stover-Kincannon model

[1] นิสิตปริญญาโท,[1,2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์, [3]สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

[2] Master degree student, [3] Assist. Prof., Environmental Engineering Laboratory Faculty of Engineering Mahasarakham University 44150

[3] Corresponding author : ThammanoonMavises, Environmental Engineering Laboratory Faculty of Engineering Mahasarakham University Mahasarakham 44150.Tel. +6643-754327 E-mail: mavises52@gmail.com

บทนำ

ถังกรองไร้อากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีมาแต่โบราณ นิยมใช้บำบัดน้ำเสียจากอาคารที่พักอาศัยก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เนื่องจากติดตั้งและดูแลง่ายปัจจุบันจึงพบถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูป (septic tank) วางจำหน่ายในร้านขายอุปกรณ์ก่อสร้างทั่วไป อย่างไรก็ตาม ผลการสำรวจคุณภาพน้ำทิ้งจากหอพักในจังหวัดมหาสารคาม[1] ระบุว่ายังคงมีหอพักจำนวนหนึ่งไม่ได้ติดตั้งถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูป ส่วนหอพักที่ติดตั้งถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูปก็พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำต่ำ น้ำทิ้งมีค่า BOD103-190 มก./ล. COD272-640 มก./ล. ซึ่งถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดไว้ เมื่อตรวจสอบรายละเอียดพบว่าปริมาตรถังกรองไร้อากาศที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีขนาดเล็กกว่าค่าที่แนะนำในการออกแบบ[1] หมายถึง มีระยะเวลากักเก็บน้อยกว่า 1-4วันตามที่แนะนำไว้ในเกณฑ์การออกแบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น[2] กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าหอพักส่วนใหญ่ไม่สะดวกที่จะติดตั้งถังกรองไร้อากาศในปริมาตรตามเกณฑ์การออกแบบ ผลนี้ชี้ให้เห็นความสำคัญของการพัฒนาถังกรองไร้อากาศขนาดเล็กที่ใช้กันอยู่ให้สามารถบำบัดน้ำได้ดีขึ้น

การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศทำได้หลายวิธี เช่น เลือกใช้ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง และมีความพรุนสูง[3] ออกแบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นให้มีจุดนำน้ำเสียเข้าระบบมากกว่า 1 จุดเพื่อให้มวลจุลินทรีย์เกาะกับตัวกลางอย่างสม่ำเสมอ[4] และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ลงในระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย[5] เป็นต้น ในที่นี้ผู้วิจัยสนใจการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงลงไปในระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น

จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (photosynthetic bacteria; PSB) เป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรีย พบทั่วไปในธรรมชาติทั้งในดิน แหล่งน้ำธรรมชาติ และน้ำเสีย[6,7] ดำรงชีพอยู่ได้ทั้งในสภาวะมีออกซิเจน[8] และ ไร้ออกซิเจน[6,8,9] โดยในสภาวะไร้ออกซิเจนนั้นมักจะพบ PSB ที่อยู่ในกลุ่ม purple nonsulfur bacteria (PNSB) เช่น Rhodobactersphaeroides and Rhodopseudomonaspalustris[7] สำหรับเงื่อนไขของการสังเคราะห์แสงพบว่า ในสภาวะไม่มีแสง PSB ทำหน้าที่เป็น chemoheterotroph โดยมีสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและตัวจ่ายอิเลคตรอนมีก๊าซออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอน[6,9,10] ส่วนในสภาวะที่มีแสง PSB ทำหน้าที่เป็นได้ทั้ง photoautotroph โดยมีก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวจ่ายอิเลคตรอน และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเลคตรอนและแหล่งคาร์บอน[6,10,11] และเป็น photoheterotroph โดยมีน้ำตาลและกรดอินทรีย์เป็นตัวจ่ายอิเลคตรอนและแหล่งคาร์บอน[6]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า PSB สามารถกำจัด COD ละลายน้ำโดยนำมาสะสมไว้ในตัวในรูปสาร polyhydroxybutyrate หรือ PHB[12] กำจัดฟอสฟอรัสในน้ำโดยนำมาสังเคราะห์เป็นสารโพลิฟอสเฟตในตัว[12] และกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการ denitrification และ assimilation[8,12] นอกจากนี้ PSB ยังสังเคราะห์สารที่มีประโยชน์หลากหลายชนิดเก็บไว้ในเซลล์ เช่น ไบโอโพลิเมอร์ โปรตีนเซลเดียว แคโรทีน วิตามินบี 5 และ ยาต้านจุลชีพ (antimicrobial agents) ในการเจริญเติบโตของ PSB สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้หากอยู่ในเงื่อนไขที่เหมาะสม[13] ปัจจุบันจึงมีผู้นำ PSB ไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการบำบัดน้ำเสีย การผลิตอาหารเสริมและยารักษาโรค การเกษตร[12] ตลอดจนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนสำหรับใช้เป็นพลังงานทางเลือก[13]

ในด้านการบำบัดน้ำเสีย PSB ถูกนำมาทดลองใช้กับน้ำเสียหลากชนิดในเงื่อนไขการให้แสงและออกซิเจนต่างๆ กัน Panwichian S. และคณะ[14] พบว่าในสภาวะมีอากาศและไร้แสง PSB สามารถบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งได้ดีกว่าในสภาวะมีอากาศและมีแสง Rajyalaxmi K. และคณะ[15] พบว่าในสภาวะไร้อากาศและมีแสง PSB ชนิด Rhodobacter sp.GSKRLMBKU-02 ที่แยกได้จากน้ำเสียโรงงานกระดาษสามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ได้โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด BOD 52%, COD 76%, คลอไรด์ 68%, ซัลเฟต 69 % แม้จะมีงานวิจัยระบุว่า PSB ชนิด PNSB สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะไร้แสงและไร้ออกซิเจนโดยอัตราการเจริญเติบโตจะสูงขึ้นเมื่อมี pyruvate และ H_2 ในระบบ[9] แต่ก็ยังไม่พบงานวิจัยใดนำ PSB ไปใช้บำบัดน้ำเสียในสภาวะไร้แสงและไร้ออกซิเจนงานวิจัยนี้เล็งเห็นความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นในสภาวะไร้แสงไร้ออกซิเจน จึงดำเนินการวิจัยภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดน้ำเสียตลอดจนค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นในกรณีเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ตัวกลาง

ใช้ตัวกลาง 1,440 ชิ้นต่อถังกรอง ตัวกลางแต่ละชิ้นทำจากเชือกไนล่อนเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 20 เส้นมัดรวมกันโดยใช้ยางรัด มีพื้นที่ผิว 0.92 ตารางเมตรต่อชิ้น (Figure 1) ดังระบุไว้ในงานวิจัยของ

ซันวานี จิใจ[16] และ ทรงยศ มงคลพิศ[17]

2. ระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น

ใช้ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นทำจากท่อ PVC รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร จำนวน 2 ถัง ถังหนึ่งไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (ถัง NON-PNB-UAF) ส่วนอีกถังหนึ่งเติมเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (ถัง PNB-UAF) แต่ละถังถูกเจาะรูที่ความสูงถัง 0.3 เมตร 0.6 เมตร และ 0.9 เมตรด้านบนของถังกรองทั้ง 2 ถังต่อกับถังพักน้ำเสียปริมาตร 60.3 ลิตรโดยให้ท่อน้ำเข้าถังกรองยาวลงไปถึงก้นถัง เพื่อให้น้ำเสียไหลเข้าระบบแบบไหลขึ้น น้ำเสียสังเคราะห์ในถังบรรจุน้ำเสียปริมาตร 200 ลิตร จำนวน 3 ถัง จะถูกสูบเข้าถังพักน้ำเสียก่อนไหลผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลเข้าถังกรองไร้อากาศดังแสดงใน (Figure 2) เมื่อน้ำในถังพักน้ำเสียลดลงถึงระดับ 30 เซนติเมตร ลูกลอยจะสั่งปั๊มน้ำอัตโนมัติ (MITSUBISHI QS รุ่น WP-105 QS ขนาดมอเตอร์ 100 วัตต์ ของบริษัท CHENGGANG ELECTRICAL ENGINEERING CO.,LTD ผลิตในประเทศไทย) ให้สูบน้ำเสียจากถังบรรจุน้ำเสียเข้าถังพักน้ำเสียจนเต็ม เป็นอย่างนี้ตลอดการเดินระบบ

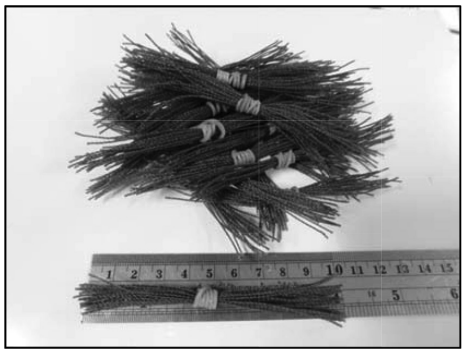

Figure 1 Nylon media

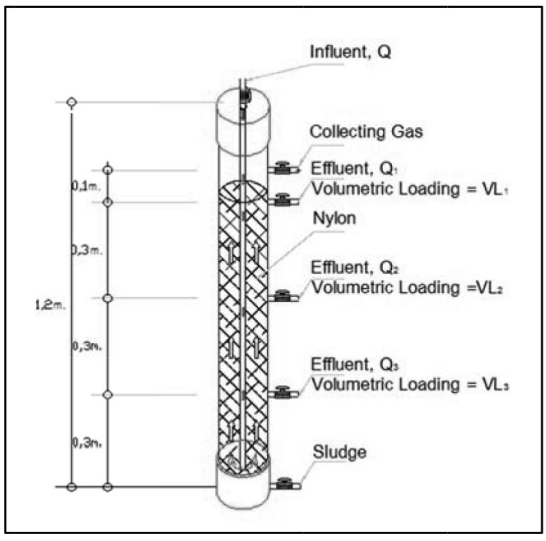

Figure 2 Up-flow Anaerobic Filter

3. น้ำเสีย

ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เตรียมจากแป้งประกอบอาหาร (ตราโกกิ บริษัท เอ็มแอนด์อาร์ โกกิ จำกัด ผลิตในประเทศไทย) 792 กรัม ต่อ นมวัว (แบบ ยู.เอช.ที. รสหวาน ตราวัวแดง บริษัท ไทย-เดนมาร์ค ผลิตในประเทศไทย) 324 กรัม ผสมกับน้ำประปาปริมาตร 600 ลิตร มีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 553.2-617.8 มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตรซึ่งเป็นช่วงค่าซีโอดีของน้ำเสียจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม[17] และค่าซีโอดีสูงสุดที่ตรวจพบในน้ำทิ้งจากหอพักในจังหวัดมหาสารคาม[1]

4. เงื่อนไขการเดินระบบ

ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (start-up) ผู้วิจัยเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงเพื่อการเกษตร (ชื่อผลิตภัณฑ์สยามโรโด) ปริมาณ 7.95 ลิตรลงในถัง PNB-UAF จากนั้นเติมอาหารเลี้ยงเชื้อและน้ำประปา 7.95 ลิตรเพื่อให้ได้ความเข้มข้น Peptone 5 กรัมต่อลิตร NaCl5 กรัมต่อลิตร Beef extract 3 กรัมต่อลิตรและ Yeast extract 3 กรัมต่อลิตร หลังจากแช่ตัวกลางทิ้งไว้ในถังกรอง 7 วัน จึงเวียนน้ำออกแล้วนำกลับเข้าถังใหม่ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 95 ลิตร/วัน เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์เกาะกับตัวกลาง จากนั้นปล่อยน้ำเข้าออกระบบโดยไม่เวียนกลับอีก 7 วันก่อนเริ่มเก็บตัวอย่างมาตรวจวัดส่วนถัง NON-PNB-UAF นั้นทำทุกอย่างเหมือนถัง UAF-PNB เพียงแต่ใส่น้ำประปาลงไปแทนหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง

ในช่วงบำบัดน้ำเสียเดินระบบโดยใช้อัตราการไหล 3 ค่า คือ 47.7, 63.6 และ 95.7 ลิตร/วัน คิดเป็นระยะเวลากักเก็บและอัตราภาระบรรทุกซีโอดีที่จุดน้ำออก 0.3, 0.6 และ 0.9 เมตร ดังแสดงใน (Table 1) เก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าถังกรองและออกจากถังกรองแต่ละถังที่ระยะความสูงทั้ง 3 ค่า แล้วตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของถังกรองและใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของถังกรอง

5. วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์ค่า COD โดยวิธี Close Reflux Method ตรวจวัดค่าพีเอช (pH)อุณหภูมิน้ำ และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO : Dissolved Oxygen) ด้วยเครื่องวัด DO ภาคสนาม รุ่น Pro 20 บริษัท YSI ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา

Table 1 Flow rate and organic loading rate

Flow rate (L/day)	Height of discharge pipe (m)	Hydraulic Retention Time (hrs)	COD loading rate (kgCOD/ m^3-day)
47.7	0.9	6.5	1.7-1.9
	0.6	4.2	2.5-2.8
	0.3	2.1	5.0-5.6
63.6	0.9	4.9	2.2-2.5
	0.6	3.2	3.4-3.8
	0.3	1.6	6.7-7.5
95.7	0.9	3.3	3.5-3.7
	0.6	2.1	5.3-5.5
	0.3	1.1	10.5-11.0

6. วิธีวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดทางสถิติ

ได้คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัด COD ของ NON-PNB-UAF และ PNB-UAFรายวันผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excelและได้แสดงไวในรูปแบบ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน นอกจากนี้ได้นำข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัด COD ของ NON-PNB-UAF และ PNB-UAF ในแต่ละวันมาเปรียบเทียบกันโดยใช้วิธี pairsamplet-test แบบ 2-tailed ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excel

7. วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟเส้นตรงที่จัดรูปแบบตามแบบจำลอง Stover-Kincannon[17] ดังสมการที่ 1 แล้วหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์จากค่าคงที่ของสมการที่ได้ด้วยวิธี Linear Regression Analysis ผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excel

$$\frac{V}{Q(S_o - S_e)} = \frac{K_B}{U_{max}} \times \frac{V}{QS_o} + \frac{1}{U_{max}} \quad \text{สมการที่ 1}$$

Q คืออัตราการไหล (ลิตร/วัน) V คือปริมาตรน้ำในถังกรองไร้อากาศ (ลิตร) S_0และ S_eคือค่าความเข้มข้นของสารมลพิษขาเข้าและขาออก (มิลลิกรัม/ลิตร) ตามลำดับ, U_{max} คือ อัตราเร็วสูงสุดในการกำจัดมลพิษ (มิลลิกรัม/ลิตร-วัน) และ K_B คือ ค่าคงที่ความอิ่มตัวของมลพิษ (มิลลิกรัม /ลิตร-วัน) ทั้งนี้หมายถึงความเข้มข้นของมลพิษที่อัตราเร็วคึ่งหนึ่งของอัตตราเร็วในการทำปฏิริยาสูงสุด

ผลการทดลอง

1. ค่า pH อุณหภูมิน้ำ และค่า DO

ระหว่างดำเนินการทดลอง อุณหภูมิมีค่าในช่วง 31-39 องศาเซลเซียสซึ่งอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์แบบ mesophilic เติบโตได้ดี[19]pH มีค่าในช่วง 5-8 ส่วนค่า DO ของน้ำเสียเข้า-ออกจากถังกรองทั้ง 2 ชนิดมีค่าอยู่ในช่วง 1.3-2.33 มิลลิกรัม/ลิตร และ 0.14-0.29 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เนื่องจากค่า DO ในน้ำเสียขาออกน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร จึงกล่าวได้ว่าระบบอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน (anoxic) [20]

2. ประสิทธิภาพการบำบัด COD

(Figure 3) แสดงความเข้มข้น COD ในน้ำเข้า-ออกจากถังกรองไร้อากาศ พบว่าทั้งถัง PNB-UAF และ ถัง NON-PNB-UAF สามารถบำบัด COD ได้ โดยน้ำออกที่ระดับความสูง 0.9 เมตรส่วนใหญ่มีคุณภาพดีกว่า (COD = 60-313 มก./ล.) น้ำออกที่ระดับความสูง 0.3 และ 0.6 เมตร (COD = 67-421 มก./ล.) อธิบายได้ว่าเป็นเพราะมีระยะเวลากักเก็บสูงที่สุด เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการบำบัด COD ของถังกรองไร้อากาศที่ระดับความสูงของท่อน้ำออก 0.9 เมตร พบว่าถัง PNB-UAF มีประสิทธิภาพการบำบัด COD (83.4±5.7%) สูงกว่าถัง NON-PNB-UAF80.0 ± 3.6 %) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (2-tailed, paired t-test) โดยประสิทธิภาพการบำบัด COD ของถัง PNB-UAF (60.7 ± 5.6 %) และถัง NON-PNB-UAF (56.5 ±5.3 %) มีค่าต่ำสุดที่ระยะเวลากักเก็บต่ำสุดหรืออัตราการไหลสูงสุดคือ 95.4 ลิตร/วัน ดังแสดงใน (Figure 4) จากผลข้างต้นกล่าวได้ว่าการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นได้และระยะเวลากักเก็บที่สั้นเกินไปสามารถส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD มีค่าต่ำ

3. ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ในการบำบัด COD

เมื่อนำค่าเฉลี่ย COD สำหรับแต่ละระยะเวลากักเก็บมาจัดรูปแบบแล้วพล็อตกราฟเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ในการบำบัด COD พบว่าสามารถใช้แบบจำลอง Stover-Kincannon คำนวณขนาดถังกรอง (V) และอัตราการไหลน้ำ (Q) จากความเข้มข้น COD เข้า (S_0) และออกจากถัง (S_e) ได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ไม่ต่ำกว่า 0.9 ดังแสดงใน Figure 5 จากค่าความชันและจุดตัดแกนตั้งของเส้นตรงในกราฟสามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ได้ผลดังแสดงใน (Table 2)

เมื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น พบว่า U_{max} และ K_B ที่ได้มีค่าน้อยกว่าในงานของ Ahn JH และคณะ (2000)[21] และ Rajagopal R. และ

คณะ(2013)[21] และเมื่อนำค่า U_{max} และ K_B ไปคำนวณระยะเวลากักเก็บ (HRT=V/Q) ที่สามารถบำบัด COD 600 มก./ล. ได้ 80% พบว่าถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นในงานวิจัยนี้ต้องการระยะเวลากักเก็บซึ่งหมายถึงขนาดถังกรองไร้อากาศเป็น 5-7 เท่าของงานวิจัยอื่นดังแสดงใน (Table 2) ที่เป็นเช่นนี้ส่วนหนึ่งอาจมาจากระบบถังกรองไร้อากาศในงานวิจัยนี้ไม่มีการเวียนน้ำออกกลับมาบำบัดใหม่เหมือน Rajagopal R. และคณะ (2013)[22] และใช้ระยะเวลากักเก็บสั้นกว่าAhn JH และคณะ (2000)[21] อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลากักเก็บของกรณีเติม (5.4 ชั่วโมง) และไม่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (6.5 ชั่วโมง) พบว่าการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถลดระยะเวลากักเก็บลงได้ประมาณ 1 ชั่วโมง คิดเป็นปริมาตรถัง 0.8 เท่าของกรณีไม่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และถือเป็นระยะเวลากักเก็บที่ต่ำกว่าค่าแนะนำในการออกแบบ 1-4 วัน ที่อัตราภาระบรรทุก COD 4-16 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.วัน [23]

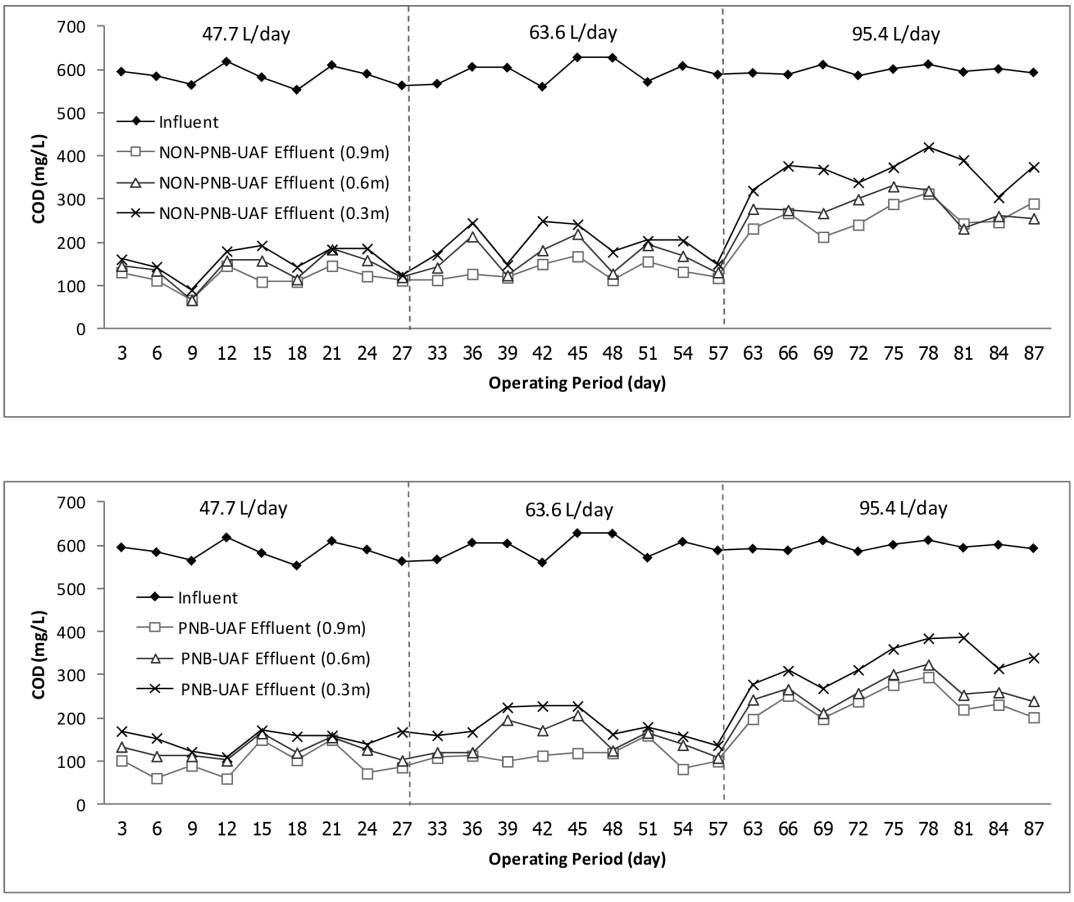

Figure 3 CODof Influent and Effluent in PNB-UAF and NON-PNB-UAF

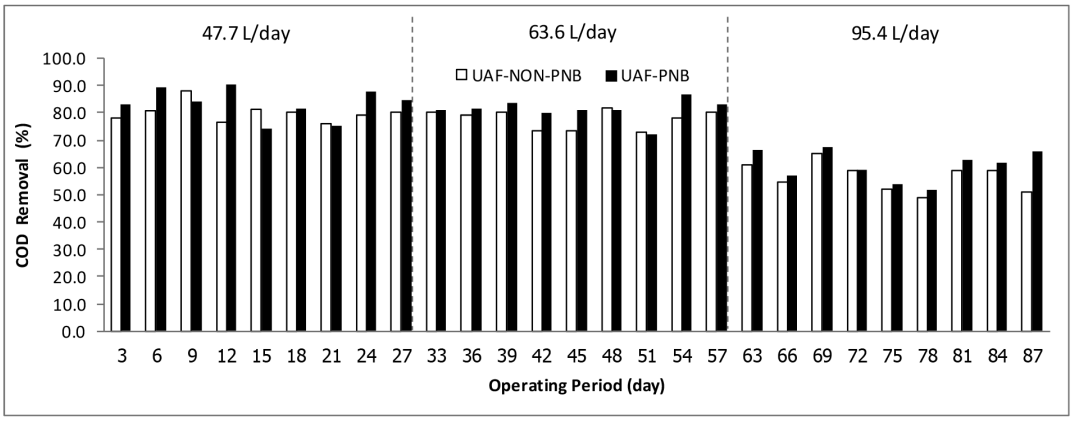

Figure 4 COD Removal Efficiency of PNB-UAF and NON-PNB-UAF at 0.9 m height

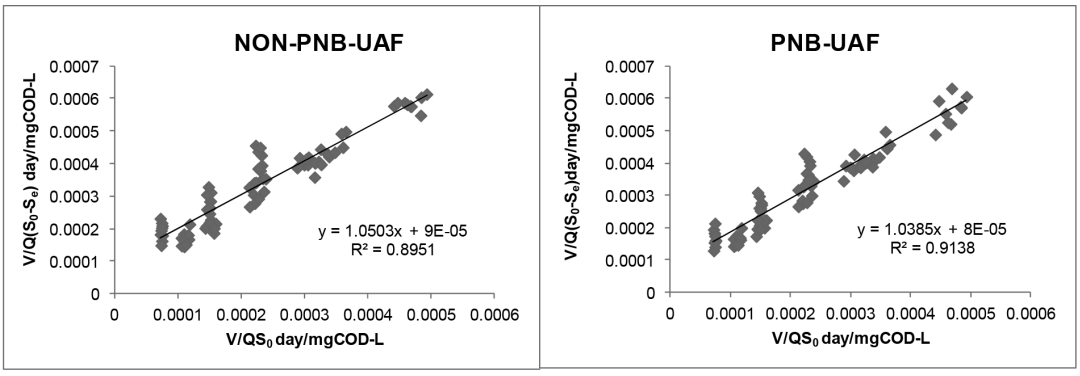

Figure 5 Plot of Stover-Kincannon Modelfor PNB-UAF and NON-PNB-UAF

Table 2 Kinetic Parameters of in Stover-Kincannon Model for Upflow Anaerobic Filter

References	Biomass seeding/wastewater/HRT	COD loading Rate (kgCOD/m^3-day)	Kinetic Parameters	Calculated HRT necessary for 80% COD removal
This study	No addition/ synthetic wastewater (starch and milk)/ 1.1-6.5 hr.	1.7-11.0	U_{max} = 11.111 gCOD/L-day K_B = 11.670 gCOD/L-day	6.5 hr
This study	PNB addition/ synthetic wastewater (starch and milk)/ 1.1-6.5 hr.	1.7-11.0	U_{max} = 12.500 gCOD/L-day K_B = 12.981 gCOD/L-day	5.4 hr
Ahn J. H. et al., 2000 [20]	sludge from anaerobic digester/ synthetic wastewater (starch and mineral salt)/ 6-24 hr.	1.15-16.7	U_{max} = 49.8 gCOD/L-day K_B = 50.6 gCOD/L	1.2 hr
Rajagopal R. et al., 2013 [21]	anaerobic sludge/ cheese-diary wastewater/ 1.6 days	19.0	U_{max} = 53.5 gCOD/L-day K_B = 49.7 gCOD/L	0.8 hr

สรุปผลการทดลอง

การเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด COD ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำจากแป้งและนมได้อย่างมีนัยสำคัญ และสามารถลดระยะเวลากักเก็บหรือขนาดของถังลงเหลือ 0.8 เท่าของกรณีไม่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นถือว่าระบบถังกรองไร้อากาศในงานวิจัยนี้ยังคงต้องพัฒนาให้มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่านี้สำหรับการศึกษาในขั้นต่อไปควรมีการจำแนกPNB จากผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงที่ใช้และจากแผ่นฟิล์มจุลินทรีย์ที่เกาะกับตัวกลางหลังการทดลองเพื่อความมั่นใจว่ามีจุลินทรีย์กลุ่ม PNB อยู่จริงและควรเพิ่มระยะเวลาทดลองเดินระบบในแต่ละอัตราการไหลเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าค่าประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ได้เป็นค่าที่เกิดเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว นอกจากนี้ควรทดลองใช้น้ำเสียจริงจากโรงอาหารเพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานจริงเนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองนี้ทำจากแป้งและนม ไม่มีสารลดแรงตึงผิวซึ่งมักพบในน้ำเสียจากการซักล้าง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่อำนวยความสะดวกในการวิจัยทุกประการ ขอขอบคุณบริษัทผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (สยามโรโด) ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงโดยไม่มีค่าใช้จ่าย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วัลยรุกขเวช และศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่อำนวยความสะดวกในเรื่องเครื่องมือตรวจวัดต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

1. ณัฐพล นิยมวงศ์ และ ทวีชัย ประดิษฐ์ค่าย. การสำรวจคุณภาพน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัดของถังบำบัดในหอพัก บริเวณรอบ ๆมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2555.
2. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพ. 2357.
3. Joo-Hwa T, Kuan-Yeow S, Jeyaseelan S. Media Factors Affecting the Performance of Upflow Anaerobic Packed-Bed Reactors. Environmental Monitoring and Assessment 1997; 44(1): 249-261.
4. Yu HQ, Zhao QB, Tang Y. Anaerobic treatment of winery wastewater using laboratory-scale multi- and single-fed filters at ambient temperatures. Process Biochemistry 2006; 41(12): 2477–2481.
5. Boonyaprapa P, Vanpetch W, Sangsirimongkolying R, Yoosook W. Waste water treatment of dye contamination. Environment Asia 1 2009; 49-53.
6. Hülsen T, Batstone DJ, Keller J.Phototrophic bacteria for nutrient recovery from domestic waste water. Water Research 2014;50: 18-26.
7. Kim MK, Choi KM, Yin CR, Lee KY, Im WT, Lim JH, Lee ST. Odorous swine waste water treatment by purple non-sulfur bacteria, Rhodopseudomonaspalustris, isolated from eutrophicated ponds. Biotechnol Letter 2014; 26(10):819-22.
8. Izu K., Nakajima F., Yamamoto K. and Kurisu F.Aeration conditions affecting growth of purple nonsulfur bacteria in an organic wastewater treatment process. Systematic and Applied Microbiology 2001; 24: 294-302.
9. Uffen RL. and Wolfe RS. Anaerobic growth of purple nonsulfur bacteria under dark conditions. Journal of Bacteriology 1970; 104: 462–472.
10. Wu TY, HayJXW, Kong LB, Juan JC, Jahim JM. Recent advances in reuse of waste material as substrate to produce biohydrogen by purple non-sulfur (PNS) bacteria. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012; 16(5): 3117-3122.
11. Hallenbeck PC, Ghosh D, Skonieczny Yargeau V. Microbiological and engineering aspects of biohydrogen production. Indian Journal of Microbiology 2009;49:48–59.
12. Zhou Q, Zhang Q, Zheng X, Liu G. Biological treatment of high $NH4^{+}$-N wastewater using an ammonia-tolerant photosynthetic bacteria strain (ISASWR2014). Chinese Journal of Chemical Engineering 2015; 23: 1712–1715.
13. Tatyana VL, Darya NT, Kestutis SL, Maria LG, Michael S, Anatoly AT. Towards the integration of dark and photo fermentative waste treatment. 1. Hydrogen photoproduction by purple bacterium Rhodobactercapsulatus using potential products of starch fermentation. International Journal of Hydrogen Energy 2008; 33: 7020 – 7026.
14. PanwichianS, KantachoteD, Wittayaweerasak B, Mallavarapu M. The use of selected purple nonsulfur bacteria to remove heavy metals and salts from sediment and water collected from contaminated areas to decrease their phytotoxicity. African Journal of Biotechnology 2012;11(29):7434-7444.
15. RajyalaxmiK, MeruguR, Girisham S and Reddy SM. Bioremediation of Slaughter house wastewater by Rhodobacter sp. GSKRLMBKU-02. International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology 2015; 6(3) Coden IJABFP-CAS-USA.
16. ซันวา นีจิใจ. การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยึดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยไนล่อนโดยระบบถังกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549.
17. ทรงยศมงคงพิศ. การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยจุลินทรีย์จาวปลวกในระบบถังกรองไร้อากาศแบบ ไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2558.
18. Padilla-Gasca E, López AL. Kinetics of Organic Matter Degradation in an Upflow Anaerobic Filter Using Slaughterhouse Wastewater. Journal of Bioremediation & Biodegradation 2010; 1:106. doi:10.4172/2155-6199.1000106.
19. Connaugton S, Collins G, O'Flaherty V. Psychrophilic and mesophilic anaerobic digestin of brevery effluent a comparative study. Water Reseach 2006; 40(13): 2503-2510.

20. United States Environmental Protection Agency. ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY VERIFICATION: Reduction of Nitrogen in Domestic Wastewater from Individual Residential Homes 2004; EPA/600/R-04/182.
21. Ahn JH and Forster CF. Kinetic analyses of the operation of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulated starch wastewater. Process Biochemistry 2000; 36: 19-23.
22. Rajagopal R, Torrijos M, Kumar P, Mehrotra I. Substrate removal kinetics in high-rate upflow anaerobic filters packed with low-density polyethylene media treating high-strength agro-food wastewaters. Journal of Environmental Management 2013; 116: 101-106.
23. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์; 2537.