



ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของการกำจัดซีโอดีโดยถังกรองไร้อากาศ แบบไหลขึ้นที่ใช้จุลินทรีย์จาพวกปลวกเป็นหัวเชื้อ

Kinetic Coefficients for COD Removal of Anaerobic Up-flow Filter Seeded with Termite Comb Microbes

ทรงยศ มงคลพิศ* และ เพชร เพ็งชัย

Songyot Mongkulphit and Petch Pengchai

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม

โทรศัพท์ 043-754316 ต่อ 3011

The Faculty of Engineering, Mahasarakham University is located in the Khamriang District, Kantarawichai City, Mahasarakham Province Tel 043-754316 to 3011

*E-mail Address: songyotmongkulphit@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของการบำบัดซีโอดีโดยถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นโดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้กับไม่ใช้จุลินทรีย์จาพวกปลวกเป็นหัวเชื้อ การทดลองทำในถังกรองไร้อากาศ 2 ระบบ โดยระบบหนึ่งเติมจุลินทรีย์จาพวกปลวก อีกระบบหนึ่งไม่เติมจุลินทรีย์จาพวกปลวก ทั้งสองระบบใช้เชื้อในล่อนเป็นตัวกลางบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่า COD อยู่ระหว่าง 553.2-617.8 มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตร ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 8 ชั่วโมงเป็นเวลา 30 วัน ผลการทดลองพบว่า ระบบที่เติมจุลินทรีย์จาพวกปลวกมีประสิทธิภาพการบำบัด COD และ TP สูงสุดมากกว่าระบบที่ไม่เติมจุลินทรีย์จาพวกปลวกอยู่ 5% และ 9% ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการบำบัด TN สูงสุดต่ำกว่าระบบที่ไม่เติมจุลินทรีย์จาพวกปลวกอยู่ 16% สำหรับพารามิเตอร์ทางจลน์ในการบำบัด COD พบว่า ระบบที่เติมจุลินทรีย์ จาพวกปลวกมีค่า K_B เท่ากับ 18.6 กรัม/ลิตร-วัน และมีค่า U_{max} เท่ากับ 17.14 กรัม/ลิตร-วัน ส่วนถังที่ไม่เติมจุลินทรีย์ จาพวกปลวกมีค่า K_B เท่ากับ 28.37 กรัม/ลิตร-วัน และมีค่า U_{max} เท่ากับ 24 กรัม/ลิตร

ABSTRACT

This research investigated removal efficiencies and kinetic coefficients of an anaerobic up-flow filter seeded with termite comb microbes. Comparing experiments were done between 2 anaerobic up-flow filters using nylon ropes as the media. One system was seeded with termite comb microbes (TM system) while another one was started up without the addition of termite comb microbes (non-TM system) . Synthetic wastewater of 55.3-617.8 mgCOD/L was applied to both systems at 8 hour-hydraulic retention time for 30 days-operation. It was found that highest COD and TP removal efficiencies of the TM system were 5% and 9% higher than the non-TM system. However, the highest TN removal efficiency of the TM system was 16% lower than the non-TM system. In terms of kinetic coefficients for COD removal, K_B and U_{max} of the TC system were 18.6 g/L-day and 17.14 g/L-day while those of the non TC system were 28.37 g/L-day and 24 g/L-day, respectively.

1. บทนำ

ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Anaerobic Up-flow Filter) ได้รับความนิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัย เนื่องจากดูแลง่ายและมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของระบบนี้คือต้องใช้ระยะเวลาพักเก็บนานจึงจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ทำให้ถังกรองมีขนาดใหญ่มากขึ้นพื้นที่ในการติดตั้ง นักวิจัยพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของถังกรองไร้อากาศได้โดยเลือกใช้ชนิดตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง [1] ออกแบบรูปทรงของถังปฏิกริยาให้เหมาะสม [2] หรือเลือกใช้ชนิดจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสูง [3] เป็นต้น ในกรณีนี้คณะผู้วิจัยสนใจพัฒนาประสิทธิภาพการบำบัดของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นโดยการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากปลวกลงในถังกรองในช่วงเลี้ยงจุลินทรีย์ของระบบ ทั้งนี้คาดว่าจุลินทรีย์จากปลวกจะแพร่พันธุ์และเกาะติดกับตัวกลาง สามารถย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำได้ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองเพิ่มขึ้น

จุลินทรีย์จากปลวกหมายถึงกลุ่มจุลินทรีย์ที่เดิมอาศัยอยู่ในลำไส้ปลวก เมื่อปลวกขับถ่ายก็อาศัยอยู่ในช่องแข็งจากการขับถ่ายของปลวกซึ่งจะสะสมกันเป็นก้อนแข็งพบมากบริเวณใจกลางของรังปลวก ของแข็งชนิดนี้เรียกในภาษาท้องถิ่นว่าจาวปลวก จุลินทรีย์เหล่านี้บางส่วนเป็นสายพันธุ์ที่ดำรงชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจนและสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี [4] Nanthakumar [5] ได้ทดลองนำจุลินทรีย์ในลำไส้ปลวกมาย่อยสลายสีสังเคราะห์ พบว่าจุลินทรีย์ในลำไส้ปลวกสามารถย่อยสลายสีน้ำเงินได้ 94.5% และสามารถย่อยสลายสีแดงได้ 94.4% Helmut König และ Ajit Varma พบว่า *Penicillium* sp. มีในลำไส้ปลวก [6] และสามารถย่อยสลายฟอสฟอรัสได้ [7] อีกทั้งในลำไส้ปลวกยังมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอีกหลายชนิดที่มีความสามารถในการย่อยสลาย อาทิเช่น ราขาว ฟังไจ [8] ซึ่งสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ [9] แต่ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของจุลินทรีย์จาก

ปลวก งานวิจัยนี้เล็งเห็นความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นโดยประยุกต์ใช้จุลินทรีย์จากปลวกเป็นหัวเชื้อ (seed) ในขั้นตอนเลี้ยงจุลินทรีย์เมื่อเริ่มตั้งระบบ (start-up)

ในส่วนของการหาพารามิเตอร์ทางจลน์ที่ใช้ในการออกแบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น Padilla-Gasca และ López-López [10] ได้นำเสนอสมการของ Stover-Kincannon [11] โดยรายงานว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ที่ความเข้มข้นซีโอดีระบบเท่ากับ 6,000-6,500 มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตร และอุณหภูมิ 27.5 องศาเซลเซียส ระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ใช้ลูกบอลพลาสติกเป็นตัวกลาง มีค่าอัตราการกำจัดสูงสุดของพื้นผิว (U_{max}) เท่ากับ 17.21 กรัม/ลิตร-วัน และค่าคงที่ความอิ่มตัว (K_B) เท่ากับ 19.75 กรัม/ลิตร-วัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากรณีของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นในงานวิจัยของ Buyukkamaci และ Filibeli ซึ่งมีค่า U_{max} เท่ากับ 83.3 กรัม/ลิตร-วัน และ K_B เท่ากับ 186.23 กรัม/ลิตร-วัน [12] และมากกว่ากรณีของถัง UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ในงานวิจัยของ Isik และ Sponza ซึ่งมีค่า U_{max} เท่ากับ 8.21 กรัม/ลิตร-วัน และ K_B เท่ากับ 7.50 กรัม/ลิตร-วัน [13] เมื่อนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในการออกแบบถังกรองไร้อากาศที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน โดยคาดคะเนอัตราส่วนค่าบีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) ต่อ ซี โอ ดี (Chemical Oxygen Demand; COD) ของน้ำเสียให้เท่ากับ 1 : 4 [14] พบว่าต้องใช้ถังปฏิกริยาขนาดใหญ่จึงจะทำให้บีโอดีในน้ำออกมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน [15] คณะผู้วิจัยเห็นว่า การหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ เช่น ค่า U_{max} และ K_B ของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ประยุกต์ใช้จุลินทรีย์จากปลวกเป็นหัวเชื้อ จะทำให้ได้ข้อมูลใหม่ที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาระบบ ทั้งนี้ก็เพื่อลดระยะเวลาพักเก็บและขนาดถังกรองอันเป็นความประสงค์ของผู้ใช้งานทั่วไป

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

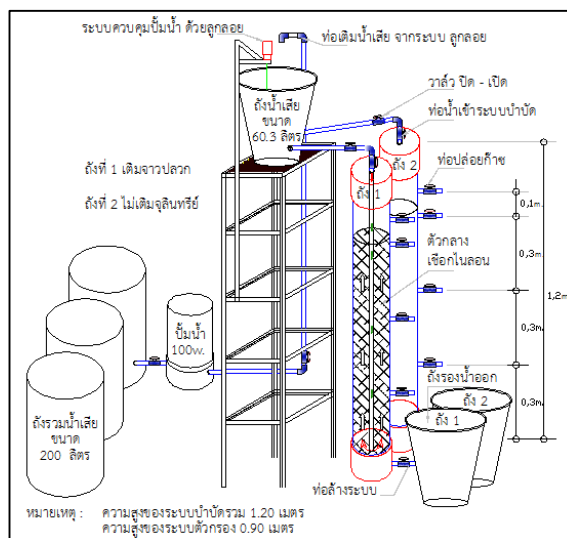
เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของการบำบัดชีโอดีโดยถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ประยุกต์ใช้จุลินทรีย์จากปลวก

3. เครื่องมือและวิธีการ

3.1 วิธีการทดลอง

1. ผลิตตัวกลางสำหรับใช้ในถังกรองด้วยเชือกไบนลอนแบบเดียวกันกับงานวิจัยของ Sunwanee เนื่องจากมีรายงานว่าสามารถใช้บำบัดค่าชีโอดีในน้ำเสียได้สูงถึง 96.13% ที่อัตราการระบรทุก 0.3 กิโลกรัมชีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน ระยะเวลาพักเก็บ 16 ชั่วโมง ตัวกลางแต่ละชั้นประกอบด้วยเชือกไบนลอนยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 20 เส้นมัดรวมกันโดยใช้ยางรัด มีพื้นที่ผิว 0.92 ตารางเมตร/ชั้น [16]

2. สร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ประกอบด้วยถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นจำนวน 2 ถัง แต่ละถังทำจากท่อ PVC (Polyethylene) รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตรสูง 1.2 เมตร มีปริมาตรการใช้งานจริง 15.9 ลิตร โดยทั้ง 2 ถังถูกเจาะรูที่ความสูงถึง 0.3 เมตร 0.6 เมตร และ 0.9 เมตร ตามลำดับ ใส่ตัวกลางลงในถังกรองทั้งสองถังถึงระดับ 1,400 ชั้น น้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งจะถูกเตรียมแล้วนำมาบรรจุไว้ในถังบรรจุน้ำเสียทำจากพอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) ปริมาตร 200 ลิตร จำนวน 3 ถังก่อน จากนั้นจึงใช้ปั๊มสูบน้ำอัตโนมัติ (MITSUBISHI QS รุ่น WP-105 QS ขนาดมอเตอร์ 100 วัตต์ ของบริษัท CHENGGANG ELECTRICAL ENGINEERING CO.,LTD (ผลิตในประเทศไทย) สูบน้ำเสียขึ้นไปพักไว้ในถังพักน้ำเสียทำจากพอลิเอทิลีนปริมาตร 60.3 ลิตร ซึ่งต่อท่อน้ำตรงเข้าถังกรองไร้อากาศทั้ง 2 ถัง ดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อน้ำในถังพักน้ำเสียลดลงถึงระดับ 30 เซนติเมตรลูกกลอยจะสั่งปั๊มให้สูบน้ำเสียเข้าถังพักจนเต็ม เป็นอย่างนี้ตลอดการเดินระบบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) แบบจำลองระบบ

(ข) ระบบที่ใช้งานจริง

3. เริ่มต้นเลี้ยงจุลินทรีย์ (Start-up) ขึ้นแรกเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากปลวกโดยนำจากปลวก 2-3 กำมือ ซึ่งหาได้ตามรังปลวก มาผสมกับข้าวเหนียวหนึ่งสุก 2 กิโลกรัม แล้วนำมาหมักในถังที่ผสมน้ำประปา 20 ลิตร ปิดฝาให้สนิททิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน สำหรับถังที่ 1 เติมน้ำเลี้ยงเชื้อลงในถังให้มีความเข้มข้น Peptone 5 กรัมต่อลิตร NaCl 5 กรัมต่อลิตร Beef extract 3 กรัมต่อลิตร และ Yeast extract 3 กรัมต่อลิตร [5] โดยคิดที่

ปริมาตรใช้งานจริงของถังกรอง 15.9 ลิตร จากนั้นใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์จากปลวกลงไป 7.95 ลิตร แล้วเติมน้ำประปาลงในถังอีก 7.95 ลิตร ส่วนถังที่ 2 เติมน้ำเฉพาะอาหารเลี้ยงเชื้อและน้ำประปาเท่านั้น จากนั้นแช่ตัวกรองในของผสมที่เติมไว้เป็นระยะเวลา 7 วันทั้งสองถังเพื่อให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและเกาะกับตัวกลาง แล้วจึงเดินระบบแบบต่อเนื่อง (continuous plug flow) ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 95 ลิตร/วันโดยเวียนน้ำกลับเข้าถังทั้งหมดเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์ปรับตัวก่อนเดินระบบจริง

4. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ประกอบด้วยแป้งประกอบอาหาร (ตราโกกิ บริษัท เอ็มแอนด์อาร์ โกกิ จำกัด ผลิตในประเทศไทย) 792 กรัม ต่อ นมวัว (แบบยู.เอช.ที. ตราวัวแดง บริษัท ไทย-เดนมาร์ค ผลิตในประเทศไทย) 324 กรัม ผสมกับน้ำประปาปริมาตร 600 ลิตร มีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 553.2-617.8 มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตร

5. ทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โดยปล่อยน้ำเสียเข้าถังกรองไร้อากาศทั้ง 2 ถังที่อัตราการไหล 47.7 ลิตร/วัน ทำให้น้ำออกจากถังกรองที่ความสูง 0.3, 0.6 และ 0.9 เมตร คิดเป็นระยะเวลาเก็บเก็บ 2.7, 5.2 และ 8 ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็นอัตราการระบรทุกซีโอดี 4.98-5.56, 2.53-2.78 และ 1.66-1.85 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน ตามลำดับ เก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าถังกรองและออกจากถังกรองแต่ละถังที่ระยะความสูงทั้ง 3 ค่า แล้วตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของถังกรองและใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของถังกรอง

3.2 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียโดยใช้วิธีดังต่อไปนี้ COD โดยวิธี Close Reflux Method, ใน ไตรเจนทั้งหมด (TN: Total Nitrogen) โดยวิธีอุลตร้าไวโอเล็ตสเปกโตรโฟโตเมตริก-สแกนนิ่ง, ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP: Total Phosphorus) โดยวิธีเอนาโดโมลิฟไดฟอสฟอริกแอซิด และตรวจวัดค่าพีเอช อุณหภูมิ

และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO: Dissolved Oxygen) ด้วยเครื่องวัด DO ภาคสนาม รุ่น Pro 20 บริษัท YSI ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3 วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นในงานวิจัยนี้ นำสมการของ Stover-Kincannon สำหรับระบบงานหมุนชีวภาพ (RBC : Rotating Biological Contactor) ดังแสดงในสมการที่ (1) [11] มาปรับใช้ให้เป็นสมการสำหรับถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น โดยแทนค่าพื้นที่ผิวของงานหมุนที่เกิดการตรึงของจุลินทรีย์ (A) ด้วยปริมาตรใช้งานจริงของถังกรอง (V) ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการตรึงของจุลินทรีย์ เช่นเดียวกัน กลายเป็นสมการดังแสดงในสมการที่ (2) [10] โดย $\frac{ds}{dt}$ เป็นอัตราเร็วในการกำจัดสารมลพิษที่สนใจ (มิลลิกรัม/ลิตร-วัน), Q คืออัตราการไหล (ลิตร/วัน), V คือปริมาตรใช้งานจริงของถังกรองไร้อากาศ (ลิตร), A คือพื้นที่ผิวของงานหมุนที่เกิดการตรึงของจุลินทรีย์ (ตารางเมตร), S_0 และ S_e คือค่าความเข้มข้นของสารมลพิษขาเข้าและขาออก (มิลลิกรัม/ลิตร) ตามลำดับ, U_{max} คืออัตราเร็วสูงสุดในการกำจัดมลพิษ (กรัม/ลิตร-วัน) และ K_B คือค่าคงที่ของความอิ่มตัว (กรัม/ลิตร-วัน)

$$\frac{ds}{dt} = \left(\frac{Q(S_0 - S_e)}{V} \right) = \frac{U_{max} \left(\frac{QS_0}{A} \right)}{K_B + \left(\frac{QS_0}{A} \right)} \quad (1)$$

$$\frac{ds}{dt} = \left(\frac{Q(S_0 - S_e)}{V} \right) = \frac{U_{max} \left(\frac{QS_0}{V} \right)}{K_B + \left(\frac{QS_0}{V} \right)} \quad (2)$$

$$\frac{V}{Q(S_0 - S_e)} = \frac{K_B}{U_{max}} \times \frac{V}{QS_0} + \frac{1}{U_{max}} \quad (3)$$

ทั้งนี้ สมการที่ (2) สามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงได้ดังสมการที่ (3) [10] แล้วนำข้อมูลดิบ S_0 , S_e , Q, V ที่ได้จากการทดลองมาคำนวณค่า $\frac{V}{Q(S_0 - S_e)}$ กับ $\frac{V}{QS_0}$ ของตัวอย่างที่เก็บได้ เพื่อนำมาพล็อตกราฟ

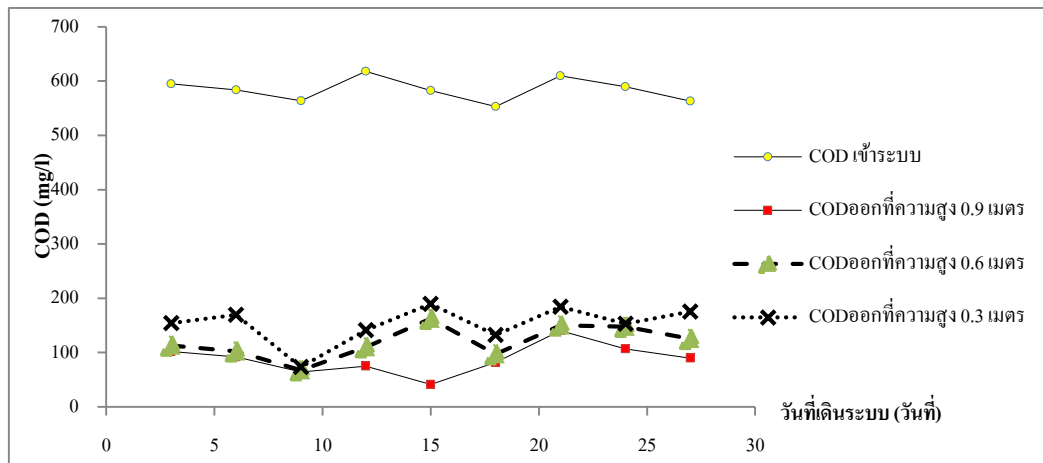
ความสัมพันธ์หาค่าความชัน $\frac{K_B}{U_{max}}$ และจุดตัดบนแกนตั้ง $\frac{1}{U_{max}}$ ซึ่งจะทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ U_{max} และ K_B ของระบบในที่สุด

4. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

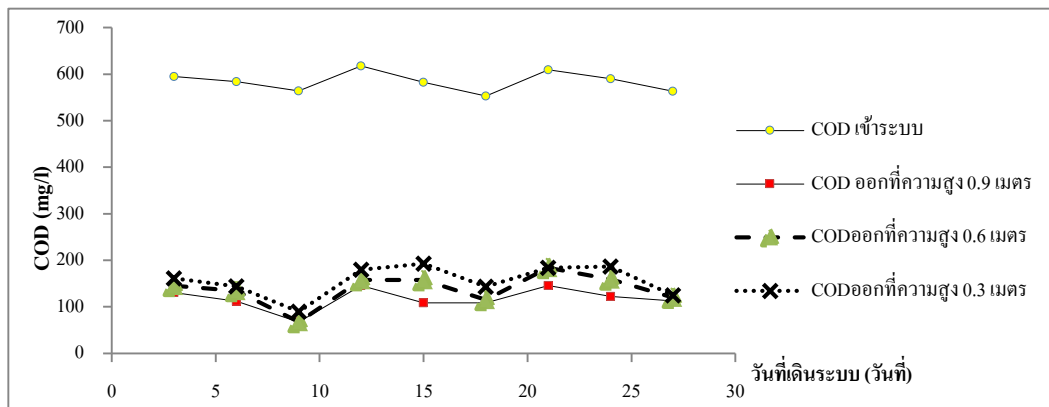
ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิและค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นทั้งสองถังอยู่ในช่วง 31-39 องศาเซลเซียส และ 5-8 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ 35-55 องศาเซลเซียส [17] และ 6.6-7.8 [18] ตามลำดับ ส่วนค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเสียเข้าออกจากถังกรองทั้ง 2 ชนิดอยู่ในช่วง 1.3-2.33 มิลลิกรัม/ลิตร และ 0.14-0.29 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เนื่องจากค่าออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียออกมีค่าน้อยกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร [19] จึงกล่าวได้ว่าระบบอยู่ในสภาวะไร้อากาศตามที่ได้ออกแบบไว้

ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีเข้าออกระบบในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าระบบถังกรองไร้อากาศทั้งสองถังสามารถบำบัดซีโอดีในน้ำเสียได้ สังเกตจากค่าซีโอดีที่ลดลง โดยที่อัตราภาระบรรทุกซีโอดีในช่วง 4.98-5.56, 2.53-2.78 และ 1.66-1.85 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน ถึงที่เติมจุลินทรีย์จาวปลวกมีประสิทธิภาพการบำบัด 67-87%, 75-85% และ 77-93% ตามลำดับ ส่วนถึงที่ไม่เติมจุลินทรีย์จาวปลวกมีประสิทธิภาพการบำบัด 67-84%, 70-88% และ 76-88% ตามลำดับ เมื่อ

ทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างกรณีเติมและไม่เติมจุลินทรีย์จาวปลวกด้วยวิธีทางสถิติ (t-test, 2-tailed, significance level 0.05) พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดทั้งสองถังไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดของถังที่เติมจุลินทรีย์จาวปลวก (93%) มีค่ามากกว่าถังที่ไม่เติมจุลินทรีย์จาวปลวก (88%) อยู่ 5% ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นแนวโน้มว่าการเติมจุลินทรีย์จาวปลวกจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียได้เมื่อเทียบประสิทธิภาพการบำบัดเฉพาะช่วงอัตราภาระบรรทุก 2.53-2.78 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่าถึงที่เติมจาวปลวกมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดต่ำกว่าถึงที่ไม่เติมจาวปลวกอยู่ 3% สาเหตุเกิดจากถึงที่เติมจาวปลวกที่ความสูง 0.6 เมตร มีตะกอนไหลปะปนออกมากับน้ำออกดังรูปที่ 4 ซึ่งสังเกตเห็นได้ชัดในครั้งที่ 4-5 ของการตรวจวัด เมื่อทดลองนำเฉพาะข้อมูลที่มีความสูง 0.3 และ 0.9 เมตร มาทดสอบ พบว่าถึงที่เติมจุลินทรีย์จาวปลวกมีประสิทธิภาพการบำบัดต่างจากถึงที่ไม่เติมจุลินทรีย์จาวปลวกอย่างมีนัยสำคัญ (t-test, 2-tailed, significance level 0.05) จึงสันนิษฐานว่าหากสามารถลดการปนเปื้อนของตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำออกได้ การเติมจุลินทรีย์จาวปลวกจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของถังกรองไร้อากาศได้อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 2 COD เข้า-ออกจากถังกรองที่เติมจุลินทรีย์ขี้จาวปลวก



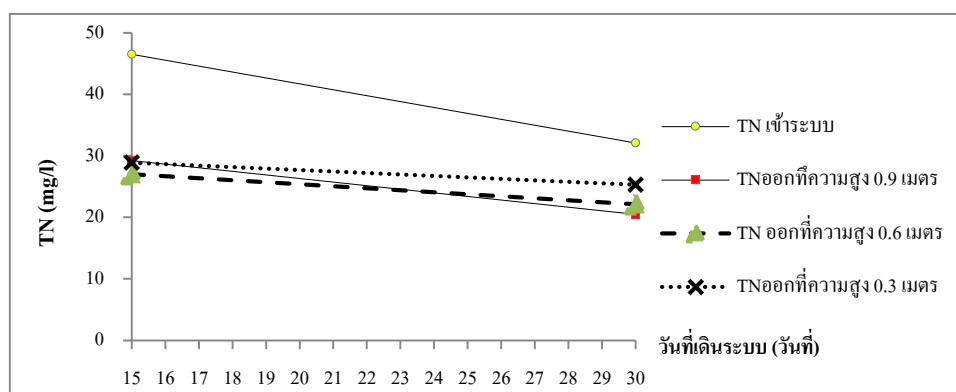
รูปที่ 3 COD เข้า-ออกจากถังกรองที่ไม่เติมจุลินทรีย์ขี้จาวปลวก



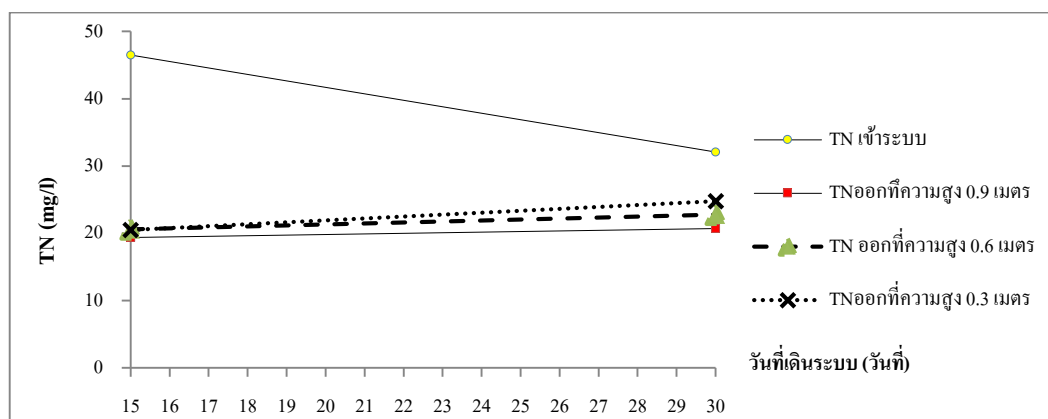
รูปที่ 4 น้ำออกจากถังกรองไร้อากาศที่ความสูง 0.6 เมตร

รูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงค่าไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียเข้า-ออกระบบ เห็นได้ว่าถังกรองไร้อากาศทั้งสองถังสามารถบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียได้ โดยสันนิษฐานว่าอาจเกิดจากปฏิกิริยา denitrification [20] ภายในถัง ทั้งนี้ถังที่เติมจุลินทรีย์จำพวกมีประสิทธิภาพการบำบัด 21-38%, 31-42% และ 36-37% ที่อัตราภาระบรรทุกไนโตรเจนทั้งหมด 0.289-0.418, 0.144-0.209 และ 0.096-0.139 กิโลกรัมไนโตรเจน/ลูกบาศก์เมตร-วันตามลำดับ ในขณะที่ถังที่ไม่เติมจุลินทรีย์จำพวกมีประสิทธิผลได้ 23-56%, 29-56% และ 35-58% ตามลำดับ สันนิษฐานว่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดของถังที่เติมจุลินทรีย์จำพวก (42%) มีค่าต่ำกว่าถังที่ไม่เติมจุลินทรีย์จำพวก (58%) อยู่ถึง 16% สอดคล้องกับผลการทดสอบทางสถิติที่ชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดของถังทั้งสองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (t-test, 2-tailed, significance level 0.05) ชี้ให้เห็นว่าการเติมจุลินทรีย์

จำพวกในถังกรองไร้อากาศนั้น นอกจากไม่ช่วยเพิ่มแล้วยังกลับลดประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำ ทั้งนี้คาดว่าเพราะในหัวเชื้อจุลินทรีย์จำพวกมีแบคทีเรียบางชนิด เช่น Spirochaetes และ Fibrobacteres [21] ที่มีความสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนไว้ในรูปแอมโมเนียและสารประกอบกรดอะมิโน [22] เมื่อจุลินทรีย์บางส่วนตายและถูกย่อยสลายจึงอาจมีไนโตรเจนหลุดออกมาปนกับน้ำเสียที่บำบัดแล้วในความเข้มข้นสูงกว่าที่ควรจะเป็น อย่างไรก็ตามในการตรวจสอบสมมุติฐานจำเป็นต้องวิเคราะห์ชนิดของไนโตรเจนในน้ำเสียเข้า-ออกจากระบบ เช่น ไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย ตลอดจนชนิดของจุลินทรีย์ที่อยู่ในหัวเชื้อจุลินทรีย์จำพวก เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการเกิดกระบวนการต่าง ๆ ทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับไนโตรเจนในระบบ



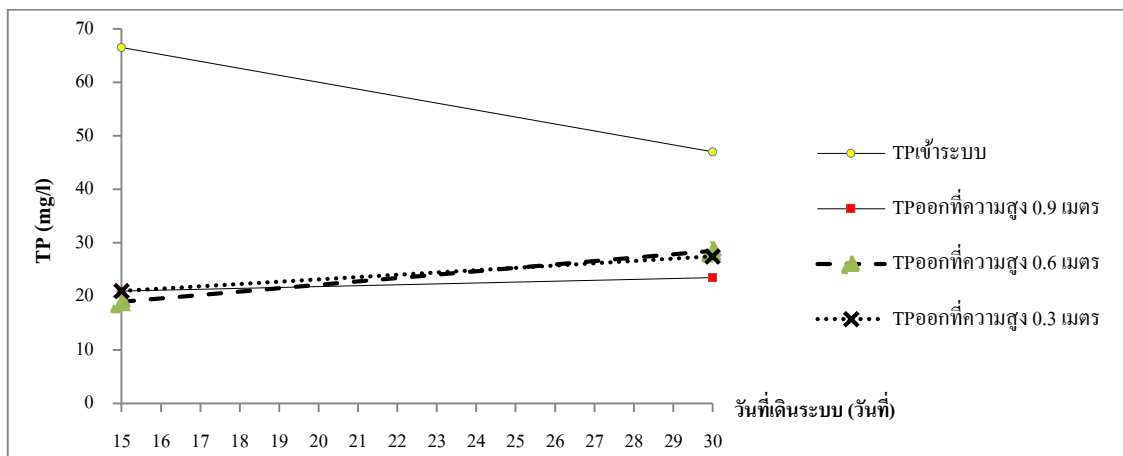
รูปที่ 5 TN เข้า-ออกจากถังกรองที่เติมจุลินทรีย์จำพวก



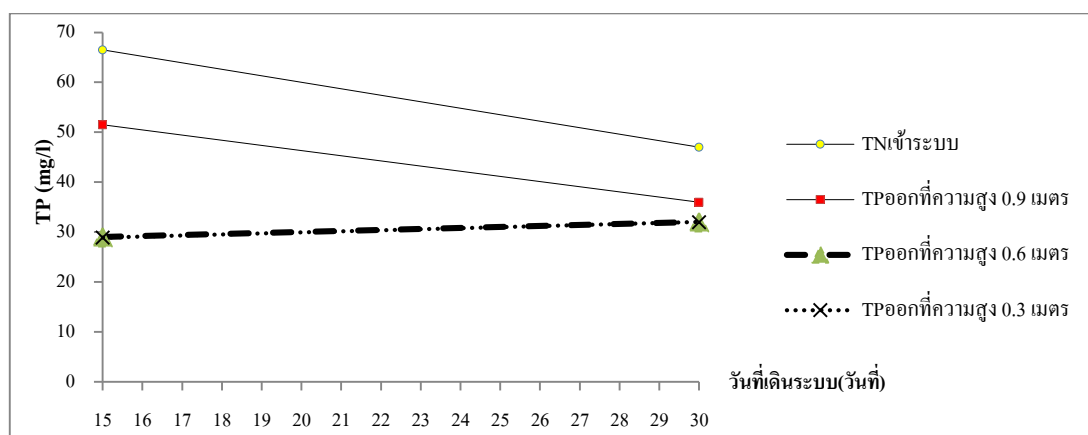
รูปที่ 6 TN เข้า-ออกจากถังกรองที่ไม่เติมจุลินทรีย์จำพวก

ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียเป็นดังแสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 8 พบว่า ที่อัตราการบำบัดทุกฟอสฟอรัสทั้งหมดในช่วง 0.423-0.599, 0.211-0.299 และ 0.141-0.199 กิโลกรัมฟอสฟอรัส/ลูกบาศก์เมตร-วัน ถึงที่เติมจุลินทรีย์จำพวกบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 41-68%, 39-71% และ 50-68% ตามลำดับ ส่วนถึงที่ไม่เติมจำพวกมีประสิทธิผลการบำบัด 32-56%, 32-56% และ 45-62% ตามลำดับ แม้ว่าผลการทดสอบทางสถิติ (t-test, 2-tailed, significance level 0.05) ชี้ให้เห็นว่าถึงทั้งสองมีประสิทธิผลการบำบัดไม่แตกต่างกัน แต่ก็กล่าวได้ว่าประสิทธิผลการบำบัดสูงสุดของถึงที่

เติมจุลินทรีย์จำพวก (71%) มีแนวโน้มสูงกว่าถึงที่ไม่เติมจุลินทรีย์จำพวก (62%) อยู่ 9% คาดว่าเป็นเพราะในลำไส้ปลวกมีแบคทีเรียสายพันธุ์จำพวกเพนิซิลเลียม (*Penicillium* sp.) [6] ที่มีความสามารถในการย่อยสลายฟอสฟอรัส [7] ได้ดีกว่าจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในน้ำเสียสังเคราะห์ ทั้งนี้ในการตรวจสอบสมมุติฐานจำเป็นต้องวิเคราะห์ชนิดของฟอสฟอรัสในน้ำเสียเข้า-ออกจากระบบ เช่น ฟอสเฟต เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการเกิดกระบวนการต่าง ๆ ทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับฟอสฟอรัสในระบบ



รูปที่ 7 TP เข้า-ออกจากถังกรองที่เติมจุลินทรีย์จำพวก



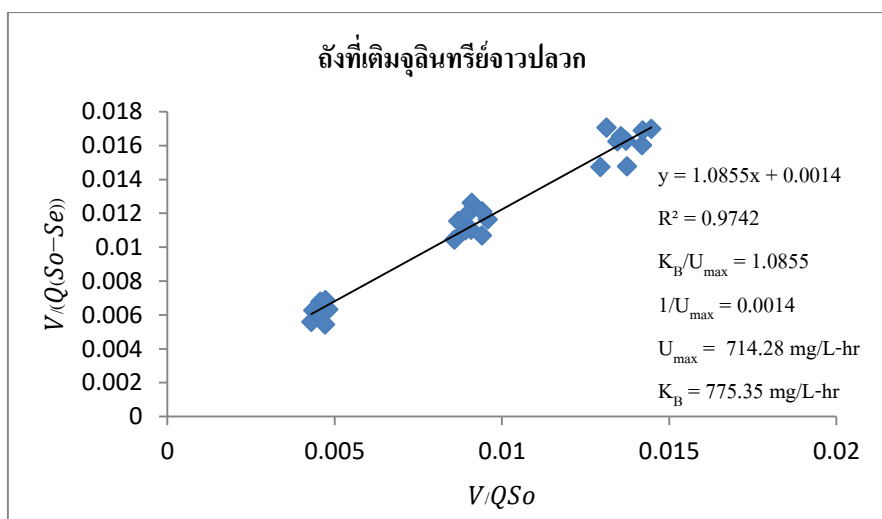
รูปที่ 8 TP เข้า-ออกจากถังกรองที่ไม่เติมจุลินทรีย์จำพวก

การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ในการวิจัยครั้งนี้ ทำเฉพาะกรณีค่าซีโอดีซึ่งได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 9 และ

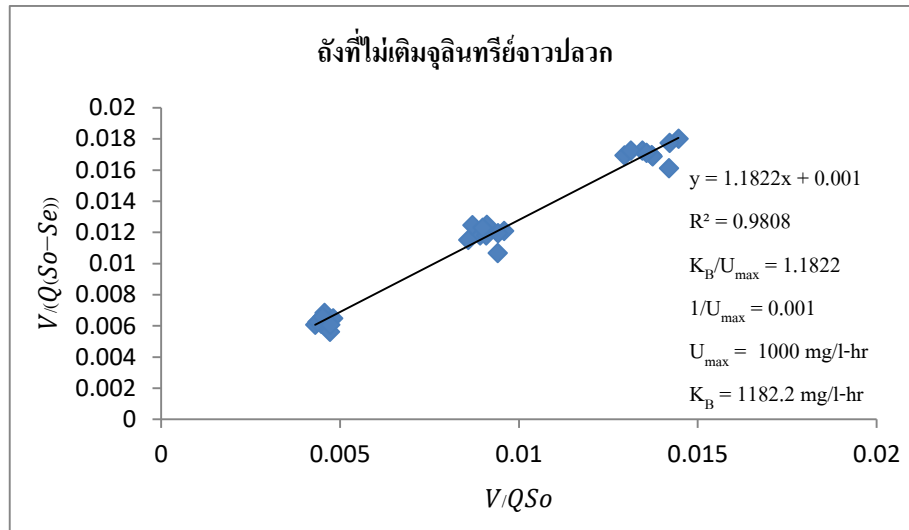
รูปที่ 10 พบว่า ถึงที่เติมจุลินทรีย์จำพวกมีค่า K_B เท่ากับ 18.6 กรัม/ลิตร-วัน และมีค่า U_{max} เท่ากับ 17.14

กรัม/ลิตร-วัน ส่วนถังที่ไม่เติมจุลินทรีย์จาวปลวกมีค่า K_B เท่ากับ 28.37 กรัม/ลิตร-วัน และมีค่า U_{max} เท่ากับ 24 กรัม/ลิตร-วัน จากผลดังกล่าวสามารถคำนวณขนาดถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นได้ดังแสดงใน (ตารางที่ 1) พบว่าที่อัตราการเกิดน้ำเสีย 47.7 ลิตร/วันและอัตราการบำบัดทุกชีโอดี 1.16-5.56 กิโลกรัมชีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน การเติมจุลินทรีย์จาวปลวกสามารถลดขนาดถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ต้องติดตั้งลง 0.96 ลิตรเมื่อเปรียบเทียบกับถังที่ไม่เติมจุลินทรีย์จาวปลวก นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Padilla-Gasca และ López-López [10] พบว่าอัตราเร็วในการบำบัดชีโอดีที่คำนวณภายใต้เงื่อนไขเดียวกันงานวิจัยนี้ (ดูค่า $\frac{ds}{dt}$ ในตารางที่ 1) มีค่าเท่ากับ

1.4823 กรัม/ลิตร-วัน ซึ่งน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากงานวิจัยนี้ (1.5674 กรัม/ลิตร-วัน) ทั้งนี้คาดว่าเป็เพราะ Padilla-Gasca และ López-López [10] ใช้ระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงฆ่าสัตว์ซึ่งประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ย่อยยากจำนวนมาก จึงทำให้ได้ค่า U_{max} ของระบบเท่ากับ 17.12 กรัม/ลิตร-วัน และ K_B เท่ากับ 19.75 กรัม/ลิตร-วัน ซึ่งเมื่อแทนค่าลงในสมการแล้วทำให้คำนวณได้อัตราเร็วในการบำบัดชีโอดีต่ำ อย่างไรก็ตาม ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นโดยการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จาวปลวก



รูปที่ 9 ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ในการบำบัด COD ถังที่เติมจุลินทรีย์จาวปลวก



รูปที่ 10 ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ในการบำบัด COD ถังที่ไม่เติมจุลินทรีย์จาวปลวก

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ทางจลน์และการออกแบบระบบถังกรองไร้อากาศ

หัวข้อ		งานวิจัยนี้		งานวิจัยของ Padilla-Gasca และ López-López [5]
		ถังที่เติมจาว ปลวก	ถังที่ไม่เติมจาว ปลวก	
ค่าพารามิเตอร์ในการทดลอง	อัตราการย่อยทุกชีโอดีในการทดลอง (กิโลกรัมชีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน)	1.16-5.56	1.16-5.56	3.1-6.2
	อัตราการไหลน้ำเสียในการทดลอง (ลิตร/วัน)	47.7	47.7	2.3
	ระยะเวลาพักเก็บในการทดลอง (วัน)	0.33	0.33	2
	S_0 (กรัมชีโอดี/ลิตร)	0.6178	0.6178	6.4907
	S_e (กรัมชีโอดี/ลิตร)	0.0408	0.0672	1.8868
	$U_{\max}$ (กรัม/ลิตร-วัน)	17.14	24	17.12
	K_B (กรัม/ลิตร-วัน)	18.6	28.37	19.75
ค่าพารามิเตอร์ในเงื่อนไข เดียวกัน	$\frac{ds}{dt}$ (กรัม /ลิตร-วัน) คำนวณภายใต้เงื่อนไข $Q = 47.7$ ลิตร, $S_0 = 0.6178$ กรัมชีโอดี/ลิตร, $S_e = 0.0408$ กรัมชีโอดี/ลิตร	1.5674	1.4857	1.4823
	ขนาดถังกรอง (ลูกบาศก์เมตร) ที่คำนวณจาก $\frac{ds}{dt}$	0.01756	0.01852	0.01856

5. สรุปผลการวิจัย

การเติมจุลินทรีย์จำพวกใน ระบบถังกรอง ไร้อากาศแบบไหลขึ้นมีแนวโน้มในการเพิ่มประสิทธิภาพ การบำบัดชีโอดีและฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบ แต่ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ นอกจากนี้ยังพบว่าระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ ประยุกต์ใช้จุลินทรีย์จำพวกในงานวิจัยนี้ มีค่าคงที่ของ ค่าความอิ่มตัว K_B เท่ากับ 18.6 กรัม/ลิตร-วัน ค่าคงที่ ของอัตราการกำจัดสูงสุด U_{max} เท่ากับ 17.14 กรัม/ลิตร-วัน ซึ่งสามารถนำค่าพารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์ดังกล่าวไปใช้ ประโยชน์ในการออกแบบระบบถังกรองไร้อากาศแบบ ไหลขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม มีความจำเป็นต้องทดลองใช้ ระบบดังกล่าวในการบำบัดน้ำเสียจริง ตลอดจนวิเคราะห์

ชนิดของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเข้า-ออกจาก ระบบเพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนิสิต ระดับบัณฑิตศึกษา (ระดับปริญญาโท) ประจำปี พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบพระคุณศูนย์ เครื่องมือกลางมหาวิทยาลัยมหาสารคาม และศูนย์วิจัย รุกขเวชที่เอื้อเพื่อเครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ คุณธรรมบุญ ม้าวิเศษ ที่เอื้อเพื่อจำพวกและช่วยคิดตั้ง ระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Metcalf & Eddy, et al. Wastewater engineering Treatment, Disposal and Reuse. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [2] Munsin, T. The treated wastewater through anaerobic wastewater. Bangkok: Chulalongkorn University Press, 1984.
- [3] Pohland, F. Anaerobic Treatment: Fundamental Concepts, Applications and New Horizons in Malian J. and Pohland F. Edited design of anaerobic processes for the treatment of Industrial and Municipal wastes. *Water Quality Management Library*, 1992; 7.
- [4] Breznak, J.A., Brune, A. Role of microorganisms in the digestion of lignocellulose by termites. *Annu. Rev. Entomol.* 1994; 39: 453-487.
- [5] Nanthakumar, K. Decolorization of structurally dissimilar dyes by a termite derived bacterial Consortium BUTC17 in a cost effective nutrient medium. *Advances in Applied Science Research*, 2013; 4(2): 276-285.
- [6] König, H. and Varma, A. Intestinal Microorganisms of Termites and Other Invertebrates. *Springer Science & Business Media*, 2006; 362.
- [7] Suwannee, T. Microbial biotechnology for improving the soil. *Journal of the Department of Science Service* 60(190).
- [8] Lotfi, G. Lignin-degrading Bacteria. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 2014; 20(1): 64-68.
- [9] Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. The Ministry of Education. Textbook learning more basic. *Biology*, 2249; 5: 206.
- [10] Padilla-Gasca, E, Lopaz Lopez, A. Kinetics of Organic Matter Degradation in an Up-flow Anaerobic Filter Using Slaughterhouse Wastewater. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*. 2010; 1: 106.
- [11] Stover, E.L. and Kincannon, D.F. Rotating biological contactor scale-up and design. *Proceedings of the 1st international Conference on Fixed Film Biological Process*, Kings Island, Ohio, 1982.
- [12] Buyukkamaci, N, Filibeli, A. Determination of kinetic constants of an anaerobic hybrid reactor. *Process Biochem*, 2002; 38: 73-79.
- [13] Isik, M, Sponza, D.T. Substrate removal kinetics in an up flow anaerobic sludge blanket reactor Decolorizing simulated textile wastewater. *Process Biochem*, 2005; 40: 1189-1198.

- [14] Parameter of wastewater and meaning. In waste water analysis. [online] Available: <http://enverionment.blogspot.com>, 2010.
- [15] Ministry of Science. Standard for control of the Origin of sewerage and industrial estates, *Government Gazette*, 1997, 113 (13).
- [16] Sunwanee, J. Wastewater Treatment of Fixed Film Microorganism on Nylon Rope Media by Anaerobic Filter. *KU Res*, 2006; 2: 974-16-2661-4.
- [17] McCarty, LP. Kinetics of Waste Assimilation in Anaerobic Treatment. Developments in Industrial Microbiology, *American Institute Biology and Science*, 1966; 7: 140-144.
- [18] Gray, N.F. Biology of wastewater treatment. United Kingdom: Oxford University Press, 1989.
- [19] Young, C.J., McCarty, L.P. The Anaerobic Filter for Waste Treatment. *Journal of Water Pollution Control and Federal*, 1969; 41(5): 160-173.
- [20] NICA Webboard กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ตอนที่ 6. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.nicaonline.com/webboard/index.php?topic=4096.0>, 2015.
- [21] Desai, M.S. and Brune, A. Bacteroidales ectosymbionts of gut flagellates shape the nitrogen-fixing Community in dry-wood termites. *The ISME Journal*, 2012; 6: 1302-1313.
- [22] Postgate, J. Nitrogen Fixation. 3rd Edition, Cambridge UK, Cambridge University Press, 1998.