วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.3) September – December 2023 บทความวิจัย

การบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงจากโรงงานผลิตขนมจีนและโรงฆ่าสัตว์ด้วยระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับพืชลอยน้ำที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำแตกต่างกัน

High Organic Wastewater from Fermented Rice Noodles Factories and Slaughterhouses Treated by Anaerobic Filter Tank System Combined with Floating Plants at Different Hydraulic Retention Times

อังศุมา ก้านจักร*, เมตตา เก่งชูวงศ์, รติกร แสงห้าว และ ชมภู่ เหนือศรี

Angsuma Kanchak*, Metta Kengchuwong, Ratikorn Sanghaw and Chompoo Nuasri

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ประเทศไทย

Environmental science Department, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Mahasarakham University, Thailand

Received : 23 August 2022

Revised : 17 March 2023

Accepted : 30 March 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับพืชลอยน้ำที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำแตกต่างกันในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนด้วยระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับจอก (พืชลอยน้ำ) และชุดที่ 2 การบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ด้วยระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับผักตบชวา (พืชลอยน้ำ) การออกแบบกำหนดปริมาณน้ำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง 40 ลิตรต่อวัน ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 21, 24 และ 36 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำเข้าและออกจากระบบมาวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย บีโอดีและซีโอดี สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างประสิทธิภาพการบำบัดด้วยสถิติ F-test (One-way ANOVA) ที่ระดับ .05 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับพืชลอยน้ำที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 21, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า ทั้ง 2 ชุดการทดลองสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยได้เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำนานขึ้น โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดในน้ำเสียโรงงานผลิตขนมจีนเท่ากับร้อยละ 23.31, 16.87, 36.95, 26.04 และ 49.14 ตามลำดับ และน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เท่ากับร้อยละ 23.99, 34.37, 41.25, 44.75 และ 50.12 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง สามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนได้มากสุดร้อยละ 23.60 และ 36.12 และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง สามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ได้มากสุดร้อยละ 52.78 และ 39.79 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทั้ง 2 ชุดการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนบีโอดีและซีโอดี ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ : การบำบัดน้ำเสียสารอินทรีย์สูง ; ระยะเวลาเก็บกักน้ำ ; น้ำเสียโรงงานผลิตขนมจีน ; น้ำเสียโรงฆ่าสัตว์

Abstract

The objectives of this research were to study and compare the efficiency of anaerobic filter tank system in combined with floating plants at different hydraulic retention times in treatment of high organic wastewater. The experiments were divided into 2 sets, i.e. the first set, the treatment of wastewater from the Fermented Rice Noodles Factory with anaerobic filter tank system with water lettuce (a floating plant) and the second set, the treatment of wastewater from the slaughterhouse with anaerobic filter tank system with water hyacinth (a floating plant). There was design for continuous wastewater intake of 40 liters per day, using water retention periods 6, 12, 18, 21, 24 and 36 hours. Water samples were taken in and out of the system for analyzing of suspended solids, BOD and COD. The statistics used to analyze the data were mean, standard deviation, and compared the difference in treatment efficacy with F-test (One-way ANOVA) statistic at the .05 level. The study results on the efficiency of the anaerobic filter system with floating plants at the water retention periods of 6, 12, 18, 21, 24 and 36 hours showed that both sets of experiments were able to treat more suspended solids when the water retention period was longer. The treatment efficiency in Fermented Rice Noodles Factories wastewater were 23.31, 16.87, 36.95, 26.04 and 49.14 %, respectively, and slaughterhouse wastewater were 23.99, 34.37%, 41.25, 44.75 and 50.12 %, respectively. Efficiency of treated BOD and COD were found that at the water retention period of 12 hours, wastewater of Fermented Rice Noodles Factories can be treated at a maximum of 23.60 % and 36.12%, and at the water retention period 24 hours, the slaughterhouse wastewater can be treated at a maximum of 52.78% and 39.79 %. When comparing the treatment efficiency of two trials, it was found that efficiency of suspended solids treatment was significantly different, while BOD and COD were not statistically significant difference at .05 level.

Keywords : high organic wastewater treatment ; hydraulic retention times ;
fermented rice noodles factories wastewater, slaughterhouse wastewater

***Corresponding author. E-mail :** Angsuma1983@gmail.com

บทนำ

น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์สูงเป็นมลพิษทางน้ำที่ทำให้แหล่งน้ำในชุมชนมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมและเกิดการเน่าเสียได้ ซึ่งมักพบได้จากธุรกิจการผลิตอาหารขนาดย่อมในทุกชุมชน ดังเช่น โรงงานผลิตขนมจีนและโรงฆ่าสัตว์ โดยโรงผลิตขนมจีนจะมีน้ำเสียเริ่มตั้งแต่กระบวนการหมักข้าว การโม่ปลายข้าวหมัก การนอนน้ำแป้ง การทับน้ำแป้ง การนึ่งแป้ง การนวดแป้ง การกรองแป้ง การต้มเส้นขนมจีน และการทำขนมจีนให้เป็นจับ (Jantana, 1986) น้ำเสียที่ปล่อยทิ้งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกคาร์โบไฮเดรต แป้ง น้ำตาล โปรตีนและธาตุอาหาร (Muleng & Jijai, 2019) มีค่าความสกปรกของบีโอดีประมาณ 1,500-4,000 มิลลิกรัมต่อลิตรและซีโอดี 4,500-6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Sawain et *al*., 2016) และน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์จะมาจากกระบวนการล้างทำความสะอาดสิ่งต่างๆ เช่น ตัวสัตว์ ซากสัตว์ เครื่องมืออุปกรณ์ พื้นโรงฆ่าสัตว์และคอกพักสัตว์ (Department of Industrial Works, 2000) น้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจะปนเปื้อนด้วยมูลสัตว์ เลือด เศษเล็บ เศษอาหารในกระเพาะอาหารสัตว์ ขน และเศษหนังสัตว์ มีความสกปรกสารอินทรีย์ปนเปื้อนปริมาณสูงทั้งในรูปของไขมันและน้ำมันโดยมีค่าบีโอดี 1,500-2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร (Pollution Control Department, 2004) เมื่อน้ำเสียเหล่านี้ถูกปล่อยทิ้งออกสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัด จะส่งผลให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำสูงเป็นสาเหตุให้น้ำมีปริมาณออกซิเจนลดน้อยลงและยังเป็นการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดยูโทรฟิเคชันทำให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำได้ (Tanthulwet, 1999)

ปัจจุบันมีหลากหลายงานวิจัยที่ศึกษาและออกแบบเทคโนโลยีเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีการบำบัดทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพจะเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์สูง (Environmental Engineering Association of Thailand, 2002) เช่น โรงงานผลิตขนมจีนและโรงฆ่าสัตว์ ซึ่งมีทั้งกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน แบบใช้ออกซิเจน และแบบใช้พืชในการบำบัด โดยจะใช้หลักการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์และพืชน้ำเป็นสำคัญ ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพด้วยระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) เป็นระบบหนึ่งที่ดีที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่แขวนลอยและสารละลายที่มีอยู่ในน้ำเสียโดยการดึงสารอินทรีย์เข้ามาใกล้ผิวแบคทีเรียที่เกาะติดอยู่บนผิวตัวกลางและจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Sirianan paiboon, 2006) ส่วนการใช้พืชลอยน้ำ (Floating plant) บำบัดน้ำเสียเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ดีเนื่องจากเป็นการบำบัดน้ำด้วยการอาศัยการเจริญเติบโตของพืชน้ำและจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืช จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายน้อยและไม่มีการใช้สารเคมี พืชลอยน้ำจะมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากมีอัตราการเจริญที่สูง (Tel-Or, E., & Forni, C, 2011) พืชที่นิยมใช้ ได้แก่ จอกและผักตบชวา เนื่องจากจอกสามารถบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของค่าซีโอดีและบีโอดีได้ร้อยละ 88.90 และ 94.70 (Lartdavong et *al*., 2021) โดยการดูดซึมธาตุอาหารและมลสารอื่นๆ ที่ปนมากับน้ำเสียผ่านระบบรากฝอยที่มีจำนวนมากอยู่ใต้น้ำ ส่วนผักตบชวาสามารถบำบัดสารอินทรีย์โดยใช้การดูดซึมทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในปริมาณสูง เจริญเติบโตได้เร็วแม้ว่าจะอยู่ในน้ำเสีย เป็นพืชที่มีรากยาวและโครงสร้างของรากมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน ซึ่งจุลินทรีย์ที่อยู่บริเวณรากของผักตบชวาจะมีบทบาทในการเปลี่ยนอินทรียวัตถุรวมทั้งธาตุอาหารต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นสารประกอบอนินทรีย์ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Ariyakanon, 2018)

ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการนำจุดเด่นของวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศมาประยุกต์ร่วมกับพืชลอยน้ำที่ใช้จอกและผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนและโรงฆ่าสัตว์ โดยการออกแบบศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียร่วมระหว่างถังกรองไร้อากาศกับพืชลอยน้ำที่ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำแตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. น้ำเสียที่ใช้ทดลอง เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนของโรงงานผลิตขนมจีนในพื้นที่จังหวัดมหาสารคามและน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการชำแหละเนื้อสุกรและเนื้อวัวของโรงฆ่าสัตว์ในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ ดัง Figure 1

(a) Wastewater from Fermented Rice Noodles Factory (b) Wastewater from slaughterhouse

Figure 1 Experimental wastewater

2. พืชลอยน้ำที่ใช้ทดลอง ได้แก่ จอก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pistia stratiotes L* และผักตบชวา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eichorniacrassipes* ดัง Figure 2 ใช้พืชลอยน้ำทั้ง 2 ชนิดที่ความหนาแน่น 1 กิโลกรัมเปียกต่อตารางเมตร ทำการเก็บจอกและผักตบชวาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เลือกส่วนของลำต้นที่มีขนาดความสูงใกล้เคียงกัน นำขึ้นจากแหล่งน้ำแล้ววางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำจนกว่าจะไม่มีน้ำหยด จากนั้นชั่งน้ำหนักและนำไปใส่ในบ่อที่จัดเตรียมไว้ เพื่อทำการเลี้ยงจอกและผักตบชวาก่อนเริ่มทำการทดลองโดยใช้น้ำเปล่าผสมกับน้ำเสียให้จอกและผักตบชวาได้ปรับสภาพ (Acclimatization)

Figure 2 Experimental floating plants

3. ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง คือระบบถังกรองไร้อากาศที่ทำงานร่วมกับบ่อพืชลอยน้ำ โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 เป็นระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับบ่อจอกในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีน และชุดการทดลองที่ 2 เป็นระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับบ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ กำหนดปริมาณน้ำเสียเข้าระบบ 40 ลิตรต่อวัน ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 21, 24 และ 36 ชั่วโมง น้ำเสียจะไหลอย่างต่อเนื่องเข้าสู่ถังพักน้ำเสียตามระยะเวลาเก็บกักน้ำจากนั้นจะไหลต่อไปยังถังกรองไร้อากาศไปบ่อพืชลอยน้ำและบ่อพักน้ำทิ้งตามลำดับ โดยมีแบบจำลองของระบบบำบัดน้ำเสีย ดัง Figure 3 และระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ดัง Figure 4

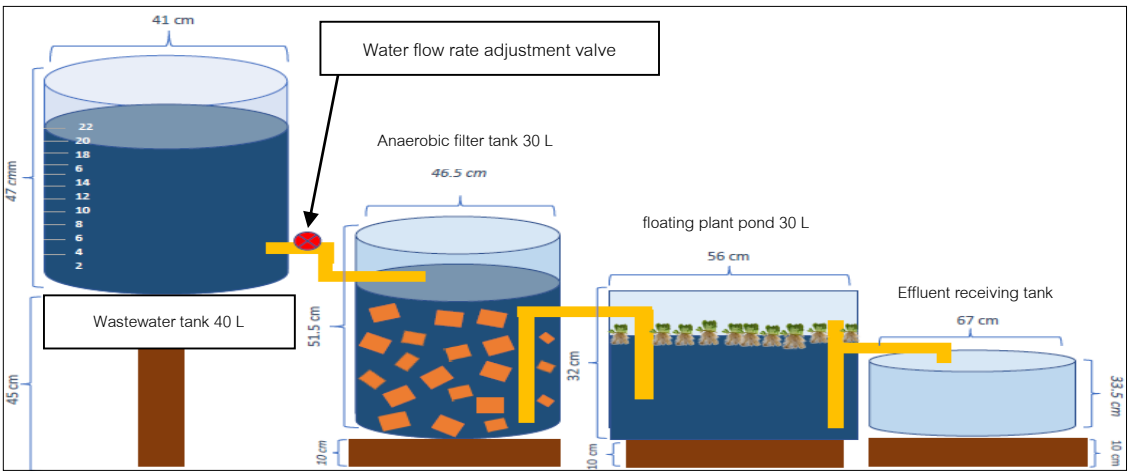

Figure 3 Model of anaerobic filter tank system in combined with floating plants (water lettuce and water hyacinth)

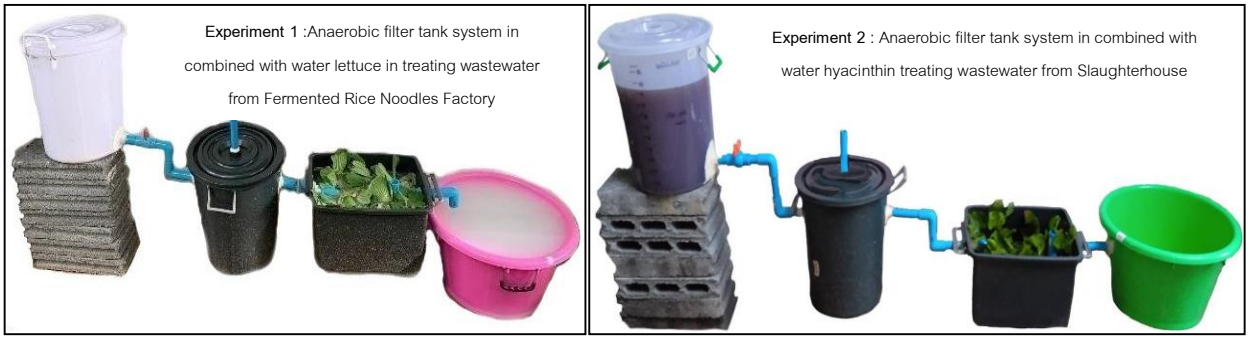

Figure 4 Anaerobic filter tank system in combined with floating plants (water lettuce and water hyacinth)

4. ขั้นตอนการทดลอง

4.1 การเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในถังกรองไร้อากาศ

ในการทดลองได้ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในถังกรองไร้อากาศ ปริมาตร 30 ลิตร จำนวน 2 ถัง ซึ่งถัง ที่ 1 เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีน และถังที่ 2 เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ โดยนำมูลวัวแห้ง 450 กรัม มากวนผสมกับน้ำเปล่าเพื่อให้เกิดการละลาย จากนั้นบรรจุตัวกลางเศษกระถางดินเผาลงในถังกรองไร้อากาศ เพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและเจริญเติบโต โดยจะทำการทุบเศษกระถางดินเผาให้เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นคัดขนาดประมาณ 3 x 6 เซนติเมตร ใส่ลงในถังกรองไร้อากาศ ปริมาตรร้อยละ 70 ของความสูงของถัง ปริมาณน้ำหนัก 10 กิโลกรัม เติมมูลวัวที่ละลายน้ำลงในถังกรองไร้อากาศและเติมน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนและโรงฆ่าสัตว์ให้ท่วมปริมาตรของตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ ปิดฝาให้สนิทและปล่อยทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ทำการปรับอาหารให้จุลินทรีย์โดยการเติมน้ำเสียเข้าถังกรองไร้อากาศร้อยละ 20 ทุกวัน จนครบร้อยละ 100 เพื่อให้เกิดตะกอนของจุลินทรีย์สะสมและเริ่มสังเกตว่าจุลินทรีย์ติดอยู่ที่ตัวกลางโดยการสังเกตสีของตัวกลางและจากการสัมผัสจะพบว่ามีเมือกลื่นๆ ที่ตัวกลาง ซึ่งในสภาวะการทดลองครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ 21 วัน

4.2 การเดินระบบบำบัดน้ำเสีย

ทำการเดินระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่องด้วยระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับพืชลอยน้ำที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำแตกต่างกันคือ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 ระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับบ่อจอกในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีน และชุดการทดลองที่ 2 ระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับบ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ โดยมีขั้นตอนการเดินระบบดังนี้

1) เตรียมระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ถังพักน้ำเสีย ถังกรองไร้อากาศ บ่อพืชลอยน้ำและบ่อพักน้ำทิ้งต่ออนุกรมกัน ดัง Figure 4 ในส่วนของบ่อพืชลอยน้ำจะบรรจุด้วยจอกและผักตบชวา 1 กิโลกรัมเปียกต่อตารางเมตร หรือประมาณ 0.146 กิโลกรัม หรือ 146 กรัม โดยใช้จอก 10 ต้นและผักตบชวา 4 ต้นต่อการทดลอง

2) เติมน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนและน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ ในแต่ละชุดการทดลอง โดยกำหนดน้ำเสียเข้าระบบ 40 ลิตร/วัน ปรับอัตราการไหล 111 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ชั่วโมง น้ำเสียจากถังพักน้ำเสียจะไหลเข้าถังกรองไร้อากาศจากนั้นจะไหลไปยังบ่อพืชลอยน้ำและไหลไปยังบ่อพักน้ำทิ้งอย่างต่อเนื่อง ตามลำดับ

3) ทำการทดลองเหมือนข้อ 2 โดยการเติมน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนและโรงฆ่าสัตว์ในแต่ละชุดการทดลอง กำหนดน้ำเสียเข้าระบบ 40 ลิตร/วัน ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง ปรับอัตราการไหลของน้ำเสียตามระยะเวลาเก็บกักน้ำคือ 56, 37, 28 และ 19 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้วิธีการปรับผ่านรูน้ำปล่อยออกจากถังพักน้ำเสียเพื่อควบคุมปริมาตรน้ำ

4) เมื่อเดินระบบอย่างต่อเนื่องแล้ว จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเข้า (Influent) และน้ำออก (Effluent) จากระบบมาทำการตรวจวิเคราะห์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งแขวนลอย บีโอดี และซีโอดี โดยพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิธีการวิเคราะห์ ดัง Table 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบำบัด จะนำไปคำนวณ

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ดังสูตร และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำแตกต่างกันด้วยสถิติ F-test (One-way ANOVA) ที่ระดับ .05

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (ร้อยละ)} = \frac{\text{คุณภาพน้ำเข้า- คุณภาพน้ำออก}}{\text{คุณภาพน้ำเข้า}} \times 100$$

เมื่อ คุณภาพน้ำเข้า = คุณภาพของน้ำเสียก่อนการบำบัด
คุณภาพน้ำออก = คุณภาพของน้ำเสียหลังการบำบัด

Table 1 Study parameters and analytical tools/methods

Parameter	Unit	Tools/Methods
1. pH	-	pH Meter
2. Suspended solid	mg/L	Drying method at a temperature of 103-105 c. Filter through fiberglass filter paper.(Whatman GF/C, Ø4.7 cm)
3. BOD	mg/L	Azide Modification
4. COD	mg/L	Close reflux method

ผลการวิจัย

จากการศึกษาการบำบัดสารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนและโรงฆ่าสัตว์ด้วยระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับพืชลอยน้ำ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง ได้ผลการศึกษาตามชุดการทดลองเป็นดังนี้

1. ผลการศึกษาระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับจอกในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีน

จากการศึกษาคุณภาพของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับจอกที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำเข้ามีค่า 3.26-3.56 และน้ำออก 2.99-3.23 ของแข็งแขวนลอยของน้ำเข้ามีค่า 1,326.67-2,100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออก 1,093.33-1,620.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารอินทรีย์สูงที่วัดในรูปของค่าบีโอดีของน้ำเข้ามีค่า 7,800-9,450 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออก 6,200-8,150 มิลลิกรัมต่อลิตร และซีโอดีของน้ำเข้ามีค่า 11,374.93-12,475.73 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออก 7,384.53-9,094.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อนำมาคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย บีโอดี และซีโอดี ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำมากขึ้น โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 23.31±7.16, 16.87±12.70, 36.95±10.16, 26.04±15.89 และ 49.14±6.45 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 23.60±6.34 และ 36.12±7.58 ดัง Figure 5

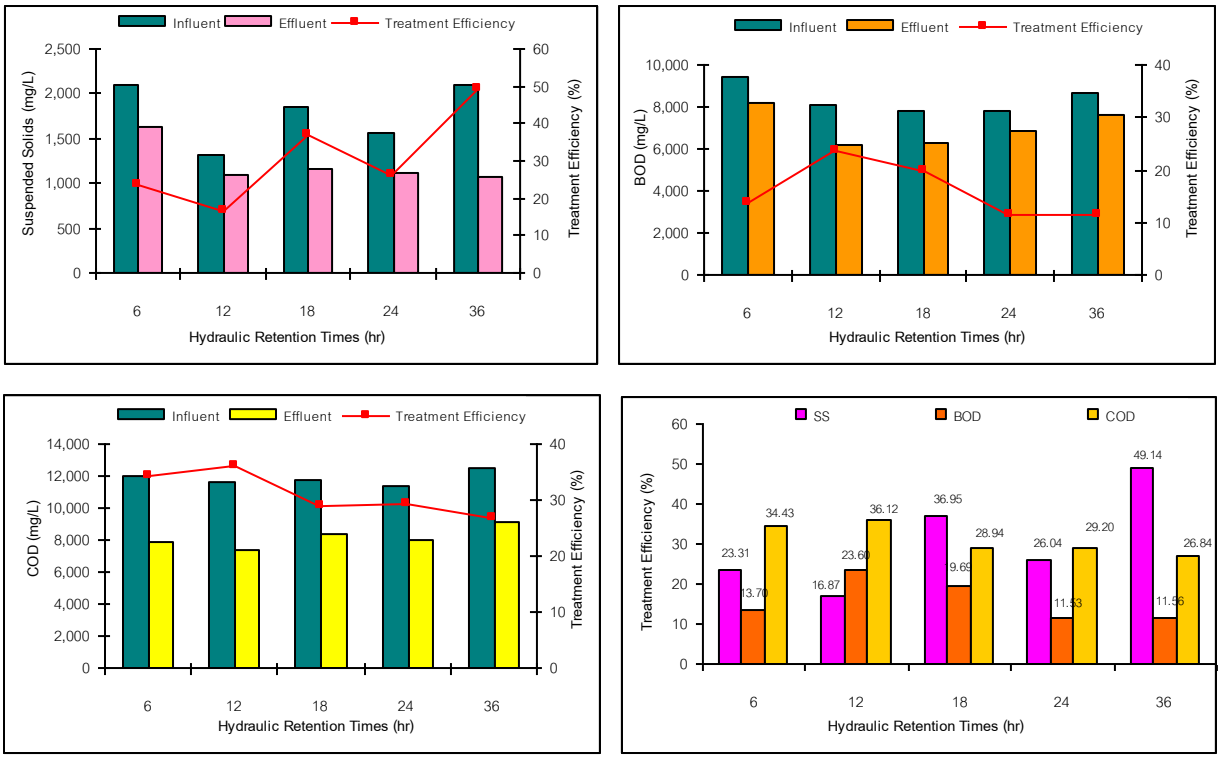

Figure 5 Efficiency of anaerobic filter tank system in combined with water lettuce in treating wastewater from Fermented Rice Noodles Factory

ส่วนผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย บีโอดีและซีโอดี ด้วยระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับจอกที่มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำนานขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังข้อมูล Table 2

Table 2 Comparison of the efficiency of anaerobic filter tank system in combined with water lettuce in treating wastewater from Fermented Rice Noodles Factory

Hydraulic retention times (hr.)	Treatment efficiency (%)		
	Suspended Solid	BOD	COD
6	23.31 B	13.70	34.43
12	16.87 B	23.60	36.12
18	36.95 AB	19.68	28.94
24	26.04 B	11.53	29.20
36	49.14 A	11.56	26.83
p-value	0.0349*	0.0680 (ns)	0.4081 (ns)

ns: Not Statistically Significant

* significantly different at $p < 0.05$

2. ผลการศึกษาระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์

จากการศึกษาคุณภาพของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับผักตบชวาที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำเข้ามีค่า 6.90-7.67 และน้ำออก 7.14-7.38 ของแข็งแขวนลอยของน้ำเข้ามีค่า 383.33-476.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออก 233.33-286.67 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดีของน้ำเข้ามีค่า 380-420 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออก 180-300 มิลลิกรัมต่อลิตร และซีโอดีน้ำเข้ามีค่า 1,124.18-1,516.82 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออก 705.88-929.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย บีโอดีและซีโอดีโดยใช้ระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับผักตบชวาที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำนานขึ้น โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 23.99±9.56, 34.37±14.20, 41.25±4.19, 44.75±5.65 และ 50.12±4.80 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 52.78±20.97 และ 39.79±12.04 ดัง Figure 6

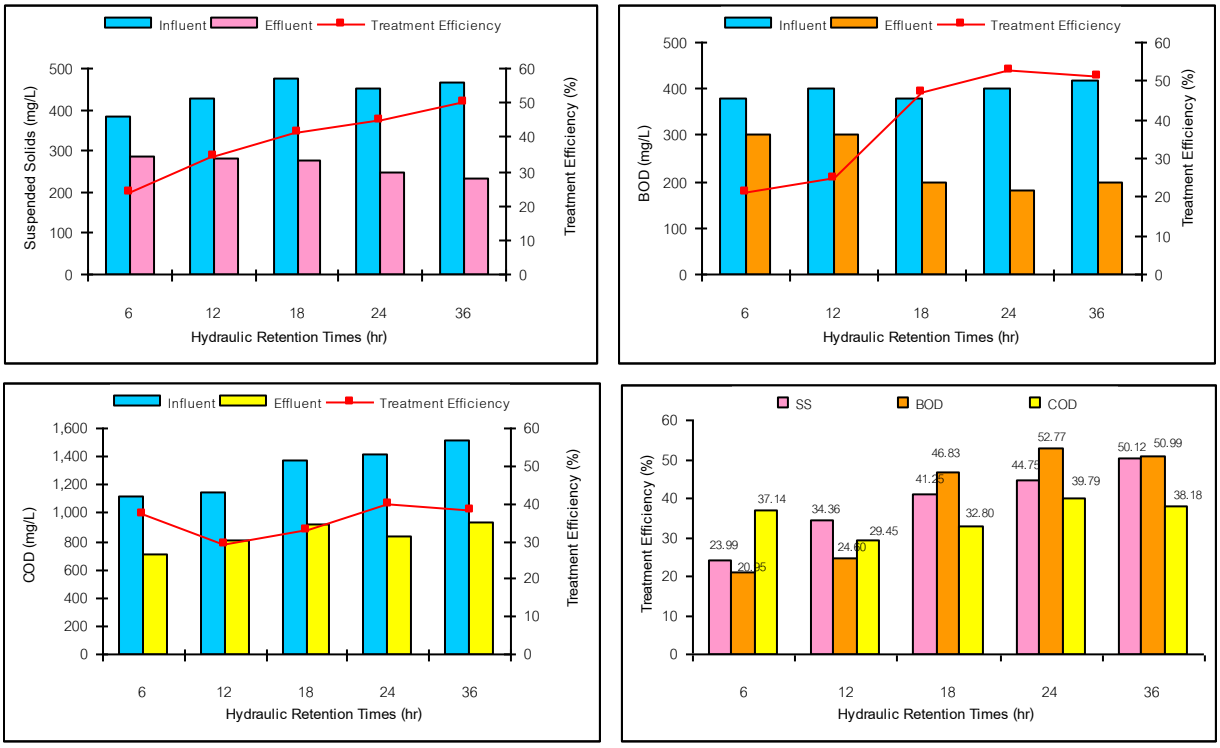

Figure 6 Efficiency of anaerobic filter tank system in combined with water hyacinth in treating wastewater from slaughterhouse

ส่วนผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย บีโอดีและซีโอดี ด้วยระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับผักตบชวาที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยดีขึ้น ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดี ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดัง Table 3

Table 3 Comparison of the efficiency of anaerobic filter tank system in combined with water hyacinth in treating wastewater from slaughterhouse

Hydraulic retention times (hr.)	Treatment efficiency (%)		
	Suspended Solid	BOD	COD
6	23.99 C	20.95	37.14
12	34.36 BC	24.60	29.45
18	41.25 AB	46.82	32.80
24	44.75 AB	52.77	39.79
36	50.12 A	50.99	38.18
p-value	0.0302*	0.0685(ns)	0.8922 (ns)

ns: Not Statistically Significant * significantly different at p < 0.05

วิจารณ์ผลการวิจัย

คุณภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีน มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันขึ้นอยู่กับกิจกรรมต่างๆ ในการใช้น้ำ โดยน้ำเสียจะมีสีขาวขุ่น กลิ่นเหม็นเปรี้ยว มีความเป็นกรด และมีค่าของแข็งแขวนลอย บีโอดี และซีโอดีสูง เนื่องจากมีการใช้แป้งข้าวเจ้า การหมักแป้ง การแช่และการล้างในกระบวนการผลิตขนมจีน ทำให้แป้งละลายในน้ำเสียและเกิดตะกอนแป้ง ซึ่งจากผลการศึกษาระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับจอกที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีน พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย อยู่ในช่วงร้อยละ 16.87-49.14 บีโอดีร้อยละ 11.53-23.60 และซีโอดีร้อยละ 26.84-36.12 เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำแตกต่างกัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำนานขึ้น โดย 36 ชั่วโมง สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 49.14 เนื่องจากของแข็งแขวนลอยมักถูกกำจัดด้วยกระบวนการทางกายภาพอาศัยกลไกการตกตะกอนหรือการกรองโดยรากของพืช (Lartdavong et *al*., 2021) ในการทดลองครั้งนี้น้ำเสียได้ผ่านการตกตะกอนโดยถังกรองไร้อากาศและผ่านมายังบ่อพืชลอยน้ำที่มีจอก ซึ่งมีลักษณะรากเป็นระบบรากฝอยห้อยอยู่ใต้ระดับน้ำ ทำหน้าที่กรองของแข็งแขวนลอย ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดี พบว่า ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเท่ากับร้อยละ 23.60 และ 36.12 ตามลำดับ ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนมีค่าสารอินทรีย์ทั้งในรูปของบีโอดีและซีโอดีสูงถึง 9,450 และ 12,475.73 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำเสียสารอินทรีย์ลดลงเท่ากับ 8,150 และ 9,094.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งยังสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ค่าบีโอดีไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่าซีโอดีไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (Pollution Control Department, 2021) เนื่องมาจากน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงไหลเข้าถังกรองไร้อากาศ ทำให้การทำงานของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรดย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มจำนวนได้เร็วจึงผลิตกรดและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมามาก โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถที่จะเพิ่มจำนวนและย่อยสลายกรดอินทรีย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ทัน จึงทำให้เกิดสภาพเป็นกรดเพิ่มขึ้นและค่าพีเอชลดลง ประกอบกับการทดลองไม่ได้ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าถังกรองไร้อากาศ และน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองก็มีความเป็นกรดสูง (Ratano, 1995) เมื่อน้ำเสียผ่านไปยังบ่อพืชลอยน้ำที่มีจอกซึ่งพืชจะทำหน้าที่ในการดูดซึมธาตุอาหาร การกรอง ดูดซับมลสารและต้องใช้กลไกของแบคทีเรียในการย่อยลายสารอินทรีย์ พร้อมทั้งสภาพที่เหมาะสมในการดำรงอยู่ของจุลินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ (Klomjek, 2009) แต่ทั้งนี้ในการทดลองไม่ได้ควบคุมสภาวะแวดล้อมต่างๆ น้ำเสียที่เข้ามายังบ่อพืชลอยน้ำที่มีจอก จึงมีทั้งความเป็นกรด-ด่าง และสารอินทรีย์ปริมาณสูง โดยที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 2.99-3.25 ซึ่งไม่สามารถลดความเป็นกรด-ด่าง ในสภาวะที่ทดลองได้ แต่ปริมาณสารอินทรีย์ลดลง เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้จอกในการบำบัดน้ำเสียร่วม พบว่าก่อนเริ่มต้นการทดลองจอกมีสีเขียว ผ่านระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 และ 12 ชั่วโมง จอกเริ่มมีการปรับตัวและอยู่ในน้ำเยอะได้ระยะแรก แต่เมื่อได้รับน้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรดและระยะเวลาเก็บกักน้ำนานขึ้นคือ 18, 24 และ 36 ชั่วโมง ใบและลำต้นของจอกเริ่มเหลือง เหี่ยวและตาย ดัง Figure 7 เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อของพืช ทำให้พืชดูดซึมน้ำและอาหารไปใช้ได้น้อย สอดคล้องกับการศึกษาของ (Somprasert et *al*., 2016) น้ำเสียพีเอช 4 พืชไม่สามารถปรับตัวเจริญ

ในน้ำเสียได้ ดังนั้นจะเห็นว่าการใช้พืชลอยน้ำที่บรรจุด้วยจอกในบ่อบำบัดน้ำเสียที่ต่อร่วมกับถังกรองไร้อากาศสามารถช่วยลดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีและซีโอดีได้ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6 ถึง 12 ชั่วโมง ที่สภาวะน้ำเสียมีความเป็นกรด แต่หลังจากระยะเวลาเก็บกักน้ำ 18, 24 และ 36 ชั่วโมง จอกไม่สามารถปรับสภาพน้ำเสียที่มีความเป็นกรดและสารอินทรีย์สูงได้จึงทำให้ใบมีสีเหลืองซีดเกิดการเหี่ยวเฉาและตายเห็นชัดเจนในระยะเวลาเก็บกักน้ำ 36 ชั่วโมง ส่วนคุณภาพของน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ที่ใช้นั้นมีคุณภาพน้ำไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันขึ้นอยู่กับจำนวนสัตว์และกิจกรรมที่เน้นการล้างทำความสะอาดสิ่งต่างๆ ในโรงฆ่าสัตว์ จากผลการศึกษาระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับผักตบชวาที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย อยู่ในช่วงร้อยละ 23.99-50.12 เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำแตกต่างกัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำนานขึ้น โดย 36 ชั่วโมง สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 50.12 เนื่องจากของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมักถูกกำจัดด้วยกระบวนการทางกายภาพโดยอาศัยกลไกการตกตะกอนหรือการกรองโดยรากของพืชส่วนที่จมอยู่ในน้ำ ซึ่งพืชจะทำหน้าที่กรอง รองรับและดูดซับสารแขวนลอยต่างๆ (Ariyakanon, 2018) ในการทดลองน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ได้ไหลผ่านถังกรองไร้อากาศมายังบ่อผักตบชวาซึ่งมีลักษณะรากเป็นระบบรากฝอยห้อยอยู่ใต้ระดับน้ำ ทำหน้าที่กรองของแข็งแขวนลอย ประกอบกับระยะเวลาในการเก็บกักน้ำนาน 36 ชั่วโมง ทำให้มีเวลาในการตกตะกอนและการกรองของแข็งแขวนลอยได้เพิ่มขึ้น ส่วนค่าบีโอดีและซีโอดีวัดในรูปของสารอินทรีย์จะมีค่าสูง เนื่องจากน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ส่วนใหญ่จะปนเปื้อนด้วยเลือด มูลสัตว์ ไขมันและน้ำมัน จากการศึกษาค่าบีโอดีของน้ำเข้า มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 380-420 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกอยู่ในช่วง 180-300 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าซีโอดีของน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,124.18-1,516.82 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกอยู่ในช่วง 705.88-929.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถ้านำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร พบว่าไม่ผ่านตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดค่าบีโอดีไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และซีโอดีไม่เกิน 120-400 มิลลิกรัมต่อลิตร (Pollution Control Department, 2021) แต่ทั้งนี้ระบบก็สามารถบำบัดโดยลดค่าบีโอดีและซีโอดีได้ โดยประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำนานขึ้น เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะตัวกลางเศษกระถางดินเผาจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ จากนั้นน้ำเสียจะถูกส่งไปยังบ่อผักตบชวา ทำให้ผักตบชวาดูดซึมทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในปริมาณสูงได้ ถ้าพิจารณาลักษณะทางกายภาพของผักตบชวาภายในบ่อที่ทำการทดลอง ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่น้ำเสียมีสารอินทรีย์สูง ซึ่งโครงสร้างของรากผักตบชวาจะมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ช่วยในการเปลี่ยนอินทรียวัตถุ รวมทั้งธาตุอาหารต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นสารประกอบอนินทรีย์ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Ariyakanon, 2018) สอดคล้องกับการศึกษาของ (Kaosol, 2002) ได้ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียร่วมกับพืชลอยน้ำ 3 ชนิด พบว่าผักตบชวาเป็นพืชที่มีความคงทนและดูแลรักษาง่ายสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีและการศึกษาของ (Puljan & Mahachanawong, 2020) ได้ศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีถังกรองไร้อากาศ พบว่ายิ่งระยะเวลาเก็บกักน้อยลงค่าการกำจัดบีโอดีก็ยิ่งน้อยลง ในทางกลับกันยิ่งเพิ่มระยะเวลาเก็บกักค่าการกำจัดบีโอดียิ่งเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ พบว่า

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ด้วยระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับบ่อผักตบชวาที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง สามารถบำบัดบีโอดีและซีโอดีได้มากที่สุดร้อยละ 52.12 และ 39.79

Figure 7 Water lettuce after treated wastewater from Fermented Rice Noodles Factory at different hydraulic retention times

สรุปผลการวิจัย

ประสิทธิภาพของระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับพืชลอยน้ำที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนและโรงฆ่าสัตว์ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้ง 2 ชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำนานขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดี ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมง สามารถบำบัดบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนได้มากที่สุด ส่วนระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง สามารถบำบัดบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ได้มากที่สุด ดังนั้นจะเห็นได้การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียร่วมระหว่างถังกรองไร้อากาศกับพืชลอยน้ำคือจอกและผักตบชวาสามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยและความสกปกรกของสารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนและโรงฆ่าสัตว์ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม และขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ได้อำนวยความสะดวกในด้านสถานที่พร้อมทั้งสนับสนุนด้านเครื่องมือทดลองทางวิทยาศาสตร์อันเป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

APHA. (2005). Standard methods for the examination of water and waste water, 21st ed. American Public Health Association, Washington, DC.

Ariyakanon, N. (2018). Water hyacinth and treatment of pollutants in water. *Environmental Journal, 22*(3), 49-55. (in Thai)

Department of Industrial Works. (2000). Environmental management guide for swine slaughterhouses. Bangkok : Industrial Environmental Technology Bureau. (in Thai)

Environmental Engineering Association of Thailand. (2002). Textbook of water pollution treatment system. Bangkok: Environmental Engineering Association of Thailand. (in Thai)

Jantana, S. (1986). *Effect of fermentation on protein content in Khanom-jeen*. Master of science thesis in agro-industry . Kasetsart University. (in Thai)

Kaosol, T. (2002). Study on the efficiency of using water plants in combination with a wastewater treatment pond system in treating community wastewater, case study: community wastewater from Hat Yai Municipality. Research report. Songkhla: Faculty of Engineering Prince of Songkla University. (in Thai)

Klomjek, P. (2009). Role of wetland plants for wastewater treatment. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *37*(1), 79-86. (in Thai)

Lartdavong,T., Chuenban, T., Chanthasin, W., and Chuenban, S. (2021). Wastewater treatment from swine farm and nutritive values of water lettuce (*Pistia stratiotes* L.).*Rattanakosin Journal of Science and Technology*, *3*(2), 19-27. (in Thai)

Muleng, S. & Jijai, S. (2019). Effect of Thai rice noodle wastewater with rice husk and dung to bio-fertilizer production. Research report. Yala Rajabhat University. (in Thai)

Puljan, V. and Mahachanawong, K. (2020). The study of suitable hydraulic retention time for wastewater treatment using anaerobic filter tank. *Academic Journal Uttraradit Rajabhat University Science and Technology (For local development)*, *15*(2), 57-68. (in Thai)

Ratano, K. (1995). *Rice Noodle Wastewater Treatment by Anaerobic Filter System*. Master of science thesis in environmental health. Khon Kaen University. (in Thai)

Sawain, A. , Sujarit, C. & Kraiphittayakorn, W. *Modified anaerobic baffled reactor (MABR) approach and multi criteria decision analysis (MCDA) for utilization wastewater treatment in fermented rice noodle factory*. Research report. Rajamangala University of Technology Srivijaya,Trang Campus. (in Thai)

Sirianan paiboon, S. (2006). *Wastewater treatment system : selection, design, operation and problem solving*. Bangkok: Top Book. (in Thai)

Somprasert, S., Nilratnisakorn, S., Sarnpra, P.,and Podam, S. (2016). Efficiencies of constructed wetland systems using native plants for treatment of strong acidity wastewater. *Thai Environmental Engineering Journal*, *30*(1), 49-57. (in Thai)

Tanthulwet, M. (1999). Industrial wastewater treatment technology. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Tel-Or, E., & Forni, C. (2011). Phytoremediation of hazardous toxic metals and organics by photosynthetic aquatic systems. *Plant Biosystems*, *145*(1), 224-235.