การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานกับถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป

รัชกร ฮ่งกุล[1*] นิภาพร นบนอบ[2] ชูเกียรติ กระจ่างเมฆ[3]
[1*,2]อาจารย์ประจำสาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
[3]อาจารย์แผนกวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี

บทคัดย่อ

น้ำเสียในครัวเรือนจากการประกอบอาหารถือเป็นปัญหาสำคัญ หากไม่มีระบบการบำบัดน้ำเสียก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำหรือสิ่งแวดล้อม อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำทำให้เน่าเสียและมีกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งแพร่เชื้อโรคและสัตว์นำโรค รวมทั้งเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและชุมชน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระหว่างถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานกับถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากครัวเรือนที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดโดยวิธีการใดๆ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดที่ 1 ถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสาน และชุดที่ 2 ถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป ปริมาตรความจุ 30 ลิตร ระยะเวลาเดินระบบ 7 วัน วิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากคุณภาพน้ำก่อนและหลังบำบัด

ผลการศึกษา พบว่า ชุดที่ 1 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ส่วนค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และน้ำมันและไขมัน เท่ากับ ร้อยละ 56.58, 69.27, 66.91 86.76 และ 84.14 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ 2 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และน้ำมันและไขมัน เท่ากับ ร้อยละ 28.60, 10.94, 30.94, 53.68 และ 72.21 ตามลำดับ คุณภาพน้ำหลังบำบัดทั้งสองชุดการทดลองผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นค่าน้ำมันและไขมันยังคงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานด้วยระบบดักไขมัน อิเล็กโตรลิซิส ตัวกรองชีวภาพ และจอกพืชน้ำมีประสิทธิภาพดีกว่าถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป ดังนั้นสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีแบบผสมผสานที่เหมาะสมและควรเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

คำสำคัญ: น้ำเสียครัวเรือน/ ถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป/ อิเล็กโตรลิซิส/ จอก

***Corresponding author:** รัชกร ฮ่งกุล, **E-mail:** ratchakorn.hon@sru.ac.th, **โทร:** 0644539263

Received: February 10, 2022 Revised: May 23, 2022 Accepted: June 1, 2022

Comparison of Efficiency on Combined Household Wastewater Treatment Process with Oil and Grease Trap

Ratchakorn Hongkul[1*], Nipaporn Nobnorb[2], Chukrait Krajangmek[3]

[1,2] Lecturer, Public Health Program, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

[3] Lecturer, Building Construction Department, Suratthani Technical College

Abstract

Household wastewater from cooking was a serious problem. If there was no good wastewater treatment system before discharge into the water source or environment, it can affect the quality of water, bad smelling, spreading infection and disease-carrying animals and impact on human health. The objective of this study was to determine the comparison of efficiency on combined household wastewater treatment process with oil and grease traps. The sample of wastewater was untreated household cooking wastewater in Mueang, Surat Thani Province by the method of grab sampling. This research was divided into 2 experimental; Experimental 1 combined household wastewater treatment process, Experimental 2 was oil and grease trap. Both wastewater treatment tank had the capacity 30 liters and take a period of 7 days. Removal efficiency was analyzed from the water quality before and after treatment.

The results showed that the removal efficiency of Experimental 1 as increased neutral pH , BOD, suspended solid, total nitrogen, total phosphorus, fat oil and grease were 56.58%, 69.27%, 66.91%, 86.76% and 84.14%, respectively. Experimental 2 as slightly increased pH, BOD, total nitrogen, total phosphorus, fat oil and grease were 28.60%, 10.94%, 30.94%, 53.68% and 72.21%, respectively. Both types of tanks were passed the standards. Except for fat, oil and grease was still higher than the standards. It can be seen that combined household wastewater treatment process by using grease trap, electrolysis, bio-filters and water lettuce (Pistia stratiotes L.) had better removal efficiency than oil and grease trap. Therefore, it can be used as a guideline for developing a wastewater treatment system with integrated technology and should be increase the efficiency of oil and grease treatment to pass the standards.

Keywords: Household wastewater/ Oil and grease trap /Electrolysis/ Water lettuce

***Corresponding author:** Ratchakorn Hongkul, **E-mail:** ratchakorn.hon@sru.ac.th, **Tel:** 0644539263

Received: February 10, 2022 / Revised: May 23, 2022 / Accepted: June 1, 2022

บทนำ

ปัจจุบันจำนวนประชากรในชุมชนเพิ่มมากขึ้น ปัญหาน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ภายในบ้านเรือน ได้แก่ น้ำเสียจากห้องน้ำ น้ำเสียจากการซักล้าง และน้ำเสียจากการประกอบอาหาร นับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงและมีแนวโน้มขยายวงกว้างมากขึ้น หากไม่มีระบบการจัดการน้ำเสียที่ดีและระบบการบำบัดน้ำเสียก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำหรือสิ่งแวดล้อมแล้ว อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้น้ำในแม่น้ำลำคลองมีสภาพเน่าเสีย กลิ่นเหม็น เป็นแหล่งแพร่เชื้อโรคและพาหะนำโรค รวมทั้งเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

การบำบัดน้ำเสียในครัวเรือนที่มีไขมันและน้ำมันสูงมักใช้วิธีการบำบัดทางกายภาพ เช่น บ่อดักไขมัน ถังดักไขมัน เป็นต้น แต่ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียยังต่ำหากขาดการดูแลที่เหมาะสม หรือเมื่อไม่กำจัดไขมันและน้ำมันออกจะทำให้ท่อระบายน้ำอุดตัน ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจะลดลงตามมา ซึ่งบ่อดักไขมัน หรือถังดักไขมัน มีเวลาเก็บกักไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง จะสามารถกำจัดไขมันได้ประมาณร้อยละ 60 เท่านั้น ถ้าขาดการดูแลประสิทธิภาพจะต่ำลง[1] นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบราคา พบว่า ถังดักไขมันประดิษฐ์มีราคาถูกกว่าถังดักไขมันสำเร็จรูปประมาณ 3 - 4 เท่า ซึ่งถังดักไขมันสำเร็จรูปจะมีราคาประมาณ 900 – 5,000 บาท ขึ้นอยู่กับขนาดของถังดักไขมัน ส่วนถังดักไขมันประดิษฐ์มีราคาประมาณ 500 – 700 บาท รวมทั้งถังดักไขมันประดิษฐ์ยังสามารถพัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ เคมี หรือชีวภาพให้มีประสิทธิภาพการบำบัดได้มากที่สุด คุณภาพน้ำทิ้งใกล้เคียงกับแหล่งน้ำตามธรรมชาติหรือผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

ระบบการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการอิเล็กโตรลิซิส อาศัยหลักการโคแอกกูเลชั่นด้วยไฟฟ้าจะมีก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นที่ขั้วลบ ช่วยทำให้คอลลอยด์ที่รวมตัวเป็นตะกอนลอยตัวขึ้น สามารถกำจัดออกด้วยการกวาดทิ้งจากผิวน้ำ ซึ่งกระบวนการนี้นิยมใช้บำบัดสารอินทรีย์บางชนิดและไขมันที่ละลายอยู่ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ทำให้น้ำเสียหลังการบำบัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จากการศึกษาประสิทธิภาพน้ำเสียด้วยการใช้ขั้วไฟฟ้า 3 ชนิด ได้แก่ กราไฟต์ ทองแดง และอะลูมิเนียม มาใช้บำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการอิเล็กโตรลิซิส พบว่า กราไฟต์ให้ค่าผลคุณภาพน้ำหลังการบำบัดดีที่สุด และสามารถลดค่าความเป็นกรดและด่าง (5.17) ของแข็งแขวนลอย (0.08 mg/l) บีโอดี (223 mg/l) น้ำมันและไขมัน (0.051 mg/l) ได้ดีกว่าการใช้วัสดุในการนำไฟฟ้าชนิดอื่น แต่ค่าบีโอดียังคงสูงอยู่[2] และการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำจากนม แป้ง และน้ำประปาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 68 วัน โดยใช้ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดทำจากแผ่นกราไฟต์ขนาด 100 ตารางเซนติเมตร พบว่า บ่อที่มีพืชมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตสูงกว่าบ่อไม่มีพืช เนื่องจากแบบมีพืชเกิดกระแสไฟฟ้ามากกว่าแบบไม่มีพืช[3] นอกจากนี้การบำบัดน้ำเสียในครัวเรือนโดยใช้พืชจึงน่าสนใจอย่างยิ่งเนื่องจากเป็นการใช้วิธีธรรมชาติ ต้นทุนต่ำ ไม่ซับซ้อน เป็นที่นิยมนำมาพัฒนารูปแบบระบบ การบำบัดน้ำเสียอย่างกว้างขวาง จากการศึกษาระบบบึงประดิษฐ์โดยใช้พืชชนิดลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น จอก แหน บัว เป็นต้น เป็นขั้นที่สองของระบบบึงประดิษฐ์น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดบางส่วนแล้วจะมีคุณภาพดีขึ้นทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้และช่วยลดค่าบีโอดีในน้ำเสียอีกด้วย[4] ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระหว่างถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานเปรียบเทียบกับถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานด้วยระบบดักไขมัน อิเล็กโตรลิซิส ตัวกรองชีวภาพ และจอกพืชน้ำ รวมทั้งสามารถนำไปพัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบผสมผสานอย่างง่ายต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระหว่างถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานกับถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป

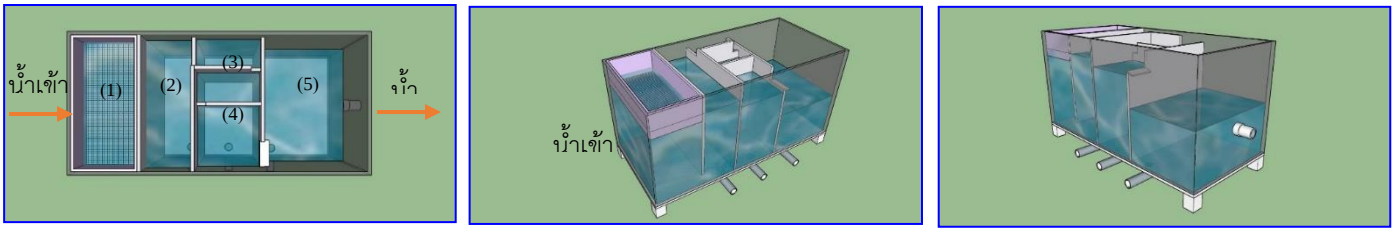
ระเบียบวิธีวิจัย

รูปแบบการวิจัยและกลุ่มตัวอย่าง

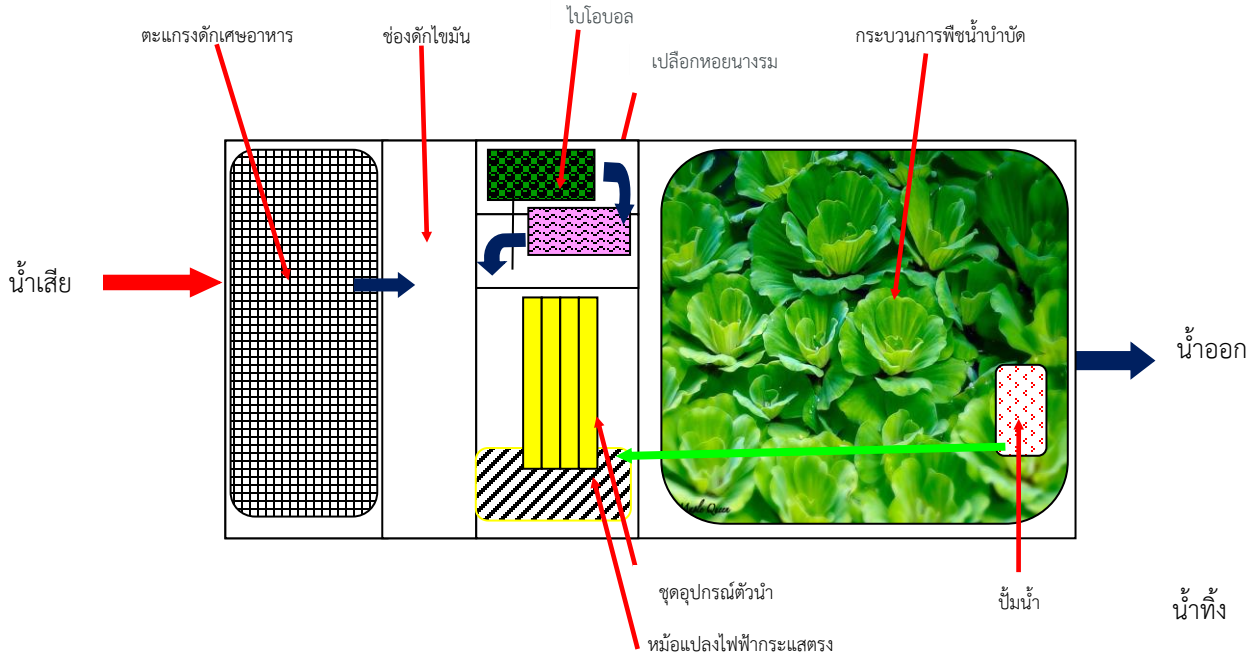
การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระหว่างถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานกับถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป โดยการประดิษฐ์ถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานอาศัยหลักการบำบัดร่วมกันด้วยระบบดักไขมัน อิเล็กโตรลิซิส ตัวกรองชีวภาพ และจอกพืชน้ำ ซึ่งการบำบัดด้วยระบบไขมัน จะช่วยทำหน้าที่กรองเศษอาหารและดักไขมันเสมือนถังดักไขมันสำเร็จรูป การบำบัดด้วยกระบวนการอิเล็กโตรลิซิส ตัวกรองชีวภาพ (เปลือกหอยนางรม : ไบโอบอล) และจอกพืชน้ำ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพบำบัดไขมันและสารอินทรีย์ในน้ำเสีย การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของคุณภาพน้ำก่อนและหลังบำบัด เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากการประกอบอาหารของครัวเรือนที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดโดยวิธีการใดๆ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัด สุราษฎร์ธานี เป็นครัวเรือนที่ยินดีให้ความร่วมมือในการวิจัยและมีการประกอบอาหารอย่างสม่ำเสมอ ด้วยวิธีเก็บตัวอย่างแบบจ้วง (Grab sampling) ระยะเวลาในการศึกษาและเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมิถุนายน – กรกฎาคม พ.ศ. 2561 โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดที่ 1 ถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสาน และชุดที่ 2 ถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป ดังนี้

ชุดที่ 1 ออกแบบและสร้างถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานที่มีขนาด 20x45x40 เซนติเมตร ปริมาตรความจุ 30 ลิตร โดยมีน้ำเข้าทางด้านบนถัง และปล่อยออกทางด้านล่าง องค์ประกอบและขั้นตอนการบำบัดประกอบด้วย 5 ส่วน คือ (1) ส่วนแรกรองรับน้ำเสียและแยกเศษอาหาร มีตะแกรงสำหรับดักเศษอาหารเพื่อคัดแยกออกไป หลังจากนั้นน้ำเสียจะผ่านเข้าสู่ส่วนที่สอง (2) ส่วนดักไขมันโดยไขมันจะลอยอยู่ด้านบนผิวน้ำเพื่อรอการกำจัดไขมันออก น้ำส่วนนี้จะแยกออกจากไขมันผ่านเข้าสู่ส่วนที่สาม (3) กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electro-coagulation) เตรียมวัสดุในการทำขั้วไฟฟ้าชนิด กราไฟต์ นำมาเชื่อมต่อกับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบอนุกรม ปริมาณกระแสไฟฟ้า 10 A/m^2 เพื่อแยกส่วนที่เป็นกากตะกอนออกและปรับค่าความเป็นกรด–ด่างของน้ำ ในกระบวนการนี้กากตะกอนจะแยกตัวออกจากกันและลอยตัวสู่ผิวน้ำด้านบน ส่วนน้ำจะไหลผ่านไปยังส่วนที่สี่ (4) กรองด้วยเปลือกหอยนางรมขนาด 5×5 เซนติเมตรต่อไบโอบอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร (4:1/w/w) (5) บำบัดน้ำด้วยพืชน้ำ ในการศึกษานี้จะใช้จอก (*Pistia stratiotes* Linn.) โดยคัดเลือกลักษณะลำต้นที่แข็งแรง อยู่ในสภาพสมบูรณ์ นำพืชมาทำความสะอาดด้วยน้ำประปา จากนั้นแช่ในสารละลาย clorox 0.1% (v/v) เป็นเวลา 2 นาที นำขึ้นมาล้างด้วยน้ำกลั่นเบาๆ อีก 2 ครั้ง[5] แล้วนำไปเลี้ยงในถังขนาดใหญ่ที่มีสารละลายธาตุอาหารพืช Hoagland'No.2 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อขยายพันธุ์และปรับตัวก่อนนำไปทำการทดลอง เมื่อเริ่มทดลองจะใส่จอกในส่วนนี้ จำนวน 20 ต้น/ตารางเมตร ซึ่งเป็นการบำบัดส่วนสุดท้ายก่อนระบายน้ำออก (ภาพที่ 1, 2) เมื่อเข้าสู่การทดลองเติมน้ำเสียแล้วปล่อยให้ตกตะกอน 1 ชั่วโมง

จากนั้นจึงถ่ายน้ำทิ้ง เติมน้ำเสียเข้ามาใหม่ในถังปฏิกรณ์แบบเติมน้ำเสียเพียงครั้งเดียวในแต่ละชุดการทดลอง (Batch) และเดินระบบตามวัฏจักรใช้เวลา 7 วัน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดในส่วนสุดท้าย ปริมาตรที่เก็บแต่ละครั้งประมาณ 100 มิลลิลิตร กำหนดช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างเวลา 09.00-12.00 น. และทำการตรวจวิเคราะห์ทันที หากไม่สามารถดำเนินการตรวจวิเคราะห์ได้ในทันทีจะนำไปแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 1 แสดงแบบจำลองสามมิติของถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสาน



ภาพที่ 2 แสดงส่วนประกอบของถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสาน

ชุดที่ 2 ถังบำบัดไขมันสำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป เป็นชุดทดลองควบคุม ปริมาตรความจุ 30 ลิตร องค์ประกอบและขั้นตอนการบำบัดประกอบด้วย 3 ส่วน คือ (1) ส่วนแรกรองรับน้ำเสียและมีตะแกรงดักเศษอาหาร ทำหน้าที่แยกเศษอาหารที่ปะปนมากับน้ำเสีย (2) น้ำเสียจากขั้นตอนแรกจะไหลผ่านมายังส่วนดักไขมัน โดยไขมันที่แยกตัวออกจากน้ำเสียจะลอยขึ้นเป็นชั้นเหนือน้ำ (3) น้ำเสียที่อยู่ใต้ชั้นไขมันจะไหลเข้าสู่ถังบำบัดในส่วนนี้ ซึ่งเป็นการบำบัดส่วนสุดท้ายก่อนระบายน้ำออก และเข้าสู่วัฏจักรเดียวกับชุดการทดลองที่ 1

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังบำบัด โดยการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH Meter บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ด้วยวิธี 5-Day BOD Test ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ด้วยวิธี Gravimetric และอบที่ 103 - 105 องศาเซลเซียส ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method ด้วย Spectrophotometer ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) โดยวิธี Ascorbic Acid Method ด้วย Spectrophotometer และน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease) ด้วยวิธี Soxhlet extraction จากนั้นนำมาเปรียบเทียบตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน[6] และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดเพื่อหาความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัด (\%)} = \frac{\text{ก่อนเข้าระบบ - หลังออกจากระบบ}}{\text{น้ำเสียก่อนเข้าระบบ}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อน – หลังบำบัด และประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสีย ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน และค่าร้อยละ

ผลการวิจัย

คุณภาพน้ำหลังบำบัดของถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสาน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.16±0.32 บีโอดี เท่ากับ 9.90±1.29 mg/l ของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 19.67±9.42 mg/l ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.46±0.20 mg/l ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.18±0.02 mg/l และน้ำมันและไขมัน เท่ากับ 6.66±0.25 mg/l เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำหลังบำบัดของถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นค่าน้ำมันและไขมันที่ยังคงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คุณภาพน้ำหลังบำบัดของถังบำบัดไขมันสำเร็จรูปมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.34±0.07 บีโอดี เท่ากับ 16.28±1.94 mg/l ของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 57.00±7.32 mg/l ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.96±0.04 mg/l ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.63±4.47 mg/l และน้ำมันและไขมัน เท่ากับ 11.67±1.55 mg/l จะเห็นได้ว่าคุณภาพน้ำหลังบำบัดของถังบำบัดไขมันสำเร็จรูปผ่านเกณฑ์มาตรฐานของค่าความเป็นกรด - ด่าง บีโอดี ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ยกเว้นค่าแข็งแขวนลอย น้ำมันและไขมันยังคงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ตารางที่ 1)

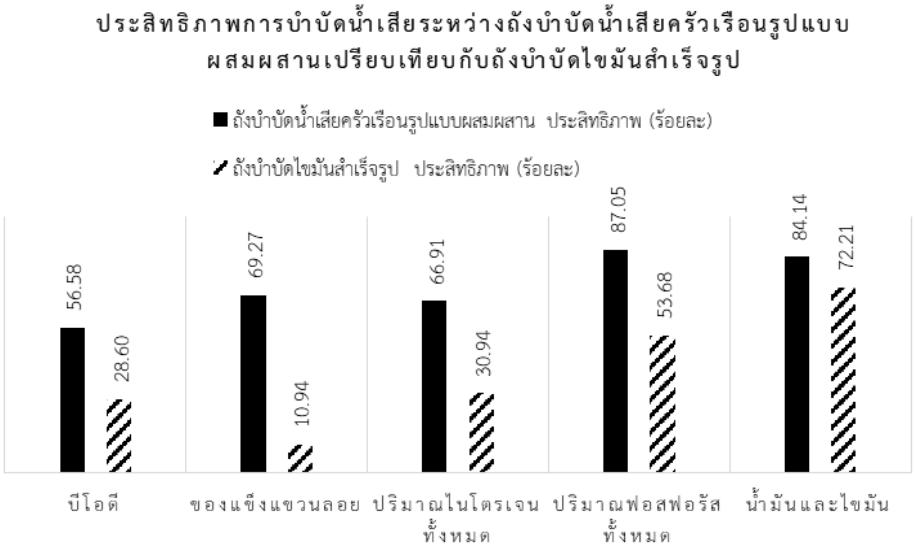
ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำก่อน - หลังบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัดของถังบำบัดน้ำเสีย

พารามิเตอร์	ก่อนบำบัด (Mean ± SD)	หลังบำบัด (Mean ± SD)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	มาตรฐานคุณภาพน้ำ
ถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสาน				
ความเป็นกรด-ด่าง	5.77±0.42	7.16±0.32*	-	5.5 -9.0
บีโอดี (mg/l)	22.80±3.72	9.90±1.29*	56.58	≤ 20 mg/l
ของแข็งแขวนลอย (mg/l)	64.00±6.69	19.67±9.42*	69.27	≤ 30 mg/l
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (mg/l)	1.39±0.48	0.46±0.20*	66.91	≤ 20 mg/l
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/l)	1.36±0.11	0.18±0.02*	86.76	≤ 2 mg/l
น้ำมันและไขมัน (mg/l)	42.00±1.20	6.66±0.25	84.14	≤ 5 mg/l
ถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป				
ความเป็นกรด-ด่าง	5.77±0.42	6.34±0.07*	-	5.5 -9.0
บีโอดี (mg/l)	22.80±3.72	16.28±1.94*	28.60	≤ 20 mg/l
ของแข็งแขวนลอย (mg/l)	64.00±6.69	57.00±7.32	10.94	≤ 30 mg/l
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (mg/l)	1.39±0.48	0.96±0.04*	30.94	≤ 20 mg/l
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/l)	1.36±0.11	0.63±4.47*	53.68	≤ 2 mg/l
น้ำมันและไขมัน (mg/l)	42.00±1.20	11.67±1.55	72.21	≤ 5 mg/l

หมายเหตุ: *คุณภาพน้ำผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2562)

ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียของถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสาน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ค่าบีโอดี เท่ากับ ร้อยละ 56.58 ของแข็งแขวนลอย เท่ากับ ร้อยละ 69.27 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 66.91 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 86.76 น้ำมันและไขมัน เท่ากับ ร้อยละ 84.14 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียของถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าบีโอดี เท่ากับ ร้อยละ 28.60 ของแข็งแขวนลอย เท่ากับ ร้อยละ 10.94 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 30.94 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 53.68 น้ำมันและไขมัน เท่ากับ ร้อยละ 72.21



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานกับถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียระหว่างถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานกับถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป ในระยะเวลา 7 วัน พบว่า ถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในสภาพเป็นกลางเร็วกว่าถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป เป็นผลมาจากเปลือกหอยนางรมเหลือใช้ที่ผ่านการทำความสะอาดและอบผ่านความร้อนมีความเป็นด่างสูงมีส่วนประกอบของหินปูน[7] ช่วยปลดปล่อยแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ออกมาสู่ระบบถังบำบัด[8] ทำให้ความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น[9] ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด น้ำมันและไขมัน เท่ากับ ร้อยละ 56.58, 69.27, 66.91, 86.76 และ 84.14 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาประสิทธิภาพวัสดุตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียระบบโปรยกรอง[10] ตัวกลางชนิดไบโอบอลมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี และไนโตรเจน ร้อยละ 23.8 และ 72.9 ตามลำดับ การศึกษาขนาดของเปลือกหอยที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งบ่อกุ้ง[11] พบว่า หลังการเผาทำให้เปลือกหอยมีขนาดเปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยแมลงภู่ คือ 1-2 , 0.4-0.8 และ 0.01 ไมโครเมตร ตามลำดับ ขนาดที่เหมาะสมคือ 30 เมช โดยใช้เวลา 60 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน ร้อยละ 59.79, 22.22 และ -12.43 ตามลำดับ และฟอสฟอรัส ร้อยละ 80.36, 78.57 และ 78.57 ตามลำดับ ซึ่งขนาดของรูพรุนและสัดส่วนของวัสดุตัวกลางที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อพื้นที่ผิวดูดซับมลสารมาก กระบวนการอิเล็กโตรลิซิสด้วยขั้วไฟฟ้าชนิดกราไฟต์ สามารถลดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไขมันและน้ำมันได้ดีกว่าถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป สอดคล้องการศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการอิเล็กโตรลิซิส[12] พบว่า กระบวนการอิเล็กโตรลิซิสในระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง สามารถบำบัดบีโอดี ร้อยละ 77.24 และบำบัดของแข็งแขวนลอย ร้อยละ 98.45 การบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลด้วยไฟฟ้าที่มีการเรียงขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์[13] พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในบำบัด คือ การใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม-กราไฟต์ ป้อนน้ำเสียด้วยอัตรา

การไหล 4 ลิตร/ชั่วโมง และกระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมัน ของแข็งแขวนลอย และซีโอดี เท่ากับ ร้อยละ 97.58, 81.74 และ 18.91 ตามลำดับ ผลการศึกษาที่สอดคล้องกันของกระบวนการอิเล็กโตรลิสามารถกำจัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไขมันและน้ำมันได้ อย่างไรก็ตามค่าไขมันและน้ำมันไม่ผ่านตามมาตรฐาน อาจเนื่องมาจากตัวอย่างน้ำเสียจากการประกอบอาหารของครัวเรือนไม่ได้ผ่านกระบวนการ บำบัดโดยวิธีการใดๆ ก่อนเข้าระบบจึงยังคงมีความเข้มข้นของไขมันและน้ำมันมาก ทำให้ประสิทธิภาพของคุณภาพน้ำเสียหลังบำบัดมีความเข้มข้นของไขมันและน้ำมันมากกว่ามาตรฐานเล็กน้อย แตกต่างจากการศึกษาของ Priya M., Jeyanthi J [14] พบว่า การใช้ขั้วไฟฟ้าทองแดง (แอโนด) และอะลูมิเนียม (แคโทด) สามารถบำบัดซีโอดี ไขมันและน้ำมัน และความขุ่น เท่ากับ ร้อยละ 95.1, 92.5 และ 99.0 ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากชนิดของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษามีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด นอกจากนี้จอกพืชน้ำยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไนโตรเจนได้ดีกว่าถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป สอดคล้องกับการศึกษาประสิทธิภาพของจอกสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและคุณค่าทางโภชนะเพื่อพัฒนาเป็นอาหารสัตว์[15] ที่ระดับความเจือจางความเข้มข้นของน้ำเสียที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ระยะเวลา 14 วัน พบว่า จอกมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดที่ระดับความเจือจางความเข้มข้นของน้ำเสียที่ ร้อยละ 5 โดยบำบัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอย ร้อยละ 88.9, 94.70 และ 85.64 ตามลำดับ และที่ระดับความเจือจางความเข้มข้นของน้ำเสียที่ ร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน ร้อยละ 77.70 ซึ่งในการศึกษานี้นำจอกมาช่วยบำบัดน้ำในขั้นตอนสุดท้ายของระบบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไนโตรเจน อาจเนื่องมาจากปริมาณจอกกระจายมากทำให้มีพื้นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ได้มาก เกิดการถ่ายเทออกซิเจนไปยังระบบรากได้ดีทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ดังนั้นผลจากการศึกษาในครั้งนี้ระบบบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานด้วยระบบดักไขมันอิเล็กโตรลิซิส ตัวกรองชีวภาพ และจอกพืชน้ำมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าการใช้ถังบำบัดไขมันสำเร็จรูปที่ใช้วิธีทางกายภาพเพียงอย่างเดียว ระยะเวลาในการบำบัด 7 วัน เช่นเดียวกับระยะเวลาในการตักไขมันและน้ำมันออกมากำจัดเพื่อไม่ให้ระบบอุดตัน นอกจากนี้ระบบบำบัดยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดีมาก ซึ่งน้ำทิ้งจากครัวเรือนส่วนใหญ่จะมีธาตุอาหารดังกล่าวเป็นปัญหาหลักของน้ำเสียในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ทำให้เกิดการบลูมของสาหร่าย (algae bloom) ได้ อย่างไรก็ตามข้อกำจัดในการศึกษาอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้หากมีการขยายขนาดการทดลองสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งต่อไป องค์ประกอบของระบบถังบำบัด และปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ระยะเวลา การปรับสภาพน้ำเสียในครัวเรือนก่อนเข้าระบบ คุณภาพของชนิดขั้วไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด คุณภาพและขนาดของตัวกรองชีวภาพที่ใช้ในการบำบัดร่วมกันได้อย่างเหมาะสม เป็นต้น

สรุป

จากผลการวิจัยคุณภาพน้ำหลังบำบัด พบว่า ถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสาน มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นค่าน้ำมันและไขมันยังเกินค่ามาตรฐานเล็กน้อย และถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าบีโอดี ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นค่าของแข็งแขวนลอยและน้ำมันและไขมัน ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ในระยะเวลา 7 วัน ของถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสาน

(บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และน้ำมันและไขมัน เท่ากับ ร้อยละ 56.58, 69.27, 66.91 86.76 84.14 ตามลำดับ) มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าถังบำบัดไขมันสำเร็จรูปทุกพารามิเตอร์ (บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และน้ำมันและไขมัน เท่ากับ ร้อยละ 28.60, 10.94, 30.94, 53.68 72.21 ตามลำดับ) เนื่องจากเปลือกหอยนางรมทำให้ความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อการบำบัดบีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้มาก จอกมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสามารถลดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไนโตรเจนได้ดีกว่าถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น กระบวนการอิเล็กโตรลิซิสด้วยขั้วไฟฟ้าชนิดกราไฟต์ สามารถลดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไขมันและน้ำมันได้ดีกว่าถังบำบัดไขมันสำเร็จรูป แต่ค่าไขมันและน้ำมันยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน อาจจะต้องเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าเป็นชนิดอื่นแทนเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากพบถังบำบัดน้ำเสียครัวเรือนรูปแบบผสมผสานมีค่าไขมันและน้ำมันยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ควรหาชนิดของขั้วไฟฟ้าในกระบวนการอิเล็กโตรลิซิส ปริมาณกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียครัวเรือน เพื่อให้สามารถลดค่าน้ำมันและไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. สามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียครัวเรือนด้วยเทคโนโลยีการบำบัดแบบผสมผสานที่เหมาะสม ไม่ยุ่งยากต่อการเดินระบบ ไม่ก่อให้เกิดแหล่งเพาะพันธุ์ยุง ต้นทุนการผลิตน้อย ประหยัดพลังงาน และใช้งานได้จริงใช้ในเชิงพาณิชย์

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์อนุศักดิ์ สุวรรณศักดิ์ ภาควิศวกรโยธา และอาจารย์มหิดล สุรียพรรณ ภาควิศวกรไฟฟ้า ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจทานเครื่องมือด้วยความตั้งใจสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณอาจารย์อำนวย สังข์ทอง ประธานชุมชนสี่แยกน้ำค้าง และกลุ่มอาสาสมัครชุมชนสี่แยกน้ำค้าง ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ได้ให้ความร่วมมือในการเข้าร่วมวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. คู่มือการจัดการน้ำเสียสำหรับบ้านเรือน [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 25 เมษายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://infofile.pcd.go.th/water/water_Manual_2555. pdf?CFID=21555452&CFTOKEN=56817448.

2. Krajangmek C, Nobnorb N, Hongkul R. A study on efficiency of conductive material for wastewater treatment from household by electrolysis process. In Dehasen University Bengkulu. Proceedings of 3rd International Conference on Health Science (ICH) 2018; 46–51.

3. รัตนาภรณ์ จันทค่อม, วรวัฒน์ น้อยหมื่นไวย และเพชร เพ็งชัย. ความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์โดยใช้ต้นกกราชินีเป็นพืชบำบัด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2559; ฉบับพิเศษ: 98-103.

4. กรมควบคุมมลพิษ. มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_water05.html#s3.

5. Olette R, Couderchet M, Biagianti S, and Eullaffroy P. Toxicity and removal of pesticides by selected aquatic plant. Chemosphere 2007; 70: 1414-1421.

6. กรมควบคุมมลพิษ. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 27 พฤศจิกายน 2562]. เข้าถึงได้จาก: http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER3/DRAWER056/GENERAL/DAT A0000/00000 973.PDF.

7. ศศิพันธุ์ ณ สงขลา และคณะ. การวิเคราะห์ธาตุในเปลือกหอยโดยวิธีนิวเคลียร์. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2541; 581-589.

8. Liu Y, Yang TO X, Yuan D.X, Wu X.Y. Study of municipal wastewater treatment with oyster shell as biological aerated filter medium. Desalination 2010; 254: 149-153.

9.เพ็ญศรี ศรีกิตติชัยกุล. ประสิทธิภาพของตัวกลางเปลือกหอยนางรมในการบำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดด้วยถังกรองไร้อากาศ. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

10. ปริญญา ไกรวุฒินันท์ และอัจฉรา โลราช. ประสิทธิภาพวัสดุตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียระบบโปรยกรอง. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 2558; 43 (2): 260-266.

11. วิภารัตน์ ชัยเพชร. ขนาดของเปลือกหอยที่เหมาะสมในประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งบ่อกุ้ง. การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชภัฏสุราษฎร์ธานีวิจัย ครั้งที่ 9 “การวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่นสู่ประชาคมอาเซียน” [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: https://sci.sru.ac.th/size-of-the-shells-optimal-in-efficiency-of-total-kjeldahl-nitrogen.

12. สนอง ทองปาน และชาติชาย ชาติตระกูล. การศึกษาประสิทธิภาพของถังบำบัดน้ำเสีย โดยกระบวนการอิเล็กโตรลิซิส. วารสารวิชาการศึกษาศาสตร์ 2550; 8 (1): 55-64.

13. ณัฐพล กสิวัฒน์. การบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีการเรียงขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม] กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

14. Priya M., Jeyanthi J. Removal of COD, oil and grease from automobile wash water effluent using electrocoagulation technique. Microchemical Journal 2019; 150: 104070.

ฐปน ชื่นบาล, วันทมาส จันทะสินธุ์ และศิราภรณ์ชื่นบาล. การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรและคุณค่าทางโภชนะของจอก (*Pistia stratiotes* L.). วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งรัตนโกสินทร์ 2021; 3(2): 19-27.

15. ฐปน ชื่นบาล, วันทมาส จันทะสินธุ์ และศิราภรณ์ชื่นบาล. การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรและคุณค่าทางโภชนะของจอก (*Pistia stratiotes* L.). วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งรัตนโกสินทร์ 2021; 3(2): 19-27.