

การตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง กรณีศึกษาขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี

Environmental quality monitoring in a project on refuse derived fuel (RDF): A case study of Kaeng Hang Maeo subdistrict administrative organization, Chanthaburi province

จักรพันธ์ โพธิพัฒน์^{1*}, ภัทร ศรีสรวล^{2,4}, สุทินันท์ โสทวีถิ^{3,4}
Jakkapan Potipat^{1*}, Pattara Srisrual^{2,4}, Suttinun Sotwitee^{3,4}

Received: 7 April 2021 ; Revised: 5 May 2021 ; Accepted: 27 May 2021

บทคัดย่อ

การตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงกำหนดขอบเขตการวิจัยออกเป็น 2 ประเด็น คือ การจัดการมูลฝอยและการบำบัดน้ำเสีย ดำเนินการเก็บข้อมูลการคัดแยกมูลฝอยจากชุมชนจำนวน 22 ชุมชน และทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วงในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝัง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 ถึง กันยายน 2563 วิเคราะห์ตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำทั้งหมด 7 ตัวชี้วัด ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลายน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ บีโอดีและซีโอดี ผลการศึกษาการคัดแยกองค์ประกอบของมูลฝอยพบขยะทั่วไปสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 61 รองลงมาคือ ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย เท่ากับร้อยละ 24, 14 และ 1 ตามลำดับ ผลการติดตามตรวจสอบการบำบัดน้ำเสียชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบบ่อฝังไม่สามารถลดความสกปรกจากสารอินทรีย์ได้ โดยพบค่าบีโอดีและซีโอดีสูงและมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

คำสำคัญ: การตรวจติดตาม คุณภาพสิ่งแวดล้อม การจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง แก่งหางแมว

Abstract

The environmental quality monitoring from the project concerning refuse derived fuel (RDF) was divided into two issues ; solid waste management and wastewater treatment. The data for solid waste separation were collected from 22 communities. All wastewater samples from an oxidation pond wastewater treatment system were collected by using grab water technique during January 2020-September 2020. Seven water quality indicators were analysed ; temperature, pH, conductivity, total dissolved solid (TDS), dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). The results revealed that the highest percent of general waste was 61%, while the percentages of organic waste, recycle waste and hazardous waste were 24%, 14% and 1% respectively. The result of wastewater treatment investigation indicated that the efficiency of the oxidation pond treatment system could not reduced organic substances as shown by both BOD and COD being higher than effluent standard within wet and dry seasons.

Keywords: Monitoring, Environmental quality, Refuse Derived Fuel (RDF), Kaeng Hang Maeo

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

² อาจารย์ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาการสื่อสารบูรณาการ คณะนิเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

⁴ สำนักบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

¹ Assist. Prof. Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

² Lecturer Department of Statistics, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

³ Assist. Prof. Integrated Communication Program, Faculty of Communication Arts, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

⁴ The Office of Academic Service, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

* Corresponding author; Assist. Prof. Dr.Jakkapan Potipat Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000 Email: bomb1112@yahoo.com

บทนำ

จากรายงานสถานการณ์การกำจัดมูลฝอยของประเทศไทย ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยมีสถานที่กำจัดมูลฝอย จำนวนทั้งสิ้น 2,490 แห่ง เป็นการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ อย่างถูกสุขาภิบาล (Sanitary landfill) และหลุมกองเทเปิด (Open dumping sites) จำนวน 2,419 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 97.1 ของสถานที่กำจัดขยะทั้งหมด (อรทัย เชื้อวงศ์, และคณะ, 2561) องค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมวดำเนินโครงการบริหารจัดการขยะเพื่อให้บริการแก่ภาคประชาชน ด้วยวิธีการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิง (Refuse Derived Fuel: RDF) และปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีทางเลือกเพื่อคัดแยกมูลฝอยที่มีพลังงานสูงมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง ขยะเชื้อเพลิง RDF เป็นขยะมูลฝอยที่มีกระบวนการและขั้นตอนที่เป็นระบบ เช่น การคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ได้ออกมา การฉีกหรือตัดขยะมูลฝอยออกเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อเป็นการปรับปรุงและแปลงสภาพขยะให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน (Heating value) ความชื้นขนาดและความหนาแน่นที่เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าหรือการผลิตพลังงานความร้อน (วสันต์ ปิเตนะ และดวงกมล ดั่งโพหนอง, 2559)

พื้นที่หรือสถานที่ที่ถูกนำมาใช้เพื่อพักขยะ คัดแยกขยะ ตลอดจนการบำบัดหรือกำจัดมูลฝอยมีความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะปัญหาน้ำชะขยะที่มีความสกปรกสูง สามารถแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำ พื้นดินและสามารถสะสมในระบบห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศได้ น้ำชะขยะนั้นเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และสารที่มีความเป็นพิษอยู่สูงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของมูลฝอยและระยะเวลาของการกำจัด ถึงแม้ว่าในการออกแบบระบบการกำจัดขยะจะมีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะและการป้องกันการรั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่การดำเนินงานในขั้นตอนอื่นได้แก่ การคัดแยก การขนส่ง และจุดพักขยะเพื่อรอการคัดแยกยังคงมีความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษชี้ให้เห็นว่าสถานที่กำจัดมูลฝอยและสถานียกถ่ายขยะของภาคีรัฐ จำนวน 371 แห่ง ถูกปิดการดำเนินงานเนื่องจากไม่สามารถจัดการมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องตามหลักวิชาการ ตลอดจนยังเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ชุมชนท้องถิ่นส่งผลกระทบต่อทั้งในระดับหมู่บ้านและครัวเรือน (กรมควบคุมมลพิษ, 2562)

เพื่อเป็นการเฝ้าระวังและวางแผนการจัดการมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะปัญหามลพิษทางน้ำจากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะ ดังนั้น คณะผู้วิจัยมุ่งติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและ

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ดำเนินการโดยองค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว ตำบลแก่งหางแมว อำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการบริหารจัดการและการกำจัดมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว
2. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำเสียและประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำชะขยะจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว

วิธีการดำเนินงานวิจัย

พื้นที่ดำเนินงานวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมดำเนินงานในเขตพื้นที่ขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว อำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี ซึ่งมีขอบเขตรับผิดชอบเก็บรวบรวมมูลฝอยให้กับประชาชนทั้งสิ้น 9,470 คน จำนวน 4,503 ครัวเรือน ครอบคลุมชุมชนทั้งหมด 22 หมู่บ้าน สำหรับการเก็บข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ด้านการจัดการมูลฝอยและคุณภาพของน้ำเสียการเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อมดำเนินงานภายในพื้นที่โครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ (Figure 1)

การเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

การสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยใช้วิธีการ สุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) เพื่อคัดเลือกถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร ที่ถูกใช้เป็นภาชนะเก็บรวบรวมมูลฝอยจำนวน 22 ชุมชนๆ ละ 2 ถึง ดำเนินการสำรวจทั้งหมด 2 รอบๆ ละ 3 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 ถึง มิถุนายน 2563 กำหนดเกณฑ์การคัดแยกองค์ประกอบมูลฝอยออกเป็น 4 กลุ่ม คือ ขยะทั่วไป ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย ตามหลักเกณฑ์การคัดแยกมูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียดำเนินการเก็บตัวอย่างแบบจ้วง (Grab sampling) จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งที่ถูกติดตั้งภายในโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้ขวดปากกว้างขนาด 250 มิลลิลิตรและขวดบีโอดี กำหนดสถานีเก็บตัวอย่างจำนวน 4 จุด ตามโครงสร้างของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่ง (Figure 2) ตัวอย่างน้ำเสียถูกเก็บทั้งหมด 2 ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งเป็นตัวแทนของฤดูแล้ง (Dry season) ระหว่างเดือนมกราคม 2563 ถึง เมษายน 2563 และฤดูฝน (Wet season) ระหว่างเดือนมิถุนายน 2563 ถึง กันยายน 2563 แต่แต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างน้ำกำหนดซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ข้อมูลการจัดการมูลฝอยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยการใช้คาร์บอนเพื่อแจกแจงองค์ประกอบของมูลฝอยและการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์สถานการณ์และระบบการจัดการมูลฝอยแบบอิงทฤษฎี (เอี่ยมพร หลินเจริญ, 2555)

นำตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำประกอบด้วย อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solid: TDS) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ บีโอดีและซีโอดี (Table 1)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง

ตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ 2 ตัวบ่งชี้คือ บีโอดีและ ซีโอดีใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอย โดยนำเข้าข้อมูลจากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจำนวน 2 ถูๆ ทั้งหมด 4 จุดในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝึ่งมากำหนดตัวแบบวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นในรูปของสมการดังนี้

$$Y = b_0 + b_1X$$

เมื่อ Y = ค่าบีโอดี (mg/L)

X = ค่าซีโอดี (mg/L)

b_0 และ b_1 เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

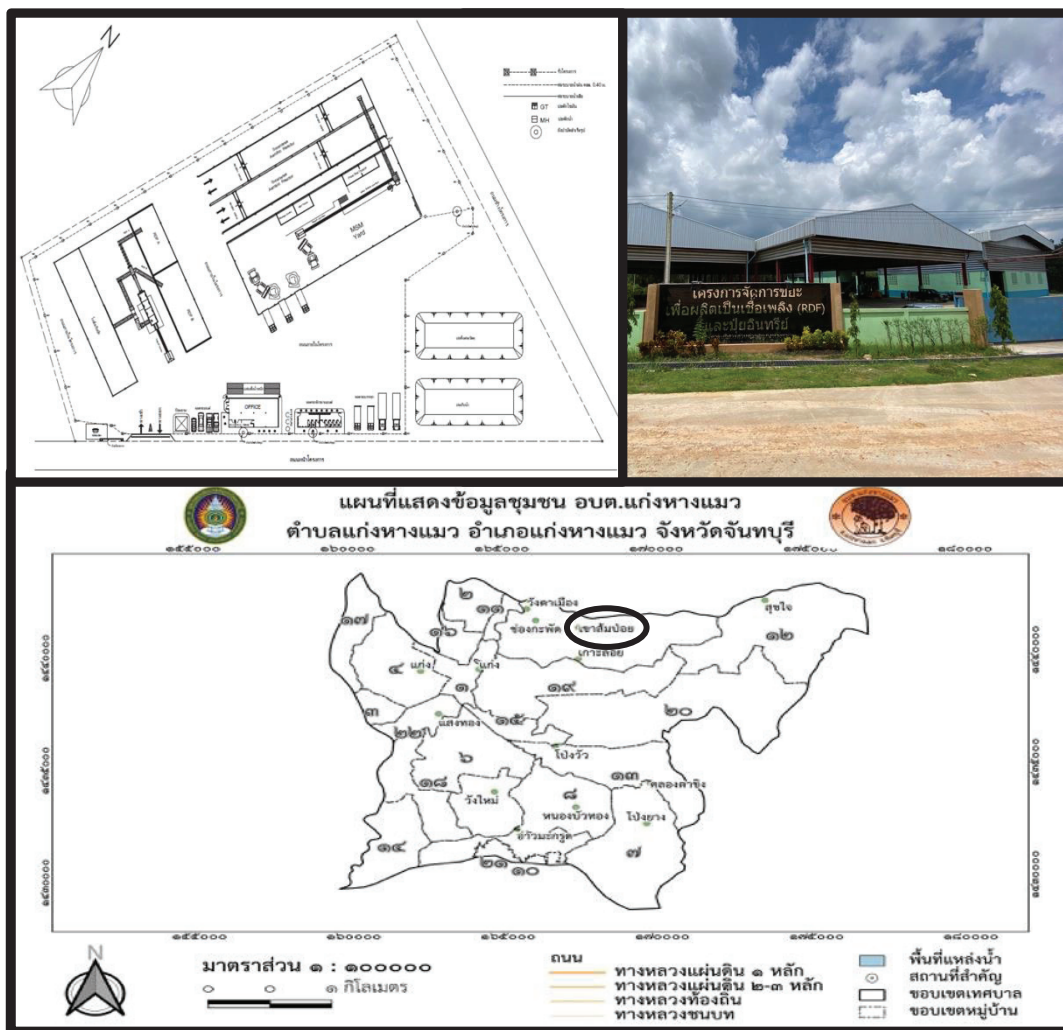


Figure 1 The map of study area at Kaeng Hang Maeo subdistrict administrative organization (22 communities) and the layout of RDF project

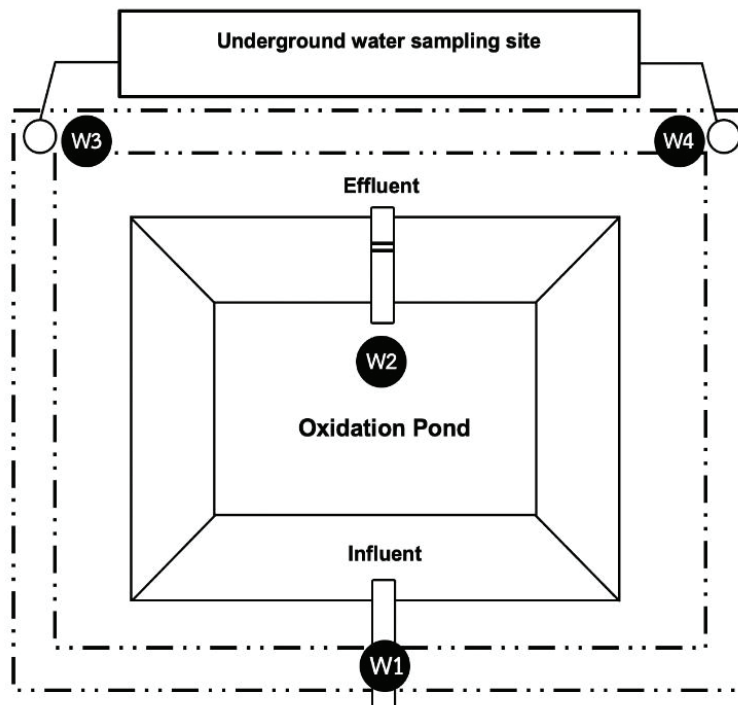


Figure 2 The sampling site of wastewater treatment system (W1: Influent, W2: Effluent, W3 and W4: Underground water sampling site)

Table 1 The methodology of water quality analysis

Parameter	Technique	References
Temperature	Digital thermometer	
pH	Waterproof Tester Model: 7200	
Conductivity and Total Dissolved Solid (TDS)	Multi-parameter Consort Model: C3030	
Dissolved oxygen	Azide modification of the winkler method	*
BOD	Incubation 5 day and azide modification of the winkler method	**
COD	Close reflux with titrimetrix	

Daungsavat and Somsiri (n.d.) ; **Tungkananuruk and Tungkananuruk (2007)

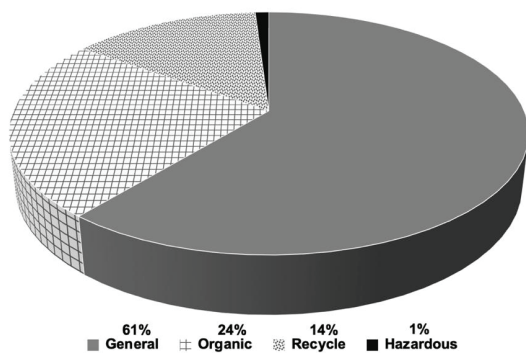


Figure 3 Percent of solid waste category at Kaeng Hang Maeo subdistrict administrative organization

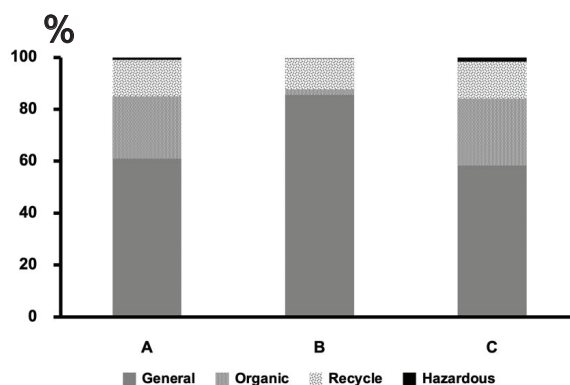


Figure 4 Percent of solid waste category at Kaeng Hang Maeo subdistrict (A), Kaeng Hang Maeo district (B) and Chanthaburi province (C)

ผลการวิจัย

การจัดการมูลฝอย

การสำรวจสถานการณ์ปริมาณมูลฝอยประจำปี พ.ศ. 2563 ในเขตพื้นที่ขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว ผลการศึกษาการคัดแยกองค์ประกอบของมูลฝอยพบว่า มูลฝอยส่วนใหญ่เป็นขยะทั่วไปร้อยละ 61 รองลงมาคือ ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย ร้อยละ 24, 14 และ 1 ตามลำดับ (Figure 3) ผลศึกษาองค์ประกอบมูลฝอยภายในอำเภอแก่งหางแมวพบว่า ขยะทั่วไปมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 85.8 รองลงมาคือ ขยะรีไซเคิล ขยะอินทรีย์ และขยะอันตราย ร้อยละ 11.9, 2.1 และ 0.2 ตามลำดับ ในขณะที่ผลการศึกษาของไฟโรจน์ไพบูลย์โรจน์รุ่ง (2560) พบว่าภาพรวมขององค์ประกอบมูลฝอยของทั้งจังหวัดจันทบุรีมีปริมาณขยะทั่วไปสูงสุดเท่ากับร้อยละ 58.3 รองลงมาคือ ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย ร้อยละ 25.8, 14.3 และ 1.5 ตามลำดับ (Figure 4)

การเก็บรวบรวมมูลฝอยในเขตรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมวดำเนินงานตั้งแต่แหล่งกำเนิดคือ ประชาชนในชุมชนดำเนินการเก็บรวบรวมมูลฝอยด้วยตนเองในแต่ละครัวเรือนโดยเฉพาะกระบวนการคัดแยกซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการมูลฝอยจากแหล่งกำเนิด นอกจากนี้ยังมีการส่งเสริมกิจกรรมเพื่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกภายในชุมชน เช่น การรณรงค์การลดมูลฝอย การอบรมการคัดแยกมูลฝอย เป็นต้น

การบริการเก็บขนมูลฝอย (Collection service) ขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว ถูกบริหารจัดการตามแนวทาง Alley service คือ การเก็บรวบรวมมูลฝอยจากภาชนะรองรับที่ตั้งไว้ในบริเวณชุมชนหรือจุดพักขยะที่กำหนดไว้ เช่น บริเวณตลาดสด ร้านค้า โรงเรียน สถานีอนามัย เป็นต้น เจ้าของบ้าน สมาชิกในครัวเรือน และประชาชนที่อาศัยในชุมชนต้องนำขยะมาทิ้งในภาชนะรองรับนี้ เพื่อรอการเก็บรวบรวมจากเจ้าหน้าที่โดยไม่มีการติดต่อกับสมาชิกในชุมชน ภาชนะที่รองรับมูลฝอยจากชุมชนมีลักษณะแบบถังคงที่ (Stationary Container System: SCS) ภาชนะรวบรวมเป็นถังพลาสติกชนิด PE ขนาด 200 ลิตรที่ถูกล้างไว้ตายตัว โดยใช้วิธีขนถ่ายมูลฝอยจากถังไปยังรถเก็บขนโดยการปฏิบัติงานของพนักงานขององค์การปกครองส่วนท้องถิ่นที่อยู่ประจำรถเก็บขนสำหรับรถเก็บขนเป็นรถยนต์บรรทุกขนาด 6 ล้อ ประเภทธรรมดาเปิดข้าง (Non-compaction side loading truck) มีตัวถังสำหรับบรรทุกขยะมูลฝอยโดยไม่มีเครื่องจักรกลใดๆ ช่วยอัดขยะมูลฝอยให้แน่น นอกจากนี้ ด้านข้างตัวถังมีช่องสำหรับเปิด-ปิดเมื่อต้องการนำขยะมูลฝอยมาเทลงในตัวถังรถหรือเมื่อถึงสถานที่กำจัดมูลฝอยก็สามารถเทจากด้านท้ายของ ตัวถังรถ โดยทั่วไปขนาดความจุของถัง

ที่นิยมใช้ในองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นมีปริมาตรอยู่ระหว่าง 7.5-12 ลูกบาศก์เมตร (ตาลีศา เนียมมณี, 2554)

การกำจัดมูลฝอย

ในอดีตที่ผ่านมาก่อนปี พ.ศ. 2556 องค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมวใช้วิธีการกำจัดขยะแบบเทกอง (Open dumping) ในบริเวณชุมชนบ้านเขาส้มป่อย ซึ่งเป็นแนวทางการกำจัดขยะที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงโดยเฉพาะปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนและน้ำชะขยะที่ปนเปื้อนไปสู่พื้นที่ทางการเกษตร กับทั้งมีต้นทุนการดำเนินงานค่อนข้างสูงประมาณ 50,000 ต่อเดือน ดังนั้น เพื่อเป็นการป้องกันและแก้ไขปัญหาการกำจัดมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมวในระยะยาวจึงมีการดำเนินโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งจำแนกกระบวนการกำจัดมูลฝอยเป็น 2 ส่วน คือ การผลิตขยะเป็นเชื้อเพลิงและการนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่

กระบวนการผลิตขยะเป็นเชื้อเพลิงมีลักษณะแบบ RDF 5 (Densified RDF) คือ การนำมูลฝอยที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่งให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีขั้นตอนที่สำคัญคือ การลำเลียง การคัดแยก การลดปริมาตรและการอัดแท่ง ในขณะที่กระบวนการนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่จะนำขยะอินทรีย์ที่ผ่านการคัดแยกแล้วมาสับเพื่อลดปริมาตรและบำบัดด้วยระบบ Mechanical and Biological Treatment (MBT) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายจนกระทั่งขยะมีเสถียรภาพและปราศจากกลิ่น ผลลัพธ์ของการกำจัดขยะขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมวถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นขยะพลาสติกหรือขยะเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในภาคอุตสาหกรรมได้ และมูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ที่ในลักษณะผงละเอียดสามารถนำมาปรับสภาพเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินได้ (วสันต์ ปีเตนะ และดวงกมล ตั้งโพนทอง, 2559)

การบำบัดคุณภาพน้ำชะขยะจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์

การบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะภายในโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ดำเนินงานบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่ง (Oxidation pond) ที่มีโครงสร้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 25 เมตร ยาว 30 เมตร ความสามารถในการรองรับน้ำเสียได้ประมาณ 800 ลูกบาศก์เมตรต่อวันแหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว คือ ร่องน้ำตามธรรมชาติซึ่งล้อมรอบไปด้วยพื้นที่ทางการเกษตร ระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อฝิ่งถูกออกแบบให้ใช้บ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative pond) และบ่อบ่ม (Maturation pond) ภายในบ่อเดียวกันเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ของโครงการ

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบ่อฝิ่งเป็นระบบการบำบัดที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมปัญหาการปนเปื้อนในชุมชนท้องถิ่น เนื่องจากช่วยลดต้นทุนค่าบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรตั้ง (Table 3) นอกจากนี้ การบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งจะช่วยลดงบประมาณ การออกแบบระบบ ค่าจ้างแรงงานกับทั้งเป็นระบบที่ช่วยประหยัดพลังงาน เป็นรูปแบบการบริหารจัดการน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมน้ำเสียภายในชุมชนรวมไปโดยเฉพาะกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาที่ขาดแคลนงบประมาณเพื่อดำเนินโครงการบำบัดน้ำเสีย สำหรับข้อจำกัดของการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งเป็นระบบที่ต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างจำนวนมากและสำหรับที่อยู่ในระบบอาจจะเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ให้กับน้ำได้ (Butler et al., 2017) ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดความสกปรกจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปแบบของบีโอดีและซีโอดีของระบบบ่อฝิ่งและระบบบำบัดน้ำเสียชนิดอื่นแสดงผลการเปรียบเทียบดัง Table 4

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำชะขยะจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่งเสียในโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมด 4 จุด คือ น้ำเข้า (W1) น้ำออก (W2) และจุดเก็บน้ำใต้ดิน (W3 และ W4) ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งพบว่าตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำในช่วงฤดูฝนพบว่าจุดน้ำเข้า (W1) มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของน้ำ, พีเอช, ค่าการนำไฟฟ้า, ของแข็งละลายน้ำ, ออกซิเจนละลายน้ำ, บีโอดีและซีโอดี เท่ากับ 31°C, 6.2, 25.7 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 85.5 mg/L, 4.5 mg/L, 144.7 mg/L และ 501.3 mg/L ตามลำดับ จุดน้ำออก (W2) เท่ากับ 33°C, 6.9, 35.6 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 77.5 mg/L, 1.5 mg/L, 267.2 mg/L

และ 938.7 mg/L ตามลำดับ จุดเก็บน้ำใต้ดิน (W3) เท่ากับ 28°C, 6.1, 20.8 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 65.4 mg/L, 7.8 mg/L, 85.3 mg/L และ 288.0 mg/L ตามลำดับ และ จุดเก็บน้ำใต้ดิน (W4) เท่ากับ 28°C, 5.9, 29.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 49.2 mg/L, 4.2 mg/L, 112.3 mg/L และ 215.3 mg/L ตามลำดับ (Table 5)

สำหรับผลการศึกษาดัชนีชี้คุณภาพน้ำในช่วงฤดูแล้งพบว่าจุดน้ำเข้า (W1) มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของน้ำ, พีเอช, ค่าการนำไฟฟ้า, ของแข็งละลายน้ำ, ออกซิเจนละลายน้ำ, บีโอดีและซีโอดี เท่ากับ 28°C, 6.7, 370.1 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 206.0 mg/L, 1.4 mg/L, 205.9 mg/L และ 720.4 mg/L ตามลำดับ จุดน้ำออก (W2) เท่ากับ 27°C, 6.4, 797.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 446.5 mg/L, 0.9 mg/L, 224.5 mg/L และ 857.1 mg/L ตามลำดับ จุดเก็บน้ำใต้ดิน (W3) เท่ากับ 25°C, 5.5, 369.8 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 277.2 mg/L, 2.0 mg/L, 49.8 mg/L และ 160.1 mg/L ตามลำดับ และ จุดเก็บน้ำใต้ดิน (W4) เท่ากับ 25°C, 6.0, 233.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 139.7 mg/L, 1.8 mg/L, 62.3 mg/L และ 98.4 mg/L ตามลำดับ (Table 6)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อฝิ่ง พบว่าค่าความสกปรกที่อยู่ในรูปของบีโอดีและซีโอดีมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน และมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม นอกจากนี้ ความสกปรกที่ตรวจพบมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของต่างประเทศ (Table 7) ในขณะที่ผลการศึกษาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง บีโอดีและซีโอดีจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด 4 จุดด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยชี้ให้เห็นว่า ฤดูฝนมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าฤดูแล้ง เท่ากับ 0.978 และ 0.912 ตามลำดับ (Table 8)

Table 3 The cost comparison between various wastewater treatment system

Wastewater treatment system	Cost					
	Construction	Land	Operation	Maintenance	Electricity	Sludge disposal
Activated sludge	High	Low	High	High	High	Middle
Oxidation ditch	High	Low	High	High	High	Middle
Trickling filter	High	Low	Middle	Middle	Middle	Middle
Rotating Biological Contactor	Middle	Low	Middle	High	High	High
Aerated lagoon	Middle	High	High	High	High	Middle
Oxidation pond	Low	High	Low	Low	Low	Low

Table 4 The comparison of efficiency of wastewater treatment system for reduce organic substances in domestic wastewater

Wastewater treatment system	Percent of efficiency treatment		References
	BOD	COD	
Sequential Batch Reactor (SBR)	95.27-97.12	93.52-96.41	1
Compact extended aeration	39.6-70.4	59.6-77.3	
Conventional activated sludge	80.3-87.8	84.9-92.0	2
Biodisc	84.3	83.5	
Wetland	60.0-86.2	60.4-84.9	3
Oxidation pond	69	50	4

¹(Wakode & Sayyad, 2014), ²(Colmenarejo *et al.*, 2006), ³(Sudarsan *et al.*, 2015), ⁴(Sukumaran *et al.*, 2015)

Table 5 The result of water quality analysis in the wastewater treatment system (wet season)

Parameters	Station			
	W1	W2	W3	W4
Temperature (°C)	31	33	28	28
pH	6.2	6.9	6.1	5.9
Conductivity (µs/cm)	25.7	35.6	20.8	29.9
Total Dissolved Solid: TDS (mg/L)	85.5	77.5	65.4	49.2
Dissolved oxygen (mg/L)	4.5	1.5	7.8	4.2
BOD (mg/L)	144.7	267.2	85.3	112.3
COD (mg/L)	501.3	938.7	288.0	215.3

Table 6 The result of water quality analysis in the wastewater treatment system (dry season)

Parameters	Station			
	W1	W2	W3	W4
Temperature (°C)	28	27	25	25
pH	6.7	6.4	5.5	6.0
Conductivity (µs/cm)	370.1	797.9	369.8	233.4
Total Dissolved Solid: TDS (mg/L)	206.0	446.5	277.2	139.7
Dissolved oxygen (mg/L)	1.4	0.9	2.0	1.8
BOD (mg/L)	205.9	224.5	49.8	62.3
COD (mg/L)	720.4	857.1	160.1	98.4

Table 7 The efficiency of the wastewater treatment system

	BOD (mg/L)		COD (mg/L)	
	Wet	Dry	Wet	Dry
Influent	144.7	205.9	501.3	720.4
Effluent	267.2	224.5	938.7	857.1
Efficiency (%)	-	-	-	-
The standard of effluent control from municipal wastewater treatment system	< 20			
The effluent standard from industry and industrial estate			< 120	
The permission of secondary treatment plant in the urban wastewater treatment (U.S. EPA)	25		125	
Effluent standards from Environmental Quality Act 1974 (Malaysia Environmental Quality Regulations)	50		100	

The announcement of the National Environment Board B.E. 2553

Table 8 The result of regression analysis between BOD and COD from wastewater treatment system

Season	Equation of regression	R	p-value
Wet	$Y_{BOD} = 59.292 - 0.186X_{COD}$	0.978	0.000
Dry	$Y_{BOD} = 29.155 - 0.246X_{COD}$	0.912	0.000
All (Wet + Dry)	$Y_{BOD} = 41.317 - 0.222X_{COD}$	0.950	0.000

อภิปรายผลการวิจัย

การจัดการมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว

การกำจัดมูลฝอยด้วยการก่อสร้างโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง และการนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ภายในชุมชนนั้น เป็นการจัดการมูลฝอยที่ปลายทาง ดังนั้น องค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว ควรกำหนดมาตรการกำจัดมูลฝอยที่แหล่งกำเนิดควบคู่กับการจัดการที่ปลายทาง โดยเฉพาะการสร้างวินัยและปลูกจิตสำนึกของภาคประชาสังคมด้วยการขับเคลื่อนมาตรการ 3Rs คือ Reduce Reuse และ Recycle ซึ่งเป็นแนวคิดเพื่อควบคุมปริมาณมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดที่มีประสิทธิภาพและสามารถปรับให้เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้บริโภคในทุกพื้นที่ (สันชัย พรหมสิทธิ์, 2562) นอกจากนี้ กระบวนการมีส่วนร่วมจากทุกภาคส่วนโดยเฉพาะความร่วมมือจากภาคประชาชนมีส่วนสำคัญสูงสุดต่อการลดปริมาณขยะจากแหล่งกำเนิดต้องถูกขับเคลื่อนด้วยกลไกจากภาครัฐและการสร้างกิจกรรมหรือโครงการจัดการขยะจากแหล่งกำเนิดร่วมกับชุมชนท้องถิ่น

ผลการสำรวจองค์ประกอบของมูลฝอยพบว่ามูลฝอยส่วนใหญ่เป็นขยะทั่วไปร้อยละ 61 รองลงมาคือ ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย ร้อยละ 24, 14 และ 1 ตาม

ลำดับ ในขณะที่การดำเนินโครงการธนาคารขยะรีไซเคิล ผลการสำรวจองค์ประกอบของมูลฝอยจากครัวเรือนที่เป็นสมาชิกพบขยะรีไซเคิลสูงที่สุดเท่ากับ 43.7 รองลงมาคือ ขยะอินทรีย์ ขยะทั่วไป และขยะอันตราย ร้อยละ 28.2, 27.9 และ 0.2 ตามลำดับ (ปิยะรักษ์ ประดับเพชรรัตน์และคณะ, 2553) แนวคิดจากโครงการธนาคารขยะรีไซเคิลถือเป็นการส่งเสริมให้มีการคัดแยกขยะรีไซเคิลออกจากขยะประเภทอื่นอย่างเป็นระบบ เป็นการจัดการมูลฝอยที่แหล่งกำเนิด (Source reduction)

คุณภาพน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะขยะจากโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์

การบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะต้องถูกดำเนินการด้วยระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากน้ำเสียส่วนใหญ่มีค่าความสกปรกสูง เช่น น้ำชะขยะจากเทศบาลนครภูเก็ต มีค่าบีโอดีและซีโอดีอยู่ในช่วงระหว่าง 150-200 และ 1,250-1,320 mg/L ตามลำดับ (นฤมล ประดิษฐ์เสรี, 2556) โดยเฉพาะการศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากหลุมฝังกลบขยะอันตรายจากเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดพบค่าบีโอดีและซีโอดีสูงมากอยู่ในช่วงระหว่าง 18,000-18,720 และ 54,000-56,160 mg/L ตามลำดับ (ปวาท สีชมภู, 2554) สอดคล้องกับผลการศึกษาค้างนี้ที่พบค่าบีโอดีและซีโอดีเกินเกณฑ์มาตรฐานของ

ประเทศไทยและมาตรฐานของต่างประเทศ การบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะมีความยุ่งยาก เนื่องจากอิทธิพลของความสกปรกที่อยู่ในน้ำชะขยะโดยเฉพาะปริมาณสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงและที่สำคัญคือโครงสร้างของสารอินทรีย์เหล่านี้มีความซับซ้อนและย่อยสลายยากโดยเฉพาะกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดฮิวมิค และกรดฟุลวิก นอกจากนี้ คุณภาพของน้ำเสียที่มีค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่อยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝั่ม ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจึงลดต่ำลง (อรทัย เชื้ออวษ และคณะ, 2561) แนวทางการลดผลกระทบจากสิ่งสกปรกในน้ำเสียที่รบกวนกลไกการย่อยสลายของจุลินทรีย์โดยเฉพาะกระบวนการวิเคราะห์บีโอดีที่ต้องอาศัยการทำงานของ Aerobic bacteria เป็นหลักและสารอินทรีย์หลายชนิดไม่สามารถย่อยสลายได้ ดังนั้น การประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ค่าบีโอดีเพื่อช่วยลดระยะเวลาการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและสามารถดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่องทุกวัน (จักรพันธ์ โพธิ์พัฒนา, 2560)

สรุปผลการวิจัย

องค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว อำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี มีระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมด้วยการดำเนินโครงการจัดขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและปุ๋ยอินทรีย์ ถือเป็นแนวทางการจัดการมูลฝอยตั้งแต่แหล่งกำเนิดจนถึงแหล่งกำจัดเป็นการให้บริการด้านการจัดการมูลฝอยแบบเบ็ดเสร็จภายในท้องถิ่น (One local stop service) สามารถลดปัญหาและข้อขัดแย้งที่ต้องนำมูลฝอยไปกำจัดภายนอกพื้นที่ ในขณะที่การบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในโครงการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงและการนำขยะอินทรีย์ถูกดำเนินการด้วยระบบบ่อฝั่มซึ่งเป็นระบบที่มีต้นทุนการดำเนินงานต่ำ แต่มีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพของการเงินระบบเนื่องจากความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสียประเภทอื่นโดยเฉพาะผลการศึกษาค้นคว้าพบค่าบีโอดีและซีโอดีเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการวางแผนบริหารจัดการมูลฝอยเพื่อปรับเปลี่ยนพฤติกรรมคัดแยกขยะจากชุมชน เช่น การจัดโครงการธนาคารขยะ การจัดตั้งศูนย์รวบรวมขยะอันตรายและซากอิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี เป็นต้น
2. ควรขับเคลื่อนกิจกรรมที่ส่งเสริมกระบวนการมีส่วนร่วมเพื่อการจัดขยะที่ต้นทาง เช่น การใช้แนวคิด “บวร” หมายถึง บ้านหรือชุมชน ว หมายถึง วัดหรือความเชื่อ และ ร หมายถึง ส่วนราชการ เพื่อสร้างความร่วมมือผ่านกิจกรรม

การลดปริมาณขยะ ตัวอย่างของกิจกรรม เช่น กองทุนขยะ เพื่อเปลี่ยนขยะเป็นทุนและนำทุนไปบริหารจัดการให้เกิดผลประโยชน์กับชุมชน เป็นต้น

3. การบำบัดน้ำชะขยะด้วยระบบบำบัด น้ำเสียแบบบ่อฝั่มเป็นวิธีการที่มีต้นทุนการดำเนินงานต่ำแต่ควรกำหนดโครงสร้างของบ่อให้มีความสอดคล้องกับความสกปรกของน้ำเสีย ตลอดจนการกำหนดมาตรการควบคุมและเฝ้าระวังเรื่องกลิ่นรบกวนต่อชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ตลอดจนการได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและสารเคมีเพื่อวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณองค์การบริหารส่วนตำบลแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในช่วงเวลาของการลงพื้นที่เก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2557). *หลักเกณฑ์และเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการมูลฝอยและของเสียอันตราย*. สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2562). *สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2561*. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ส.มงคลการพิมพ์.
- จักรพันธ์ โพธิ์พัฒนา. (2560). *เคมีสิ่งแวดล้อม*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- ตาลีศา เนียมมณี. (2554). *กระบวนการมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาขยะโดยการผลิตอินทรีย์สารเพื่อการเกษตรของชุมชนบางนางลี่ จังหวัดสมุทรสงคราม*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- นฤมล ประดิษฐ์เสรี. (2556). *การบำบัดน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบด้วยวิธีเฟนตัน* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ปาวพ สิชมภู. (2554). *การกำจัดซีโอดีและสีของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบกากของเสียอันตรายโดยวิธีการทางเคมีและกายภาพ* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะรักษ์ ประดับเพชรรัตน์, สุชาติ นววงษ์, สยาม อรุณศรี มรกต และไกรชาติ ตันตระการอาภา. *ศักยภาพในการลดปริมาณขยะชุมชนจากโครงการขยะรีไซเคิล*. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม*, 6(2), 54-66.

- ไพโรจน์ไพบุลย์โรจน์รุ่ง. (2560). การจัดทำแผนบริหารจัดการขยะมูลฝอยของจังหวัดจันทบุรี (ระยะ 5 ปี พ.ศ. 2558-2562). สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดจันทบุรี.
- วสันต์ ปิเตนะ และดวงกมล ตั้งโพนทอง. (2559). การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. *วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 9(1), 72-86.
- สันชัย พรหมสิทธิ์. (2562). การจัดการขยะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ขนาดใหญ่ กลาง เล็ก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*, 9(1), 67-81.
- อรทัย เชื้อวงษ์, ไพบุลย์ ประพตติธรรม และอรอนงค์ ผิวนิล. (2561). บทบาทของอนุภาคดินเหนียวที่มีผลต่อการย่อยสลายและการกักเก็บสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำชะขยะในระบบดินประยุกต์บำบัดน้ำเสีย. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 36(1), 50-59.
- เอี่ยมพร หลินเจริญ. (2555). เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ. *วารสารวัดผลการศึกษามหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 17(1), 17-29.
- Butler, E., Hung, Y.T., Al Ahmad, S., Yeh, R.Y.L., Liu, R.L.H., & Fu, Y.P. (2017). Oxidation pond for municipal wastewater treatment. *Applied Water Science*, 7(1), 31-51.
- Colmenarejo, M.F., Rubio, A., Sánchez, E., Vicente, J., García, M.G., & Borja, R. (2006). Evaluation of municipal wastewater treatment plants with different technologies at Las Rozas, Madrid (Spain). *Journal of Environmental Management*, 81, 399-404.
- Daungsavat, M., & Somsiri, J. (n.d.). *Water properties and analysis for fisheries research*. Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- Sudarsan, J.S., Roy, R.L., Baskar, G., Deeptha, V.T., & Sithiyantham, S. (2015). Domestic wastewater treatment performance using constructed wetland. *Sustainable Water Resources Management*, 1(2), 89-96.
- Sukumaran, D., Saha, R., & Saxena, R.C. (2015). Performance evaluation of prevailing biological wastewater treatment systems in West Bengal, India. *Applied Ecology and Environmental Science*, 3(1), 1-4.
- Tungkananuruk, N., & Tungkananuruk, K. (2007). *Principle of chemical water quality analysis*. Publisher of Kasetsart University.
- Wakode, P.N., & Sayyad, S.U. (2014). Performance evaluation of 25MLD sewage treatment plant (STP) at Kalyan. *American Journal of Engineering Research*, 3(3), 310-316.