

การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลโดยใช้ถังหมักไร้อากาศ แบบตรึงฟิล์มร่วมกับถังหมักกรดแบบกวนผสมแบบต่อเนื่อง

Wastewater Treatment for Washing Processes of Biodiesel Production by Anaerobic Fixed Film Reactors with a CSTR-acidification Tank

อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล^{1*} และ ขนิษฐา ปานชา²

Anurak Petiraksakul^{1*} and Kanittha Pancha²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลด้วยถังหมักกรดและตามด้วยถังหมักไร้อากาศแบบตรึงฟิล์ม ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการล้างไบโอดีเซลเป็นน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันสูง จึงจำเป็นต้องกำจัดน้ำมันและไขมันในเบื้องต้นด้วยกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ วิธีการใช้สารรวมตะกอนเป็นวิธีการที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ โดยปริมาณสารรวมตะกอนและพีเอชที่เหมาะสมได้ทำการศึกษาด้วยเครื่องจาร์เทส ตะกอนที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียและสารละลายสารส้ม (Aluminium Sulphate, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) เป็นตะกอนเบาและจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของถังแยกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 hr ผลการทดลองในเครื่องจาร์เทสที่พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมัน ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 90.2%, 94.2% และ 45.3% ตามลำดับ การศึกษานี้ได้นำสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากผลการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสไปปรับใช้ในระบบบำบัดที่จัดสร้างขึ้นซึ่งประกอบด้วยถังรวมตะกอนขนาด 50 L ความเข้มข้นสารละลายสารส้ม 3.0 g/L พบว่าน้ำที่ผ่านการ

แยกตะกอนออกมีลักษณะใส แล้วจึงป้อนน้ำที่ผ่านระบบบำบัดขั้นต้นนี้ที่อัตราการไหล 10 L/day เข้าสู่อการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบ 2 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนที่ 1 ประกอบด้วยถังหมักกรดแบบกวนผสมสมบูรณ์ที่มีถังตกตะกอนจุลินทรีย์ 1 ใบ รับอัตราภาระสารอินทรีย์ 1.0 และ 2.0 kgCOD/m³-day และขั้นตอนที่ 2 ประกอบด้วยถังหมักไร้อากาศแบบตรึงฟิล์ม 2 ใบ รับอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.67 และ 1.33 kgCOD/m³-day ผลการทดลองพบว่าระบบนี้สามารถลดซีโอดีได้มากกว่า 95%

คำสำคัญ: น้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซล การรวมตะกอน ถังหมักไร้อากาศ ถังหมักกรด

Abstract

This research aims to discuss the treatment of wastewater drained from biodiesel washing processes by using a continuous stirred tank reactor (CSTR) as an acid tank and anaerobic fixed film reactors. Since biodiesel wastewater contains oily constituents, thus the pre-treatment with chemicals

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* Corresponding Author, Tel.0-2913-2500 Ext.8231, E-mail: arp@kmutnb.ac.th

and physical treatment is required. The appropriate pre-treatment conditions i.e. a chemical dosage and the pH range were determined using a Jar test apparatus. Emulsified wastewater was coagulated via aluminium sulphate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) solution to form greasy flocs floating to the top of the separating tank after standing for 1 hr. The optimum results from the Jar test showed the percentage of removal of oil and grease to be 90.2%, turbidity at 94.2% and chemical oxygen demand (COD) at 45.3%. This optimum condition was also used in a 50 L pilot scale coagulation tank. After the wastewater was treated with the aluminium sulphate solution of 3.0 g/L, the treated water was clear. Two stages of anaerobic digestion were used, which were operated at wastewater flowrate of 10 L/day. The first stage is an acid tank followed by a sedimentation tank with an organic loading rate (OLR) of 1.0 and 2.0 kg-COD/m³-day. The second stage was comprised of an anaerobic fixed film system containing two upflow fixed-film reactors in series with an OLR of 0.67 and 1.33 kg-COD/m³-day, respectively. Typical COD removal in this research was up to 95%.

Keyword: Biodiesel Wastewater, Coagulation, Anaerobic Fixed Film Reactor and Acid Tank

1. บทนำ

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์-เอสเตอร์ฟิเคชัน (Transesterification) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืช/น้ำมันสัตว์หรือไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล (Methanol) โดยมีสารเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ [1] ในประเทศไทยมีการส่งเสริมให้ชุมชนทำการผลิตไบโอดีเซลชุมชน เพื่อ

ลดรายจ่ายในครัวเรือน สร้างสุขภาพที่ดีในการลดการใช้น้ำมันทอดซ้ำ และยังเป็น การช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมจากการทิ้งน้ำมันได้อีกทางหนึ่ง ทำให้มีโครงการส่งเสริมไบโอดีเซลชุมชนเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก กระจายตัวอยู่ทุกภาคส่วนของประเทศ [2]

ในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลหลังจากปฏิกิริยาเสร็จสิ้นและตั้งทิ้งไว้ สารผสมจะแยกออกเป็นสองชั้น ชั้นล่างมีสีน้ำตาลเข้มเป็นชั้นกลีเซอรินและชั้นบนมีสีเหลืองอ่อนเป็นชั้นไบโอดีเซล เมื่อแยกกลีเซอรินออกแล้วจะล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำสะอาด พบว่าน้ำล้างไบโอดีเซลมีลักษณะขาวขุ่นอยู่ในรูปอิมัลชัน

จากงานวิจัยของอรรถพล และนาวัน [3] พบว่าน้ำล้างไบโอดีเซลมีความผันแปรเนื่องจากคุณภาพของน้ำมันใช้แล้วที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลและปริมาณสารเร่งปฏิกิริยารวมทั้งปริมาณน้ำล้างไบโอดีเซลในแต่ละรอบ อย่างไรก็ตามเมื่อนำน้ำล้างครั้งแรกมาวิเคราะห์พบว่ามีน้ำมันที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 15.1 g/L ใกล้เคียงกับรายงานของ Chavalparit และ Ongwandee [4] มีค่าไขมันและไขมัน 6.02 g/L ฟีเอช 8.9 ซีไอดี 30,980 mg/L ของแข็งแขวนลอย 340 mg/L และเมทานอล 10.67 g/L จากสมบัติของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลหากไม่ได้รับการบำบัดจะส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมอย่างมาก โดยไขมันจะเป็นสาเหตุของการอุดตันในระบบระบายน้ำ และน้ำมันจะเป็นตัวปลดการทำงานของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายในกระบวนการบำบัดน้ำเสียตามธรรมชาติ

แนวคิดในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการล้างไบโอดีเซล เริ่มจากการลดอัตราการของสารอินทรีย์และไขมันในน้ำล้างไบโอดีเซลเบื้องต้น ซึ่งเป็นการบำบัดทางกายภาพด้วยวิธีการเติมสารเคมีและแยกไขมันและน้ำมันออกจากน้ำเสีย [5] วิธีนี้จะทำให้เกิดตะกอนลอยสู่ผิวน้ำแล้วทำการกวาดกักจัดทิ้งก่อนที่จะส่งผ่านน้ำเสียเข้าระบบบำบัดทางชีวภาพต่อไป

ขนิษฐา [6] รายงานว่าประสิทธิภาพในการบำบัดขั้นต้นด้วยสารส้มให้ร้อยละกำจัดซีไอดีระหว่าง 40-60% ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Chavalparit และ Ongwandee [4] ซึ่งใช้เทคนิค Electrocoagulation ที่มี

อลูมิเนียมเป็นขั้วแอโนดให้คาร์บอนกำจัดซีโอดีที่ดีที่สุดที่ 55% พีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดประมาณ 4 และรายงานของอนุรักษและคณะ [7] พบว่าน้ำล้างที่ผ่านการบำบัดยังให้ค่าซีโอดีค่อนข้างสูงมีค่าในช่วง 15,000-60,000 mg/l ดังนั้นในขั้นตอนของการบำบัดทางชีวภาพจึงเลือกกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากเป็นระบบที่เหมาะสมกับน้ำเสียความเข้มข้นสูง ซึ่งช่วยประหยัดพลังงานจากการเติมอากาศ ตลอดจนได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดน้ำล้างไบโอดีเซลจากการผลิตไบโอดีเซลขนาดเล็ก โดยใช้ระบบบำบัดขั้นต้นด้วยการเติมสารรวมตะกอนและแยกตะกอนลอยออกก่อน ตามด้วยการบำบัดแบบแอนาโรบิก (Anaerobic Treatment) 2 ขั้นตอน

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 สารเคมี

การทดลองนี้ได้รับความอนุเคราะห์น้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซล ณ ชุมชนป้อมเพชร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา กระบวนการผลิตไบโอดีเซลของชุมชนแห่งนี้เป็นระบบกะ (Batch) ขนาด 100 L/batch ใช้ น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่ 1% ทำปฏิกิริยา 1-2 hr ทั้งให้แยกชั้น 1-2 hr และล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำสะอาด 4 ครั้ง แต่ละครั้งใช้น้ำประมาณ 25 L น้ำล้างทั้งหมดจะผสมเข้าด้วยกันและนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

จุลินทรีย์ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ปทุมบริวเวอรี่ จำกัด มีของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS) เหลือ 5,520 mg/L

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ และสารรวมตะกอนที่ใช้กับจาร์เจสท์ (สารส้ม และเฟอร์ริกคลอไรด์) เป็นสารเคมีเกรดวิเคราะห์ (Analytical Grade) ส่วนสารเคมีที่ใช้ปรับพีเอช และสารส้มที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นเกรดการค้า (Commercial Grade)

2.2 การวิเคราะห์

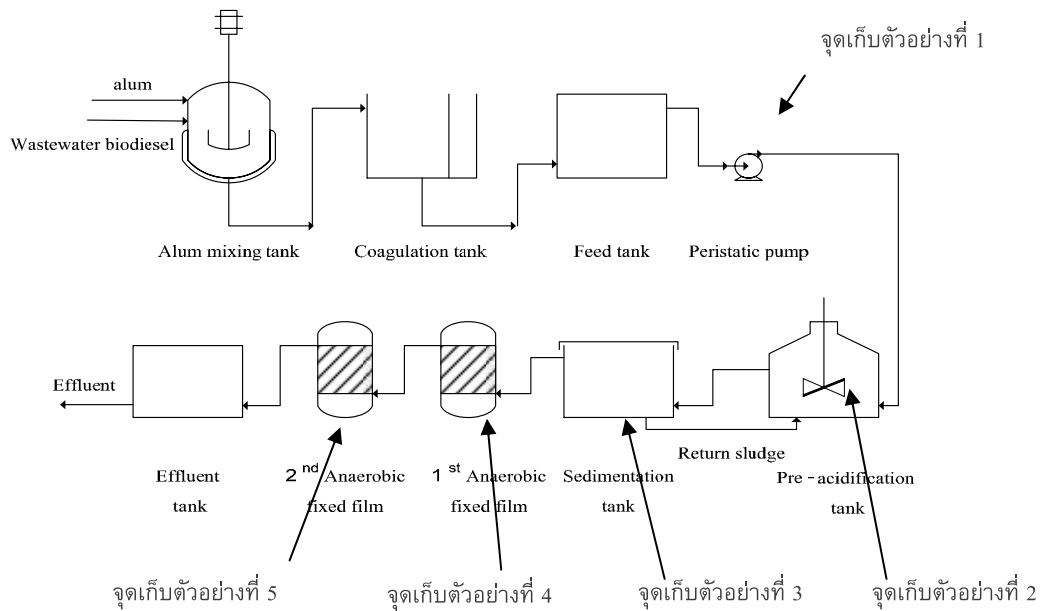
การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

บำบัดและน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแล้ว ได้แก่ ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (Volatile Suspended Solids, VSS) สภาพความเป็นด่างทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen) บีโอดี₅ (Biochemical Oxygen Demand, BOD₅) และโปแตสเซียมไอออน ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน APHA [8] ส่วนพีเอช (pH) วัดโดยเครื่อง pH-meter รุ่น 1120 บริษัท Mettler Toledo สวิตเซอร์แลนด์ ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ใช้วิธีวิเคราะห์แบบรีฟลักซ์ปิด (Closed Reflux) โดยใช้ COD Reagent ช่วง 0-1500 ppm ด้วยเครื่องตรวจวัดซีโอดี รุ่น DR/2010 บริษัท Hach ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) ใช้วิธีการไตเตรท [9] และค่าความขุ่น ตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดค่าความขุ่น (Turbidimeter) รุ่น 6035 บริษัท Jenway ประเทศอังกฤษ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำเสียและน้ำที่ผ่านบำบัดขั้นต้นใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (GC 7890A-MS 5975C) ของบริษัท Agilent ประเทศสหรัฐอเมริกา โดย GC ใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C/min จนถึง 250°C คอลัมน์ DB-wax และใช้ MS เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ MSD-Chemstation เตรียมตัวอย่างโดยเก็บน้ำตัวอย่าง 250 mL เติลงในกรวยแยก เติมหะกุก่อนจำนวน 250 mL ลงในขวดเก็บตัวอย่าง (แบ่งเป็น 2 ครั้งๆ ละประมาณ 125 mL) เพื่อชะน้ำมันที่ติดบริเวณข้างขวดเก็บตัวอย่างให้หมด แล้วเทรวมกันในกรวยแยก ทำการสกัดโดยการเขย่ากรวยแยกแรงๆ เป็นเวลา 2 นาที ปล่อยให้ชั้นเฮกเซนแยกออกจากชั้นน้ำ เก็บชั้นเฮกเซนที่อยู่ทางด้านบนนำไประเหยเฮกเซนที่อุณหภูมิ 70°C จนเหลือน้ำมันจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS

2.3 อุปกรณ์

ระบบบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลแสดงตามรูปที่ 1 ประกอบด้วย ถังกวนผสม (Mixing Tank) ขนาด 50 L ทำจากสแตนเลส ติดตั้งใบกวนแบบ



รูปที่ 1 แผนภาพระบบบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้

ใบพายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm ใช้ในการกวนผสมระหว่างน้ำล้างไบโอดีเซลกับสารละลายสารส้ม (ให้ได้ความเข้มข้น 3 g/L) ถึงใบที่สองเป็นถังรวมตะกอน (Coagulation Tank) ทำจากอะคริลิกใสขนาด 30 x 40 x 40 cm (ปริมาตรรวม 48 L) เพื่อให้สามารถมองเห็นการแยกชั้นของตะกอน แต่เนื่องจากตะกอนส่วนใหญ่เป็นตะกอนเบาจึงลอยตัวขึ้น ดังนั้นจึงมีวาล์วระบายน้ำที่ผ่านการลอยตะกอนแล้วไปสู่ถังบ่อน (Feed Tank) ซึ่งมีการปรับสภาพพีเอชของน้ำด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จนได้พีเอชประมาณ 6 และความเข้มข้นในรูปซีโอติให้ได้ตามที่ต้องการด้วยน้ำสะอาดก่อนบ่อนด้วยปั๊มสายรัด (Peristaltic Pump) ที่อัตราการไหล 10 L/day เข้าสู่ถังหมักกรด (Pre-acidification Tank) ขนาด 60 L ที่มีการติดตั้งใบกวนแบบใบพัด (Propeller) สำหรับกวนผสมน้ำเสียกับจุลินทรีย์โดยมีระยะเวลาในการกักเก็บ (Hydraulic Retention Time, HRT) 4 วัน

หลังจากนั้นน้ำเสียที่ผ่านการหมักกรดจะไหลล้นออกทางด้านบนของถังเข้าสู่ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) ขนาด 60 L เพื่อให้เกิดการแยกตะกอนกับน้ำเสีย

ตะกอนมีการสูบกลับเข้าสู่ถังหมักกรดสัปดาห์ละหนึ่งครั้ง ส่วนน้ำที่ผ่านการหมักกรดจะถูกบ่อนเข้าสู่ถังหมักไร้อากาศถัง 1 (1st Anaerobic Fixed Film) แบบไหลขึ้น (Upflow) ซึ่งมีระยะเวลาในการกักเก็บ 9 วัน และล้นออกเข้าสู่ถังหมักไร้อากาศถัง 2 (2nd Anaerobic Fixed Film) ก่อนไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัด (Effluent Tank)

2.4 การทดลอง

การทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสต์ เริ่มต้นวิเคราะห์น้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลก่อนเติมสารรวมตะกอน จากนั้นเตรียมน้ำเสียปริมาตร 1,000 mL ในปิ๊งเกอร์ และเติมสารละลายสารส้มและสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (เตรียมที่ความเข้มข้น 50 g/L) เติมน้ำรวมตะกอนให้ได้ปริมาณที่ต้องการ (0.5-3.5 g/L) โดยกวนเร็วที่ 500 rpm เป็นเวลา 1 min และกวนช้าที่ 100 rpm เป็นเวลา 15 min จากนั้นค่อยๆ เทใส่กรวยแยกตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 hr ตะกอนจะลอยขึ้นด้านบน จึงเปิดวาล์วเพื่อแยกเอาส่วนน้ำใสมาวิเคราะห์

เริ่มต้นเดินระบบ โดยถังหมักกรดเติมตะกอน

จุลินทรีย์ 20 L และน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซล 20 L ส่วนถึงหมักไร้อากาศถึง 1 และ 2 เตรียมโดยใส่ตัวกลางพลาสติก 80% โดยปริมาตร (คุณสมบัติของตัวกรองแสดงตามตารางที่ 1) เพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ เดิมตะกอนจุลินทรีย์ 40 L และน้ำล้างไบโอดีเซล 40 L

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	สมบัติของตัวกลาง
วัตถุดิบที่ใช้ผลิต	พลาสติก
จำนวนตัวกลาง (piece)	2,598
ปริมาตรตัวกลาง (m ³ /piece)	3.85 x 10 ⁻⁶
พื้นที่ผิวตัวกลาง (m ² /piece)	1.25 x 10 ⁻²

ในช่วงแรกของการเดินระบบแบบต่อเนื่อง จะผสมน้ำเสียที่เป็นแหล่งอาหารเดิมกับน้ำล้างไบโอดีเซลที่ผ่านการลอยตะกอน ในอัตราส่วน (1:1) เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อให้จุลินทรีย์ปรับสภาพการดำรงชีพกับแหล่งอาหารใหม่ จากนั้นเดินระบบแบบต่อเนื่องด้วยน้ำล้างไบโอดีเซลที่ผ่านการลอยตะกอนด้วยสารส้มที่อัตราการใช้ 10 L/day และทำการเก็บน้ำตัวอย่าง 5 จุด คือ จุด 1 น้ำล้างไบโอดีเซลที่ผ่านการลอยตะกอน จุด 2 น้ำล้นจากถังหมักกรด จุด 3 น้ำล้นจากถังตกตะกอน จุด 4 น้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศถึง 1 และ จุด 5 น้ำล้นจากถังที่ผ่านการบำบัด นำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์สัปดาห์ละครั้ง (ทุกวันจันทร์)

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 ผลการบำบัดขั้นต้น

ลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซล มีสีขาวขุ่น มีไขมัน และมีกลิ่นเหม็นของน้ำมัน โดยได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ 4 ชนิด ได้แก่ ซีโอดี ไขมัน และน้ำมัน ฟิเอช และความขุ่น แสดงค่าตามตารางที่ 2

เมื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลที่ผ่านการสกัดแยกด้วยเฮกเซนและวิเคราะห์ด้วยวิธี GC-MS พบว่ามีกรดอยู่ 15 ชนิด ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 2 สมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซล

พารามิเตอร์	ซีโอดี (mg/L)	ไขมันและน้ำมัน (mg/L)	ฟิเอช	ความขุ่น (NTU)
ค่าเฉลี่ย	33,910	516	8.24	901.50
ค่าสูงที่สุด	38,200	820	8.76	1,435
ค่าต่ำที่สุด	30,200	280	7.29	565
ค่า SD	2,486.6	180.1	0.6	276.2

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันและน้ำมันด้วย GC-MS ของน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซล

No.	Retention time	Compound name	% wt.
1	10.281	Methyl caprylate	0.20
2	13.269	Methyl caprate	0.71
3	15.915	Methyl laurate	6.89
4	16.611	Lauric acid	9.02
5	18.201	Methyl myristate	3.48
6	18.691	Myristic acid	2.36
7	20.043	Methyl palmitoleate	2.37
8	20.517	Hexadecenoic acid	1.62
9	20.873	Palmitic acid	11.24
10	21.242	Methyl margarate	0.19
11	21.877	Methyl linoleate	5.63
12	22.063	Methyl oleate	23.82
13	22.244	Methyl stearate	6.63
14	22.533	Oleic acid	23.38
15	22.701	Stearic acid	2.45

เมื่อทดลองด้วยวิธีจาร์เทสท์ พบว่าปริมาณสารส้มที่ 3.0 g/L ให้ร้อยละการกำจัดไขมันและน้ำมันสูงสุดที่ร้อยละ 90.2 จากค่าไขมันและน้ำมันเฉลี่ย 516 mg/L เมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มขึ้นอีกทำให้ร้อยละการกำจัดลดลงตามรูปที่ 2 โดยสารละลายสารส้มให้ผลที่ดีกว่าการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ [6]

การเพิ่มปริมาณสารส้มนี้ยังส่งผลให้ฟิเอชและร้อยละกำจัดความขุ่นต่ำลง เนื่องจากสารส้มสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดอนุมูลไฮโดรเจนไอออนใน

สารละลาย เมื่อพีเอชของสารละลายอยู่ในช่วง 6.0-8.0 อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นถูกดูดซับบนผิวอนุภาค ขณะที่เติมสารส้มมากเกินไปสารแขวนลอยจะกลับมาอยู่ในสภาวะเสถียรอีกครั้ง (Restabilization) [10] เนื่องจากเกิดแรงผลักระหว่างสารแขวนลอยที่ดูดซับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวก เส้นกราฟการกำจัดไขมันและไขมันจึงลดต่ำลง

น้ำหลังจากผ่านการลอยตะกอนด้วยสารละลายสารส้มพบว่าเมื่อแยกตะกอนไขมันที่ลอยอยู่ด้านบนออกแล้ว น้ำมีลักษณะใส มีกลิ่นเจือจาง เมื่อนำมาสกัดด้วยเฮกเซนและวิเคราะห์ด้วยวิธี GC-MS พบว่ามีกรดเหลืออยู่ 4 ชนิด แสดงตามตารางที่ 4 และหลังจากน้ำได้ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว พบว่าน้ำที่ออกจากระบบบำบัดแล้วจะมีสีน้ำตาลอ่อน ใส และไม่มีกลิ่น

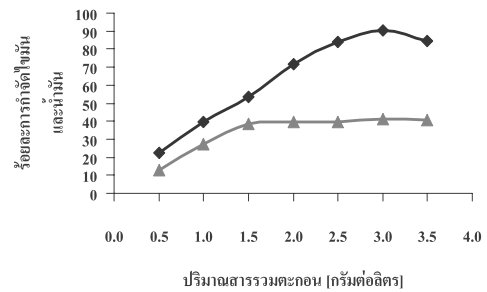
ตารางที่ 4 ปริมาณกรดไขมันและน้ำมันด้วย GC-MS ของน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซล ที่ผ่านการลอยตะกอนด้วยสารละลายสารส้ม 3.0 g/L

No.	Retention time	Compound name	% wt.
1	20.624	Palmitic acid	37.83
2	22.162	Linoleic acid	5.46
3	22.263	Oleic acid	51.36
4	22.458	Stearic acid	5.35

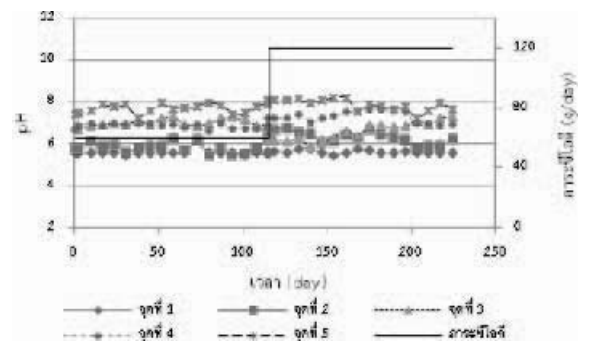
3.2 ผลการบำบัดด้วยแอนาโรบิก 2 ขั้นตอน

3.2.1 พีเอช

รูปที่ 3 แสดงค่าพีเอชของถังปฏิกรณ์ทั้ง 5 ถัง พบว่าพีเอชของน้ำล้างไบโอดีเซลที่เติมด้วยสารละลายสารส้มมีค่าต่ำกว่า 5 เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ในกรณีนี้มีการเติมสารส้มในปริมาณมากส่งผลให้ค่าความเป็นด่างมีค่าไม่เพียงพอที่จะสะเทินกรดที่เกิดจากการแตกตัวของอะลูมิเนียมซัลเฟต [11] ดังนั้นก่อนที่จะป้อนน้ำเสียที่ผ่านการลอยตะกอนเข้าสู่ถังหมักกรดจึงทำการปรับพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้พีเอชอยู่ในช่วง 5.8-6.2



รูปที่ 2 ปริมาณสารรวมตะกอนกับประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมัน



รูปที่ 3 พีเอชของตัวอย่างที่ตำแหน่งทั้ง 5 จุด

ในช่วงแรกของการเดินระบบ ซีโอดีมีค่าประมาณ 6,000 mg/L พีเอชในถังหมักกรดอยู่ในช่วง 5.7-6.0 ค่าที่วัดระหว่างวันที่ 1-115 ถึงป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบมีพีเอช 5.5 น้ำขาออกจากถังหมักกรดมีพีเอชในช่วง 5.7-6.0 น้ำขาออกของถังตกตะกอนมีพีเอช 6.75-7.3 ซึ่งในถังหมักไร้อากาศถึง 2 พีเอชประมาณ 7.7-8. และหลังจากวันที่ 115 เพิ่มปริมาณซีโอดีเป็น 12,000 mg/L พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้เจือจางลดลงทำให้พีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 5.75-6.7 น้ำขาออกจากถังตกตะกอนในช่วง 60 วันแรก ค่าพีเอชน้อยกว่า 6.5 เมื่อระบบเริ่มคงที่พีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.4 ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปผลิตมีเทน ส่วนน้ำขาออกจากถังหมักไร้อากาศถึง 1 พีเอชอยู่ระหว่าง 6.75-7.5 น้ำขาออกจากถังหมักไร้อากาศถึง 2 พีเอชมีค่า 7.5-8.25 พีเอชของน้ำขาออกจากถังตกตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำขาออกจากถังหมักกรด

3.2.2 การกำจัดซีโอดี

ค่าซีโอดีที่ใช้ในการทดลองมีสองค่าได้แก่ 6,000 และ 12,000 mg/L ในถังหมักไร้อากาศถัง 1 ที่ค่าซีโอดี 6,000 และ 12,000 mg/L เมื่อคำนวณเป็นอัตราภาระซีโอดีเท่ากับ 60 และ 120 g/day หลังผ่านการบำบัดค่าซีโอดีลดลงเหลือ 88 และ 806 mg/L ตามลำดับ สำหรับถังหมักไร้อากาศถัง 2 ที่ค่าซีโอดี 6,000 และ 12,000 mg/L หลังผ่านการบำบัดซีโอดีลดลงเหลือ 183 และ 586 mg/L ตามลำดับ แสดงตามรูปที่ 4 เมื่อคำนวณในรูปร้อยละการกำจัดซีโอดีแสดงตามรูปที่ 5

ที่ความเข้มข้นของซีโอดีเท่ากับ 6,000mg/L ถึงหมักไร้อากาศถัง 1 และ 2 ให้ค่าการกำจัดซีโอดีร้อยละมากกว่า 95 หลังจากเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีเป็น 12,000 mg/L การกำจัดซีโอดียังคงมีค่าประมาณร้อยละ 95

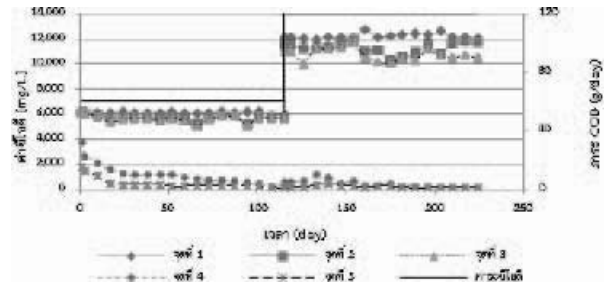
เมื่อเก็บน้ำตัวอย่างขาออกจากถังหมักไร้อากาศถัง 1 และถังหมักไร้อากาศถัง 2 ที่วันสุดท้ายก่อนเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีจาก 6,000 เป็น 12,000 mg/L (อัตราภาระซีโอดี 60 เป็น 120 g/day) และก่อนหยุดระบบตามลำดับ เมื่อตรวจวิเคราะห์พบว่าให้ค่าตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำขาออกที่อัตราป้อน 6,000 และ 12,000 mg/L

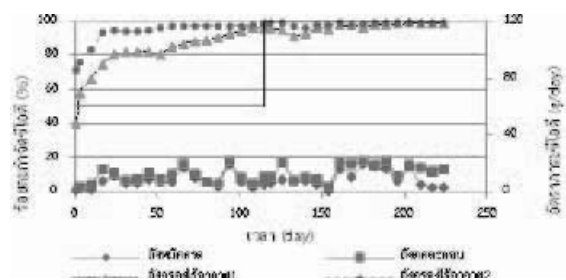
พารามิเตอร์	อัตราภาระซีโอดี 60 (g/day)		อัตราภาระซีโอดี 120 (g/day)	
	ถังหมัก 1	ถังหมัก 2	ถังหมัก 1	ถังหมัก 2
pH	7.9	8.0	7.3	8.3
SS (mg/L)	8.6	7.0	8.4	6.6
TDS(mg/L)	1,415	1,258	1,155	852
BOD5(mg/L)	28.7	41.7	274.0	156.0
COD(mg/L)	87.9	183.2	806.1	586.2
TKN(mg/L)	11.2	21.3	19.0	11.2
K+(mg/L)	80.9	76.4	49.8	46.8

3.2.3 การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยง่าย

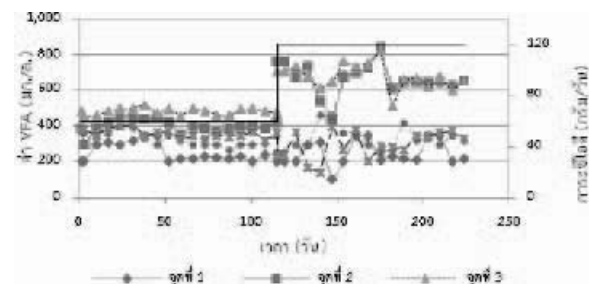
พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซีโอดี จาก 6,000 ไปเป็น 12,000 mg/L ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้น จากในช่วง 200-500 เพิ่มขึ้นเป็น 200-800 mg/L



รูปที่ 4 ซีโอดีของตัวอย่างที่ตำแหน่งทั้ง 5 จุด



รูปที่ 5 ร้อยละการกำจัดซีโอดีของถังหมักกรด ถึงตกตะกอน ถังหมักไร้อากาศที่ 1 และถังหมักไร้อากาศที่ 2

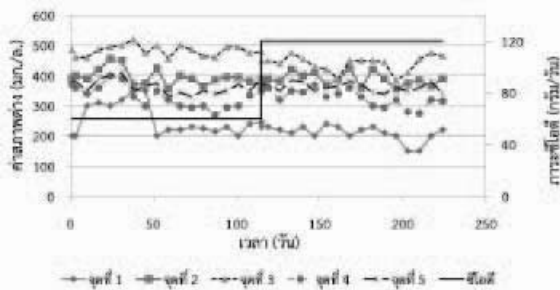


รูปที่ 6 กรดไขมันระเหยง่ายได้ของตำแหน่งทั้ง 5 จุด

เนื่องจากอัตราภาระซีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้การผลิตกรดไขมันระเหยง่ายได้มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงตามรูปที่ 6

3.2.4 สภาพความเป็นด่างทั้งหมด

พบว่าน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าสภาพต่างค่าที่สุดประมาณ 200 mg/L ถึงตกตะกอนมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 500 mg/L ในถังหมักไร้อากาศถัง 1 และ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 350-400 mg/L แสดงตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 สภาพความเป็นต่างทั้งหมดของตำแหน่งทั้ง 5 จุด

4. อภิปรายผลและสรุป

ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วน $BOD_5:COD$ ของน้ำข่าออกมีค่าอยู่ในช่วง 0.25-0.33 ซึ่งการติดตั้งถังหมักไร้อากาศทั้งสองใบที่ HRT 9 วัน น่าจะเพียงพอในการลดค่าซีโอดีให้ได้ค่าตามต้องการ โดยผลการทดลองยังสนับสนุนว่าถังหมักไร้อากาศถัง 2 ส่งผลต่อการกำจัดซีโอดีน้อยมาก (เนื่องจากร้อยละการกำจัดซีโอดีของถังหมักไร้อากาศถัง 1 และร้อยละการกำจัดซีโอดีรวมของระบบมีค่าใกล้เคียงกัน) ดังนั้นการติดตั้งระบบเติมอากาศน่าจะดำเนินการได้หลังจากผ่านการบำบัดจากถังหมักไร้อากาศถัง 1 เพื่อเพิ่มการละลายของออกซิเจนในน้ำและลดอัตราภาระบีโอดีในกรณีที่มีความเข้มข้นบีโอดีเข้าเพิ่มขึ้น

ในการกำจัดน้ำมันและไขมันในน้ำล้างไบโอดีเซลด้วยการเติมสารละลายสารส้ม พบว่าปริมาณกรดไขมันและเอสเทอร์ของกรดไขมันที่อยู่ในน้ำถูกกำจัดจนเกือบหมด จากผลการวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบว่าให้ค่าการกำจัดสูงกว่าร้อยละ 95 ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับที่ตรวจวัดในรูปร้อยละการกำจัดซีโอดี ผลจาก GC-MS หลังจากแยกตะกอนออกพบว่าสารที่เหลือเป็นกรดไขมันอิสระทั้งหมดไม่พบเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งการที่ตรวจไม่พบเอสเทอร์ของกรดไขมันหลังจากการรวมตะกอนนั้นยังไม่มีคำอธิบายที่ชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนการรวมตะกอนที่มีการเติมสารละลายสารส้มทำให้เกิดไฮโดรไลซิสผลิตภัณฑ์ฟิวริก พีเอชของน้ำที่ผ่านการลอยตะกอนลดต่ำลงเหลือประมาณ 5 ก่อนที่จะมีการปรับด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต เอสเทอร์ของกรดไขมัน

จึงอาจเปลี่ยนรูปเป็นกรดไขมัน อีกทั้งกรดไขมันที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เช่น Lauric Acid และ Myristic Acid ยังถูกกำจัดหมด ในขณะที่ Palmitic acid และ Oleic acid ถูกกำจัดไม่หมดและเหลือในปริมาณที่มากกว่า Linoleic Acid และ Stearic Acid อาจเนื่องมาจากปริมาณเริ่มต้นของสารทั้ง 2 ในน้ำเสียก่อนการเติมสารส้มมีปริมาณที่สูงกว่า อีกทั้งกรดไขมันที่เหลือเป็นกรดไขมันที่มีความยาวสายโซ่คาร์บอนสูง ซึ่งการละลายของกรดไขมันที่มีความยาวสายโซ่คาร์บอนสูงจะมีค่าต่ำกว่ากรดไขมันที่มีความยาวสายโซ่คาร์บอนต่ำกว่า

จากการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซล พบว่าระบบการกำจัดไขมันด้วยสารส้มและตามด้วยถังหมักกรดที่ HRT 4 วัน และถังหมักไร้อากาศแบบตรึงฟิล์มที่ HRT 9 วัน สามารถใช้งานได้ดี และมีความเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากระบบการล้างไบโอดีเซล

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานที่ให้ทุนสนับสนุน ชุมชนป้อมเพชร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่อนุเคราะห์น้ำเสีย บริษัท ปทุมบริวเวอรี่ จำกัดให้ความอนุเคราะห์จุลินทรีย์ และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สวทช. ช่วยตรวจวัด GC-MS

เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Phalakomkule, A. Petiraksakul, and W. Puthavithi, "Biodiesel Production in Small Community: Case Study in Thailand," *Resources Conservation and Recycling*, vol. 53, pp.129-135, 2009.
- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), (2010, July 2.). [Online]. Available: <http://www.dede.go.th>
- [3] Attapon Tavon and Navin Addsalee, "A Study on an acid catalysts for Transesterification of waste palm oil," Bachelor degree, final year project in



- Chemical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, 2005 (in Thai).
- [4] O. Chavalparit and M. Ongwandee, "Optimizing electrocoagulation process for the treatment of biodiesel wastewater using response surface methodology," *Journal of Environmental Sciences*, vol.21, pp.1491–1496, 2009.
- [5] A.L. Ahmad, S. Sumathi, and B.H. Hameed, "Coagulation of residue oil and suspended solid in palm oil mill effluent by chitosan, alum and PAC," *Chemical Engineering Journal*, vol.118, pp.99–105, 2006.
- [6] Kanittha Pancha, "Wastewater treatment for washing processes biodiesel production using anaerobic fixed film with CSTR acidification tank," Master Thesis in Chemical Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2009 (in Thai).
- [7] Anurak Petiraksakul et.al., Final Report "The pilot project for wastewater treatment and glycerol utilization at a community-scale biodiesel production," Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Ministry of Energy, 2009 (in Thai).
- [8] American Public Health Association (APHA), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed., American Water Works Association (AWWA), 1999.
- [9] R. DiLallo and O.E. Albertson, "Volatile acids by direct titration" *Journal WPCF*, vol.33, pp.356–365, 1961.
- [10] Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering: treatment and reuse*, 4th ed., Singapore: McGraw-Hill, 2004, pp.488-493.
- [11] M.L. Davis and S.J. Masten, *Principles of Environmental Engineering and Science*, 2nd.ed., New York: McGraw-Hill, 2009, pp.414.