



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

ประสิทธิภาพการสร้างกรดของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ในถังปฏิกริยากวนสมบูรณ์

The Acidification of Protein-containing Wastewater in a Completely Stirred Tank Reactor

ศตวรรษ ทนารัตน์^{1)*} และ พชรวรรณ หาญใจ²⁾Sattawat Tanarat^{1)*} and Pacharawan Hanjai²⁾¹⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 19 ม.2 ต.แม่กา อ.เมือง จ.พะเยา 56000²⁾ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

¹⁾ School of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao 56000, Thailand²⁾ Department of Environment Engineering, Faculty of Engineering Chiang Mai University

239 Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai, Thailand 50200

Received: 10 พ.ย.61

Accepted: 21 ธ.ค.61

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษการสร้างกรดของน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักในถังปฏิกริยากวนสมบูรณ์ (ซีเอสทีอาร์) น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นตัวแทนของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไอศกรีม น้ำเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริม และน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเวชสำอาง ที่มีค่าซีโอดีประมาณ 2,000 มก./ล. ถังปฏิกริยาสร้างกรดเป็นถังปฏิกริยาแบบซีเอสทีอาร์ระดับห้องปฏิบัติการขนาด 3 ลิตร เติมน้ำระบบแบบต่อเนื่องที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเท่ากับ 4 ชั่วโมง อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ในช่วง 13.24 - 13.92 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและค่าพีเอช จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการสร้างกรดของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเวชสำอางมีค่าสูงสุด โดยมีร้อยละของการสร้างกรดและอัตราการสร้างกรดเท่ากับ 36.5% และ 4.8 กรัมซีโอดี/ลิตร-วัน ตามลำดับ รองลงมาคือน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไอศกรีม (30.2% และ 3.9 กรัมซีโอดี/ลิตร-วัน) และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริม (10.8%

และ 1.4 กรัมซีโอดี/ลิตร-วัน) ซีโอดีในน้ำเสียถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซชีวภาพน้อยมาก สภาวะที่ใช้ในการศึกษานี้จึงมีความเหมาะสมต่อการสร้างกรดของน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก

คำสำคัญ : สร้างกรด น้ำเสียโปรตีน ซีเอสทีอาร์ แอนแอโรบิก

Abstract

The protein-containing wastewater acid-forming efficiency in an acidogenic completely stirred tank reactor (CSTR) was investigated in this study. A synthetic wastewater used as an influent was represented the ice cream wastewater, the food supplements wastewater, and the cosmetic effluent with COD of about 2,000 mg/l. A 3-l CSTR operated continuously at hydraulic retention time (HRT) of 4 hr, organic loading rate (OLR) in the range of 13.24-13.92 kg COD/m³.d under ambient temperature and non-pH adjustment condition. The acidification efficiency and acid production rate of the cosmetic wastewater was 36.5% and 4.8 g COD/l.d respectively followed by the ice cream wastewater (30.2% and 3.9 g COD/l.d) and the food supplements effluent (10.8% and 1.4 g COD/l.d). Biogas production was suppressed. The operational conditions applied in this study are thus suitable for the acidification of protein-containing wastewater.

Keywords : Acidification Protein-containing wastewater CSTR Anaerobic

*ติดต่อ: satawat.tanarat@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 054-466666 ต่อ 3401

1. บทนำ

ในปัจจุบัน การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic process) ได้ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี (Upflow anaerobic sludge blanket: UASB) เป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด เนื่องจากให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูง มีความซับซ้อนและต้องการการดูแลรักษาต่ำ [2] สมรรถนะสูงของระบบบำบัดแบบยูเอเอสบีนั้น เชื่อมโยงกับความสามารถในการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ใ้ภายในถังปฏิกรณ์ ตะกอนเหล่านี้จะก่อตัวเป็นตะกอนเม็ดที่มีความเข้มข้นสูง (Granular sludge) มีความสามารถ

ในการตกตะกอนและย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ดี

แต่พบว่าในการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันและโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักโดยใช้ระบบบำบัดแบบยูเอเอสบีนั้น ไขมันและโปรตีนในน้ำเสียซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ช้า จะสะสมอยู่ในถังปฏิกรณ์จนทำให้เกิดชั้นฝ้าไขมัน (Scum formation) ปิดกั้นทางน้ำออกและท่อบรรวบรวมก๊าซชีวภาพ อีกทั้งยังนำพาตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักเบาชะล้างหลุดออกจากถังปฏิกรณ์ (Sludge wash-out) ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดต่ำลงอย่างต่อเนื่องและเป็นผลให้ระบบล้มเหลวในที่สุด [3] Vidal et al. ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียผลิตภัณฑนมโดยระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี

และพบว่าอัตราการผลิตและคุณภาพของก๊าซชีวภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากขั้นตอนการย่อยสลายของไขมันเป็นไปอย่างเชื่องช้าจนทำให้เกิดการสะสมในชั้นตะกอนจุลินทรีย์ [4] Kim et al. ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักด้วยระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี และพบว่ามีผลกระทบของชั้นไขมันในถังปฏิกรณ์ เป็นผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงเป็นลำดับ แม้จะเดินระบบภายใต้อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีค่าต่ำก็ตาม (1.38 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) [5]

เพื่อลดปัญหาดังกล่าวและเพิ่มเสถียรภาพของระบบในระยะยาว ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนสองขั้นตอน (Two-phase anaerobic process) ซึ่งเป็นระบบที่กระบวนการสร้างกรด (Acidification) และกระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) จะเกิดขึ้นแยกกันในแต่ละถัง เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจในการบำบัดน้ำเสียมีไขมันและโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากไขมันและโปรตีนในน้ำเสียบางส่วนสามารถถูกกำจัดได้ในถังปฏิกรณ์สร้างกรด ช่วยลดการก่อตัวของชั้นไขมันและการชะล้างของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์สร้างมีเทนได้ดี [6] Sponza and Demirden ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียโรงงานเภสัชกรรม และพบว่าระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนสองขั้นตอนให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดซีโอดีและสารประกอบทางเคมีที่สำคัญเท่ากับ 84% และ 97% ตามลำดับ [7] Yu ยังชี้ให้เห็นว่าถังปฏิกรณ์สร้างกรดในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนสองขั้นตอนนั้น มีส่วนสำคัญในการช่วยเพิ่มความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์สร้างมีเทน เพิ่มสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพ และทำให้

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโปรตีนสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด [8]

จะเห็นได้ว่า การศึกษากระบวนการสร้างกรดของน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักนั้น มีประโยชน์อย่างมากต่อการได้มาซึ่งค่าการออกแบบและเดินระบบที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวเท่าที่ผ่านมาการศึกษากระบวนการสร้างกรดในน้ำเสียส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่ค่าการเดินระบบพื้นฐาน เช่น ระยะเวลาเก็บน้ำ (Hydraulic retention time: HRT) อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (organic loading rate: OLR) และรูปแบบของถังปฏิกรณ์ เป็นต้น โดยพบว่าระยะเวลาเก็บน้ำที่เหมาะสมสำหรับการสร้างกรดของน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีองค์ประกอบซับซ้อน (Complex wastewater) จะอยู่ระหว่าง 4 - 24 ชั่วโมง [9-11] และถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely stirred tank reactor: CSTR) มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นถังปฏิกรณ์สร้างกรดมากกว่าถังปฏิกรณ์แบบไหลตามกัน (Plug flow reactor) แต่เป็นที่น่าเสียดายที่ยังไม่มีการศึกษากระบวนการสร้างกรดของน้ำเสียอุตสาหกรรมหลากหลายประเภทเพียงพอ ประกอบกับอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดของน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักนั้นกำลังเติบโตอย่างรวดเร็วในประเทศไทย จำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพสูง เพื่อบำรุงรักษาปริมาณน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมเหล่านี้ต่อไปในอนาคต

การศึกษาในครั้งนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการสร้างกรดของน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักในถังปฏิกรณ์สร้างกรดแบบกวนสมบูรณ์ ที่ระยะเวลาเก็บน้ำเท่ากับ 4 ชั่วโมง

ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและค่าพีเอช ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นตัวแทนของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไอศกรีม น้ำเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริม และน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเวชสำอาง โดยประสิทธิภาพของการสร้างกรดนั้นจะประเมินจากร้อยละของการสร้างกรด (acidification efficiency) และอัตราของการสร้างกรด (Acid production rate) เป็นหลัก

2. วิธีการวิจัย

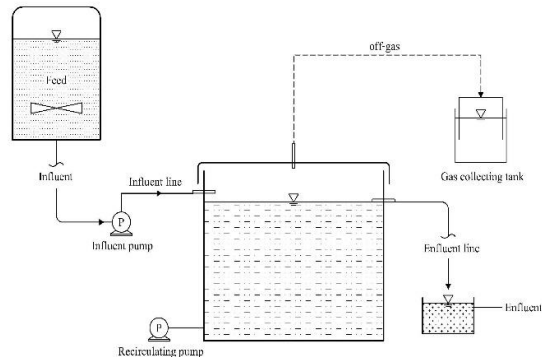
2.1 น้ำเสียและตะกอนหัวเชื้อ

น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นจากเวย์ผง สารสกัดยีสต์ และผงไข่แดง เพื่อใช้เป็นตัวแทนของน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักจากกระบวนการผลิตไอศกรีม (เวย์ผง+สารสกัดยีสต์) จากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริม (สารสกัดยีสต์+ผงไข่แดง) และจากอุตสาหกรรมเวชสำอาง (เวย์ผง+ผงไข่แดง) โดยมีค่าซีไอดีประมาณ 2,000 มก./ล. สำหรับตะกอนหัวเชื้อ (Seed sludge) ที่บรรจุในถังปฏิกริยาสร้างกรดนั้นใช้ตะกอนจากถังย่อยตะกอนแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digester) ของระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งมีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยเท่ากับ 20,500 และ 18,000 มก./ล. ตามลำดับ โดยเติมลงในถังสร้างกรดให้มีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในช่วง 8,000-10,000 มก./ล. ของถังปฏิกริยา ซึ่งเป็นค่าที่แนะนำสำหรับช่วงเริ่มต้นระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน [12]

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

ใช้ถังสร้างกรดเป็นถังปฏิกริยาแบบกวน สมบูรณ์ระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 3 ถัง แต่ละถังมี

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 20 ซม. (ความสูงระดับน้ำ 16.5 ซม.) ปริมาตรใช้งาน 3 ลิตร ติดตั้งอุปกรณ์เก็บก๊าซโดยวิธีแทนที่น้ำและปั๊มสูบน้ำหมุนเวียนเพื่อให้เกิดการกวนภายในถังปฏิกริยาอย่างทั่วถึง ไดอะแกรมของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ไดอะแกรมของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

2.3 การทดลอง

น้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นตัวแทนของน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักแต่ละชนิด จะถูกบ่มเข้าสู่ถังสร้างกรดแบบกวนสมบูรณ์อย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 18 ลิตรต่อวัน (ระยะเวลาเก็บน้ำเท่ากับ 4 ชั่วโมง) ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและค่าพีเอช โดยในช่วงเริ่มต้นระบบ (Start-up) จะปรับเพิ่มอัตราการไหลแบบค่อยเป็นค่อยไป จาก 6 ลิตรต่อวัน (ระยะเวลาเก็บน้ำเท่ากับ 12 ชั่วโมง) ไปเป็นที่ 9, 12, 15 และ 18 ลิตรต่อวัน (ระยะเวลาเก็บน้ำเท่ากับ 8, 6, 4.8 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ)

ในการประเมินประสิทธิภาพของการสร้างกรด จะพิจารณาจากทั้งปริมาณของกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acids: VFAs) ที่ผลิตได้ การเกิดก๊าซ

ชีวภาพและมีเทน ค่าร้อยละของการสร้างกรด (Acidification efficiency) และอัตราของการสร้างกรด (Acid production rate) ซึ่งได้จากปริมาณที่แท้จริงของซีโอดีที่ถูกย่อยสลายและถูกใช้ต่อโดยจุลินทรีย์สร้างมีเทน (COD_{acid}) ซึ่งเป็นผลรวมของซีโอดีที่ถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (COD_{VFA}) และมีเทน (COD_{CH_4}) ดังสมการที่ (1) และ (2) [13]

$$COD_{acid} = effluent\ COD_{VFA} - influent\ COD_{VFA} + COD_{CH_4} \quad (1)$$

$$Acidification\ efficiency = (COD_{acid} / COD_{non-VFA, influent}) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ COD_{VFA} = ซีโอดีที่อยู่ในรูปของกรดไขมันระเหยง่าย โดยคำนวณจากปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายในน้ำเสียและค่าซีโอดีเทียบเท่าของกรดไขมันระเหยง่ายแต่ละชนิด (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าซีโอดีเทียบเท่าของกรดไขมันระเหยง่ายชนิดต่างๆ [14]

ชนิดของกรดไขมันระเหยง่าย	ค่าซีโอดีเทียบเท่า (กรัมซีโอดี/กรัมของกรดไขมันระเหยง่าย)
อะซิติก	1.066
โพรไพโอนิก	1.512
บิวทิริก	1.816
วาเลริก	2.036
คาโปรอิก	2.204

$$COD_{non-VFA} = COD - COD_{VFA}$$

COD_{CH_4} = ซีโอดีเทียบเท่าก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ โดยคำนวณจากปริมาณของก๊าซมีเทนที่ผลิตได้และค่าซีโอดีเทียบเท่าของก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิต่างๆ (ตารางที่ 2)

2.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

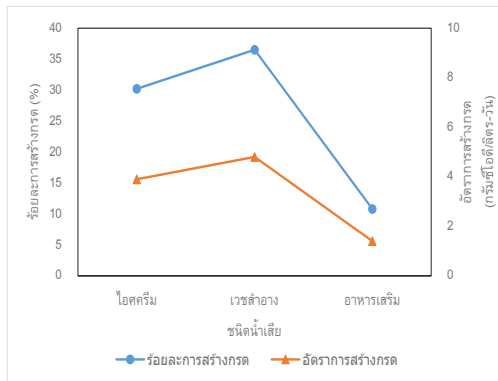
การวิเคราะห์พารามิเตอร์พื้นฐาน ได้แก่ พีเอช, อุณหภูมิ, ซีโอดี, กรดไขมันระเหยง่าย, อัลคาไลน์ตี, ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหย, เจ็ดดอลไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวม อ้างอิงตามมาตรฐานของ APHA [15] ปริมาณและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ วัดโดยวิธีแทนที่น้ำและแก๊สโครมาโตกราฟี ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ค่าซีโอดีเทียบเท่าของก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิต่างๆ [16]

อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ค่าซีโอดีเทียบเท่า (มล.ของมีเทน/กรัมซีโอดี)
20	385
25	394
30	405
35	418
40	433

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ประสิทธิภาพการทำงานของถังสร้างกรดได้ถูกประเมินภายหลังจากที่แต่ละถังปฏิกิริยาดำเนินเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายในน้ำออกมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าในทุกถังปฏิกิริยา โดยมีค่าเท่ากับ 755, 874 และ 266 มก./ล.เทียบกับกรดอะซิติก ร้อยละของการสร้างกรดเป็น 30.2%, 36.5% และ 10.8% ขณะที่อัตราการสร้างกรด เท่ากับ 3.9, 4.8 และ 1.4 กรัมซีโอดี/ลิตร-วัน สำหรับน้ำเสียกระบวนการผลิตไอศกรีม น้ำเสียกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริม และน้ำเสียอุตสาหกรรมเวชสำอาง ตามลำดับ (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพของการสร้างกรดสำหรับน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก

กรดอะซิติกเป็นผลิตภัณฑ์หลักของกระบวนการสร้างกรดซึ่งพบได้ในช่วง 35-46% ของกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมด รองลงมาคือกรดบิวทริก (24-34%) ขณะที่กรดโพรพิโอนิกพบในช่วง 12-19% ในขณะที่กรดไอโซบิวทริก ไอโซวาเลอริก และวาเลอริก ถูกพบในปริมาณน้อยกว่ามาก

สำหรับประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของถังปฏิกริยาสร้างกรด พบว่าซีโอไซด์ในน้ำเสียทั้งสามชนิดถูกกำจัดไปบางส่วน (28.8-37.7%) แสดงให้เห็นว่าซีโอไซด์ส่วนใหญ่ยังอยู่ในรูปของสารละลาย สอดคล้องกับก๊าซชีวภาพและมีเทนที่เกิดขึ้นน้อยมาก ในขณะที่ของแข็งแขวนลอยก็ถูกกำจัดไปบางส่วนในถังปฏิกริยาสร้างกรดเช่นเดียวกัน

สภาวะที่ใช้ในการสร้างกรดในการศึกษาในครั้งนี้คือ ระยะเวลาเก็บน้ำเท่ากับ 4 ชั่วโมง อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ในช่วง 13.24-13.92 กก.ซีโอไซด์/ลบ.ม.-วัน ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและค่าพีเอช มีความเหมาะสมต่อการสร้างกรดสำหรับน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากซีโอไซด์ส่วนใหญ่ยังอยู่ในรูปของสารละลายและกระบวนการสร้างมีเทนเกิดขึ้นอย่างจำกัด สอดคล้องกับสภาวะที่ใช้ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ Guerrero et al.

รายงานว่าร้อยละของการสร้างกรดของน้ำเสียจากกระบวนการแปรรูปอาหารที่ได้จากปลาอยู่ที่ 6.6-15.6% ภายใต้ระยะเวลาเก็บน้ำในช่วง 4-12 ชั่วโมง [17] Demirel and Yanigun พบว่าร้อยละของการสร้างกรดและอัตราการสร้างกรดของน้ำเสียจากนมเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 56% และ 3.1 กรัมซีโอไซด์/ลิตร-วัน เมื่อระยะเวลาเก็บน้ำต่ำกว่า 12 ชม. และไม่มี การควบคุมค่าพีเอช [15]

สารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกย่อยสลายได้ดีและผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือกรดอะซิติก โพรพิโอนิก และบิวทริก เหมาะสมสำหรับกระบวนการสร้างมีเทนที่จะเกิดขึ้นภายหลังจากกระบวนการสร้างกรด องค์ประกอบของกรดไขมันระเหยง่ายในการศึกษาครั้งนี้มีแนวโน้มแบบเดียวกับที่พบในงานวิจัยอื่นๆ ที่ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบซับซ้อนและได้ประสิทธิภาพที่น่าพอใจ [12][18]

วัตถุประสงค์หลักของการสร้างกรด คือ การยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenic activity suppression) ซึ่งพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ การผลิตก๊าซชีวภาพ และปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ในทางทฤษฎีในกระบวนการไฮโดรไลซิสและการสร้างกรดของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้น สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ภายในเซลล์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์สร้างกรด ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่ายและผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ยังคงอยู่ในรูปของสารละลาย ทำให้ไม่มีการกำจัดซีโอไซด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบว่า การกำจัดซีโอไซด์เกิดขึ้นบางส่วนในน้ำเสียแต่ละชนิด เป็นผลให้สามารถกล่าวได้ว่ากระบวนการสร้างกรดเกิดขึ้นได้ดี เนื่องจากผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในรูปของสารละลาย

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของถังปฏิกริยาสร้างกรดสำหรับน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก

พารามิเตอร์	หน่วย	เวทย์ผง+สารสกัดยีสต์ (ไคสกรัม)	เวทย์ผง+ผงไข่แดง (เวชสำอาง)	สารสกัดยีสต์+ผงไข่แดง (อาหารเสริม)
OLR	kg COD/m ³ .d	13.92	13.92	13.24
อุณหภูมิ	°C	27.1	26.0	26.4
pH _{inf}	-	5.83	5.03	6.70
pH _{eff}	-	5.37	4.61	6.02
COD _{inf}	mg/l	2,321	2,321	2,207
COD _{eff}	mg/l	1,446	1,845	1,590
COD removal	%	37.7	20.5	28.0
(FCOD/COD) _{inf}	-	0.84	0.85	0.85
(FCOD/COD) _{eff}	-	0.93	0.87	0.87
VFA _{inf}	mg/l CH ₃ COOH	140	126	48
VFA _{eff}	mg/l CH ₃ COOH	755	874	266
SS _{inf}	mg/l	738	1,635	806
SS _{eff}	mg/l	374	1,368	440
Biogas yield	l/g COD _{removed}	0.013	0.018	0.004
CH ₄ content	%	16	12	9
CH ₄ yield	l/g COD _{removed}	0.005	0.006	0.001

ประสิทธิภาพของการสร้างกรดจะแตกต่างกันตามคุณลักษณะและองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย น้ำเสียจากกระบวนการผลิตไคสกรัมและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเวชสำอาง จะมีประสิทธิภาพของการสร้างกรดที่สูงกว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริม เนื่องจากมีส่วนประกอบของโปรตีนในรูปที่ย่อยสลายได้เร็วกว่าโปรตีนหรือส่วนประกอบในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

ร้อยละของการสร้างกรดและอัตราการสร้างกรดของน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ได้ทำการศึกษาถึงการสร้างกรดของน้ำเสียที่มีไขมันหรือโปรตีน Kim et al. ทำการศึกษาการสร้างกรดของน้ำเสียที่มีกรดไขมัน

แบบโซ่ยาว (long chain fatty acid) ในถังสร้างกรดแบบซีเอสทีอาร์ และรายงานว่ 15-20% ของกรดไขมันแบบโซ่ยาวถูกย่อยกลายเป็นกรดไขมันระเหยง่าย ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำต่ำกว่า 12 ชม. [5] Bengtsson et al. ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการสร้างกรดของน้ำเสียผลิตภัณฑ์จากเนยแข็ง โดยพบว่าที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำต่ำกว่า 8 ชม. ร้อยละของการสร้างกรดและอัตราการสร้างกรดเท่ากับ 57% และ 1.32 กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์-วัน [19]

นอกจากนั้น ในปัจจุบันการสังเคราะห์พลาสติกชีวภาพกลุ่มโพลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (polyhydroxyalkanoates: PHAs) ซึ่งเป็นพลาสติกที่สามารถช่วยสลายได้ทางชีวภาพ และสามารถทดแทนผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สังเคราะห์ขึ้นด้วย

กระบวนการปิโตรเคมี กำลังถูกศึกษาอย่างจริงจังในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม มีงานวิจัยพบว่า กรดไขมันระเหยง่าย (VFAs) ที่ได้จากขั้นตอนการสร้างกรดในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้น สามารถใช้เป็นอาหารของแบคทีเรียที่สังเคราะห์ PHAs ได้ [20] จากสัดส่วนและองค์ประกอบของกรดไขมันระเหยง่ายที่เป็นผลิตภัณฑ์หลัก ได้แก่ กรดอะซิติก (35-46%) กรดบิวทิริก (24-34%) และกรดโพรพิโอนิก (12-19%) ที่ได้จากการศึกษานี้ สอดคล้องกับงานวิจัยบางชิ้นที่ศึกษาชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมันระเหยง่ายจากกระบวนการสร้างกรดของน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ PHAs ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ [21-23] จึงสามารถกล่าวได้ว่า มีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้กระบวนการสร้างกรดของน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ เป็นขั้นตอนหนึ่งในการสังเคราะห์ PHAs ได้ในอนาคต

4. สรุปผลการวิจัย

4.1 ระยะเวลาที่เก็บน้ำเท่ากับ 4 ชั่วโมง อัตราการบรรจุก๊าซอินทรีย์ในช่วง 13.24-13.92 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและค่าพีเอช มีความเหมาะสมต่อการสร้างกรดสำหรับน้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักในถังสร้างกรดแบบซีเอสทีอาร์

4.2 ประสิทธิภาพการสร้างกรดของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเวชสำอางมีค่าสูงสุด โดยมีร้อยละของการสร้างกรดและอัตราการผลิตเท่ากับ 36.5% และ 4.8 กรัมซีไอดี/ลิตร-วัน ตามลำดับ รองลงมาคือน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไอศกรีม (30.2% และ 3.9 กรัมซีไอดี/ลิตร-วัน) และน้ำเสียจากกระบวนการ

ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริม (10.8% และ 1.4 กรัมซีไอดี/ลิตร-วัน)

4.3 ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือกรดอะซิติก โพรพิโอนิก และบิวทิริก

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้จัดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการศึกษาครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chernicharo CL, Van Lier JB, Noyola A, Bressani RT. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 2015; 14(4): 649–679.
- [2] Latif MA, Ghufuran R, Wahid ZA, Ahmad A. Integrated application of upflow anaerobic sludge blanket reactor for the treatment of wastewaters. *Water Research*. 2011; 45(16): 4683-4699.
- [3] Chipasa KB, Medrzycka K. Behavior of lipids in biological wastewater treatment processes. *Journal of Indian Microbiology Biotechnology*. 2006; 33(8): 635–645.
- [4] Vidal G, Carvalho A, Méndez R, Lema JM. Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. *Bioresource Technology*. 2000; 74(3): 231-239.

- [5] Kim SH, Han SK, Shin SH. Two-phase anaerobic treatment system for fat-containing wastewater. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2004; 79(1): 63-71.
- [6] Ke S, Shi Z, Fang HHP. Applications of two-phase anaerobic degradation in industrial wastewater treatment. *International Journal of Environment and Pollution*. 2005; 23(1): 65-80.
- [7] Sponza DT, Demirden P. Treatability of sulfamerazine in sequential upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)/completely stirred tank reactor (CSTR) processes. *Separation and Purification Technology*. 2007; 56(1): 108-117.
- [8] Yu Y. Research on soybean protein wastewater treatment by the integrated two-phase anaerobic reactor. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2015; 22(5): 526-531.
- [9] Vavilin VA, Fernandez B, Palatsi J, Flotats X. Hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic material: An overview. *Waste Management*. 2008; 28(6): 939-951.
- [10] Alkaya E, Demirer GN. Anaerobic acidification of sugar-beet processing wastes: Effect of operational parameters. *Biomass and Bioenergy*. 2011; 35(1): 32-39.
- [11] Rajagopal R, Beline F. Anaerobic hydrolysis and acidification of organic substrates: Determination of anaerobic hydrolytic potential. *Bioresource Technology*. 2011; 102(10): 5653-5658.
- [12] Oktem YA, Ince O, Donnelly T, Sallis P, Ince BK. Determination of optimum operating conditions of an acidification reactor treating a chemical synthesis-based pharmaceutical wastewater. *Process Biochemistry*. 2006; 41(11): 2258-2263.
- [13] Dinopoulou G, Rudd T, Lester JN. Anaerobic acidogenesis of a complex wastewater: The influence of operational parameters on reactor performance. *Biotechnology Bioengineering*. 1988; 31(9): 958-968.
- [14] Demirel B, Yanigun O. Anaerobic acidogenesis of dairy wastewater: the effects of variations in hydraulic retention time with no pH control. *Journal of Chemistry Technology Biotechnology*. 2004; 79: 755-760.
- [15] APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation. Baltimore; 1988.

- [16] Metcalf and Eddy. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse, 4th ed. McGraw-Hill, New York: 2004.
- [17] Guerrero L, Omil F, Mendez R and Lema JM. Anaerobic hydrolysis and acidogenesis of wastewater from food industries with high content of organic solids and protein. *Water Research*. 1999; 33(15): 3281-3290.
- [18] Maharaj I, Elefsiniotis P. The role of HRT and low temperature on the acid-phase anaerobic digestion of municipal and industrial wastewaters. *Bioresource Technology*. 2001; 76(3): 191-197.
- [19] Bengtsson S, Hallquist J, Werker A, Welander T. Acidogenic fermentation of industrial wastewaters: effects of chemostat retention time and pH on volatile fatty acids production. *Biochemistry Engineering*. 2008; 40(3): 492-499.
- [20] Reis MA, Serafim LS, Lemos PC, Ramos AM, Aguiar FR, Van Loosdrecht MC. Production of polyhydroxyalkanoates by mixed microbial cultures. *Bioprocess Biosystem Engineering*. 2003; 25(6): 377-85.
- [21] Albuquerque MG, Eiroa M, Torres C, Nunes BR, Reis MA. Strategies for the development of a side stream process for polyhydroxyalkanoate (PHA) production from sugar cane molasses. *Journal of Biotechnology*. 2007; 130(4): 411-21.
- [22] Bengtsson S, Werker A, Christensson M, Welander T. Production of polyhydroxyalkanoates by activated sludge treating a paper mill wastewater. *Bioresource Technology*. 2008; 99(3): 509-16.
- [23] Rasnits E, Beliavsky M, Tarre S, Green M. PHA based denitrification: Municipal wastewater vs. acetate. *Bioresource Technology*. 2013; 132: 28-37.