

พฤติกรรมของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศลูกผสมในการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพ  
จากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

Characterization of an Anaerobic Baffled- Fixed Film Reactor (ABFFR)  
in Treating and Producing Biogas From Palm oil mill Effluent

วาสนศักดิ์ ลิ้มควรรสุวรรณ<sup>1</sup> ชินพงศ์ วังไน<sup>2</sup> ภาวิณี ชัยประเสริฐ<sup>3</sup>

บทคัดย่อ

ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศลูกผสม (Anaerobic baffled and fixed film reactor, ABFFR) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์และสารแขวนลอยในน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยถังปฏิกรณ์ถูกพัฒนาจากระบบแผ่นกั้นร่วมกับระบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ ซึ่งมีทั้งหมด 4 ห้อง โดยห้องสุดท้ายใส่ตาข่ายพลาสติกเป็นตัวกลาง ถังปฏิกรณ์ ABFFR ถูกป้อนด้วยน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีความเข้มข้นซีโอดีอยู่ที่  $65,120 \pm 1,000$  มิลลิกรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของสารแขวนลอยอยู่ที่  $21,060 \pm 550$  มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีอัตราการป้อนอยู่ที่ 1.2 ลิตรต่อวัน จากการเดินถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศลูกผสมพบว่าประสิทธิภาพรวมของการบำบัดซีโอดีและสารแขวนลอยมากกว่าร้อยละ 90 และ 80 ตามลำดับ และสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 6.9 ลิตรต่อวัน เมื่อพิจารณาห้องหมักแผ่นกั้นสามห้องแรกของถังปฏิกรณ์เกิดการไฮโดรไลซิสสารแขวนลอยและเกิดการผลิตกรดขึ้น โดยพบว่าในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์นั้นสามารถย่อยเซลลูโลสได้ร้อยละ 68, 22 และ 9.8 ของเซลลูโลสที่ถูกย่อยสลายทั้งหมด ตามลำดับ โดยห้องแรกสามารถไฮโดรไลซิสเซลลูโลสได้ดีที่สุด ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในสามห้องแรกนั้นอยู่ในช่วง 4.5 - 5.0 โดยพบกรดไขมันระเหยปริมาณมากในสามห้องแรกที่ 8 - 9 กรัมต่อลิตร ชนิดของกรดที่พบคืออะซิเตท บิวทาเรท และ โพรพิค โอนเนท ห้องสุดท้ายของถังปฏิกรณ์เกิดการผลิตก๊าซมีเทนและปริมาณการสะสมกรดไขมันระเหยได้ต่ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ที่ 7.7 นอกจากนี้พบผลผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนในปริมาณสูงคือ 0.37 - 0.52 และ 0.26 - 0.37 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมซีโอดีละลายน้ำที่ถูกกำจัดตามลำดับ

**คำสำคัญ :** การผลิตกรดอินทรีย์, ห้องถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ, ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศลูกผสม, การไฮโดรไลซิส, การผลิตมีเทน, น้ำเสียน้ำมันปาล์ม

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาเอก, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>2</sup>ปริญญาเอก, สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>3</sup>รองศาสตราจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

## Abstract

The anaerobic baffled-fixed film reactor (ABFFR) in this study was designed for enhancing the biodegradation of high organic matter and suspended solid (SS) in palm oil mill effluent (POME). An ABFFR was developed by a baffled process combined with plastic nets fitted inside the last fourth compartment of reactor. POME containing high concentration of COD ( $65,120 \pm 1,000 \text{ mg L}^{-1}$ ) and SS ( $21,060 \pm 550 \text{ mg L}^{-1}$ ) was semi-continuously upflow fed at  $1.2 \text{ L d}^{-1}$ . During the operation, the overall performance of ABFFR in term of COD and SS removal were 90% and 80%, respectively with methane production of  $6.9 \text{ L d}^{-1}$ . The performance characteristics of the first to third baffle compartment act as hydrolysis and fermentation chamber by hydrolyzing cellulose at 68, 22 and 9.8%, respectively. pH was in acidic range of 4.5 - 5.0. Volatile fatty acid was found approximately  $8-9 \text{ g L}^{-1}$  which acetate was major found and followed by butyrate and propionate in three compartments. The fourth compartment acts as methanogenic chamber with pH of 7.7 and less volatile fatty acids accumulation. High biogas and methane production was found. Biogas and methane yield were 0.37 - 0.52 and 0.26 - 0.37  $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$  soluble COD removed, respectively.

**Keywords:** Acidification, Baffle compartment, Hybrid baffled - fixed film reactor, Hydrolysis, Methanation, Palm oil mill effluent

## 1. บทนำ

ประเทศไทยมีโรงงานในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบจำนวน 58 โรงงาน สามารถผลิตน้ำมันปาล์มดิบได้ประมาณ 1 ล้านตันต่อปี เนื่องมาจากความต้องการใช้น้ำมันปาล์มมีปริมาณมากขึ้นทางด้านอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดน้ำเสียประมาณ 2.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี [1] ปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศไทยนั้นมีการขยายตัวเป็นอย่างมากจากความต้องการด้านพลังงานทดแทน ซึ่งรัฐบาลมีนโยบายในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเพื่อให้สอดคล้องกับภาวะน้ำมันแพงและภาวะโลกร้อนในปัจจุบันไบโอดีเซลจึงเป็นตัวเลือกหนึ่งที่กำหนดให้ใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยรัฐบาลไทยได้ตั้งเป้าไว้ในการส่งเสริมในการผลิตไบโอดีเซลให้ได้ 3 ล้านลิตรต่อปีภายใน พ.ศ. 2554 และเพิ่มเป็น 3.64 และ 4.50 ล้านลิตรใน พ.ศ. 2559 และ 2565 ตามลำดับ [2] จากนโยบายดังกล่าววัตถุประสงค์หลักในการผลิตไบโอดีเซลคือ น้ำมันปาล์มทำให้คาดการณ์ได้ว่าปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มจะเพิ่มขึ้นในอนาคต ที่จะส่งผลให้ปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (Palm oil mill

effluent, POME) เพิ่มขึ้นด้วย ปริมาณน้ำเสียส่วนใหญ่มาจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มในขั้นตอน Sterilizing และ Oil clarification ประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตันของทะลายปาล์มสด [1, 3] นอกจากนั้นคุณสมบัติที่ปล่อยจากโรงงานน้ำมันปาล์มนั้น เป็นน้ำเสียที่มีสีน้ำตาล อุณหภูมิสูง มีสารแขวนลอย และสารอินทรีย์ในปริมาณสูง ในน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรประกอบด้วยสารอินทรีย์บีโอดีประมาณ 10 - 50 กิโลกรัม ซีโอดี 20 - 100 กิโลกรัม สารแขวนลอย 10 - 60 กิโลกรัม น้ำมันและไขมัน 4 - 8 กิโลกรัม และไนโตรเจน 0.2 - 1 กิโลกรัม [1, 4, 5, 6, 7, 8, 9] จากที่กล่าวมาทั้งปริมาณและความสกปรกของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีค่าสูงมาก ซึ่งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ถูกจัดเป็นโรงงานในกลุ่มที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำใน 5 อันดับแรก จากเหตุผลดังกล่าวน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนั้นจึงต้องมีการจัดการและบำบัดน้ำเสียเพื่อไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีหนึ่งที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงคือการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศซึ่งเป็นวิธีที่นอกจากบำบัดน้ำเสียได้ดีแล้วยังสามารถผลิตพลังงาน

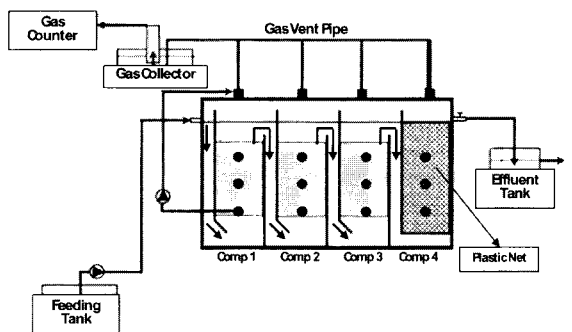
ก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียได้อีกด้วย สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในโรงงาน ทำให้ลดค่าใช้จ่ายและเกิดความคุ้มค่าในการลงทุนในการบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่ใช้ทั่วไปในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีหลายรูปแบบ ได้แก่ Conventional anaerobic lagoons, Anaerobic contact reactor, CSTR, Anaerobic fixed bed และ UASB [8, 10, 11] ถึงแม้ว่าระบบเหล่านี้สามารถทำงานได้ดีในระดับหนึ่ง แต่มักพบปัญหาเกี่ยวกับ Scum formation ด้านบนของถังปฏิกรณ์ ทำให้เกิดการอุดตันในระบบ ถังปฏิกรณ์แบบประสิทธิภาพสูงที่คณะผู้วิจัยได้พยายามวิจัยและพัฒนาเพื่อแก้ปัญหานี้ คือ ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้น ไร้อากาศลูกผสม (Anaerobic baffled-fixed film reactor; ABFFR) ซึ่งระบบนี้มีระยะเวลาเก็บกักของแข็งเป็นเวลานานมากกว่าระบบอื่นๆ โดยภายในถังมีแผ่นกั้น (Baffle) ทำให้เกิดการแบ่งเป็นห้องๆ ภายในถังน้ำเสียที่ไหลผ่านในแต่ละห้องจะถูกบังคับให้ ไหลขึ้นและไหลลงแต่อย่างไรก็ตามถังปฏิกรณ์ชนิดนี้ จุลินทรีย์ในระบบเป็นแบบแขวนลอย (Suspended micro organism) จึงทำให้มีตะกอนบางส่วนหลุดออกไป เพื่อแก้ไขปัญหานี้จึงได้ประยุกต์ระบบที่มีตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ (Attached microorganism) เข้าร่วมในระบบทำให้ได้ระบบที่เป็นลูกผสมระหว่างระบบ Anaerobic baffled reactor ร่วมกับระบบ Anaerobic fixed film reactor หรือเรียกระบบนี้ว่า ABFFR ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบและนำมาศึกษาเพื่อการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (POME) ที่มีปริมาณสารแขวนลอยสูงที่มีองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชและเซลล์โลส เป็นต้น โดยศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ในเรื่องการ บำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนไฮดรอกไซด์และความสามารถในการผลิตก๊าซและมีเทน ตลอดจนศึกษาพฤติกรรมการทำงานของระบบในแต่ละห้องแผ่นกั้นของถังปฏิกรณ์

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 ถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นถังปฏิกรณ์ลูกผสมระหว่าง Anaerobic baffle กับ Fixed-film reactor หรือเรียกว่าถังปฏิกรณ์แผ่นกั้น ไร้อากาศลูกผสม Anaerobic baffled-fixed film reactor (ABFFR) ถังปฏิกรณ์ทำจากอะคริลิกใสมีลักษณะเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้าง 16 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร มีปริมาตรรวมทั้งหมด 28.8 ลิตร ภายในถังปฏิกรณ์ประกอบด้วยแผ่นกั้นเพื่อบังคับทิศทางการไหลของน้ำเสียให้มีลักษณะการไหลขึ้น ไหลลงสลับกันโดยแผ่นกั้นได้แบ่งถังปฏิกรณ์ออกเป็น 4 ห้อง แต่ละห้องมีจุดเก็บตัวอย่าง 3 ตำแหน่งที่ระดับความสูงต่างๆ โดยแต่ละห้องได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนที่บังคับน้ำไหลลงกว้าง 3.75 เซนติเมตร ส่วนที่สองเป็นส่วนที่น้ำไหลขึ้นและขึ้นไปในห้องถัดไปกว้าง 11.25 เซนติเมตร ส่วนที่เป็นของเหลวในแต่ละห้องสูง 25 และที่ด้านบนของแต่ละห้องจะมีท่อนำก๊าซ (Gas vent pipe) นำก๊าซไปยังที่รวบรวมก๊าซชีวภาพ (Gas collector) เพื่อนำไปหาปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพ (Gas counter) ดังแสดงในรูปที่ 1 ในห้องสุดท้ายของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้น ไร้อากาศลูกผสมบรรจุวัสดุตัวกลางเป็นตาข่ายพลาสติก (Plastic net) เพื่อใช้เป็นตัวกลางในการสร้างแผ่นฟิล์มชีวะ (Biofilm)



รูปที่ 1 องค์ประกอบถังปฏิกรณ์แผ่นกั้น ไร้อากาศลูกผสม

ABFFR

## 2.2 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการเดินระบบ

จุลินทรีย์ตั้งต้นในการศึกษานี้ได้นำมาจากตะกอนจุลินทรีย์ในถังกวนผสม (Continuous stirred tank reactor; CSTR) ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม อำเภอท่าชนะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ก่อนการดำเนินการทดลองตะกอนจุลินทรีย์ได้ถูกนำไปวัดค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการเริ่มต้นระบบ ได้แก่ สารแขวนลอย (Suspended solid; SS) ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (Volatile suspended solid; VSS) และกิจกรรมการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์ โดยมีค่าอยู่ที่ 0.24 กรัมซีไอดี-มีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยได้ต่อวัน

## 2.3 น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ในการศึกษารั้งนี้ใช้น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (Palm oil mill effluent; POME) ที่มีกรแยกเอาน้ำมันและไขมันกลับไปใช้ (Grease & oil recovery) ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างมาจากทางตอนใต้ของประเทศไทยที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มอำเภอท่าชนะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี น้ำเสียที่เก็บมาได้ทำการรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในน้ำเสียจนกว่านำมาใช้ทำการทดลอง นำน้ำเสียที่ได้มาหาคุณสมบัติน้ำเสียเบื้องต้นก่อนเริ่มต้นเดินระบบเพื่อใช้ในการคำนวณอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อระบบ โดยสมบัติน้ำเสียเบื้องต้นได้แสดงดังตารางที่ 1

## 2.4 การเดินถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไรรักษาอุณหภูมิ

การเริ่มต้นเดินถังปฏิกรณ์ได้ใช้เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ปริมาณ 350 กรัม ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย ได้ทำการเดินถังปฏิกรณ์โดยทำการป้อนน้ำเสีย upflow เป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง คือ ทำการป้อนน้ำเสีย 4 ครั้งต่อวัน แบ่งออกเป็นช่วงกลางวัน 2 ครั้ง ช่วงกลางคืน 2 ครั้ง โดยมีอัตราการป้อน (Flow Rate) 1.2 ลิตรต่อวัน ทำการเดินถังปฏิกรณ์ที่ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (Hydraulic retention time; HRT) 20 วัน มีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate; OLR) อยู่ในช่วง 3.0 - 3.3 กิโลกรัม ซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ทำการเดินระบบทั้งสิ้น 118 วัน หรือประมาณ 6 รอบ

ตารางที่ 1 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

Parameter	Concentration
pH	4.6 ± 0.1
Alkalinity (mg L <sup>-1</sup> )	1,497 ± 45
VFA (mg L <sup>-1</sup> )	2,740 ± 46
TCOD (mg L <sup>-1</sup> )	65,117 ± 1003
SCOD (mg L <sup>-1</sup> )	35,533 ± 503
TS (mg L <sup>-1</sup> )	49,333 ± 5132
TDS (mg L <sup>-1</sup> )	15,833 ± 764
SS (mg L <sup>-1</sup> )	21,062 ± 555
Oil&Grease (mg L <sup>-1</sup> )	5,328 ± 530
TKN (mg L <sup>-1</sup> )	731 ± 27

ของระยะเวลาเก็บน้ำเสีย นอกจากนั้นจะทำการหมุนเวียนน้ำในถังปฏิกรณ์ห้องที่ 1 เพื่อเพิ่มอัตราการการกวนผสมโดยทำการหมุนเวียนน้ำเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง ทำการหมุนเวียนน้ำ 4 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 15 นาที โดยมีอัตราการหมุนเวียน 3.5 ลิตรต่อนาที

## 2.5 การติดตามเสถียรภาพและประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพรวมนั้นได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียขาเข้าและน้ำเสียขาออกแต่ละห้องแผ่นกั้นเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid; VFA) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity; ALK) ปริมาณซีไอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand; TCOD) ปริมาณซีไอดีละลายน้ำได้ (Soluble Chemical Oxygen Demand; SCOD) สารแขวนลอย (Suspended solid; SS) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) และการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas

production) โดยทุกค่าพารามิเตอร์นำมาวิเคราะห์ ด้วยวิธี การมาตรฐานของ Standard methods for examination water and wastewater [12] ปริมาณมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ทำการวัดด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี TCD - Shimadzu โมเดล GC9A นอกจากนั้นในวันที่ 20, 40, 60, 80 และ 100 ของการเดินถังปฏิกรณ์จะทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละห้อง ของถังปฏิกรณ์มาทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ปริมาณซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายน้ำได้ สารแขวนลอย การผลิตก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (Biogas composition) ชนิดของกรดไขมันระเหยได้ (VFA spectrum) ทำการวัดด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี FID-Shimadzu โมเดล GC14B และปริมาณไฟเบอร์และองค์ประกอบ (Fiber analysis and composition) ตามวิธีของ Van soest, 1963 [13] ด้วยเครื่องสกัดไฟเบอร์ของ Gerhardt ประเทศเยอรมัน โมเดล Fibertherm12

### 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### 3.1 เสถียรภาพและประสิทธิภาพรวมของถังปฏิกรณ์

##### แผ่นกั้นไร้อากาศ

การเดินถังปฏิกรณ์ต่อเนื่องเป็นเวลา 118 วัน ด้วย น้ำเสีย POME ซึ่งเป็นการเดินระบบเกือบครบ 6 รอบของ ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย ได้ทำการตรวจสอบพารามิเตอร์ที่ ควบคุมสถานะแวดล้อมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบหรือเสถียรภาพในการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพจาก น้ำเสีย ได้แก่ ค่า pH, Alkalinity และ VFA ซึ่งค่าดังกล่าวจะมี ผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ [14, 15] การศึกษาครั้งนี้ได้ตรวจติดตามในส่วนที่เป็น น้ำเสียขาออก (Effluent) จากถังปฏิกรณ์ตลอดระยะเวลา เดินระบบเพื่อดูเสถียรภาพรวมของระบบ จากการเดินถัง ปฏิกรณ์เป็นเวลา 118 วัน แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า การเดิน ระบบค่อนข้างมีเสถียรภาพเมื่อพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ ต่างๆ ในน้ำเสียที่ออกจากระบบคือ pH อยู่ในช่วง 7.88 - 8.47 ค่า Alkalinity อยู่ในช่วง 4,250 - 5,294 มิลลิกรัมต่อลิตรและ ค่า VFA อยู่ในช่วง 332 - 1,568 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใกล้เคียง

กับค่ามาตรฐานในการเดินระบบบำบัดไร้อากาศ คือ ค่า pH อยู่ในช่วง 6.6 - 7.6 Alkalinity อยู่ในช่วง 1,000 - 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ VFA อยู่ในช่วง 2,000 มิลลิกรัมต่อ ลิตร [16, 17] แต่เนื่องจากระบบมีค่า Alkanity สูงส่งผลให้ ค่า pH ค่อนข้างสูงด้วยนั้น แสดงให้เห็นว่าระบบมีความ เสถียรสูงมากในการต้านการลดลงของความเป็นกรดเป็นด่าง (Buffering) ถึงแม้ว่าระบบจะมีค่า Alkalinity สูงก็ตามแต่ เมื่อทำการคำนวณค่า VFA/ALK ของระบบ พบว่ามีค่าอยู่ ในช่วง 0.08 - 0.38 แสดงให้เห็นว่าระบบมีเสถียรภาพที่ดี โดยที่ค่าของ VFA/ALK ไม่เกิน 0.4 [16, 17, 18]

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพและเสถียรภาพรวมของถังปฏิกรณ์ ABFFR

Parameter	1st HRT (1-20 d)	2nd HRT (21-40 d)	3rd HRT (41-60 d)	4th HRT (61-80 d)	5th HRT (81-100 d)	6th HRT (101-118 d)
pH	8.15	8.47	8.14	8.23	7.88	7.92
Alkalinity ( $\text{mg L}^{-1}$ )	4,424	4,370	5,294	4,250	4,328	3,978
VFA ( $\text{mg L}^{-1}$ )	528	332	700	796	1,568	1,530
VFA/ALK	0.12	0.08	0.13	0.19	0.36	0.38
TCOD removal (%)	94.00	93.00	91.00	87.00	88.00	90.00
SS removal (%)	83.00	82.00	76.00	81.00	80.00	78.00
Oil and Grease removal (%)	99.00	99.00	98.00	98.00	99.00	98.00
Biogas production ( $\text{Ld}^{-1}$ )	11.80	11.70	12.50	13.20	11.00	11.10
Methane production ( $\text{Ld}^{-1}$ )	8.20	7.80	7.90	6.80	6.40	6.30
$\text{CH}_4$ (%)	69.49	66.67	63.20	51.52	58.18	56.76
$\text{CO}_2$ (%)	18.00	28.00	29.00	37.00	37.00	32.00

เมื่อระบบมีเสถียรภาพรวมที่ดี และเมื่อทำการ ตรวจสอบประสิทธิภาพรวมในการบำบัดสารอินทรีย์ของ ถังปฏิกรณ์ ABFFR ในส่วนของปริมาณสารอินทรีย์รูปของ ซีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ในน้ำเสียขาออก จากถังปฏิกรณ์เปรียบเทียบกับน้ำเสียขาเข้าถังปฏิกรณ์ ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ 118 วัน เมื่อเดินระบบจนเข้า สู่สภาวะคงที่ (Steady state) ในช่วงการเดินระบบ 41 - 118 วัน (3rd, 4th, และ 5th HRT) พบค่าซีโอดีในน้ำเสียขาออก เฉลี่ย  $7,663 \pm 859$  มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพ รวมในการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ  $89 \pm 1.83$  ส่วน

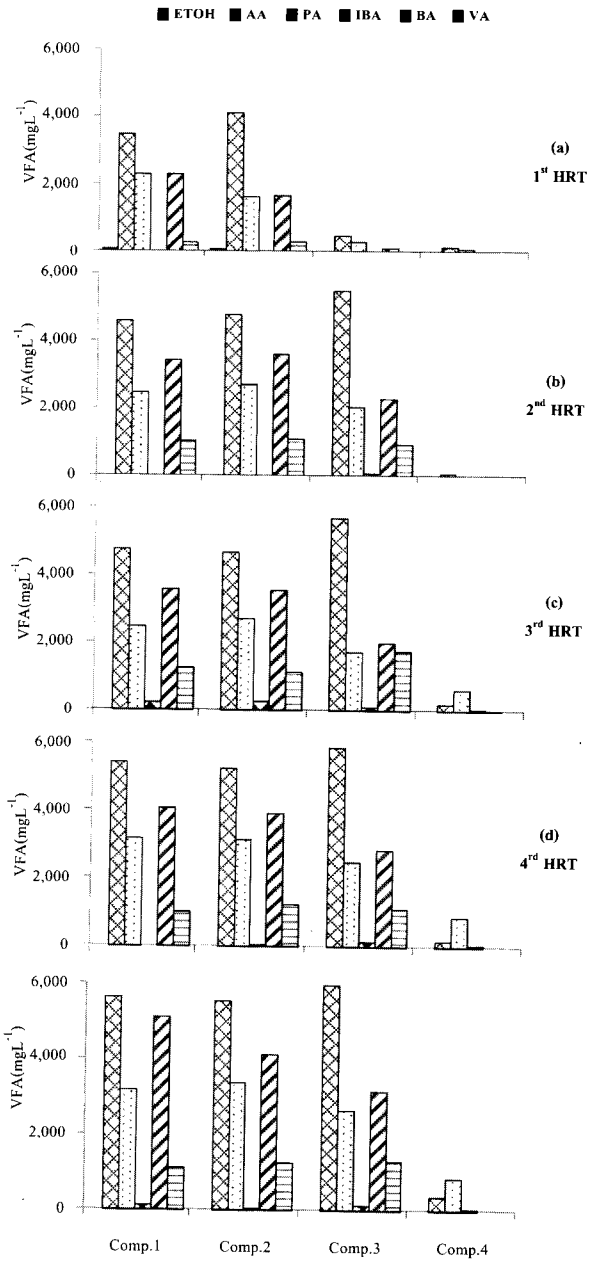
ประสิทธิภาพรวมในการบำบัดสารแขวนลอย และน้ำมัน และไขมันของถังปฏิกรณ์นี้ พบว่าสามารถบำบัดได้ร้อยละ  $79 \pm 2.22$  และ  $98 \pm 0.5$  ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยน้ำมันและไขมันค่อนข้างดี โดยในน้ำเสียออกจากถังปฏิกรณ์มีปริมาณสารแขวนลอยและน้ำมันและไขมันเหลืออยู่ที่  $7,550 \pm 1,140$  และ  $63 \pm 2.15$  มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงในการกำจัดสารอินทรีย์โดยเฉพาะสารแขวนลอยและน้ำมันและไขมัน และเมื่อเปรียบเทียบกับ การศึกษาการบำบัดน้ำมันปลาด้วยถังปฏิกรณ์ชนิดอื่นๆ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยและน้ำมัน และไขมันอยู่ที่ร้อยละ 72 และ 75 ตามลำดับ [19] นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์นี้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนรวมโดยเฉลี่ย  $12 \pm 0.87$  และ  $6.9 \pm 0.73$  ลิตรต่อวันตามลำดับ โดยที่ก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบเฉลี่ยร้อยละ  $57.4 \pm 4.81$  และ  $34 \pm 3.95$  ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

### 3.2 พฤติกรรมการทำงานของแต่ละห้องแผ่นกั้นในถังปฏิกรณ์

#### 3.2.1 สภาวะแวดล้อมในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอินทรีย์ทั้งหมดในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์ที่แต่ละช่วงเวลา (ตารางที่ 3) พบว่าในช่วงแรกของการเดินระบบ  $1^{\text{st}}$  HRT (1-20 วัน) นั้น มีการสะสมปริมาณกรดในห้องที่ 1 สูงถึง 7,182 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ห้องที่ 2 ห้องที่ 3 และห้องที่ 4 พบมีการสะสมปริมาณของกรดอินทรีย์น้อยกว่าคือ 4,584, 1,470 และ 674 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเดินระบบต่อเนื่องจนถึง  $2^{\text{nd}}$  HRT (21-40 วัน) มีการสะสมของกรดเกิดขึ้นในห้องที่ 1 และ 2 คือ 7,129 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 7,386 มิลลิกรัมต่อลิตร และในห้องที่ 3 เริ่มมีการสะสมของกรดเพิ่มมากขึ้นเป็น 7,050 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในห้องที่ 1, 2 และ 3 ลดลง

เหลือ 4.6, 4.55 และ 5.0 ตามลำดับ ในขณะที่ห้องที่ 4 ยังไม่เกิดการสะสมของกรด และเมื่อเดินถึงปฏิกรณ์ไปจนครบ  $5^{\text{th}}$  HRT แล้วพบว่าการสะสมกรดในแต่ละห้องมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง โดยที่ค่า Alkalinity ใน 2 ห้องแรกมีค่าต่ำกว่าห้องที่ 3 และ 4 เมื่อพิจารณาชนิดกรดไขมันระเหยได้ในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์นั้น (รูปที่ 2) พบว่า ปริมาณกรดที่พบมากที่สุดคือ กรดอะซิติก ตามด้วยบิวทริกและโพรพิกไออนิก ในช่วงการเดินระบบ 20 วันแรกหรือ  $1^{\text{st}}$  HRT พบว่า ปริมาณเฉลี่ยกรดอะซิติกมีการสะสมสูงสุดในห้องที่ 1 และ 2 ของถังปฏิกรณ์คือ 3,460 และ 4,060 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่ในห้องที่ 3 และ 4 การสะสมปริมาณกรดลดลงเนื่องมาจากจุลินทรีย์ห้องที่ 3 และ 4 สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยได้แต่เมื่อทำการเดินถึงปฏิกรณ์ไปถึง 5 รอบของ HRT ยังพบกรดอะซิติกสูงที่สุด รองลงมาคือบิวทริกและโพรพิกไออนิกในห้องที่ 1 และ 2 ของถังปฏิกรณ์ โดยกรดบิวทริกและโพรพิกไออนิก มีค่าเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 60 ของปริมาณกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด การสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในห้องที่ 3 ส่วนใหญ่พบกรดอะซิติกในสัดส่วนที่สูง เมื่อเทียบกับที่พบในห้องที่ 1 และ 2 ของถังปฏิกรณ์ ในขณะที่สัดส่วนของกรดอินทรีย์ที่มีสายยาวกว่า (กรดบิวทริกและโพรพิกไออนิก) มีสัดส่วนลดลง จากแนวโน้มดังกล่าวเป็นการบ่งบอกว่า กรดบิวทริกและโพรพิกไออนิกเป็นกรดตัวกลาง (intermediate) ของกระบวนการเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก (Acetogenesis) ในห้องที่ 3 ของถังปฏิกรณ์ ที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนในห้องที่ 4 ของถังปฏิกรณ์ ซึ่งการสะสมปริมาณและชนิดกรดอินทรีย์ในแต่ละห้องจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 2 กรดไขมันระเหยง่ายชนิดต่างๆ ที่พบในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์ ABFFR

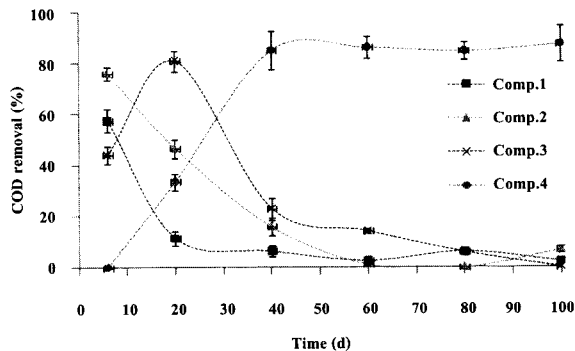
ตารางที่ 3 pH, VFA และ ALK ในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์ ABFFR

Compartment	Parameter	1 HRT	2 HRT	3 HRT	4 HRT	5 HRT
		(1-20 d)	(21-40 d)	(41-60 d)	(61-80 d)	(81-100 d)
1st	pH	4.60	4.60	4.56	4.50	4.23
	ALK (mg L <sup>-1</sup> )	2,466	2,571	2,472	2,657	2,845
	VFA (mg L <sup>-1</sup> )	7,182	7,129	7,194	8,025	8,670
	VFA/ALK	2.91	2.77	2.91	3.02	3.05
2nd	pH	4.50	4.55	4.50	4.50	4.40
	ALK (mg L <sup>-1</sup> )	3,491	2,647	2,544	2,446	2,657
	VFA (mg L <sup>-1</sup> )	4,584	7,386	8,594	8,926	8,921
	VFA/ALK	1.31	2.79	3.38	3.65	3.36
3rd	pH	7.10	5.00	5.00	4.60	5.00
	ALK (mg L <sup>-1</sup> )	4,724	4,876	4,508	4,358	4,982
	VFA (mg L <sup>-1</sup> )	1,470	7,050	7,468	8,685	8,746
	VFA/ALK	0.31	1.45	1.66	1.99	1.76
4th	pH	7.70	7.70	7.80	7.50	7.20
	ALK (mg L <sup>-1</sup> )	4,541	4,678	5,220	4,682	4,570
	VFA (mg L <sup>-1</sup> )	674	884	2,220	2,186	2,460
	VFA/ALK	0.15	0.19	0.43	0.47	0.54

### 3.2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์

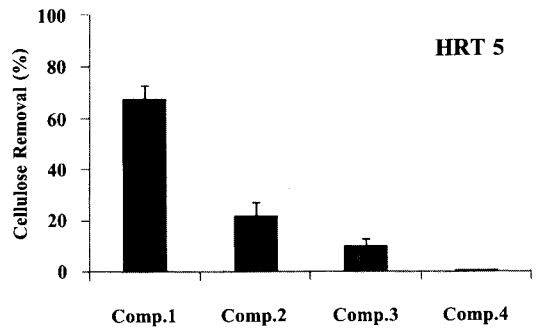
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์น้ำเสีย (รูปที่ 3) พบว่าในวันที่ 1-7 ประสิทธิภาพของการบำบัดซีโอดีให้ห้องที่ 1 และ 2 เท่ากับร้อยละ 57.5 และ 76 ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีในห้องที่ 3 และ 4 เท่ากับร้อยละ 44 และ 1 และเมื่อเดินถังปฏิกรณ์ไปจนครบ 1 รอบของ HRT พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีในห้องที่ 1 และ 2 ลดลงเหลือร้อยละ 11.36 และ 46 ตามลำดับ แต่พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีในห้อง 3 และ 4 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 81 และ 34 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัด

ชีโอดีในห้องต่างๆ ของถังปฏิกรณ์ไม่คงที่ และเมื่อทำการเดินระบบไปจนครบ 40 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีในห้องที่ 1, 2 และ 3 ลดลงเหลือร้อยละ 6.27, 16 และ 23 ตามลำดับ ในขณะที่ห้องที่ 4 ประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 84



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์ ABFFR

เมื่อนำสารแขวนลอยมาวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสในน้ำขาเข้าของถังปฏิกรณ์มีค่า 71.5 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้งสารแขวนลอย เมื่อดำเนินระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) รอบที่ 3 ถึงรอบที่ 5 HRT พบเซลลูโลสในแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์มีปริมาณลดลงแตกต่างกันของแต่ละห้องถังปฏิกรณ์ โดยพบว่าในรอบที่ 5 ของ HRT มีการย่อยสลายเซลลูโลสในห้องที่ 1, 2, 3 และ 4 แตกต่างกัน โดยมีค่าการย่อยสลายอยู่ที่ร้อยละ 68, 22, 9.8 และ 0.2 ของเซลลูโลสที่ถูกย่อยสลายทั้งหมด ตามลำดับ จากผลการศึกษาจะเห็นว่าประสิทธิภาพในการย่อยสลายเซลลูโลสมีประสิทธิภาพสูงสุดในห้องที่ 1 (รูปที่ 4) ขณะที่การผลิตกรดอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายเซลลูโลสโดยกลุ่มจุลินทรีย์ย่อยสลาย (Hydrolytic bacteria) และผลิตกรด (Fermentative bacteria) มีค่าสูงในห้องของถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ส่วนห้องที่ 4 มีการสะสมของกรดอินทรีย์ต่ำ (ตารางที่ 3) เนื่องจากการถูกใช้ไปเพื่อผลิตก๊าซมีเทนโดยกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตก๊าซ (Methanogenic bacteria) ดังผลจะอธิบายในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการย่อยสลายเซลลูโลสแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์ ABFFR

### 3.2.3 ก๊าซชีวภาพและมีเทน

#### 3.2.3.1 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

ในการเดินถังปฏิกรณ์ครบ 5 รอบของ HRT นั้น องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพในแต่ละห้องถังปฏิกรณ์มีองค์ประกอบแตกต่างกันตามระยะเวลาของการเดินถังปฏิกรณ์ (ตารางที่ 4) โดยช่วง 20 วันแรกของการเดินถังปฏิกรณ์พบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพในห้องที่ 1 ของถังปฏิกรณ์ องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 70 ในขณะที่องค์ประกอบของก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 10 แต่พบว่าในห้องที่ 2, 3 และ 4 ของถังปฏิกรณ์มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40, 60 และ 45 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาการเดิน

ตารางที่ 4 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพแต่ละห้องของถังปฏิกรณ์ ABFFR

Operation Time	parameter	1st	2nd	3rd	4th
		Compartment	Compartment	Compartment	Compartment
1 HRT	%CH <sub>4</sub>	10.86 ± 4.61	41.54 ± 20.97	57.03 ± 5.58	45.87 ± 4.94
	%CO <sub>2</sub>	73.88 ± 17.08	41.47 ± 19.33	13.04 ± 6.37	9.86 ± 6.67
2 HRT	%CH <sub>4</sub>	1.08 ± 0.64	6.12 ± 3.95	47.48 ± 18.11	67.45 ± 2.80
	%CO <sub>2</sub>	75.26 ± 4.02	75.50 ± 5.61	30.50 ± 6.85	18.92 ± 2.27
3 HRT	%CH <sub>4</sub>	0.16 ± 0.02	0.46 ± 0.24	28.51 ± 5.25	68.18 ± 2.51
	%CO <sub>2</sub>	78.90 ± 0.91	77.69 ± 1.49	50.22 ± 7.72	21.32 ± 1.14
4 HRT	%CH <sub>4</sub>	0.06 ± 0.02	0.04 ± 0.01	26.54 ± 2.77	70.25 ± 1.28
	%CO <sub>2</sub>	77.60 ± 4.86	74.55 ± 6.61	61.38 ± 1.80	22.36 ± 3.03
5 HRT	%CH <sub>4</sub>	0.16 ± 0.08	0.07 ± 0.01	21.53 ± 1.21	71.17 ± 1.78
	%CO <sub>2</sub>	79.23 ± 4.51	76.45 ± 8.26	59.55 ± 1.29	19.54 ± 1.19

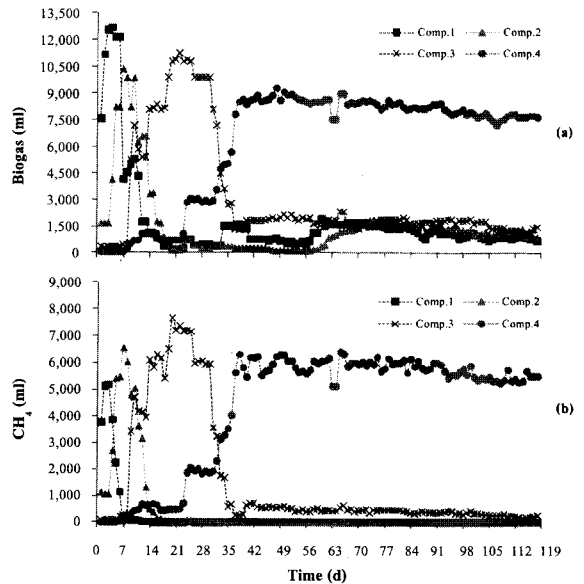


ถึงปฏิกรณ์ที่รอบ 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup> และ 5<sup>th</sup> HRT นั้น พบว่าองค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในห้องที่ 2 และ 3 เป็นร้อยละ 76 และ 60 แต่ในห้องที่ 4 ของถึงปฏิกรณ์นั้น มีองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 71

### 3.2.3.2 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ

เมื่อพิจารณาการผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนในแต่ละห้องของถึงปฏิกรณ์พบว่าในช่วง 1-40 วันของการเดินถึงปฏิกรณ์พบปริมาณก๊าซชีวภาพและมีเทนส่วนใหญ่ผลิตจากห้องที่ 2 และ 3 ในขณะที่การผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนในห้องที่ 4 นั้นมีปริมาณน้อย ส่วนห้องที่ 1 พบใน 7 วันแรก แต่หลังจากทำการเดินถึงปฏิกรณ์ผ่าน 40 วันจนถึง 118 วันพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพและมีเทนในห้องที่ 1, 2 และ 3 ลดลงเกือบเป็นศูนย์ เนื่องจากมีการสะสมปริมาณกรดในห้องที่ 1, 2 และ 3 ประกอบกับเมื่อพิจารณาค่า VFA/ALK จะเห็นว่าไม่เหมาะสมมากต่อการผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทน ในขณะที่การผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนส่วนใหญ่ผลิตมาจากห้องที่ 4 ของถึงปฏิกรณ์โดยมีค่าเฉลี่ยของการผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนที่ 7.6 และ 5.5 ลิตรต่อวัน (รูปที่ 5) เมื่อคิดผลิตผล (yield) ของก๊าซชีวภาพและมีเทนในห้องที่ 4 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.37 - 0.52 และ 0.26 - 0.37 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมชีโอดีละลายน้ำที่ถูกบำบัด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงค่าทางทฤษฎีคือ 0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมชีโอดีถูกกำจัดและ 0.35 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมชีโอดีถูกกำจัด [20] ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการใช้กรดอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเกือบหมดจึงทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์น้อยมากในห้องที่ 4 และพบว่าค่าน้อยกว่า 0.4 ซึ่งมีสถานะเหมาะสมมากในการผลิตก๊าซชีวภาพ

เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากข้างต้นในการย่อยสลายชีโอดี สารแขวนลอยและเซลล์ulos ตลอดจนปริมาณและกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้น รวมถึงปริมาณก๊าซชีวภาพและมีเทนที่ผลิตได้ในแต่ละห้องแผ่นกัน จะเห็นได้ว่ากระบวนการย่อยสลายในแต่ละห้องของถึงปฏิกรณ์มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 5 การผลิตก๊าซชีวภาพ (a) และมีเทน (b) ในแต่ละห้องของถึงปฏิกรณ์ ABFFR

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าในห้องที่ 1 ของถึงปฏิกรณ์ทำหน้าที่เป็นถึงปฏิกรณ์การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis) เป็นหลัก ตามด้วยถึงผลิตกรดอินทรีย์ (Fermentation) ที่ทำหน้าที่หลักในห้องที่ 2 และ 3 ของถึงปฏิกรณ์ โดยที่ห้องที่ 3 พบสัดส่วนของกรดอะซิติกเป็นหลัก ซึ่งเป็นสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ผลิตมีเทน โดยที่ห้องที่ 4 ที่มีตาข่ายพลาสติกเป็นตัวกลางสำหรับสร้างฟิล์มชีวมีลักษณะเป็นส่วนผลิตก๊าซมีเทน (Methanation) ซึ่งประสิทธิภาพรวมของถึงปฏิกรณ์ ABFFR สามารถบำบัดชีโอดีได้ร้อยละ 90 และผลิตก๊าซชีวภาพได้ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรน้ำเสีย เมื่อเทียบกับการศึกษาอื่นที่รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ใกล้เคียงกันที่ 3.5 กรัมต่อลิตรต่อวัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพียง 4 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรน้ำเสีย [21]

## 4. สรุป

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีสาร

แวนลอยสูงด้วยถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศผสม (ABFFR) ที่มี 4 ห้องนั้น ABFFR มีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีและสารแวนลอยมากกว่าร้อยละ 90 และ 85 ตามลำดับ โดยห้องที่ 1 ของถังปฏิกรณ์สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีร้อยละ 68 และเกิดกรดอินทรีย์สะสมมากในห้องที่ 2 และ 3 โดยห้องที่ 3 พบกรดอะซิติกในสัดส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับกรดบิวทริก และโพรพิกโอนิก และห้องที่ 4 สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้สูง พฤติกรรมการทำงานของแต่ละห้องมีหน้าที่ต่างกันคือ ห้องที่ 1 ทำหน้าที่เป็นถังย่อยสลายสารแวนลอยที่เป็นเซลลูโลสเป็นหลัก (Hydrolysis chamber) ตามด้วยถังผลิตกรดอินทรีย์ในห้องที่ 2 (Fermentative/Acidogenic chamber) และห้องที่ 3 เสมือนถังผลิตกรดอะซิติก (Acetogenic chamber) ส่วนห้องสุดท้ายที่เป็นส่วนของฟิล์มชีวจะเป็นถังผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic chamber)

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย ประเทศไทย ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาและศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการ และใช้ประโยชน์จากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร (Excellent Center of Waste Utilization and Management; EcoWaste) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Chaiprasert, P., Nopharatana, A., Papatung, N., Kullavanijaya, P., Songkasiri, W., and Loapitinun, A. 2006. Final report: **An Overview of Status and Potential of Biogas Production from BioWaste in Thailand**, submitted to Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi (in Thai).
- [2] Ministry of Energy and Ministry of Agriculture and Cooperative .2005. **Development strategy and Promotion of Biodiesel Utilization from Palm oil**, [2005, January 18].
- [3] Jetsada Chotwattanasak. 2004. **"Treatment of Palm Oil Mill Effluent by High Rate Anaerobic Digester"**. Thesis of Master Degree of Science in Environmental Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok.
- [4] Bureau of Water Technology and Industrial Pollution Management.1997.**Environmental Management of Palm Oil Mill Industry**. Bangkok.
- [5] Ichroj, S. 2004. "CSTR Biogas Technology." **The Expertise Meeting in Biomass Technology: Biogas System and Waste Management in Animal Farms**, 27 February.
- [6] Puetpaiboon U. and Chotwattanasak J. 2005. **"An Anaerobic Treatment of Palm Oil Mill Wastewater under Mesophilic Condition"** [Online] Available:[http://web.eng.psu.ac.th/enghome/web\\_Guideline/Treatment%20Web/Puetpaiboon\\_U.pdf](http://web.eng.psu.ac.th/enghome/web_Guideline/Treatment%20Web/Puetpaiboon_U.pdf) (retrieved June 19th, 2005)
- [7] โสภณ บุญมั่น, สมชาย ดารรัตน์, ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์ และสุรภี เบญจปัญญาวงศ์. 2549. "ผลของการเติมโพลีเมอร์ต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบยูเอเอสบี." **การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ**. ครั้งที่ 5, วันที่ 8-10 มีนาคม 2549.
- [8] จุฑามาศ โคตรพันธ์ และสาโรช บุญยกิจสมบัติ. 2550. "สมรรถนะของระบบยูเอเอสบีที่บำบัดน้ำเสียโรงสกัดน้ำมันปาล์ม." **การประชุมวิชาการ**

- สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ครั้งที่ 6, วันที่ 7-9 มีนาคม 2550.
- [9] ชลกาญจน์ ชาติดวงเพชร, กาญจนา ครอบธรรมชาติ, สมชาย ดารารัตน์, ณัฐวุฒิ บุญเยี่ยม และ ชัชชาย แจ่มใส. 2550. "ประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกซีเมนต์ซึ่งแบคทีเรียแอกเตอร์ (เอเอสบีอาร์) ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม." การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ครั้งที่ 6, วันที่ 7-9 มีนาคม 2550.
- [10] Shahrakbah, Yacob., Yoshihito, Shirai., Mohd, Ali Hassan., Minato, Wakisaka., Sunderaj, Subash. 2006. "Start-up operation of semi-commercial closed anaerobic digester for palm oil mill effluent treatment ." **Process Biochemistry**. Vol.41, pp.962-964.
- [11] G.D. Najafpour., A.A.L. Zinatizadeh., A.R. Mohamed., M. Hasnain Isa., H. Nasrollahzadeh. 2006. "High-rate anaerobic digestion of palm oil mill effluent in an upflow anaerobic sludge-fixed film bioreactor." **Process Biochemistry**. Vol.41, pp.370-379.
- [12] APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), and WEF (Water Environment Federation). 1999. **Standard methods for the examination of water and wastewater (20th edition)**. Washington DC: USA.
- [13] Van Soest, P. J. 1963. "Use of detergents in the analysis of fibrous feeds II. A rapid method for the determination of fiber and lignin." **J. Assoc. offic. Anat.Chem.** M829.
- [14] Ren, N.Q., Zhao, D., Chen, X.L., Li, J.Z., 2002. "Mechanism and controlling strategy of the production and accumulation of propionic acid for anaerobic wastewater treatment." **Science in China (Series B)**. Vol.45, No.3, pp.319-327.
- [15] Mensah, K.A., Forster, C.F., 2003. "An examination of the effects of detergents on anaerobic digestion." **Bioresource Technology**. Vol.90, pp.133-138.
- [16] มั่นสิน ตันจุลเวศน์. 2525. การออกแบบขั้นกระบวนการของระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยา. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [17] สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย. 2540. คำกำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์.
- [18] สัตต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. ระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : ท้อป.
- [19] ธนาวัฒน์ รักกมล, สุเมธ ไชยประพัทธ์, อุดมผล พิชนไพบูลย์. 2549. "ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอสบีอาร์ แบบเทอร์โมฟิลิก และมีโซฟิลิก ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม" การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ครั้งที่ 5, วันที่ 8-10 มีนาคม 2549.
- [20] Richard E. Speece. 1996. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Nashville : Archae Press.
- [21] ธนัสินี สมบูรณ์, กาญจนา นาอะพินรุ, กาญจนา ครอบธรรมชาติ, สมชายดารารัตน์. 2550. "ประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไมเกรตติ้งแบลงค์แอกเตอร์ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม." การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ครั้งที่ 6, วันที่ 7-9 มีนาคม 2550.