บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม

น้ำเสีย (Palm Oil Mill Wastewater; POMW) ซึ่งถูกรวบรวมมาจากบ่อแรกของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัทตรังน้ำมันปาล์ม จำกัด โดยคุณลักษณะเฉพาะของน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ดังได้สรุปไว้ในตารางที่ 8 น้ำเสียซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มประกอบด้วย ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) อยู่ในช่วงค่าระหว่าง 72,000-95,000 มิลลิกรัม/ลิตร บีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) อยู่ในช่วงค่าระหว่าง 18,000-22,000 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งทั้งหมด (Total Solids; TS) อยู่ในช่วงค่าระหว่าง 12,000-35,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณเถ้า (Ash) อยู่ในช่วงค่าระหว่าง 2,700-4,500 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS) อยู่ในช่วงค่าระหว่าง 7,000-12,000 มิลลิกรัม/ลิตร ไขมันและน้ำมัน (Grease & Oil) อยู่ในช่วงค่าระหว่าง 6,000-10,600 มิลลิกรัม/ลิตร ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) เท่ากับ 1,078 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอสเฟตทั้งหมด (Total Phosphate; TP) เท่ากับ 472.5 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าพีเอช (pH) เท่ากับ 4.35 สำหรับในการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยทั่วไปซึ่งจะต้องการปริมาณของสารอาหารในอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ ซีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส เท่ากับ 300 : 5 : 1 (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543; ภาวิณี ชัยประเสริฐ, 2548) ในขณะที่อัตราส่วนปริมาณของสารอาหารที่เหมาะสมต่อการสร้างผลผลิตมีเทนโดยควรมีค่า เท่ากับ 200 : 5 : 1 (Somayaji, 1992) และจากการตรวจสอบคุณสมบัติน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ ในการทดลองนี้โดยพบว่ามีอัตราส่วนของค่าซีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส เท่ากับ 201 : 2.3 : 1 ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานการทดลองก่อนหน้านี้โดย Najfpour และคณะ (2005) (250 : 5 : 1) และ Borja และคณะ (1996) (278 : 3.32 : 1)ในขณะที่รายงานที่นำเสนอโดย Prof. C. F. Seyfried อ้างโดย เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2543) ซึ่งกล่าวว่าปริมาณของไนโตรเจนที่มีอยู่ในตัวของแบคทีเรียแอนแอโรบิกโดยมีอยู่ประมาณ 80-120 กรัม/กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ หรือ 55-85 กรัม/กิโลกรัมซีโอดี (ของจุลินทรีย์) ในขณะที่ปริมาณของฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในตัวของแบคทีเรียโดยมีอยู่ประมาณ 10-25 กรัม/กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ หรือ 7-18 กรัม/กิโลกรัมซีโอดี (ของจุลินทรีย์) เนื่องจากกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยจุลินทรีย์จะมีกิจกรรมในการสังเคราะห์เซลล์ที่ต่ำทำให้ความต้องการใช้ปริมาณสารอาหารของ

จุลินทรีย์จึงน้อยตามไปด้วย ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยระบบบำบัดแบบไร้อากาศจึงสามารถดำเนินงานได้โดยไม่ต้องทำการเติมสารอาหารเพิ่มลงไปในระบบ (McCarty and Mosey, 1991)

สำหรับน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าน้ำเสียนี้มีอัตราส่วนระหว่างค่าซีโอดีต่อบีโอดี เท่ากับ 4.32 ซึ่งสูงกว่ารายงานการทดลองก่อนหน้านี้โดย Ng และคณะ (1985) และ Najafpour และคณะ (2005) ที่รายงานว่าอัตราส่วนระหว่างค่าซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำเสียที่ได้รับจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งพบว่ามีค่า เท่ากับ 2.40 และ 2.14 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดีมีความแตกต่างกันโดยในการทดลองนี้ซึ่งใช้วิธีที่ไม่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการวิเคราะห์ซึ่งมีผลทำให้ค่าบีโอดีที่ได้รับจึงมีค่าน้อยกว่าอีกวิธีที่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการวิเคราะห์ สำหรับอัตราส่วนระหว่างค่าซีโอดีต่อบีโอดีที่สูงนี้โดยแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อยสลายเป็นจำนวนมาก (มั่นสิน ตันฑุลเวศน์, 2538; สุวิทย์ สุวรรณโณ, 2544) ดังนั้นการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจึงมีความเหมาะสมกว่าการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียว เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบจะต้องใช้ระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียที่ยาวนานขึ้น

ตารางที่ 8 ลักษณะของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลอง

Table 8. The characteristic of Palm Oil Mill Wastewater (POMW) for used.

พารามิเตอร์	น้ำเสีย (ไม่ผ่านการเตรียมเบื้องต้น)	น้ำเสีย (ผ่านการเตรียมเบื้องต้น)
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	18,000-22,000	14,000-18,000
ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	72,000-95,000	68,000-74,000
ซีโอดีละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	55,000-72,000	50,000-68,000
ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	12,500-35,000	11,500-14,000
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	7,000-12,000	6,000-7,500
เถ้า (มิลลิกรัม/ลิตร)	2,700-4,500	2,500-2,700
ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	6,100-10,600	5,500-6,100
ไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	1,078	980
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	472.5	432.5
PO^{3-}H-P (มิลลิกรัม/ลิตร)	147.0	125.0
พีเอช	4.35	4.36

ผลที่ได้รับจากการตรวจสอบคุณสมบัติน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยพบว่าน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยสารอินทรีย์ซึ่งอยู่ในรูปของแข็งทั้งหมดของแข็งแขวนลอย ไขมันและน้ำมัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของน้ำเสียโดยมีอยู่ในปริมาณที่สูง สำหรับปัญหาสำคัญที่มักเกิดขึ้นกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่มีไขมันและน้ำมันปนเปื้อน คือ การดูดซับอนุภาคของไขมันที่อยู่รอบๆ โดยชั้นไขมัน (Light lipid layer) ของจุลินทรีย์ซึ่งมีผลทำให้จุลินทรีย์เกิดการล่องลอยและหลุดออกไปจากระบบ นอกจากนี้ความเป็นพิษที่รุนแรงของกรดไขมันสายยาว (Long-Chain Fatty Acid; LCFAs) โดยเฉพาะพวกกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งมีผลกระทบต่อทั้งมีทาโนจินิคและอะซิโตจินิคแบคทีเรีย (Saatci *et al*., 2003; Roy *et al*., 1985; Anselidaki and Ahrins, 1992; Hancki *et al*., 1981) และจากรายงานผลการทดลองของ Lalman และ David (2001) โดยพบว่าไขมันและน้ำมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญโดยมีผลทำให้เกิดการยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระบบเนื่องจากการย่อยสลายของไขมันและน้ำมันภายใต้สภาวะไร้อากาศโดยทำให้เกิดกรดไขมันสายยาวขึ้นซึ่งเป็นผลผลิตที่สำคัญก่อนที่จะถูกย่อยสลายต่อไปอย่างช้า ๆ ภายใต้สภาวะไร้อากาศจึงมีผลทำให้ระบบเกิดการสะสมของผลผลิตกรดไขมันสายยาวขึ้นซึ่งทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียมีค่าลดลงจนเป็นสาเหตุทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวได้ นอกจากนี้น้ำมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียซึ่งสามารถเคลือบบริเวณผิวของเซลล์จุลินทรีย์ทำให้ไม่สามารถสัมผัสกับสารอาหารจนทำให้จุลินทรีย์เกิดภาวะขาดแคลนสารอาหารขึ้นซึ่งมีผลทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์มีค่าลดลง สำหรับปัญหานี้โดยมักเกิดขึ้นกับระบบบำบัดน้ำเสียที่ดำเนินงานภายใต้อุณหภูมิสูง ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียที่ดำเนินงานภายใต้อุณหภูมิต่ำโดยพบว่ามักก่อให้เกิดปัญหาขึ้นซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการสะสมของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble organic fraction) ภายในแกลนูล หรือ ชั้นตะกอนของจุลินทรีย์ (Sludge blanket) จนนำไปสู่การเกิดความไม่มีเสถียรภาพ (Destabilization) หรือเกิดการยับยั้งการสร้างแกลนูล (Hulshoff Pol and Lettinga, 1986; Borja *et al*., 1996) นอกจากนี้ของแข็งแขวนลอยที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียโดยพบว่าเป็นสาเหตุของการเกิดฟองและชั้นตะกอนลอย (Scum layers) ขึ้นที่ผิวน้ำ (Halalsheh *et al*., 2005; Pagilla *et al*., 1997) จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ดังนั้นก่อนที่จะนำน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาใช้ในการทดลองจึงจำเป็นต้องทำการเตรียมน้ำเสียก่อนเพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ สำหรับลักษณะเฉพาะของน้ำเสียที่ผ่านการเตรียมเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 8 น้ำเสียที่ผ่านการเตรียมเบื้องต้นนี้โดยพบว่ามีค่าซีโอดีอยู่ในช่วงค่าระหว่าง 68,000-74,000 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงค่าระหว่าง 11,500-14,000 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งละลายน้ำอยู่ในช่วงค่าระหว่าง 50,000-68,000

มิลลิกรัม/ลิตร ไขมันและน้ำมันอยู่ในช่วงค่าระหว่าง 5,500-6,100 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับผลที่ได้รับจากการเตรียมน้ำเสียเบื้องต้นโดยอาศัยวิธีทางกายภาพซึ่งพบว่าสามารถลดค่าซีโอดีของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ไขมันและน้ำมัน ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียได้สูงสุดประมาณร้อยละ 22.11 60.0 37.5 และ 42.45 ตามลำดับ

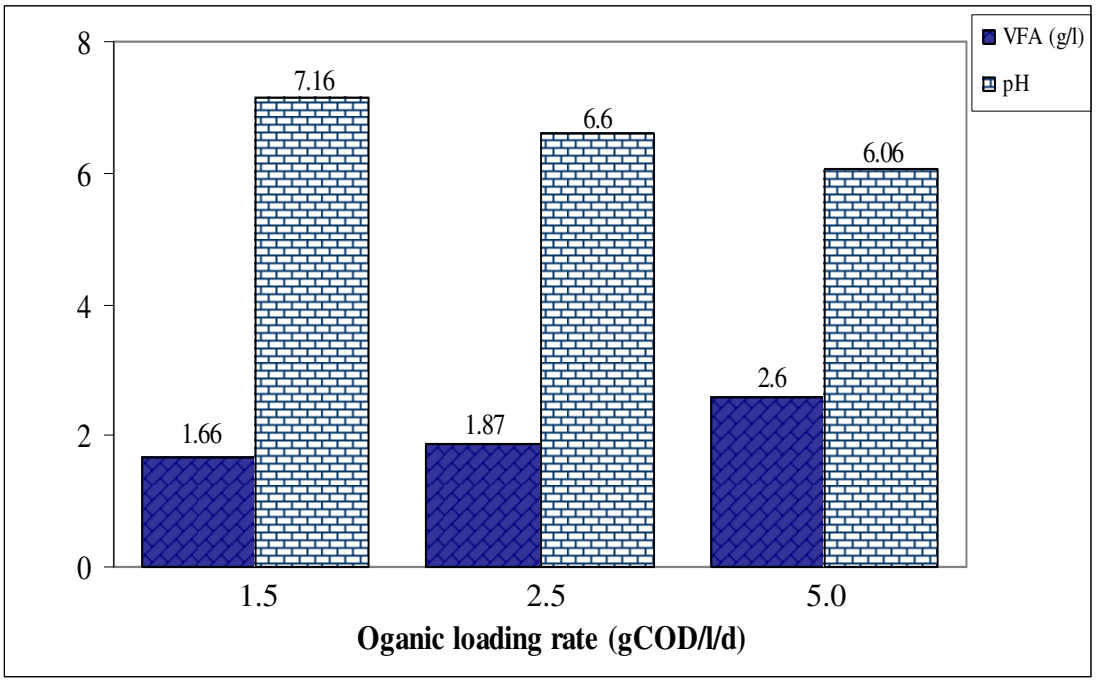
2. การศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายของถังผลิตกรด (UASB) ในระบบแบบสองขั้นตอน

2.1. ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายของถังผลิตกรด (UASB) ในช่วงระหว่างการเริ่มต้นระบบ (Start-up)

ในช่วงระหว่างการเริ่มต้นระบบของถังผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (ถังปฏิกรณ์ UASB) ซึ่งในการทดลองโดยระบบจะดำเนินงานภายใต้อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 เดือน โดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการเตรียมเบื้องต้นมาแล้ว จากนั้นทำการเจือจางน้ำเสียดังกล่าวนี้ให้มีค่าซีโอดีอยู่ในช่วงค่าระหว่าง 15,000-50,000 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำเสียที่จะป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ในช่วงเริ่มต้นระบบนี้โดยจะต้องทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้มีค่า เท่ากับ 6.0 ด้วยปูนขาวและทำการรักษาสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของระบบโดยควบคุมให้อยู่ในช่วงค่าระหว่าง 2,500 - 4,000 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนต/ลิตร (Borja *et al*., 1996) สำหรับน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์นี้โดยทำให้ความเข้มข้นของน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้นในลักษณะต่อเนื่องแบบเป็นขั้นตอนโดยการลดอัตราการเจือจางลงซึ่งมีผลทำให้อัตราการป้อนสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจาก 1.5 ถึง 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ในขณะที่ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบโดยคงไว้ที่ 3.3 วัน

สำหรับผลที่ได้รับจากการดำเนินงานในช่วงระหว่างการเริ่มต้นระบบของถังผลิตกรดโดยสามารถสังเกตเห็นปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกผลิตซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบ โดยปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่ได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของระบบโดยมีค่า เท่ากับ 1.66 1.87 และ 2.6 กรัม/ลิตร (ภาพที่ 9) ซึ่งได้รับเมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.5 2.5 และ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกสร้างขึ้นในช่วงเริ่มต้นระบบของถังผลิตกรดโดยพบว่ามีค่าสูงสุด เท่ากับ 4.0 กรัม/ลิตร (ข้อมูลไม่ได้แสดง) ซึ่งได้รับเมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน สำหรับปริมาณของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่เพิ่มสูงขึ้นนี้โดยพบว่ามีผลทำให้ค่าพีเอช

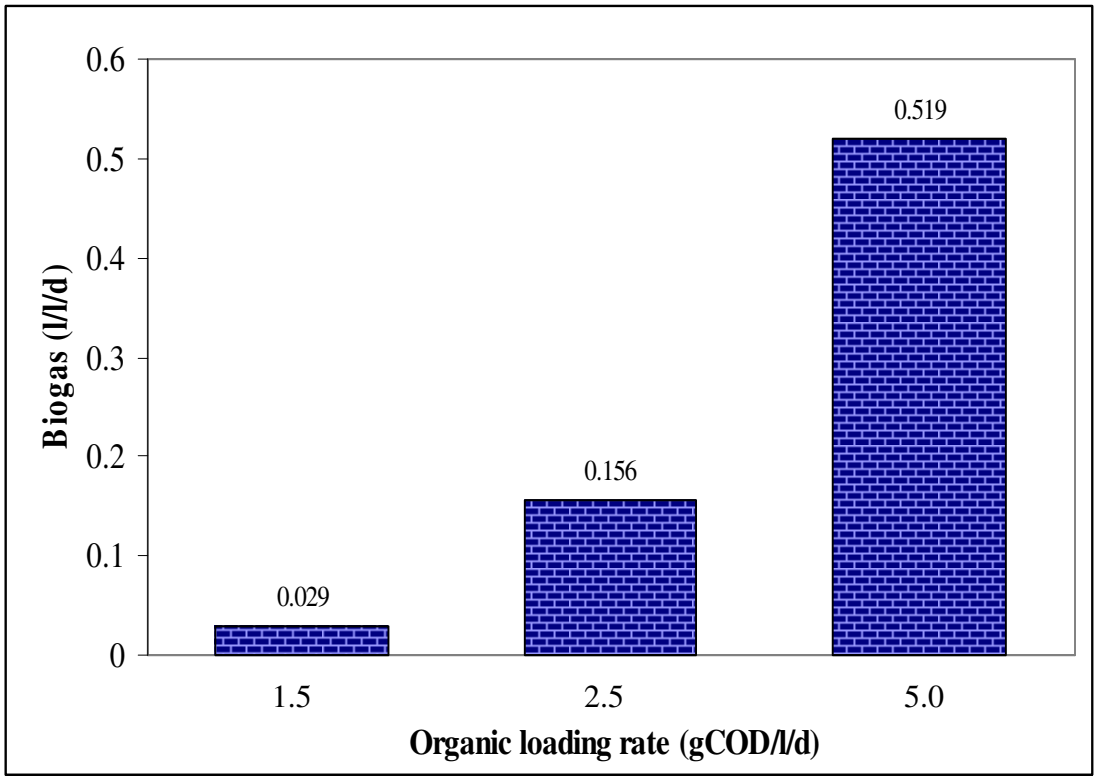
ของน้ำเสียที่อยู่ภายในถังปฏิกรณ์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปซึ่งมีแนวโน้มที่ลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 7.16 6.60 และ 6.06 (ภาพที่ 9) ซึ่งได้รับเมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.5 2.5 และ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ



ภาพที่ 9 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายและค่าพีเอชของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการเริ่มต้นระบบ

Figure 9. The effect of organic loading rate on volatile fatty acid production and pH changed in acidogenic reactor for start-up period.

ในขณะที่ปริมาณของผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด (Total biogas) ที่ถูกผลิตขึ้นในช่วงเริ่มต้นระบบของถังผลิตกรดนี้โดยพบว่าปริมาณของก๊าซชีวภาพที่ถูกผลิตขึ้นซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบโดยมีค่า เท่ากับ 0.029 0.156 และ 0.519 ลิตร/ลิตรถังหมัก/วัน (ภาพที่ 10) ซึ่งได้รับเมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่าเท่ากับ 1.5 2.5 และ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณของผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ถูกผลิตขึ้นโดยมีค่าสูงสุด เท่ากับ 5.98 ลิตร/วัน (ข้อมูลไม่ได้แสดง) ซึ่งได้รับเมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน นอกจากนี้ปริมาณของผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ถูกผลิตขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณของสารอาหารที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบสอดคล้องกับรายงานที่มีก่อนหน้านี้ (Parawira *et al.*, 2005; Ann *et al.*, 2004)

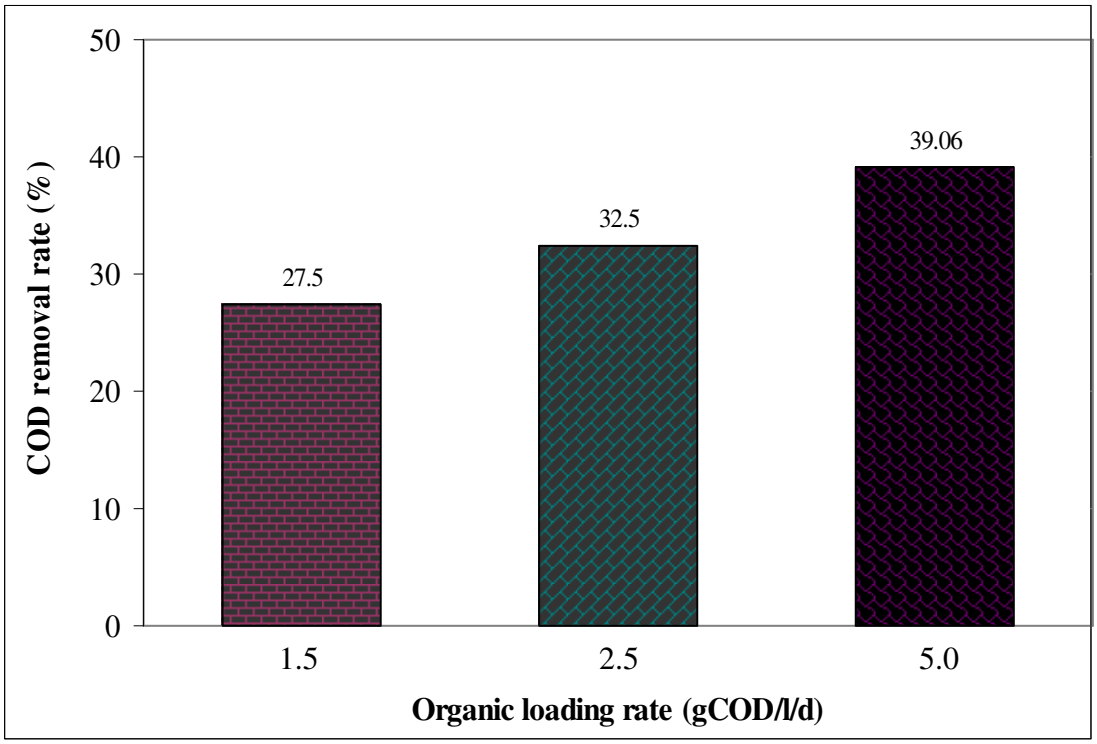


ภาพที่ 10 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อปริมาณของผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ถูกสร้างขึ้นในถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการเริ่มต้นระบบ

Figure 10. The effect of organic loading rate on biogas production in acidogenic reactor at start-up period.

สำหรับผลที่ได้รับจากการทดลองนี้ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์สามารถมีกิจกรรมในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อสร้างเป็นผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพดังเห็นได้จากปริมาณของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่เพิ่มสูงขึ้นในขณะที่ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังผลิตกรดในช่วงเริ่มต้นระบบนี้โดยพบว่ามีค่า เท่ากับ ร้อยละ 27.5 32.5 และ 39.06 (ภาพที่ 11) ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของระบบโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.5 2.5 และ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียในถังผลิตกรดโดยมีค่าที่ต่ำ เนื่องจากผลที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียโดยทำให้เกิดการสร้างเป็นผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายขึ้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้โดยเป็นเพียงการเปลี่ยนรูปของสารเท่านั้นไม่ได้เป็นการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากผลผลิตของกรดไขมันระเหยง่าย จำนวน 1 กรัม ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของค่าซีโอดีได้ เท่ากับ 1.4 กรัมซีโอดี (Halalsheh *et al*., 2005) ดังนั้นการย่อยสลาย

ของสารอินทรีย์เพื่อสร้างเป็นผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายโดยอะซิโตจินิคแบคทีเรียจึงไม่ได้เป็นการช่วยลดค่าซีโอดีของน้ำเสียแต่จะเป็นการเพิ่มภาระของสารอินทรีย์ให้กับระบบได้หากมีการสะสมของผลผลิตกรดที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายนี้



ภาพที่ 11 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการเริ่มต้นระบบ

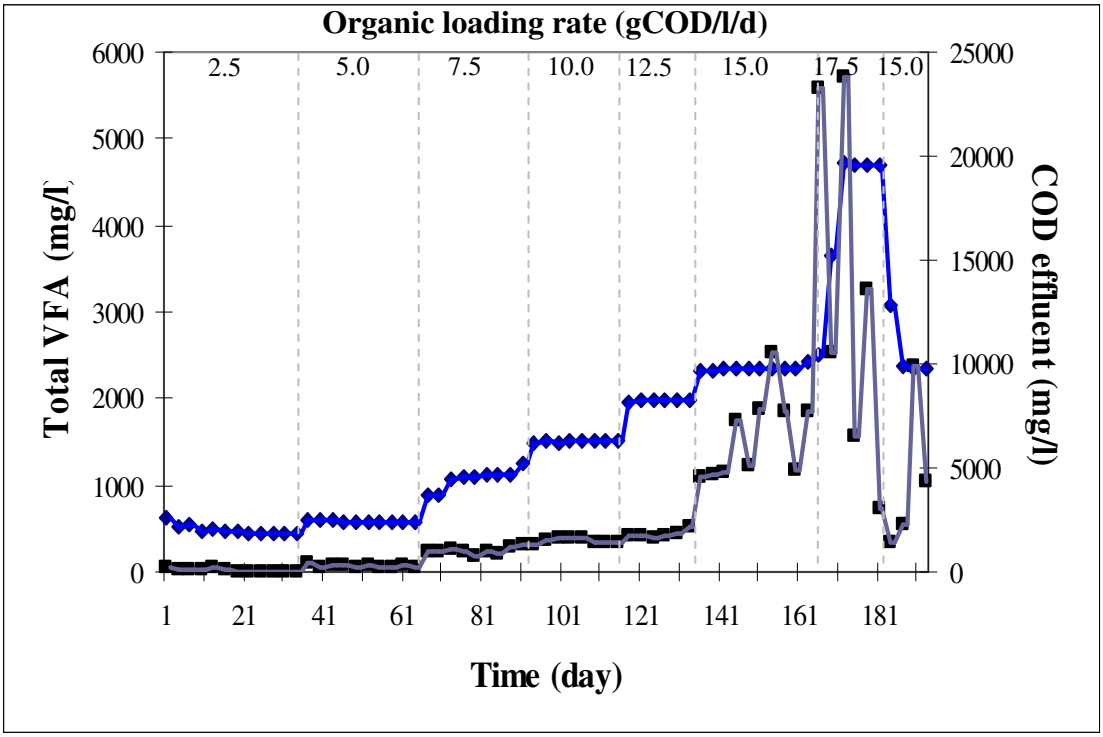
Figure 11. The effect of organic loading rate on COD removal efficiency in acidogenic reactor for start-up period.

2.2. ผลของการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของถังผลิตกรด (UASB) แบบขั้นตอนเดียว ในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

สำหรับการทดลองในช่วงระหว่างการดำเนินงานของถังผลิตกรด (ถังปฏิกรณ์ UASB) นี้ ซึ่งในการดำเนินงานโดยจะใช้น้ำเสียที่ผ่านการเตรียมเบื้องต้นมาแล้ว จากนั้นทำการเจือจางน้ำเสียดังกล่าวให้มีค่าซีโอดีประมาณ 50,000 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำเสียที่จะป้อนเข้าสู่ถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลองนี้โดยจะไม่มีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนนำไปใช้งานและในการดำเนินงานโดยจะทำการควบคุมอัตราการป้อนสารอินทรีย์เริ่มต้นที่นำเข้าสู่ระบบให้มีค่า เท่ากับ 2.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน จากนั้นทำการทดลองจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัวซึ่งสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของน้ำเสียซึ่งมีค่าคงที่ก่อน จากนั้นจึงค่อย ๆ ทำการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นแบบเป็นขั้นตอน คือ 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 และ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ (Borja *et al*., 1996) สำหรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นนี้โดยมีผลทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บกักน้ำเสียของระบบลดลง โดยมีค่า เท่ากับ 20.0 10.0 6.67 5.0 4.0 3.33 และ 2.86 วัน ตามลำดับ

ผลของการทดลองที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังผลิตกรดในช่วงนี้ของระบบโดยพบว่าปริมาณของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดที่ถูกสร้างขึ้นซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบ (ภาพที่ 12) สอดคล้องกับรายงานการทดลองที่มีก่อนหน้านี้โดย Bouallagui และคณะ (2004) ที่ได้ดำเนินงานโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอนในการย่อยสลายของเสียที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ สำหรับปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดและกรดอะซิติกที่ได้รับจากการทดลองในช่วงนี้ โดยพบว่ามีค่าสูงสุด เท่ากับ 5.70 และ 4.93 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานด้วยอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ เท่ากับ 2.86 วัน) ก่อนที่ปริมาณของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดจะลดลงอย่างฉับพลัน (ภาพที่ 12) ซึ่งเป็นผลมาจากปรากฏการที่จุลินทรีย์ถูกชะออกไปจากระบบ (Wash out) เนื่องจากอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบมีปริมาณมากเกินกว่าความสามารถของระบบที่รับได้ สำหรับปริมาณของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดที่ได้รับจากการทดลองในช่วงระหว่างการดำเนินงานของระบบภายใต้สถานะคงตัวโดยมีค่า เท่ากับ 0.02 0.07 0.23 0.35 0.44 1.53 และ 3.0 กรัมซีโอดี/ลิตร ซึ่งได้รับเมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 และ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน

ตามลำดับ ปริมาณของผลผลิตกรดอะซิติกที่ได้รับจากการทดลองนี้โดยพบว่ามีค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองของ Borja และคณะ (1996) ซึ่งได้ดำเนินงานโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB แบบสองขั้นตอนที่ต่อกันแบบอนุกรมสำหรับใช้ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม สำหรับในการดำเนินงานของถังผลิตกรดโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 16.6 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบเท่ากับ 0.9 วัน) ซึ่งรายงานว่าระบบสามารถให้ผลผลิตของกรดอะซิติกโดยมีค่าสูงสุด เท่ากับ 4.1 กรัม/ลิตรในขณะที่การทดลองนี้ให้ผลผลิตของกรดอะซิติก เท่ากับ 4.93 กรัมต่อลิตร โดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ เท่ากับ 2.86 วัน)



ภาพที่ 12 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกผลิตขึ้นในถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

(◆) COD effluent (■) Total VFA

Figure 12. The effect of organic loading rate on volatile fatty acid production in acidogenic reactor at experimental operation period.

(◆) COD effluent (■) Total VFA

สำหรับผลของการทดลองที่ได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของถังผลิตกรด โดยพบว่าการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นซึ่งมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตของกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดที่ได้รับโดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เท่ากับ 6.88 62.78 226.50 359.11 440.18 1,733.35 และ 3,733.20 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นยังมีผลทำให้ปริมาณของผลผลิตกรดอะซิติกที่ได้รับโดยมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน คือ 0 12.66 25.95 100.02 242.06 503.37 และ 1,508.90 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของระบบโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 และ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร /วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 9) และเมื่อนำข้อมูลที่ได้รับมาทำการเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตของกรดอะซิติกต่อปริมาณผลผลิตของกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดที่ได้รับจากการทดลองนี้โดยพบว่ามีค่าประมาณร้อยละ 55.0 แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งอยู่ในรูปที่ซับซ้อนเพื่อสร้างเป็นกรดไขมันระเหยง่ายสายสั้น (กรดอะซิติก) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับผลที่ได้รับจากการทดลองนี้พบว่าสอดคล้องกับรายงานการทดลองก่อนหน้านี้ที่ดำเนินงานโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB สำหรับเป็นถังผลิตกรดในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งรายงานว่าในการดำเนินงานโดยสามารถให้ผลผลิตของกรดอะซิติกที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดโดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 45 ถึง 60 (Borja *et al*., 1996) ในขณะที่ปริมาณของผลผลิตกรดโพรพิโอนิคที่ได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของถังผลิตกรดนี้พบว่ามีค่า เท่ากับ 0 0 4.08 47.49 183.60 106.50 และ 1,140.30 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 และ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 9) สำหรับปริมาณของกรดโพรพิโอนิคที่ได้รับจากการทดลองนี้มีค่าที่ต่ำเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณของผลผลิตกรดอะซิติกที่ถูกสร้างขึ้นในช่วงเดียวกันแสดงให้เห็นว่าปริมาณของกรดโพรพิโอนิคที่ได้รับนี้โดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบที่ร้ายแรงต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ เนื่องจากปริมาณของกรดโพรพิโอนิคที่สามารถทำอันตรายต่อจุลินทรีย์ในระบบพบว่าจะต้องมีความเข้มข้นสูงกว่า 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร (Borja *et al*., 1996) ในขณะที่สัดส่วนระหว่างปริมาณของกรดโพรพิโอนิคและกรดอะซิติก (Propionic acid / Acetic acid; P/A) ที่ได้รับจากการดำเนินงานของการทดลองภายใต้สถานะสมดุลของถังผลิตกรดนี้พบว่ามีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.76 เท่า สอดคล้องกับรายงานการทดลองที่นำเสนอโดย Hill และ Holmberg (1988) ที่รายงานว่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณผลผลิตของกรดโพรพิโอนิคต่อกรดอะซิติกที่ได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะสมดุลของระบบโดยควรมีค่าน้อยกว่า 1.4 เท่า

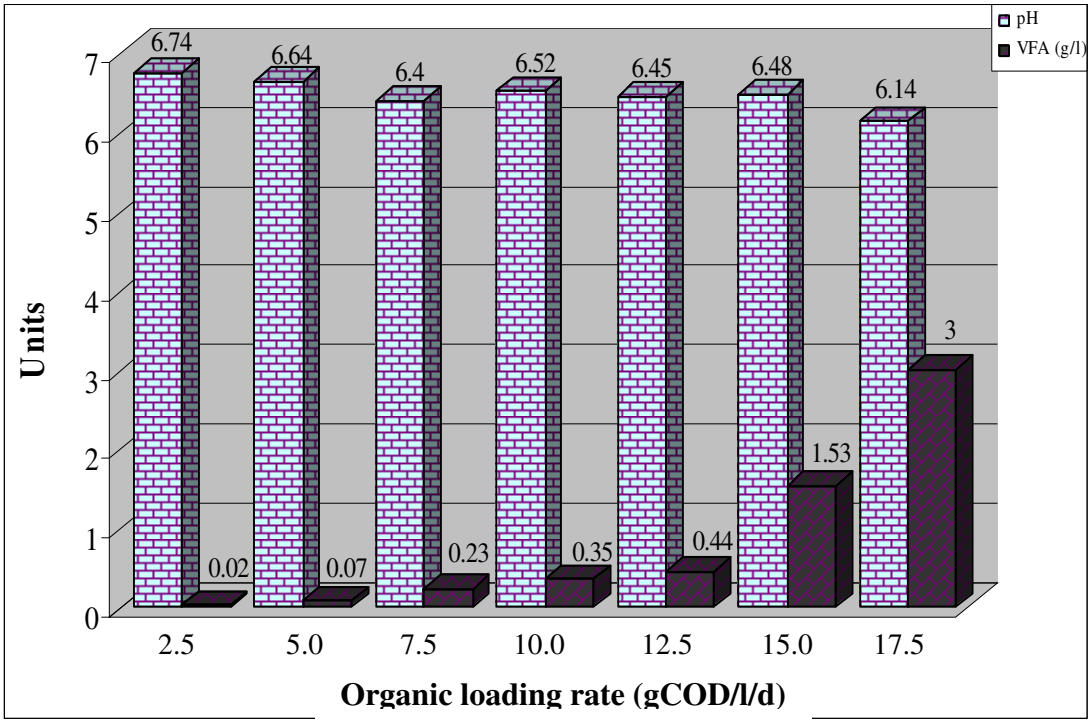
ตารางที่ 9 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์*ต่าง ๆ ในถังผลิตกรดที่ได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของระบบ

Table 9. Data show the effect of organic loading rate on parameter changed in acidogenic reactor under steady-state system.

พารามิเตอร์	อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน)						
	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5
ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย(วัน)	20.0	10.0	6.67	5.0	4.0	3.33	2.86
พีเอช	6.71	6.63	6.32	6.52	6.47	6.43	6.13
กรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	6.88	62.78	226.5	359.11	440.18	1,733.35	3,733.2
กรดอะซิติก(มิลลิกรัม/ลิตร)	0	12.66	25.95	100.02	242.06	503.37	1,508.9
กรดโพรพิโอนิค(มิลลิกรัม/ลิตร)	0	0	4.08	47.49	183.6	106.5	1140.3
ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี (ร้อยละ)	95.8	95.2	91.3	87.8	83.5	80.5	63.7
ประสิทธิภาพในการลดของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (ร้อยละ)	86.58	83.2	70.27	59.97	45.50	37.61	1.16
ประสิทธิภาพในการลดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (ร้อยละ)	72.53	86.65	75.65	67.83	56.72	49.48	20.93
อัตราการผลิตมีเทน (ล.มีเทน/ก.ซีโอดีที่ถูกใช้ไป)	0.012	0.031	0.04	0.061	0.063	0.058	0.013
การย่อยสลายทั้งหมด(ร้อยละ)	37.43	38.09	41.0	43.2	45.72	47.67	59.35
อะซิโตจินิซีส (ร้อยละ)	33.72	33.52	32.61	31.58	30.42	33.06	32.25
มีทาโนจินิซีส (ร้อยละ)	33.7	33.34	31.98	30.58	29.24	28.2	22.04

* ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้รับภายใต้สถานะคงตัว เป็นเวลา 5 วัน

สำหรับปริมาณของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงระหว่างการดำเนินงานของถังผลิตกรดนี้พบว่ามีผลทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยโดยมีค่าเท่ากับ 6.7 6.64 6.40 6.52 6.45 6.48 และ 6.14 ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของระบบโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 และ 15.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 13) สำหรับผลที่ได้รับจากการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการดำเนินงานของถังผลิตกรดนี้พบว่าระบบมีความสามารถในการควบคุมสภาพความเป็นบัฟเฟอร์ (Buffer capacity) ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากปริมาณของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกผลิตขึ้นซึ่งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากแต่กลับมีผลทำให้ค่าพีเอชของระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



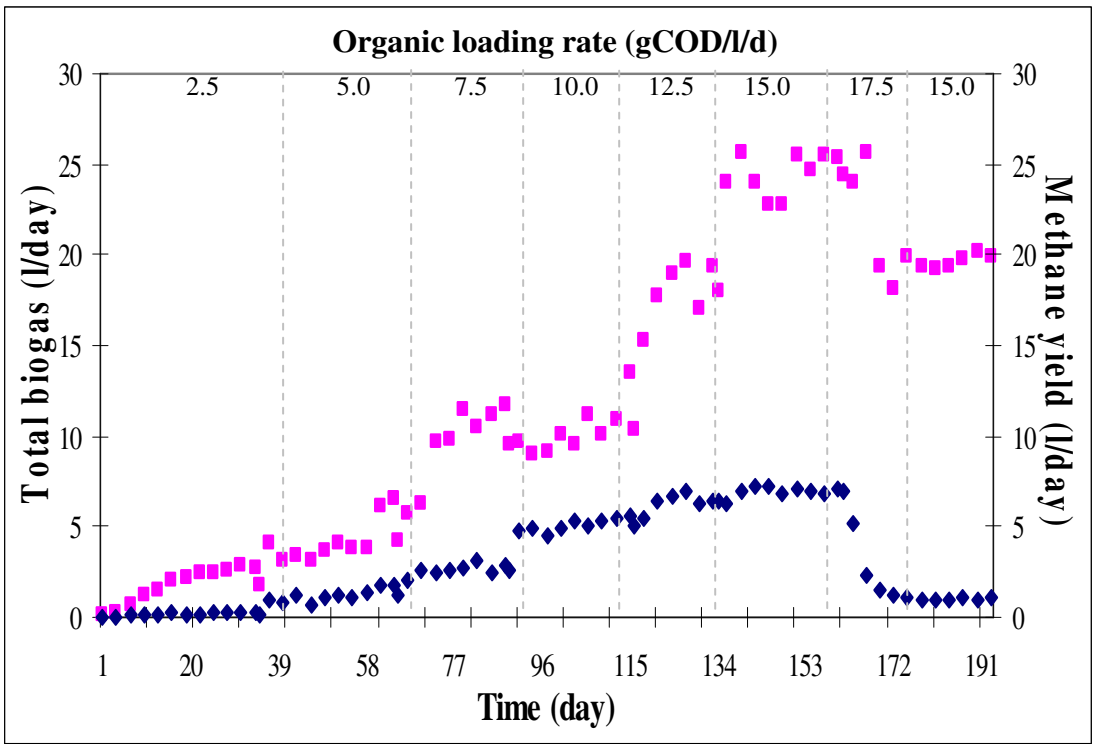
ภาพที่ 13 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

Figure 13. The effect of organic loading rate on pH changed in acidogenic reactor at experimental operation period.

สำหรับผลที่ได้รับจากการทดลองนี้โดยพบว่าสอดคล้องกับรายงานการทดลองโดย Kisaalita และคณะ (1987) ซึ่งรายงานว่าจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในถังผลิตกรดสามารถทำให้ระบบเกิดสภาพความเป็นบัฟเฟอร์ขึ้นได้เองถึงแม้ว่าจะไม่มีการควบคุมค่าพีเอชของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำเสียในระบบโดยพบว่าจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมภายในถังปฏิกรณ์และธรรมชาติของน้ำเสียที่นำมาใช้งาน โดยผลของการดำเนินงานที่ได้รับจากการทดลองนี้พบว่าเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เท่ากับ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน โดยมีผลทำให้ระบบเกิดสภาพไม่เสถียรขึ้นทำให้เกิดการสะสมของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายขึ้นในระบบเป็นจำนวนมากมีผลทำให้ความสามารถในการควบคุมสภาพความเป็นบัฟเฟอร์ของระบบลดลงจึงมีผลทำให้ค่าพีเอชของเกิดการเปลี่ยนแปลงไปโดยมีค่า เท่ากับ 6.14 สำหรับผลที่ได้รับนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อระบบดำเนินงานด้วยอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน โดยมีผลทำให้ระบบเกิดการสูญเสียสภาพความเป็นบัฟเฟอร์ขึ้นซึ่งหากไม่มีการแก้ไขโดยการลดอัตราการป้อนสารอินทรีย์ลงทำให้ระบบเกิดสภาวะที่เสียสมดุลจนนำไปสู่การเกิดความล้มเหลวของระบบได้

นอกจากนี้การเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นยังมีผลต่อการสร้างผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดโดยปริมาณของผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้รับจากการดำเนินงานนี้ซึ่งจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของสารอาหารที่จุลินทรีย์ในระบบได้รับ สำหรับปริมาณของผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดและก๊าซมีเทนที่ได้รับจากการทดลองในช่วงระหว่างการดำเนินงานของถังผลิตกรดนี้โดยพบว่ามีค่าสูงสุด เท่ากับ 25.5 และ 7.01 ลิตร/วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 14) ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของระบบโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 15.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ในขณะที่อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ซึ่งอยู่ในรูปของค่าซีโอดีละลายน้ำโดยพบว่ามีค่า สูงสุด เท่ากับ 0.063 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป ซึ่งได้รับเมื่อระบบดำเนินงานด้วยอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 12.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ เท่ากับ 4.0 วัน) และปริมาณของผลผลิตมีเทนมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบให้มีค่า เท่ากับ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน เนื่องจากจุลินทรีย์จะถูกชะออกไปจากระบบ สำหรับผลที่ได้รับนี้โดยพบว่าสอดคล้องกับรายงานการทดลองของ Torkian และคณะ (2003) ที่รายงานว่าปริมาณฟองก๊าซชีวภาพที่ถูกผลิตขึ้นในระบบซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลทำให้จุลินทรีย์ถูกชะออกไปจากระบบ เนื่องจากฟองก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่จะถูกผลิตและลอยตัวขึ้นจากชั้นตะกอนจุลินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ ดังนั้นหากปริมาณของฟองก๊าซชีวภาพที่ถูกผลิตขึ้นซึ่งมีปริมาณสูงก็จะสามารถ

ทำให้เกิดแรงผลักดันเซลล์จุลินทรีย์ขึ้นจากชั้นตะกอนจุลินทรีย์ของถังปฏิกรณ์และลอยหลุดออกไปจากระบบได้ สำหรับปัญหาของการสูญเสียจุลินทรีย์ในระบบเนื่องจากการลอยตัวของฟองก๊าซชีวภาพดังกล่าวนี้โดยสามารถพบได้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB ในการดำเนินงาน



ภาพที่ 14 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างผลผลิตของก๊าซชีวภาพทั้งหมดและมีเทนของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

(◆) Methane yield (■) Total biogas

Figure 14. The effect of organic loading rate on total biogas and methane production in acidogenic reactor at experimental operation period.

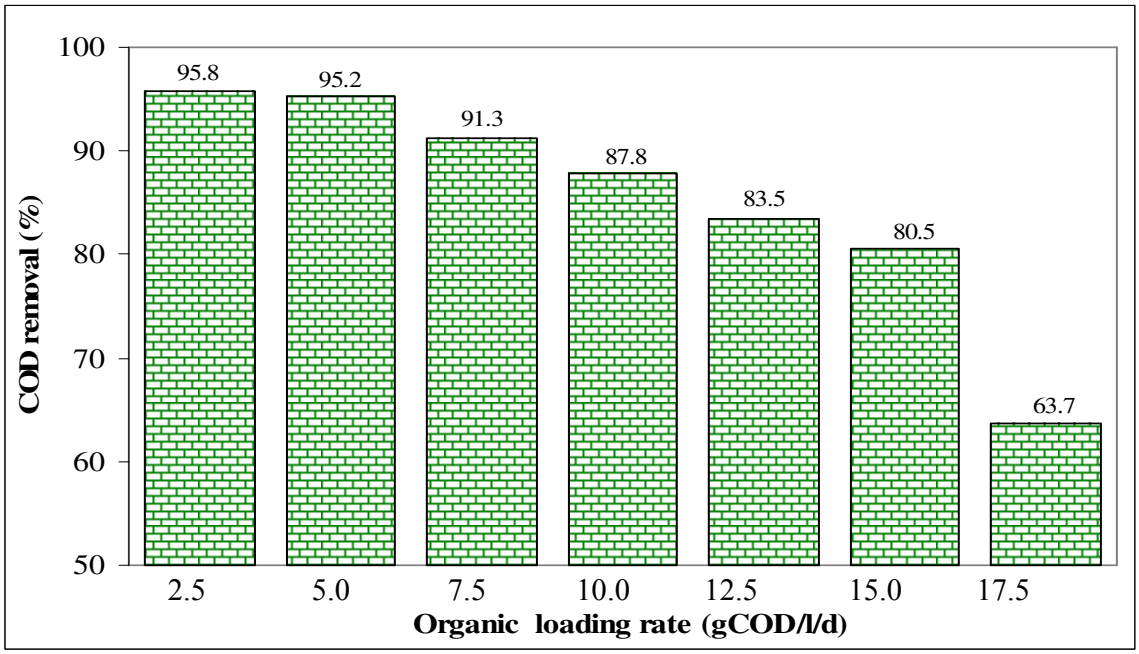
(◆) Methane yield (■) Total biogas

สำหรับผลของการทดลองที่ได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของถังผลิตกรด โดยพบว่าการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นซึ่งมีผลทำให้อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่า เท่ากับ 0.012 0.031 0.04 0.061 0.063 และ 0.058 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของระบบโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 2.5 5.0 7.5

10.0 12.5 และ 15.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ ก่อนที่อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนจะลดลง โดยมีค่า เท่ากับ 0.013 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป เมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่า เท่ากับ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน และจากการสังเกตโดยพบว่าอัตราการสร้างผลผลิตมีเทนจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกผลิตได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกรดไขมันระเหยง่ายโดยเฉพาะกรดอะซิติกซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อมีทาโนจินิคแบคทีเรียสำหรับนำไปใช้เพื่อสร้างเป็นผลผลิตมีเทนและการเจริญเติบโตต่อไป นอกจากนี้ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบซึ่งมากกว่า 3.0 วัน และค่าพีเอชของน้ำเสียในระบบที่มีค่าสูงกว่า 6.0 ด้วยเหตุผลเหล่านี้ประกอบกันจึงทำให้มีทาโนจินิคแบคทีเรียที่มีอยู่ในถังผลิตกรดจึงสามารถเจริญและสร้างผลผลิตได้เป็นจำนวนมากซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่เหลืออยู่ในถังปฏิกรณ์จึงมีค่าที่ไม่สูงเกินไปทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อมีทาโนจินิคแบคทีเรีย ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการป้อนน้ำเสียที่ไหลล้นออกจากถังผลิตกรดสำหรับนำไปใช้เป็นแหล่งของสารอาหารให้กับมีทาโนจินิคแบคทีเรียที่เจริญอยู่ในถังผลิตมีเทนต่อไป

สำหรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นโดยมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียลดลงโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 95.8 95.2 91.3 87.8 83.5 และ 80.5 ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของระบบโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่าเท่ากับ 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 และ 15.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 15) ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของระบบจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 64.0 เมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน สำหรับสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียในระบบมีค่าลดลง เนื่องจากอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นโดยมีผลทำให้ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบลดลงจนทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบได้ทันจึงส่งผลให้สารอินทรีย์ที่เหลือไหลล้นออกจากระบบไป นอกจากนี้ผลผลิตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศโดยทำให้เกิดการสร้างผลผลิตของกรดไขมันระเหยง่ายขึ้นซึ่งเป็นสารตัวกลาง (Intermediates) ที่สำคัญ จากรายงานการทดลองของ Halalsheh และคณะ (2005) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไปเป็นกรดไขมันระเหยง่ายโดยอะซิโตจินิคแบคทีเรียภายใต้สภาวะไร้อากาศพบว่าไม่สามารถช่วยลดค่าซีโอดีของน้ำเสีย เนื่องจากการแตกตัวของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายโดยสามารถเพิ่มค่าซีโอดีให้กับน้ำเสียในระบบได้ จากการสังเกตพบว่าประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการลดของแข็ง

แขวนลอยทั้งหมดและของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดที่มีประสิทธิภาพลดลงด้วยเช่นเดียวกัน เมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นจาก 2.5 ถึง 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ เนื่องจากระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบมีค่าลดลงจึงมีผลทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้สารอินทรีย์ที่มีอยู่ได้ทัน (ตารางที่ 9)



ภาพที่ 15 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

Figure 15. The effect of organic loading rate on COD removal efficiency in acidogenic reactor at experimental operation period.

ในขณะที่ประสิทธิภาพของการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ซึ่งได้รับจากการตรวจสอบเมื่อระบบดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวโดยพบว่าประสิทธิภาพในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ทั้งหมด (% Total degradation) เพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 37.43 38.09 41.0 43.2 45.72 47.67 และ 59.35 (ตารางที่ 9) ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 และ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ทั้งหมดของระบบโดยแสดงให้เห็นถึงความสามารถของจุลินทรีย์ในการใช้สารอินทรีย์ซึ่งอยู่ในรูปที่ซับซ้อน สำหรับผลที่ได้รับจากการทดลองนี้ โดยพบว่ามีค่าสูงกว่ารายงานการทดลองของ Halalsheh และคณะ (2005)

ซึ่งดำเนินงานโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) ในการศึกษาการย่อยสลายตะกอนจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าระบบสามารถให้ประสิทธิภาพของการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยมีค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 49.8 สำหรับปริมาณของผลผลิตที่ได้รับจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของถังผลิตกรดพบว่ามีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบ แต่จากการตรวจสอบพบว่าผลผลิตที่ถูกสร้างขึ้นนี้ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรดนำไปใช้ได้ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตของอะซิโตจินิคแบคทีเรีย (ร้อยละของกระบวนการอะซิโตจินิซีส) ไม่ได้เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของสารอาหารที่ได้รับและประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตของอะซิโตจินิคแบคทีเรียกลับมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อปริมาณผลผลิตที่ได้รับจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของสารอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์บางอย่างมีปริมาณที่จำกัดและซับซ้อนจึงทำให้อะซิโตจินิคแบคทีเรียไม่สามารถใช้ผลผลิตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดลองโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 15.0 และ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน โดยพบว่าปริมาณผลผลิตของกระบวนการอะซิโตจินิซีสมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากอัตราการสร้างผลผลิตมีเทนลดลงทำให้ผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายเหลืออยู่ในระบบเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพของการใช้ผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายเพื่อสร้างเป็นผลผลิตมีเทน (ร้อยละของกระบวนการมีทาโนจินิซีส) ซึ่งมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นหากระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นซึ่งมีผลทำให้ระบบมีการสะสมผลผลิตของกรดไขมันระเหยง่ายได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมด กระบวนการอะซิโตจินิซีส และกระบวนการมีทาโนจินิซีส ที่ได้รับจากการทดลองนี้โดยพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับรายงานการทดลองของ El-Mashad และคณะ (2004) ที่ได้ดำเนินงานโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด CSTR ในการย่อยสลายน้ำเสียจากการปศุสัตว์ซึ่งระบบดำเนินงานภายใต้อุณหภูมิสูง (50 องศาเซลเซียส) พบว่าสามารถให้ประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมด กระบวนการอะซิโตจินิซีส และกระบวนการมีทาโนจินิซีส โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 49.1 39.1 และ 38.8 ตามลำดับ ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานที่ใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียไว้ในระบบ เท่ากับ 20 วัน และเมื่อลดระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียของระบบลงเหลือเพียง 10 วัน โดยพบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหมด กระบวนการอะซิโตจินิซีส และกระบวนการมีทาโนจินิซีส ซึ่งมีประสิทธิภาพลดลงโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 33.4 28.2 และ 28.0 ตามลำดับ สำหรับผลที่ได้รับนี้

โดยพบว่ามีค่าน้อยกว่าการทดลองของถังผลิตกรดนี้ที่ใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียน้อยกว่า คือ 3.33 วัน แต่ระบบสามารถให้ประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายทั้งหมด (ร้อยละ 47.67) กระบวนการอะซิโตจินิซีส (ร้อยละ 33.17) และกระบวนการมีทาโนจินิซีส (ร้อยละ 28.17) สูงกว่ารายงานการทดลองของ El-Mashad และคณะ (2004) ที่ดำเนินงานโดยใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียยาวนานกว่า

สำหรับผลที่ได้รับจากการทดลองของถังผลิตกรดนี้โดยพบว่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานของถังผลิตกรด คือ 15.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียไว้ในระบบ เท่ากับ 3.33 วัน เนื่องจากประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบซึ่งพบว่าสามารถให้ผลผลิตของกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณที่สูง และผลผลิตที่ได้รับนี้ไม่เป็นอันตรายต่อมีทาโนจินิคแบคทีเรีย ดังเห็นได้จากปริมาณการสร้างผลผลิตมีเทนที่เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของผลผลิตที่ได้รับจากกระบวนการอะซิโตจินิซีสซึ่งมีค่าสูงกว่าปริมาณผลผลิตที่ได้รับจากกระบวนการมีทาโนจินิซีส ดังนั้นในการดำเนินงานจึงทำให้ยังคงมีปริมาณผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายเหลืออยู่ในระบบ แต่เนื่องจากในการดำเนินงานของถังผลิตกรดโดยระบบใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียไว้ในระบบที่ยาวนานจึงทำให้มีทาโนจินิคแบคทีเรียสามารถเจริญและใช้ผลผลิตกรดเพื่อสร้างเป็นผลผลิตมีเทนโดยมีผลทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เหลืออยู่ในระบบมีค่าน้อยตามไปด้วย ดังนั้นในการดำเนินงานของถังผลิตกรดโดยควรลดระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บกักน้ำเสียไว้ในระบบลงซึ่งทำให้สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายในถังผลิตกรดได้

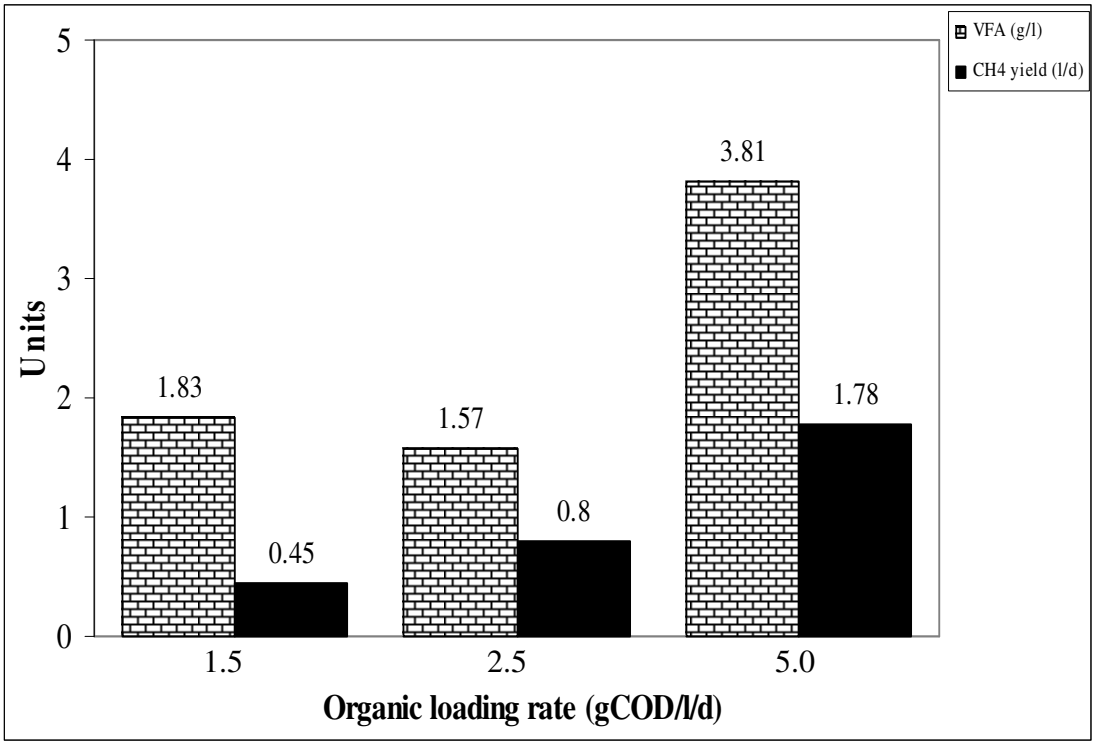
3. การศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างผลผลิตก๊าซชีวภาพของถังผลิตมีเทน (UFAF) ในระบบแบบสองขั้นตอน

3.1. ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพของถังผลิตมีเทน (UFAF) ในช่วงระหว่างการเริ่มต้นระบบ (Start-up)

ในช่วงระหว่างการเริ่มต้นระบบของถังผลิตมีเทน(UFAF) ซึ่งในการทดลองโดยระบบจะดำเนินงานภายใต้อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 เดือน โดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการเตรียมเบื้องต้นมาแล้ว จากนั้นทำการเจือจางน้ำเสียดังกล่าวนี้โดยให้มีค่าซีโอดีอยู่ในช่วงค่าระหว่าง 15,000-50,000 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำเสียที่ถูกป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ในช่วงเริ่มต้นระบบของถังผลิตมีเทนนี้โดยจะต้องทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้มีค่า เท่ากับ 6.0 ด้วยปูนขาวและทำการรักษาสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของระบบโดยควบคุมให้อยู่ในช่วงค่าระหว่าง 2,500-4,000 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนต/ลิตร (Borja *et al*., 1996) สำหรับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ซึ่งถูกทำให้เพิ่มสูงขึ้นในลักษณะต่อเนื่องแบบเป็นขั้นตอนโดยการลดอัตราการเจือจางลงเป็นผลให้อัตราการป้อนสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นแบบเป็นขั้นตอนโดยมีค่า เท่ากับ 1.5 2.5 และ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียไว้ในระบบโดยคงที่ เท่ากับ 3.3 วัน

สำหรับผลที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังผลิตมีเทนในช่วงเริ่มต้นระบบโดยสามารถสังเกตเห็นปริมาณผลผลิตของกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกสร้างขึ้นโดยพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้น สำหรับผลที่ได้รับนี้โดยพบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับการดำเนินงานของถังผลิตกรดในช่วงเริ่มต้นระบบ โดยปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดที่ถูกผลิตขึ้นซึ่งได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของถังผลิตมีเทนในช่วงนี้โดยมีค่า เท่ากับ 1.83 1.57 และ 3.81 กรัม/ลิตร ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.5 2.5 และ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 16) ในขณะที่ปริมาณของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกผลิตขึ้นโดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.13 กรัม/ลิตร (ข้อมูลไม่ได้แสดง) ซึ่งได้รับเมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่าสูงสุดในช่วงเริ่มต้นระบบของถังผลิตมีเทนนี้ คือ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน

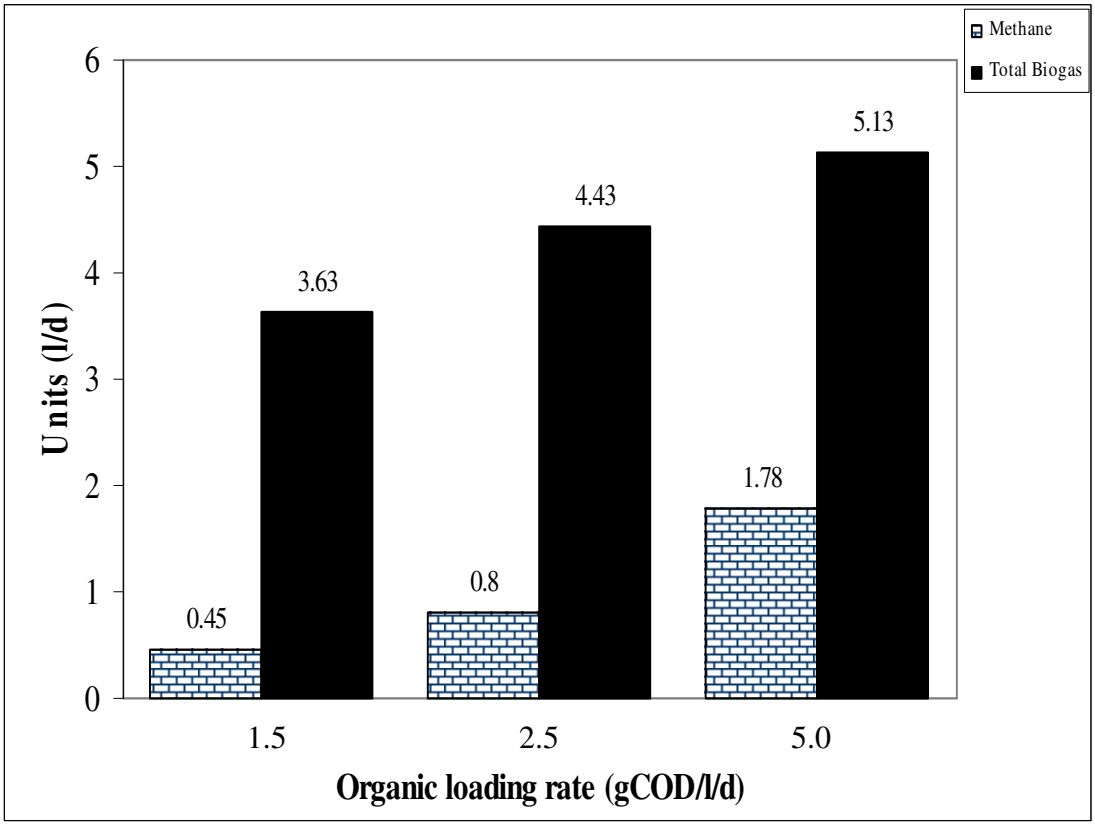
นอกจากนี้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นโดยยังมีผลต่อการเพิ่มปริมาณของผลผลิตมีเทนและก๊าซชีวภาพทั้งหมด สำหรับปริมาณผลผลิตมีเทนที่ได้รับนี้โดยพบว่าจะเพิ่มสูงขึ้นมีค่า เท่ากับ 0.45 0.80 และ 1.78 ลิตร/วัน ซึ่งได้รับเมื่อระบบดำเนินงานด้วยอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.5 2.5 และ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณผลผลิตของก๊าซชีวภาพทั้งหมดพบว่าจะมีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นมีค่า เท่ากับ 3.63 4.43 และ 5.13 ลิตร/วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 17) ปริมาณของผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ถูกผลิตขึ้นโดยมีค่าสูงสุด เท่ากับ 6.03 ลิตร/วัน (ข้อมูลไม่ได้แสดง) ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 2.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน



ภาพที่ 16 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายและการผลิตมีเทนของถังผลิตมีเทนในช่วงระหว่างการเริ่มต้นระบบ

Figure 16. The effect of organic loading rate on quantity of volatile fatty acid and methane production at start-up period.

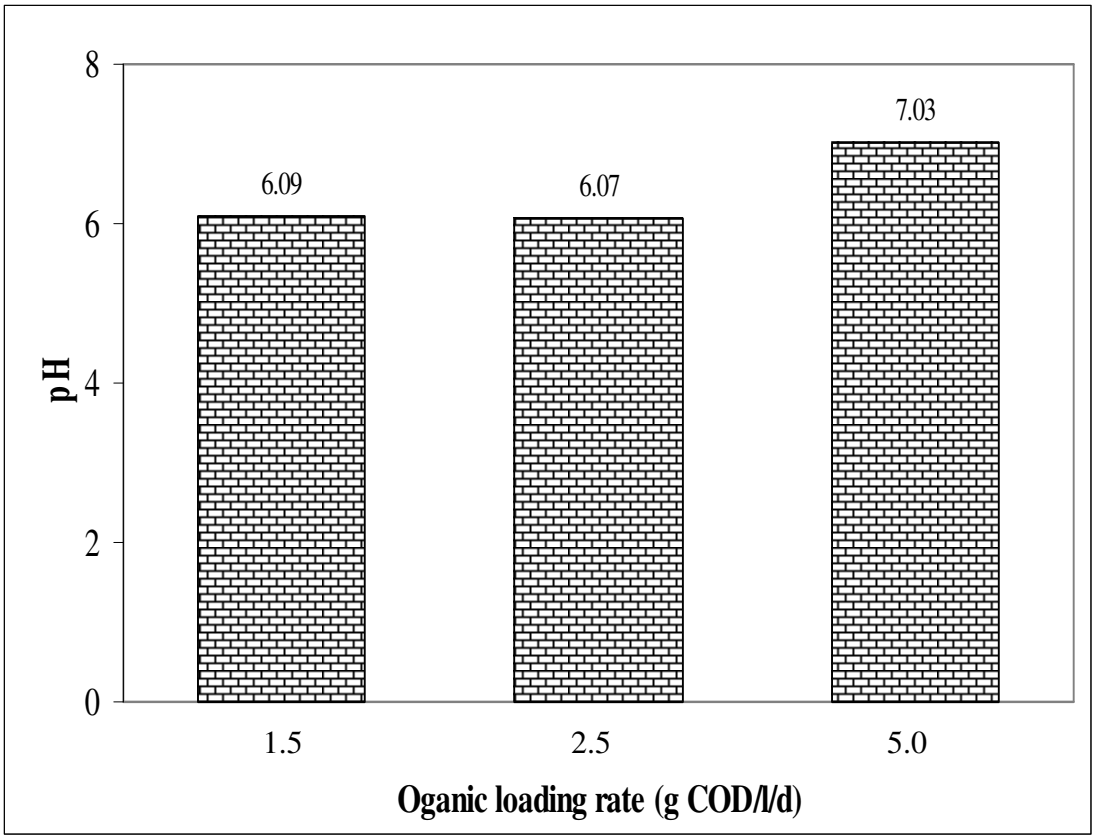
เนื่องจากอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นโดยมีผลทำให้การสร้างผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายมีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะกรดอะซิติกซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญซึ่งจะถูกมีทาโนจินิคแบคทีเรียนำไปใช้เพื่อสร้างเป็นผลผลิตมีเทนต่อไป สำหรับในการดำเนินงานของการทดลองโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 2.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน จากการสังเกตโดยพบว่าปริมาณของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่ได้รับจากการทดลองมีค่าลดลงโดยสัมพันธ์กับปริมาณของก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ถูกผลิตเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อทำการตรวจสอบปริมาณผลผลิตของมีเทนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในก๊าซชีวภาพทั้งหมด โดยพบว่าสัดส่วนของมีเทนที่ได้รับจะเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 18.14 26.28 และ 40.62 ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.5 2.5 และ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดและมีเทนของถังผลิตมีเทนในช่วงเริ่มต้นของระบบ

Figure 17. The effect of organic loading rate on biogas and methane production in methanogenic reactor at start-up period.

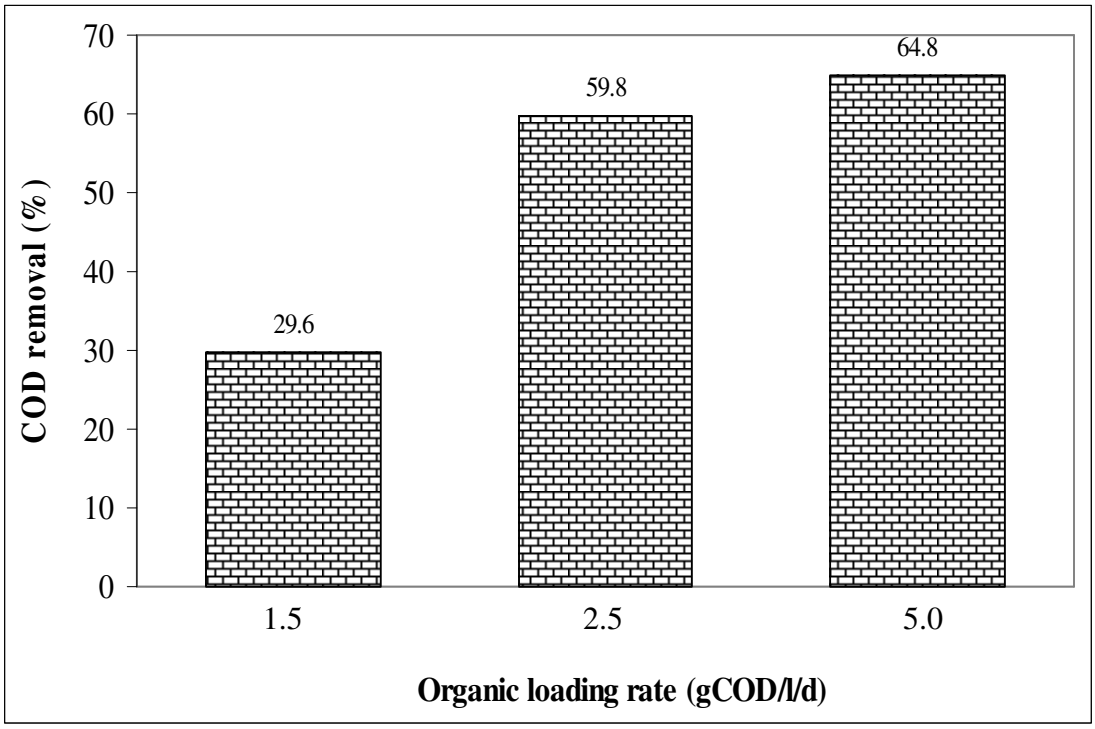
สำหรับอัตราการสร้างผลผลิตมีเทนที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างเด่นชัดในช่วงเริ่มต้นระบบของถังผลิตมีเทนนี้โดยแสดงให้เห็นว่ามีทาโนจินิคแบคทีเรียที่เจริญอยู่ในถังปฏิกรณ์สามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปจึงทำให้จุลินทรีย์สามารถมีกิจกรรมในการใช้สารอาหารเพื่อการเจริญและสร้างผลผลิตมีเทนได้เพิ่มขึ้น สำหรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นพบว่ามีผลทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียเกิดการเปลี่ยนแปลงไปโดยมีค่าเท่ากับ 6.09 และ 6.07 ตามลำดับ ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.5 และ 2.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ และค่าพีเอชของน้ำเสียจะเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่า เท่ากับ 7.0 เมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่า เท่ากับ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน เนื่องจากอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นโดยมีผลทำให้ปริมาณการสร้างผลผลิตของก๊าซชีวภาพทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการควบคุมค่าพีเอชของน้ำเสียในระบบ (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากถังผลิตมีเทนในช่วงระหว่างเริ่มต้นของระบบ

Figure 18. The effect of organic loading rate on pH changed of effluent wastewater in methanogenic reactor at start-up period.

สำหรับประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียในช่วงเริ่มต้นระบบของถังผลิตมีเทน ซึ่งในการดำเนินงานโดยระบบจะใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นแบบเป็นขั้นตอน มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของระบบเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 29.6 59.8 และ 64.8 ตามลำดับ (ภาพที่ 19) ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของระบบโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.5 2.5 และ 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังผลิตมีเทนในช่วงเริ่มต้นระบบ พบว่ามีค่าสูงกว่าผลที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังผลิตกรดในช่วงเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีทาโนจินิคแบคทีเรียที่มีอยู่ในถังผลิตมีเทนสามารถมีกิจกรรมในการสร้างผลผลิตมีเทนได้ในปริมาณที่สูงกว่าจึงมีผลทำให้ผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่มีอยู่ในระบบถูกนำไปใช้ได้ในปริมาณที่สูงด้วยเช่นเดียวกัน เนื่องจากปริมาณของผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายที่สะสมอยู่ในระบบมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของถังปฏิกรณ์ เนื่องจากการแตกตัวของกรดไขมันระเหยง่ายโดยทำให้ระบบมีภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้น (Halalsheh *et al*., 2005)



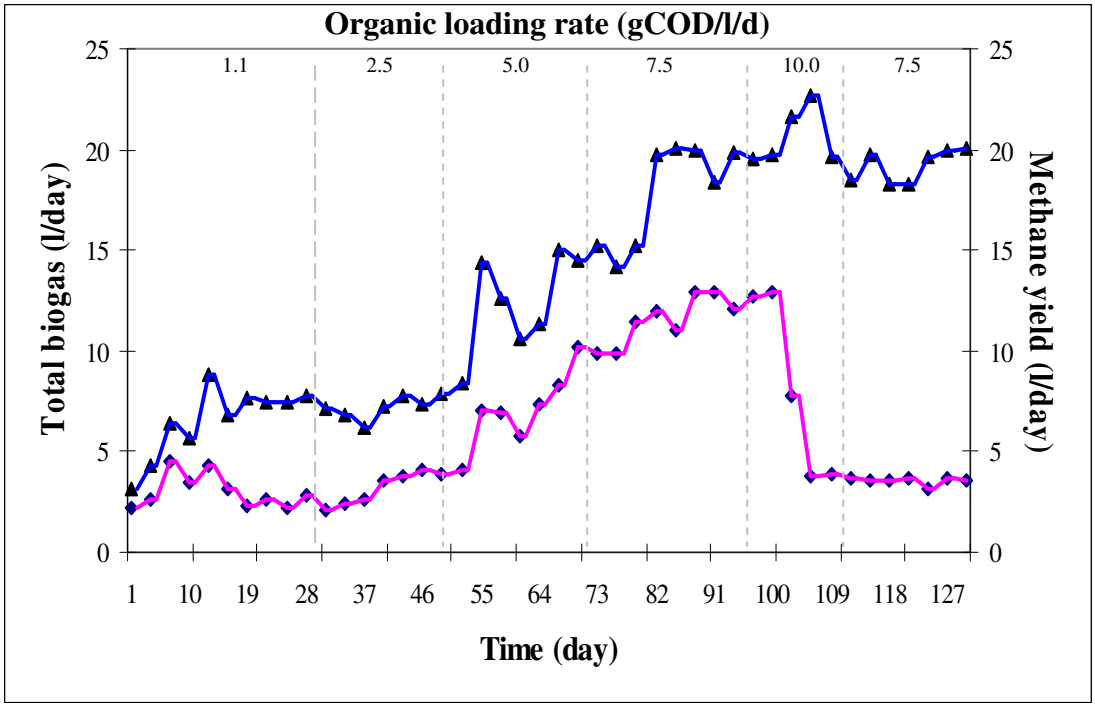
ภาพที่19 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของถังผลิตมีเทนในช่วงระหว่างการเริ่มต้นของระบบ

Figure 19. The effect of organic loading rate on COD removal efficiency in methanogenic reactor at start-up period.

3.2. ผลของการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของถังผลิตมีเทน (UFAF) แบบขั้นตอนเดียว ในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

จากการทดลองในช่วงระหว่างการดำเนินงานของถังผลิตมีเทนโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำเสียที่จะป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์นี้ โดยจะต้องทำการปรับค่าพีเอชให้มีค่า เท่ากับ 6.0 ก่อนนำมาใช้งานและในการดำเนินงานของการทดลองโดยทำการควบคุมอัตราการป้อนสารอินทรีย์เริ่มต้นที่นำเข้าสู่ระบบให้มีค่าเท่ากับ 1.1 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน จากนั้นทำการทดลองจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัวโดยสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของน้ำเสียซึ่งมีค่าคงที่ก่อนจากนั้นจึงค่อย ๆ ทำการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นแบบเป็นขั้นตอนโดยมีค่า เท่ากับ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ สำหรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งมีผลทำให้ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบลดลงโดยมีค่า เท่ากับ 13.5 6.0 3.0 2.0 และ 1.5 วัน ตามลำดับ

สำหรับผลของการทดลองที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังผลิตมีเทนในช่วงนี้โดยพบว่าสัดส่วนของผลผลิตมีเทนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในก๊าซชีวภาพทั้งหมดจะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบ ในขณะที่ปริมาณของผลผลิตมีเทนที่ได้รับจากการดำเนินงานของการทดลองนี้โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 63.1 ซึ่งปริมาณของผลผลิตมีเทนสูงสุดที่ได้รับจากการดำเนินงานโดยมีค่า เท่ากับ 12.97 ลิตรมีเทน/วัน ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของระบบโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 7.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักน้ำเสียไว้ในระบบ เท่ากับ 2.0 วัน) หลังจากนั้นปริมาณของผลผลิตมีเทนจะลดลงอย่างฉับพลัน (ภาพที่ 20) เนื่องจากอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นโดยมีผลทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบอาจมีค่าสูงเกินความสามารถของระบบจะรับได้ สำหรับในการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยทั่วไปซึ่งพบว่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นโดยมีผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตมีเทน แต่ในขณะเดียวกันการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นก็มีผลทำให้เป็นการเพิ่มแรงเฉือน (Shear stress) ขึ้นภายในถังปฏิกรณ์ด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งมีผลทำให้แผ่นฟิล์มชีวภาพที่มีอยู่ในถังปฏิกรณ์เกิดการหลุดลอกออกไปจากระบบเป็นสาเหตุที่ทำให้มีทาโนจินิคแบคทีเรียมีกิจกรรมในการเจริญและสร้างผลผลิตลดลง (Michaud *et al*., 2005)



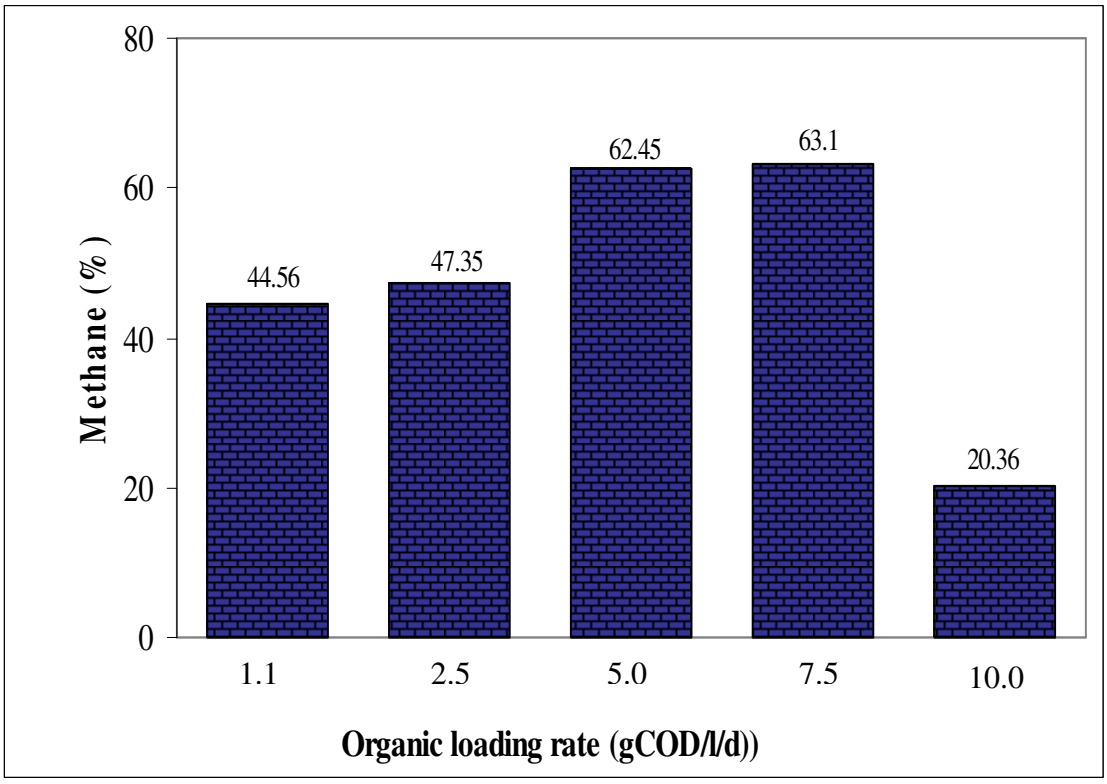
ภาพที่ 20 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดและมีเทนของถังผลิตมีเทนในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

(◆) Methane yield (▲) Total biogas

Figure 20. The effect of organic loading rate on biogas and methane production in methanogenic reactor at experimental operation period.

(◆) Methane yield (▲) Total biogas

ปริมาณของผลผลิตมีเทนที่ได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของระบบมีค่าเท่ากับ 2.95 3.49 8.55 และ 12.38 ลิตร/วัน โดยมีสัดส่วนของผลผลิตมีเทนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในก๊าซชีวภาพทั้งหมดพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 44.56 ถึง ร้อยละ 63.10 (ภาพที่ 21) ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของระบบโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.1 2.5 5.0 และ 7.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ



ภาพที่ 21 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อสัดส่วนของผลผลิตมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพทั้งหมดในช่วงระหว่างการดำเนินงานการทดลองของถังผลิตมีเทน

Figure 21. The effect of organic loading rate on methane composition in methanogenic reactor at experimental operation period.

สำหรับผลของการทดลองที่ได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของถังผลิตมีเทน (UFAF) โดยพบว่าการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นซึ่งมีผลทำให้อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่า เท่ากับ 0.486 0.344 0.465 และ 0.419 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป (คำนวณจากค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ) (ตารางที่ 10) ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.1 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ ก่อนที่อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนจะลดลงโดยมีค่า เท่ากับ 0.11 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป เมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 10.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน สำหรับอัตราการสร้างผลผลิตมีเทนที่ได้รับจากการทดลองนี้โดยมีค่าสูงเนื่องจากเป็นการคำนวณในรูปของค่าซีโอดีที่ละลายน้ำซึ่งสารอินทรีย์ในรูปของค่าซีโอดี จำนวน 1.0 กรัม พบว่าสามารถสร้างเป็นผลผลิตของมีเทนได้ เท่ากับ 0.47 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป (Driessen, 1996)

ตารางที่ 10 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์* ต่าง ๆ ในถังผลิตมีเทนภายใต้สถานะคงตัวของระบบ

Table 10. Data show the effect of organic loading rate on parameter changed in methanogenic reactor under steady-state system.

พารามิเตอร์	อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน)				
	1.1	2.5	5.0	7.5	10.0
ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (วัน)	13.5	6.0	3.0	2.0	1.5
พีเอช	7.03	7.01	7.02	7.01	7.02
การย่อยสลายทั้งหมด (ร้อยละ)	41.05	42.48	45.36	48.79	58.29
อะซิโตจินิซีส (ร้อยละ)	32.21	31.46	31.54	28.30	23.33
มีทาโนจินิซีส (ร้อยละ)	32.65	32.08	30.97	29.64	24.96
อัตราการผลิตมีเทน (ล.มีเทน/ก.ซีโอดีที่ถูกใช้ไป)	0.486	0.344	0.465	0.419	0.107
ซีโอดีที่ลดลง (ร้อยละ)	91.61	89.60	85.61	80.85	66.31
กรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมด (กรัม/ลิตร)	16.11	10.76	164.05	178.92	290.33

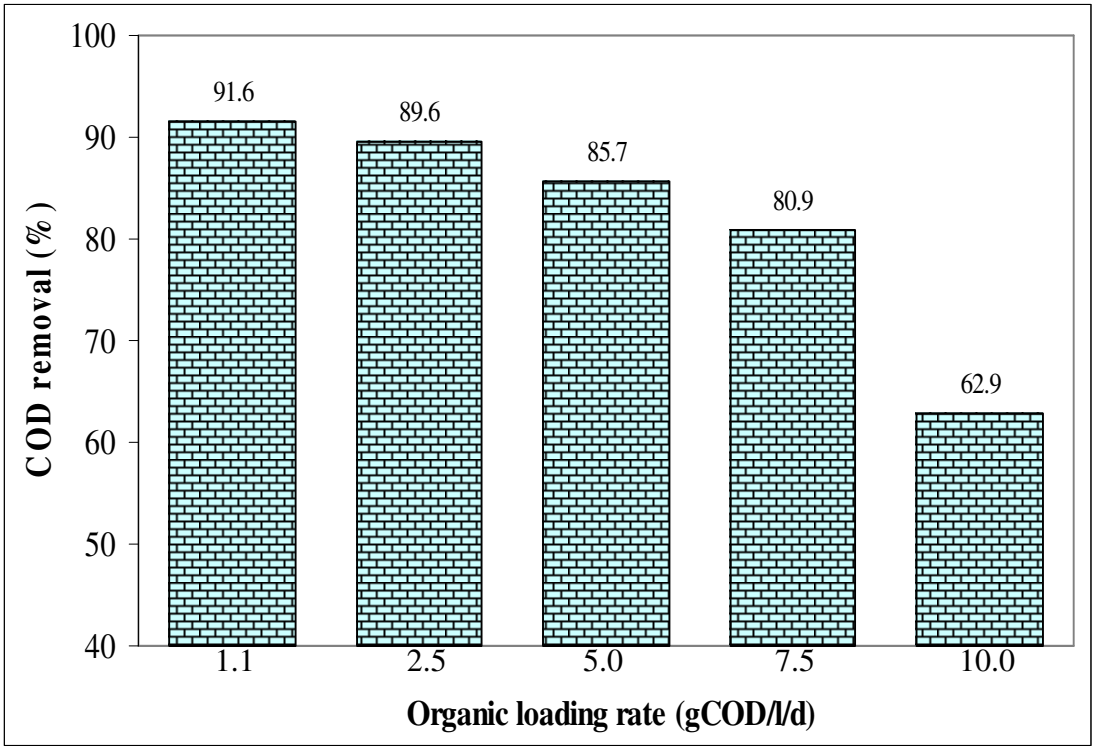
*ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้รับภายใต้สถานะคงตัว เป็นเวลา 5 วัน

จากรายงานการทดลองของ Parawira และคณะ (2005) ซึ่งได้ดำเนินงานโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB และถังปฏิกรณ์ชนิด Anaerobic Packed-Bed Reactor (APBR) ในการบำบัดน้ำเสียจากการล้างมันฝรั่งซึ่งพบว่าถังปฏิกรณ์ทั้งสองนี้สามารถมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 ในขณะที่อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนโดยมีค่า เท่ากับ 0.23 และ 0.16 ลิตรของมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 6.1 และ 4.7 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ ในขณะที่ Borja และคณะ (1996) ซึ่งได้ดำเนินงานโดยใช้ ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB สำหรับใช้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยพบว่าระบบสามารถให้อัตราการสร้างผลผลิตของมีเทนโดยมีค่า เท่ากับ 0.33 ลิตรของมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป นอกจากนี้ Najafpour และคณะ (2005) ได้ทำการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด Up Flow Anaerobic Sludge-Fixed Film (UASFF) จากการดำเนินงาน

โดยพบว่าระบบสามารถให้อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนโดยมีค่า เท่ากับ 0.346 ลิตรของมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นโดยมีผลทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังผลิตมีเทนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยมีค่า เท่ากับ 7.0 เนื่องจากการดำเนินงานของการทดลองที่มีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนป้อนเข้าสู่ถังผลิตมีเทน จึงทำให้ระบบสามารถควบคุมสภาพความเป็นบัฟเฟอร์ได้เป็นอย่างดีถึงแม้ว่าระบบจะดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่สูง นอกจากนี้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นยังมีผลทำให้ปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่นำเข้าสู่ถังผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลทำให้อัตราการสร้างผลผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เนื่องจากค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ของระบบมักอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นนี้โดยจะรวมตัวกับน้ำเกิดเป็น H_2CO_3 และสามารถเปลี่ยนต่อไปเป็น H^+ และ HCO^{3-} ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ สำหรับผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้โดยช่วยรักษาสมดุลพีเอชให้กับระบบ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

สำหรับประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียในระบบโดยได้รับการดำเนินงานของถังผลิตมีเทนในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลองพบว่าเมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นแบบเป็นขั้นตอนโดยมีค่า เท่ากับ 1.1 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของระบบลดลงโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 91.6 89.6 85.7 80.9 และ 62.9 ตามลำดับ (ภาพที่ 22) ประสิทธิภาพสูงสุดในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังผลิตมีเทนนี้โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 91.6 ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ 1.1 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ เท่ากับ 13.5 วัน) ในขณะที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานของถังผลิตมีเทนโดยมีค่า เท่ากับ 7.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ เท่ากับ 2.0 วัน) โดยพบว่าประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีของระบบที่ได้รับโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 80.9 แต่เมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น เท่ากับ 10.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบลดลงโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 63.0 เนื่องจากระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบลดลงทำให้ระบบเกิดการสะสมผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายได้ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น สำหรับประสิทธิภาพของระบบในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ได้รับจากการทดลองนี้โดยพบว่ามีค่าสูงกว่ารายงานการทดลองของ Borja และคณะ (1996) ซึ่งได้ดำเนินงานโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB เพื่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยอาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสอง

ขั้นตอนโดยรายงานว่าประสิทธิภาพสูงสุดในการลดค่าซีโอดีของถังผลิตมีเทนมีค่าเท่ากับร้อยละ 90.0 ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.1 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน เช่นเดียวกันแต่ใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียไว้ในระบบน้อยกว่า คือ 10.0 วัน



ภาพที่ 22 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงต่อประสิทธิภาพของการลดค่าซีโอดีในช่วงระหว่างการทดลองของถังผลิตมีเทน

Figure 22. The effect of organic loading rate on COD removal efficiency for the experimental operation.

นอกจากนี้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นโดยมีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ทั้งหมดที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังผลิตมีเทนภายใต้สถานะคงตัวของระบบ โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 41.05 42.48 45.36 48.79 และ 58.29 ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.1 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ ในขณะที่การเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นโดยมีผลทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการอะซิโตจินิซีสลดลงโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 32.21 31.46 31.54 และ 28.30 ตามลำดับ ซึ่งได้รับเมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.1 2.5 5.0 และ

7.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน และเมื่อทำการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นให้มีค่า เท่ากับ 10.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน พบว่ามีผลทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการอะซิโตจินิซีสลดลง โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 23.33 เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่อยู่ภายในถังผลิตมีเทนไม่เหมาะสมต่อการเจริญและการสร้างผลผลิตของอะซิโตจินิคแบคทีเรีย โดย NG และคณะ (1985) รายงานว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญและการสร้างผลผลิตของอะซิโตจินิคแบคทีเรียในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยมีค่า เท่ากับ 6.0 ในขณะที่ค่าพีเอชที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังผลิตมีเทนนี้โดยมีค่าอยู่ในช่วงค่าที่เป็นกลาง (พีเอช 7.01-7.03) นอกจากนี้การเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นโดยมีผลทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการมีทาโนจินิซีสลดลง โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 32.65 32.08 30.97 และ 29.64 ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของระบบโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 1.1 2.5 5.0 และ 7.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ตามลำดับ และเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่า เท่ากับ 10.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน โดยมีผลทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการมีทาโนจินิซีสมีค่าลดลงเหลือเพียงร้อยละ 24.96 เนื่องจากอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นโดยมีผลทำให้มีทาโนจินิคแบคทีเรียเกิดการสูญเสียออกไปจากระบบและปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่ป้อนเข้าสู่ถังผลิตมีเทนซึ่งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นโดยมีผลทำให้เกิดการยับยั้งกิจกรรมของมีทาโนจินิคแบคทีเรียได้ ด้วยเหตุผลเหล่านี้ประกอบกันจึงมีผลทำให้กิจกรรมของกระบวนการมีทาโนจินิซีสในถังผลิตมีเทนมีค่าลดลงเมื่อระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้น

สำหรับผลที่ได้รับจากการดำเนินงานของการทดลองในถังผลิตมีเทนโดยพบว่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการสร้างผลผลิตมีเทนโดยมีค่า เท่ากับ 7.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ซึ่งระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบเป็นเวลา 2.0 วัน โดยสามารถให้ปริมาณของผลผลิตมีเทนได้ในปริมาณที่สูงและระบบยังคงสามารถดำเนินงานได้ตามปกติตลอดการทดลอง

4. การศึกษาประสิทธิภาพการสร้างผลผลิตมีเทนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จากการทดลองซึ่งได้ดำเนินงานในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยอาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียวและระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่ทำการแยกถังผลิตกรดและถังผลิตมีเทนออกจากกัน เนื่องจากจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มนี้ต้องการสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการสร้างผลผลิตและการเจริญที่แตกต่างกัน สำหรับในการดำเนินงานของการทดลองที่อาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียวนั้น ซึ่งในการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB โดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการเตรียมเบื้องต้นมาแล้ว จากนั้นทำการเจือจางน้ำเสียดังกล่าวนี้ให้มีค่าซีโอดีประมาณ 50,000 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำเสียที่นำเข้าสู่ถังปฏิกรณ์นี้โดยไม่ต้องทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนนำไปใช้งาน สำหรับในการดำเนินงานโดยจะทำการควบคุมอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบให้มีค่าเท่ากับ 15.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ซึ่งเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ เท่ากับ 3.33 วัน) จากนั้นทำการทดลองจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้วนำผลที่ได้รับมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ในขณะที่การดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF โดยใช้น้ำเสียที่นำมาจากถังผลิตกรดซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์นี้โดยไม่ต้องทำการปรับค่าพีเอช (พีเอช 5.98) และในการดำเนินงานของการทดลองซึ่งจะทำการควบคุมอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่นำเข้าสู่ระบบให้มีค่า เท่ากับ 7.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ซึ่งเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ เท่ากับ 2.0 วัน) จากนั้นทำการทดลองจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัวเช่นเดียวกัน

สำหรับการดำเนินงานของการทดลองที่อาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งในการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB ทำการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมกับถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF (UASB/UFAF) โดยถังปฏิกรณ์ชนิด UASB นี้จะใช้สำหรับเป็นถังผลิตกรดไขมันระเหยง่ายในขั้นตอนแรกและถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF ซึ่งจะใช้สำหรับเป็นถังผลิตมีเทนในขั้นตอนต่อมาซึ่งในการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ทั้งสองนี้โดยจะทำเช่นเดียวกับการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบขั้นตอนเดียวของแต่ละถังปฏิกรณ์ นั่นคือ ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB จะดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่าเท่ากับ 15.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ เท่ากับ 3.33 วัน) และ

ถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF ซึ่งจะดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 7.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ เท่ากับ 2.0 วัน) มีผลทำให้อัตราการป้อนสารอินทรีย์โดยรวมที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ทั้งสองนี้มีค่า เท่ากับ 9.38 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ เท่ากับ 5.33 วัน) ทำการทดลองจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัว จากนั้นนำผลที่ได้รับจากการดำเนินงานของระบบทั้งสองมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตมีเทนและการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลของการทดลองที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์*ต่าง ๆ ภายใต้สถานะคงตัวของระบบ

Table 11. The experimental data under steady-state system show parameter* changed with one-state and two-state system operation.

พารามิเตอร์	ระบบขั้นตอนเดียว		ระบบแบบสองขั้นตอน
	UASB	UFAF	UASB/UFAF
ปริมาตรใช้งานของถังปฏิกรณ์ (ลิตร)	10	5	15
อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน)	15.0	7.5	9.38
ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (วัน)	3.33	2.0	5.33
พีเอช	6.43	7.31	7.31
การย่อยสลายทั้งหมด (ร้อยละ)	47.67	47.20	40.22
อะซิโตจินิซีส (ร้อยละ)	33.06	28.80	35.25
มีทาโนจินิซีส (ร้อยละ)	28.20	28.43	35.0
ผลผลิตของก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	24.75	12.48	37.23
ผลผลิตของมีเทน (ลิตร/วัน)	6.95	7.54	14.49
อัตราการผลิตมีเทน (ล.มีเทน/ก.ซีโอดีที่ถูกใช้ไป)	0.058	0.25	0.308
ประสิทธิภาพของการลดค่าซีโอดี (ร้อยละ)	80.50	79.87	94.78
กรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดที่เหลืออยู่ (กรัม/ลิตร)	1.733	0.089	0.089

* ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้รับภายใต้สถานะคงตัวเป็นเวลา 5 วัน

สำหรับผลของการทดลองที่ได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียวของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB และถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF พบว่าสามารถให้ประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายทั้งหมด กระบวนการอะซิโตจินิซีส และกระบวนการมีทาโนจินิซีส ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 47.67 30.06 และ 28.20 ตามลำดับ และผลของการทดลองที่ได้รับจากดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 47.20 28.80 และ 28.43 ตามลำดับ (ตารางที่ 11) ในขณะที่ผลของการดำเนินงานด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอน (UASB/UFAF) โดยพบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการอะซิโตจินิซีสและกระบวนการมีทาโนจินิซีสซึ่งได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของระบบโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 40.22 35.25 และ 35.0 ตามลำดับ โดยพบว่ามีค่าสูงกว่าผลที่ได้รับจากการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียว (ยกเว้นกระบวนการย่อยสลายทั้งหมด) ในขณะที่ประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดและผลผลิตมีเทนที่ได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB โดยมีค่า เท่ากับ 24.75 และ 6.95 ลิตร/วัน ตามลำดับ ระบบสามารถให้อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนจากการใช้สารอินทรีย์ในรูปของค่าซีโอดีละลายน้ำซึ่งมีค่า เท่ากับ 0.058 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป ประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดและผลผลิตมีเทนที่ได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF โดยมีค่า เท่ากับ 12.48 และ 7.54 ลิตร/วัน ตามลำดับ และระบบสามารถให้อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนจากการใช้สารอินทรีย์ในรูปของค่าซีโอดีละลายน้ำซึ่งมีค่า เท่ากับ 0.25 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป โดยพบว่าอัตราการสร้างผลผลิตมีเทนที่ได้รับนี้มีค่าที่สูงกว่าผลที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด Continuous Stirrer Tank Reactor (CSTR) ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัทเอเชี่ยนน้ำมันปาล์ม จำกัด ซึ่งดำเนินงานโดยใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรใช้งานเท่ากับ 2,100 ลูกบาศก์เมตร และระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 8.7 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน (ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ เท่ากับ 6.5 วัน) โดยพบว่าระบบสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 65.0 โดยให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพได้ เท่ากับ 4,300 ลิตร/วัน ซึ่งมีปริมาณของผลผลิตมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 66.0 ดังนั้นประสิทธิภาพของการสร้างผลผลิตมีเทนที่ได้รับจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยมีค่า เท่ากับ 0.239 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป (ภาวิณี ชัยประเสริฐ, 2548) ในขณะที่ประสิทธิภาพของการสร้างผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดและผลผลิตมีเทนที่ได้รับจากการทดลองของระบบบำบัด

น้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอน (UASB/UFAF) ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานภายใต้สถานะคงตัวของระบบโดยมีค่า เท่ากับ 37.23 และ 14.49 ลิตร/วัน ตามลำดับ อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนที่ได้รับจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในรูปของค่าซีโอดีละลายน้ำโดยมีค่า เท่ากับ 0.308 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป พบว่าประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตมีเทนที่ได้รับจากการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอนนี้ (UASB/UFAF) โดยมีค่าสูงกว่าผลที่ได้รับจากการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียวทั้งสองถังปฏิกรณ์ (ปฏิกรณ์ชนิด UASB และ UFAF) เนื่องจากในการดำเนินงานที่อาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่ทำการแยกถังผลิตกรดและถังผลิตมีเทนออกจากกันมีผลทำให้สภาวะแวดล้อมภายในถังปฏิกรณ์เหมาะสมต่อการเจริญและการสร้างผลผลิตของจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้รับมีค่าสูงกว่าการดำเนินงานที่อาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบขั้นตอนเดียว

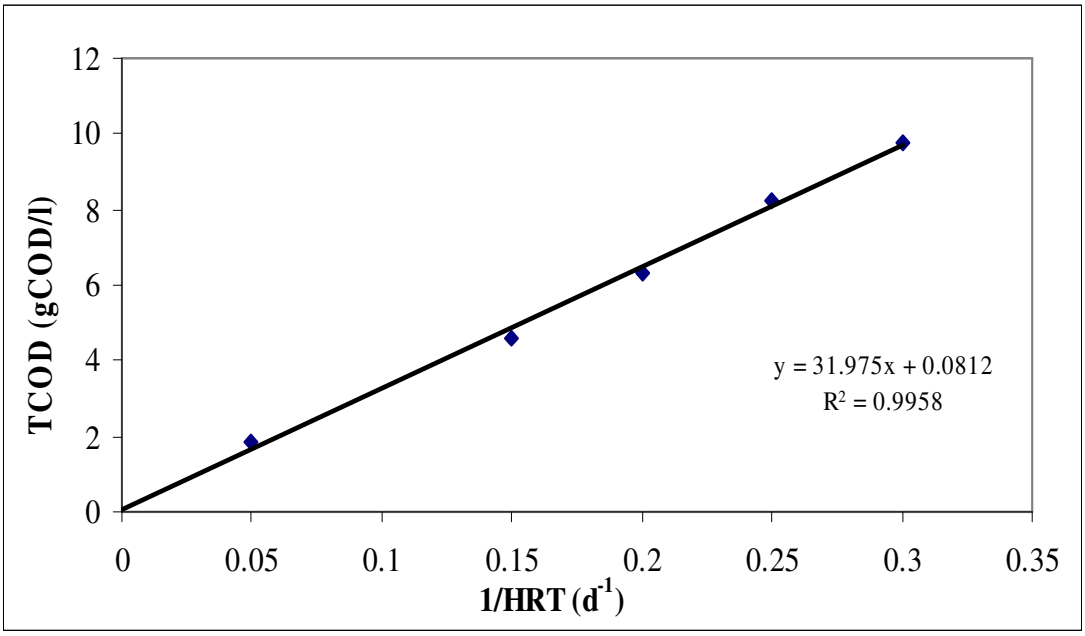
สำหรับผลที่ได้รับจากการดำเนินงานของการทดลองโดยอาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอนนี้ (UASB/UFAF) ซึ่งระบบดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่า เท่ากับ 9.38 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน และใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียไว้ในระบบเท่ากับ 5.33 วัน โดยระบบสามารถให้ประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตมีเทนจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ เท่ากับ 0.308 ลิตรมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกใช้ไป ซึ่งสูงกว่าผลของการดำเนินงานโดยอาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียวของถังปฏิกรณ์ทั้งสอง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอน (UASB/UFAF) มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เนื่องจากการควบคุมระบบทำได้ง่ายและสามารถให้ผลผลิตมีเทนได้ในปริมาณที่สูง

5. การศึกษาจลพลศาสตร์ของการหมัก

ผลของการศึกษาจลพลศาสตร์ของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งได้รับจากการดำเนินงานที่อุณหภูมิปานกลางโดยใช้เพื่ออธิบายการลดลงของค่าซีโอดี สำหรับในการกำหนดค่าคงที่ของอัตราการใช้สารอาหารสูงสุด (Rs_{max}) สัมประสิทธิ์ความอิ่มตัวของการใช้สารอาหาร (Ks) และสัมประสิทธิ์ของการยับยั้ง (Ki) ตามลำดับ โดยอาศัยแบบจำลองจลพลศาสตร์ของแอนดริว (Andrews kinetic model) ในขณะที่ความเข้มข้นของสารอาหารที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ (Sc) สามารถกำหนดได้จากความแตกต่างระหว่างค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบ ($TCOD_{in}$) และค่าซีโอดีที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ (Snb) โดยพบว่าน้ำเสียที่นำมาใช้งานในถังผลิตกรด (UASB) นี้มีค่า Snb เท่ากับ 0.0812 กรัมซีโอดี/ลิตร (วิธีการคำนวณดังแสดงในตารางภาคผนวก) ในขณะที่รายงานการศึกษาจลพลศาสตร์ของการย่อยสลายแบบไร้อากาศของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันมะกอกซึ่งดำเนินงานภายใต้อุณหภูมิปานกลางโดยอาศัยแบบจำลองของ Andrews ในการอธิบายการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียโดยมีค่า Snb เท่ากับ 1.65 กรัมซีโอดี/ลิตร ซึ่งสูงกว่าค่า Snb ของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันมะกอกมีการปนเปื้อนของอินทรียวัตถุที่ยากต่อการย่อยสลาย สารพิษ และสารประกอบที่ทำให้เกิดการยับยั้งกิจกรรมในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิค (Phenolic compound) (Borja *et al*., 2002)

สำหรับค่าคงที่ความเข้มข้นของสารอาหารที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ (Sc) ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการกำหนดค่าคงที่แบบจำลองของ Andrews โดยสามารถกำหนดได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Sc/Rs กับ Sc โดยใช้สมการที่ 10 สำหรับสมการที่ได้รับจากการสร้างกราฟนี้ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ (r^2) โดยมีค่า เท่ากับ 0.99 (ภาพที่ 23) สำหรับผลที่ได้รับจากการศึกษาจลพลศาสตร์ของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มภายใต้สภาวะไร้อากาศซึ่งได้รับจากการดำเนินงานที่อุณหภูมิปานกลางโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การใช้สารอาหารของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB จากการคำนวณพบว่ามีค่าดังนี้ คือ Rs_{max}= 12.09 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน Ks = 9.65 กรัมซีโอดี/ลิตร และ Ki = 3.20 กรัมซีโอดี/ลิตร ในขณะที่สัมประสิทธิ์ของการใช้สารอาหารของถังผลิตมีเทน (UFAF) พบว่ามีค่า Rs_{max} = 6.06 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน Ks = 1.94 กรัมซีโอดี/ลิตร และ Ki = 0.38 กรัมซีโอดี/ลิตร นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์จลพลศาสตร์ของการใช้สารอาหารในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

ที่ได้รับจากการดำเนินงานโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิดต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันปนเปื้อนโดยอาศัยแบบจำลองของ Andrews ดังแสดงในตารางที่ 12



ภาพที่ 23 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารอาหารที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ของถังผลิตกรด

Figure 23. non-biodegradable substrate concentration in acidogenic reactor.

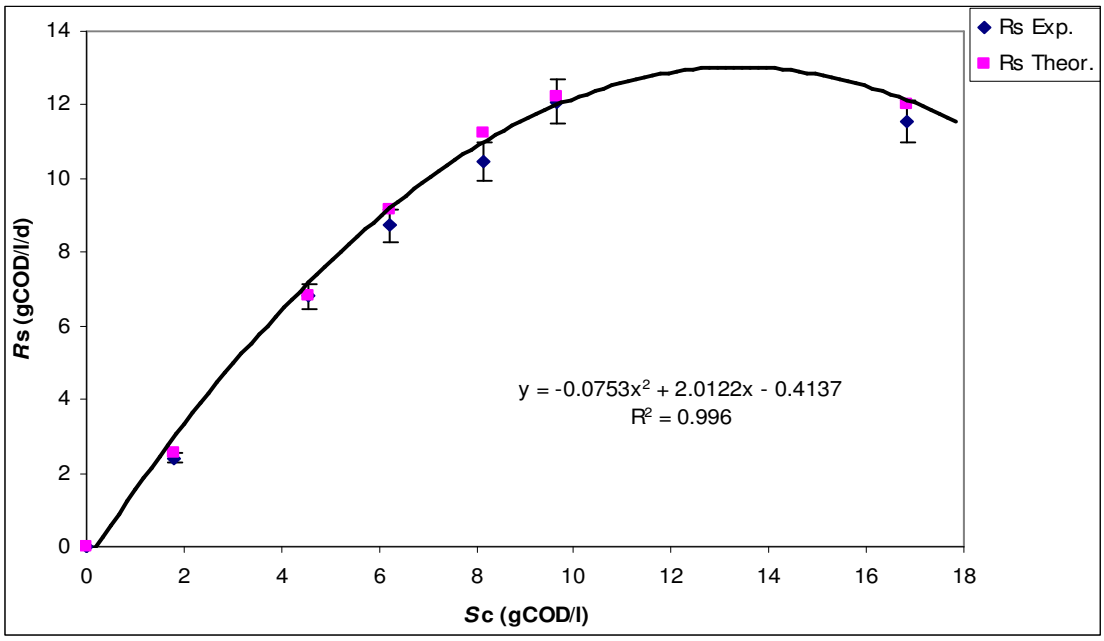
ตารางที่ 12 สัมประสิทธิ์จลพลศาสตร์ของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

Table 12. Anaerobic fermentation kinetic coefficients.

Reactor	$R_{S_{max}}$	K_S	K_i	**Reference**	**Substrate**	**Model**
	gCOD/l/d	gCOD/l/	gCOD/l			
UASB	12.09	9.65	3.20	This study	POME	Andrews
UFAF	6.06	1.94	0.38	This study	POME	Andrews
UASB	28.0±3.0	27.0±3.0	352.0±42.0	Borja *et al*., (2004)	TPOP	Andrews
ICR*	7.9±0.4	3.7±0.2	9.8±0.4	Borja *et al*., (2003)	TPOP	Andrews

*Immobilized cell reactor.

ในขณะที่รายงานการศึกษาจลพลศาสตร์ของการย่อยสลายแบบไร้อากาศของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันมะกอกซึ่งระบบดำเนินงานภายใต้อุณหภูมิปานกลางโดยอาศัยแบบจำลองของ Andrews พบว่าค่าสัมประสิทธิ์จลพลศาสตร์การใช้สารอาหารของระบบที่ได้รับโดยมีค่าดังนี้ คือ Rs_{max} = 28±3 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน Ks = 27±3 กรัมซีโอดี/ลิตร และ Ki = 352±42 กรัมซีโอดี/ลิตร (Borja *et al*., 2004) น้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในรูปของไขมันและน้ำมันโดยเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มโดยไม่มีการปนเปื้อนของสารพิษที่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ทำให้ความสามารถในการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์ (Rs) ในถังปฏิกรณ์ชนิด UASB และถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า Rs ที่ได้รับจากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 10 (ค่าของทฤษฎี) สำหรับค่า Rs ของน้ำเสียที่ได้รับจากการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของการนำแบบจำลองมาใช้เพื่ออธิบายความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่แตกต่างไปจากค่าของทฤษฎีโดยผลที่ได้รับจากการทดลองนี้ ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำกว่าค่าจากการคำนวณอยู่ร้อยละ 5 ในทุกกรณี ในขณะที่ความสามารถของการใช้สารอาหารสูงสุด (Rs_{max}) โดยมีค่า เท่ากับ 12.09 และ 6.06 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB และถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF ตามลำดับ ผลของการทดลองที่ได้รับนี้โดยพบว่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่สูงสามารถมีผลทำให้เกิดการยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบดังแสดงในภาพที่ 24 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารอาหารที่สามารถย่อยสลายได้ซึ่งมีค่า เท่ากับ 10.0 กรัมซีโอดี/ลิตร พบว่าเริ่มมีผลกระทบต่อการดำเนินงานของระบบและเมื่อความเข้มข้นของสารอาหารที่สามารถย่อยสลายได้เพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่า เท่ากับ 17.0 กรัมซีโอดี/ลิตร พบว่าจะมีผลกระทบที่ร้ายแรงต่อการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB โดยทำให้อัตราการใช้สารอาหารของระบบมีค่าลดลงสอดคล้องกับผลของการทดลองที่ได้รับ

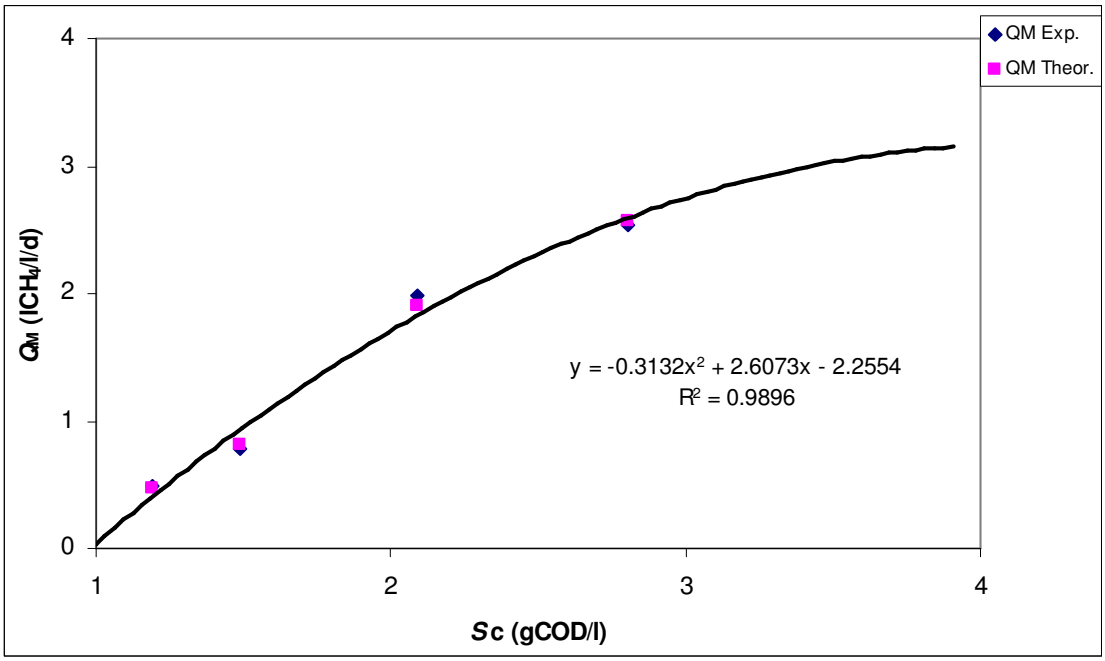


ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงของค่าที่ได้รับจากการทดลองและค่าที่ได้รับจากทฤษฎีของอัตราการลดค่าซีโอดี (R_S) และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลาย (S_C) ได้ในน้ำเสีย

Figure 24. Variation of the experimental and theoretical values of COD removal rate (R_S) with the effluent biodegradable substrate concentration (S_C).

ในขณะที่ผลของการศึกษาจลพลศาสตร์อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนที่ได้รับจากการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB และถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารอาหารและค่าซีโอดีที่ลดลงโดยใช้สมการที่ 12 สำหรับค่าที่ได้รับนี้โดยแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์ (มีทาโนจินิคแบคทีเรีย) ที่มีอยู่ในถังปฏิกรณ์ชนิด UASB และถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF เพื่อสร้างเป็นผลผลิตมีเทน สำหรับความเข้มข้นของสารอาหารที่สามารถย่อยสลายได้ (S_C) ซึ่งอยู่ในรูปของค่าซีโอดีของน้ำเสีย โดยจะถูกนำไปใช้เพื่อคำนวณค่าคงที่แบบจำลองของ Andrews ซึ่งสามารถกำหนดได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า S_C/Q_M กับ S_C โดยใช้สมการที่ 12 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้รับจากการศึกษาจลพลศาสตร์อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB พบว่ามีค่าดังนี้ คือ $Q_{M_{max}}$ = 0.69 ลิตรมีเทน/ลิตรถังหมัก/วัน K_S = 112.37 กรัมซีโอดี/ลิตร และ K_i = 54.33 กรัมซีโอดี/ลิตร ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์จลพลศาสตร์อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนของถังผลิตมีเทน (UFAF) พบว่ามีค่าดังนี้ คือ $Q_{M_{max}}$ = 2.54 ลิตรมีเทน/ลิตรถังหมัก/วัน K_S = 8.44 กรัมซีโอดี/ลิตร และ K_i = 1.46 กรัมซีโอดี/ลิตร สำหรับการใช้สมการที่ 12 เพื่อคำนวณความต้องการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์เพื่อสร้าง

ผลผลิตมีเทนโดยพบว่าถ้าต้องการให้ระบบมีประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตมีเทนสูงสุด สำหรับถังผลิตมีเทนโดยจะต้องทำการป้อนสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้น เท่ากับ 8.44 กรัมซีโอดี/ลิตร จึงจะสามารถให้ผลผลิตมีเทนสูงสุดที่ต้องการโดยมีค่า เท่ากับ 2.95 ลิตรมีเทน/ลิตรถังหมัก/วัน ซึ่งเป็นการคำนวณโดยใช้ค่าทางทฤษฎี (สารอินทรีย์ จำนวน 1 กรัมซีโอดี สามารถเปลี่ยนเป็นผลผลิตมีเทนได้ เท่ากับ 0.35 ลิตรมีเทน) สำหรับผลของการศึกษาจลพลศาสตร์ของอัตราการสร้างผลผลิตมีเทนโดยพบว่าผลได้รับจากการทดลองซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้รับจากการคำนวณ (ภาพที่ 25)



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากทฤษฎีของอัตราการผลิตมีเทน (Q_M) และความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำเสียที่มีการย่อยสลายได้ (S_c)

Figure 25. Variation of the experimental and theoretical values of methane production rate (Q_M) with the effluent biodegradable substrate concentration (S_c).

ในขณะที่สัมประสิทธิ์จลพลศาสตร์อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนที่ได้รับจากการดำเนินงานของบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่มีไขมันและน้ำมันปนเปื้อนโดยอาศัยถังปฏิกรณ์ชนิดต่าง ๆ ในการดำเนินงานโดยใช้แบบจำลองจลพลศาสตร์ของ Andrews ในการอธิบายประสิทธิภาพของอัตราการสร้างผลผลิตมีเทนของระบบดังแสดงในตารางที่ 13 จากรายงานการศึกษาจลพลศาสตร์อัตราการสร้างผลผลิตมีเทนโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB ในการดำเนินงานบำบัดน้ำเสียโรงงาน

สกัดน้ำมันมะกอกโดยอาศัยแบบจำลองของ Andrews พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้รับมีค่าดังนี้ คือ $Q_{M_{max}}$ = 3.1±0.3 ลิตรมีเทน/ลิตรถังหมัก/วัน K_S = 8.7±0.7 กรัมซีโอดี/ลิตร และ K_i = 272±27 กรัมซีโอดี/ลิตร ซึ่งได้รับจากการดำเนินงานของระบบโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่มีค่าเท่ากับ 8.8 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน โดยระบบมีอัตราการสร้างผลผลิตมีเทนสูงสุด เท่ากับ 3.1 ลิตรมีเทน/ลิตรถังหมัก/วัน (Borja *et al*., 2004)

ตารางที่ 13 สัมประสิทธิ์จลพลศาสตร์ของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

Table 13. Anaerobic fermentation kinetic coefficients.

Reactor	$Q_{M_{max}}$	K_S	K_i	Reference	Substrate	Model
	$lCH_4/l/d$	gCOD/l	gCOD/l			
UASB	0.69	112.37	54.33	This study	POME	Andrews
UFAF	2.54	8.44	1.46	This study	POME	Andrews
UASB	3.1±0.3	8.7±0.7	272.0±27.0	Borja *et al*., (2004)	TPOP	Andrews
AnR*	0.73	9.65	2.26	Chin (1981)	POME	Monod

*Anaerobic reactor.

ผลของการศึกษาจลพลศาสตร์ของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในถังปฏิกรณ์ชนิด UASB และปฏิกรณ์ชนิด UFAF โดยผลที่ได้รับจากการทดลองพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้รับจากการคำนวณซึ่งแสดงให้ถึงความเหมาะสมของการนำแบบจำลองจลพลศาสตร์ของ Andrews มาใช้เพื่ออธิบายประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย