บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการศึกษางานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารจากโรงอาหาร อาคาร 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต โดยผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนแรกคือ ผลการศึกษาปริมาณและคุณลักษณะของเศษอาหารและผลการศึกษาลักษณะตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนที่สองคือ ผลการศึกษาการแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร และส่วนสุดท้ายคือ ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในการเดินระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศด้วยสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมีรายละเอียดของผลการศึกษาในแต่ละส่วนดังนี้

4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของเศษอาหาร

4.1.1 ปริมาณและคุณลักษณะทางกายภาพของเศษอาหาร

ผลการศึกษาปริมาณและคุณลักษณะเศษอาหารจากโรงอาหาร มหาลัยราชภัฏสวนดุสิต จากผลการสำรวจปริมาณเศษอาหารเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ประมาณ 1 เดือน ทำการเก็บตัวเศษอาหารทุกวันจันทร์ พุธและศุกร์ พบว่าปริมาณเศษอาหารมีปริมาณมากในวันพุธกลางสัปดาห์ รองลงมาคือวันศุกร์ และวันจันทร์ ทั้งนี้อาจเนื่องมากจากลักษณะและพฤติกรรมการเข้าเรียนของนักศึกษา และตารางการเรียนการสอนที่ทางมหาวิทยาลัยเป็นผู้จัดการเรียนการสอน ซึ่งส่งผลต่อจำนวนลูกค้าในการบริโภคอาหารในโรงอาหาร และเมื่อคิดค่าปริมาณเศษอาหารเฉลี่ยใน 1 เดือนพบว่าอยู่ที่ 330±12 กิโลกรัมต่อวัน แสดงดังตารางที่ 4.1 และผลจากการสำรวจและเก็บตัวอย่างเศษอาหาร พบว่า คุณลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างเศษอาหารมีความชื้นสูง มีเศษข้าวในปริมาณมาก รองลงมาคือกระดูกและเนื้อสัตว์ ตามมาด้วยเศษผักและเศษผลไม้ แสดงดังภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณและคุณลักษณะทางกายภาพของเศษอาหาร

สัปดาห์ที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณเศษอาหาร (กิโลกรัมต่อวัน)	สถานที่เก็บตัวอย่าง
1	327±28	โรงอาหาร อาคาร 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
2	336±55	โรงอาหาร อาคาร 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
3	315±52	โรงอาหาร อาคาร 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
4	344±59	โรงอาหาร อาคาร 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
ค่าเฉลี่ย	**330±12**	**โรงอาหาร อาคาร 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต**

ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของเศษอาหาร

4.1.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของเศษอาหาร

เศษอาหารที่ทำการเก็บจากโรงอาหารนั้นได้ทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นทำการปั่นเพื่อให้มีขนาดเล็กลงและทำการรักษาคุณสมบัติไว้โดยนำไปแช่ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีนั้น ได้ทำการนำตัวอย่างที่เก็บไว้ในตู้เย็นออกมา เพื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความชื้น ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าของแข็งทั้งหมด ค่าของแข็งระเหยง่าย ค่าสารอินทรีย์ และปริมาณไนโตรเจน เป็นต้น แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของเศษอาหารจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
pH	4.32	± 0.0152
Moisture (%)	65.25	± 0.0537
TS (%)	34.76	± 0.0535
VS (%)	32.85	± 0.0537
Ash (%)	1.91	± 0.0002
COD (mg/l)	194,133	± 34,216
SCOD (mg/l)	16,833	±1,331
TKN (mg/l)	13,141	± 1,272

จากตารางผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของเศษอาหารทางด้านเคมีพบว่า ตัวอย่างเศษอาหารทำการทดสอบนั้นมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ที่ 4.32 ± 0.0152 แสดงให้เห็นว่าลักษณะของเศษอาหารมีความเป็นกรด ทั้งนี้อาจเนื่องจากเศษอาหารเกิดการย่อยสลายบางส่วนในระหว่างการเก็บตัวอย่างในแต่ละวันและในระหว่างการเก็บรักษาทำให้เชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายอาหารบางส่วน ทำให้เกิดปริมาณกรดขึ้น ซึ่งกรดดังกล่าวจะเป็นสารอาหารตั้งต้นของเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มผลิตก๊าซชีวภาพ และจากผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture) พบว่ามีค่าอยู่ที่ร้อยละ 65.25 ± 0.0537 แสดงให้เห็นว่าเศษอาหารมีส่วนประกอบที่เป็นน้ำในปริมาณมาก ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพเบื้องต้น ผลของค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 34.76 ± 0.0535 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) คือร้อยละ 32.85 ± 0.0537 เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่าง VS/TS พบว่าสัดส่วนอยู่ที่ 0.94 แสดงให้เห็นว่าเศษอาหารมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายมากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งค่าดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัย Zhang et al., 2007 พบว่าเศษอาหารที่ใช้มีค่าความชื้นอยู่ที่ 74% และสัดส่วน VS/TS ของ Zhang et al., 2007 อยู่ที่ 0.87 นอกจากนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะเศษอาหารที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีคุณลักษณะสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 4.3 นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาค่าสารอินทรีย์ (COD) และค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบว่ามีค่าสูง ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS)

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบคุณลักษณะเศษอาหารที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

แหล่งตัวอย่าง	ความชื้น (%)	VS/TS (%)	Country	Reference
A dining hall	80	95	Korea	Han and shin, 2004
A dining hall	84	96	Korea	Kim et al., 2004
A dining hall	93	94	Korea	Shin et al., 2004
University's cafeteria	80	94	Korea	Kwon and Lee, 2004
Mix municipal source	74	90-97	Australia	Steffen et al., 1998
Restaurants	66-73	84-87	United states	Zhang et al., 2007
This study	**65**	**94**	**Thailand**	**Limkhuansuwan et al., 2014**

4.2 คุณลักษณะและประสิทธิภาพของตะกอนเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มต้นในการศึกษาครั้งนี้ เป็นตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ในถังผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานผลิตเบียร์ ซึ่งได้การอนุเคราะห์โรงผลิตเบียร์สิงห์ บริษัทบุญรอดบริเวอรี่ จังหวัดสุพรรณบุรี โดยก่อนการเริ่มต้นเดินระบบ เชื้อได้ถูกนำมาเลี้ยงและปรับสภาพก่อนการทดลอง และทำการวิเคราะห์

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VS) และกิจกรรมของตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ (SMA) โดยคุณลักษณะดังกล่าวที่ทำการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการคำนวณสัดส่วนสารอาหารต่อปริมาณเชื้อในขั้นตอนต่อไป ผลการวิเคราะห์ดังแสดงตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงคุณสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์

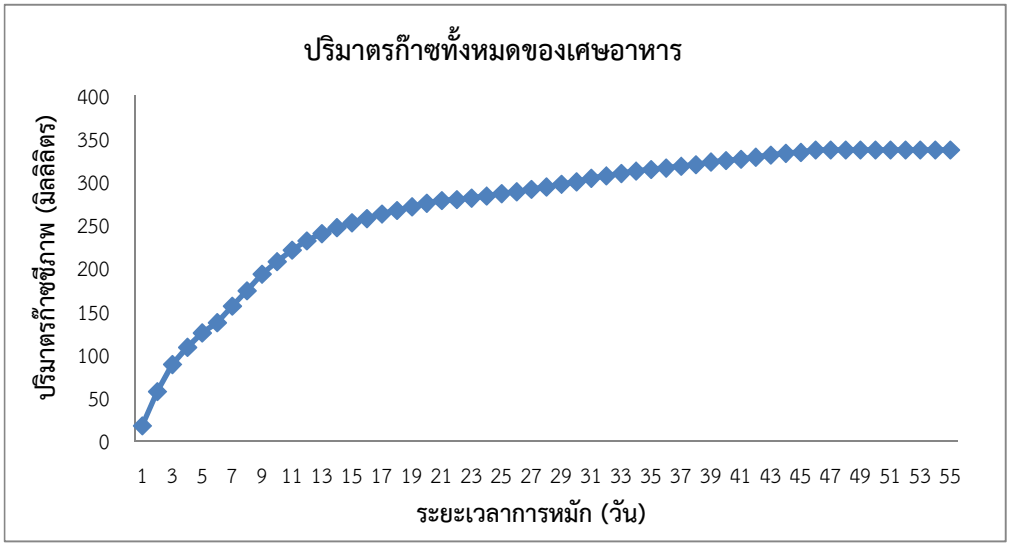
พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
pH	6.967	± 0.0577
TS (%)	50.02	± 0.2306
VS (%)	40.88	± 0.2189
Ash (%)	9.14	± 0.0117
SMA (gCOD/gVS.day)	0.23	± 0.036

จากตารางผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำการทดสอบนั้นมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.9-7.0 ซึ่งมีค่าเป็นกลางแสดงให้เห็นว่าเชื้อมีสภาวะที่เหมาะสมมีความสมดุลระหว่างจุลินทรีย์ในกลุ่มที่สร้างกรดกับจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ผลิตก๊าซชีวภาพ และเมื่อพิจารณาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) พบว่ามีค่าร้อยละ 50.02 ± 0.2306 และค่าปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) พบว่ามีค่าร้อยละ 40.88 ± 0.2189 เมื่อทำการวิเคราะห์สัดส่วน VS/TS แล้วพบว่ามีค่าอยู่ที่ 0.81 หรือร้อยละ 81 แสดงให้เห็นว่าตะกอนเชื้อจุลินทรีย์มีประชากรจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูงซึ่งเหมาะกับการทดสอบในขั้นตอนต่อไป ปริมาณเถ้า (Ash) พบในตะกอนเชื้อจุลินทรีย์อยู่ที่ 9.14 ± 0.0117 ซึ่งเป็นสารอื่นซึ่งไม่ใช่เชื้อจุลินทรีย์อยู่ประมาณร้อยละ 10 ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาณของค่าของแข็งระเหยง่าย เมื่อทำการทดสอบกิจกรรมการใช้สารอาหารโดยเฉพาะเป็นการทดสอบการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซ พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่เอามาใช้นี้มีความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพและมีค่า SMA อยู่ที่ 0.23 ± 0.036 กรัมซีโอดีต่อกรัมของแข็งระเหยง่ายต่อวัน

4.3 การทดสอบความสามารถเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพของเศษอาหาร (Biochemical Methane Potential, BMP)

การทดสอบในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบหาความสามารถเบื้องต้นของศักยภาพเศษอาหารของโรงอาหาร อาคาร 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิตว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ โดยคำนวณปริมาณเศษอาหารและปริมาณของตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.1.2 และ 4.2 หลังจากนั้นทำการใส่อาหารลงในขวด serum vial ที่มีเชื้อบรรจุอยู่ภายในที่อัตราส่วนสารอาหารต่อเชื้อในขวด (F/M ratio) อยู่ที่ 0.1 (การให้อัตราส่วนที่ต่ำเพื่อป้องกันการเกิดการยับยั้งที่มาจากปริมาณ

สารอาหารมากเกินไป เพราะต้องการศึกษาว่าเบื้องต้นเศษอาหารชนิดนี้มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเท่านั้น) หลังจากนั้นนำขวดทดสอบมาไล่อากาศออกด้วยการเติมก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อทำให้ในขวดทดสอบมีสภาวะเป็นไร้อากาศ (Anaerobic condition) หลังจากนั้นปิดฝาและนำไปบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 55 วัน ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพทุกวันโดยการแทนที่น้ำ ผลการทดสอบ พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 วันแรกของการทดสอบโดยมีค่าเฉลี่ยในการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ที่ 21 ± 8.3 มิลลิลิตรต่อวัน หลังจากช่วง 10 วันแรก ปริมาตรก๊าซชีวภาพเริ่มมีแนวโน้มลดลงและเข้าสู่สภาวะคงที่ในวันที่ 51 ของการทดสอบ ซึ่งเมื่อคิดเป็นปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งหมดเท่ากับ 337 มิลลิลิตร แสดงดังภาพที่ 4.2

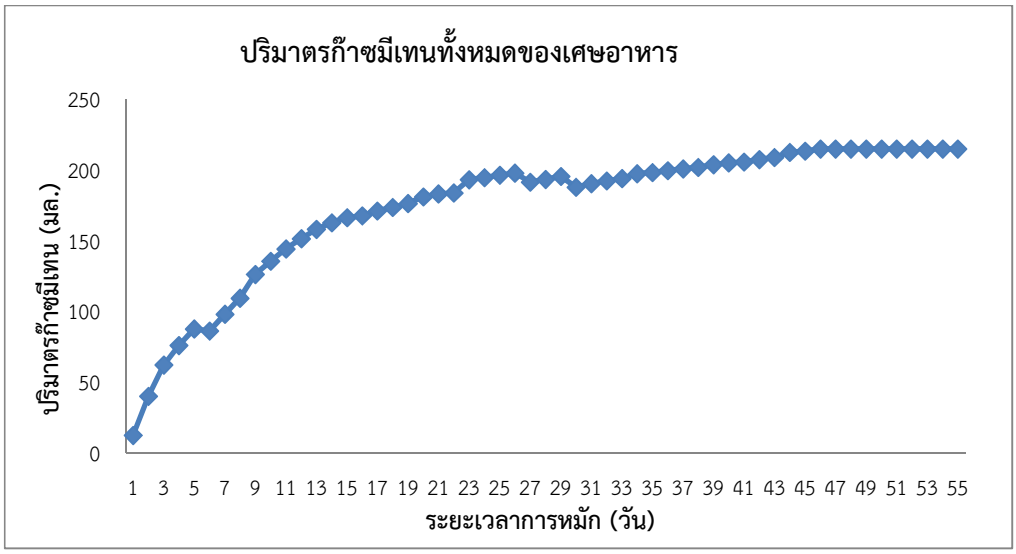


ภาพที่ 4.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

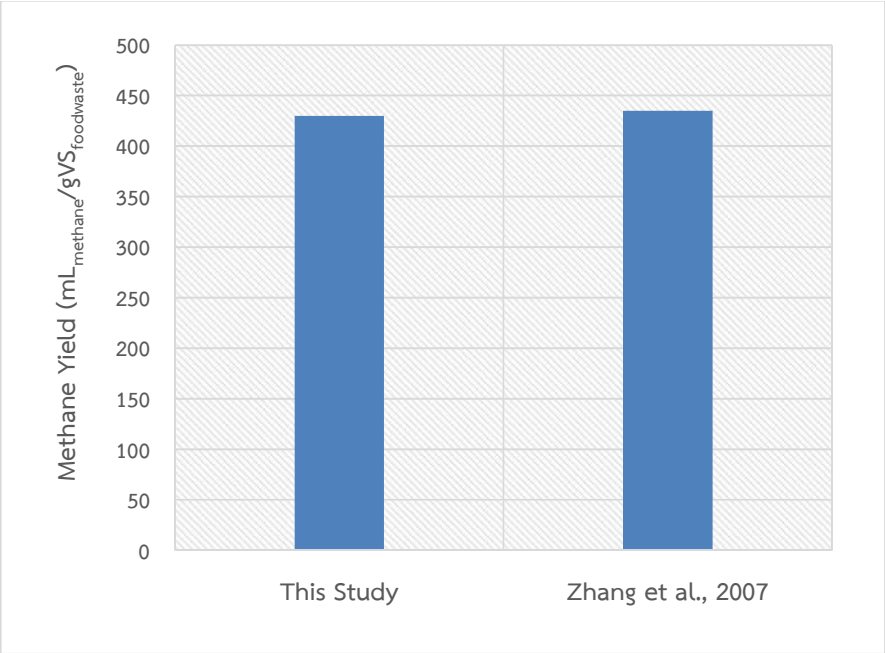
จากผลการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารที่แสดงดังภาพที่ 4.2 เมื่อนำมาคำนวณศักยภาพเบื้องต้นของเศษอาหารจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิตพบว่า สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้และมีปริมาตรก๊าซสะสมทั้งหมด 337 มิลลิลิตร เมื่อทำการคิดต่อหน่วยของเศษอาหารพบว่า 1 กรัมของเศษอาหารสามารถผลิตก๊าซได้เท่ากับ 210 มิลลิลิตรหรือ 210 มิลลิลิตรก๊าซชีวภาพ/กรัมเศษอาหาร ซึ่งเมื่อทำการคิดเป็นต่อกรัมของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหารจะได้ค่า BMP อยู่ที่ 674 มิลลิลิตรของก๊าซชีวภาพ/กรัมของแข็งระเหยง่ายเศษอาหาร (674 $mL_{Biogas}/gVS_{foodwaste}$) เมื่อพิจารณาร้อยละของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นพบว่า องค์ประกอบมีเทนค่อนข้างสูงอยู่ที่ร้อยละ 60 ขึ้นไป ทำให้ปริมาตรที่ผลิตมีเทนได้โดยรวมอยู่ที่ 215 มิลลิลิตร แสดงดังภาพที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นจากเศษอาหารนั้น มีแนวโน้มแนวเดียวกันกับปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งเมื่อทำการคำนวณศักยภาพ

ของเศษอาหารในการผลิตก๊าซมีเทนพบว่า 1 กรัมของเศษอาหารสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้เท่ากับ 134 มิลลิลิตรหรือ 134 มิลลิลิตรก๊าซมีเทน/กรัมเศษอาหาร ซึ่งเมื่อทำการคิดเป็นต่อกรัมของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหารจะได้ค่า methane yield อยู่ที่ 430 มิลลิลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของแข็งระเหยง่ายเศษอาหาร (430 $mL_{methane}/gVS_{foodwaste}$) ซึ่งค่าดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang et al., 2007 พบว่าเศษอาหารที่ใช้ในการศึกษานั้นมีค่า methane yield อยู่ที่ 435 $mL_{methane}/gVS_{foodwaste}$ แสดงดังภาพที่ 4.4

ผลดังกล่าวข้างต้นทั้งปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและปริมาณมีเทนแสดงให้เห็นว่าเศษอาหารจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ที่นำมาศึกษาในครั้งนี้เป็นชีวมวลที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเนื่องจากเศษอาหารดังกล่าวให้ปริมาณก๊าซชีวภาพค่อนข้างสูงและองค์ประกอบดังกล่าวมีปริมาณมีเทนสูงมากกว่าร้อยละ 60 และสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้



ภาพที่ 4.3 ปริมาณก๊าซมีเทนจากเศษอาหารโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบผลผลิตก๊าซมีเทน (methane yield)

4.4 ผลการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร

4.4.1 <u>ทดสอบสัดส่วนปริมาณอาหารต่อเชื้อที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ</u>

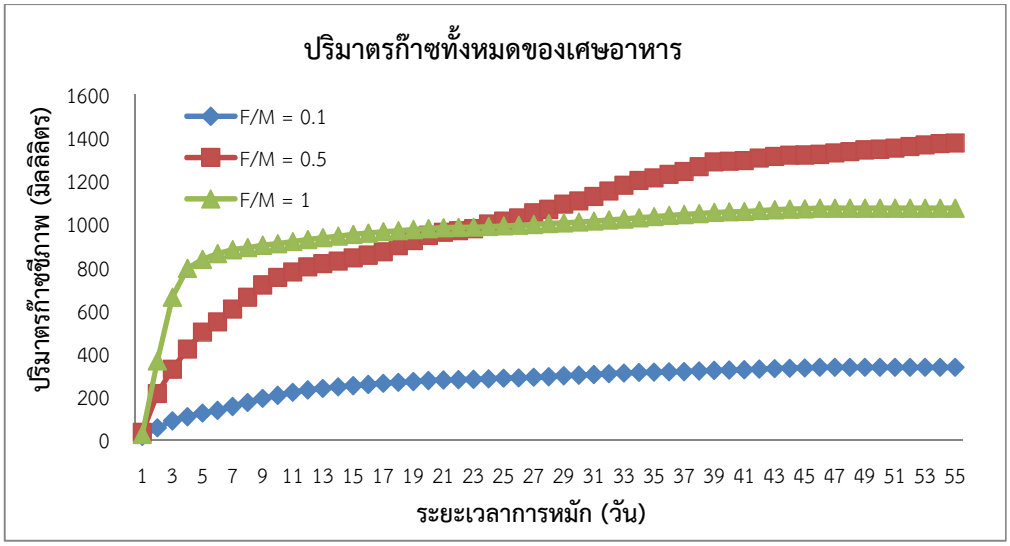
การทดสอบในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบหาปัจจัยหรือสภาวะแวดล้อมในการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนให้มากขึ้นของเศษอาหารของโรงอาหาร อาคาร 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ซึ่งเป็นการทดสอบต่อเนื่องจากขั้นตอนในหัวข้อที่ 4.3 โดยเพิ่มปริมาณเศษอาหารเข้าไปในระบบลงในขวด serum vial ที่มีเชื้อบรรจุอยู่ภายในโดยให้อัตราส่วนสารอาหารต่อเชื้อในขวด (F/M ratio) อัตราส่วนอยู่ที่ 0.1 0.5 และ 1.0 หลังจากนั้นนำขวดทดสอบมาไล่อากาศออกด้วยการเติมก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อทำให้ในขวดทดสอบมีสภาวะเป็นไร้อากาศ (Anaerobic condition) หลังจากนั้นปิดฝาและนำไปบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 55 วัน ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพทุกวันโดยการแทนที่น้ำ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสะสมของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตามอัตราส่วนสารอาหารต่อตะกอนเชื้อ (F/M Ratio) ที่ค่า 0.1 0.5 และ 1.0 พบว่า ในทั้งสามสัดส่วนคือ 0.1 0.5 และ 1.0 นั้น สัดส่วนที่ให้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสูงสุดคือ สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.5 ซึ่งให้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดอยู่ที่ 1,376 มิลลิลิตร แสดงดังภาพที่ 4.5 จากภาพเห็นได้ว่าโดยปริมาตรก๊าซจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1-12 เฉลี่ย 64 ± 15 มิลลิลิตรต่อวันและปริมาตรก๊าซชีวภาพเริ่มลดลงหลังจากวันที่ 12 จนเข้าสู่สภาวะคงที่ในวันที่ 53 ของการทดสอบ และเมื่อพิจารณาสัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่มีผลผลิตก๊าซชีวภาพรองลงมาคือ สัดส่วนอาหารต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่

1.0 ซึ่งมีปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งหมด 1,074 มิลลิลิตร ซึ่งแนวโน้มการผลิตก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มคล้ายกับที่สัดส่วนอาหารต่อเชื้อที่ 0.5 แต่จะเห็นได้ว่าปริมาตรก๊าซชีวภาพที่สะสมทั้งหมดของสัดส่วนนี้มีปริมาตรต่ำกว่าที่ 0.5 ทั้งนี้อาจเนื่องมากจากสัดส่วนในการใส่เศษอาหารต่อเชื้อจุลินทรีย์นั้นอาจจะมากเกินไป ส่งผลทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดใช้เศษอาหารนั้นผลิตกรดออกมาเร็วและเป็นจำนวนมาก ทำให้ค่า pH ลดต่ำลงกว่า 5 จึงส่งผลให้จุลินทรีย์ในกลุ่มที่ผลิตก๊าซชีวภาพไม่สามารถทำงานได้หรือเกิดสภาวะการยับยั้ง (inhibit) ของกิจกรรมจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะสามารถทำงานได้ดีที่สภาวะค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ 6.8-7.2 (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2525; สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย, 2540) จึงส่งผลให้ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนลดลงเป็นลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับภาพที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นได้ว่าการผลิตก๊าซชีวภาพในช่วงแรกวันที่ 1-7 ของการทดสอบสัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 1.0 จะให้ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่สูงกว่าสัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.5 แต่เมื่อทำทดสอบระยะเวลานานขึ้นหลังจาก 10 วันแรก พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพของสัดส่วนที่ 1.0 ลดลงในขณะที่ 0.5 มีการผลิตที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับเหตุผลที่กล่าวไปเบื้องต้น แสดงดังภาพที่ 4.5

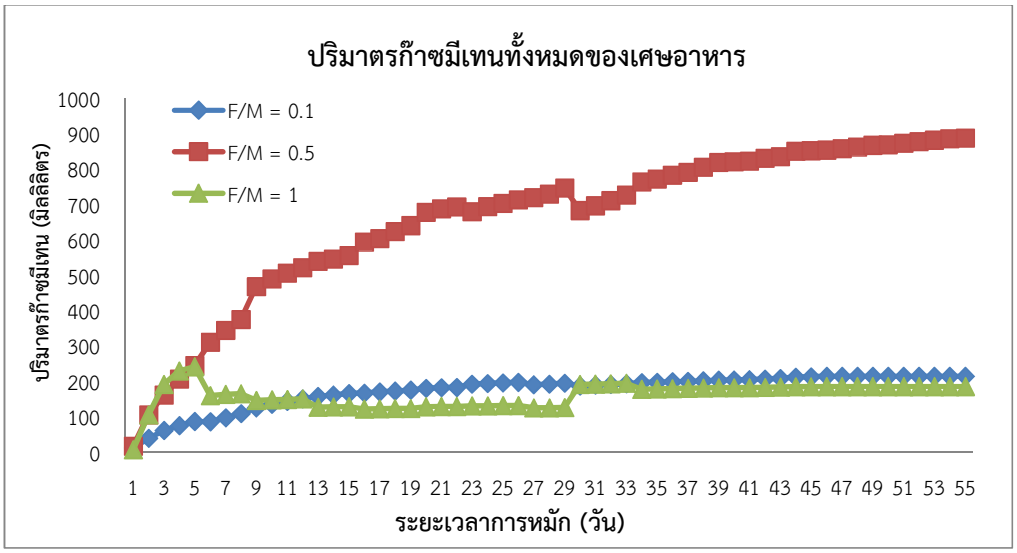
เมื่อพิจารณาผลการผลิตก๊าซมีเทน พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการผลิตก๊าซชีวภาพ แสดงดังภาพที่ 4.6 ปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมตลอดระยะเวลาการทดลองในเศษอาหารจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต พบว่าสัดส่วนอาหารต่อเชื้อจุลินทรีย์ F/M ratioที่ 0.5 มีปริมาตรก๊าซมีเทนสูงสุด โดยสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ทั้งสิ้น 888 มิลลิลิตร ที่ผลิตได้รองลงมาคือสัดส่วนอาหารต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่ 0.1 มีปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมทั้งหมด 215 มิลลิลิตร และสุดท้ายสัดส่วนอาหารต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่ 1.0 มีปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมทั้งหมด 186 มิลลิลิตร ซึ่งมีปริมาตรค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับปริมาตรของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ เนื่องจากปริมาตรก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่ที่ได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงภาวะการล้มเหลวของการหมักในการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเนื่องจากสภาวะของสารอาหารไม่เหมาะสมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ ในการทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพขั้นตอนต่อไปจะทำการเลือกสภาวะสัดส่วนของสารอาหารต่อเชื้อที่เหมาะสมคือ 0.1 และ 0.5 ในการทดสอบขั้นต่อไป

จากผลการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารที่แสดงดังภาพที่ 4.5 เมื่อนำมาคำนวณศักยภาพสามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.5 พบว่า 1 กรัมของเศษอาหารสามารถผลิตก๊าซได้เท่ากับ 176 มิลลิลิตรหรือ 176 มิลลิลิตรก๊าซชีวภาพ/กรัมเศษอาหาร ซึ่งเมื่อทำการคิดเป็นต่อกรัมของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหารจะได้ค่า BMP อยู่ที่ 521 มิลลิลิตรของก๊าซชีวภาพ/กรัมของแข็งระเหยง่ายเศษอาหาร (521 $mL_{Biogas}/gVS_{foodwaste}$) เมื่อพิจารณาร้อยละของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นพบว่า องค์ประกอบมีเทนค่อนข้างสูงอยู่ที่ร้อยละ 60 ขึ้นไป ทำให้ปริมาตรที่ผลิตมีเทนได้โดยรวมอยู่ที่ 888 มิลลิลิตร แสดงดังภาพที่ 4.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นจากเศษอาหารมีแนวโน้มแนวเดียวกันกับปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งเมื่อทำการคำนวณศักยภาพของเศษอาหาร

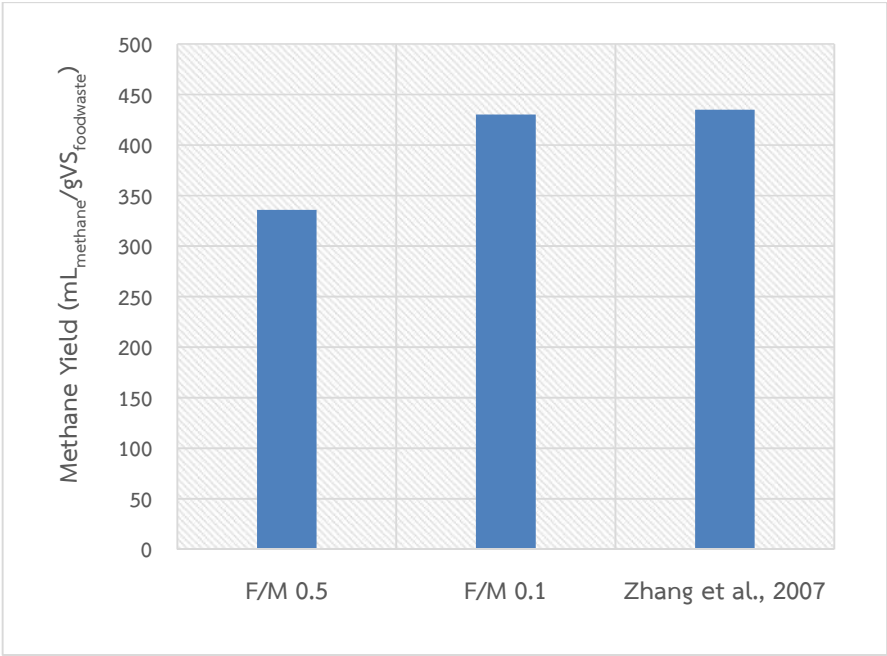
ในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพบว่า 1 กรัมของเศษอาหาร สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้เท่ากับ 111 มิลลิลิตร หรือ 111 มิลลิลิตรก๊าซชีวภาพ/กรัมเศษอาหาร ซึ่งเมื่อทำการคิดเป็นต่อกรัมของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหารจะได้ค่า methane yield อยู่ที่ 336 มิลลิลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของแข็งระเหยง่ายเศษอาหาร (336 $mL_{methane}/gVS_{foodwaste}$) ซึ่งค่าดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang et al., 2007 พบว่าเศษอาหารที่ใช้ในการศึกษานั้นมีค่า methane yield อยู่ที่ 435 $mL_{methane}/gVS_{foodwaste}$ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่า methane yield ที่สัดส่วนสารอาหารที่ 0.1 กับ 0.5 แสดงดังภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อ 0.1 มีค่า methane yield สูงการที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.5 ทั้งที่ปริมาณสะสมก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.5 มีปริมาตรสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเศษอาหารที่สัดส่วน 0.5 มีปริมาณเยอะกว่าเป็นผลให้สารอินทรีย์หรือสารอาหารที่ใช้สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับจุลินทรีย์มีปริมาณมากกว่าทำให้ปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสะสมมีปริมาตรสูงกว่า แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบ methane yield พบว่าก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ต่อหนึ่งหน่วยของแข็งแขวนลอยระเหยได้หรือต่อกรัมของเศษอาหารมีปริมาณใกล้เคียงกันหรือน้อยกว่าแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในเศษอาหารบางส่วนเป็นประเภทที่ย่อยสลายยากโดยมีองค์ประกอบไฟเบอร์อยู่ค่อนข้างสูง เช่น เศษอาหารจำพวกผักและผลไม้ ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มเศษอาหารเข้าไปจะทำให้สัดส่วนสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายเหล่านี้เพิ่มขึ้นสูงด้วย จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่า methane yield ที่สัดส่วนอาหารต่อเชื้อ 0.5 ต่ำกว่าที่ 0.1



ภาพที่ 4.5 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละสัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ระยะเวลา 55 วัน



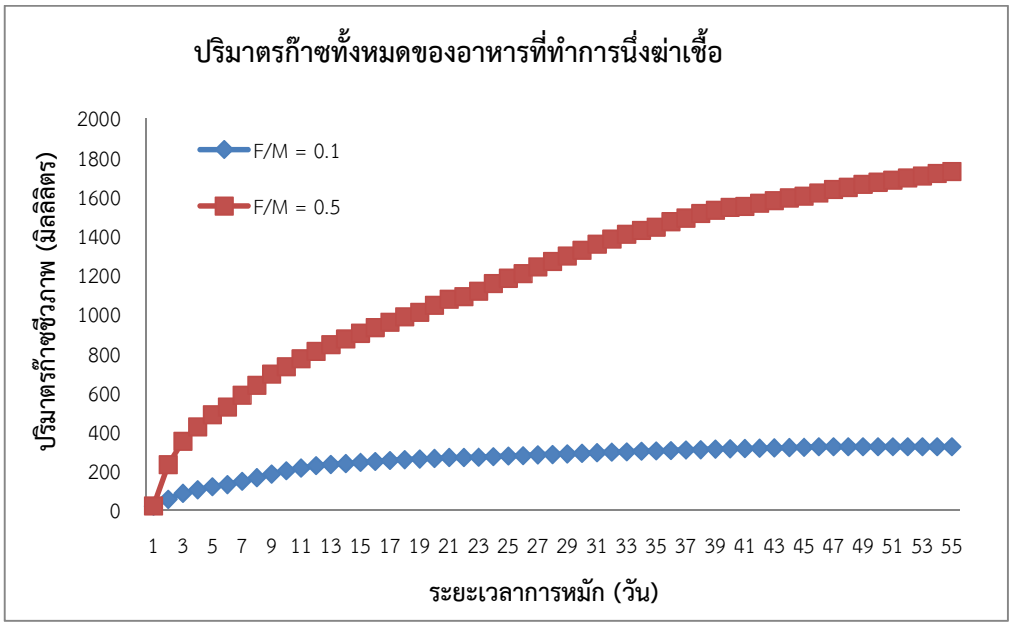
ภาพที่ 4.6 ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนในแต่ละสัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ระยะเวลา 55 วัน



ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบผลผลิตก๊าซมีเทน (methane yield) ที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อต่างๆ

4.4.2 ทดสอบผลของการให้ความร้อนเริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

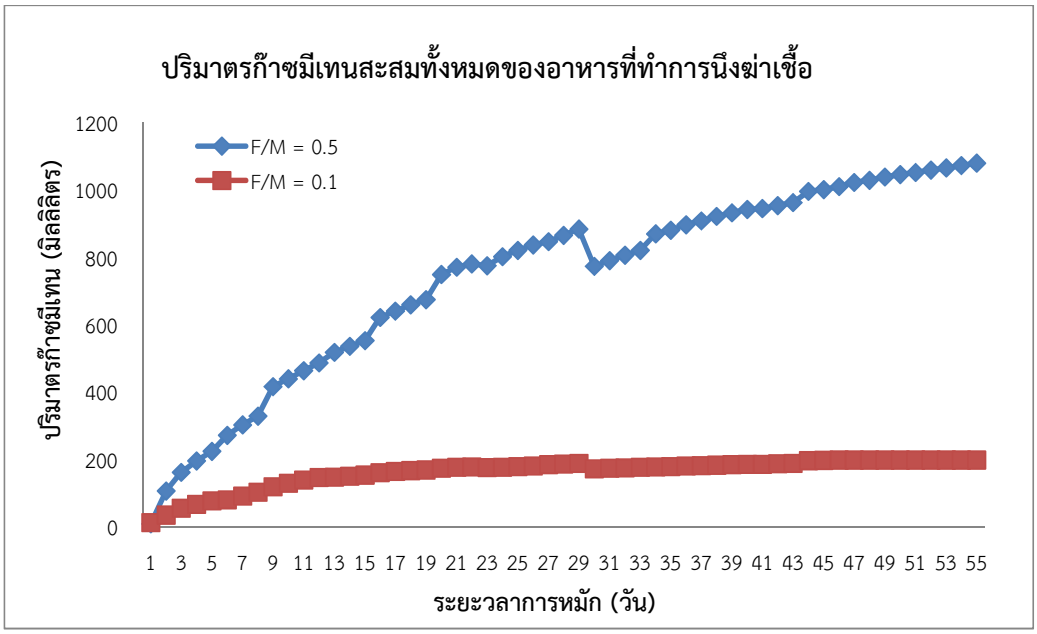
การทดสอบผลของการให้ความร้อนเริ่มต้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ทำการเลือกสัดส่วนที่ได้จากขั้นตอนที่ก่อนหน้านี้ โดยทำการเลือกสัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.1 และ 0.5 การทดสอบทำโดยนำเศษอาหารที่สัดส่วนดังกล่าวไปให้ความร้อนเบื้องต้นแบบนึ่งด้วยเครื่อง Autoclave ที่ความร้อน 121 องศาเซียลเซียส ความดัน 1.5 บาร์เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปหมักเป็นระยะเวลา 55 วันเพื่อดูการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพผลการทดสอบพบว่า สัดส่วนอาหารต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่มีปริมาตรก๊าซสะสมมากที่สุด คือ F/M ที่ 0.5 ซึ่งมีปริมาตรก๊าซสะสมทั้งหมด 1,729 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีปริมาตรก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเป็นระยะเวลานาน โดยจะอยู่ในช่วงวันที่ 2-41 เฉลี่ย 41 มิลลิลิตรต่อวัน และปริมาตรก๊าซชีวภาพลดลงในช่วงวันที่ 42-55 เฉลี่ย 13 มิลลิลิตรต่อวัน และสุดท้ายคือสัดส่วนอาหารต่อเชื้อจุลินทรีย์ F/M ที่ 0.1 ซึ่งมีปริมาตรก๊าซสะสมทั้งหมด 323 มิลลิลิตรโดยปริมาตรก๊าซจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากปริมาตรสารอินทรีย์นั้นมีน้อยจึงทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายและผลิตก๊าซชีวภาพเป็นไปได้อย่างช้าๆ โดยช่วงวันที่ 1-13 สามารถผลิตก๊าซเฉลี่ย 19 มิลลิลิตรต่อวัน และปริมาตรก๊าซเริ่มมีสภาพคงที่ในช่วงวันที่ 14-55 เฉลี่ย 2 มิลลิลิตรต่อวัน แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสมทั้งหมดในอาหารที่ทำการนึ่งฆ่าเชื้อ

ปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมตลอดระยะเวลาการทดลองในอาหารที่ทำการนึ่งฆ่าเชื้อหรือปรับสภาพเบื้องต้นด้วยความร้อน พบว่าสัดส่วนอาหารต่อเชื้อจุลินทรีย์ F/M ratio ที่ 0.5 มีปริมาตร

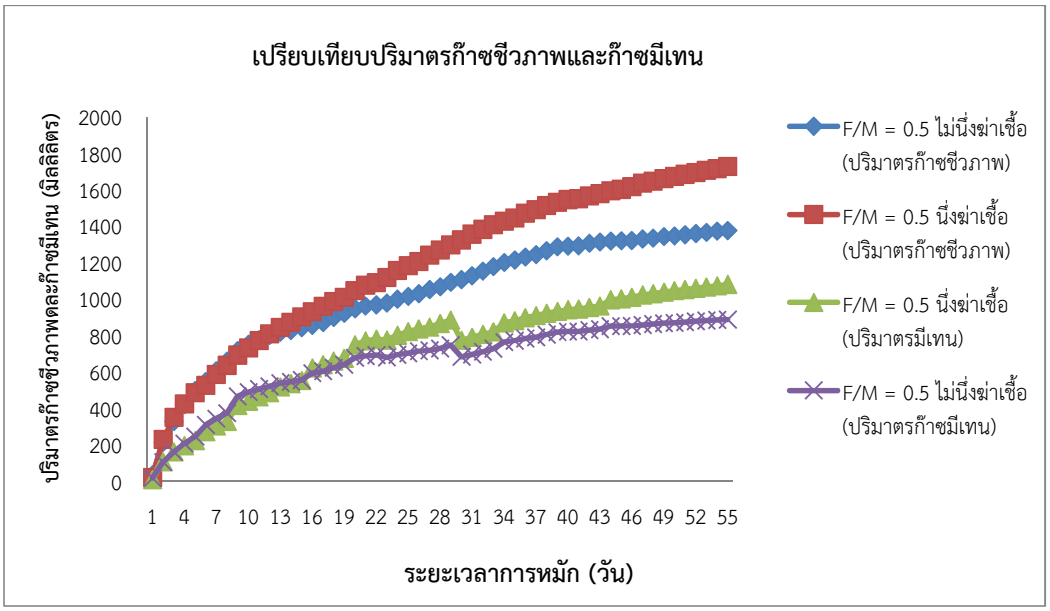
ก๊าซมีเทนมากที่สุด โดยสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ทั้งสิ้น 1,080 มิลลิลิตร รองลงมาคือสัดส่วนอาหารต่อเชื้อจุลินทรีย์ F/M=0.1 มีปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมทั้งหมด 199 มิลลิลิตร แสดงดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมทั้งหมดในอาหารที่ทำการนึ่งฆ่าเชื้อ

เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารที่ทำการนึ่งและไม่นึ่งฆ่าเชื้อทั้งปริมาตรของก๊าซชีวภาพและมีเทน จะเห็นได้ว่าที่สภาวะที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารนั้น อยู่ที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.5 และมีการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยความร้อนหรือมีการให้ความร้อนกับเศษอาหารก่อนทำการหมักจะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการก๊าซชีวภาพได้อีก แสดงดังภาพที่ 4.10 ผลของปริมาตรก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสะสมทั้งหมดของเศษอาหารที่ไม่ได้นึ่งความร้อนที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.5 เท่ากับ 1,376 มิลลิลิตร และ 888 มิลลิลิตร ตามลำดับ และผลของปริมาตรก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสะสมทั้งหมดของเศษอาหารที่นึ่งความร้อนที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.5 เท่ากับ 1,729 มิลลิลิตร และ 1,080 มิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อทำการคิดคำนวณจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพหรือผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 25.65 และ 21.62 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลความร้อนที่ให้กับเศษอาหารก่อนที่จะทำการหมักเศษอาหารนั้น ได้ทำลายโครงสร้างสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากในเศษอาหาร เช่น สารจำพวกไฟเบอร์ต่างๆ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ที่อยู่ในเศษอาหารจำพวกผลไม้และผักให้เกิดการย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ

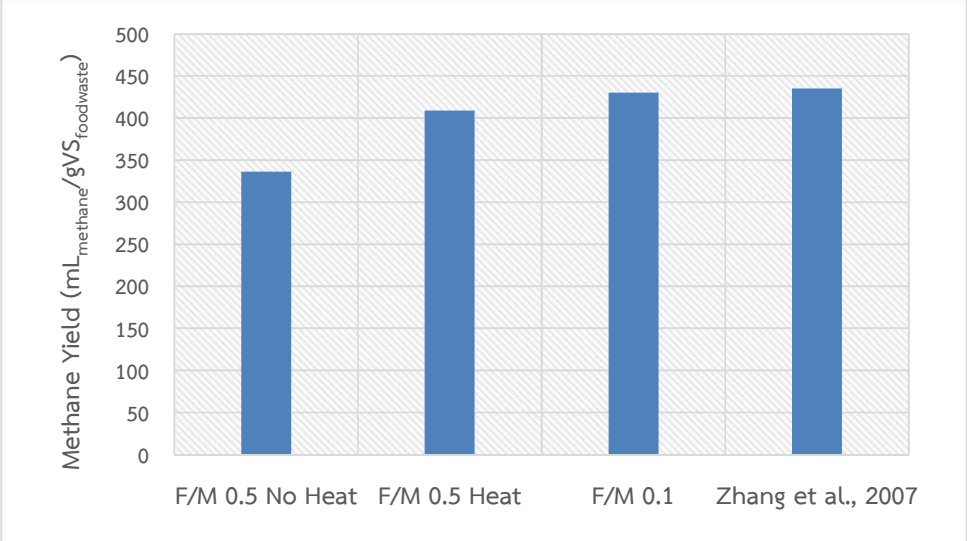
Ma et.al., 2011 โดยทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเศษอาหารจากโรงครัวพบว่า การใช้ความร้อนที่ 120 องศาเซลเซียสกับเศษอาหารเบื้องต้นก่อนทำให้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 24



ภาพที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบปริมาตรสะสมของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน ที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.5

เมื่อนำมาคำนวณศักยภาพความสามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.5 ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเบื้องต้นพบว่า 1 กรัมของเศษอาหารสามารถผลิตก๊าซได้เท่ากับ 216 มิลลิลิตรหรือ 216 มิลลิลิตรก๊าซชีวภาพ/กรัมเศษอาหาร ซึ่งเมื่อทำการคิดเป็นต่อกรัมของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหารจะได้ค่า BMP อยู่ที่ 655 มิลลิลิตรของก๊าซชีวภาพ/กรัมของแข็งระเหยง่ายเศษอาหาร (655 $mL_{Biogas}/gVS_{foodwaste}$) เมื่อพิจารณาร้อยละของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นพบว่าองค์ประกอบมีเทนค่อนข้างสูงอยู่ที่ร้อยละ 60 ขึ้นไป ทำให้ปริมาตรที่ผลิตมีเทนได้โดยรวมอยู่ที่ 1,080 มิลลิลิตร ซึ่งเมื่อทำการคำนวณศักยภาพของเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเบื้องต้นในการผลิตก๊าซมีเทน โดยพบว่า 1 กรัมของเศษอาหารสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้เท่ากับ 135 มิลลิลิตร หรือ 135 มิลลิลิตรก๊าซชีวภาพ/กรัมเศษอาหาร ซึ่งเมื่อทำการคิดเป็นต่อกรัมของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหารจะได้ค่า methane yield อยู่ที่ 409 มิลลิลิตรของก๊าซมีเทน/กรัมของแข็งระเหยง่ายเศษอาหาร (409 $mL_{methane}/gVS_{foodwaste}$) แสดงดังภาพที่ 4.11 ซึ่งค่าดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang et al., 2007 และเมื่อทำการคำนวณประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการให้ความร้อนต่อกรัม

ของเศษอาหารหรือต่อกรัมของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย พบว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 22 และก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 21.6 ตามลำดับ

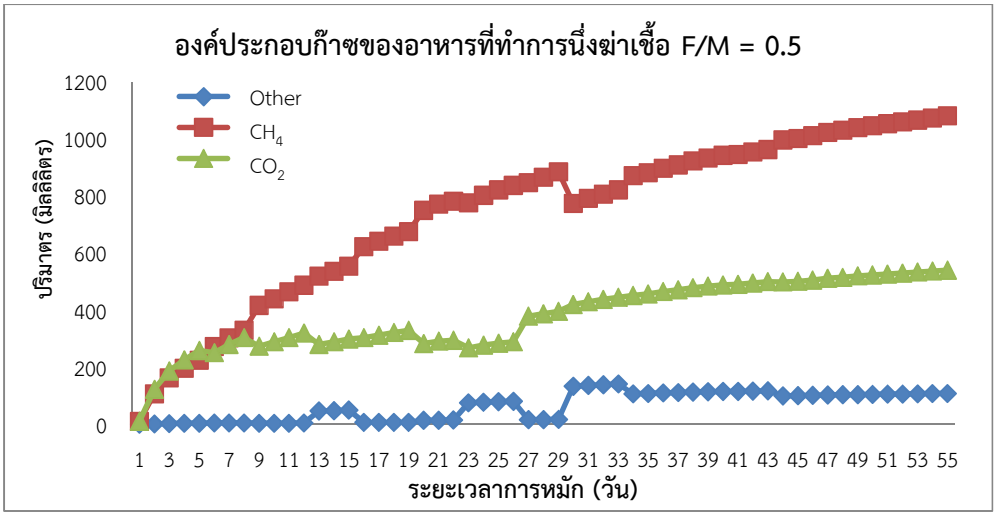


ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบ methane yield ระหว่างเศษอาหารที่ให้และไม่ให้ความร้อนเบื้องต้น

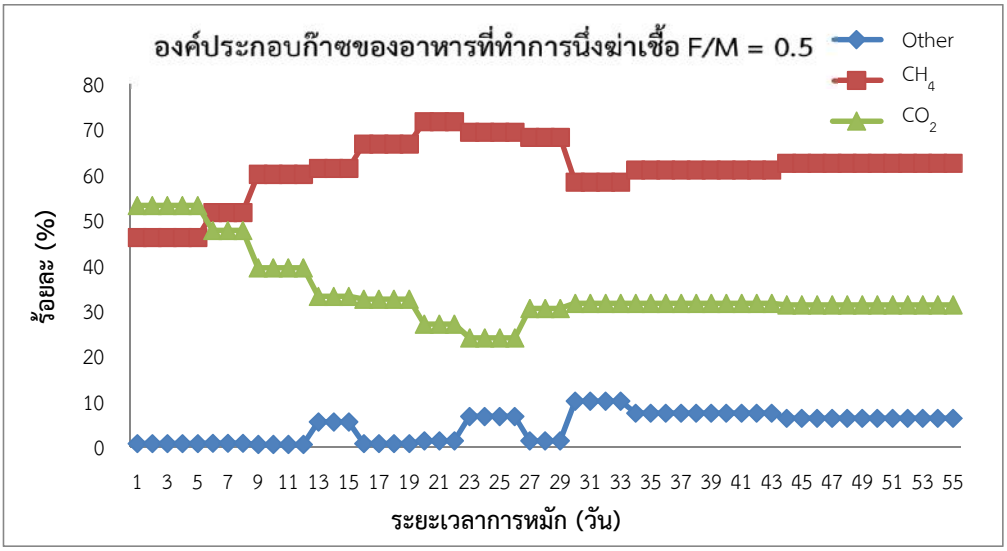
4.5 ปริมาณและสัดส่วนก๊าซจากเศษอาหารที่ผ่านการนึ่งความร้อนเบื้องต้น

ผลจากการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและผลจากแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่า ปริมาณสารอาหารหรือเศษอาหารมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพ และการให้ความร้อนเริ่มต้นของเศษอาหาร (Heat pretreatment) มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการทดสอบหาสภาวะดังกล่าวทำให้พบว่า เศษอาหารที่มีปริมาณสัดส่วนที่ 0.5 และมีการให้ความร้อนเริ่มต้นจะมีความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพดีที่สุด อยู่ที่ 655 มิลลิลิตรของก๊าซชีวภาพ/กรัมของแข็งระเหยง่ายเศษอาหาร ตลอดระยะเวลาการศึกษาเป็นเวลา 55 วัน ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมอยู่ที่ 1,729 มิลลิลิตร ซึ่งมีสัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนอยู่ 1,080 มิลลิลิตร ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาตรสะสม 540 มิลลิลิตร และสุดท้ายก๊าซอื่นๆ มีปริมาตรสะสม 108 มิลลิลิตร แสดงดังภาพที่ 4.12 ซึ่งปริมาณก๊าซแต่ละชนิดดังกล่าวมีความสอดคล้องกับสัดส่วนร้อยละของก๊าซแต่ละชนิด แสดงดังภาพที่ 4.13 จากภาพจะเห็นได้ว่าในช่วงวันที่ 1-7 ของการทดสอบปริมาณร้อยละมีเทนอยู่ในระดับต่ำอยู่ที่ร้อยละ 48 เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นของกระบวนการหมัก โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้ย่อยสลายสารอาหารหรือเศษอาหารให้เป็นกรดระเหยง่าย (Acidogenic microorganism) มีการทำงานสูงในช่วงแรกทำให้มีผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างสูงมากกว่าร้อยละ 50 หลังจากทำการหมักเศษอาหารได้ 10 วัน จุลินทรีย์กลุ่ม Methanogenic microorganism ทำการเปลี่ยน

กรดให้เป็นก๊าซมีเทน ส่งผลให้สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนมีมากขึ้น ทำให้สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงซึ่งมีความสอดคล้องกับภาพที่ 4.13 โดยปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนมากที่สุดอยู่ในช่วงวันที่ 20-22 เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 72 และเมื่อกระบวนการย่อยสลายเริ่มมีสภาพคงที่จะมีปริมาตรก๊าซมีเทนร้อยละ 61 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 31 และก๊าซอื่นๆ ร้อยละ 7



ภาพที่ 4.12 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)



ภาพที่ 4.13 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (ร้อยละ)

4.6 ผลกระทบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Alk) และค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพก่อนและหลังการหมักก๊าซชีวภาพ

การพิจารณาสภาวะแวดล้อมของการหมักเพื่อใช้ในการควบคุมประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมสภาวะของเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักที่สำคัญคือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Alk) และค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) เมื่อพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของกรด-ด่าง (pH) ของแต่ละสัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อจุลินทรีย์ก่อนและหลังการหมักพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสัดส่วนที่ 0.1 และ 0.5 ทั้งก่อนและหลังมีความเป็นกลางคืออยู่ในช่วง 7.20 – 7.69 ในขณะที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 1.0 นั้นมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงจาก 7.19 เหลือ 4.52 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงสภาวะความเป็นกรด ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาตรก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนโดยที่ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของสัดส่วนดังกล่าวนั้น จะมีระยะเวลาในการผลิตช่วงสั้นๆ และหลังจากนั้นปริมาตรจะลดลงอย่างรวดเร็วแสดงดังภาพที่ 4.13 โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีสัดส่วนเป็นองค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสัดส่วนปริมาณเศษอาหารต่อเชื้อไม่สมดุล ทำให้เกิดการผลิตกรดออกมาในปริมาณที่สูง เป็นผลให้ยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มที่มีการใช้กรดจึงทำค่า VFA มีการสะสมอยู่ในระบบเป็นผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดต่ำลงกว่า 5 และเมื่อพิจารณาค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่าง (VFA/ALK) เพื่อดูความมีเสถียรภาพของระบบพบว่า ก่อนเริ่มต้นการหมักที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.1 0.5 และ 1.0 มีค่า VFA/ALk อยู่ที่ 0.19 0.27 และ 0.27 ตามลำดับ หลังการหมักพบว่าที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.1 0.5 และ 1.0 มีค่า VFA/ALk อยู่ที่ 0.25 0.23 และ 1.3 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ค่าที่สัดส่วน 0.1 และ 0.5 ค่าไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่สัดส่วน 1.0 มีค่า VFA/ALK สูงขึ้นอยู่ที่ 1.3 แสดงให้เห็นว่าระบบขาดสเถียรภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากค่าดังกล่าวปกติมีค่าไม่เกิน 0.4 (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Alk) และค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (TVA)

พารามิเตอร์	F/M 0.1		F/M 0.5		F/M 1	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
pH	7.23	7.69	7.20	7.22	7.19	4.52
ALK (mg/l)	2,020	1,937	3,160	4,602	4,513	8,775
VFA (mg/l)	393	500	870	1,047	1,220	11,851
TVA/ALK	**0.19**	**0.25**	**0.27**	**0.23**	**0.27**	**1.3**

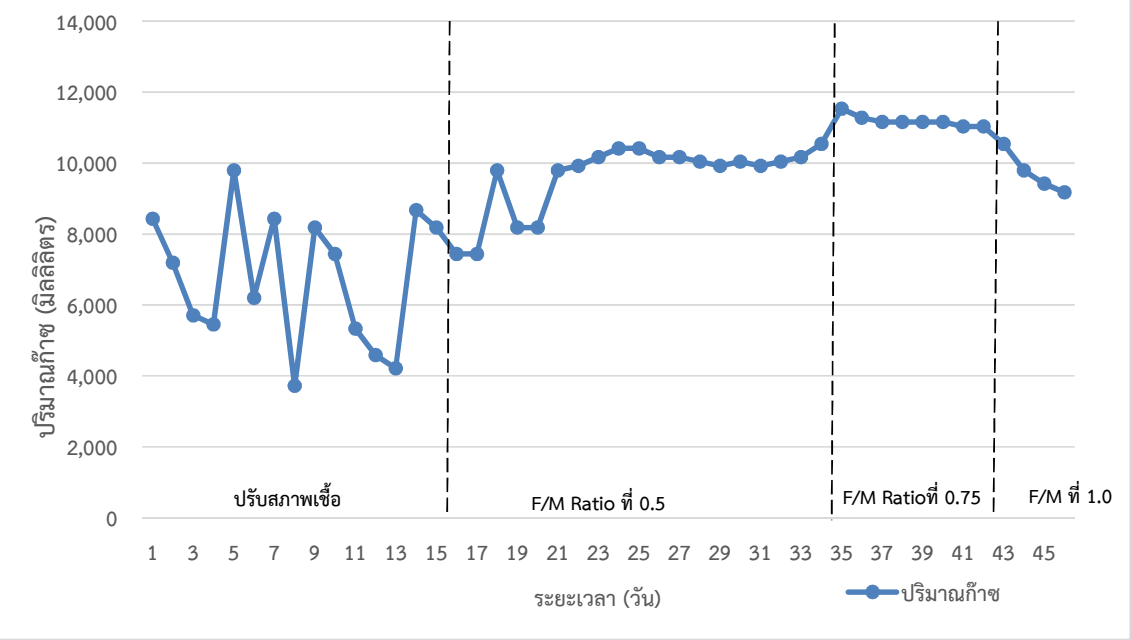
4.7 การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในถังหมักไร้อากาศ (Anaerobic Digester Reactor)

ผลการทดสอบที่ได้จากขั้นตอนการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการออกแบบถังหมักไร้อากาศในระดับห้องปฏิบัติการ โดยถังหมักไร้อากาศ (Digester Reactor) แบบ CSTR โดยตัวอย่างเศษอาหารจะถูกป้อนเข้าสู่ถังหมักไร้อากาศเริ่มต้นที่อัตราส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.5 หลังจากนั้นจะทำการเพิ่มภาระสารอินทรีย์เป็นอัตราส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 0.75 และ 1.0 ตามลำดับ ซึ่งในการทดสอบจะทำการปรับสภาพเชื้อในถังก่อนเป็นเวลา 15 วัน โดยทำการเติมแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi continuous feed) หลังจากนั้นทำการป้อนเศษอาหารแบบต่อเนื่องและมีการเพิ่มภาระสารอินทรีย์เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันด้วยการเก็บก๊าซแบบแทนที่น้ำ ในช่วงที่ 1 เป็นช่วงการปรับสภาพเชื้อ 15 วันแรก ปริมาณของก๊าซชีวภาพอยู่ที่ 4,000-8,000 มิลลิลิตรต่อวัน ช่วงที่ 2 เป็นช่วงการเพิ่มภาระสารอินทรีย์โดยเติมเศษอาหารปริมาณ 100 กรัม ทุกวัน F/M Ratio ที่ 0.5 พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพ อยู่ที่ 8,000-10,000 มิลลิลิตรต่อวัน ช่วงที่ 3 เพิ่มภาระสารอินทรีย์โดยเติมเศษอาหารปริมาณ 150 กรัมทุกวัน F/M Ratio ที่ 0.75 พบว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพ 11,000 มิลลิลิตรต่อวัน และช่วงที่ 4 เพิ่มภาระสารอินทรีย์โดยเติมเศษอาหารปริมาณ 200 กรัม F/M Ratio ที่ 1.0 พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง สรุปได้ว่าปริมาณก๊าซที่เก็บโดยการแทนที่น้ำที่เกิดขึ้นนั้น F/M Ratio ที่ 0.5-0.75 มีค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ 4,000-11,000 มิลลิลิตรต่อวัน ส่วน F/M Ratio ที่ 1.0 ระบบไม่สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้เป็นผลทำให้ปริมาณก๊าซลดลง แสดงดังภาพที่ 4.14 และเมื่อคำนวณค่าbiogas yield ของระบบ CSTR ที่มีการเศษอาหารต่อเนื่องมีค่าอยู่ที่ 312 $mL_{biogas}/gVS_{food\ waste}$

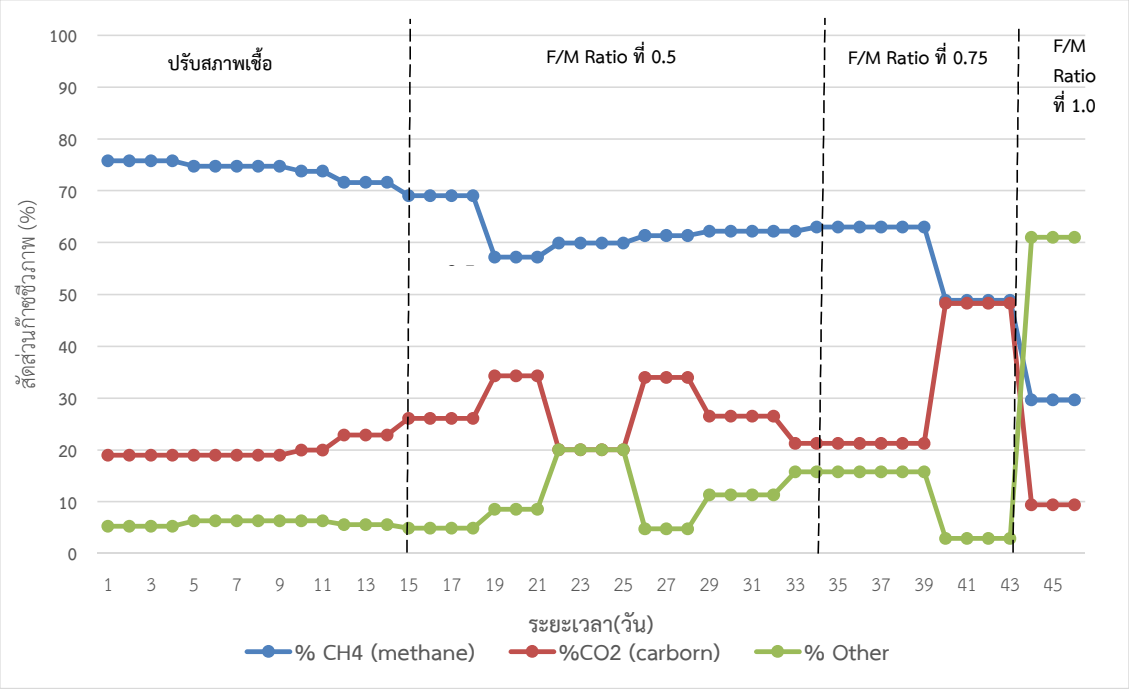
4.8 การประเมินผลผลิตองค์ประกอบก๊าซชีวภาพในถัง CSTR

เมื่อพิจารณาค่าปริมาณก๊าซมีเทน (Methane) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon) และก๊าซอื่นๆ (Air) ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน พบว่าค่าปริมาณของก๊าซมีเทนในช่วง 15 วันแรก เป็นช่วงการปรับสภาพเชื้อมีปริมาณร้อยละมีเทนอยู่ที่ 69-75 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ร้อยละ 18-26 ก๊าซอื่นๆ ร้อยละ 4-6 หลังจากวันที่ 15 เป็นช่วงเดินระบบและการเพิ่มภาระสารอินทรีย์พบว่าปริมาณร้อยละก๊าซมีเทนอยู่ที่ 57-62 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 20-36 ก๊าซอื่นๆ ร้อยละ 8-20 และเมื่อใกล้สิ้นสุดในการเดินระบบวันที่ 43 ร้อยละก๊าซมีเทนลดลงอย่างต่อเนื่องอยู่ในช่วงร้อยละ 29-48 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20-50 และก๊าซอื่นๆ ร้อยละ 2-61 สรุปได้ว่าปริมาณก๊าซมีเทนสัดส่วนสารอาหรต่อเชื้อที่ 0.5 และ 0.75 มีค่าก๊าซมีเทนร้อยละ 75 ซึ่งมีความสอดคล้องและเป็นไปตามผลงานวิจัยของ วรางคณา ริมปิกุล และมาลี สันติคุณณากรณ์, 2554 เรื่องการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใส่ในเศษอาหารต่อ

อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสังเคราะห์ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในถังหมักแบบไร้อากาศขนาด 20 L สำหรับสัดส่วนอาหารต่อเชื้อที่ 1.0 ระบบไม่สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้เป็นผลทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนลดลง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ เพิ่มขึ้นแทนที่ก๊าซมีเทนซึ่งมีความสอดคล้องกับการทดสอบก่อนหน้านี้ในการหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร แสดงดังภาพที่ 4.15



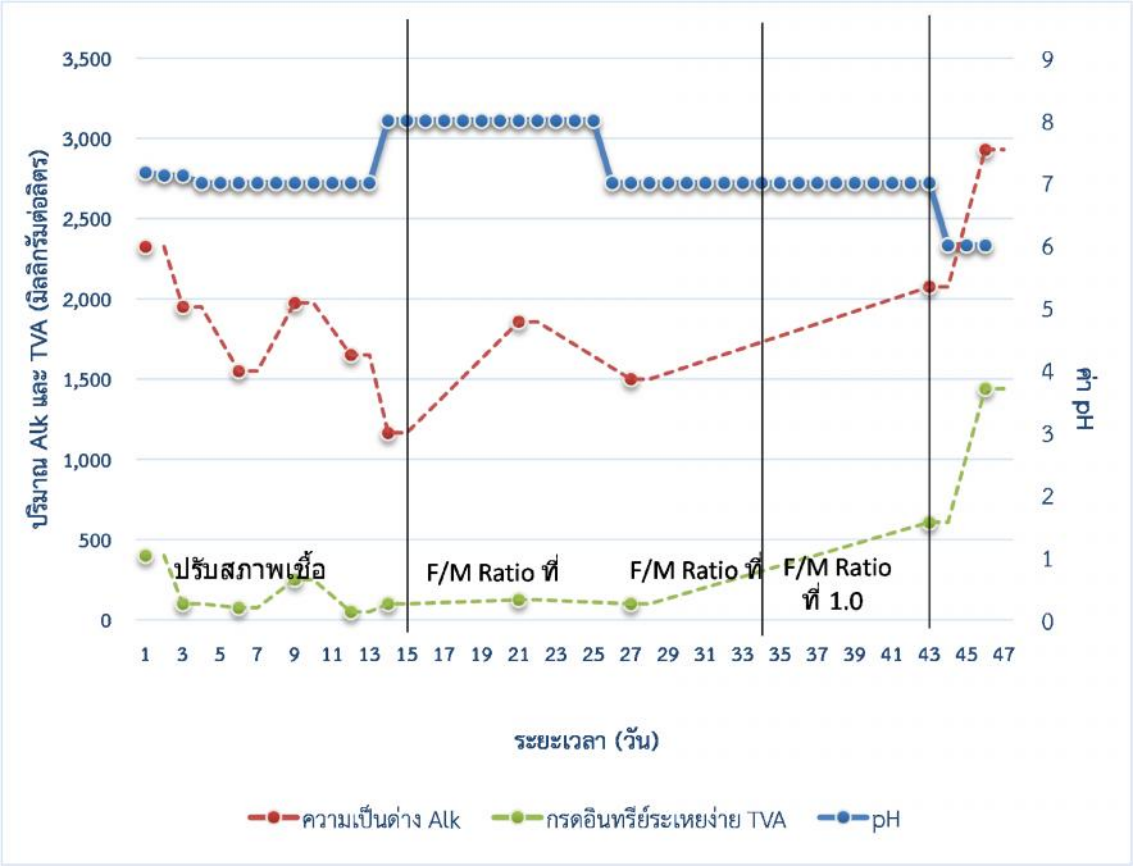
ภาพที่ 4.14 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพในการเดินระบบถัง CSTR ในช่วงต่างๆ



ภาพที่ 4.15 แสดงสัดส่วนองค์ประกอบก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ CSTR

4.8 สภาวะแวดล้อมของถังปฏิกรณ์ CSTR ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าความเป็นด่าง (Alk) และค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (TVA)

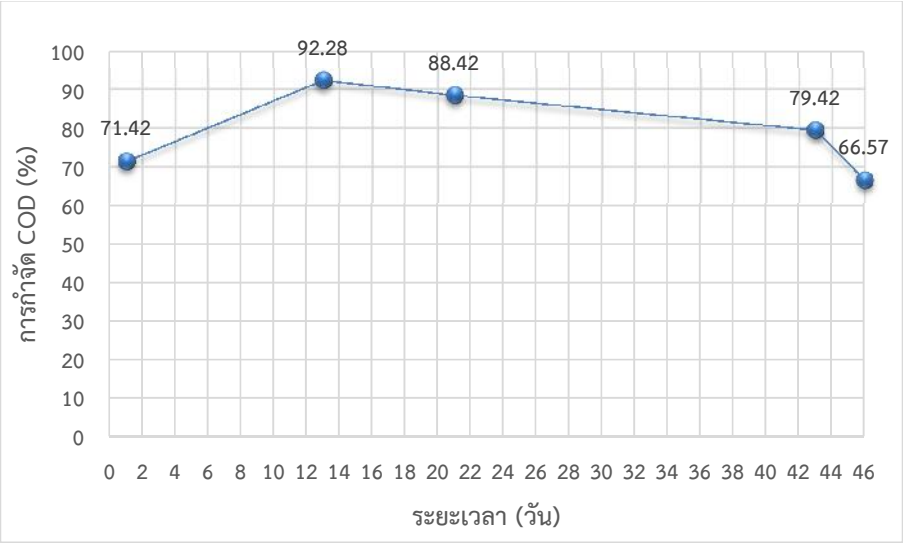
จากการเดินถังปฏิกรณ์พบว่า ค่าปริมาณ pH กับระยะเวลาในการหมัก 15 วันแรกเป็นช่วงระยะเวลาปรับสภาพเชื้อมีค่าอยู่ที่ 7.0 แต่หลังจากวันที่15 เป็นช่วงเพิ่มภาระสารอินทรีย์พบว่าค่า pH เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงที่ 7.0-8.0 และมีแนวโน้มลดลงหลังจากเพิ่มภาระให้สารอินทรีย์มาขึ้น โดยพบว่าหลังการเพิ่มภาระสารอินทรีย์ที่สัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อที่ 1.0 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีการลดลงอยู่ที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถังปฏิกรณ์มีสภาวะการสะสมของกรดมากขึ้น และเป็นเหตุผลในการการเกิดการยับยั้งการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณค่าความเป็นด่างและค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะพบว่ามีผลสอดคล้องไปแนวทางเดียวกัน โดยปริมาณค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสุดท้ายที่ F/M ratio ที่ 1 ในขณะที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง แสดงดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 แสดงสภาวะแวดล้อมของการเดินระบบถังปฏิกรณ์ CSTR

4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบถัง CSTR

ผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 46 วัน ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ในปริมาณสูง โดยประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 80 โดยในช่วงการปรับสภาพเชื้อมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 92.28 ช่วงการเดินระบบที่ F/M Ratio ที่ 0.5 กำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 88.42 ช่วง F/M Ratio ที่ 0.75 กำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 79.42 และ F/M Ratio ที่ 1.0 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ลดลงอยู่ที่ร้อยละ 66.57 ซึ่งมีประสิทธิภาพลดลงแสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกับปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งมีค่าลดลงซึ่งเป็นแนวโน้มทางเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ CSTR

ผลการศึกษาวิจัยนี้พบว่าเศษอาหารจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต สามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นหรือวัตถุดิบในการหมักเพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ นอกจากนั้นยังพบว่าปัจจัยหรือแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของเศษอาหารได้แก่ อัตราส่วนของเศษอาหารต่อตะกอนเชื้อในระบบ และการให้ความร้อนกับเศษอาหารก่อนทำการหมักเป็นการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มสัดส่วนอาหารต่อเชื้อมากเกินไปไม่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเกิดการยับยั้งจากปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในระบบที่สูงเกินไป การเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการให้ความร้อนเบื้องต้นต่อเศษอาหารทำให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเมื่อคิดคำนวณต่อกรัมของเศษอาหารหรือต่อกรัมของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย พบว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 22 และก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 21.6 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อคิดเป็นค่า methane yield อยู่ที่ 409 $mL_{methane}/gVS_{foodwaste}$ ในขณะที่เมื่อนำค่าอัตราส่วนดังกล่าวมาทดสอบในถังปฏิกรณ์ CSTR พบว่ามีค่า biogas yield สูงสุดอยู่ที่ 312 $mL_{biogas}/gVS_{food\ waste}$