บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

3.1 การทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ

3.1.1 สารป้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

3.1.1.1 ต้นข้าวโพดที่ใช้ในการทดลองเป็นต้นข้าวโพดสดพันธุ์ซีพี ชนิดข้าวโพดฝักอ่อน มาใช้เป็นตัวแทนในการศึกษา การเตรียมต้นข้าวโพดหมักทำโดยอ้างอิงจากวิธีของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ (2554) โดยเริ่มจากการล้างให้สะอาด แล้วจึงนำมาบดด้วยเครื่องบดสับ (Hammer Mill) จนได้ขนาดประมาณ 1-3 เซนติเมตร แล้วนำไปทำพืชหมัก โดยบรรจุพืชลงภาชนะ ใช้คนขึ้นเหยียบให้แน่น เมื่อบรรจุพืชเต็มภาชนะที่บรรจุ และอัดพืชแน่นแล้วจะต้องปิดภาชนะที่บรรจุให้สนิท เพื่อป้องกันอากาศซึมเข้า โดยใช้เวลาในการหมักอย่างน้อย 4 สัปดาห์ ทั้งนี้เก็บพืชหมักที่เตรียมไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C ตลอดเวลาก่อนใช้งาน โดยลักษณะสมบัติของต้นข้าวโพดหมัก แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะสมบัติของต้นข้าวโพดหมัก (จำนวนตัวอย่าง = 10 ตัวอย่าง)

พารามิเตอร์	ค่า
%TS	55±15.23%
%VS	40±11.84%
pH	3.75±0.02

3.1.1.2 น้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดแล้ว เป็นน้ำเสียที่ผ่านระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักแบบรางตามด้วยถังยูเอเอสบี (Channel Digester + UASB) จากฟาร์มสุกรในเครือเจริญโภคภัณฑ์ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ซึ่งมีปริมาณของแข็งเท่ากับ 0.3 % โดยลักษณะสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัด แสดงดังตารางที่ 3.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัด(จำนวนตัวอย่าง= 10 ตัวอย่าง)

พารามิเตอร์	ค่า
%TS	0.3±0.01%
%VS	0.1±0.01%
pH	5.81±0.11

3.1.1.3 เตรียมสารป้อนเข้าสู่ระบบ โดยผสมต้นข้าวโพดหมักเข้ากับน้ำเสียฟาร์มสุกรให้มีปริมาณของแข็งรวมเท่ากับ 4.5% ซึ่งเป็นค่าปริมาณของแข็งที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองหาศักยภาพการเกิดมีเทน (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553) โดยลักษณะสมบัติของสารป้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ แสดงดังตารางที่ 3.3 ทำการป้อนสารป้อนสู่ระบบ 2 ครั้งต่อ 1 วันหรือทุก 12 ชั่วโมง โดยสารป้อนที่ผ่านการบำบัดในถังสร้างกรดจะเป็นสารป้อนที่เติมเข้าสู่ถังสร้างก๊าซมีเทน การป้อนสารป้อนสู่ถังสร้างกรดทำโดยเปิดฝาด้านบนของถังปฏิกรณ์ ส่วนถังสร้างก๊าซมีเทน ทำโดยป้อนสารป้อนผ่านช่องทางป้อนสารป้อน ทั้งนี้ก่อนเติมสารป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์จะทำการระบายสารป้อนในถังปฏิกรณ์ออกก่อนโดยให้มีปริมาณเท่ากับสารป้อนที่เติมเข้าไปใหม่

ตารางที่ 3.3 ลักษณะสมบัติของสารป้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (จำนวนตัวอย่าง = 10 ตัวอย่าง)

พารามิเตอร์	ค่า
%TS	4.5
%VS	3.6
pH	4.42±0.31
Alkalinity (มก.$CaCO_3$/ล.)	0.0±0.00
VFA (มก.CH_3COOH/ล.)	2,543±387
TCOD(มก./ล.)	46,432±3,018
FCOD(มก./ล.)	9,818±1,005
TSS(มก./ล.)	20,131±5,643
VSS(มก./ล.)	16,094±4,117

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

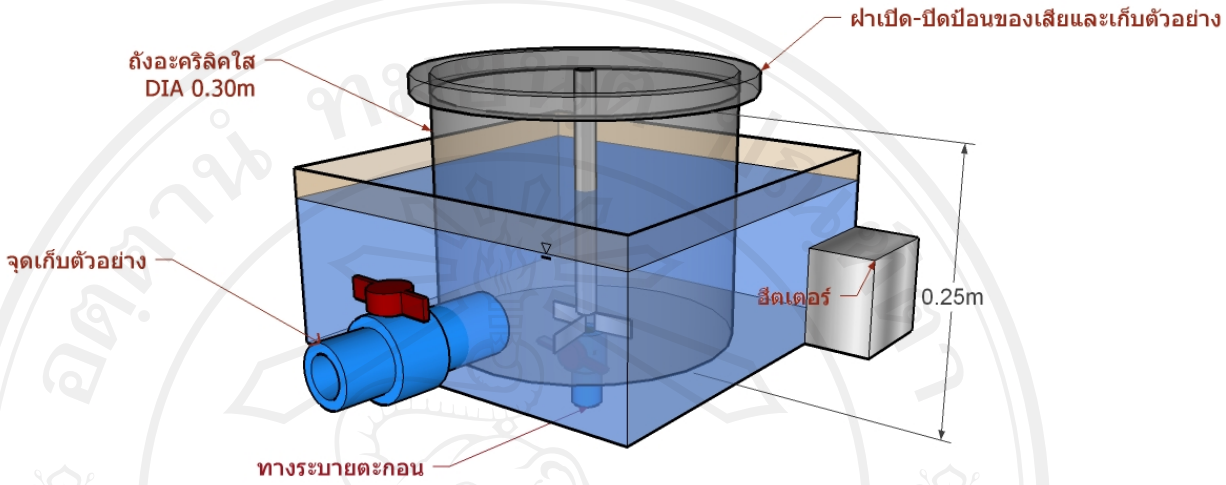
3.1.2 เชื้อตั้งต้นที่ใช้

สำหรับถังสร้างกรด เริ่มต้นระบบโดยนำตะกอนจุลชีพจากถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากระบบกวนสมบูรณ์มาเป็นตะกอนจุลชีพเริ่มต้นในการทดลอง โดยถังปฏิกรณ์ดังกล่าวมีความจุ 1 ลูกบาศก์เมตร เดินระบบที่สภาวะอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยใช้อาหารสุนัขสำเร็จรูปสำหรับสุนัขโตเป็นสารป้อนระบบ สำหรับถังสร้างก๊าซมีเทนใช้ตะกอนจุลชีพเริ่มต้นจากน้ำเสียฟาร์มสุกรแบบบ่อหมักแบบรางตามด้วยถังยูเอเอสบี ของภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.1.3 แบบจำลองของถังปฏิกรณ์

3.1.3.1 ถังสร้างกรดทำจากอะคริลิกใสทรงกระบอกสูง 0.25 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ปริมาตรทำงาน 10 ลิตร ระบบถังสร้างกรดประกอบด้วย วาล์วระบายตะกอนขนาด1 ½ นิ้ว ติดตั้งอุปกรณ์กวนประกอบด้วยใบพัด (ลักษณะเทอร์ไบน์ มีใบพัดทั้งหมด 6 ใบ) และเพลาทำจากสแตนเลสสตีลส่งกำลังด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ายี่ห้อ MITSUBISHI ขนาด ½ แรงม้า (0.4 กิโลวัตต์) ความเร็วรอบ 1410 รอบต่อนาทีประกอบเข้ากับชุดเฟืองทดรอบโดยปรับให้มีความเร็วรอบ 140 รอบต่อนาที ทำการเดินระบบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนแก่ถังปฏิกรณ์โดยใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2000 วัตต์ จำนวน 2 เครื่อง ควบคุมโดยเทอร์โมคัพเพิล (Thermocouple) ระบบจึงสามารถคงอุณหภูมิและเดินระบบต่อเนื่องได้ติดต่อกัน รายละเอียดของอุปกรณ์และรูปภาพติดตั้งระบบ แสดงในรูปที่ 3.1 ระบบถังสร้างกรดนี้ทำการเดินระบบโดยมีช่วงเวลาการกวน 30 นาที แล้วจึงพักระบบ 30 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

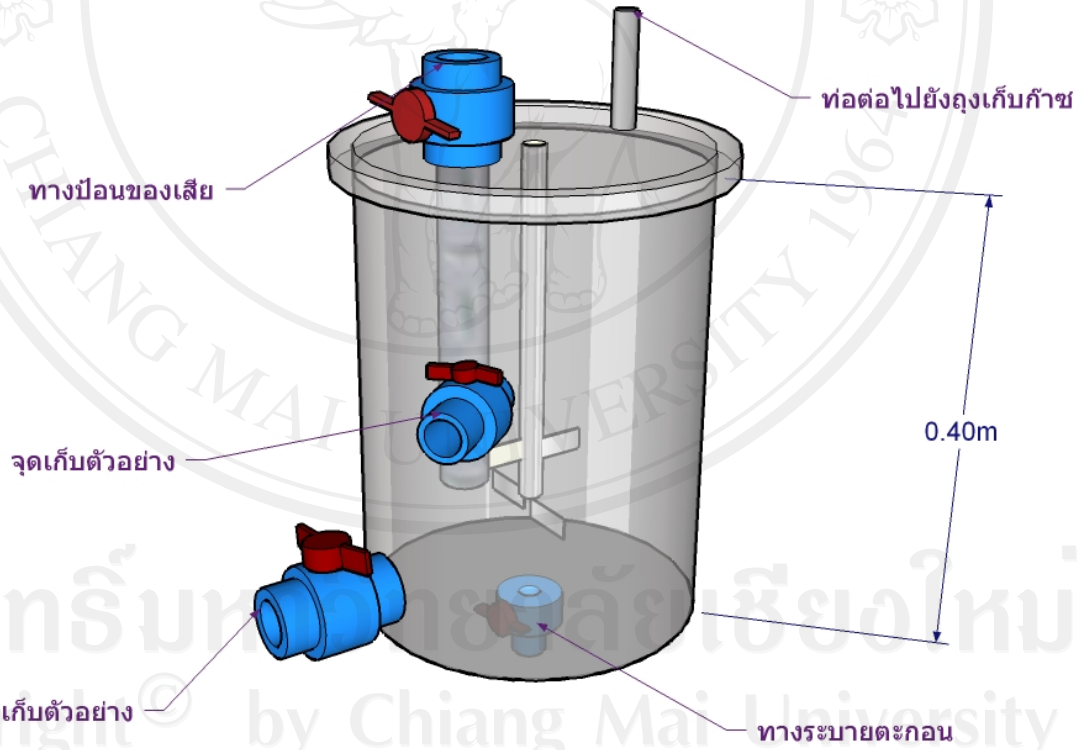


รูปที่ 3.1 ภาพจำลองถังสร้างกรด

รูปที่ 3.2 ลักษณะและการติดตั้งถังสร้างกรด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.3.2 ถังสร้างมีเทนทำจากอะคริลิกใสทรงกระบอก สูง 0.4 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เมตร ปริมาตรทำงาน 20 ลิตร ติดตั้งอุปกรณ์กวนเช่นเดียวกับถังสร้างกรด ระบบถังสร้างมีเทนประกอบด้วย วาล์วระบายตะกอนขนาด 1 ½ นิ้ว ทางป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ถังทำจากท่อพีวีซีขนาด1 ½ นิ้ว ท่อระบายก๊าซชีวภาพต่อเข้ากับถุงเก็บก๊าซความจุ 10 ลิตร โดยใช้สายก๊าซพีวีซีใสเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 9 มิลลิเมตร ทำการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นโดยใช้มิเตอร์วัดปริมาณก๊าซในถุงเก็บก๊าซของถังปฏิกิริยาแต่ละใบ ชุดกวนประกอบด้วยใบพัด (ลักษณะเทอร์ไบน์ มีใบพัดทั้งหมด 4 ใบ) และเพลาทำจากสแตนเลสสตีลส่งกำลังด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/2 แรงม้า ความเร็วรอบ 1410 รอบต่อนาทีผ่านชุดเฟืองทดรอบซึ่งปรับให้มีความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ทำการเดินระบบที่อุณหภูมิห้อง รายละเอียดของอุปกรณ์และการติดตั้งระบบของถังสร้างมีเทน แสดงในรูปที่ 3.2 ระบบถังสร้างก๊าซมีเทนนี้จะทำการเดินระบบโดยมีช่วงเวลาการกวน 30 วินาที แล้วจึงพักระบบ 30 นาที



รูปที่ 3.3 ภาพจำลองถังสร้างก๊าซมีเทน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.4 ลักษณะและการติดตั้งถังสร้างก๊าซมีเทน

3.1.4 การเริ่มต้นระบบ

ในการเริ่มต้นระบบของถังสร้างกรด ดำเนินการโดยเติมตะกอนจุลชีพเริ่มต้นของถังสร้างกรดผสมกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแล้วในอัตราส่วน 30:70 โดยปริมาตร ลงในถังสร้างกรด และการเริ่มต้นระบบของถังสร้างก๊าซมีเทน ดำเนินการโดยเติมตะกอนจุลชีพเริ่มต้นของถังสร้างมีเทนผสมกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแล้วในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ลงในถังสร้างก๊าซมีเทน เพื่อให้จุลชีพมีความคุ้นเคยกับน้ำเสียดังกล่าว จากนั้นปล่อยให้จุลชีพปรับตัวโดยการสังเกตจากอัตราการสร้างก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น เมื่อจุลชีพสามารถย่อยสลายน้ำเสียได้แล้วจึงเริ่มการทดลอง

3.1.4.1 การดำเนินการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยแบ่งออกเป็น 7 ชุดการทดลอง ดังตารางที่ 3.4 ทั้งนี้รายละเอียดของการทดลองสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของการทดลอง

	ชุดการทดลองที่	รูปแบบ	สภาวะ	ระยะเวลาเก็บกักรวมของระบบ (วัน)		ปริมาณสารป้อนที่เติมต่อวัน (ลิตร)			ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ของแข็งระเหยต่อลิตร-วัน)	
				ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน	ถังสร้างกรด		ถังสร้างมีเทน	ถังสร้างกรด	ถังสร้างมีเทน
						ต้นข้าวโพด (กก.)	น้ำเสียฟาร์มสุกร (ลิตร)			
ส่วนที่ 1 (หัวข้อ 4.1)	1	2 ขั้นตอน	Thermophilic-Mesophilic	1	19	1.68	9.0	1.05	36.6	1.71
	2	2 ขั้นตอน	Thermophilic-Mesophilic	2	18	0.84	4.5	1.11	17.3	1.76
	3	2 ขั้นตอน	Thermophilic-Mesophilic	3	17	0.56	3.0	1.18	12.2	1.92
ส่วนที่ 2 (หัวข้อ 4.2)	4	2 ขั้นตอน	Thermophilic-Mesophilic	1	25	1.58	9.0	36.61	0.80	1.46
	5	2 ขั้นตอน	Thermophilic-Mesophilic	1	14			36.61	1.42	2.60
ส่วนที่ 3 (หัวข้อ 4.3)	6	ขั้นตอนเดียว	Mesophilic	20		1.0			1.83	
	7	ขั้นตอนเดียว	Thermophilic	20		0.5			1.83	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนที่ 1 เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของเวลาเก็บกักต่อประสิทธิภาพของถังปฏิกิริยา CSTR แบบสองขั้นตอน ที่สภาวะ Thermophilic-Mesophilic โดยทำการกำหนดระยะเวลาเก็บกักรวมของระบบให้คงที่ ที่ 20 วัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง การทำงานและการควบคุมถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทน

ส่วนที่ 2 เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของเวลาเก็บกักต่อประสิทธิภาพของถังปฏิกิริยา CSTR แบบสองขั้นตอน ที่สภาวะ Thermophilic-Mesophilic สืบเนื่องจากการทดลองในส่วนที่ 1 พบว่าระยะเวลาเก็บกัก 1 วัน คือค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับถังสร้างกรด การทดลองในส่วนนี้จึงเป็นการแปรค่าเวลาเก็บกักในถังสร้างมีเทน โดยทำการกำหนดระยะเวลาเก็บกักของถังสร้างกรดให้คงที่ ที่ 1 วัน และทำการปรับระยะเวลาเก็บกักของถังสร้างมีเทนดังนี้

การทดลองชุดที่ 4 กำหนดให้ถังสร้างมีเทนมีระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 25 วัน โดยทำการนำถังสร้างมีเทนที่ระยะเวลาเก็บกัก 19 วัน(จากชุดการทดลองที่ 1 ของการทดลองส่วนที่ 1) มาทำการปรับเพิ่มระยะเวลาเก็บกักให้เท่ากับ 25 วัน

การทดลองชุดที่ 5 กำหนดให้ถังสร้างมีเทนมีระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 14 วันโดยทำการนำถังสร้างมีเทนที่ระยะเวลาเก็บกัก 17 วัน(จากชุดการทดลองที่ 3 ของการทดลองส่วนที่1) มาทำการปรับลดระยะเวลาเก็บกักให้เท่ากับ 14 วัน

ส่วนที่ 3 ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกิริยา CSTR แบบขั้นตอนเดียว โดยทำการกำหนดระยะเวลาเก็บกักรวมของระบบให้คงที่ ที่ 20 วัน แบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง เพื่อทำการเปรียบเทียบที่สภาวะต่างกัน ซึ่งการทดลองส่วนนี้ เป็นการทดลองเพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบระหว่างถังปฏิกิริยา CSTR แบบขั้นตอนเดียว สภาวะ Mesophilic ถังปฏิกิริยา CSTR แบบขั้นตอนเดียว สภาวะ Thermophillic กับ ถังปฏิกิริยา CSTR แบบสองขั้นตอน ที่สภาวะ Thermophilic-Mesophilic ที่ได้จากการทดลองส่วนที่ 1 โดยทำการเปรียบที่ระยะเวลาเก็บกักของระบบที่ 20 วัน

3.1.5 อุปกรณ์เก็บก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จะทำการเก็บรวบรวมโดยผ่านท่อที่ติดตั้งบนถังปฏิกิริยาเข้าสู่ถุงเก็บก๊าซจากถังสร้างก๊าซมีเทน ขนาดบรรจุ 20 ลิตร และนำไปวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นวันละ 2 ครั้ง (เช้าและเย็น)โดยใช้มิเตอร์วัดปริมาณก๊าซในถุงเก็บก๊าซของถังปฏิกิริยาแต่ละใบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.6 การระบายสารป้อนจากระบบ

การระบายของเสียจากถังสร้างกรด ทำโดยเปิดฝาด้านบนของถังปฏิกรณ์ ใช้วิธีการจ้วงในขณะที่ระบบอยู่ในช่วงเวลาการกวน เนื่องจากน้ำตัวอย่างมีลักษณะเป็นของเหลวปนกับของแข็ง ทำให้ไม่สามารถใช้วาล์วเพื่อทำการระบายของเสียออกมาได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังสร้างกรดนี้ได้ ส่วนการระบายของเสียจากถังสร้างมีเทน ทำโดยการปิดอุปกรณ์กวน แล้วทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงระบายของเสียเฉพาะส่วนด้านบนที่ไม่มีตะกอนผ่านวาล์วทิ้งไป

3.1.7 การเติมธาตุอาหารรอง (Trace Element)

ทำการเติมธาตุอาหารรองในรูปของสารสกัดยีสต์เพื่อเพิ่มธาตุอาหารรองในระบบให้เพียงพอต่อความต้องการของจุลชีพกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนในอัตราส่วน 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรของสารป้อน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) โดยทำการผสมยีสต์ในอัตราส่วนดังกล่าวกับสารป้อนที่จะทำการป้อนสู่ระบบ ซึ่งการเลือกใช้สารสกัดจากยีสต์เป็นธาตุอาหารรองนั้นเนื่องจากสะดวกต่อการใช้งานและช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมสารต่างๆ

3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำมาวิเคราะห์

เก็บน้ำตัวอย่างแบบจ้วงจากนั้นนำน้ำตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบโดย เก็บตัวอย่างน้ำเข้า และน้ำออกจากถังสร้างกรดและถังสร้างมีเทน เพื่อทำการวิเคราะห์ ในส่วนของก๊าซชีวภาพทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ และวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ แสดงในตารางที่ 3.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่วัด	น้ำเข้าถังผลิตกรด	น้ำออกถังผลิตกรด	น้ำออกถังผลิตก๊าซมีเทน	ความถี่ (ต่อสัปดาห์)	ก๊าซ	ความถี่ (ต่อสัปดาห์)	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือที่ใช้
pH	√	√	√	ทุกวัน	-	-	pH Meter / HORIBA F-21
VFA , mg $CaCO_3$ /L	√	√	√	3	-	-	Titration Method
TS, mg/L	√	√	√	2	-	-	Gravimetric Method
TVS, mg/L	√	√	√	2	-	-	Gravimetric Method
TSS, mg/L	√	√	√	2		1	Gravimetric Method
VSS, mg/L	√	√	√	2	-	1	Gravimetric Method
Alkalinity, mg CaCO3 /L	√	√	√	3	-	-	Titration Method
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	-	-	-	ทุกวัน	√	-	Meter Pump
องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	-	-	-	1	√		เครื่อง GAS CHROMATOGRAPH GC-8A

หมายเหตุ : วิธีวิเคราะห์ใช้ตาม Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทำโดยใช้ข้อมูลในช่วงสภาวะคงที่ พิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นที่แตกต่างกันไม่เกิน 10% โดยเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากชุดการทดลองต่างๆด้วยวิธี Student t-test สำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลจาก 2 ชุดการทดลอง และ One-way ANOVA สำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลจาก 3 ชุดการทดลองขึ้นไป ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยเลือกใช้การบ่งชี้จุดต่างโดยวิธี Tukey

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved