บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลอง

น้ำกากส่าเป็นน้ำทิ้งที่ออกจากหอกลั่น (distillation column) ของการหมักสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ต่างๆได้แก่ น้ำตาล สี คาราเมล และตะกอนซึ่งเป็นยีสต์ที่ตายแล้ว น้ำกากส่านี้มีสีน้ำตาลดำ กลิ่นคล้ายน้ำตาลไหม้ นำมาจากโรงงานสุราแสงโสม จังหวัดนครปฐม โดยนำมาเก็บรักษาไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิประมาณ 4°ซ. ทั้งนี้เพื่อไม่ให้น้ำกากส่าเปลี่ยนแปลงก่อนนำมาใช้ในการทดลอง ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำกากส่าที่ใช้ทดลองนี้แสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งมีข้อสังเกตว่านอกจากจะมีค่าซีโอดีและบีโอดีสูงแล้วน้ำกากส่ายังมีปริมาณความเข้มข้น K^{+} SO_4^{2-} และ Na^{+} สูงมาก

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

ระบบหมักยูเอเอสบีที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ได้แสดงในรูปที่ 3.1-3.3 ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 ถังยูเอเอสบี มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกแนวตั้งและมี 2 ชั้น ตัวถังทั้งหมดทำด้วยเหล็กปลอดสนิม โดยถังภายในมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 172 ซม. ปริมาตรใช้งาน 34.7 ลิตร มีท่อเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงต่างๆ 17 ระดับ ติดตั้งที่วัดอุณหภูมิภายในถัง 3 จุดเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิภายในถังตลอดเวลา ถังชั้นนอกเป็นถังหล่อด้วยน้ำร้อน

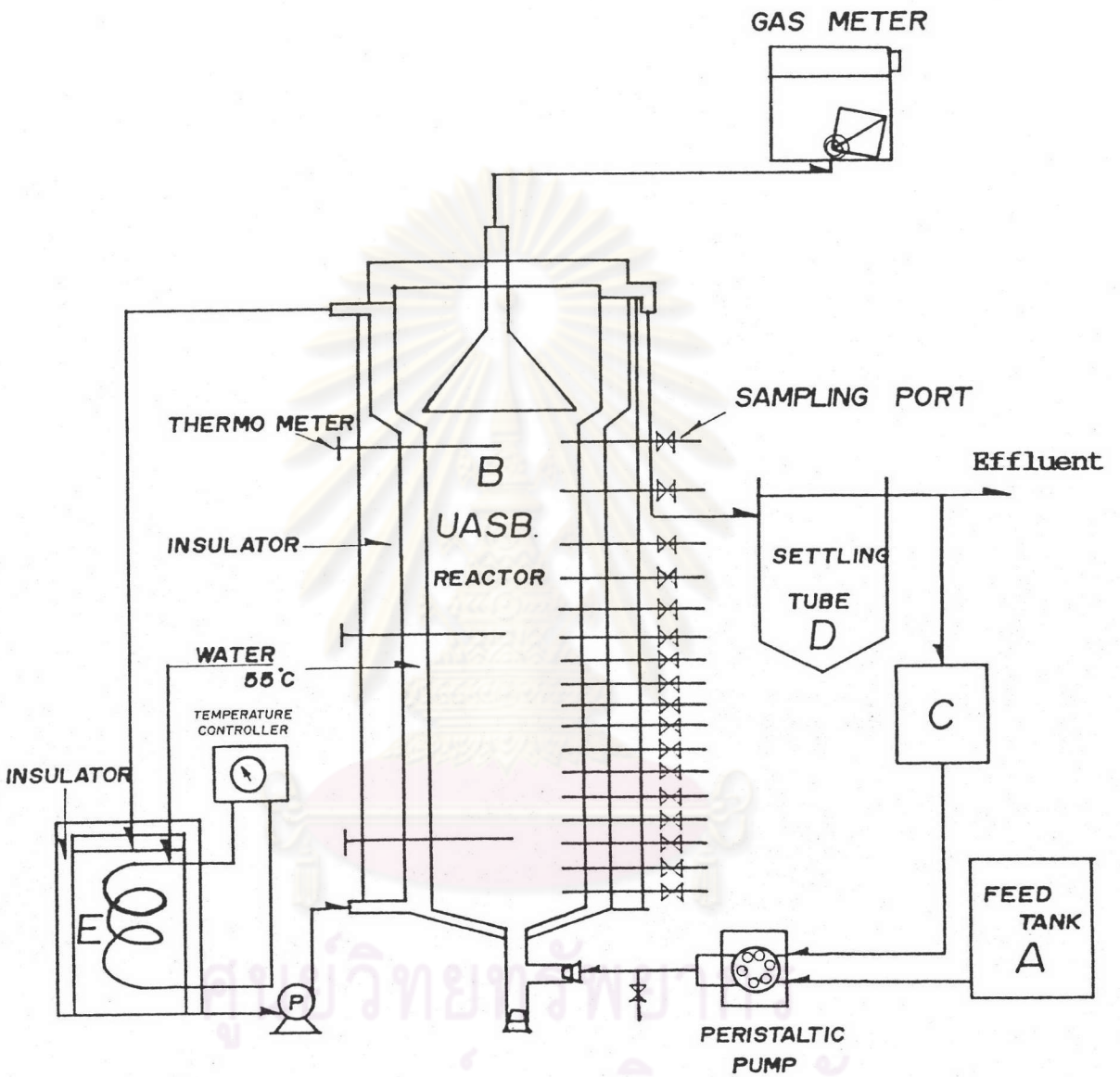
ภายนอกถังน้ำร้อนหุ้มด้วยไฟเบอร์กลาสหนาประมาณ 2.54 ซม. และหุ้มทับด้วยแผ่นอลูมิเนียม หนา 0.05 ซ.ม. อีกชั้นหนึ่ง (รูปที่ 3.1-3.3)

ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำกากส่าจากโรงงานสุราแสงโสม จ.นครปฐม

คุณลักษณะของน้ำกากส่า	ฝ่ายเทคนิค บริษัทสุราทิพย์		กรมวิทยาศาสตร์
	2520	2529	2536
Temperature (^{o}C)	95-100	-	-
pH	4.5	4.65	4.11
BOD_5 (mg/l)	35,000	38,436	-
COD (mg/l)	100,000	100,016	112,488
Total solids (mg/l)	10,500	99,338	-
Suspended Solids (mg/l)	1,500	-	5,131
Dissolved Solids (mg/l)	-	97,182	-
Total nitrogen (mg/l)	1,000	297	18.4
K^{+} (mg/l)	5,000	5,682	10,000
P (mg/l)	85	92	55.6
SO_4^{2-} (mg/l)	4,435	5,679	5,525
Na^{+} (mg/l)	120	-	5,000
Ca^{2+} (mg/l)	1,682	1,836	-

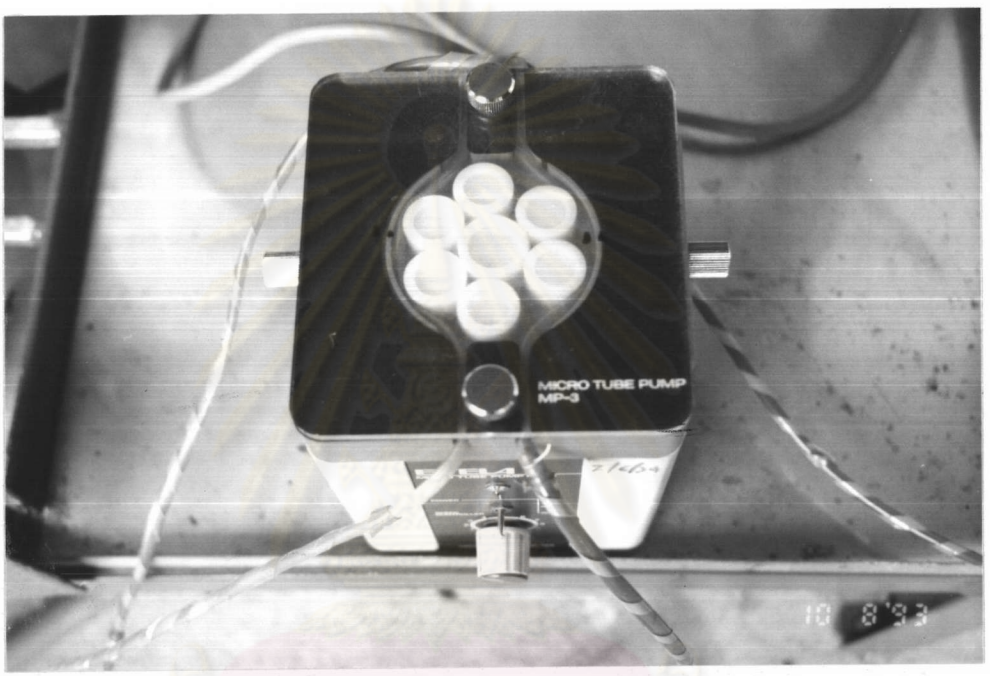
รูปที่ 3.1 แสดงระบบยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง (ด้านหน้า)

รูปที่ 3.2 แสดงระบบยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง (ด้านหลัง)



รูปที่ 3.3 ระบบยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 <u>เครื่องสูบน้ำกากส่าเข้าระบบ</u> เป็น peristaltic pump หรือ micro tube pump ยี่ห้อ EYELA รุ่น MP-3 (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 เครื่องสูบน้ำกากส่าเข้าระบบ

3.2.3 <u>เครื่องควบคุมอุณหภูมิภายในถังยูเอเอสบี</u>ประกอบด้วย ถังผลิตน้ำร้อน เครื่องควบคุมอุณหภูมิและเครื่องปั๊มน้ำร้อนเพื่อสูบน้ำร้อนเข้าถังผลิตน้ำร้อน ที่หุ้มรอบถังยูเอเอสบีภายในถังผลิตน้ำร้อนจะมีขดลวดความร้อนที่ต่อเข้ากับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ที่ตั้งไว้ที่หมายเลข 45 ซึ่งจะทำให้ได้น้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 56°ซ. ไปหล่อถังยูเอเอสบีเพื่อให้อุณหภูมิภายในถังประมาณ 55°ซ. ตลอดเวลา (รูปที่ 3.5-3.6)

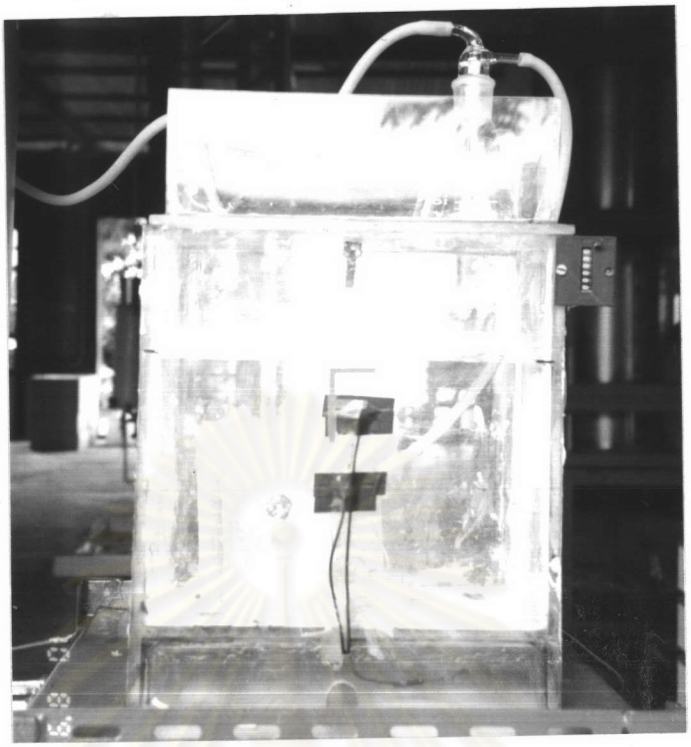
รูปที่ 3.5 ถังผลิตน้ำร้อน (ภายนอก)

รูปที่ 3.6 ถังผลิตน้ำร้อน (ภายใน)

3.2.4 <u>เครื่องแยกตะกอนแบคทีเรียและก๊าซ</u> มีลักษณะเป็นรูปกรวย มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ครอบอยู่ที่ส่วนบนของถังยูเอเอสบี (รูปที่ 3.7)

รูปที่ 3.7 เครื่องแยกตะกอนแบคทีเรียและก๊าซ

3.2.5 <u>เครื่องวัดก๊าซ</u> (gas meter) ทำด้วยพลาสติคอะครีลิค (acrylic) ใช้วัดปริมาตรก๊าซโดยการแทนที่น้ำ ก๊าซที่เกิดขึ้นจะออกจากถังหมัก ผ่านเครื่องแยกตะกอนแบคทีเรียและก๊าซ เข้าสู่สายยางที่ต่อกับด้านล่างของเครื่องวัดและเมื่อผ่านออกจากเครื่องวัดแล้วจะถูกระบายออกทางด้านบนดังรูปที่ 3.8 ภายในถังพลาสติคเป็นกล่องสี่เหลี่ยมมีผนังแยกเป็น 2 ส่วนและกล่องนี้อยู่ในลักษณะคว่ำเพื่อดักก๊าซได้และสามารถพลิกไปมาได้ ดังนั้นเมื่อก๊าซเข้าสู่ช่องหนึ่งช่องใดของกล่องนี้จะทำให้มีน้ำหนักไม่เท่ากัน จึงเกิดการพลิกสลับไปมา เพื่อให้สามารถวัดปริมาตรก๊าซที่ผลิตได้ จำเป็นต้องมีการวัดปริมาตรก๊าซที่แทนที่น้ำในแต่ละช่องว่างของกล่องนี้และทราบจำนวนครั้งที่กล่องนี้พลิกไปมาในช่วงเวลาหนึ่งเช่น 1 วัน จากการตรวจวัด



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดก๊าซ (gas meter)

พบว่าในการพลิกแต่ละครั้งมีปริมาตรก๊าซเฉลี่ย 108 ซม.^{3} การนับจำนวนครั้งที่กล่องเก็บก๊าซพลิกนี้ทำได้โดยใช้ contact switch ที่ภายนอกกล่องและแม่เหล็กที่ภายในกล่อง โดยเมื่อแม่เหล็กมาใกล้กับ contact switch จะทำให้วงจรปิดและตัวเลขจะขึ้นที่เครื่องวัดจำนวนครั้ง (counter)

3.2.6 <u>ถังเตรียมน้ำกากส่าเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบและถังใส่น้ำทิ้งออกจากระบบ</u> เป็นถังพลาสติค ความจุ 15 ลิตร (ถัง A ในรูปที่ 3.3)

3.2.7 <u>ถังตกตะกอน</u> เป็นถังสเตนเลส มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 36 ซม. ด้านล่างมีลักษณะเป็นกรวยมีส่วนระบายตะกอนทิ้ง ความสูงจากปากกรวยถึงทางออกด้านบน เท่ากับ 33 ซม. น้ำทิ้งที่ออกจากระบบจะไหลเข้าทางด้านบนและไหลออกจากถังตกตะกอนทางด้านข้าง (ถัง D ในรูปที่ 3.3)

3.3 การทำงานของระบบ

ระบบเทอร์โมฟิลิคยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลองนี้ (รูปที่ 3.1 และ 3.2) ดำเนินการจัดสร้างขึ้นที่ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทำงานของระบบคือน้ำกากส่าที่มีความเข้มข้น (ซีโอดี) ตามกำหนด (ตารางที่ 3.2) ถูกสูบเข้าทางด้านล่างของถังหมักอย่างต่อเนื่องที่การอัตราไหลคงที่ค่าหนึ่ง ภายในถังหมักจะควบคุมอุณหภูมิให้ได้คงที่ประมาณ 55°ซ. โดยน้ำร้อนที่หล่ออยู่โดยรอบถัง น้ำกากส่าดังกล่าวจะไหลผ่านชั้นตะกอนเม็ดและตะกอนเบา จากนั้นไหลล้นออกทางด้านบนเข้าสู่ถังตกตะกอนแล้วจึงไหลสู่ถังรองรับสุดท้าย ส่วนก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะออกจากถังหมักผ่านเครื่องแยกตะกอนแบคทีเรียและก๊าซออกจากน้ำเข้าสู่เครื่องวัดก๊าซเพื่อวัดบริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมดในแต่ละวัน

3.4 แผนการทดลอง

การทดลองระบบหมักนี้เริ่มต้นที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่ำ อัตราการเจือจางสูงจากนั้นค่อยๆเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ให้สูงขึ้นและลดอัตราการเจือจางให้ต่ำลงจนไม่มีการเจือจางด้วยน้ำ วิธีนี้จะช่วยทำให้แบคทีเรียในระบบซึ่งอยู่ในรูปตะกอนเบา สามารถเปลี่ยนเป็นตะกอนเม็ดในเวลาที่รวดเร็ว ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราการป้อนสารอินทรีย์ อัตราการเจือจางและข้อมูลอื่นๆ ที่กำหนดใช้ในการทดลองนี้ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดเริ่มตั้งแต่ start up ถึงวันสุดท้ายที่ทำการทดลองคือ 338 วัน

3.5 การทดลองเริ่มต้น (start up)

นำน้ำตะกอนจุลินทรีย์ (sludge) จากถังหมักแบบ anaerobic contact ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลิคที่โรงงานสุราอยุธยาเป็น seed โดยเติมปริมาณแบคทีเรียใน

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราป้อนสารอินทรีย์ อัตราการเจือจางและข้อมูลอื่นๆที่ใช้ในการทดลองนี้

อัตราป้อนสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ม.^{3}·วัน)	อัตราส่วนการเจือจาง น้ำ:น้ำกากส่า	ซีโอดีที่เข้าสู่ระบบ (มก./ล.)	อัตราการไหลสารอินทรีย์ (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วัน)
0.2	10:1	9,510	0.8	42	27
0.7	5:1	24,130	1.0	35	19
1.3	3:1	35,590	1.3	26	16
2.0	2:1	46,930	1.5	23	47
2.5	1.5:1	49,660	1.7	20	57
3.3	0.5:1	65,000	1.8	20	30
5.2	0.1:1	90,590	2.0	17	28
7.1	0:1	111,690	2.2	16	31
10.1	0:1	113,280	3.1	11	30
12.8	0:1	110,940	4.0	9	53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถังหมักให้มากเพียงพอคิดเป็นปริมาณความเข้มข้น (MLSS) ประมาณ 20,000 มก./ล. แล้วเติมน้ำประปาจนเต็มถังหมัก จากนั้นเริ่มป้อนน้ำกากส่าเจือจางในอัตราส่วน 1:10 เข้าถังยูเอเอสบีอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 0.8 ลิตร/วัน น้ำที่ล้นจากถังตกตะกอนนำมา recycle เข้าถังยูเอเอสบีพร้อมน้ำกากส่า (เจือจาง 1:10) ที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน 1:1 การ recycle นี้จะช่วยปรับ pH ของน้ำกากส่าก่อนเข้าระบบให้อยู่ในช่วง 6.5-7.8 อันเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แล้วทำการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ (ซึ่งจะกล่าวต่อไป) จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) สังเกตได้จากประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีและการผลิตก๊าซค่อนข้างคงที่ โดยส่วนใหญ่ระบบจะใช้เวลาประมาณ 3-5 สัปดาห์ในการเข้าสู่สภาวะคงที่ ช่วงที่ระบบอยู่ในสภาวะคงที่นี้จะทำการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆวันละ 2 ครั้งเป็นเวลาประมาณ 5-7 วัน เพื่อจะได้ข้อมูลในช่วงนี้มากพอที่นำมาหาค่าเฉลี่ยใช้เป็นตัวแทนของค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบที่อัตราป้อนสารอินทรีย์นั้นๆ ขั้นต่อไปเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบตามตารางที่ 3.2 การค่อยๆเพิ่มสารอินทรีย์และลดอัตราการเจือจางจนไม่มีการเจือจางด้วยน้ำนี้จะช่วยให้แบคทีเรียในระบบซึ่งอยู่ในรูปตะกอนเบา (flocculant) เปลี่ยนไปอยู่ในรูปตะกอนเม็ด (granular) ในเวลาที่รวดเร็วขึ้น

3.6 <u>วิธีวิเคราะห์</u>

รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆและวิธีคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

3.6 <u>การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์</u>

น้ำกากส่าที่สูบเข้าถังหมักและที่ผ่านถังหมักแล้วจะถูกนำมาวิเคราะห์ ในกรณีที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ในวันเก็บตัวอย่าง ตัวอย่างน้ำเสียจะถูกเก็บในตู้เย็นแล้วนำมาวิเคราะห์ในวันต่อไป นอกจากนี้ยังทำการตรวจวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดและองค์ประกอบก๊าซ

ชีวภาพอีกด้วย ตารางที่ 3.3 แสดงดรรชนีและความถี่ที่ทำการตรวจวัด ณ จุดเก็บตัวอย่างต่างๆ

ตารางที่ 3.3 แสดงดรรชนีและความถี่ที่ทำการตรวจวัด ณ จุดเก็บตัวอย่างต่างๆ

ดรรชนี	จุดเก็บตัวอย่าง		
	น้ำเข้า	น้ำออก	ถังหมัก
อุณหภูมิ	–	–	ทุกวัน
อัตราการไหลของน้ำกากส่า	ทุกวัน	–	–
COD	ทุกวัน	ทุกวัน	–
pH	ทุกวัน	ทุกวัน	–
VFA	ทุกวัน	ทุกวัน	–
alkalinity	ทุกวัน	ทุกวัน	–
SS	ทุกวัน	ทุกวัน	ก่อนเริ่มอัตราป้อนใหม่ทุกครั้ง
อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ	–	–	ทุกวัน
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	–	–	ทุกวัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนึ่งในส่วนของการตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในถังหมักจะมีการดึงตะกอนที่ระดับต่างๆ ภายในถังมาวิเคราะห์ SS เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่อัตราป้อนสารอินทรีย์หนึ่งๆ ทั้งนี้เพื่อให้ทราบปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในระบบว่ามีมากน้อยเพียงใด เพียงพอที่ระบบจะดำเนินต่อไปได้หรือไม่ นอกจากนั้นยังจะได้สังเกตลักษณะของตะกอนเม็ดที่เกิดขึ้นอีกด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย