

บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 องค์ประกอบและลักษณะจำเพาะต่างๆของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการหมักจิเบอเรลลิน

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการหมักจิเบอเรลลินซึ่งนำมาจากโครงการวิจัยการหมักจิเบอเรลลิน ของสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งในการทดลองนี้ได้แบ่งเป็น 2 การทดลอง ตามลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ ดังนี้

การทดลองส่วนที่ 1 เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการหมักจิเบอเรลลิน ในถังหมัก ขนาด 300 ลิตร ซึ่งใช้ภาวะการหมักตาม สันติ เหมศรี (2539) แต่ในการหมักครั้งนี้ใช้เวลาในการหมักเพียง 4 วัน (ปกติใช้เวลา 7 วัน) เนื่องจากเกิดข้อขัดข้องของเครื่องมือในระหว่างการหมัก ดังนั้นน้ำเสียที่ได้จากการหมักครั้งนี้จึงไม่สมบูรณ์ จากนั้นนำน้ำหมักที่ได้มาหมวนเหวี่ยงเพื่อแยกเซลล์จุลินทรีย์ออก ซึ่งน้ำหมักที่ได้จะมีสีเหลืองใส มีกลิ่นเฉพาะตัว ซึ่งลักษณะสมบัติจำเพาะต่างๆของน้ำเสียแสดงดังในตารางที่ 3.1

การทดลองส่วนที่ 2 เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการหมักและแยกสกัดจิเบอเรลลินออกจากน้ำหมักแล้ว ซึ่งใช้ภาวะในการหมักเหมือนกับการทดลองที่ 1 และการหมักในครั้งนี้เป็นการหมักที่สมบูรณ์คือใช้เวลาในการหมัก 7 วัน ซึ่งน้ำหมักที่ได้ จะนำมาผ่านกระบวนการแยกสกัดจิเบอเรลลินออกจากน้ำหมักด้วยเครื่องสกัดแยกสารด้วยตัวทำละลาย(liquid-liquid extraction) โดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ดังนั้นน้ำเสียที่ได้จากขั้นตอนนี้จึงมีเอทิลแอลกอฮอล์อยู่มาก (เนื่องจากขั้นตอนการแยกสกัดยังไม่สมบูรณ์ จึงทำให้เกิดอิมัลชันกล่าวคือชั้นเอทิลแอลกอฮอล์ผสมรวมกันกับชั้นน้ำหมัก) และลักษณะน้ำเสียที่ได้มีกลิ่นของเอทิลแอลกอฮอล์แรงมากซึ่งผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและสมบัติจำเพาะต่าง ๆ ของน้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.2 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียส่วนที่ 1 (น้ำเสียที่ยังไม่แยกสกัดจิเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก)

ในการทดลองส่วนที่ 1 ได้ใช้น้ำเสียที่ยังไม่แยกสกัดจิเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก ใช้เวลาในการทดลองทั้งหมด 128 วัน โดยระบบสามารถบำบัดการป้อนสารอินทรีย์ที่ 0.37,1.11,2.45,

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบและสมบัติจำเพาะต่างๆ ของน้ำเสีย

องค์ประกอบต่างๆ ของน้ำเสีย		น้ำเสีย 1 *	น้ำเสีย 2 **
Temperature	°C	28-35	28-35
pH		4.6-5.2	3.3-3.6
COD	mg/l	70,000-80,000	80,000-95,000
BOD ₅ ²⁰	mg/l	25,000-32,000	21,000-30,000
Suspended Solid	mg/l	214-250	270-284
Volatile Fatty Acid (VFA)	mg/l	2,900-4,100	3,200-4,000
Total Alkalinity (ALK)	mg/l	900-1,400	0
Glucose	g/l	15-20	9-12
Nitrogen	mg/l	0	0

หมายเหตุ

* น้ำเสีย 1 หมายถึงน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการแยกสกัดจิบเบอเรลลิน ออกจากน้ำหมัก

** น้ำเสีย 2 หมายถึงน้ำเสียที่ผ่านการแยกสกัดจิบเบอเรลลิน ออกจากน้ำหมักแล้ว

4.20,6.11,9.55 และ 12.98 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน และระบบได้เสียสมดุลที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ค่าเฉลี่ยดรรชนีต่างๆของระบบหมักที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆภายใต้ภาวะคงตัวแสดงในตารางที่ 3.2 และประสิทธิภาพของระบบหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆภายใต้ภาวะคงตัวแสดงในตารางที่ 3.3 โดยค่าเฉลี่ยได้มาจากกลุ่มข้อมูลที่อยู่ในภาวะคงตัว ซึ่งข้อมูลการทดลองในแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์แสดงในรูปของตารางและกราฟ อยู่ในภาคผนวก ค

3.2.1 อัตราการป้อนสารอินทรีย์และระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสีย

ในการทดลองจะทำการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้รอจนระบบเข้าสู่ภาวะคงตัว(steady state)ก่อนโดยดูจากประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพคงที่ จึงค่อยเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นไป จนถึงอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุดที่ระบบจะสามารถทำงานได้ โดยในการทดลองจะเริ่มจากอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่ำๆ ก่อน คือเริ่มที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน เพื่อให้แบคทีเรียในระบบปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสียและภาวะแวดล้อมในการทำงานของระบบก่อน จึงค่อยเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นไป

3.2.2 ระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่ภาวะคงตัว

จากผลการทดลองที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆพบว่าในช่วงแรกของการทดลองคือที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบจะใช้เวลานานในการเข้าสู่ภาวะคงตัว เนื่องจากแบคทีเรียในระบบกำลังฟื้นตัวจากภาวะเสียสมดุลจากการดำเนินการวิจัยการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการหมักกรดมะนาวมาก่อน ดังนั้น แบคทีเรียในช่วงนี้ยังอ่อนแอ และกำลังปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย และภาวะแวดล้อมในการทำงานของระบบเช่น อุณหภูมิ หรือความแตกต่างของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบซึ่งระยะเวลาเข้าสู่ภาวะคงตัวนี้มีค่าแปรเปลี่ยนมาก ขึ้นกับระบบถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงภาวะแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมเหล่านี้มากแบคทีเรียในระบบต้องใช้เวลายาวนานในการเข้าสู่ภาวะคงตัวซึ่งในการทดลองนี้ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.11 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน เป็นต้นมา ระบบใช้เวลาในการเข้าสู่ภาวะคงตัวเร็วมาก คือใช้เวลาประมาณ 15 วันเนื่องจากแบคทีเรียในช่วงนี้เริ่มปรับตัวได้และเป็นแบคทีเรียที่แข็งแรง และมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง

ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยดรรชนีต่างๆ ของระบบหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ภายใต้ภาวะคงตัวของการทดลองส่วนที่ 1 (น้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการแยกสกัดไขมันออกจากน้ำหมัก)

Organic Loading		kgCOD/m ³ .d	0.37	1.11	2.45	4.20	6.11	9.55	12.98
Feed	COD	mg/l	2,815	8,350	14,112	24,218	35,280	55,120	74,880
	pH		7.6	4.2	4.1	4.3	4.9	4.9	5.5
	VFA	mg/l	513	428	634	1,239	1,557	2,556	4,001
	ALK	mg/l	729	25	20	129	274	523	1,368
	VFA/ALK		0.72	15.22	-	9.65	5.76	4.91	2.92
UASB	Average Flowrate	l/d	1.296	1.296	1.728	1.728	1.728	1.728	1.728
	HRT	days	7.69	7.69	5.76	5.76	5.76	5.76	5.76
	COD	mg/l	1,301	621	598	784	1,235	2,288	11,960
	pH		8.0	7.9	8.1	8.4	8.5	8.3	7.5
	VFA	mg/l	377	160	103	128	167	612	7566
	ALK	mg/l	1,336	844	1,634	2,340	3,776	6,194	8,134
	VFA/ALK		0.28	0.19	0.06	0.05	0.04	0.10	0.87
	Gas Production	l/d	-	1.54	4.13	9.08	13.94	26.33	14.90
	CH ₄	%	-	84.90	84.96	84.37	82.79	81.07	83.16
	CO ₂	%	-	4.32	11.66	12.11	11.98	13.91	12.86
	Other gasses	%	-	10.79	3.39	3.52	5.23	5.02	3.98

หมายเหตุ

- ไม่สามารถหาค่า VFA/ALK ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบได้ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.45 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน เนื่องจากค่าสภาพความเป็นด่างรวมมีค่าเป็น 0
- ไม่ได้วิเคราะห์ค่าองค์ประกอบและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน
- ค่าเฉลี่ยของดรรชนีต่างๆ มาจากกลุ่มข้อมูลในช่วงภาวะคงตัว ใน 5 วันสุดท้ายของแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์

ตารางที่ 3.3 ประสิทธิภาพของระบบหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ภายใต้ภาวะคงตัว
ของการทดลองส่วนที่ 1

Organic Loading kgCOD/m ³ .d	0.37	1.11	2.45	4.2	6.11	9.55	12.98
Biogas Yield:							
m ³ /kgCOD fed	-	0.107	0.173	0.218	0.232	0.276	0.110
m ³ /kgCOD removed	-	0.117	0.180	0.225	0.240	0.290	0.124
m ³ /m ³ reactor.d	-	0.155	0.415	0.911	1.399	2.457	1.494
Methane Yield:							
m ³ /kgCOD fed	-	0.091	0.147	0.184	0.192	0.223	0.090
m ³ /kgCOD removed	-	0.099	0.150	0.190	0.200	0.230	0.101
m ³ /m ³ reactor.d	-	0.132	0.352	0.768	1.158	1.993	1.220
COD Removal %	53.32	91.84	95.69	96.76	96.46	95.71	83.63

หมายเหตุ

- ไม่ได้วิเคราะห์ค่าองค์ประกอบและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิโลกรัม ซีไอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน

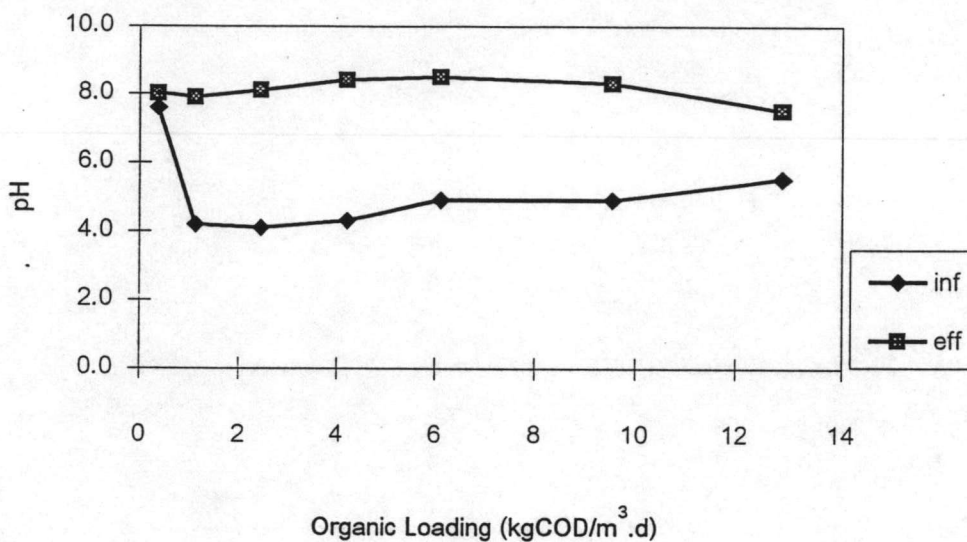
3.2.3 ค่าพีเอชในระบบ

ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 4.6-5.5 ซึ่งในช่วงเริ่มต้นของการทดลองคือ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน นั้นแบคทีเรียในระบบกำลังฟื้นตัวจากภาวะเสียสมดุลมาก่อน จึงทำให้แบคทีเรียอ่อนแอและต้องปรับตัวให้เข้ากับภาวะการทำงานดังนั้นจึงได้ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ โดยใช้ NaHCO_3 เพื่อให้ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6-7 ซึ่งเป็นช่วงที่แบคทีเรียสร้างมีเทนทำงานได้ดี และค่าพีเอชที่ออกจากระบบมีค่าค่อนข้างคงที่ที่อยู่ในช่วง 7.4-8.4 แสดงถึงระบบมีกำลังบัฟเฟอร์มากเพียงพอ แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของระบบพบว่า ระบบยังมีประสิทธิภาพไม่ดี ดังนั้นในการทดลองที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์นี้จึงได้ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบทุกวันของการทดลอง

จากนั้นที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.11, 2.45, 4.20, 6.11 และ 9.55 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ไม่ได้ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ เพราะในช่วงอัตราการป้อนสารอินทรีย์เหล่านี้ระบบเริ่มมีประสิทธิภาพดีขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียเริ่มปรับตัวให้เหมาะสมต่อภาวะการทำงานได้ และแบคทีเรียทั้งสองกลุ่ม คือ กลุ่มสร้างกรด และกลุ่มสร้างมีเทนมีการเจริญและการทำงานที่สมดุลกัน ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยสูงจึงทำให้ค่าพีเอชที่ออกจากระบบมีค่าสูงและค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 7.9-8.4

และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบเริ่มเสียสมดุล ซึ่งน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าพีเอชประมาณ 5.1-5.5 (ไม่ได้ปรับค่าพีเอช) และน้ำเสียที่ออกจากระบบยังมีค่าสูงคือประมาณ 8.2-8.5 ในช่วง 11 วันแรกของการทดลอง ถึงแม้ว่าในช่วงนี้มีการสะสมกรดไขมันระเหยในระบบเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่วันที่ 7 ถึง 11 ของการทดลอง (ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่าตั้งแต่ 1,966 ถึง 4,758 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก ในวันที่ 7 ถึง 11 ของการทดลอง ตามลำดับ) แสดงถึงระบบมีกำลังบัฟเฟอร์มากเพียงพอ แต่ในวันที่ 12-14 ของการทดลอง ระบบมีการสะสมกรดไขมันระเหยมากขึ้น คือมีค่าสูงถึง 11,873 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก (ในวันที่ 14 ของการทดลอง) นั่นคือปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบมากกว่าที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งในช่วงนี้ระบบได้เสียสมดุล และระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอทำให้ค่าพีเอชเริ่มลดลงจนถึงพีเอช 6.7 ในวันที่ 14 ของการทดลอง (สิ้นสุดการทดลอง) ซึ่งที่ค่าพีเอชต่ำนี้จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ทำให้ระบบล้มเหลวในที่สุด ซึ่งรูปที่ 3.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของระบบที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ดังนั้นจากการทดลองนี้อาจกล่าวได้ว่าค่าพีเอชเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงการล้มเหลวของระบบที่เข้าเกินไปในกรณีที่มีกำลังบัฟเฟอร์สูง เพราะความเสียหายเกิดขึ้นก่อนที่พีเอชจะลดลง อย่างไรก็ตามข้อมูลของพีเอชก็ยัง

มีความสำคัญ เพราะแบคทีเรียทั้งสองกลุ่ม โดยเฉพาะกลุ่มที่สร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดี ในช่วงพีเอชแคบ ๆ เท่านั้น นอกจากนี้การรักษาระดับพีเอชให้เป็นกลางยังเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่ง ในการแก้ไขให้ระบบฟื้นตัวจากการเสียสมดุล ซึ่งถือเป็นเรื่องแรกที่จะกระทำก่อนเรื่องใด ๆ

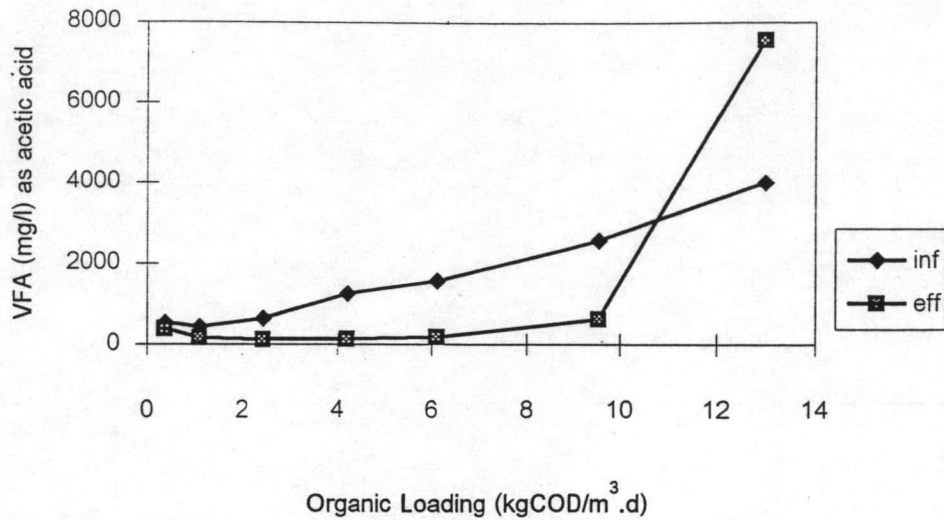


รูปที่ 3.1 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

3.2.4 ปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบ

กรดไขมันระเหย (volatile fatty acid ; VFA) ในระบบย่อยสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน นั้น ได้จากขั้นตอนการสร้างกรดอินทรีย์โดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด และจะถูกนำไปใช้ต่อโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน จากการทดลองจะเห็นว่า เมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น (ความเข้มข้นของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น) นั้นค่าปริมาณกรดไขมันระเหยที่เข้าสู่ระบบจะเพิ่มสูงขึ้น ด้วย (รูปที่ 3.2) นั่นคือค่าปริมาณกรดไขมันระเหยจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และค่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าประมาณ 3,000-4,200 มิลลิกรัม / ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก

ในช่วงแรกของการทดลองคือที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยสูง คือมีค่าประมาณ 300-400 มิลลิกรัม / ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก ตลอดทุกวันของการทำงาน นั่นคือระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยต่ำ เนื่องจากในช่วงนี้แบคทีเรียในระบบกำลังฟื้นตัวจากภาวะเสียสมดุลมาก่อนหน้านี้ และกำลังปรับตัวให้เข้ากับภาวะในการทำงาน



รูปที่ 3.2 ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ

ในช่วงอัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.11, 2.45, 4.20 และ 6.11 กิโลกรัมชีโอดี/ ลูกบาศก์เมตร-วัน ปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบมีค่าต่ำ คือต่ำกว่า 180 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก หรือระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยมากกว่า 80 % แสดงว่าในช่วงอัตราการป้อนสารอินทรีย์เหล่านี้ระบบมีเสถียรภาพดีมาก คือแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มในระบบมีการเจริญและการทำงานในสัดส่วนที่สมดุลกัน ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีมากและที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 9.55 กิโลกรัมชีโอดี/ ลูกบาศก์เมตร-วัน นั้นค่าปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบเริ่มสูงขึ้นเล็กน้อย คืออยู่ในช่วง 300-600 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก แต่เมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยยังมีค่ามากกว่า 70 %

และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์เป็น 12.98 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งปริมาณกรดไขมันระเหยที่เข้าสู่ระบบมีค่าประมาณ 3,000-4,200 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก แต่ปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบมีค่าสูงในตั้งแต่วันที่ 4 ของการทดลอง และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนในวันที่ 8 ถึงวันที่ 14 ของการทดลอง พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบมีค่าสูงกว่าที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งในวันที่ 14 ที่เป็นวันสิ้นสุดการทดลองนั้นค่าปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่าสูงถึง 11,837 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก และระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอทำให้พีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าลดลงมาถึง 6.7 ซึ่งในช่วงนี้ระบบได้ล้มเหลว ซึ่งอาจเป็นเพราะที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์นี้มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง (มีค่าชีโอดีประมาณ 70,000 มิลลิกรัม/ลิตร และมีสารอินทรีย์ในรูปกรดไขมันระเหยประมาณ 3,000-4,200

มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากรดแอสซิดิก) จะทำให้ในระบบมีปริมาณและการทำงานของแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มไม่สมดุลกัน นั่นคือแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดที่มีอัตราการเจริญเร็วทำให้มีการสร้างกรดอินทรีย์ออกมาในระบบมาก และแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนมีอัตราการเจริญที่ช้ากว่า ทำให้ไม่สามารถนำกรดไขมันระเหยในระบบไปใช้ในการสร้างมีเทนได้ทัน ทำให้ระบบมีการสะสมของกรดไขมันระเหยสูง ทำให้ค่าพีเอชในระบบลดต่ำลงซึ่งจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยที่สูงจะไปยับยั้งการเจริญและการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ดังนั้นระบบจึงล้มเหลวในที่สุด ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยเป็นดัชนีที่สำคัญในการบ่งบอกถึงภาวะการเสียสมดุลของระบบ นอกจากนี้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของกรดไขมันระเหยก็มีความสำคัญ เช่น ถ้าความเข้มข้นของกรดไพโรพิโอนิกสูงกว่า 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของกรดแอสซิดิก ก็จะมีปัญหาเรื่องพิษเพิ่มขึ้นไปอีก

3.2.5 สภาพความเป็นต่างรวมของระบบ

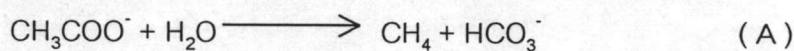
สภาพความเป็นต่างรวม เป็น ดรรชนีที่บ่งบอกถึงกำลังบัฟเฟอร์ (buffer capacity) ของระบบเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของค่าพีเอช ซึ่งเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของแบคทีเรียในระบบ

ความเป็นต่างในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนตซึ่งเกิดมาจากปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับ CO_2 และน้ำให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต

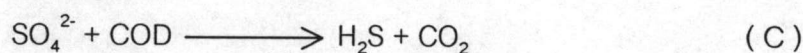
ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ได้ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบด้วย NaHCO_3 เพื่อให้ได้ค่าพีเอช 6-7 ทำให้ค่าสภาพความเป็นต่างรวมของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 300 - 800 มิลลิกรัม / ลิตร เทียบเท่าแคลเซียมคาร์บอเนต ส่วนค่าสภาพความเป็นต่างรวมของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 700 - 1,300 เทียบเท่าแคลเซียมคาร์บอเนต

และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.11, 2.45, 4.20, 6.11 และ 9.55 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน นั้น ไม่ได้ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.9 - 5.5 (ข้อมูลจากตารางที่ ง.2-ง.6) ทำให้สภาพความเป็นต่างรวมที่เข้าสู่ระบบมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 700 มิลลิกรัม / ลิตร เทียบเท่าแคลเซียมคาร์บอเนต และค่าสภาพความเป็นต่างรวมของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าสูงกว่าในน้ำเสียที่เข้าระบบ (เหมือนกับการทดลองของ Vinas, 1994) และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (รูปที่ 3.3) ซึ่งน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าสภาพ

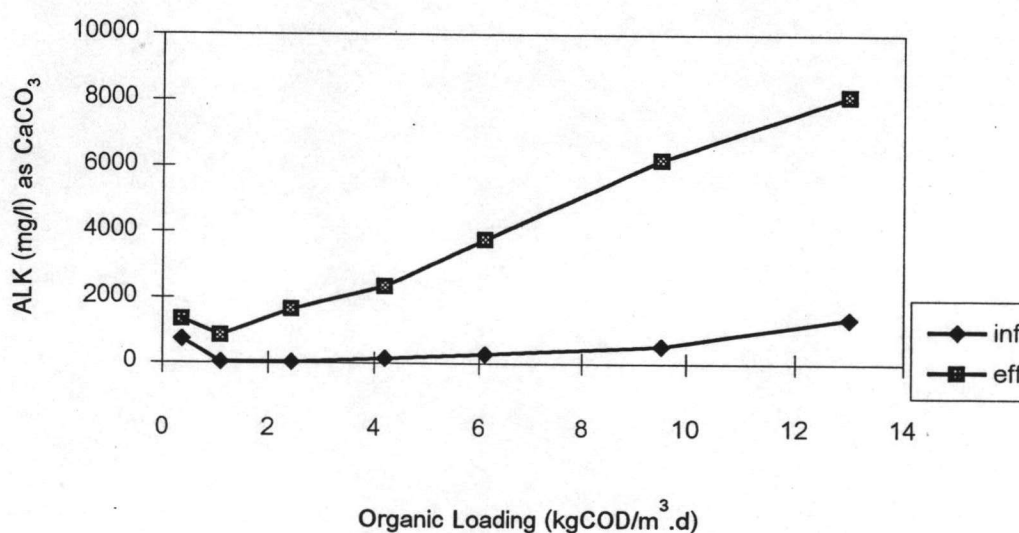
ความเป็นด่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นจากการออกซิไดซ์กรดแอสติก โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน หรือแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ในกรณีน้ำเสียที่มีซัลเฟต หรือเกิดจากทั้งสองกรณี ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการไร้ออกซิเจน ดังสมการต่อไปนี้ตามลำดับ



ในงานวิจัยอาจสันนิษฐานได้ว่า มีซัลเฟตในน้ำเสีย และเกิดการออกซิไดซ์ กรดแอสติก โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังสมการต่อไปนี้



และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่าตั้งแต่วันที่ 1 - 13 ของการทดลอง ค่าสภาพความเป็นด่างที่ออกจากระบบมีค่าสูง อยู่ในช่วง 5,600 - 7,800 มิลลิกรัม/ ลิตร เทียบเท่าแคลเซียมคาร์บอเนต ในช่วงนี้ระบบเริ่มเสถียรสมดุล และมีกรดไขมันระเหยสะสมอยู่ในระบบปริมาณสูง แต่ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบยังมีค่าสูง อยู่ในช่วง 7.9 -8.5 แสดงถึงระบบมีกำลังบัฟเฟอร์เพียงพอ แต่ในวันที่ 14 ซึ่งเป็นวันสิ้นสุดของการทดลองค่า



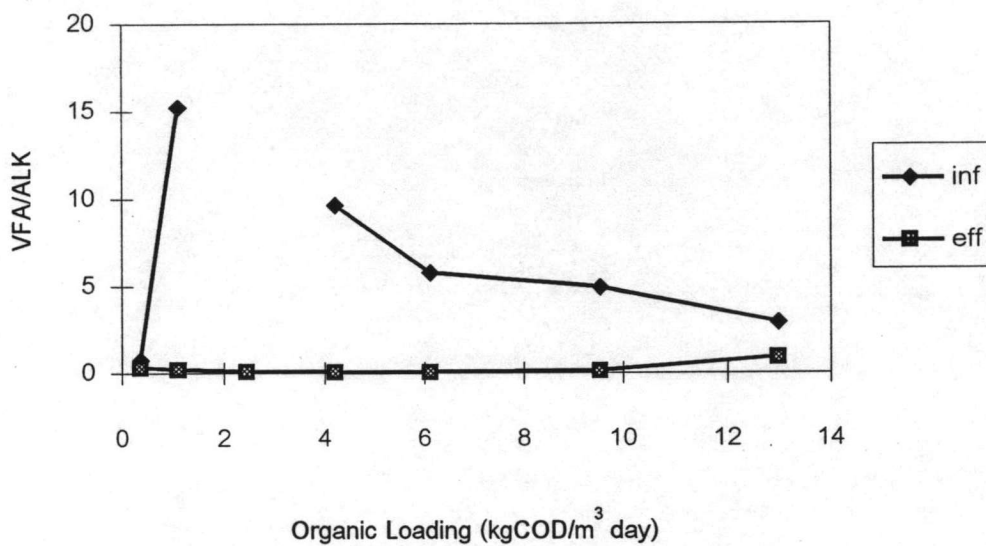
รูปที่ 3.3 ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ

กรดไขมันระเหยมีค่าสูงขึ้นถึง 11,873 มิลลิกรัม / ลิตร เทียบเท่ากรดแอสซิดิก และระบบพยายามที่จะรักษาเสถียรภาพไว้โดยเพิ่มค่าสภาพความเป็นด่างรวมให้สูงขึ้นถึง 9,303 มิลลิกรัม / ลิตร เทียบเท่าแคลเซียมคาร์บอเนต แต่ระบบก็มีกำลังบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอ ทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าลดต่ำลงถึง 6.7 จนทำให้ระบบล้มเหลวในที่สุด

3.2.6 อัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่าง (VFA/ALK)

ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่างมีความสำคัญ ในการบ่งชี้เสถียรภาพของระบบได้ คือ ถ้าอัตราส่วนนี้น้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง การเพิ่มของอัตราส่วนนี้เป็นสัญญาณของการเสียสมดุลของระบบและ แสดงว่า กำลังบัฟเฟอร์ที่มีอยู่เดิมลดน้อยลง และไม่เพียงพอ ถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่า ระบบกำลังอยู่ในขั้นที่พีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้ามีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยของกรดไขมันระเหย(เพ็ชรพร, 2538) จากผลการทดลอง พบว่า น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่างสูงมาก ที่ทุกอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ส่วนน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าอัตราส่วนนี้ต่ำ แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยสูง ดังในรูปที่ 3.4 ซึ่งแสดงอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าอัตราส่วนนี้ไม่สูงมาก คือ มีค่า 0.72 เนื่องจากที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์นี้มีการเติม NaHCO_3 ในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ และน้ำที่ออกจากระบบมีค่าอัตราส่วนนี้ต่ำ คือ มีค่า 0.28 ส่วนที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.11 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ มีค่าอัตราส่วนนี้สูง เนื่องจากไม่ได้ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบทำให้น้ำเสียมีค่าพีเอชต่ำ จึงทำให้ค่าสภาพความเป็นด่างรวมต่ำ ส่วนน้ำที่ออกจากระบบมีค่าอัตราส่วนนี้ต่ำ คือ มีค่า 0.19 แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยสูง และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.45 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ไม่สามารถหาค่าอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบได้ เนื่องจากน้ำเสียมีค่าสภาพความเป็นด่างรวมเป็น 0 ส่วนน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าอัตราส่วนนี้ต่ำมาก คือ มีค่า 0.06 และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 4.20 , 6.11 และ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่าค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่าง ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 3.31-26.67 ส่วนน้ำเสียที่ออกจากระบบ มีค่าอัตราส่วนนี้ต่ำมาก คือ อยู่ในระหว่าง 0.04-0.12 แสดงว่า ในช่วงนี้ระบบมีเสถียรภาพดีมาก ส่วนที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมซีโอดี /

ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุดนั้นค่าอัตราส่วนนี้ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่า อยู่ในช่วง 2.85-6.82 และของน้ำเสียที่ออกจากระบบ มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในทุกวันของการทดลอง จนมีค่า 0.98 (>0.8) ในวันที่ 12 ของการทดลอง ซึ่งในช่วงนี้ระบบได้เสียสมดุล ระบบมีการสะสม ของกรดไขมันระเหยในปริมาณมาก และค่าพีเอชของระบบ เริ่มลดลง ประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบลดลง และในวันสุดท้ายของการทดลอง คือในวันที่ 14 ระบบมีค่าอัตราส่วนนี้ 1.28 แสดงถึงระบบมีเสถียรภาพต่ำมาก และระบบได้ล้มเหลวที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์นี้



รูปที่ 3.4 อัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

3.2.7 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบ

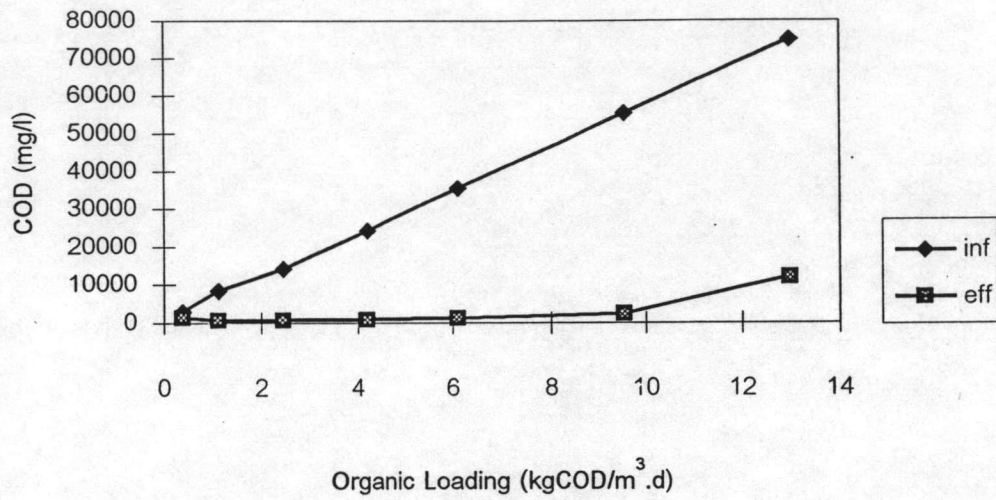
ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกจากระบบสามารถบ่งชี้ให้เห็นปริมาณตะกอนแบคทีเรียในระบบ เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นตะกอนแบคทีเรีย ในการทดลองไม่ได้วิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย ในทุกวันเนื่องจากสังเกตเห็นว่า น้ำเสียที่ออกจากระบบค่อนข้างใส (ไม่มีตะกอนแบคทีเรียหลุดออกมาจากระบบ) และค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าต่ำมาก คือมีค่าประมาณ 200-300 มิลลิกรัม/ลิตร อาจเนื่องมาจากถังหมักมีระบบแยกตะกอน (gas-solid separator) ที่มีประสิทธิภาพดี อัตราการไหลของน้ำเสียไม่สูงมาก (1.296 ลิตร/วัน) และแบคทีเรียในระบบมีความสามารถในการจับตัวสูง ทำให้มีแบคทีเรียหลุดออกมาจากระบบได้น้อย ดังนั้นจึง

ได้ทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉพาะในวันที่ สังเกตเห็นแบคทีเรียหลุดออกจากระบบในปริมาณค่อนข้างมาก(แบคทีเรียสีน้ำตาลหลุดออกจากระบบ) ซึ่งจะอยู่ในช่วงที่ระบบเริ่มเสียสมดุล คือที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน โดยค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบมีค่าสูงมาก(ss=8,415 ในวันที่ 12 ของการทดลอง) การที่แบคทีเรียหลุดออกจากระบบในปริมาณมากนี้ทำให้ระบบเสียเสถียรภาพอย่างมากซึ่งจะทำให้ระบบล้มเหลวในที่สุด ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย แสดงดังในภาคผนวก ค

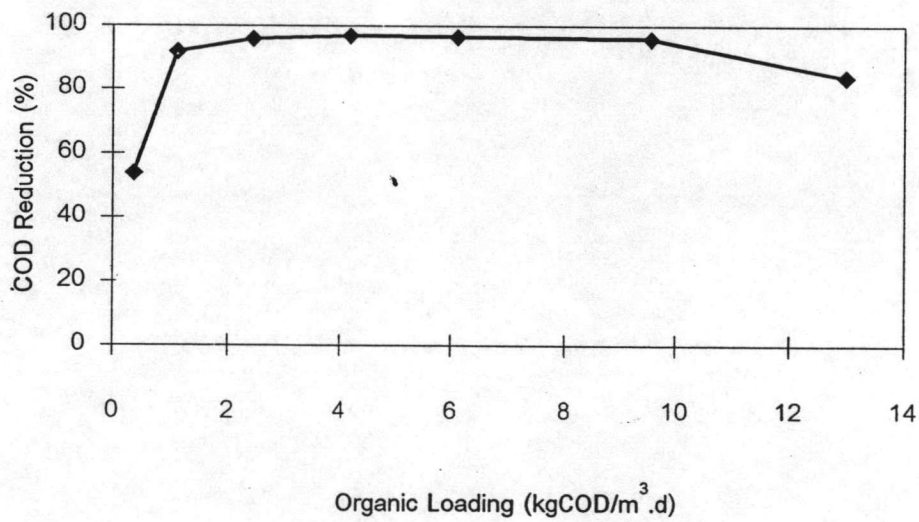
3.2.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดี

ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดี เป็นตัวแปรที่สำคัญ แสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถทำงานได้ดียอมทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีมีค่าสูงตามไปด้วย จากรูปที่ 3.5 แสดงค่าชีโอดีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ และ รูปที่ 3.6 แสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการทดลองคือ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน นั้นประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีมีค่าต่ำคือมีค่าประมาณ 53.72 % เนื่องจากในช่วงนี้ เป็นช่วงที่แบคทีเรียในระบบยังอ่อนแอและมีปริมาณน้อย ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีจะขึ้นอยู่กับปริมาณแบคทีเรียในระบบ จากนั้นที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.11 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน แบคทีเรียในระบบเริ่มมีปริมาณมากขึ้น และสามารถปรับตัวให้เข้ากับภาวะการทำงานได้ซึ่งระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี 91.84 % และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.45 , 4.05 , 6.06 , 8.90 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีประมาณ 94 -98 % แสดงว่าในช่วงนี้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีมาก เนื่องจากแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มในระบบ มีปริมาณและการทำงานที่สมดุลกัน

ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุดพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ตั้งแต่วันที่ 10 ของการทดลอง จนถึงวันสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 14 ซึ่งค่าประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีของระบบมีค่าลดลงเหลือประมาณ 83.63 % ซึ่งการที่ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลงนี้ เนื่องมาจากเกิดการเสียสมดุลของการเจริญและการทำงาน ของแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มในระบบ โดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ในสิ่งแวดล้อมที่มีแวนไน้ม รุนแรงเพิ่มขึ้น เช่น พีเอชต่ำ , อัตราการป้อนสารอินทรีย์สูง จึงสร้างกรดไขมันระเหยออกมาสู่ระบบมาก



รูปที่ 3.5 ค่า COD ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ



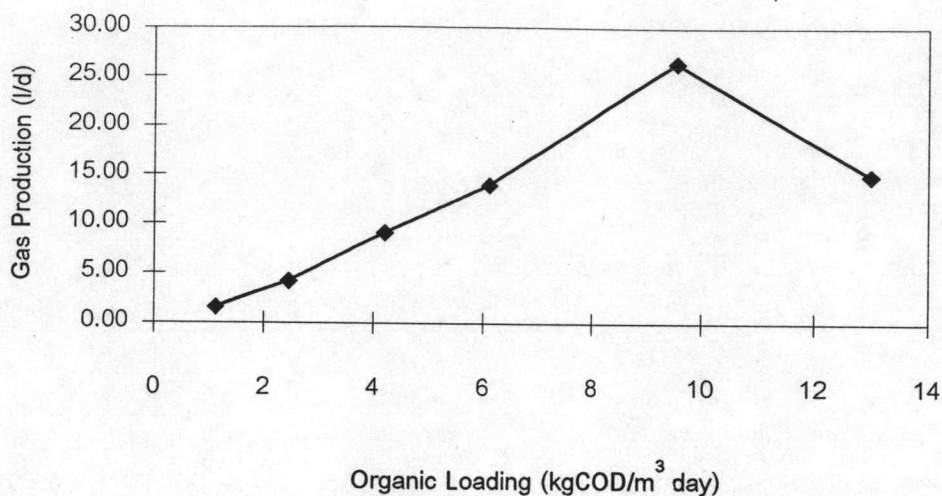
รูปที่ 3.6 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

เกินกว่า ที่แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนจะสามารถ ใช้กรดไขมันระเหยได้ทัน ทำให้เกิดการสะสมของ กรดไขมันระเหยในระบบ ถ้าเกิดการสะสมกรดไขมันระเหยในปริมาณมาก จะทำให้ค่าพีเอช ในระบบลดลงซึ่งจะเป็นการยับยั้งการเจริญและการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ทำให้ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบลดลง

3.2.9 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นผลผลิตสุดท้ายของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ คือก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนก๊าซอื่นๆ เช่นก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ปริมาณและส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพสามารถบอกให้ทราบถึง ประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ ที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.7 จึงกล่าวได้ว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีสารอาหารเข้าสู่ระบบมากขึ้น ทำให้แบคทีเรียในระบบมีปริมาณมากขึ้น ทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย

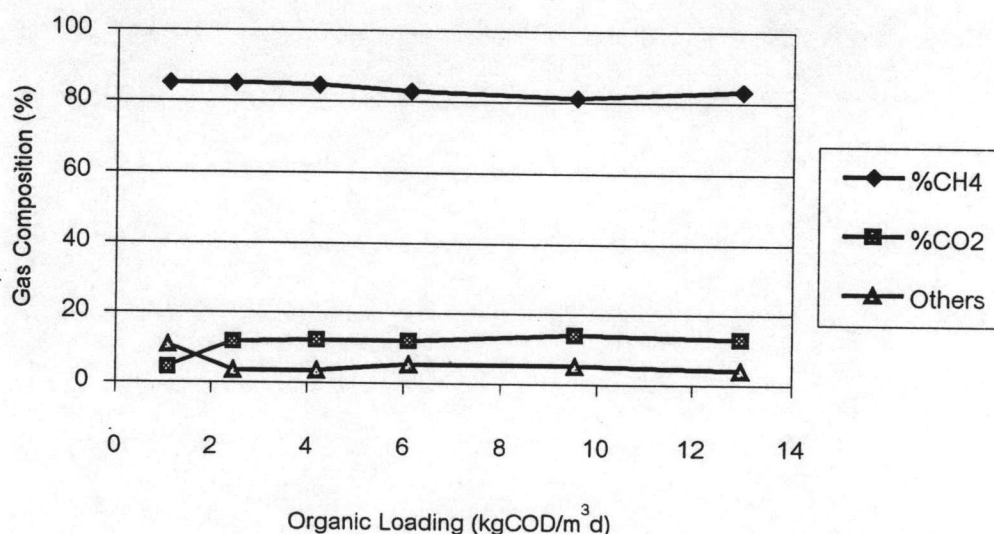
และผลการทดลอง ที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุดที่ระบบจะทำงานได้ พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าสูงในช่วง 7 วันแรกของการทดลอง (มีค่าปริมาณก๊าซ 37.96 ลิตร / วัน ในวันที่ 7) จากนั้นในวันที่ 8 ของการทดลองค่าอัตราการผลิตก๊าซมีค่าลดลงเรื่อยๆ คือมีค่า 34.47, 31.84, 27.10, 28.38 และ 26.79 ลิตร / วัน ในวันที่ 8 ถึง 12 ของการทดลองตามลำดับ และในวันที่ 13 และ 14 ค่าอัตราการผลิตก๊าซลดลงอย่างรวดเร็วคือมีค่า 9.044 และ 2.688 ลิตร / วัน ตามลำดับ และมีค่าลดต่ำลง จนถึง 0 ลิตร / วัน ในวันที่ถัดๆ มา เนื่องจากในช่วงนี้ระบบเสถียรของแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มในระบบ ทำให้มีการสะสมของกรดไขมันระเหยสูง จึงเป็นการยับยั้งการเจริญและการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน และแบคทีเรียถูกล้างออกจากระบบในปริมาณสูง (ss=8,415 มิลลิกรัม/ลิตร ในวันที่ 12 ของการทดลอง) จึงทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงอย่างมาก ระบบจึงล้มเหลว ในที่สุด จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นดัชนีที่สำคัญในการติดตามประสิทธิภาพการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

3.2.10 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีก๊าซอื่นๆเพียงเล็กน้อย รูปที่ 3.8 แสดง องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ พบว่าสัดส่วนของก๊าซมีเทนมีค่าประมาณ 80-85% ซึ่งค่อนข้างคงที่ ในแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาในการกักเก็บยาวเพียงพอ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบจะถูกนำไปใช้ในการสร้างก๊าซมีเทนด้วย ทำให้สัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ ในระบบค่อนข้างต่ำ และเมื่อระบบอยู่ในภาวะเสถียร พบว่าสัดส่วนของมีเทนก็ยังมีค่าค่อนข้างคงที่

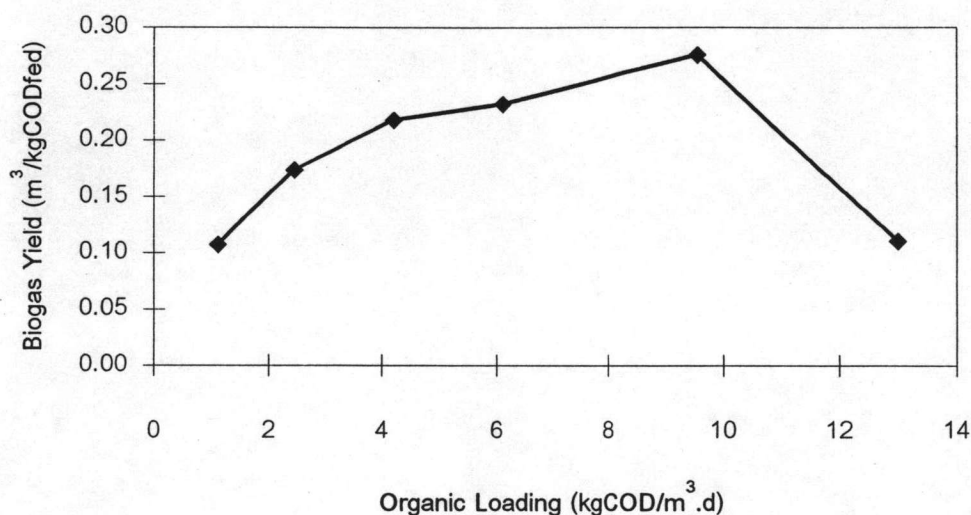


รูปที่ 3.8 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

3.2.11 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ(biogas yeild)ในที่นี่จะแยกพิจารณาเป็น3 แบบ คือ
ก) พิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

เป็นสิ่งที่บอกให้ทราบว่าหนึ่งหน่วยของสารอินทรีย์ที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซชีวภาพมากน้อยเท่าใด รูปที่ 3.9 แสดงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ พบว่าเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.276 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ทั้งนี้เนื่องมาจากมีสารอาหารเข้าสู่ระบบมากขึ้นและแบคทีเรียในระบบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุด พบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าลดลง คือมีค่าเท่ากับ 0.110 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ เนื่องจากในช่วงนี้ระบบได้เสียสมดุล ระบบมีภาวะแวนดล่อมที่รุนแรงคือมีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบในปริมาณสูง ทำให้แบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดซึ่งมีอัตราการ

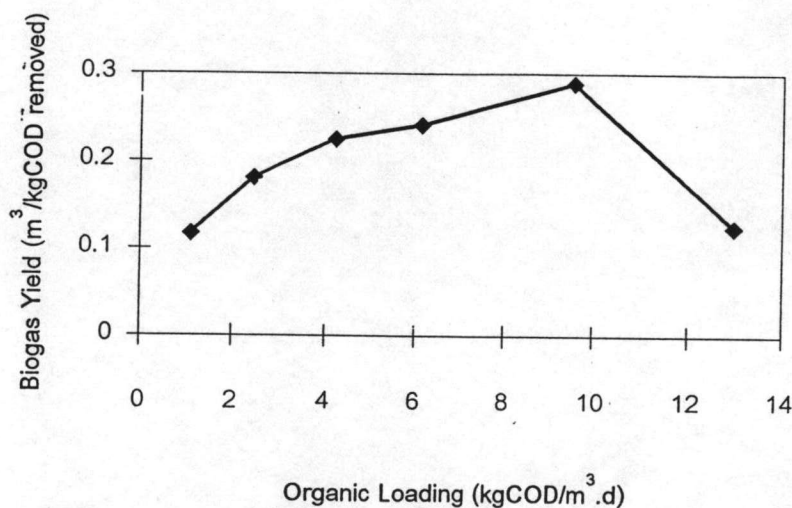


รูปที่ 3.9 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อน เข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

เจริญเร็วสร้างกรดอินทรีย์ออกมามากเกินไปที่แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนซึ่งมีอัตราการเจริญช้ากว่าจะใช้กรดอินทรีย์ได้ทัน จึงเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยในปริมาณสูง และถ้ากำลังบำบัดไม่เพียงพอจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลง ซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนมากขึ้น ค่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจึงลดลงด้วย

ข) พิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด

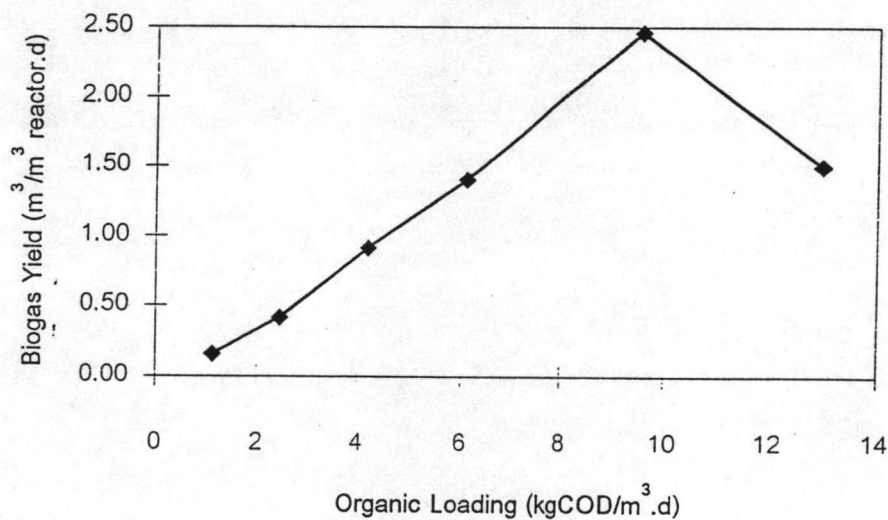
เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกใช้ไปหนึ่งหน่วยจะให้ ผลลัพธ์ที่เป็นก๊าซชีวภาพเท่าใด รูปที่ 3.10 แสดงประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.290 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบเริ่มเสถียร พบว่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าลดลง คือมีค่า 0.123 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด



รูปที่ 3.10 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

ค) พิจารณาเทียบปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณของถังหมัก

ในกรณีนี้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบ ซึ่งมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ รูปที่ 3.11 แสดงประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบกับปริมาณถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 1.11-9.55 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน โดยพบว่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.457 ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตรของถังหมัก-วัน ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นเป็น 12.98 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพลดต่ำลง คือมีค่า 1.494 ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตรของถังหมัก-วัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ



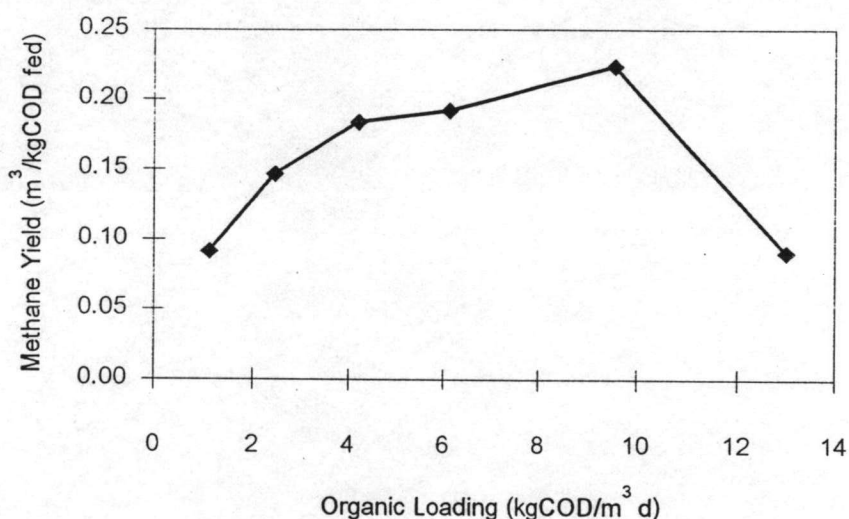
รูปที่ 3.11 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

3.2.12 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน

ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (Methane Yield) ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนในระบบเป็นสำคัญ ในที่นี้จะแยกพิจารณาเป็น 3 กรณีเช่นกันคือ

ก) พิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ รูปที่ 3.12 แสดงประสิทธิภาพโดยพิจารณาเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้นด้วย และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.223 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน และเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 12.98 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าลดลงเหลือเพียง 0.090 ลูกบาศก์เมตรมีเทน / กิโลกรัมซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ เนื่องจากเกิดการเสียดสมดุลของระบบ

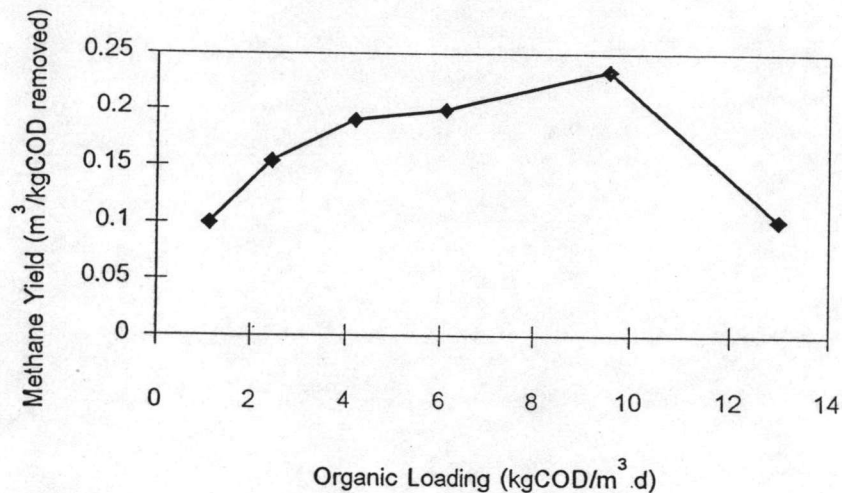


รูปที่ 3.12 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

ข) พิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 0.099, 0.150, 0.190, 0.200 และ 0.230 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.11, 2.45, 4.20, 6.11 และ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ตามลำดับ (ค่าทางทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 0.35-0.38 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด) และที่อัตราการป้อน

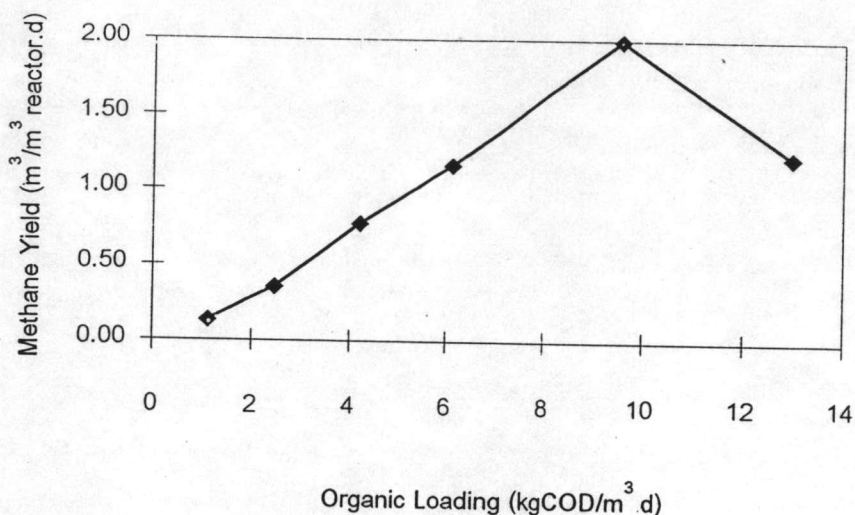
สารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าลดลงเหลือเพียง 0.101 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด (รูปที่ 3.13) เนื่องจากเกิดการเสียสมดุลของระบบ



รูปที่ 3.13 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

ค) พิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาตรของถังหมัก

ในกรณีนี้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจะขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ รูปที่ 3.14 แสดงค่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบกับปริมาตรของถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ โดยในการทดลองสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพ ในแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเมื่อเทียบกับปริมาตรของถังหมัก จึงขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นส่วนใหญ่ โดยที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์เป็น 1.11, 2.45, 4.20, 6.11 และ 9.55 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน มีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.132, 0.352, 0.768, 1.158 และ 1.993 ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตรของถังหมัก-วัน ตามลำดับ และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนลดลงเหลือเพียง 1.220 ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตรของถังหมัก-วัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 3.14 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาณผลผลิตก๊าซมีเทนกับ ปริมาณของถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

3.3 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสีย ส่วนที่ 2 (น้ำเสียที่ผ่านการแยกสกัดจิบเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก)

การทดลองส่วนที่ 2 เป็นการทดลองต่อจากการทดลองในส่วนที่ 1 ซึ่งระบบได้ผ่านภาวะล้มเหลวมาก่อน โดยใช้เวลาในการทดลองทั้งหมด 118 วัน ระบบสามารถรับ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่ 0.85, 2.23, 3.77, และ 5.66 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน โดยระบบได้เสีสมดุลที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.66 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ค่าเฉลี่ยของดรรชนีต่างๆ ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ ต่างๆภายใต้ภาวะคงตัว แสดงดังตารางที่ 3.4 และ ประสิทธิภาพของระบบที่ภาวะคงตัวแสดงในตารางที่ 3.5 โดยค่าเฉลี่ยได้มาจากกลุ่มข้อมูล ที่อยู่ในภาวะคงตัว ของการทดลองในแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ซึ่งได้ใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 59-118 มาคิดค่าเฉลี่ย (เนื่องจากข้อมูลใน วันที่ 1-58 ระบบรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ได้ 3.75 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ก็เริ่มเสีสมดุล และได้เริ่มการทดลองใหม่ในวันที่ 59-118 ซึ่งระบบรับ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ ได้ 5.66กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน) ซึ่งจะรายงานผลการทดลอง เป็น 2 แบบ แบบที่ 1 เป็นการติดตามการทำงานของระบบตลอดช่วงของการทดลอง(วันที่ 1-118) ซึ่งจะอยู่ในหัวข้อ 3.3.1 และแบบที่ 2 เป็นการรายงานค่าเฉลี่ยของดรรชนีต่างๆที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ (ใช้ข้อมูลในวันที่ 59-118) ซึ่งจะอยู่ในหัวข้อ 3.3.2 และข้อมูลการทดลองในแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์ แสดงในรูปของตาราง อยู่ในภาคผนวก ง

ตารางที่ 3.4 ค่าเฉลี่ยดรรชนีต่างๆ ของระบบหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆภายใต้ภาวะคงตัว
ของการทดลองส่วนที่ 2 (น้ำเสียที่ผ่านการแยกสกัดไขมันและโปรตีนออกจากน้ำหมัก)

Organic Loading		kgCOD/m ³ .d	0.85	2.23	3.77	5.66
Feed	COD	mg/l	4,896	12,852	21,760	32,640
	pH		7.0	5.6	4.9	4.5
	VFA	mg/l	554	1,405	3,093	3,469
	ALK	mg/l	482	628	721	447
	VFA/ALK		1.15	2.32	5.81	14.46
UASB	Average Flowrat	l/d	1.296	1.296	1.296	1.296
	HRT	days	5.76	5.76	5.76	5.76
	COD	mg/l	429	939	1,836	3,060
	pH		8.2	8.2	8.2	8.0
	VFA	mg/l	63	99	294	924
	ALK	mg/l	1,018	1,286	2,584	3,330
	VFA/ALK		0.06	0.08	0.11	0.28
	Gas Production	l/d	2.59	8.23	16.00	17.38
	CH ₄	%	86.86	79.83	76.23	76.47
	CO ₂	%	5.83	17.13	20.74	19.41
	Other gasses	%	7.31	3.04	3.04	4.12

หมายเหตุ

- ค่าเฉลี่ยของดรรชนีต่างๆ มาจากกลุ่มข้อมูลในช่วงภาวะคงตัวใน 5 วันสุดท้าย ของแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์

ตารางที่ 3.5 ประสิทธิภาพของระบบหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆภายใต้ภาวะคงตัวของการทดลองส่วนที่ 2

Organic Loading kgCOD/m ³ .d	0.85	2.23	3.77	5.66
Biogas Yield:				
m ³ /kgCOD fed	0.313	0.368	0.430	0.317
m ³ /kgCOD removed	0.344	0.397	0.471	0.349
m ³ /m ³ reactor.d	0.260	0.826	1.605	1.743
Methane Yield:				
m ³ /kgCOD fed	0.272	0.293	0.328	0.238
m ³ /kgCOD removed	0.298	0.316	0.358	0.262
m ³ /m ³ reactor.d	0.225	0.658	1.223	1.313
COD Removal %	91.22	91.69	91.52	90.64

หมายเหตุ

- ค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพต่างๆ มาจากกลุ่มข้อมูลในภาวะคงที่ ใน 5 วันสุดท้ายของแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์

3.3.1 การติดตามการทำงานของระบบ ตลอดช่วงการทดลอง (วันที่ 1-118)

จากการทดลองเดินระบบตลอดช่วงการทดลองในส่วนที่ 2 (วันที่ 1-118) พบว่าที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.80 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ได้ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบให้อยู่ในช่วง 6.0-7.0 เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นการทดลองนี้ ระบบกำลังฟื้นตัวจากภาวะล้มเหลวจากการทดลองในส่วนที่ 1 และค่ากรดไขมันระเหย ที่ออกจากระบบยังมีค่าสูง อยู่ในช่วง 200-400 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก แต่ค่าพีเอชที่ออกจากระบบมีค่าสูงอยู่ในช่วง 7.7-8.4 เนื่องจากระบบมีค่าสภาพความเป็นด่างสูง

และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์เป็น 1.98 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ยังคงทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้อยู่ในช่วง 4.0-5.0 (เนื่องจากค่าพีเอชของน้ำเสียในการทดลอง มีค่าต่ำ ประมาณ 3.3-3.6 จึงเกรงว่าที่พีเอชต่ำนี้จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบ แต่ได้ปรับค่าพีเอชให้มีค่าอยู่ในช่วง 4.0-5.0 ก็เพียงพอ เนื่องจากในช่วงนี้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี) ส่วนค่าพีเอชที่ออกจากระบบมีค่าสูงอยู่ในช่วง 8.2-8.4 และค่าปริมาณกรดไขมันระเหย มีค่าต่ำอยู่ในช่วง 50-130 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก แสดงว่าในช่วงนี้ระบบมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพที่ดี

และเมื่อ เพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ เป็น 3.25 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน (วันที่ 55-59) ซึ่งได้ทำการทดลองเพียง 4 วันเนื่องจาก ระบบเริ่มเสถียรสมดุล โดยค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าต่ำคือมีค่า 4.2 และ 4.1 ในวันที่ 55 และ 56 ตามลำดับ และมีค่า 3.6 และ 3.3 (ไม่ได้ปรับค่าพีเอชของน้ำเสีย) ในวันที่ 57 และ 58 ตามลำดับ พบว่าระบบเริ่มเสถียรสมดุลโดยดูได้จากอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ลดลง (ลดลงจาก 6.48 ลิตร/ วัน เป็น 2.96 ลิตร/ วันในวันที่ 57 และ 58 ของการทดลองตามลำดับ) และค่ากรดไขมันระเหยมีค่าสูงขึ้น และค่าพีเอชของน้ำเสียมีค่าลดลง (มีค่า 7.2 ในวันที่ 58) ซึ่งได้สันนิษฐานสาเหตุของการเสถียรสมดุลได้ว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าต่ำเกินไป (พีเอช 3.3-3.6) เพราะที่พีเอชต่ำนี้จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน

จากนั้นได้ฟื้นฟูระบบ โดยการลดอัตราการป้อนสารอินทรีย์ เป็น 0.85 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน(วันที่ 59-74)ซึ่งในช่วงนี้ได้ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบให้มีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ซึ่งระบบใช้เวลาเพียง 15 วันก็สามารถฟื้นตัวได้เนื่องจากได้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทัน โดยค่าพีเอชที่ออกจากระบบมีค่าสูงในช่วง 8.0-8.6 และค่าปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบมีค่าต่ำ แสดงถึงระบบมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ ที่ดี

จากนั้นจึงเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ เป็น 2.23 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน(วันที่ 75-88) ได้ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าในช่วง 5.0-6.0 และค่าพีเอชที่ออกจากระบบมีค่าในช่วง 8.0-8.6 ในช่วงนี้ระบบมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ ที่ดี โดยค่าปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบมีค่าต่ำประมาณ 99 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสซิดิก

และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ เป็น 3.77 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน(วันที่ 89-104) ได้ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าในช่วง 4.5-5.5 และค่าพีเอชที่ออกจากระบบมีค่าในช่วง 8.0-8.5 และค่ากรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบมีค่าสูงขึ้นคือมีค่าประมาณ 294 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสซิดิก แต่เมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยมีค่ามากกว่า 80 % และค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพยังมีค่าคงที่ แสดงว่าระบบยังสามารถทำงานได้ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์นี้

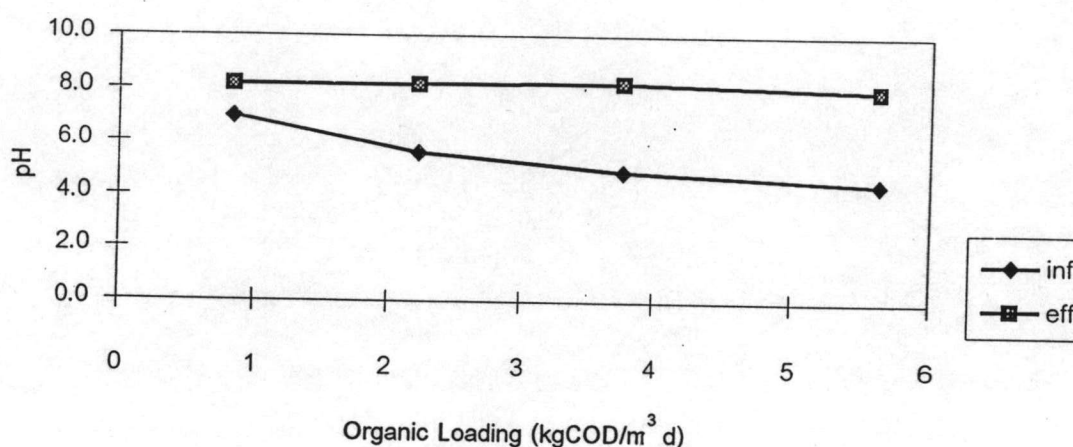
และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.66 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน(วันที่ 105-118) ซึ่งเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุด ได้ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบให้มีค่าอยู่ในช่วง 4.0-4.6 พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมีค่าสูงถึง 1,045 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสซิดิก ในวันที่ 118 (สิ้นสุดการทดลอง)และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าลดลง แสดงถึงแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มในระบบเกิดการเสียสมดุล และค่าพีเอชที่ออกจากระบบมีค่าลดต่ำลง ถึงแม้ในช่วงนี้ระบบมีค่าสภาพความเป็นด่างสูงอยู่ในช่วง 2,500-3,500 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับแคลเซียมคาร์บอเนต ก็ตาม แต่ก็ไม่สามารถรักษาระดับพีเอชให้คงที่ได้ ซึ่งสาเหตุของการเสียสมดุลไม่น่าเกิดจากการที่ระบบรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ สูงถึง 5.66 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน เนื่องจากระบบเคยรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ได้สูงสุดถึง 12.98 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ในการทดลองส่วนที่ 1(น้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการแยกสกัดจิบเบอเรลลินออกจากรากผัก)มาแล้ว ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่า เอทิลแอลกอฮอล์ที่ปนอยู่ในน้ำเสีย อาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ

3.3.2 ผลค่าเฉลี่ยของดรรชนีต่างๆที่อยู่ในภาวะคงตัว ที่ใช้ในการติดตามการทำงานของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ (วันที่ 59-118)

3.3.2.1 ค่าพีเอชในระบบ

จากการทดลองพบว่า ในช่วงที่ทำการฟื้นฟูระบบจะทำการปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ ด้วยน้ำปูนขาวให้อยู่ในช่วงพีเอช 6.0 - 7.0 และในช่วงที่ระบบฟื้นตัวได้และมีประสิทธิภาพในการทำงาน และเสถียรภาพที่ดี จะปรับพีเอช ให้มีค่าอยู่ในช่วง 4.0 - 5.0 (น้ำเสียที่ใช้มีพีเอช

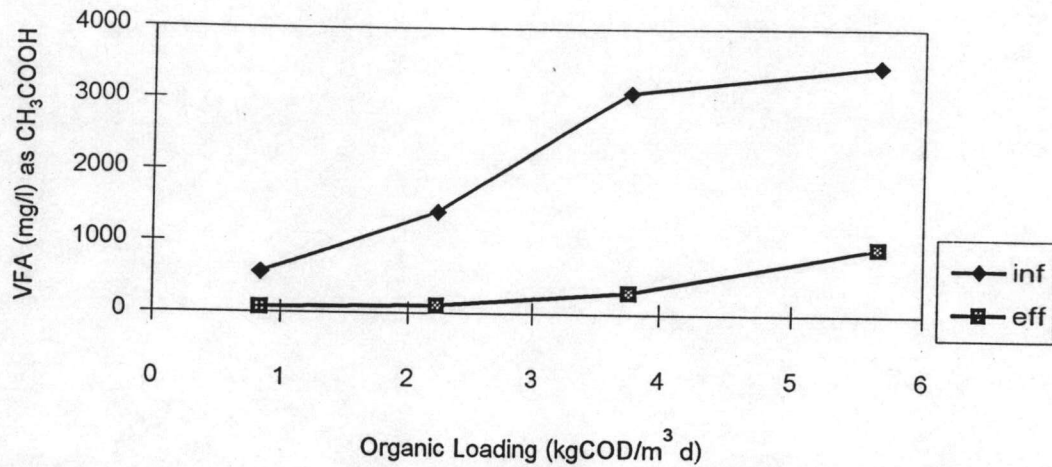
3.3 - 3.6) และค่า พีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกอัตราการป้อนสารอินทรีย์ คือมีค่าสูงอยู่ใน ช่วง 7.8 - 8.5 (รูปที่ 3.15) แม้ว่าในช่วงที่ระบบเริ่มเสถียร (ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.66 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน) ค่าพีเอชที่ออกจากระบบยังคงมีค่าสูง และมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ในวันท้าย ๆ ของการทดลอง เนื่องจากระบบมีกำลังบำบัดสูง ทำให้ค่าพีเอชไม่เปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าพีเอชเป็นดัชนีที่บ่งชี้การทำงานของระบบได้ซ้ำในกรณีที่ระบบมีกำลังบำบัดสูง



รูปที่ 3.15 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

3.3.2.2 ปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบ

จากการทดลองพบว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เข้าสู่ระบบมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น(รูปที่ 3.16) และค่าปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบ มีค่าต่ำที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.85 และ 2.23 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน คือมีค่าประมาณ 63 และ 99 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก ตามลำดับ และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.77 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบเริ่มมีค่าสูงขึ้นคือมีค่าประมาณ 294 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก แต่เมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยพบว่ามีค่ามากกว่า 80 % และเมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงว่าระบบยังสามารถทำงานได้ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์นี้ และเมื่อเพิ่มอัตราการ

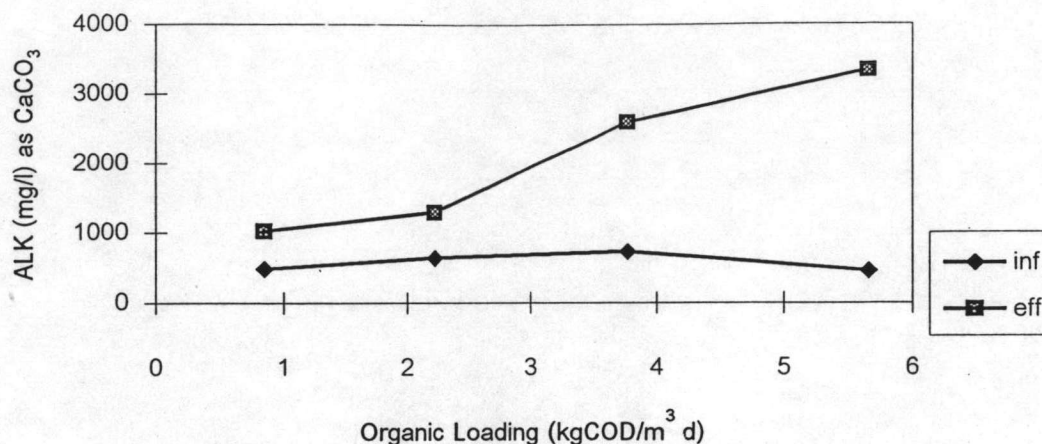


รูปที่ 3.16 ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการผลิตอินทรีย์ต่าง ๆ

ป้อนสารอินทรีย์ เป็น 5.66 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ คือมีค่าประมาณ 924 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสซิดิก และเมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่ามีค่าลดลงอย่างรวดเร็วและพบการหลุดออกของแบคทีเรียในระบบปริมาณมาก (ค่า SS ของน้ำเสียที่ออกจากระบบในวันที่ 12 ของการทดลอง มีค่าประมาณ 8,415 มิลลิกรัม/ลิตร) และน้ำที่ออกจากระบบมีกลิ่นเหม็น เปรี้ยวรุนแรง และแบคทีเรียในถังมีสีขาวมากขึ้น(เป็นแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด) แสดงว่าในช่วงนี้ระบบเริ่มเสถียร การเจริญและการทำงานของแบคทีเรีย ทั้งสองกลุ่มในระบบ ซึ่งสามารถอธิบายเหตุผลได้ในทำนองเดียวกัน กับค่ากรดไขมันระเหย ในการทดลองส่วนที่ 1 (หัวข้อ 3.2.4)

3.3.2.3 ค่าสภาพความเป็นต่าง รวม

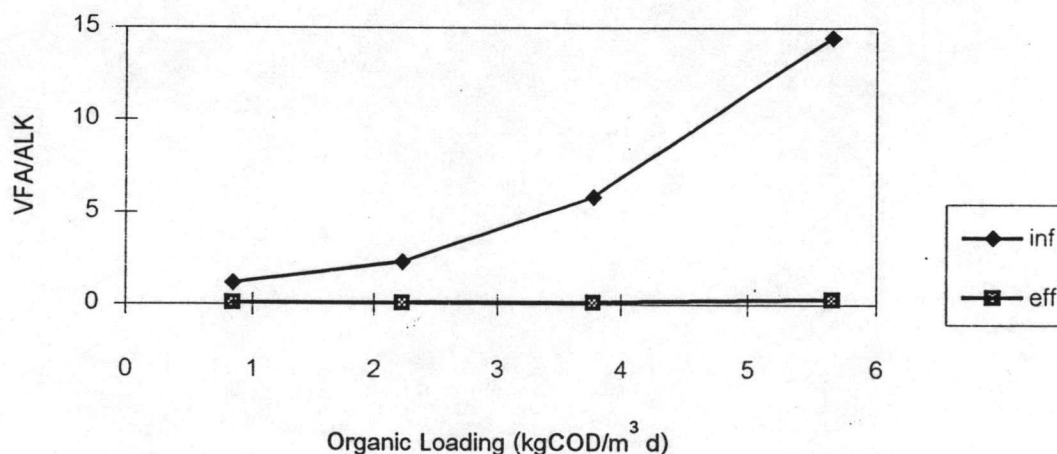
จากผลการทดลองพบว่าค่าสภาพความเป็นต่างรวม ของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าไม่แตกต่างกันมากในแต่ละอัตราการผลิตอินทรีย์ คือมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 400 - 700 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่าแคลเซียมคาร์บอเนต และค่าสภาพความเป็นต่างของน้ำเสียที่ออกจากระบบ มีค่าสูงกว่าในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการผลิตอินทรีย์ ที่เพิ่มขึ้น(รูปที่ 3.17) ซึ่งน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าสภาพความเป็นต่างรวม อยู่ในช่วง 1,000-3,500 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่าแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งค่าสภาพความเป็นต่างรวมที่มีค่าเพิ่มขึ้นนี้สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับเรื่องค่าสภาพความเป็นต่างรวมในหัวข้อ 3.2.5



รูปที่ 3.17 ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

3.3.2.4 อัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่าง

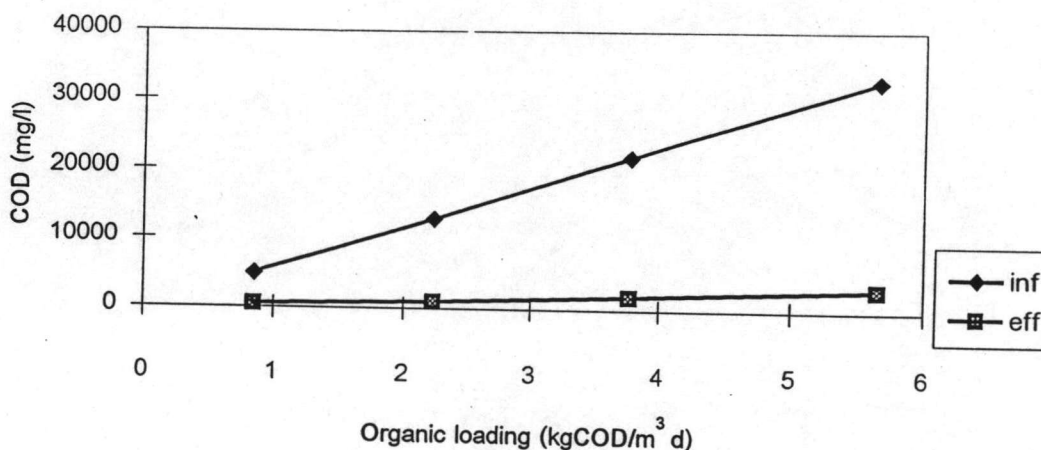
จากการทดลอง พบว่าค่าอัตราส่วนนี้ของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าต่ำ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 3.18) เนื่องจากกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้น โดยระบบมีค่าอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่าง 0.06, 0.08, 0.11 และ 0.28 ที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.85, 2.23, 3.77 และ 5.66 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ตามลำดับ ซึ่งค่าอัตราส่วนนี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงเสถียรภาพของระบบ



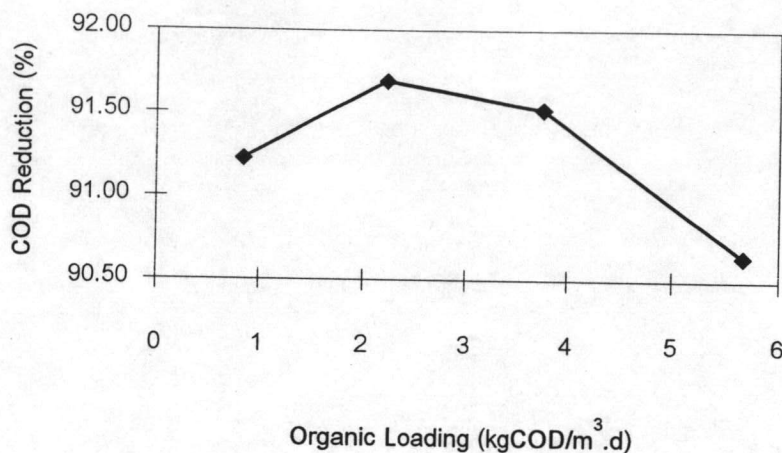
รูปที่ 3.18 อัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบในแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

3.3.2.5 ประสิทธิภาพในการกำจัด ซีไออดี

จากการทดลอง พบว่า ระบบมี ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไออดี ที่สูงอยู่ในช่วง 90 - 92 % โดยที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.85, 2.33 และ 3.77 กิโลกรัมซีไออดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไออดีที่สูง คือมีค่าประมาณ 91.22, 91.69 และ 91.52 % ตามลำดับ แสดงถึงระบบมีเสถียรภาพที่ดี คือในระบบมีแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มที่สมดุลกัน และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ เป็น 5.66 กิโลกรัมซีไออดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งระบบเริ่มเสียสมดุล พบว่า ค่าซีไออดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ หรือประสิทธิภาพในการกำจัดซีไออดี เริ่มลดลง แสดงว่าระบบเกิดการเสียสมดุล ซึ่งสาเหตุของการเสียสมดุล ไม่น่าเกิดจากการที่ระบบ รับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ สูงถึง 5.66 กิโลกรัมซีไออดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน เนื่องจากระบบสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ได้สูงสุด 12.98 กิโลกรัมซีไออดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน มาแล้ว ในการทดลองส่วนที่ 1 ดังนั้น จึงสันนิษฐานว่า เอทิลแอลกอฮอล์ ที่ปนอยู่ในน้ำเสียในปริมาณมาก อาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ รูปที่ 3.19 แสดงค่าซีไออดีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบ ในแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ต่างๆ และรูปที่ 3.20 แสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีไออดี ในแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์ ต่างๆ



รูปที่ 3.19 ค่า COD ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 3.20 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูป COD ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

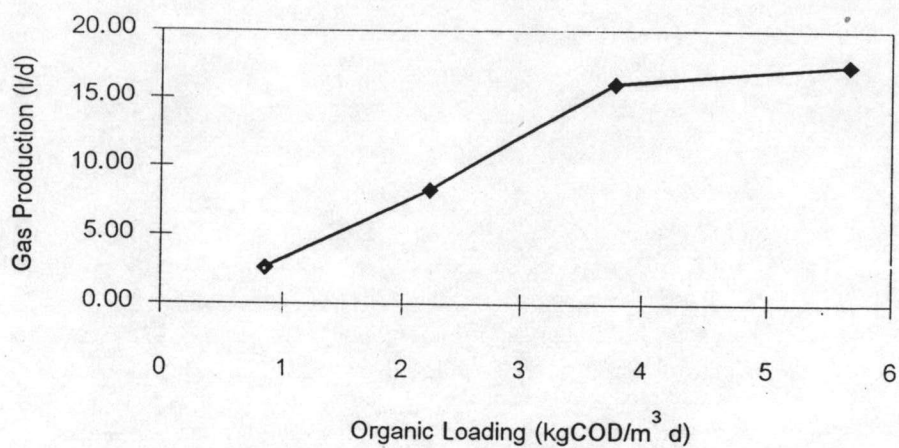
3.3.2.6 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นดัชนีที่สำคัญที่ใช้ในการติดตาม ประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.21 จึงกล่าวได้ว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น

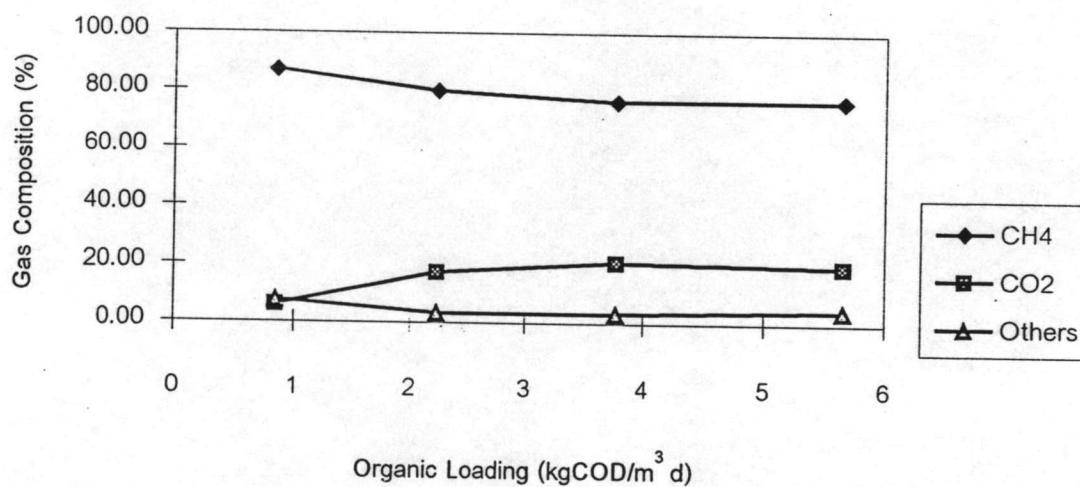
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่ผลิตได้ในระบบมีค่า 2.59, 8.23, 16.00 และ 17.38 ลิตร / วัน ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.85, 2.23, 3.77 และ 5.66 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ตามลำดับ ซึ่งที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.66 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบเริ่มเสถียรลดลงซึ่งในวันท้ายๆของการทดลองที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ นี้ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ มีค่าลดลงอย่างมาก เนื่องจากในช่วงนี้ระบบเสถียรสมดุลของแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มในระบบ ทำให้มีการสะสมของกรดไขมันระเหยสูง จึงเป็นการยับยั้งการเจริญและการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน จึงทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงอย่างมาก ระบบจึงล้มเหลวในที่สุด

3.3.2.7 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีก๊าซอื่นๆเพียงเล็กน้อย ซึ่งสัดส่วนของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสีย รูปที่ 3.22 แสดง องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ พบว่า สัดส่วนของก๊าซมีเทนมีค่าประมาณ 70-85 % ซึ่งค่อนข้างคงที่ ในแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์



รูปที่ 3.21 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 3.22 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

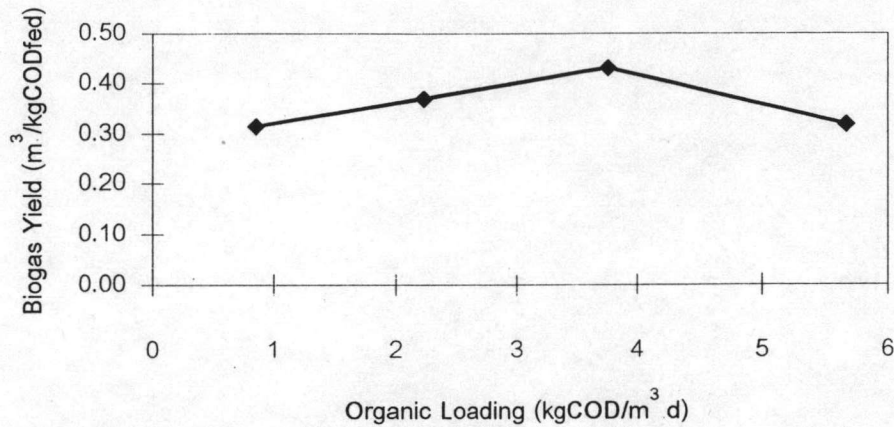
และสัดส่วนของก๊าซมีเทน มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น คือมีค่า 86.86, 79.83, 76.23 และ 76.47 % ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.85, 2.23, 3.77 และ 5.66 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่ำๆ สารอาหารที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณน้อย และระบบมีระยะเวลาในการกักเก็บยาวเพียงพอ ทำให้สัดส่วนของมีเทนในระบบมีค่าสูง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบจะถูกนำไปใช้ในการสร้างก๊าซมีเทนด้วย ทำให้สัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ ในระบบค่อนข้างต่ำ และเมื่อระบบอยู่ในภาวะเสถียร พบว่าสัดส่วนของมีเทนก็ยังมีค่าอยู่ในช่วง 70-75 %

3.3.2.8 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas yeild) ในที่นี้จะแยกพิจารณาเป็น 3 แบบ คือ

ก) พิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

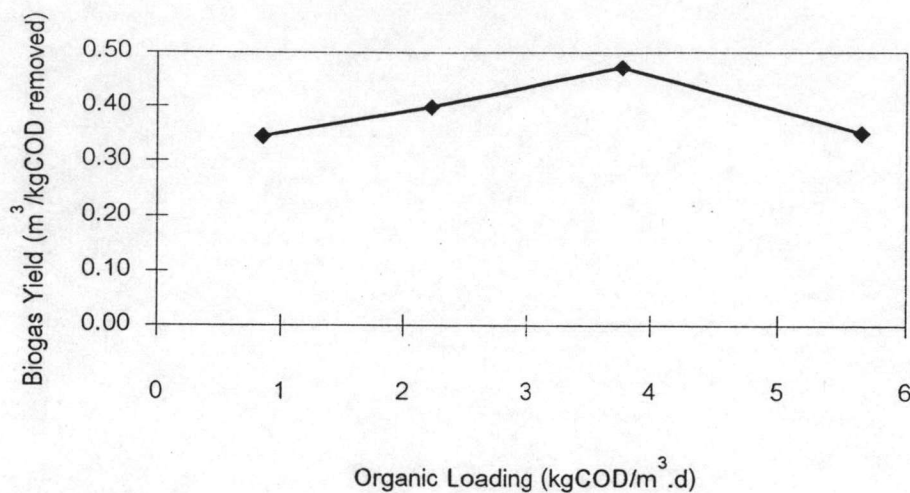
เป็นสิ่งที่บอกให้ทราบว่าหนึ่งหน่วยของสารอินทรีย์ที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซชีวภาพมากน้อยเท่าใด รูปที่ 3.23 แสดงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ พบว่าเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.430 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.77 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ทั้งนี้เนื่องมาจากมีสารอาหารเข้าสู่ระบบมากขึ้นและแบคทีเรียในระบบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.66 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุด พบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าลดลง คือมีค่าเท่ากับ 0.317 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ เนื่องจากในช่วงนี้ระบบได้เสถียร ระบบมีภาวะแวดล้อมที่รุนแรงคือมีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบในปริมาณสูง ทำให้แบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดซึ่งมีอัตราการเจริญเร็วสร้างกรดอินทรีย์ออกมามากเกินไปที่แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนซึ่งมีอัตราการเจริญช้ากว่าจะใช้กรดอินทรีย์ได้ทัน จึงเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยในปริมาณสูง และถ้ากำลังบำบัดไม่เพียงพอจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลง ซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนมากขึ้น ค่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจึงลดลงด้วย



รูปที่ 3.23 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

ข) พิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด

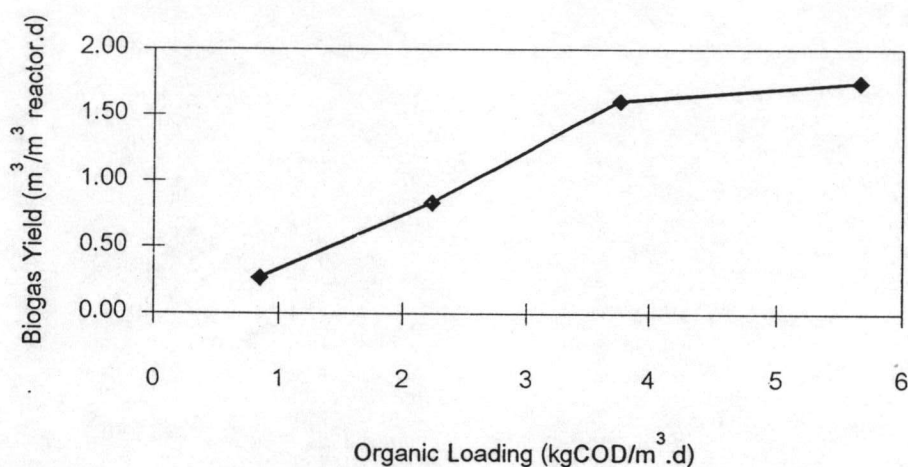
เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกใช้ไปหนึ่งหน่วยจะให้ ผลิตรถยนต์ที่เป็น ก๊าซชีวภาพเท่าใด รูปที่ 3.24 แสดงประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบกับ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ พบว่าเมื่ออัตราการป้อนสาร อินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.471 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.77 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน เนื่องจากมีปริมาณสารอาหารเข้าสู่ระบบมากทำให้ระบบมีอัตราการผลิตก๊าซ เพิ่มมากขึ้น และระบบมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการทำงานดีมาก และ ที่อัตราการป้อน สารอินทรีย์ 5.66 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบเริ่มเสถียร พบว่า ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่า ลดลง คือ มีค่า 0.349 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีไอดีที่ ถูกกำจัด



รูปที่ 3.24 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

ค) พิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาตรของถังหมัก

ในกรณีนี้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบ ซึ่งมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ รูปที่ 3.25 แสดงประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบกับปริมาตรถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยพบว่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.743 ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตรของถังหมัก-วัน ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.66 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุดเนื่องจากมีสารอาหารเข้าสู่ระบบมาก



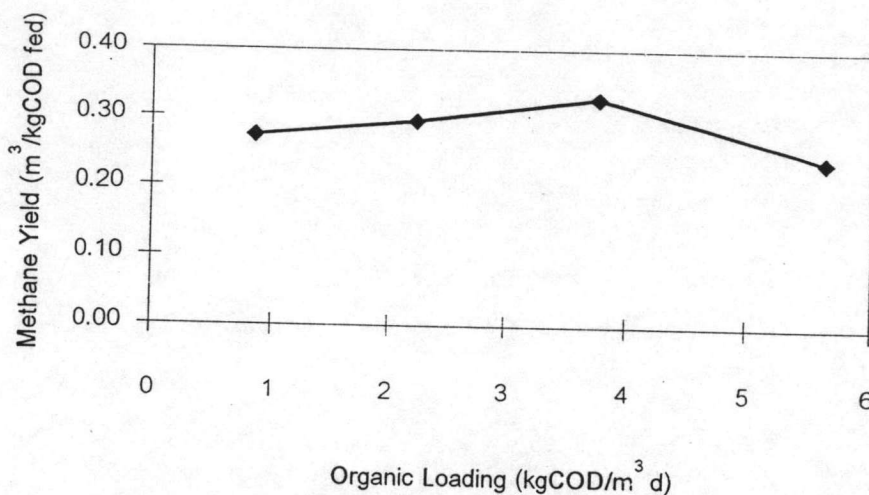
รูปที่ 3.25 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาณผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณตั้งหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

3.3.2.9 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน

ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (Methane Yield) ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนในระบบเป็นสำคัญ ในที่นี้จะแยกพิจารณาเป็น 3 กรณีเช่นกันคือ

ก) พิจารณาเทียบปริมาณผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

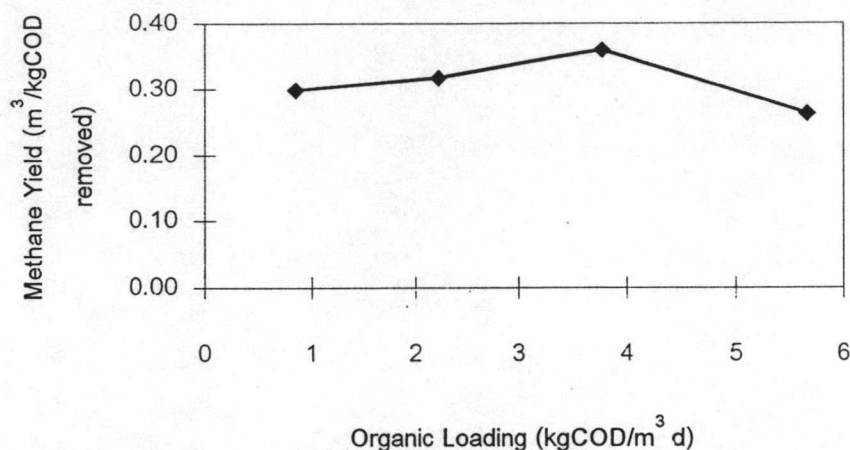
แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ รูปที่ 3.26 แสดงประสิทธิภาพโดยพิจารณาเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้นด้วย และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.328 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมชีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.77 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน และเมื่ออัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 5.66 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน พบว่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าลดลงเหลือเพียง 0.238 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมชีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ เนื่องจากเกิดการเสียดุลของระบบ



รูปที่ 3.26 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

ข) พิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด

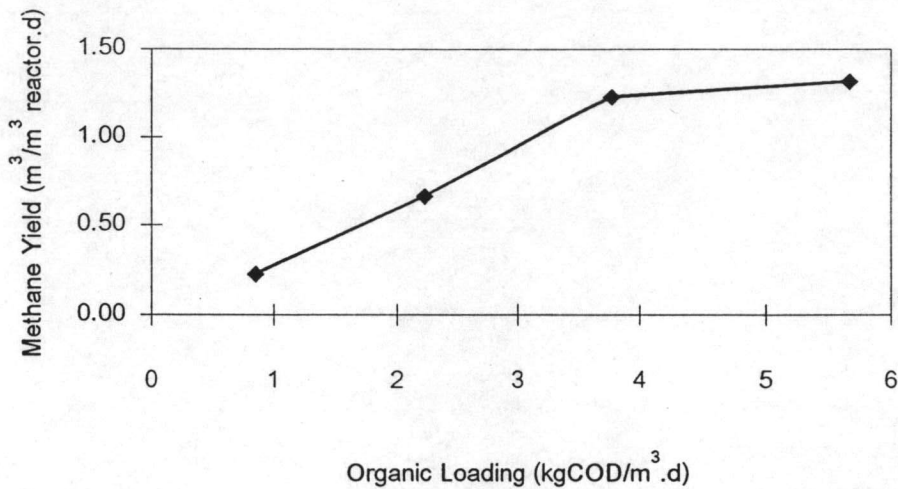
จากผลการทดลองพบว่า ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.77 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์ เมตร-วัน ระบบมีค่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดมากที่สุดคือมีค่าประมาณ 0.358 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด(รูปที่3.27) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี (ค่าทางทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 0.35-0.38 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด) และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.66 กิโลกรัมชีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าลดลงเหลือเพียง 0.262 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด เนื่องจากการเกิดการเสียดุลของระบบ



รูปที่ 3.27 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

ค) พิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาตรของถังหมัก

ในกรณีนี้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจะขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ รูปที่ 3.28 แสดงค่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบกับปริมาตรของถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ โดยในการทดลองสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพ ในแต่ละอัตราการป้อนสารอินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเมื่อเทียบกับปริมาตรของถังหมัก จึงขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นส่วนใหญ่ โดยที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.66 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีค่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเมื่อเทียบกับปริมาตรของถังหมักสูงสุดคือมีค่าประมาณ 1.313 ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตรของถังหมัก-วัน เนื่องจากมีสารอาหารเข้าสู่ระบบมากขึ้น



รูปที่ 3.28 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับ ปริมาตรของถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ

3.4 เสถียรภาพของระบบ

เสถียรภาพของระบบหมักขึ้นอยู่กับการรักษาสมดุลในการทำงานระหว่างแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มในระบบ คือแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดและแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน สิ่งที่แสดงว่าเสถียรภาพของระบบลดลงคือ ปริมาณแบคทีเรียในระบบลดลง (Carr and O'Donnell, 1977), ปริมาณกรดไขมันระเหยที่สะสมอยู่ในระบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และการลดลงของก๊าซผลิตภัณฑ์ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เสถียรภาพของระบบลดลง ได้แก่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่สูงเกินไป (overloading) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างกะทันหัน และการที่แบคทีเรียในระบบไม่คุ้นเคยกับสภาพของน้ำเสีย จากการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทำให้อัตราเร็วในการที่ระบบจะเข้าสู่ภาวะคงตัวลดลงด้วย

ในการทดลองส่วนที่ 1 (น้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการแยกสกัดไขมันออกจากน้ำหมัก) พบว่าที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นการทำงานของระบบพบว่าเสถียรภาพของระบบยังต่ำอยู่ เนื่องจากแบคทีเรียในระบบยังอ่อนแอ และกำลังปรับตัวให้เข้ากับภาวะการทำงานของระบบ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบต่ำ และให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่ำ และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นเป็น 1.11-9.55 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน เสถียรภาพของระบบเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากอัตราการผลิต

ก๊าซชีวภาพที่สูงขึ้นอย่างมาก ซึ่งจะแปรผันตรงกับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ แสดงว่าในระบบมีแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มในสัดส่วนที่สมดุลกัน และในระบบมีกำลังบำบัดสูงมาก ซึ่งจะมีค่าสูงขึ้นตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ระบบสามารถรักษาสมดุลความเป็นกรด-ต่างไว้ได้ และเมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นต่างในน้ำเสียที่ออกจากระบบ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.04-0.28 ซึ่งมีค่าต่ำมาก และค่าสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพจะค่อนข้างคงที่ในช่วง 80-85% และไม่พบการหลุดออกของแบคทีเรียในระบบ

ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงสุดเสถียรภาพของระบบหมักลดลงอย่างมาก โดยพิจารณากรดไขมันระเหยที่สะสมอยู่ในระบบสูงมาก (ประมาณ 7,566 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก) ถึงแม้ระบบพยายามเพิ่มกำลังบำบัดในระบบให้สูงขึ้น แต่ก็ไม่สามารถรักษาค่าพีเอชไม่ให้เปลี่ยนแปลงได้ จึงทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลง ซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และกรดไขมันระเหยในระบบลดต่ำลง และค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดต่ำลงอย่างมาก ระบบจึงเสียสมดุลในที่สุด

และในการทดลองส่วนที่ 2 (น้ำเสียที่ผ่านการแยกสกัดไขมันออกจากน้ำหมัก) พบว่าที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.85 และ 2.23 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีเสถียรภาพที่ดีมาก โดยดูจากค่าปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบมีค่าต่ำมาก คือมีค่า 63 และ 99 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติก ตามลำดับ แสดงถึงระบบมีความสมดุลของแบคทีเรียในระบบ และที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.77 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้นคือมีค่าประมาณ 294 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่ากับกรดแอสติกซึ่งอาจจะเป็นจุดเริ่มต้นของการเสียสมดุลเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์มากขึ้น และเมื่อเพิ่ม อัตราการป้อนสารอินทรีย์ เป็น 5.66 กิโลกรัมซีไอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบได้เสียสมดุล เสถียรภาพของระบบลดลงอย่างมาก โดยค่าปริมาณกรดไขมันระเหยที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ แม้ว่าในช่วงนี้ระบบมีกำลังบำบัดสูง แต่ระบบก็ไม่สามารถรักษาค่าพีเอชให้มีค่าคงที่ได้ ทำให้ระบบมีค่าพีเอชลดลง ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ทำให้ระบบล้มเหลวได้

3.5 ภาวะที่เหมาะสมของระบบ

ภาวะที่เหมาะสมของระบบจะพิจารณาจากประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี, อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและเสถียรภาพของระบบ

จากการทดลองในส่วนที่ 1 (น้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการแยกสกัคจิบเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก) เมื่อพิจารณาภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่สูงพบว่าที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.45, 4.20, 6.11 และ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่สูงใกล้เคียงกันคือมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีประมาณ 95-97 % แต่เมื่อพิจารณาในแง่เศรษฐศาสตร์จะเห็นว่าที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน เป็นภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นการลดขนาดของระบบบำบัดลง ซึ่งที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าซีโอดี 55,120 มิลลิกรัม/ลิตร ระบบมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีประมาณ 95.71 % ให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 26.33 ลิตร/วัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.230 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด(ค่าทางทฤษฎีมีค่า 0.35-0.38 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)

จากการทดลองในส่วนที่ 2 (น้ำเสียที่ผ่านการแยกสกัคจิบเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก) เมื่อพิจารณาภาวะที่เหมาะสมในแง่ของเศรษฐศาสตร์และประสิทธิภาพในการทำงาน พบว่าที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.77 กิโลกรัมซีโอดี / ลูกบาศก์เมตร-วัน เป็นภาวะที่เหมาะสม โดยน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าซีโอดี 35,280 มิลลิกรัม/ลิตร ระบบมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 91.52% ให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 16.00 ลิตร/วัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.358 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด(ค่าทางทฤษฎีมีค่า 0.35-0.38) และระบบมีเสถียรภาพที่ดีคือระบบมีค่าสภาพความเป็นด่างสูง ประมาณ 2,584 มิลลิกรัม/ลิตร เทียบเท่าแคลเซียมคาร์บอเนต