รายการอ้างอิง

1. Lim, K.H., Quah, S.K., Gillies, D. and Wood, B.J. 1984. Palm oil mill effluent treatment and utilization in Sime darby Plantations – The current Position. Workshop on Current Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment Technology Towards D.O.E. Standards. Kuala Lumpur : Sime Darby Plantations.
2. FAO Region office for Asia and the Pacific . 1995. Biogasification. Rural Energy in the ASIA-Pacific region . 10th Anniversary issue. RAP Bulletin. 155-164.
3. McCarty, P.L. 1964. Anaerobic waste treatment fundamentals-Part three Toxic materials and their control. Public works. 95: 91-94.
4. Andrews, J.F. 1971. Kinetic Models of Waste Treatment. Biotechnology and Bioengineering Symp. 2:25-26.
5. Buswell, A.M. and Mueller ,H.F. 1952. Mechanisms of Methane Fermentation. Industrail and Engineering Chemistry. 44:550-552.
6. Andrews, J.F. 1968. A Mathematical Model for the Continuous Culture of Microorganisms Utilizing Inhibitory Substrates. Biotechnology and Bioengineering. 10:707-723.
7. สุทธิลักษณ์ สุจริตตานนท์. 2538. การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะ . รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. Quah , S.K. and Gillies. 1983. Practical Experience in Production and use of Biogas. Proc. of Nat. Workshop on Oil Palm By-Product Utilazation. Kuala Lumpur ,Malaysia : Sime Darby Plantations.
9. คราวน์-เทค เอ็นจิเนียริ่ง (ประเทศไทย). 2537. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาก๊าซชีวภาพ (Biogas) จากบ่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและสูบน้ำ (เอกสารประกอบ). รายงานโครงการศึกษาและวิจัย.

10. ธีระ เกรอต. 2539. วิศวกรรมน้ำเสีย การบำบัดทางชีวภาพ. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

11. Lawrence, A.W., Asce, A.M. and McCarty, P.L. 1970. Unified Basis for Biological Treatment Design and Operation. J. Sanit. Eng. Div . 96 (SA3):757-778.

12. Andrews, J.F. and Graef, S.P. 1971. Dynamic Modeling and Simulation of the Anaerobic Digestion Process. Advanced in Chemistry Series. 105:126-162.

13. Andrews, J.F. 1989. Dynamic, Stability and Control of the Anaerobic Digestion Process. Dynamic Modeling and Expert Systems in Wastewater Engineering. 83-127.

14. Dunn, I.J., Heinzle, E., Ingham, J. and Prenosil, J. 1992. Principle Applications and Modeling with PC Simulation, Biological Reacton Engineering , Weinheim ; New York ; Basel ; Cambridge : VCH

15. Andrews, J.F. and Graef, S.P. 1974. Stability and Control of anaerobic digestion. Jour. Water Poll. Control Fed. 4:666-683.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

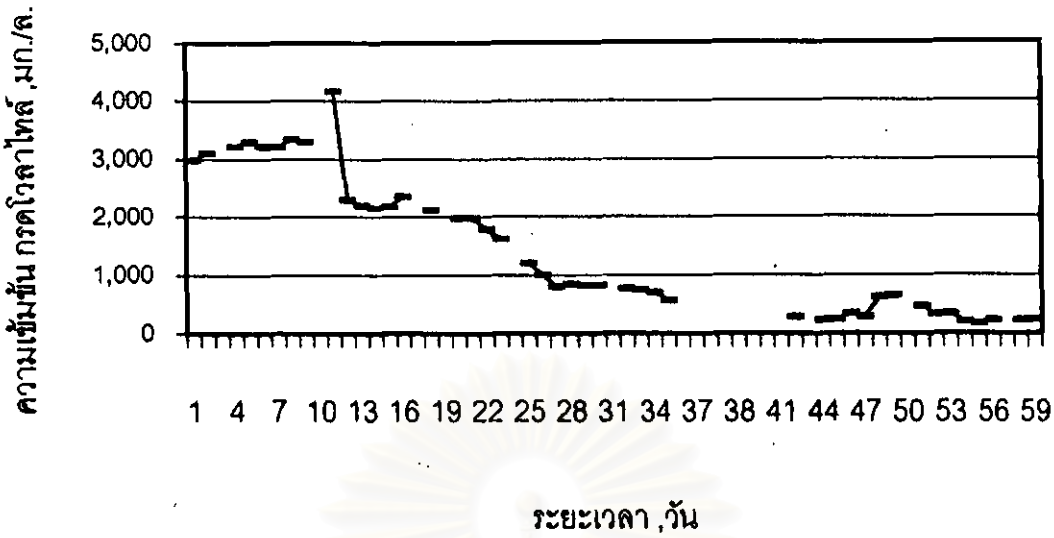
ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองในขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ หรือเริ่มดำเนินการ (Startup)

วันที่	อุณหภูมิ	pH	VFA	Alkalinity	VFA/Alka	หมายเหตุ
1	30.05	8.09	3,060.00	2,050.82	1.49	
2	30.00	7.68	2,973.08	2,025.81	1.47	
3	30.00	7.36	3,101.23	2,050.82	1.51	
4						
5	32.00	6.88	3,214.89	2,150.00	1.50	
6	32.00	6.78	3,291.44	2,025.81	1.62	
7	31.00	6.82	3,214.89	2,150.86	1.49	
8	30.00	6.82	3,203.72	2,288.00	1.40	
9	31.00	6.79	3,336.95	2,258.90	1.48	
10	31.00	6.73	3,285.54	2,218.00	1.48	เริ่มปล่อยน้ำทิ้งตอนประมาณ 14.00 น.
11						
12	30.00	7.15	4,158.95	2,325.93	1.79	ลดน้ำ 50%vol add หัวเชื้อจากบ่อ 2 25%vol
13	29.00	7.28	2,296.35	1,875.75	1.22	ตอนเก็บตัวอย่างกำลังเติมหัวเชื้อ และเติม
14	29.00	7.21	2,194.29	1,800.00	1.22	น้ำธรรมดา 25% เรียบร้อยประมาณ 13.00 น.
15	27.00	7.23	2,143.26	1,775.71	1.21	
16	29.00	7.17	2,167.50	1,800.72	1.20	
17	28.00	7.16	2,347.38	1,750.70	1.34	
18						
19	30.00	7.07	2,117.75	1,850.74	1.14	
20						
21	32.00	7.18	1,964.66	1,825.73	1.08	
22	30.00	7.10	1,964.55	1,825.73	1.08	
23	30.00	7.24	1,786.05	1,825.73	0.98	

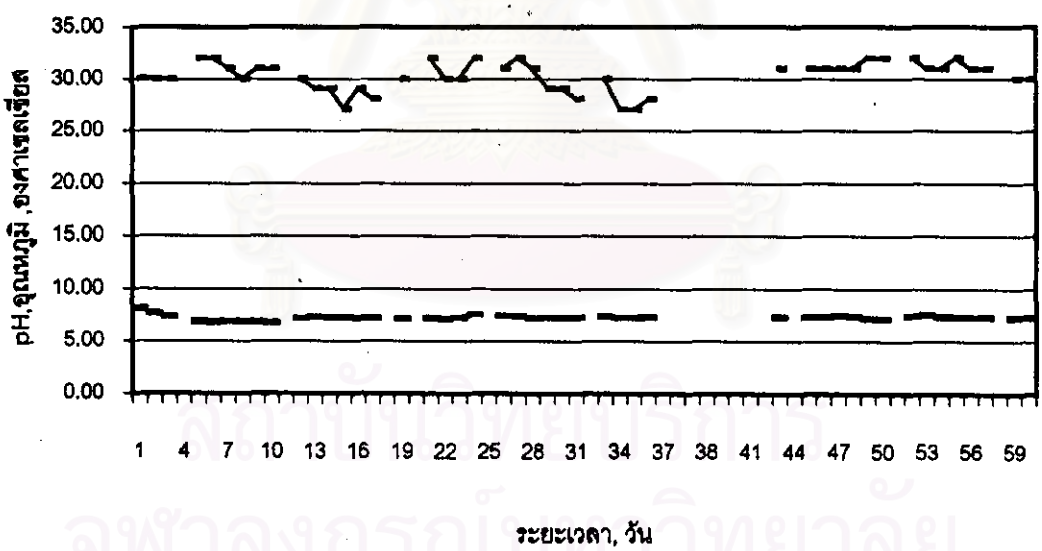
วันที่	อุณหภูมิ	pH	VFA	Alkalinity	VFA/Alka	หมายเหตุ
24	32.00	7.51	1,607.45	2,025.00	0.79	
25						
26	31.00	7.40	1,199.47	2,100.00	0.57	
27	32.00	7.38	995.90	2,125.00	0.47	
28	31.00	7.19	790.50	1,750.00	0.45	
29	29.00	7.21	842.00	2,100.00	0.40	
30	29.00	7.25	816.48	2,150.00	0.38	
31	28.00	7.20	816.48	2,175.00	0.38	
32						
33	30.00	7.36	765.45	2,200.00	0.35	
34	27.00	7.20	739.94	2,225.00	0.33	
35	27.00	7.23	688.50	2,150.00	0.32	
36	28.00	7.27	561.00	2,250.00	0.25	
37						น้ำท่วม ระบบหยุดดำเนินการทั้งหมด
36						น้ำท่วม ระบบหยุดดำเนินการทั้งหมด
37						น้ำท่วม ระบบหยุดดำเนินการทั้งหมด
38						น้ำท่วม ระบบหยุดดำเนินการทั้งหมด
39						น้ำท่วม ระบบหยุดดำเนินการทั้งหมด
40						น้ำท่วม ระบบหยุดดำเนินการทั้งหมด
41						น้ำท่วม ระบบหยุดดำเนินการทั้งหมด
42						น้ำท่วม ระบบหยุดดำเนินการทั้งหมด
43	31.00	7.27	280.67	2,300.00	0.12	
44						
45	31.00	7.26	225.15	2,275.00	0.10	
46	31.00	7.31	229.64	2,275.00	0.10	
47	31.00	7.44	331.70	2,275.00	0.15	Feed น้ำเสียเข้าถังประมาณ 2 ลบ.ม.
48	31.00	7.35	280.67	2,275.00	0.12	เวลาประมาณ 16.00 น.
49	32.00	7.16	612.36	2,200.00	0.28	Feed น้ำเสียเข้าถังประมาณ 2 ลบ.ม.

วันที่	อุณหภูมิ	pH	VFA	Alkalinity	VFA/Alka	หมายเหตุ
50	32.00	7.13	637.88	2,200.00	0.29	Feed น้ำเสียเข้าถังประมาณ 2 ลบ.ม.
51						
52	32.00	7.40	459.27	2,225.00	0.21	Feed น้ำเสียเข้าประมาณ 1 Hr
53	31.00	7.54	325.46	2,250.00	0.14	เริ่ม Feed น้ำเสียต่อเนื่องประมาณ 10.00 น.
54	31.00	7.34	331.70	2,250.00	0.15	
55	32.00	7.28	200.28	2,275.00	0.09	โรงงานมีปัญหา หยุด Feed
56	31.00	7.28	162.73	2,250.00	0.07	โรงงานมีปัญหา หยุด Feed
57	31.00	7.27	225.32	2,250.00	0.10	Feed น้ำจนน้ำล้น ประมาณ 16.00 น.
58						
59	30.00	7.21	225.32	2,300.00	0.10	หัวดูดหลุดช่วงเช้า หยุด FEED
60	30.00	7.28	237.83	2,175.00	0.11	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.1 แผนภูมิแสดงค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ที่วัดได้จากการทดลอง



รูปที่ ก.2 แผนภูมิแสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลอง

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลอง ณ เวลาการกักเก็บน้ำเสีย 20 วัน เทียบเท่าอัตราการไหล 4.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

วันที่	อุณหภูมิ	pH	VFA	Alkalinity	VFA/Alka	COD	Qgas,m3	หมายเหตุ
1	36	7.04	563.29	1,525.00	0.37	5,236.25		เปิดปั๊ม Feed ต่อเนื่อง 190 l/hr
2	35	6.98	598.06	1,555.56	0.38	7,128.00		
3								
4	33	7.14	250.35	1,638.59	0.15	3,960.00		
5	33	7.07	236.44	1,583.33	0.15	2,842.62		
6								
7	33	7.08	319.89	1,475.22	0.22	3,152.45		
8	32	7.19	222.53	1,527.78	0.15	3,582.78		
9	32	7.12	222.53	1,541.00	0.14	2,845.67		
10	32	6.96	236.44	1,541.67	0.15	2,859.74		
11	32	6.91	219.06	1,546.89	0.14	2,918.02		
12	33	6.60	208.63	1,527.78	0.14	2598..52		
13								
14	31	7.01	194.72	1,500.00	0.13	2,547.52		
15	30	7.12	208.63	1,555.56	0.13	3,104.14		
16	30	7.12	360.00	1,530.00	0.24	2,698.45		
17	29	7.23	297.29	1,377.20	0.22	2,545.50		
18	31	7.00	500.70	1,446.70	0.35	2,698.78		
19	29	6.80	375.53	1,474.58	0.25	3,456.20		
20								
21	29	6.83	225.32	1,352.16	0.17	4,598.75		
22	29	6.84	292.08	1,352.16	0.22	3,103.20		
23	29	7.01	278.17	1,352.16	0.21	2,987.14		
24	30	6.85	625.88	1,352.16	0.46	4,556.70		
25	32	6.37	1,038.95	1,151.84	0.90	4,589.76		
26	30	6.77	987.49	1,222.48	0.81	2,531.56		

วันที่	อุณหภูมิ	pH	VFA	Alkalinity	VFA/Alka	COD	Qgas,m3	หมายเหตุ
27								
28	31	7.25	367.90	1,464.84	0.25	2,478.98	101.55	ติดตั้งแก๊สมิเตอร์แล้วเสร็จ
29	31	7.21	187.76	1,422.27	0.13	3,615.52	99.00	
30	32	7.28	262.80	1,402.24	0.19	3,289.25	89.78	
31	30	7.23	225.32	1,477.31	0.15	2,586.46	95.55	
32	32	7.13	350.49	1,457.33	0.24	2,505.85	95.23	
เฉลี่ย	31.33	7.01	365.05	1,457.55	0.26	3,274.79	96.22	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลอง ณ เวลาการกักเก็บน้ำเสีย 15 วัน เทียบเท่าอัตราการไหล 6.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

วันที่	อุณหภูมิ	pH	VFA	Alkalinity	VFA/Alka	COD	Qgas,m3	หมายเหตุ
1	31.00	7.24	264.26	1,516.31	0.17	2,563.55	101.03	Feed น้ำเข้า 270 ลิตร/ชั่วโมง
2	31.00	7.14	312.94	1,497.39	0.21	3,101.25	125.74	
3	30.00	7.27	275.37	1,502.40	0.18	3,225.25	129.28	
4	30.00	7.12	337.97	1,427.44	0.24	3,556.44	135.98	
5	32.00	7.01	212.80	1,502.40	0.14	3,859.64	145.56	
6	31.00	7.36	350.49	1,377.20	0.25	3,614.29	119.56	
7								
8	32.00	7.25	802.00	1,542.35	0.52	6,525.22	155.74	ปั๊มผิดปกติ
9	31.00	7.32	452.00	1,453.22	0.31	5,267.95	121.55	
10	32.00	7.38	423.52	1,520.21	0.28	4,852.04	135.08	
11	33.00	7.19	386.54	1,487.35	0.26	3,525.25	134.70	
12	32.00	7.26	355.85	1,425.25	0.25	3,248.05	139.57	
13	32.00	7.30	368.27	1,436.48	0.26	3,482.17	148.00	
14								
15	32.00	7.28	325.00	1,352.22	0.24	3,601.55	145.52	
เฉลี่ย	31.46	7.24	374.39	1,464.63	0.26	3,878.67	133.64	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลอง ณ เวลาการกักเก็บน้ำเสีย 10 วัน เทียบเท่าอัตราการไหล 9.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

วันที่	อุณหภูมิ	pH	VFA	Alkalinity	VFA/Alka	COD	Qgas,m3	หมายเหตุ
1	32.00	7.09	513.48	1,514.92	0.34	4,302.72	142.56	Feed น้ำเข้า 400 ลิตรต่อชั่วโมง
2	33.00	7.13	403.31	1,558.04	0.26	3,187.20	156.22	
3	33.00	7.11	363.01	1,494.89	0.24	3,266.00	149.75	
4	31.00	7.07	225.36	1,552.47	0.15	7,142.00	155.20	เข้าไม่ล้น บ่ายล้น
5								
6	31.00	7.04	610.23	1,533.70	0.40	7,142.40	187.28	
7								
8	33.00	7.19	1,001.40	1,554.48	0.64	6,852.40	182.30	
9	32.00	7.54	337.97	1,477.30	0.23	3,824.64	192.55	
10	32.00	7.45	325.45	1,384.71	0.24	4,621.44	212.30	
11	32.00	7.30	575.81	1,605.06	0.36	3,027.84	201.07	
12	30.00	7.28	363.01	1,407.25	0.26	3,171.26	198.67	
13	29.00	7.42	350.49	1,627.60	0.22	4,526.32	198.14	
14								
15	30.00	7.17	443.80	1,727.70	0.26	4,235.62	214.34	น้ำที่เก็บไปตรวจเป็นน้ำคล้ายตะกอน
16	32.00	7.09	400.56	1,727.70	0.23	7,011.84	215.21	
17	32.00	7.18	287.90	1,727.76	0.17	8,729.60	192.25	
18	32.00	7.13	588.32	1,427.28	0.41	3,107.52	198.26	
19	32.00	7.25	438.11	1,752.80	0.25	3,082.56	203.41	
20	32.00	7.26	363.01	1,665.16	0.22	2,529.28	191.80	
21								
22	32.00	7.22	300.42	1,777.84	0.17	2,410.72	216.55	
23	32.00	7.22	400.56	1,777.84	0.23	6,007.64	220.78	
24	33.00	7.21	313.00	1,795.01	0.17	6,023.00	213.01	
25	35.00	7.09	363.01	1,702.72	0.21	7,171.20	199.98	
26	35.00	7.17	525.74	1,690.20	0.31	5,283.02	212.52	

วันที่	อุณหภูมิ	pH	VFA	Alkalinity	VFA/Alka	COD	Qgas,m3	หมายเหตุ
27	34.00	7.10	368.16	1,767.53	0.21	4,233.28	219.25	
28								
29	34.00	7.31	588.32	1,752.80	0.34	3,145.85	185.22	
30	35.00	7.31	368.01	1,702.72	0.22	3,005.91	215.20	
เฉลี่ย	32.32	7.21	432.74	1,628.22	0.27	4,681.65	194.95	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลอง ณ เวลาการกักเก็บน้ำเสีย 7 วัน เทียบเท่าอัตราการไหล 14 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

วันที่	อุณหภูมิ	pH	VFA	Alkalinity	VFA/Alka	COD	Qgas,m3	หมายเหตุ
1	34.00	7.23	350.49	2,015.72	0.17	2,999.09	212.30	ปรับ Feed influent 580 l/hr
2	34.00	7.38	350.49	2,003.20	0.17	3,161.00	213.52	ระบบ feed ไม่ปกติ
3	34.00	7.38	337.97	2,028.24	0.17	4,256.00	246.65	ระบบ feed ไม่ปกติ
4	34.00	7.29	325.46	2,018.32	0.16	3,912.96	252.22	ระบบ feed ไม่ปกติ
5	35.00	7.02	863.71	1,903.04	0.45	7,824.96	269.07	
6	34.00	7.22	316.29	2,015.76	0.16	5,374.72	270.15	
7								
8	34.00	7.32	363.08	1,827.92	0.20	4,832.32	256.23	
9	35.00	7.37	375.52	1,802.88	0.21	5,690.00	278.54	
10	34.00	7.34	350.49	2,003.20	0.17	4,156.68	289.22	
11	35.00	7.29	475.66	2,028.20	0.23	4,311.36	289.50	
12								
13	35.00	7.32	421.50	2,056.85	0.20	5,398.72	301.00	
14	35.00	7.30	385.53	2,003.20	0.19	5,110.08	312.41	
15	34.00	7.34	355.49	2,040.76	0.17	4,319.68	305.28	
16	32.00	7.25	280.39	2,078.32	0.13	4,952.00	298.67	
17	34.00	7.24	378.02	2,015.72	0.19	5,374.72	304.74	
18	34.00	7.41	360.50	2,083.32	0.17	8,852.48	311.56	
19								
20	34.00	7.31	375.52	2,082.24	0.18	4,265.16	302.41	
21	34.00	7.23	413.08	2,040.76	0.20	5,216.64	303.12	
22								
23								
เฉลี่ย	34.17	7.29	393.29	2,002.65	0.20	5,000.48	278.70	

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลอง ณ เวลาการกักเก็บน้ำเสีย 5 วัน เทียบเท่าอัตราการไหล 19.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

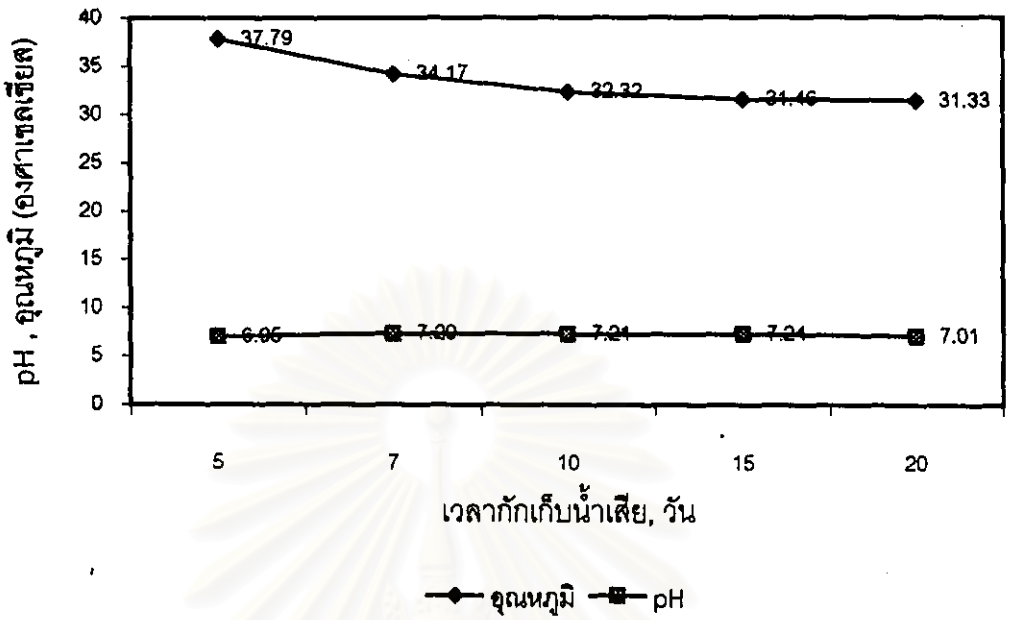
วันที่	อุณหภูมิ	pH	VFA	Alkalinity	VFA/ALK	COD	Qgas,m3	หมายเหตุ
1	32.00	7.32	700.98	1,977.65	0.35	5,058.56	312.55	ปรับ Flow เป็น 800 l/hr
2	32.00	7.20	926.29	1,827.92	0.51	5,845.44	342.18	
3								
4	40.00	7.12					349.50	
5	36.00	7.21	776.08	2,003.20	0.39	6,481.28	350.26	
6	36.00	7.16	585.96	1,877.62	0.31	5,849.34	375.26	
7	36.00	7.27	485.67	2,040.76	0.24	6,639.36	385.92	
8	36.00	7.37	575.80	1,852.96	0.31	6,955.52	415.62	
9								
10	36.00	7.00	575.80	1,878.00	0.31	12,230.00	426.18	
11	36.00	6.81	600.84	1,878.00	0.32	6,629.40	432.27	
12	41.00	7.01	776.08	1,978.16	0.39	7,045.56	356.22	
13	39.00	6.80					362.59	
14	42.00	6.72	1,126.57	1,151.84	0.98	7,733.59	325.44	
15	42.00	6.50					209.01	
16	45.00	5.80	550.77	1,227.70	0.45	8,248.14	305.44	หยุด feed น้ำเสียเข้า
เฉลี่ย	37.79	6.95	698.26	1,790.35	0.41	7,156.02	353.46	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

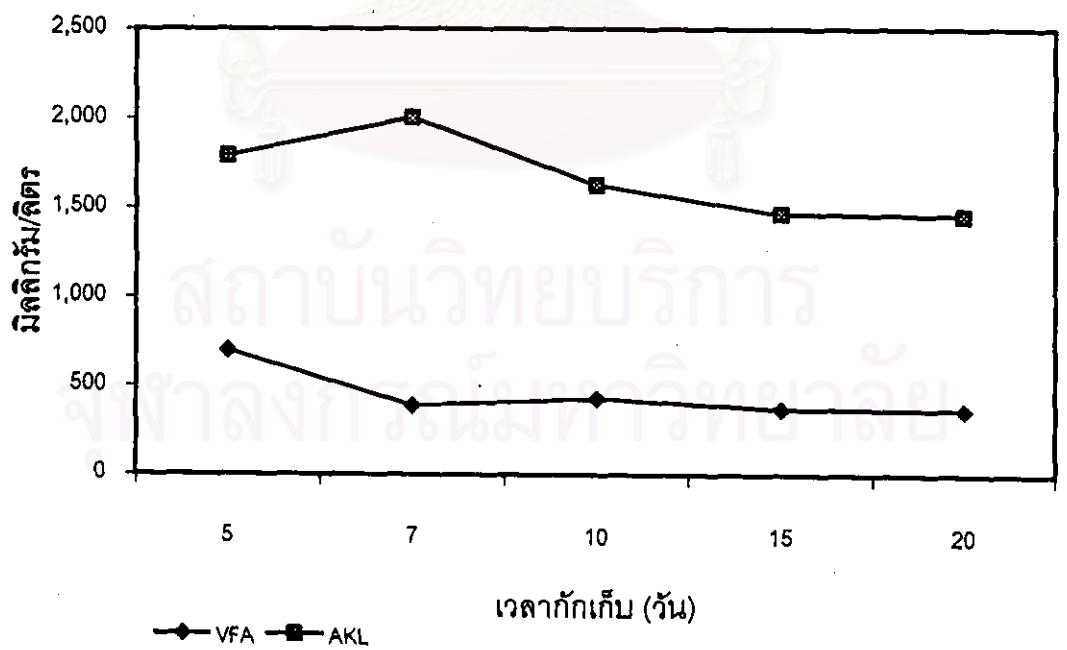
ตารางที่ ก.7 สรุปข้อมูลช่วงการดำเนินการ

เวลากักเก็บ	อัตราการไหล	อุณหภูมิ	pH	VFA	AKL	VFA/AKL	COD	BOD	ปริมาณแก๊ส
วัน	ลบ.ม./วัน	เซลเซียส		มก./ล.	มก./ล.		มก./ล.	มก./ล.	ลบ.ม./วัน
5	19.6	37.79	6.95	698.26	1,790.35	0.41	7,156.02	1,144.96	353.46
7	14	34.17	7.29	393.29	2,002.65	0.20	5,000.48	800.08	278.7
10	9.8	32.32	7.21	432.74	1,628.22	0.27	4,681.65	749.06	194.95
15	6.5	31.46	7.24	374.39	1,468.63	0.26	3,878.67	620.59	133.64
20	4.9	31.33	7.01	365.05	1,457.55	0.26	3,274.79	523.97	96.22

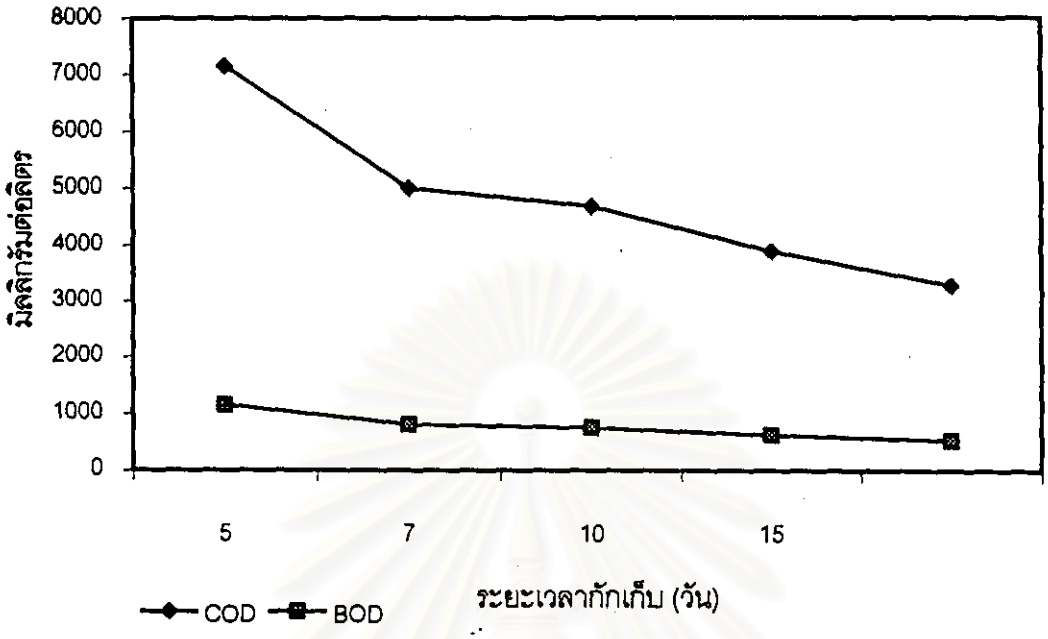
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ก.3 แผนภูมิแสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และอุณหภูมิ ณ เวลากักเก็บน้ำเสียต่างๆ



ภาพที่ ก.4 แผนภูมิแสดงค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ (มก./ล.) และ ค่าอัลคาลินิตี้ ณ เวลากักเก็บน้ำเสียต่างๆ



ภาพที่ ก.5 แผนภูมิแสดงค่า COD และ BOD ณ เวลากักเก็บน้ำเสียต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.8 ผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ ระดับความสูง 0.5, 1.5 และ 2.5 ของน้ำเสีย ภายในเครื่องปฏิกรณ์ที่เวลากักเก็บน้ำเสีย 20 วัน

ระดับน้ำ	อุณหภูมิ	pH	VFA	AKL	VFA/AKL	COD	BOD
เมตร	เซลเซียส		มก./ล.	มก./ล.		มก./ล.	มก./ล.
0.5	37.79	7.12	222.53	1,527.78	0.15	3,103.20	496.51
1.5	34.17	7.19	219.06	1,546.67	0.14	2,987.14	477.94
2.5	32.32	7.14	208.63	1,500.55	0.14	2,598.52	415.76

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

รายการที่วิเคราะห์	ค่าการวิเคราะห์ (%Mole)
ไนตรเจน	12.44
มีเทน	60.06
คาร์บอนไดออกไซด์	27.50
ค่าความร้อนของแก๊ส (Dry) (บีทียู/ลูกบาศก์ฟุต) ที่ 14.97 Psia, 60^0F ที่ 14.73 Psia, 60^0F	 607.68 609.08
ความถ่วงจำเพาะของแก๊ส ที่ 14.73 Psia, 60^0F	 0.8723

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฆ

วิธีวิเคราะห์

ข.1 วิธีวิเคราะห์กรดอินทรีย์และกรดระเหยง่าย (Organic acid and Volatile acids) และอัลคาลินีตี้ (Alkalinity)

การวัดปริมาณกรดอินทรีย์หรือกรดระเหยง่ายไม่ว่าจะเป็นวิธีการกลั่น (ด้วยไอน้ำหรือกลั่นธรรมดา) วิธีโครมาโทกราฟ (Chromatographic method) หรือ วิธีไทเทรต สามรถนำไปใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic digestion system) ได้

กรดระเหยง่ายหรือ วีเอฟเอ (Volatile fatty acid , VFA) เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 6 ละลายน้ำได้ และสามารถกลั่นได้ที่ความดันบรรยากาศจึงสามารถแยกออกจากสารละลายได้

การวิเคราะห์กรดระเหยง่ายโดยวิธีไทเทรต

หลักการทั่วไป

วิธีการนี้เป็นวิธีของ Dillalo & Albertson (JWPCF,1961) เป็นวิธีหยาบๆ ค่าที่ได้ไม่แม่นยำนัก ไม่ควรนำไปใช้งานวิเคราะห์โดยละเอียด แต่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมระบบฯ เพื่อที่จะได้ทราบถึงการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบฯ ได้ ใช้เวลาในการทดลองไม่เกิน 1 ชั่วโมง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช
2. เครื่องกวน และแท่งแม่เหล็ก

รีเอเจนต์

1. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลาร์
2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์

วิธีวิเคราะห์

1. หาสภาพด่างทั้งหมด

   ตวงตัวอย่างน้ำที่ใสมา 50-200 ลบ.ซม. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 ลบ. ซม. วัดพีเอชของตัวอย่างน้ำ ไทเทรตตัวอย่างน้ำจนพีเอช 4 ด้วยน้ำยามาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลาร์ จดปริมาตรกรดมาตรฐานที่ใช้ สมมต = A ลบ.ซม.

2. ต้มไล่กรดคาร์บอนิก

   ไทเทรตตัวอย่างน้ำต่อไปจนพีเอชถึง 3.3 – 3.5 ไม่ต้องจดปริมาณกรดที่ใช้หลังจากนั้นนำไปต้มจนเดือดประมาณ 2-3 นาที กรดคาร์บอนิกจะถูกไล่ออกไป

3. ไทเทรตกลับ

   ปรับพีเอชให้เป็น 4.0 ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ จดปริมาณสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรทกลับ ตั้งแต่พีเอช 4 ถึง 7 ซึ่งจะเป็นสภาพด่างเนื่องจากกรดระเหยง่าย (Volatile acid alkalinity) สมมติปริมาณสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น B ลบ.ซม.

การคำนวณ

สภาพด่างทั้งหมด , มก./ลบ.ดม. คิดในรูป $CaCO_3$

$$= \frac{A \times \text{โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก} \times 50 \times 1{,}000}{\text{ลบ.ซม. ตัวอย่างน้ำ}}$$

สภาพด่างวีเอฟเอ (VFA alkalinity) , มก./ลบ.ดม. คิดในรูป $CaCO_3$

$$= \frac{B \times \text{โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์} \times 50 \times 1,000}{\text{ลบ.ซม. ตัวอย่างน้ำ}}$$

ก) กรณีที่ 1

ถ้าสภาพด่างวีเอฟเอน้อยกว่า 180 มก./ลบ.ดม.

วีเอฟเอ คิดในรูปกรดอะซิติก มก./ลบ.ดม. = สภาพด่างวีเอฟเอ x 1.0

ข) กรณีที่ 2

ถ้าสภาพด่างวีเอฟเอมากกว่า 180 มก./ลบ.ดม.

วีเอฟเอ คิดในรูปกรดอะซิติก มก./ลบ.ดม. = สภาพด่างวีเอฟเอ x 1.5

ข.2 วิธีวิเคราะห์ COD (Chemical Oxygen Demand) โดยวิธี Dichomate Reflux Method

เครื่องมือ

1. reflux apparatus ประกอบด้วยขวดขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีคอที่ทำด้วย ground glass 24/40 และ condenser 300-mm Jacket Liebig ซึ่งมีข้อต่อซึ่งทำด้วย ground glass 20/40 เช่นกัน
2. hot ptate
3. บุเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

น้ำยาเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 0.250 นอร์มัล ละลาย 12.259 กรัม $K_2Cr_2O_7$ (อบให้แห้งที่ 103 ^{0}ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตร (ถ้าจำเป็นให้เติม 120 มิลลิกรัม Sulfamic acid เพื่อกำจัดการขัดขวางการหาเนื่องจาก NO^-_2
2. กรดกำมะถัน เติม 22 กรัม Ag_2SO_4 ลงในขวด conc. H_2SO_4 ขนาด 9 ปอนด์ หรือ 4 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 2 วันเพื่อให้ละลาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ละลาย 39 กรัม $Fe(NH_4)_2.6H_2O$ ในน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิกรัม

วิธีการวิเคราะห์

1. ดูดตัวอย่างมา 50 มิลลิลิตรหรือน้อยกว่านี้แล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดสำหรับรีฟลักซ์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติม $HgSO_4$ 1 กรัม พร้อมด้วย glass beads หรือ boiling chips และ H_2SO_4 ซึ่งผสม Ag_2SO_4 ลงเรียบร้อยแล้ว 5 มิลลิลิตร ให้เติมกรดอย่างช้าๆ พร้อมเขย่าเพื่อละลาย $HgSO_4$ ควรทำให้เย็นในขณะเขย่าเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญหายไปของสารที่เป็นไอในตัวอย่าง (อาจใช้แช่ในอ่างน้ำ) เติม 25 มิลลิลิตร 0.25 นอร์มัล สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ และผสมอีกครั้ง สวมขวดรีฟลักซ์เข้ากับเครื่อง condenser เปิดน้ำเย็นให้ไหลผ่าน เติมน้ำยากรดกำมะถันที่ยังเหลือ (70 มิลลิลิตร) ผ่านปลายด้านที่เปิดของ condenser ให้ทำการแกว่งและผสมอีกในขณะที่ทำการเติมกรด ให้ผสมในขวดรีฟลักซ์ให้เข้ากันดีก่อนที่จะให้ความร้อน เพราะถ้าไม่ทำเช่นนี้ ความร้อนที่ให้ที่ก้นขวดจะทำให้ของผสมในขวดพุ่งออกจาก condenser
2. ให้รีฟลักซ์ของผสมนี้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือน้อยกว่านี้ (สำหรับน้ำเสียบางชนิดที่พบว่าให้ค่า COD มากที่สุด) ใช้บีกเกอร์เล็กๆ ปิดปลายด้านเปิดของ condenser เพื่อป้องกันสิ่งแลกปลอมหลุดเข้าไป ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น ใช้น้ำกลั่นฉีดล้าง condenser
3. ให้เจือจางของผสมในขวดน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 2 เท่า ปล่อยให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง ทิเทรตไดโครเมตที่เกินพอด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอรรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอร์โรอิน 2 – 3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ ถึงแม้ว่าปริมาตรเฟอร์โรอินที่ใช้จะไม่ใช่จุดที่สำคัญยิ่งในการหา แต่ควรใช้ปริมาตรที่คงที่ทุกครั้ง ให้ถือเอาจุดที่มีการเปลี่ยนสีจาก blue-green ไปเป็น reddish-brown ทันทีเป็น end point ถึงแม้ว่าเมื่อทิ้งไว้ 2 – 3 นาที สี blue-green จะกลับคืนมาก็ตาม

ให้ทำแบล้งค์โดยใช้น้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากับตัวอย่าง ทำการรีฟลักซ์เหมือนตัวอย่างทุกประการรวมทั้งน้ำยาเคมีที่ใช้ก็เท่ากัน

การคำนวณ

$$mg/l\ COD = \frac{(a-b)\ N \times 8000}{ml\ sample}$$

เมื่อ COD = ค่า chemical oxygen demand จากไดโครเมต

a = มิลลิลิตร ของ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้ในการทิเทรตแบล้งค์

b = มิลลิลิตร ของ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้ในการทิเทรตสารตัวอย่าง

ข.3 การวิเคราะห์ค่า Biochemical Oxygen Demand (BOD)

ใช้วิธี Dilution Method ซึ่งใช้กับตัวอย่างน้ำที่มีความสกปรกสูงมาก เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรมน้ำเหล่านี้จะมีค่า BOD_5 เกิน 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นถ้าไม่ทำให้เจือจางลงปริมาณออกวิเจนที่ใช้ในตัวอย่างจะไม่พอที่จะใช้ย่อยสารอินทรีย์ในน้ำ น้ำที่ใช้เจือจางจะเติมน้ำเชื้อลงไป มีสารอาหารและสิ่งที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียพร้อมมีพีเอชประมาณ 7 ข้อสำคัญต้องอิ่มด้วยออกซิเจน การหา BOD โดยวิธีนี้ต้องทำ Blank ทั้งนี้เพราะน้ำเชื้อที่เติมลงไปมีสารอินทรีย์อยู่ด้วย เป็นการเพื่อปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่าง

เครื่องมือ

1. incubation bottle ขนาด 250-300 มิลลิลิตรพร้อมจุกปิดสนิท
2. air incubation หรือ water bath ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้

น้ำยาเคมี

1. น้ำกลั่นคุณภาพสูง ควรมีทองแดงไม่น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต
4. สารละลายแคลเซียมคลอไรท์
5. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์

วิธีการวิเคราะห์

1. เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในการทำเจือจางที่คาดว่าจะทำให้ BOD ปกติ ใช้เปอร์เซ็นต์เจือจาง ดังนี้

Strong trade waste	0.1-1.0%
Raw and settled sewage	1-5%
Oxidzed effluent	5-25%
Polluted river waters	25-100%

2. รินน้ำสำหรับการทำเจือจาง 700-800 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตรพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ
3. เติมน้ำเชื้อ 2 มิลลิลิตร (ในกรณีที่จำเป็น)
4. เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการ แล้วเติมน้ำสำหรับการทำเจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร
5. ค่อยรินใส่ขวด 3 ขวด ปิดจุกนำไปเก็บในตู้ที่ 20^{0}ซ 2 ขวด ส่วนขวดที่เหลือนำไปหาค่า DO ทันที เพื่อทราบค่า DO ที่จุดเริ่มต้น (DO_0) โดยวิธี Azide Modification
6. เพาะเลี้ยงในตู้เย็นมืดอุณหภูมิ 20 +/- 1 ^{0}ซ เวลา 5 วัน จึงนำออกมาหาค่า DO หลังจากการเพาะเลี้ยง (DO_5) โดยวิธีเดียวกันในข้อ 5

วิธีคำนวณ

$$BOD_5 = D_0 - D_5$$

ค่า BOD_5 คือผลต่างของค่า DO ในวันเริ่มต้น ซึ่งเรียกว่ากันว่า day zero กับค่า DO ของตัวอย่างเดียวกันนั้น ภายหลังจากเพาะเลี้ยง (incubate) ไว้ 5 วัน ที่ 20 +/- 1 ^{0}ซ ซึ่งเรียกว่า DO_5 มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

รายการพิมพ์ออกของโปรแกรม

1. File biogas – startup1
2. File biogas – startup11
3. File biogas – operate

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
: File biogas - startup1

:  ------------SYSTEM VARIABLES -------------------
   CONSTANT    ALGO     = 0          : VARIABLE STEP
   CONSTANT    CINT     = 0.02       : COMMUN.-INTERVAL
   CONSTANT    TFIN     = 40         : INTEGRATION TIME

:  ------------INITIAL CONDITIONS ------------------
   CONSTANT    S0       = 11000      :[MG/L]
   CONSTANT    VFA0     = 2100        :[MG/L]
   CONSTANT    Xa0      = 0.3      :[MG/L]
   CONSTANT    Xme0     = 0.3      :[MG/L]

:  ------------KINETIC CONDITIONS ------------------

:  Ks CONSTANT
   CONSTANT    Ksa      = 25         :[MG/L]
   CONSTANT    Ksme     = 154        :[MG/L]

:  Umax CONSTANT
   CONSTANT    Uma    = 0.38       :[DAY-1]
   CONSTANT    Umme   = 0.36       :[DAY-1]

:  b CONSTANT
   CONSTANT    ba       = 0.006      :[DAY-1]
   CONSTANT    bme      = 0.015      :[DAY-1]

:  Y CONSTANT
   CONSTANT    Ya       = 0.253      :[MG X/MG SUBSTRATE]
   CONSTANT    Yme      = 0.044      :[MG X/MG SUBSTRATE]
   CONSTANT    YVFA     = 0.543      :[MG X/MG SUBSTRATE]
   CONSTANT    YCH4     = 6.61E-3    :[L CH4/MG X]

:  OTHER CONSTANT
   CONSTANT    KI       = 0.084     : [MG/L]
   CONSTANT    V        = 1E+5      : [L]

1 SIM; INTERACT; RESET; GOTO 1

INITIAL

       S    = S0
     VFA    = VFA0
      Xa    = Xa0
      Xme   = Xme0

DYNAMIC

: STEP 1 (SOLUBLE ORGANIC TO VOLATILE FATTY ACID)

      DS    = -ConsS
       S    = Intg(=DS,S0)
   ConsS    = Ua*Xa/Ya
      Ua    = Uma*S/(Ksa+S)

: NO.OF BAC  (Xa)

     DXa    = (Ua-ba)*Xa
      Xa    = Intg(=DXa,Xa0)

: STEP 2 (VOLATILE FATTY ACID TO METHANE)

    DVFA    = ProVFA-ConsVFA
     VFA    = Intg(=DVFA,VFA0)
```

```
   ProVFA   = ConsS*YVFA
  ConsVFA   = Ume*Xme/Yme
       Ume  = Umme*VFA/(VFA+Ksme+(VFA*VFA/KI))

: No. of BAC

      DXme   = (Ume-bme)*Xme
       Xv    = Intg(=DXme,Xme0)


: METHANE PRODUCTION AND TOTAL GAS

       CH4   = V*YCH4*Xme*Ume          : [L]
      TGAS   = CH4/0.6                 : [L]


OUTPUT T,S,VFA,Xa,Xme,CH4,tgas
PREPARE T,S,VFA,XA,Xme,CH4,tgas
PLOT T,S,0,TFIN,0,10000
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
: File biogas - startup11
:  ------------SYSTEM VARIABLES ------------------
   CONSTANT    ALGO     = 0          : VARIABLE STEP
   CONSTANT    CINT     = 0.02       : COMMUN.-INTERVAL
   CONSTANT    TFIN     = 40         : INTEGRATION TIME

:  ------------INITIAL CONDITIONS ------------------
   CONSTANT    S0       = 11000        :[MG/L]
   CONSTANT    VFA0     = 2100       :[MG/L]
   CONSTANT    Xa0      = 0.3     :[MG/L]
   CONSTANT    Xme0     = 0.3     :[MG/L]

:  ------------KINETIC CONDITIONS -----------------

:  Ks CONSTANT
   CONSTANT    Ksa      = 25         :[MG/L]
   CONSTANT    Ksme     = 154        :[MG/L]

:  Umax CONSTANT
   CONSTANT    Uma    = 0.38       :[DAY-1]
   CONSTANT    Umme   = 0.36       :[DAY-1]

:  b CONSTANT
   CONSTANT    ba       = 0.006      :[DAY-1]
   CONSTANT    bme      = 0.015      :[DAY-1]

:  Y CONSTANT
   CONSTANT    Ya       = 0.253      :[MG X/MG SUBSTRATE]
   CONSTANT    Yme      = 0.044      :[MG X/MG SUBSTRATE]
   CONSTANT    YVFA     = 0.543      :[MG X/MG SUBSTRATE]
   CONSTANT    YCH4     = 6.61E-3    :[L CH4/MG X]

:  OTHER CONSTANT
   CONSTANT    KI       = 0.084    : [MG/L]
   CONSTANT    V        = 1E+5     : [L]

1 SIM; INTERACT; RESET; GOTO 1

INITIAL

      S    = S0
    VFA    = VFA0
     Xa    = Xa0
    Xme    = Xme0

DYNAMIC

: STEP 1 (SOLUBLE ORGANIC TO VOLATILE FATTY ACID)

     DS    = -ConsS
      S    = Intg(=DS,S0)
  ConsS    = Ua*Xa/Ya
     Ua    = Uma*S/(Ksa+S)

: NO.OF BAC  (Xa)

     DXa   = (Ua-ba)*Xa
      Xa   = Intg(=DXa,Xa0)

: STEP 2 (VOLATILE FATTY ACID TO METHANE)

    DVFA   = ProVFA-ConsVFA
     VFA   = Intg(=DVFA,VFA0)
 ProVFA    = ConsS*YVFA
```

```
  ConsVFA   = Ume*Xme/Yme
      Ume   = Umme*VFA/(Ksme+VFA)

: No. of BAC

      DXme   = (Ume-bme)*Xme
       Xv    = Intg(=DXme,Xme0)


: METHANE PRODUCTION AND TOTAL GAS

       CH4   = V*YCH4*Xme*Ume          : [L]
      TGAS   = CH4/0.6                 : [L]


OUTPUT T,S,VFA,Xa,Xme,CH4,tgas
PREPARE T,S,VFA,XA,Xme,CH4,tgas
PLOT T,S,0,TFIN,0,10000
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
: File biogas - operate

:   ------------SYSTEM VARIABLES -------------------
    CONSTANT    ALGO      = 0          : VARIABLE STEP
    CONSTANT    CINT      = 0.05       : COMMUN.-INTERVAL
    CONSTANT    TFIN      = 25         : INTEGRATION TIME

:   ------------INITIAL CONDITIONS -------------------
    CONSTANT    S0        = 200        :[MG/L]
    CONSTANT    VFA0      = 200        :[MG/L]
    CONSTANT    Xa0       = 0.001      :[MG/L]
    CONSTANT    Xme0      = 0.001      :[MG/L]

:   ------------KINETIC CONDITIONS ------------------

:   Ks CONSTANT
    CONSTANT    Ksa       = 750         :[MG/L]
    CONSTANT    Ksme      = 450        :[MG/L]

:   Umax CONSTANT
    CONSTANT    Uma       = 0.38       :[DAY-1]
    CONSTANT    Umme      = 0.36       :[DAY-1]

:   b CONSTANT
    CONSTANT    ba        = 0.006      :[DAY-1]
    CONSTANT    bme       = 0.015      :[DAY-1]

:   Y CONSTANT
    CONSTANT     Ya       = 0.253      :[MG X/MG SUBSTRATE]
    CONSTANT    Yme       = 0.044      :[MG X/MG SUBSTRATE]
    CONSTANT    YVFA      = 0.543      :[MG X/MG SUBSTRATE]
    CONSTANT    YCH4      = 6.61E-3    :[L CH4/MG X]

:   --------------OTHER CONDITIONS----------------------
    CONSTANT    V         = 1E+5       :[L]
    CONSTANT    Si        = 25000      :[MG/L]
    CONSTANT    VFAi      = 1300       :[MG/L]
    CONSTANT    Ssp       = 100        :[MG/L]
    CONSTANT    VFAsp     = 300        :[MG/L]
    CONSTANT    Xasp      = 2700       :[MG/L]
    CONSTANT    Xmesp     = 320        :[MG/L]

1 SIM; INTERACT; RESET; GOTO 1

INITIAL

S=S0
VFA=VFA0
Xa=Xa0
Xme=Xme0

DYNAMIC

: STEP 1 (SOLUBLE ORGANIC TO VOLATILE FATTY ACID)

T=T+0.0005

                Se=(Ksa*((1/T)+ba)/(Umme-ba-(1/T)))
                IF(T.EQ.0.0005) Se=Ssp+(Ksa*((1/T)+ba)/(Umme-ba-(1/T)))
                IF(Se.GT.25000) Se=25000
                IF(Se.LT.0) Se=0

                Xa=Ya*(Si-Se)*(1/T)/((1/T)+ba)
```

```
            IF(T.EQ.0.0005) Xa=Xasp+(Ya*(Si-Se)*(1/T)/((1/t)+ba))
            IF(Xa.LT.0) Xa=0

            Ua=(1/t)+ba

STEP 2 (VOLATILE FATTY ACID TO METHANE)

            VFAe=Ksme*((1/T)+bme)/(Umme-bme-(1/t))
            Ume=(1/T)+bme
            IF(T.EQ.0.0005) VFAe=VFAsp+(Ksme*((1/T)+bme)/(Umme-bme-(1/T)))
            IF(VFAe.GT.25000) VFAe=25000
            IF(VFAe.LT.0) VFAe=0

            Xme=(Yme/Ume)*((1/t)*(VFAi-VFAe)+(Ua*Xa*YVFA/Ya))
  IF(T.EQ.0.0005) Xme=Xmesp+(Yme/Ume)*((1/T)*(VFAi-VFAe)+(Ua*Xa*YVFA/Ya))
            IF(Xme.LT.0) Xme=0


NO. OF TOTAL BAC

     X    =   Xa+Xme

METHANE PRODUCTION AND GAS TOTAL

    CH4   =   V*YCH4*Xme*Ume    : [L]
   TGAS   =   CH4/0.6           : [L]


itput t,Se,VFAe,Xme,Xa,CH4,TGAS
EPARE t,Se,VFAe,Xme,Xa,CH4,TGAS
OT t,Se,0,TFIN,0,10000
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสิรีพร คชพันธุ์สุนทร เกิดวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2514 ที่อำเภอเมือง จังหวัดระนอง สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ในปีการศึกษา 2536

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย