เอกสารอ้างอิง

1. Lettinga, G., van Velsen, A.F.M., de Zeeuw, W. and Hobma, S.W., Fesibility of the Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Process, Proceedings National Conference on Enviromental Engineering, American Society of Civil Engineers, San Pransico, 1979, pp. 35.

2. Stander, G.J., "Water Pollution Research - A Key to Wastewater Managment". Journal Water Pollution Control Federation, Vol, 38, 1966, pp. 774.

3. Mc Inerney, M.J., Bryant M.P. and Stafford, D.A., Metabolic Stages and Energetics of Microbial Anaerobic Digestion, in Anaerobic Digestion, Applied Science Publishers, 1980, pp. 91.

4. Toerien, D.F. and Hattingh, W.H.J., "Anaerobic Digestion, Part I, The Microbiology of Anaerobic Digestion", Water Research, Vol.3, 1969, pp. 385.

5. Wolfe, R.S., "Microbial Fermentation of Methane". Advance Microbiology Physiol, Vol. 6, 1971.

6. Zeikus, J.G., Weimer, P.J., Nelson, D.R. and Danvels, L., "Bacteria Methanogenesis Acetate as Methane Precussor in Pure Culture", Arch. Microbial, Vol. 104, No. 2, 1971.

7. Stadtman, R.C. and Barker, H.A., "Studies on the Methane Fermentation. VIT, Tracer Experiments on The Mechanism of Methane Formation", Archives of Biochemistry, Vol. 21, 1949, pp. 256.

8. Pine, M.J. and Barker, H.A., "Studies on the Methane Fermentation. XII. The Pathway of Hydrogen in the Acetate Fermentation", Journal of Bacteriology, Vol. 71, 1956, pp. 644.

9. McCarty, P.L., "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals, Part I, Chemistry and Microbiology", Public Works, Vol. 95, 1964, pp. 107.

10. Jeris, J.S. and McCarty, P.L., "Biochemistry of Methane Fermentation Using C_{14} Tracers", Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 37, 1965, pp. 178.

11. Buswell, A.M. and Hatfield, W.D., Studies on Two-Stage Sludge Digestion, 1928-1929 State Water Survey, Bulletin No. 29, State of Illinois, Urbana, Illinois, 1930.

12. Buswell, A.M. and Hatfield, W.D., Anaerobic Fermentations, State Water Survey, Bulletin No. 32, State of Illinois, Urbana, Illinois, 1938 ?

13. Buswell, A.M. and Neave, S.L., Laboratory Studies of Sludge Digestion, State Water Supply, Bulletin No. 30, State of Illinois, Urbana, Illinois, 1930.

14. McCarty, P.L., The Methane Fermentation : Principles and Applications of Aquatic Microbiology edited by H.Heukelkian and N.C. Dandero, John Wiley and Sons Inc., New York, 1964.

15. Lapp, H.M., Utilization of Bio Gas From Livestock Waste, Waste Treatment and Utilization, Edited by Moo-Young and Fargnar.

16. Johnson, A.J. and Auth, G.H., Fuels and Combustion Handbook, New York, Mc Graw-Hill, 1951.

17. Katz, D.L., et al , Handbook of Natural Gas Engineering, New York, Mc Graw-Hill, 1959.

18. Singh, R.B., A Building a Biogas Plant, Compost Science, March-Aprill, 1972.

19. Hawkes, D.L., Factors Affecting Net Production From Mesophilic Anaerobic Digestion, Proceedings of the first international symposium on anaerobic digestion : September, 1979, pp. 131-149.

20. Meynell, P.J., Methane : Planning a Digester, Prism Press, U.K., 1976.

21. Lettinga, G., van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeeiw, W. and Klapwijk, A., "Use of Upflow Sludge Blanket (USB) Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Especially for Anaerobic Treatment", Biotechnology and Bioengineering, Vol. 22, 1980, pp. 699.

22. Heertjes, P.M. and van der Meer, R.R., "Dynamics of Liquid Flow in a Upflow Reactor Used for Anaerobic Treatment of Wastewater", Biotechnology and Bioengineering, Vol. 20, 1978, pp. 1577.

23. Van der Meer, R.R., "Anaerobic Treatment of Wastewater Containing Fatty Acids in Upflow Reactors", Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, 1979.

24. Wind, E. and de Vletter, R., "Combined anerobic reactor and settler", U.S. Patent No. 4165285, August 21, 1979.

25. Dague, R.R., Hopkins, R.L., Tonn, R.W., "Digestion Fundamentals Applied to Digester Recovery - Two Case Studies", Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 42, No. 9, 1970, pp. 1667-1675.

26. Rudolfs, W., "Effect of Temperature on Sewage Sludge Digestion", Industrail and Engineering Chemistry, Vol. 19, 1927, pp.241.

27. Maly, J. and Fadrus, H., "Influence of Temperature on Anaerobic Digestion", Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 43, No. 4, 1971, pp. 641.

28. Clark, J.W. and Viessman, W.Jr., Water Supply and Pollut. Contr., Inter Textbook Co., : Scranton, Pennsylvania, 1966.

29. Ono, H., "Discussion to Utilization of Materials Derived From Treatment of Wastes From Molasses Distilleries by T.R. Bhaskaran", Advances in Water Pollution Research, J. Boars, Ed. (Pergamon Press, London), Vol. 2, 1965, pp. 102.

30. Kotze, J.P., Thiel, P.G. and Hattingh, W.H.J., "Anaerobic Digestion II. The Characterization and Control of Anaerobic Digestion", Water Research, Pergamon Press, Vol. 3, 1969.

31. Wiegant, W. and Lettinga, G., Maximum Loading Rates and Ammonia Toxicity in Thermophilic Digestion, E.C. Contractors Meeting, Bruxelles, May, 1982.

32. Lawrence, A.W. and McCarty, P.L., "Kinetics of Methane Fermentation in Anaerobic Treatment", Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 41, 1969.

33. Kugelman, I.J. and Mc Carty, P.L., "Cation Toxicity and Stimulation in Anaerobic Waste Treatment", Journal Water Pollution Control Federation, Vol.37, No. 1, 1965.

34. Andrews, J.F., Kinetic Models of Waste Treatment, Biotechnol. Bioeng. Symp. Vol.2, 1971, pp. 25.

35. Albertson, O.E., "Ammonia Nitrogen and the Anaerobic Enviroment", Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 33, No. 9, 1961, pp. 978-995.

36. Mc Carty, P.L., "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals, Part II, Enviromental Requirements and Control", Public Works, Vol. 95, 1964, pp. 123.

37. Kirsch, E.G. and Sykes, R.M., "Anaerobic Digestion in Biological Waste Treatment", Progress in Industrial Microbiology, Vol. 9, 1971.

38. Speece, R.L. and Mc Carty, P.L., "Nutrient Requirements and Biological Solids Accumulation in Anaerobic Digestion", Proceeding of the Conference on Water Pollution Research, Pergamon Press, New York, Vol. 2, 1964.

39. Sanders, F.A. and Bloodgood, D.E., "The Effect of Nitrogen to Carbon Ratio on Anaerobic Decomposition", Journal Water Pollution Control Federation , Vol., 37, No. 12, 1965.

40. Mc Carty, P.L. and Mc Kinney, R.E., "Volatile Acid Toxicity in Anaerobic Digestion", Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 33, No. 3, 1961.

41. Stephan, B., "Treatment of Wastewater of Food Processing Industry", Seminar on "Biogas Technology-Utilization of Organic Wastes by Anaerobic Digestion", Bangkok, 1983.

42. Mc Carty, P.L. and Mc Kinney, R.E., "Salt Toxicity in Anaerobic Digestion", Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 33, No. 4, 1961.

43. Lettinga, G., Hulshoff Pol, L.W., Grin, P. and Roersma, R., "Anaerobic Treatment using the UASB-Process", seminar on "Anaerobic Waste Water Treatment", Sydney August, 1982.

44. Pette, K.C. and Versprille, A.I., Application of the U.A.S.B.-Concept for Wastewater treatment, International Syposium on Anaerobic Digestion, Elsevier Biomedical Press B.V., 1982, pp. 121-133.

45. Pette, K.C., de Vletter, R., Wind, E. and van Gils, W., "Full-Scale Anaerobic Treatment of Beet-Sugar Wastewater", Proceeding 35 th Industrial Waste Conference, Purdue University, 1980, pp. 635-642.

46. Lettinga, G., Roersma, R. and Grin, P., "Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage at Ambient Temperatures Using a Granular Bed UASB Reactor", Biotechnology and Bioengineering Vol. 25, 1983, pp. 1701-1723.

47. Lettinga, G., Roersma, R., Grin, P., de Zeeuw, W., Hulshof. Pol, L., van Velsen, L., Hobma, S. and Zeeman, G., Anaerobic Treatment of Sewage and Low Strength Waste Waters, International Syposium an Anaerobic Digestion, Elsevier Biomedical Press B.V., 1982, pp. 271-292.

48. Christensen D.R., Gerick, J.A. and Eblen, J.E., "Design and operation of an upflow anaerobic sludge blanket reactor", Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 56, No.9, 1984, pp. 1059-1062.

49. Fiebig, R. and Dellweg, H., "Comparison between the process performance of an UASB-Reactor and UASB-fixed film-combination with on acetic acid enrichment culture", Biotechnology Letters, Vol. 7, No. 7, 1985, pp. 487-492.

50. Guiot, S.R. and van den Berg, L., "Performance of an Upflow Anaerobic Reactor Combining a Sludge Blanket and a Filter Treating Sugar Waste", Biotechnology and Bioengineering, Vol. 27, 1985, pp. 800-806.

51. Wiegant, W.M. and Lettinga, G., "Thermophilic Anaerobic Digestion of Sugars in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors", Biotechnology and Bioengineering, Vol. 27, 1985, pp.1603-1607.

52. Cail, R.G. and Barford, J.P., "The development of granulation in an upflow floc digester and upflow anaerobic sludge blanket digester treating cane juice stillage", Biotechnology Letters, Vol. 7, No. 7, 1985, pp. 493-498.

53. ศักดิ์ชัย โอภาส์วัตชัย "การย่อยสลายและการผลิตก๊าซชีวภาพของขยะแบบไร้ออกซิเจน โดยแบคทีเรียชนิดชอบความร้อน" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

54. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 14 th Ed., APHA, AWWA, and The WPCF, New York, 1975.

55. Dilallo, R. and Alberson, O.E., "Volatile Acids Direct Tritration", Journal Water Pollution Control Federation, Vol, 33, No. 4, 1961.

56. de Zeeuw, W., and Lettinga, G., "Acclimation of Digested Sewage Sludge During Start Up of an Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor", in Proceedings of the 35th Industrial Waste Conference, Purdue University, 1980, pp. 39.

57. Heertjes, P.M. and Kuijvenhoven, L.J., "Fluid Flow Pattern in Upflow Reactors for Anaerobic Treatment of Beet Sugar Factory Wastewater", Biotechnology and Bioengineering Vol. 24, 1982, pp. 443-459.

58. โรมรัน ศรีสัมฤทธิ์ "การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองไร้ออกซิเจน ที่ใช้สารอินทรีย์วัสดุเป็นตัวกลาง" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525

59. ไกรสร อุดมรัตน์ "การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเต้าหู้ ด้วยเครื่องกรองแอนแอโรบิค" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.

60. สุรพล สายพานิช "การบำบัดน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยกระบวนการตะกอนเร่งคอนแทคสเตบิไลเซชันแบบแอนแอโรบิค" ภายใต้โครงการวิจัยพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์และเพื่อกำจัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ, 2529.

61. ไพฑูรย์ โล่ห์สุนทร เคมีเชิงคำสั่งวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2525.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลของการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ข้อมูลของการทดลองชุดที่ 1

Date	Influent Characteristics				Effluent Characteristics									Gas Production				
	T-COD	Org. Loading ($kg.COD/m^3.d$)	TS	TVS	pH	SS	VSS	VFA	T-alk	T-COD	T-COD removal	S-COD	S-COD removal	Total gas	CH_4 in biogas	CH_4 gas in exp.	CH_4 gas in theo.	$CH_4^{exp.}/CH_4^{theo.}$
	(mg/l)		(%)	(%)		(mg/l)	(%)	(mg/l as CH_3COOH)	(mg/l as $CaCO_3$)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(l/d)	(%)	(l/d)	(l/d)	(%)
1			17.0	96.42	7.10			222	2,750					280	60.4			
2	8,970	1.80	17.20	96.33	7.08	424	91.63	315	2,350	936	89.60			211	63.6	134	141	95.0
3	7,782	1.56	17.15	95.03	7.25	225	90.08	258	2,303	548	93.00			194	66.0	128	127	100.8
4			16.14	96.38	7.18	360	91.15	143	1,925					176	66.0			
5	15,000	3.0	17.96	96.15		180	91.44			560	96.30			266	61.8	164	252	65.1
6			15.85	95.92	7.20	280	95.28	143	2,200					196	64.3			
7	11,905	2.38	15.82	96.22	7.05	160	88.89	138	2,050	778	93.50			261	64.0	167	195	85.6
8			15.70	96.02		210	83.33							237	65.0			
9			15.80	95.77	7.00	180	90.48	200	2,150					268	63.0			
10	12,397	2.58	15.45	95.67						484	96.30			211	63.0	133	217	61.3
11			15.95	96.24		405	94.44							279	59.7			
12	14,160	2.83	15.65	95.89	6.95	350	81.48	264	1,975					312	63.0			
13			15.73	95.86	7.12			220	2,100									
14	10,547	2.11	16.60	95.77	7.35	325	94.74	251	2,155	492	95.30			219	67.4	148	176	84.1
15			15.71	96.36	7.32	250	84.0	231	2,155					219	67.0			
16			15.80	96.52	7.52	270	88.89	255	1,975					245	63.0			
17	13,391	2.68	16.08	96.27	7.30	365	95.31	184	1,933	570	95.70			271	62.6	170	224	75.9
18			15.60	95.77	7.12	430	85.0	123	1,908					316	63.2			
19	11,350	2.37	15.34	96.66	7.18	325	84.52	203	1,933					295	61.8			
20			15.70	96.12	6.95	585	91.27	138	1,833					352	62.0			
21	16,600	3.32	16.42	96.18	7.35	340	93.16	189	1,871	696	95.80			322	62.0	200	278	71.9
22			16.78	96.74	7.38	410	92.31	204	1,816					249	62.0			
23			16.60	96.15	7.35	320	90.40	189	1,930					251	63.2			

ตารางที่ 1 (ต่อ) ข้อมูลของการทดลองชุดที่ 1

Date	Influent Characteristics				Effluent Characteristics									Gas Production				
	T-COD	Org. Loading	TS	TVS	pH	SS	VSS	VFA	T-alk	T-COD	T-COD removal	S-COD	S-COD removal	Total gas	CH_4 in biogas	CH_4 gas in exp.	CH_4 gas in theo.	$CH_4^{exp.} / CH_4^{theo.}$
	(mg/l)	(kg.COD/ m^3.d)	(%)	(%)		(mg/l)	(%)	(mg/l as CH_3COOH)	(mg/l as $CaCO_3$)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(l/d)	(%)	(l/d)	(l/d)	(%)
24	14,800	2.96	16.86	96.39	7.35	380	93.33	131	1,917	497	96.6			232	62.6	145	250	58.0
25			16.20	96.19	7.20	310	91.78	189	1,829					269	61.4			
26	15,149	3.03	15.40	96.30	7.10	395	98.21	200	1,797	560	96.3			268	60.2	161	255	63.1
27			17.14	96.02	7.00	360	95.45	179	1,766					313	61.8			
28	13,426	2.69	16.60	95.39	6.92	420	92.74	206	1,721	654	95.1			306	63.0	193	244	86.2
29					7.22	380	95.78	252	1,685									
30			15.76	96.39		540	87.55							313	61.2			
31	14,816	2.96	15.74	95.86	7.15	480	90.20	263	1,700	665	95.5			281	63.0	177	248	71.4
32			15.71	95.94	7.38	390	91.54	231	1,822					309	61.0			
33	17,442	3.49	15.78	97.11	7.45	420	87.25	162	1,867	669	96.2			311	60.4	188	294	63.9
34			15.94	96.66		465	95.22							347	62.0			
35	14,217	2.84	16.03	96.08	7.30	445	90.18	210	1,890	607	95.7			313	61.2	192	238	80.7
36			15.47	96.15	7.10	350	82.46	156	1,917									
37			14.38	96.21	7.25	450	85.10	162	1,892									
38	10,254	2.05	15.42	97.26	7.22	365	92.54	145	1,860	695	93.2			377	60.0	226	167	135.3
39	11,035	2.21	15.14	96.17	7.15	340	95.47	153	1,841	853	92.3			259	60.6	157	178	88.2
40	13,962	2.79	15.39	96.62	7.35	395	87.65	192	1,810	604	95.7			231	62.6	145	234	62.0
41	14,057	2.81	15.24	96.37	7.18	280	92.71	158	1,830	624	95.6			227	61.8	140	235	59.6
42	10,688	2,14	15.11	96.57	7.10	375	90.42	189	1,803	862	91.6			261	62.8	164	172	95.3
43	11,617	2.32	16.71	96.89	7.15	350	88.15	158	1,839	777	93.3			218	62.0	135	190	71.1
44	15,312	3.06	16.37	96.24	7.02	375	92.91	203	1,775	533	96.5			260	62.0	161	259	62.2

ตารางที่ 2 ข้อมูลของการทดลองชุดที่ 2

Date	Influent Characteristics				Effluent Characteristics									Gas Production				
	T-COD	Org. Loading	TS	TVS	pH	SS	VSS	VFA	T-alk	T-COD	T-COD removal	S-COD	S-COD removal	Total gas	CH_4 in biogas	CH_4 gas in exp.	CH_4 gas in theo.	$CH_4^{exp.}/CH_4^{theo.}$
	(mg/l)	(kg.COD/ m^3.d)	(%)	(%)		(mg/l)	(%)	(mg/l as CH_3COOH)	(mg/l as $CaCO_3$)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(l/d)	(%)	(l/d)	(l/d)	(%)
1	23,701	4.74	16.70	96.18		1,095	92.16			2,944	87.6			426	50.0	213	363	58.7
2			16.55	96.61	7.25	1,750	88.95	580	2,576					439	56.0			
3	29,002	5.80	16.73	96.16	7.10	2,220	92.70	520	2,507					399	54.0			
4			17.05	96.28	7.15	1,800	87.32	408	2,769					380	56.0			
5	26,087	5.22	17.20	96.36		1,630	91.39			5,224	80.0	3,335	87.2	399	57.0	228	366	62.3
6			17.15	96.62	7.32	1,380	94.31	498	3,044					383	50.6			
7			17.25	96.24	7.32	1,340	94.90	411	2,907					394	53.6			
8	28,880	5.78	16.82	96.03	7.10			508	2,783	6,889	76.1	3,703	87.2	419	53.4	224	336	58.0
9			16.18	96.03	7.35	1,440	92.52	578	3,072					412	54.8			
10	23,837	4.77	16.00	96.13	7.38	1,300	88.10	545	3,306	5,931	75.1	3,185	86.6	443	61.4	241	314	76.7
11			17.26	96.46	7.40	1,320	86.52	494	3,177					429	60.8			
12	32,819	6.56	16.44	96.48	7.65	1,050	92.34	674	3,149	8,807	73.2	4,748	85.5	417	59.0	247	421	58.7
13			16.0	96.04	7.40	1,150	94.63	704	3,163					438	64.0			
14			16.40	96.17	7.55	1,180	95.23	622	3,082					424	63.8			
15	28,237	5.65	16.65	96.34	7.45	1,330	93.44	585	3,272	6,320	77.6	3,213	88.6	451	54.0	245	384	63.8
16			16.58	96.34	7.35	1,670	94.47	632	3,217					438	58.0			
17	30,377	6.08	17.20	96.13	7.30	1,280	97.19	640	3,082	7,910	74.0	5,895	80.6	424	58.0	247	394	62.7
18			15.79	96.77	7.40	1,390	96.65	650	3,095					430	55.2			
19	28,571	5.71	15.14	96.50	7.50	1,320	99.45	725	3,163	6,963	75.6	4,533	84.1	414	57.0	238	379	63.6
20			15.69	96.76	7.55	1,630	87.39	657	3,020					422	56.0			
21			16.22	96.14	7.80			580	3,278					417	58.0			
22	29,504	5.90	16.42	96.37		1,200	91.18			8,477	71.3	4,890	83.4	393	60.8	239	369	64.8
23			17.02	96.52	7.60	1,300	97.50	580	3,573					423	58.0			

ตารางที่ 2(ต่อ)ข้อมูลของการทดลองชุดที่ 2

Date	Influent Characteristics				Effluent Characteristics									Gas Production				
	T-COD	Org. Loading	TS	TVS	pH	SS	VSS	VFA	T-alk	T-COD	T-COD removal	S-COD	S-COD removal	Total gas	CH_4 in biogas	CH_4 gas in exp.	CH_4 gas in theo	$CH_4^{exp.}/CH_4^{theo.}$
	(mg/l)	($kg.COD/m^3.d$)	(%)	(%)		(mg/l)	(%)	(mg/l as CH_3COOH)	(mg/l as $CaCO_3$)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(l/d)	(%)	(l/d)	(l/d)	(%)
24	30,040	6.01	16.79	96.01	7.65	1,240	91.38	620	3,458	7,864	77.8	4,256	85.8	392	61.4	241	389	61.9
25			14.50	96.27	7.70	1,340	88.14	570	3,363					417	58.4			
26	26,640	5.33	14.26	95.98	7.70	1,440	86.16	610	3,411	5,953	77.6	3,386	87.3	396	58.4	231	363	63.6
27			16.97	95.42	7.48	1,160	90.15	560	3,491					413	58.4			
28			16.57	95.27	7.80	1,140	90.95	590	3,310					421	59.6			
29	29,921	5.98	16.22	96.0	7.20	1,350	94.74	660	3,183	8,356	72.0	4,274	82.5	422	58.0	245	378	64.8
30			14.22	96.18	7.10	1,180	96.82	656	3,002					436	57.0			
31	26,772	5.35	14.72	96.39	7.30	1,400	90.78	702	2,854	6,214	76.8	4,086	84.7	431	54.2	234	360	64.9
32			15.67	96.64	7.15	1,520	92.70	620	3,042						54.2			
33	30,143	6.03	15.20	96.41	7.55	1,200	86.54	748	2,975	7,877	73.9	5,320	82.3	424	55.0	235	390	60.3
34			15.64	96.28	7.35	1,300	97.61	625	3,149					447	54.2			
35			15.82	96.32	7.40	1,260	92.55	666	3,089					439	54.8			
36	30,123	6.02	16.56	96.01	7.70	1,450	85.12	769	2,767	7,558	74.9	4,880	83.8	452	54.4	246	395	62.3
37			16.06	96.15	7.40	1,300	89.71	684	3,082									
38	29,739	6.55	16.55	96.31	7.60	1,270	98.21	625	3,040	7,076	76.2	4,333	85.4	458	54.3	249	398	62.6
39			16.65	96.25		1,380	90.11							438	55.0			
40	26,703	5.34	16.78	96.37	7.72	1,480	91.81	642	2,961	7,307	72.6	4,746	82.2	424	52.0	220	340	64.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ข้อมูลของการทดลองชุดที่ 3

Date	Influent Characteristics				Effluent Characteristics									Gas Production				
	T-COD	Org. Loading	TS	TVS	pH	SS	VSS	VFA	T-alk	T-COD	T-COD removal	S-COD	S-COD removal	Total gas	CH_4 in biogas	CH_4 gas in exp.	CH_4 gas in theo.	$CH_4^{exp.}/CH_4^{theo.}$
	(mg/l)	(kg.COD/m^3.d)	(%)	(%)		(mg/l)	(%)	(mg/l as CH_3COOH)	(mg/l as $CaCO_3$)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(l/d)	(%)	(l/d)	(l/d)	(%)
1	42,020	8.40	17.35	96.38	7.50	1,910	88.27	1,038	3,710	12,921	69.3	7,090	83.1	571	52.1	297	509	58.3
2			17.46	96.45	7.38	2,000	92.45	1,220	3,516					592	50.8			
3	47,040	9.41	18.34	96.74	7.60	3,000	97.20	1,265	4,300	11,934	74.6	6,474	86.3	640	50.7	325	614	52.8
4			17.93	96.45	7.70	3,620	95.91	1,452	4,995					615	51.2			
5	44,217	8.84	18.30	96.29		3,960	94.77			13,130	70.3	7,263	83.6	621	52.2	324	544	59.6
6			18.20	95.87	7.65			1,685	4,845					540	52.4			
7			18.0	95.94										620	50.0			
8	41,074	8.21	18.10	95.65	7.82	2,870	91.27	1,515	4,909	16,306	60.3	6,961	83.1	653	47.3	309	539	57.3
9			18.41	96.02	7.75	3,150	96.15	2,045	4,960					674	49.7			
10	44,514	8.90	18.20	96.52	7.85	2,680	95.14	1,820	5,129					616	48.1			
11			17.63	96.41	7.90	2,800	87.25	1,746	5,432					640	47.2			
12	50,069	10.0	18.14	96.35	7.62	2,870	84.23	2,045	5,320	20,974	58.1	9,878	80.3	614	47.0	289	509	56.7
13			18.30	96.05	7.48	2,750	89.51	1,900	4,929					570	45.2			
14			18.71	95.67	7.35	2,890	90.19	2,025	4,757					582	46.3			
15	48,333	9.67	17.0	95.78	7.70	2,990	93.62	2,250	5,431	20,589	57.4	13,519	72.0	645	47.4	306	487	62.8
16			18.10	95.98	7.55	2,730	92.74	1,830	5,220					583	48.7			
17	43,333	8.67	17.30	96.17	7.75	2,940	95.58	1,635	6,175	16,856	61.1	11,724	75.7	598	48.5	290	464	62.5
18			16.87	96.35	7.45	2,960	98.49	1,822	5,044					610	47.8			
19	43,452	8.69	16.37	96.52	7.75	2,490	94.56	1,995	5,105	16,425	62.6	12,300	71.7	650	46.2	300	474	63.3
22	41,666	8.33	16.48	96.78	7.52			1,810	5,575	15,208	63.5	9,218	7.55	597	47.8	285	464	61.5
23														615	46.4			
24	41,071	8.21	16.70	96.47	7.60	2,600	88.74	1,970	5,627	15,443	62.4	10,330	74.8	585	45.3	265	450	58.9
25			17.41	96.31		2,800	92.17							580	46.8			

ตารางที่ 3(ต่อ) ข้อมูลของการทดลองชุดที่ 3

Date	Influent Characteristics				Effluent Characteristics									Gas Production				
	T-COD	Org. Loading	TS	TVS	pH	SS	VSS	VFA	T-alk	T-COD	T-COD removal	S-COD	S-COD removal	Total gas	CH_4 in biogas	CH_4 gas in exp.	CH_4 gas in theo.	$CH_4^{exp.}/CH_4^{theo.}$
	(mg/l)	(kg.COD/m^3.d)	(%)	(%)		(mg/l)	(%)	(mg/l as CH_3COOH)	(mg/l as $CaCO_3$)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(l/d)	(%)	(l/d)	(l/d)	(%)
26	44,048	8.80	16.80	96.28	7.60	3,000	93.28	2,105	5,433	17,839	59.5	12,028	72.2	611	48.6	297	460	64.5
27	42,476	8.50	17.70	96.55	7.85	3,040	95.56	1,922	6,078	16,650	60.8	10,507	75.3	585	46.6	273	453	60.2
28			16.52	96.67	7.80	2,900	82.27	2,060	5,890					609	47.5			
29	40,429	8.09	17.71	96.78		2,600	83.33			14,757	63.5	9,653	74.9	515	47.1	243	450	54.0
30			17.05	96.54	7.88	2,500	88.29	2,135	5,905					489	47.2			
31	43,478	8.70	17.16	96.21	8.05	2,390	84.15	1,970	6,031	19,043	56.2	10,238	76.5	552	47.8	264	429	61.5
32			17.34	96.17	7.70	2,790	92.21	2,290	5,778					587	46.4			
33	44,971	8.99	17.33	96.19	7.65			2,120	5,893	20,687	54.0	13,973	68.9	560	45.9	257	425	60.5
34			16.92	96.05	7.70	2,300	90.73	2,175	5,798					572	46.0			
35			17.20	96.27	7.50	3,600	90.64	2,200	5,590									
36	46,812	9.36	17.00	96.11	7.60	2,800	87.35	2,052	5,578	22,189	52.6	13,100	72.0	498	48.3	240	431	55.7
37			17.40	95.98										512	47.3			
38	44,735	8.95	16.80	95.77	7.25	3,750	93.44	2,122	5,708	19,285	56.9	12,502	71.9	581	46.5	270	445	60.7
39			16.53	95.85		3,630	95.72							562	45.2			
40	45,646	9.13	17.48	96.21	7.35	4,200	90.27	2,150	6,000	21,239	53.5	13,816	69.7	509	44.5	226	427	53.0
41			16.70	95.78	7.50	3,190	84.18	2,250	5,593					537	46.5			
42			16.31	95.46		2,810	82.56											
43	42,841	8.57	16.47	95.60	7.65	2,600	87.45	2,105	6,010	16,794	60.8	11,775	72.5	530	45.8	242	457	53.1
44			16.67	96.20		3,250	90.25							548	45.7			
45	40,765	8.15	16.70	96.78	7.30	3,360	91.47	2,185	5,713	14,879	63.5	8,513	79.1	523	47.2	247	454	54.4
46			17.21	97.25		3,850	87.47							567	46.4			
47	42,883	8.50	17.42	96.65	7.50	3,440	92.11	2,230	5,483	17,882	58.3	11,216	73.8	551	46.5	256	438	58.3
48			17.27	96.48	7.65	4,060	80.15	2,050	5,699					583	47.0			

ตารางที่ 3 (ต่อ) ข้อมูลของการทดลองชุดที่ 3

Date	Influent Characteristics				Effluent Characteristics									Gas Production				
	T-COD	Org. Loading	TS	TVS	pH	SS	VSS	VFA	T-alk	T-COD	T-COD removal	S-COD	S-COD removal	Total gas	CH_4 in biogas	CH_4 gas in exp.	CH_4 gas in theo.	$CH_4^{exp.}/CH_4^{theo.}$
	(mg/l)	(kg.COD/m^3.d)	(%)	(%)		(mg/l)	(%)	(mg/l as CH_3COOH)	(mg/l as $CaCO_3$)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(l/d)	(%)	(l/d)	(l/d)	(%)
49					7.65	3,300	82.72											
50	47,759	9.56	16.42	96.62		3,140	85.43	2,155	5,934	22,208	53.5	13,071	72.6	590	46.0	271	447	60.7
51			15.78	96.33		3,970	87.24							562	46.2			
52	43,379	8.68	16.10	96.48	7.70	3,850	93.45	2,085	5,516	18,046	58.4	12,310	71.6	565	47.2	267	445	60.0
53			17.04	96.38	7.48			2,220	5,835					545	46.5			
54	43,914	8.78	17.60	96.27	7.65	4,200	90.81	2,230	5,937	18,751	57.3	14,297	67.4	530	47.0	249	442	56.4
55			17.25	96.15		3,780	84.61							590	47.4			
56	46,886	9.38	17.40	96.77	7.35	4,190	83.57	2,175	5,433	21,474	54.2	13,851	64.0	564	46.3	261	446	58.5

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์โครงการนี้ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมีจุดประสงค์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองและวิเคราะห์มาประกอบการตัดสินใจ และเป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยขั้นต่อไป ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ทั้งหมดจากระบบบำบัดน้ำเสียจะนำไปใช้แทนน้ำมันเตาบางส่วน และใช้โรงงานบำบัดน้ำเสียเก่าของบริษัทซึ่งไม่ได้ใช้ทำการบำบัดน้ำเสียมาดัดแปลงและปรับปรุงให้ใช้สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ ด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไร้อากาศ ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนในการลงทุน

1. วิธีการวิเคราะห์โครงการ

วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ (61)

1.1 วิธีวิเคราะห์โดยใช้การคำนวณอัตราผลตอบแทนคืนทุน (Internal Rate of Return, IRR)

การวิเคราะห์โครงการด้วยวิธีนี้จะแสดงให้เห็นถึงอัตราผลประโยชน์ที่ได้ตอบแทนจากเงินที่ได้ลงทุนในโครงการ ปกติมักจะถือว่าโครงการที่มีอัตราผลตอบแทนคืนทุนที่สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์เป็นโครงการที่ควรจะพิจารณาและสามารถลงทุนได้

หลักการคำนวณได้แก่การเทียบรายได้ให้เท่ากับรายจ่ายโดยการคิดคำนวนเงินทั้งหมดให้เป็นค่าเงินในปัจจุบัน

1.2 วิธีวิเคราะห์โดยใช้การคำนวณระยะเวลาในการคืนทุน (Write-Off-Period, WOP)

การวิเคราะห์โครงการด้วยวิธีนี้จะแสดงให้เห็นถึงสภาพคล่องทางการเงินว่าเมื่อได้เงินที่ลงทุนคืนครบแล้ว จึงจะสามารถนำรายได้ที่ได้รับจากโครงการนี้ไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น

หลักการคำนวณได้แก่การนำผลประโยชน์ที่ได้รับในแต่ละปีมาหักค่าดอกเบี้ยเงินกู้แล้วนำเงินส่วนที่เหลือไปชำระเงินต้นจนกระทั่งครบจำนวนเงินกู้ก็จะได้ระยะเวลาในการคืนทุน

ในการวิเคราะห์โครงการนี้ด้านเศรษฐศาสตร์ได้แยกการวิเคราะห์ ออกเป็นส่วนหัวข้อใหญ่ ๆ ที่ได้ผลประโยชน์ต่ำที่สุดและสูงที่สุดคือ

1) วิเคราะห์โครงการโดยตั้งสมมติฐานว่า ก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้มาจากการนำกากถั่วเหลืองมาผสมกับน้ำประปา

2) วิเคราะห์โครงการโดยตั้งสมมติฐานว่าก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้มาจากการนำกากถั่วเหลืองมาผสมกับตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) จากระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท ฯ

2. ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณ

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณได้มาจากการทดลอง จากการสอบถามทางบริษัท กรีนสปอต (ประเทศไทย) จำกัด และจากการประมาณการซึ่งข้อมูลเหล่านี้พอจะสรุปได้ดังนี้

2.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบ

1)	อัตราของกากถั่วเหลืองสดที่ได้จากการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองไวตามิลค์	8 ตัน/วัน
2)	ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน	55 ลิตร/กิโลกรัมของกากถั่วเหลืองสด[3]
	หรือ	440 ลบ.ม./วัน

2.2 ข้อมูลพื้นฐานด้านการลงทุน

1)	ค่าดัดแปลงและปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย[1]	2.5 - 4.0 ล้านบาท
2)	ค่าดำเนินการ[2]	600 - 1,000 บาท/วัน
3)	ระยะเวลาในการทำงาน	320 วัน/ปี
4)	อายุการทำงานของระบบ	12 ปี
5)	ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากกากถั่วเหลืองสด	440 ลบ.ม./วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6) ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากตะกอนส่วนเกิน ของระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท กรีนล่อต (ประเทศไทย) จำกัด 200 ลบ.ม./วัน

7) ราคาก๊าซมีเทน (เมื่อเทียบค่าความร้อนกับน้ำมันเตา) 4.30 บาท/ลบ.ม.

หมายเหตุ (1) ค่าดัดแปลงและปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย

ถังเก็บก๊าซและระบบทำความสะอาดก๊าซ	1.0 ล้านบาท
เครื่องสักรในระบบ	0.3 ล้านบาท
หัวเผาสองระบบ ก๊าซ - น้ำมันเตา	1.0 ล้านบาท
ระบบท่อ ระบบไฟฟ้า ฯลฯ	0.2 ล้านบาท
รวม	2.5 ล้านบาท

(2) ค่าดำเนินการประกอบด้วยค่าสารเคมี ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน ค่าซ่อมแซม ฯลฯ

(3) ในที่นี้กากถั่วเหลืองสดมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 84.0

3. วิเคราะห์โครงการโดยตั้งสมมติฐานว่าก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้มาจากการนำกากถั่วเหลืองมาผสมกับน้ำประปา

การคำนวณในหัวข้อนี้ถือว่า สามารถขายก๊าซมีเทนได้วันละ 440 ลบ.ม. ในราคา 4.30 บาท/ลบ.ม. และราคาของสิ่งก่อสร้างที่ดัดแปลงหลังจากเลิกใช้งานมีค่าเท่ากับศูนย์

3.1 คำนวณอัตราผลตอบแทนคืนทุน (IRR)

ตารางที่ 1 แสดงอัตราผลตอบแทนคืนทุนคิดเป็นร้อยละ โดยได้แสดงค่าของเงินลงทุนตั้งแต่ 2.5 ถึง 3.5 ล้านบาท และค่าดำเนินการตั้งแต่ 600 ถึง 1,000 บาทต่อวัน จะเห็นได้ว่าอัตราผลตอบแทนคืนทุนมีค่าต่ำมาก เนื่องจากก๊าซมีเทนเกิดขึ้นน้อยทำให้ผลประโยชน์ไม่คุ้มกับการลงทุน

ตารางที่ 1 อัตราผลตอบแทนคืนทุนคิดเป็นร้อยละ จากการดัดแปลงระบบบำบัดน้ำเสียเก่า โดยนำก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากกากถั่วเหลืองผสมกับน้ำประปา 440 ลบ.ม./วัน ในราคา 4.30 บาท/ลบ.ม. เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันเตา

เงินลงทุนครั้งแรก (ล้านบาท)	อัตราผลตอบแทนคืนทุน (IRR) คิดเป็นร้อยละ โดยเปลี่ยนแปลงค่าดำเนินการจาก 600 ถึง 1,000 บาท/วัน		
	ค่าดำเนินการ (บาท/วัน)		
	600	800	1,000
2.5	12.54	-	-
3.0	8.68	-	-
3.5	5.80	-	-

3.2 <u>คำนวณระยะเวลาในการคืนทุน</u> (WOP)

จากการคำนวณพบว่า ระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการที่ใช้เงินลงทุนตั้งแต่ 2.5 ล้านบาทขึ้นไป และค่าดำเนินการ 600 - 1,000 บาท/วัน ที่อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 14 จะสูงกว่า 12 ปี แสดงว่าโครงการไม่เหมาะที่จะลงทุน

4. <u>วิเคราะห์โครงการโดยตั้งสมมติฐานว่าก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้มาจากการนำกากถั่วเหลืองมาผสมกับตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) จากระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท ฯ</u>

การคำนวณในหัวข้อนี้ถือว่า สามารถขายก๊าซมีเทนได้วัน 640 ลบ.ม./วัน ในราคา 4.30 บาท/ลบ.ม. และราคาของสิ่งก่อสร้างที่ดัดแปลงหลังจากเลิกใช้งานมีค่าเท่ากับศูนย์

4.1 <u>คำนวณอัตราผลตอบแทนคืนทุน</u> (IRR)

ตารางที่ 2 แสดงอัตราผลตอบแทนคืนทุนคิดเป็นร้อยละ โดยได้แสดงค่าของเงินที่ลงทุน ตั้งแต่ 2.5 ถึง 4.5 ล้านบาท และค่าดำเนินการตั้งแต่ 600 ถึง 1,000 บาทต่อวัน จะเห็นได้ว่าผลตอบแทนนั้นมีค่าสูง ซึ่งทำให้โครงการน่าลงทุนกว่าการได้ก๊าซชีวภาพจากกากถั่วเหลืองเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 2 อัตราผลตอบแทนคืนทุนคิดเป็นร้อยละ จากการดัดแปลงระบบบำบัดน้ำเสียเก่าโดยนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากการนำกากถั่วเหลืองมาผสมกับ ตะกอนส่วนเกิน 640 ลบ.ม./วัน ในราคา 4.30 บาท/ลบ.ม. เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันเตา

เงินลงทุนครั้งแรก (ล้านบาท)	อัตราผลตอบแทนคืนทุน (IRR) คิดเป็นร้อยละโดยเปลี่ยนแปลงค่าดำเนินการจาก 600 ถึง 1,000 บาท/วัน		
	ค่าดำเนินการ (บาท/วัน)		
	600	800	1,000
2.5	27.37	24.46	21.50
3.0	21.85	19.32	16.74
3.5	17.75	15.48	13.12
4.0	14.52	12.44	10.28
4.5	11.88	9.94	7.92

4.2 ค่านวณระยะเวลาในการคืนทุน (WOP)

ตารางที่ 3 แสดงระยะเวลาในการคืนทุน โดยได้แสดงค่าที่เงินลงทุนตั้งแต่ 2.5 ถึง 4.5 ล้านบาท และค่าดำเนินการตั้งแต่ 600 ถึง 1,000 บาท/วัน ที่อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 14.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการคืนทุน ในกรณีที่ก๊าซชีวภาพได้มาจากการนำกาก
ถั่วเหลืองมาผสมกับตะกอนส่วนเกิน โดยคิดอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 14.0

เงินลงทุนครั้งแรก (ล้านบาท)	ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี) โดยเปลี่ยนแปลงค่าดำเนินการตั้งแต่ 600 ถึง 1,000 บาท/วัน		
	ค่าดำเนินการ (บาท/วัน)		
	600	800	1,000
2.5	6	6	7
3.0	7	8	10
3.5	9	11	14
4.0	12	14	-
4.5	16	-	-

เมื่อพิจารณาจากผลการคำนวณข้างต้นจะเห็นว่า เมื่อราคาก๊าซมีเทนเทียบกับราคาน้ำมันเตาในปัจจุบัน ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 4.30 บาท/ลบ.ม. โครงการนี้จะมีอัตราผลประโยชน์ตอบแทนที่ลงทุน เมื่อก๊าซชีวภาพต้องได้มาจากการนำกากถั่วเหลืองมาผสมกับตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทฯ ซึ่งเป็นกระบวนการตะกอนเร่ง (activated sludge process) และค่าดำเนินการดัดแปลงระบบบำบัดน้ำเสียเก่าจะต้องไม่เกิน 3.5 ล้านบาท และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการไม่เกิน 800 บาท/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นาย ณรงค์ จิตตัจรุงเกียรติ

เกิด 6 กรกฎาคม 2502 กรุงเทพมหานคร

การศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (โยธา) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่อยู่ 2/44 ถนนพหลโยธิน อำเภอสามเสน กรุงเทพมหานคร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย