หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

ศักดิ์ชัย รอภาสวัตชัย. การย่อยสลายและการผลิตแก๊สชีวภาพของขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียชนิดชอบความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

สมศักดิ์ ศรีวะรัลสกุล. การเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดในช่วงเดินระบบถังหมักกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2534.

สุเมธ ชวเกษ. เอกสารประกอบการฝึกอบรมทางวิชาการเรื่อง การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพของโรงงานประกอบกิจการอาหารและเครื่องดื่ม. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กรุงเทพ ฯ, 2529.

อภิสิทธิ์ ศรีสุรินทร์. กระบวนการคอนแทกต์สเตบิไลเซชั่นไร้อากาศแบบกวนสมบูรณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.

ภาษาอังกฤษ

Albertson, O.E., Ammonia Nitrogen and Anaerobic Environment. Jour. Water Control Fed., 1961: pp. 978-995.

Barker, H.A., Bacteria Fermentation. John Willey & Son Inc., N.Y. 1956.

Bolle, W.L., J. Van Breugel, G.L. Van Eybergea, N.W.F. Kassen and R.J.Zoetemeyer, Modeling the Liquid Flow in Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. Biotech and Bioengineering, 1986: pp. 1615-1620.

Bolle, W.L.,J.Van Brevgel, G.L. Van Eybergea, N.W.F. Kassen and W.Van Gils. An Intergral Dynamic Model for the UASB Reactor. Biotech and Bioeng., 1985: pp. 1621-1636.

Bryant, M.P., Microbial Methane Production-Theoretical Aspects. Jour. Anim. Sci., 48, 1979.

Clark, R.H. and Speece, R.E., The pH Tolerance of Anaerobic Degestion International Association of Water Pollution Research, Vol. 2, 1970.

Gaudy, A. and E. Gaudy, Microbiology for Environmental Scientists and Engineering. Mc Graw-Hill Kogalusha, Ltd., 1981.

Hack, P.J.F.M., Application of the UASB Reactor for Anaerobic Treatment of Brewery Effluent. Wat. Sci. Tech. 1985: pp. 1489-1490.

Heertjes, P.M. and R.R. Van der Meer, Dynamics of Liquid flow in an Up-flow Reactor used for Anaerobic Treatment of Waste Water. Biotech and Bioengineering, 1978: pp. 1577-1594.

Heme, M. and P. Harremoes, Anaerobic Treatment of Waste Water in Fixed Film Reactor. A Literature Review. Wat. Sci. Tech. 1983: pp. 1-101.

Hughes, D.E., D.A. Stafford, B.I. Wheatley, W. Baader, G. Lettinga, E.J. Nyns, W. Verstracte and R.L. Went Worth, Anaerobic Digestion, Proceedings for the Second International Symposium on Anaerobic Digestion held in Travemunde, Federal Republic of Germany, on 6-11 September, 1981.

Hulshoff, L.W.P., W.J. de Zeeuw, C.T.M. Velzeboer and G.Lettinga, Granulation in UASB-Reactor. Wat. Sci. Tech, 1983: pp. 291-304.

Hulshoff, L.W.P., J. Dolfing, K.Van Straten, W.J.de Zeeuw and G.Lettinga, 1983 b. Pelletization of Anaerobic Sludge in UASB Reactor on sucrose containing substrates. Proc. 3rd Int. Symp. on Microbial Ecology, East Lansing, Michigan, Aug 8-12, 1983.

Jannasch, H.W. and R.I. Mateles, Advance in Microbial. Physiology, 1974: pp. 180-185.

Jeris, J.S. and McCarty.P.L., The Biochemistry of Methane Fermentation Using C14 tracers. JWPCF V.37, No.2, 1966.

Kerby, F. Fannin., D.P. Chynoweth, S. Ghosh and V.J. Srivastava, 1980. Anaerobic process, JWPCF, V.32, 1980: pp. 1182-1205.

Kirsch.E.G., Sykes, R.M., Anaerobic Digestion in Biological Waste Treatment. Progress in Industrial Microbiology, 1971.

Lane, A.G. 1981. Process operation and monitoring. Proceeding of the first ASEAN Seminar workshop on biogas technology, Manila Philipines, March 16-20, 1981: pp. 353-367.

Lawrence, A.W. and McCarty, P.L., Kinetic of Methane Fermentation in Anaerobic Treatment. JWPCF, Vol.41, No.2, 1969.

Lettinga, G., et.al., Anaerobic Waste Water Treatment Based on Biomass Retention with Emphasis on the UASB Process. Presented in Proceedings of the Fourth International Symposium on Anaerbic Digestion held in Guanyzhou, China, 11-15 Nov., 1985: pp. 279-301

McCarty, P.L., Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. part 1, 2, 3, and 4, Public works, 1964.

Mosey, F.E., and Hughes, D.A., The Toxicity of Heavy Metal Ions to Anaerobic Digestion. Jour. Water Poll. Control Fed., 47(1), 1975: pp. 18-39.

Rimkus, R.R., Full-Scale Thermophilic Digestion at the West-Southwest Sewage Treatment Works. Chicago, Illinois, Jour. Water Poll. Control Fed., 54(11), 1982: pp. 1447-1457.

Sanchez.F.R.P. Cardoba and F. Sinerigt, Use of the Reactor for the Anaerobic Treatment of Stillage from Sugar Cane Mallases. Biotech and Bioeng., 1985: pp. 1710-1716.

Souza, M.E., Criteria for the Utilization Design and Operation of UASB Reactors. Wat. Sci. Tech , 1986: pp. 55-69.

Speece, R.E. Nutrient Reguirement, Anaerobic Digestion of Biomass. U.S.A. Chynoweth, D.P. and Isaacson, R.Elsevier Applied Science Publisher, 1987: pp. 109-128.

Stadman, T.C. and Barker, H.A., Studies on the Methane Fermentation. IX. The origin of Methane in the acetate and methanol fermentation by Methanosarcina. J.Bact.61, 1951.

Stafford, J.T., Leitter, M. and Worland, J.R., Anaerobic Digestion U.S.A.: Applied Science Publishing, 1980.

Toerien, D.F., et al, The Bacteria Nature of the Acid Forming Phase of Anaerovic Digestion. Water Research Vol.5, 1967.

Toerien, D.F., and Hattingh, W.H.J., Anaerobic Digestion I - The Microbiology of Anaerobic Digestion. Water Research, Pergaman Press, Vol.2, 1969.

Toerien, D.E., Thiel, P.G., and Pretorius: W.A., Substrate flow in Anaerobic Digestion. Adv. Water Pollution Research, 11, 1970.

Van der Meer, R.R. and R. de Vletter., Anaerobic Treatment of Waste Water: The Gas-Liquid-Sludge Separater. JWPCF, 19??: pp. 1482-1492.

Wiegant, W.M. and A.W.A. de Man, Granulation of Biomass in Thermophil up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactors Treating Acidfied Wastewater. Biotech and Bioeng. 28, 1985: pp. 718-722.

Wiegant, W.M. and G. Lettinga, Thermophilic Anaerobic Digestion of Sugar in up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. Biotech and Bioengineering 27, 1985: pp. 1603-1607.

Whitomer, T.N., D.Leoyed, Jones and T.N. Williams, Hydrogen Dependent Control of the Continuous Anaerobic Digestion Process. Appl. Microbial. Biotechnol. 26, 1987: pp. 383-388.

Wolfe, R.S., Microbial Fermentation of Methane. Adv. Microbiology Physiol, Vol.6, 1971.

Zeikus, J.G., Microbial Populations in Digesters. First Int. Symp. on Anaerobic Digestion, Ed. D.A. stafford, B.I. Wheatley and D.E.Huges, Applied Science Publishers Ltd., London. Proceedings of 1st Int. Symp. On Anaerobic Digestion, held at University College Cardiff, Wales, September 1979: pp. 69-89.

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

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำกากส่าในการทดลอง

ภาคผนวก ก.1 การวิเคราะห์ COD (Chemical Oxygen Demand)

เครื่องมือ

เตา Reflux พร้อม condensor แบบ 6 เตาติดกัน

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่ง 0.4 gm.$HgSO_4$ ใส่ลงใน Reflux flask 500 ml.

2. เติมตัวอย่างที่เจือจางให้ COD อยู่ในช่วงที่พอเหมาะแล้วลงไป 20 ml.

3. เติม std. 0.250 N.$K_2Cr_2O_7$ 10 ml.

4. ค่อย ๆ เติม conc.H_2SO_4 ที่มี $AgSO_4$ (อัตราส่วน $AgSO_4$:con.H_2SO_4 เท่ากับ1 gm. : 30 ml.) ลงไป 30 ml. นำไปต่อกับ condensor (ห้ามเขย่าจนกว่าจะต่อเข้ากับ condensor แล้ว)

5. Reflux เป็นเวลา 2 ชม. ปล่อยให้เย็น ฉีดล้างส่วนที่ติดค้างอยู่ใน condensor ด้วยน้ำกลั่นแล้วจึงถอดออกจาก condensor

6. เจือจางให้มีปริมาตรรวมประมาณ 140 ml. ปล่อยให้เย็น

7. titrateกับ approx. 0.1 N.Fe $(NH_4)_2(SO_4)_2$ โดยให้หยดFerroin indicator ลงไป 3 - 4 หยด ที่ end point สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียวไปเป็นสีน้ำตาลแดง

8. ทำ blank ทุกครั้งโดยใช้น้ำกลั่น 20 ml. แทนตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{COD mg/l} = \frac{N\,(B-S) \times 8{,}000}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (ml.)}}$$

เมื่อ B = ml. $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้ titrate กับ blank

S = ml. $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้ titrate กับตัวอย่าง

N = Normality of $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$

หมายเหตุ

1. การเจือจางตัวอย่างน้ำทากส่าให้มี COD อยู่ในช่วงที่พอเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์นั้น

กรณีที่เป็นน้ำทากส่าสด ให้เจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์ในอัตราส่วน 1:500 ถ้าเป็นน้ำทากส่าที่ผ่านเข้าระบบบำบัดแล้ว ให้เจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์ในอัตราส่วน 1 :200 ถึง 1 : 100 ตามอายุของน้ำทากส่าที่ได้รับการบำบัด

2. การเตรียมและการหาความเข้มข้นที่แท้จริงของ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$

ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 39 gm. ในน้ำกลั่น เติม conc.H_2SO_4 20 ml. คนให้ละลายและทำให้เย็น เจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตร สารละลายนี้ต้อง standardize ก่อนที่จะนำไปใช้ทุกครั้ง โดยเจือจาง Std. 0.250 N.$K_2Cr_2O_7$ 10 ml. ให้มีปริมาตร 100 ml. โดยประมาณ เติม conc.H_2SO_4 30 ml. ตั้งไว้ในที่มีดประมาณ 5 นาที ปล่อยให้เย็น นำมา titrate ด้วย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ โดยใช้ Ferroin เป็น indicator

ภาคผนวก ก.2 พีเอช (pH)

เป็นค่าแสดงความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน (H^+) ในน้ำโดยคำนวณได้จากสูตร

$pH = -\log H^+$

เมื่อ H^+ = ความเข้มข้นของ H^+ ที่มีหน่วยเป็นโมลต่อ ลบ.ดม.(ลูกบาศก์เดซิเมตร)

ในทางปฏิบัติ ค่าพีเอช แสดงถึง ความเป็นกรด ด่าง ของน้ำทิ้ง น้ำทิ้งที่มีค่าเป็นกรดมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 เป็นด่างมีค่าพีเอชมากกว่า 7 และเป็นกลางมีค่าพีเอชเท่ากับ 7

1. ใช้กระดาษพีเอชซึ่งมีการเปลี่ยนสีไปตามค่าพีเอชของสารละลายที่ต้องการวัด เมื่อนำมาเทียบกับแถบสีมาตรฐานจะได้ค่าพีเอชโดยประมาณ

2. ใช้เทียบสีกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าพีเอช โดยการเติมอินดิเคเตอร์ (indicator) ปริมาณเท่า ๆ กัน วิธีนี้จะวัดค่าพีเอชได้ละเอียดกว่าใช้กระดาษ และสีจะคงทนอยู่นานกว่า แต่อาจเกิดข้อผิดพลาดในกรณีที่สารละลายตัวอย่างมีสี

3. ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) ซึ่งมีอยู่หลายแบบขึ้นกับค่าความละเอียดที่ต้องการ

วิธีการหาค่าพีเอชโดยใช้เครื่องวัด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. pH meter

2. บีกเกอร์ (beaker)

วิธีการวัด

หลักการหาค่าพีเอชด้วย pH meter โดยทั่ว ๆ ไป

1. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างแท่งแก้วอิเล็กโทรดและคาร์โบเทลอิเล็กโทรดให้สะอาด ใช้กระดาษทิชชูซับน้ำให้แห้ง

2. ปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐานตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่องมือนั้น ๆ ด้วยสารละลายมาตรฐานที่มีค่าพีเอชใกล้เคียงกับสารละลายที่ต้องการวัด

3. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเล็กโทรดอีกครั้ง ซับน้ำให้แห้ง

4. วัดค่าพีเอชของสารละลายตัวอย่าง (สารละลายตัวอย่างที่นำมาหาค่าต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิสารละลายมาตรฐานในข้อ 2)

หมายเหตุ : รายละเอียดนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว จะอ่านได้จากคู่มือประจำเครื่อง

ภาคผนวก ก.3 การหาปริมาณกรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids, VFA)

เครื่องมือ

1. เครื่อง Centrifuge

2. ชุดกลั่น

3. Round bottom (boiling) flask ขนาด 500 ml.

4. Erlenmeyer flask ขนาด 500 ml.

5. Measuring cylinder ขนาด 200 ml.

6. Pipette ขนาด 10 ml.

7. Burette ขนาด 25 ml.

วิธีวิเคราะห์

1. Centrifuge ตัวอย่างน้ำกากส่า 200 ml. ที่ 2,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที

2. นำเอาส่วนใสมาวิเคราะห์ โดยปิเปตมา 10 ml. ใส่ใน boiling flask

3. เติมน้ำกลั่นให้ครบ 200 ml., H_2SO_4 (1 + 1) 5 ml., glass bead 4 - 5 เม็ด

4. ต่อเข้ากับชุดกลั่น ใช้กระบอกตวงรองรับ distillate

5. กลั่นในอัตรา 5 ml./นาที, เก็บ distillate 150 ml.

6. นำมา titrate กับ 0.1 N.NaOH ใช้ Phenolphthalein เป็น indicator

7. ทำ blank เปรียบเทียบค่าโดยใช้น้ำกลั่น

การคำนวณ

$$\text{VFA mg/l (as Acetic acid)} = \frac{\text{ปริมาณ 0.1N.NaOH ที่ใช้ไทเทรต} \times 6,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำกากส่า} \times 0.7}$$

ภาคผนวก ก. 4 การหาปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS)

เครื่องมือ

1. Suction pump

2. Suction flask ขนาด 2 l.

3. กระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 ซม.

4. Buchner funnel ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ซม.

5. Desiccator

6. Analytical balance

7. Pipette ขนาด 50 ml.

8. Cylinder ขนาด 100 ml.

การเตรียมเครื่องมือ

1. วางกระดาษกรอง GF/C ลงใน buchner funnel เอาด้านย่นขึ้นข้างบน

2. ต่อ buchner funnel เข้ากับ suction flask, เปิดเครื่อง, เอาน้ำกลั่นฉีดล้าง 2 - 3 ครั้ง

3. นำกระดาษกรอง GF/C ออก, ใส่ plate อบแห้งที่ 103 - 105°C, 1 ชม.

4. ถ่ายใส่ desiccator, ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

5. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองที่แน่นอน, อบซ้ำอีกจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

วิธีวิเคราะห์

1. ต่อชุด Suction ให้พร้อม, วางกระดาษกรอง GF/C ใน buchner funnel

2. เปิด Suction, ฉีดน้ำกลั่นเล็กน้อยพอให้กระดาษชื้นแนบกับก้น funnel

3. เขย่าน้ำกากส่าให้เข้ากัน, ใช้ pipette ดูดมา 50 ml.

4. ค่อย ๆ ปล่อยลงบนแผ่นกระดาษกรองโดยกระจายให้ทั่วแผ่น, ฉีดล้างน้ำกากส่าส่วนที่ติดอยู่ด้วยน้ำกลั่น 2 - 3 ครั้ง (โดยใช้ปริมาณเล็กน้อย)

5. รอจนน้ำแห้ง, ถ่ายกระดาษกรอง GF/C ลงใน plate เดิมที่เคยใส่

6. อบแห้งในตู้อบ 103 - 105°C, 1 ชม. ทำให้เย็นใน desiccator

7. ชั่งน้ำหนักของตะกอนที่ได้, ทำการอบซ้ำ จนน้ำหนักคงที่

การคำนวณ

$$SS\ mg/l = \frac{(A - B) \times 1,000}{C}$$

เมื่อ A = น้ำหนัก gooch crucible + น้ำหนัก GF/C + น้ำหนักตะกอน

B = น้ำหนัก gooch crucible + น้ำหนัก GF/C

C = ปริมาตรน้ำกากส่าตัวอย่างที่ใช้

หมายเหตุ

สารละลายที่ได้จากการกรอง (filtrate) นำไปหา Total Dissolved Solids (TDS)

การคำนวณ MLSS จาก SS

$$MLSS = \frac{SS}{\text{ปริมาตรของ digestor}}$$

ภาคผนวก ก.5 วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สโดยวิธี Orsat Analysis

หลักการ คือ การวัดปริมาตรที่ลดลงของแก๊ส เมื่อแก๊สนั้นผ่านสารละลายที่เหมาะสม ที่ความดันและอุณหภูมิคงที่

เครื่องมือ

ชุดเครื่องมือ Orsat

รีเอเจนต์

1. NaCl + H_2SO_4 pH ประมาณ 3 - 5
2. BaOH Solution อิ่มตัว

วิธีวิเคราะห์

1. เติมสารละลาย NaCl + H_2SO_4 ให้เต็มในบิวเร็ต

2. ผ่านแก๊สที่ต้องการวิเคราะห์เข้ามาในบิวเร็ต ในจำนวนปริมาตรหนึ่งที่ต้องการอ่านปริมาตร และจดบันทึก (ต้องปรับความดันในบิวเร็ตให้เท่ากับความดันภายนอกเสียก่อน โดยยกขวดสารละลาย NaCl + H_2SO_4 ที่ต่อติดอยู่กับบิวเร็ต ให้ระดับน้ำทั้งสองที่อยู่ในระดับเดียวกัน)

3. ไล่แก๊สที่เก็บอยู่ในบิวเร็ตให้ผ่านไปในหลอดที่มีสารละลาย BaOH

4. ไล่แก๊สจากหลอดสารละลาย BaOH ให้กลับมาอยู่ในบิวเร็ต

5. ทำซ้ำข้อ 3 และ 4 จนกระทั่งปริมาตรแก๊สในบิวเร็ตคงที่ อ่านค่าปริมาตรแก๊สที่เหลือ

การคำนวณ

$$\% CO_2 = \frac{\text{ปริมาตรที่อ่านได้ก่อนผ่านสารละลาย} - \text{ปริมาตรหลังผ่านสารละลาย}}{\text{ปริมาตรก่อนผ่านสารละลาย}} \times 100$$

ภาคผนวก ก.6 การหาค่า Alkalinity (Alk.)

เครื่องมือ

1. pH meter
2. Stirrer plate, magnetic bar
3. Beaker ขนาด 500 ml.
4. Pipette ขนาด 10 ml.
5. Burette ขนาด 25 ml.
6. Measuring cylinder ขนาด 100 ml.

วิธีวิเคราะห์

1. Standardize pH meter ด้วย buffer solution 4 และ 7 จนค่าคงที่

2. pipette น้ำกากส่า 10 ml.(ตัวอย่างเดียวกับที่หา VFA) ใส่ใน beaker ขนาด 500 ml.

3. เติมน้ำกลั่น เป็น 100 ml. ผสมให้เข้ากันด้วย magnetic stirrer

4. titrate ด้วย 0.1 N.HCl จนกระทั่ง pH เป็น 4 (ใช้ pH meterวัด)

5. จดปริมาตร HCl ที่ใช้

การคำนวณ

$$\text{Alk. mg/l (as } CaCO_3) = \frac{\text{ปริมาณ 0.1 N.HCl ที่ใช้} \times 50{,}000 \times N}{\text{ปริมาณน้ำกากส่าที่ใช้}}$$

เมื่อ N = Normality ของ HCl

ภาคผนวก ข. ข้อมูลในการทดลอง

ภาคผนวก ข.1 ข้อมูลเดินระบบยูเอเอสบี

Parameter		specific loading rate (kgCOD/m3d)				
		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
COD	mg/l	38462	41668	46875	54687	58831
pH.inf.	-	6.01	5.98	7.2	6.95	6.67
pH.eff.	-	7.54	7.66	7.67	7.59	7.35
VFA.inf.	mg/l	2714	2742	2794	2975	3211
VFA.inreac.	mg/l	4157	4315	4423	4920	5713
VFA.eff.	mg/l	180	183	183	216	224
Alk.inf.	mg/l	2750	2150	2573	2134	2317
Alk.eff.	mg/l	6150	6318	6701	6115	6513
GPR	m3/d	1703	2280	3012	3624	4267
Gas Yield	m3/kgCOD.re.	0.037	0.397	0.414	0.425	0.431
flow rate	m3/d	156	180	192	192	204
COD.reduc.	%	54.74	60.5	61.4	64.7	68.4
Methane	%	62	63	62	65	65
CO2	%	38	37	38	35	35
Recycle	m3/d	420	420	420	420	420

ตาราง ข.2 ข้อมูลของตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2 กก.ซีโอดี/ม^3.วัน

ระดับความสูง	ตะกอนขนาดใหญ่กว่า 1 มม.			ตะกอนขนาด 0.5-1 มม.			ตะกอนขนาดเล็กกว่า 0.5 มม.		
(เมตร)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)
0.25	0.1120	11.62	0.0040	0.1520	15.77	0.0050	33.42	3467.33	1.156
0.50	0.3480	36.11	0.0120	0.1985	20.59	0.0070	35.68	3708.80	1.236
0.75	0.0660	6.85	0.0020	0.1030	10.69	0.0035	25.14	2608.28	0.869
1.00	0.0800	8.30	0.0030	0.1230	12.76	0.0040	24.50	2541.88	0.847
2.00	0.0610	25.32	0.0080	0.0840	34.86	0.0120	24.81	10296.15	3.432
3.00	0.0115	4.77	0.0015	0.0313	12.99	0.0040	18.78	7793.70	2.598
4.00	0.1130	46.89	0.0160	0.0208	8.63	0.0030	20.34	8441.10	2.814

ตาราง ข.3 ข้อมูลของตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2.5 กก.ซีโอดี/ม^3.วัน

ระดับความสูง	ตะกอนขนาดใหญ่กว่า 1 มม.			ตะกอนขนาด 0.5-1 มม.			ตะกอนขนาดเล็กกว่า 0.5 มม.		
(เมตร)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)
0.25	0.3120	32.37	0.0110	0.2480	25.73	0.0085	31.00	3216.25	1.072
0.50	0.3890	40.36	0.0130	0.3440	35.69	0.0120	31.68	3286.80	1.096
0.75	0.1320	13.70	0.0045	0.1596	16.56	0.0055	26.86	2786.73	0.929
1.00	0.1390	14.42	0.0050	0.1948	20.21	0.0070	32.08	3328.30	1.109
2.00	0.0160	6.64	0.0020	0.0440	4.57	0.0015	19.40	8051.00	2.684
3.00	0.0120	4.98	0.0016	0.0597	24.78	0.0080	21.10	8756.00	2.919
4.00	0.0250	10.38	0.0030	0.0549	22.78	0.0075	19.68	8167.20	2.722

ตาราง ข.4 ข้อมูลของตะกอนจุลินทรีย์ที่อัดราป้อนสารอินทรีย์ 3 กก.ซีโอดี/ม^3.วัน

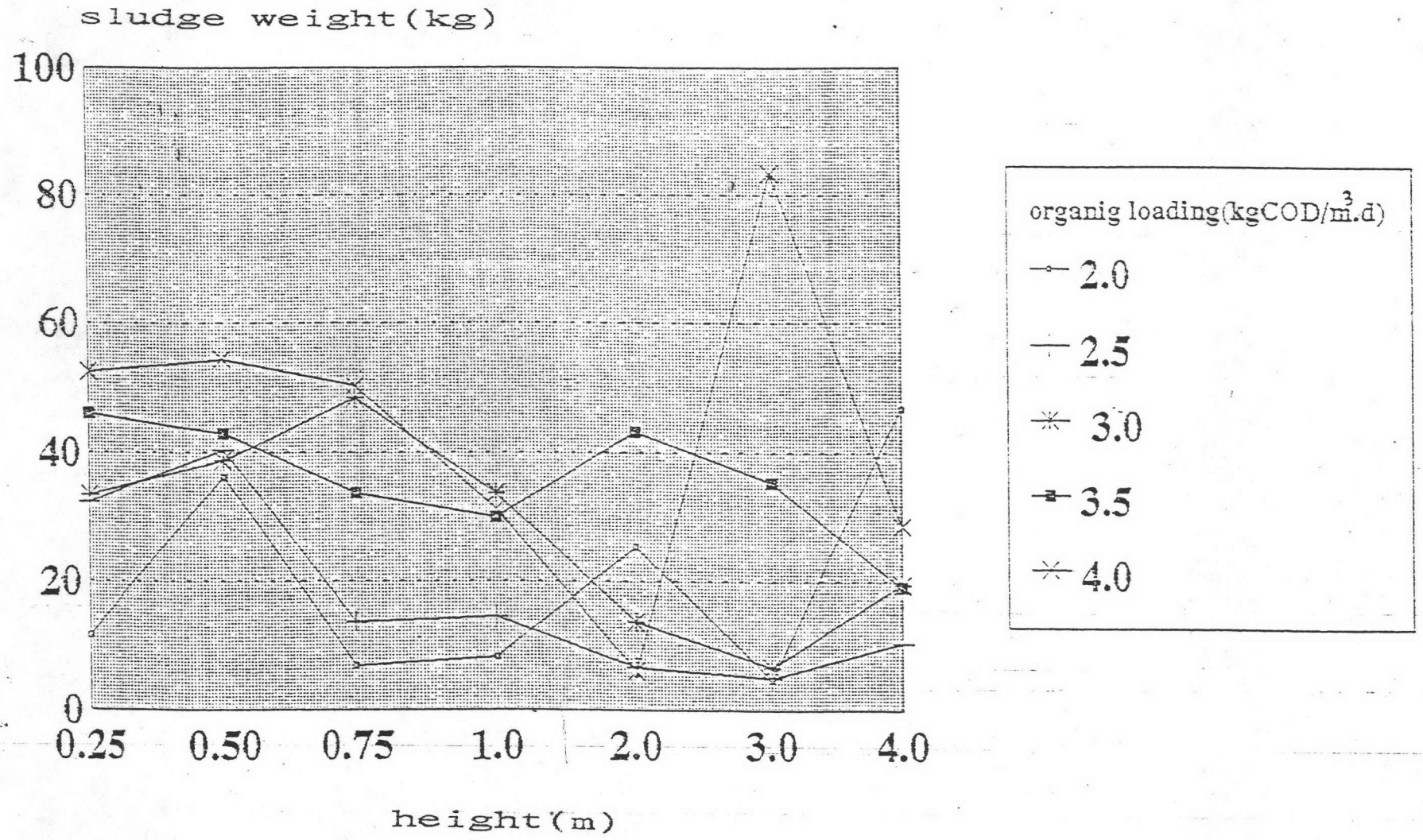
ระดับความสูง	ตะกอนขนาดใหญ่กว่า 1 มม.			ตะกอนขนาด 0.5-1 มม.			ตะกอนขนาดเล็กกว่า 0.5 มม.		
(เมตร)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)
0.25	0.3220	33.41	0.0111	0.4550	47.21	0.0140	25.30	2624.87	0.875
0.50	0.3730	38.70	0.0130	0.2120	22.00	0.0070	33.30	3454.88	1.152
0.75	0.4670	48.45	0.0160	0.3090	32.06	0.0110	26.52	2751.45	0.917
1.00	0.3250	33.72	0.0112	0.2780	28.84	0.0096	24.82	2575.07	0.858
2.00	0.0330	13.70	0.0050	0.0630	26.15	0.0090	19.08	7918.20	2.639
3.00	0.0160	6.65	0.0020	0.0570	23.66	0.0078	19.86	8241.90	2.747
4.00	0.0260	19.79	0.0070	0.0700	29.05	0.0100	18.86	7826.90	2.609

ตาราง ข.5 ข้อมูลของตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีโอดี/ม^3.วัน

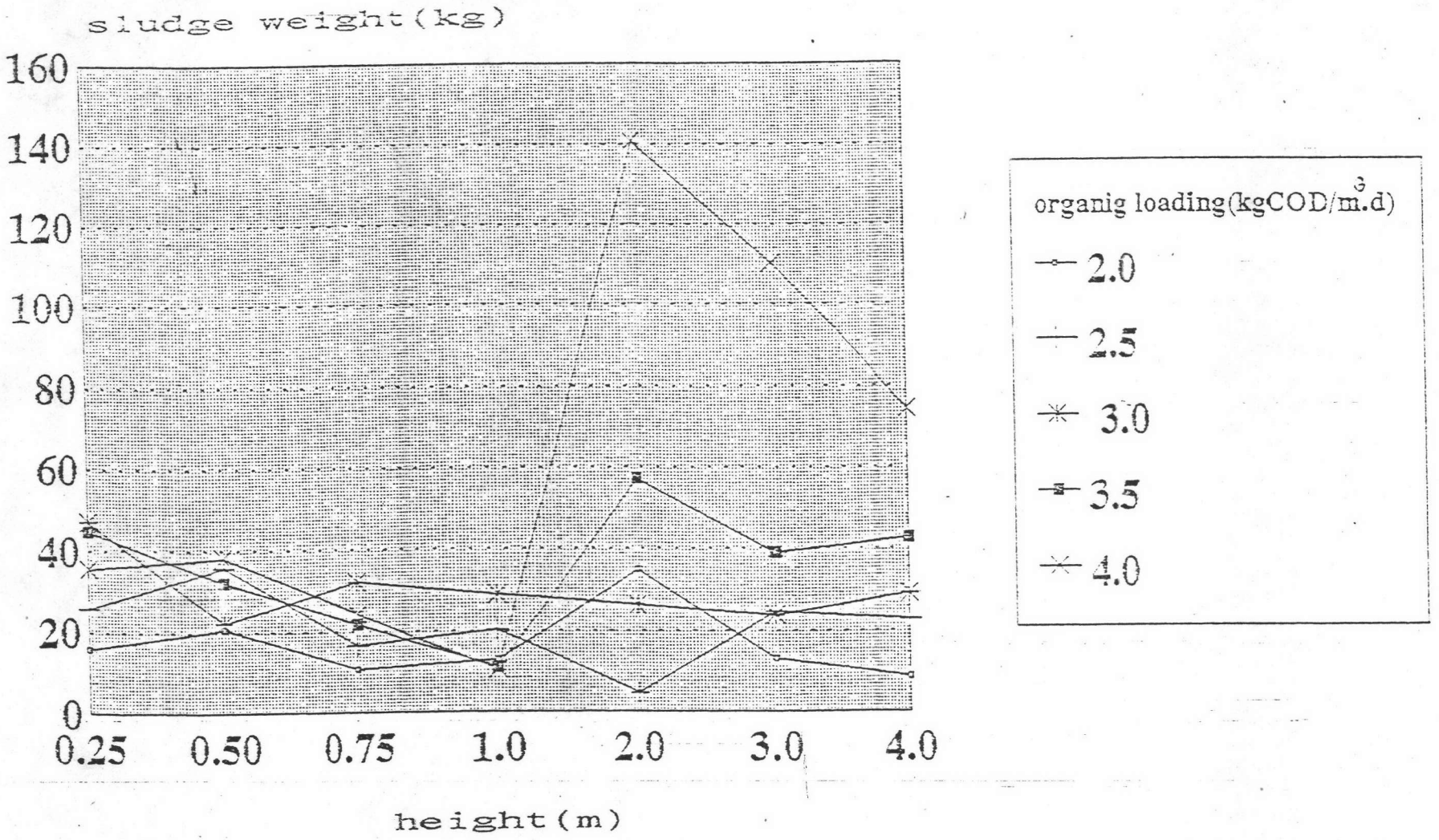
ระดับความสูง	ตะกอนขนาดใหญ่กว่า 1 มม.			ตะกอนขนาด 0.5-1 มม.			ตะกอนขนาดเล็กกว่า 0.5 มม.		
(เมตร)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม^3.ถังหมัก)
0.25	0.4431	45.97	0.0150	0.4330	44.92	0.0150	28.74	2981.78	0.994
0.50	0.4130	42.88	0.0140	0.3090	32.06	0.0110	27.36	2838.60	0.946
0.75	0.3250	33.72	0.0110	0.2080	21.58	0.0070	25.29	2623.84	0.875
1.00	0.2880	29.88	0.0099	0.1060	11.00	0.0040	23.96	2485.85	0.829
2.00	0.1040	43.16	0.0146	0.1380	57.27	0.0190	21.86	9071.90	3.024
3.00	0.0850	35.28	0.0120	0.0490	39.01	0.0130	20.00	8300.00	2.767
4.00	0.0460	19.09	0.0060	0.1030	42.75	0.0140	18.95	7864.25	2.621

ตาราง ข.6 ข้อมูลของตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ม.ก.วัน

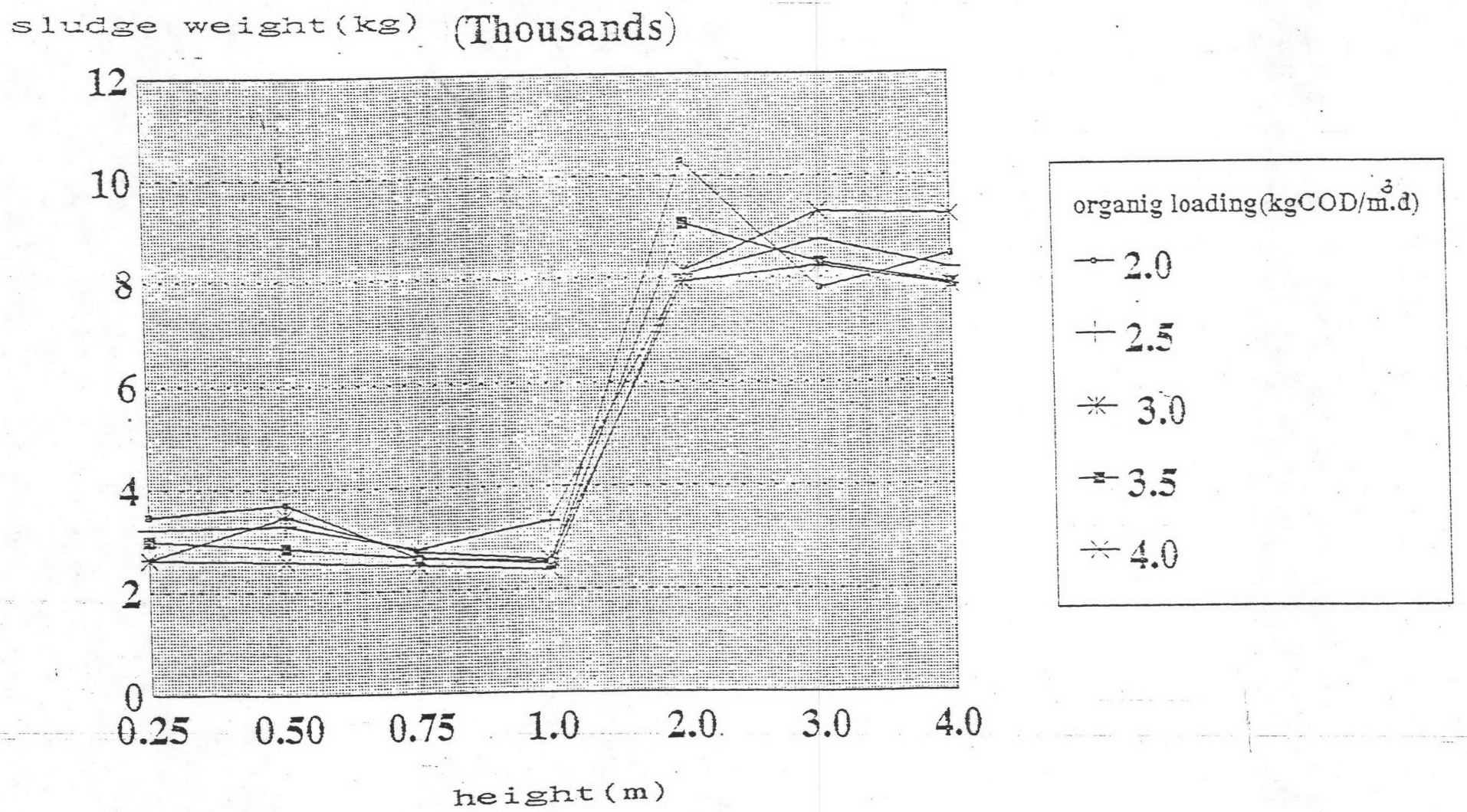
ระดับความสูง	ตะกอนขนาดใหญ่กว่า 1 มม.			ตะกอนขนาด 0.5-1 มม.			ตะกอนขนาดเล็กกว่า 0.5 มม.		
(เมตร)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม3.ถังหมัก)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม3.ถังหมัก)	ความเข้มข้น (ก/ล)	ปริมาณ (กก.)	ปริมาณ/ขนาดถัง (กก./ม3.ถังหมัก)
0.25	0.5060	52.50	0.0110	0.3430	35.59	0.0120	25.14	2608.27	0.869
0.50	0.5250	54.47	0.0180	0.3680	38.18	0.0130	24.84	2577.15	0.859
0.75	0.4850	50.32	0.0170	0.2330	24.17	0.0080	23.90	2479.63	0.827
1.00	0.3010	31.23	0.0100	0.1010	10.48	0.0030	22.93	2378.99	0.793
2.00	0.0147	6.10	0.0020	0.3390	140.69	0.0470	19.60	8134.00	2.711
3.00	0.2010	83.42	0.0280	0.2660	110.39	0.0370	22.44	9312.60	3.104
4.00	0.0690	28.64	0.0095	0.1790	74.29	0.0250	22.21	9217.15	3.072



รูป ข.1 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (กก.) ของตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่า 1.0 มม. ที่ความสูง และอัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ

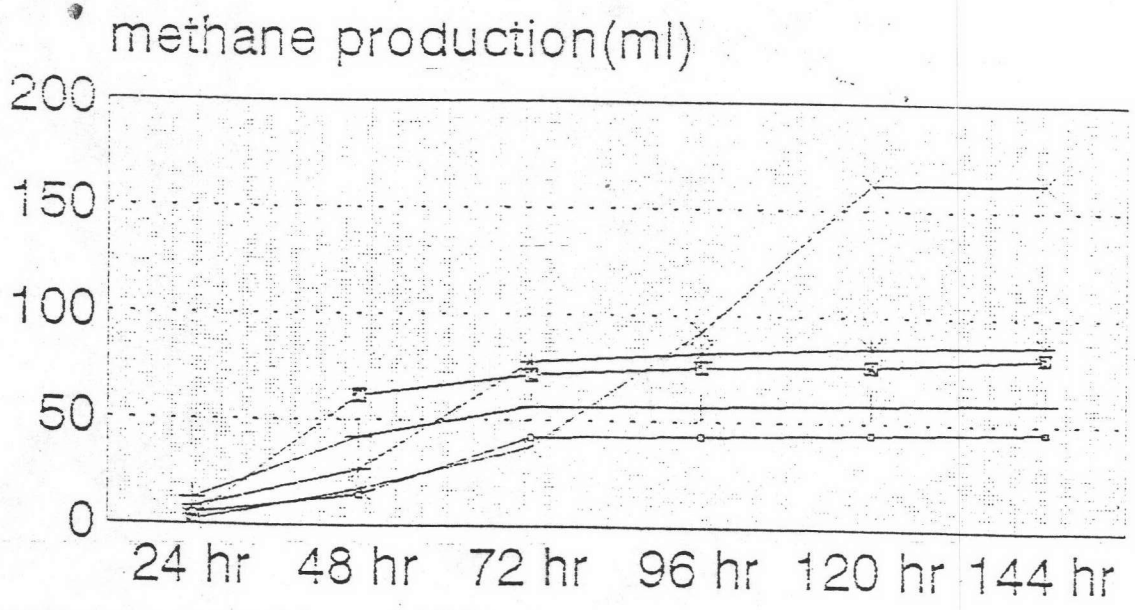


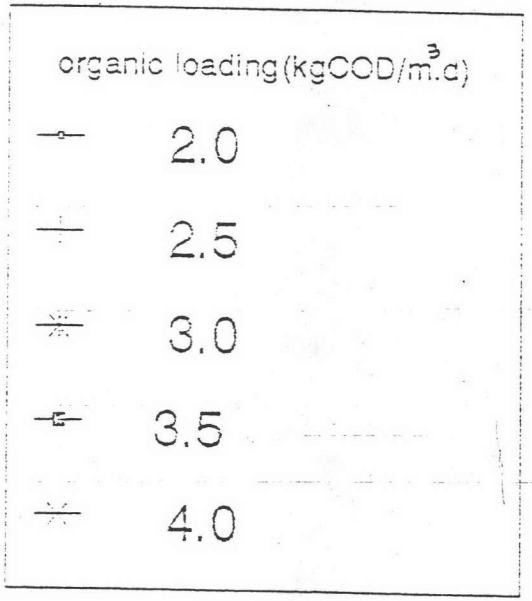
รูป ข.2 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (กก.) ของตะกอนที่มีขนาด 0.5 - 1.0 มม.
ที่ความสูง และอัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ



รูป ข.3 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (กก.) ของตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 มม. ที่ความสูง และอัตราบ้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ

ตาราง ข.7 อัตราการผลิตแก๊สมีเทน ของตะกอนจุลินทรีย์ ที่ความสูง 0.25 เมตร

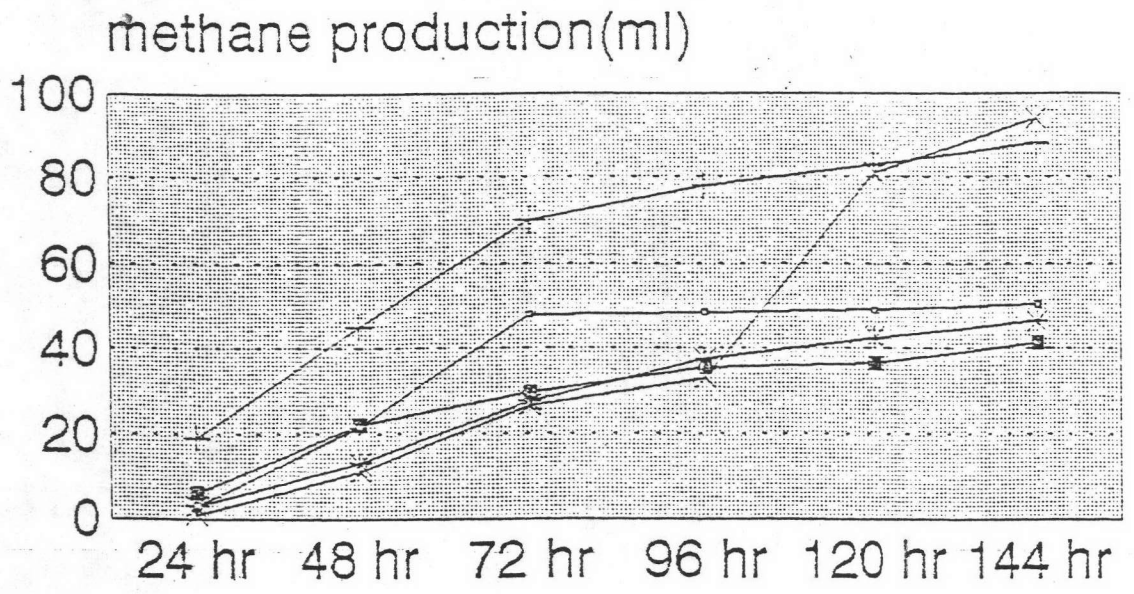


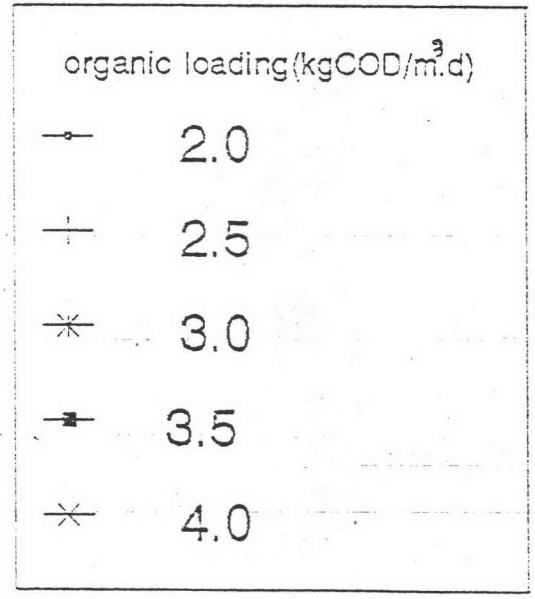


2.0	5	14	41.56	42.56	44	46
2.5	12	41.5	56	56.5	58	59.5
3.0	8	26	77	82	85	87
3.5	3	61	71	75	76	8
4.0	2	17	37	92	162	163

HRT(hr)

ตาราง ข.8 อัตราการผลิตแก๊สมีเทน ของตะกอนจุลินทรีย์ ที่ความสูง 0.50 เมตร

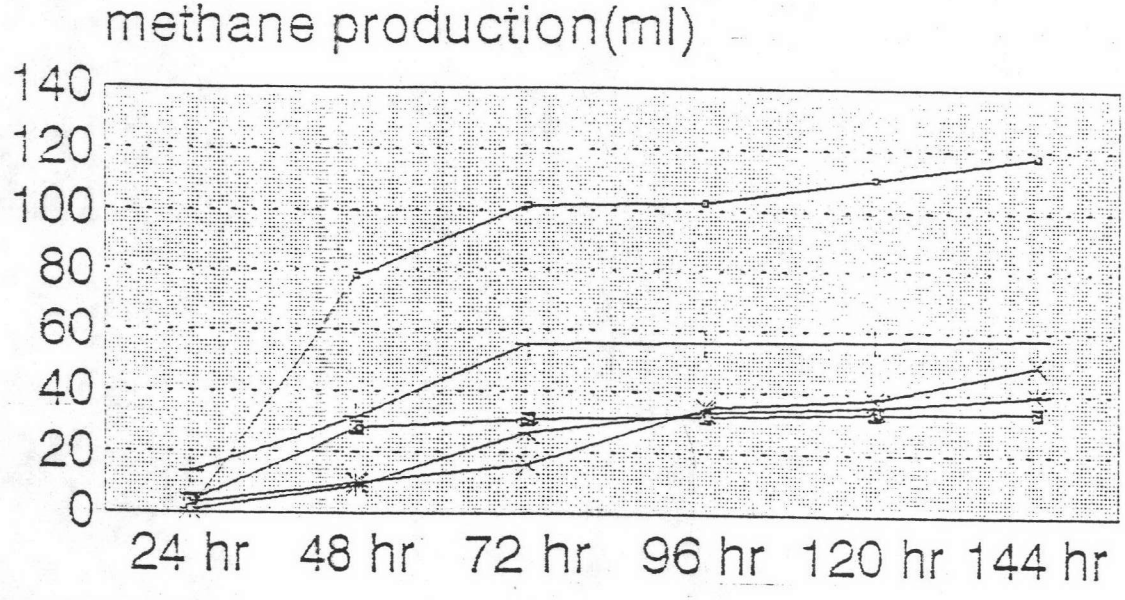


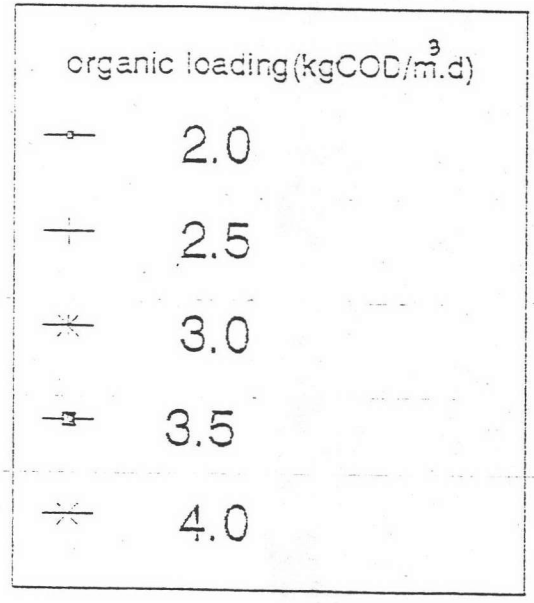


2.0	3	21.5	48	48.5	49.05	50.5
2.5	19	45	70	78	83	88
3.0	3	13	27.5	37.5	42.5	46.5
3.5	6	22	29.5	35.5	36.5	41.5
4.0	1	11	26.5	33	81	94

HRT(hr)

ตาราง ข.9 อัตราการผลิตแก๊สมีเทน ของตะกอนจุลินทรีย์ ที่ความสูง 0.75 เมตร

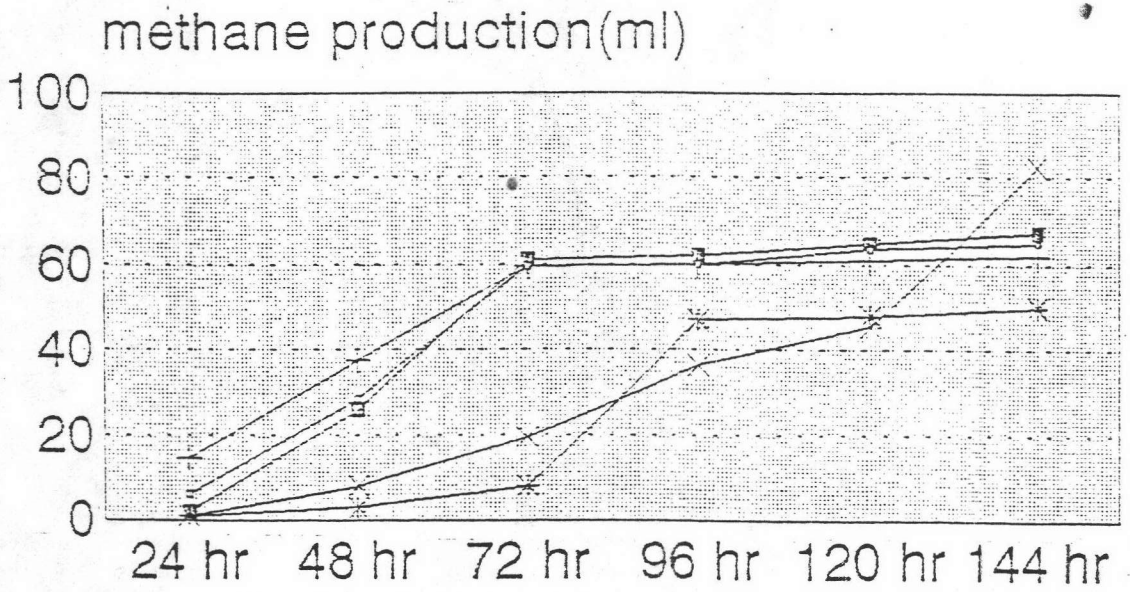




2.0	1	78	101.5	102.5	110.5	118
2.5	13.5	31.5	55.5	56	57	58
3.0	1	9	26.5	33.5	35.5	39.5
3.5	4	28	31	32	33.5	34
4.0	3	10	16	35	38	49.5

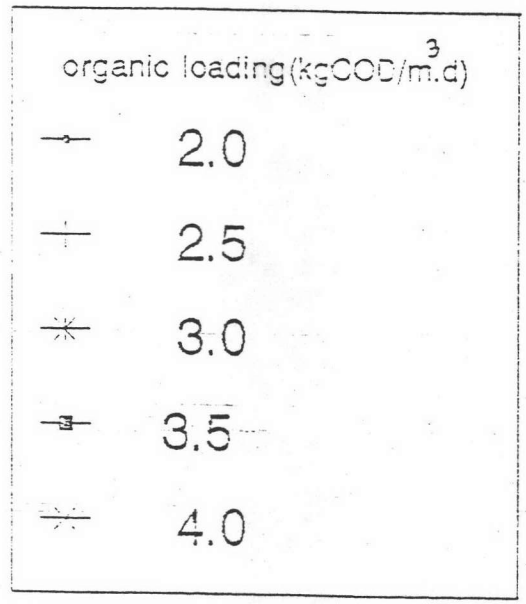
HRT(hr)

ตาราง ข.10 อัตราการผลิตแก๊สมีเทน ของตะกอนจุลินทรีย์ ที่ความสูง 1.0 เมตร

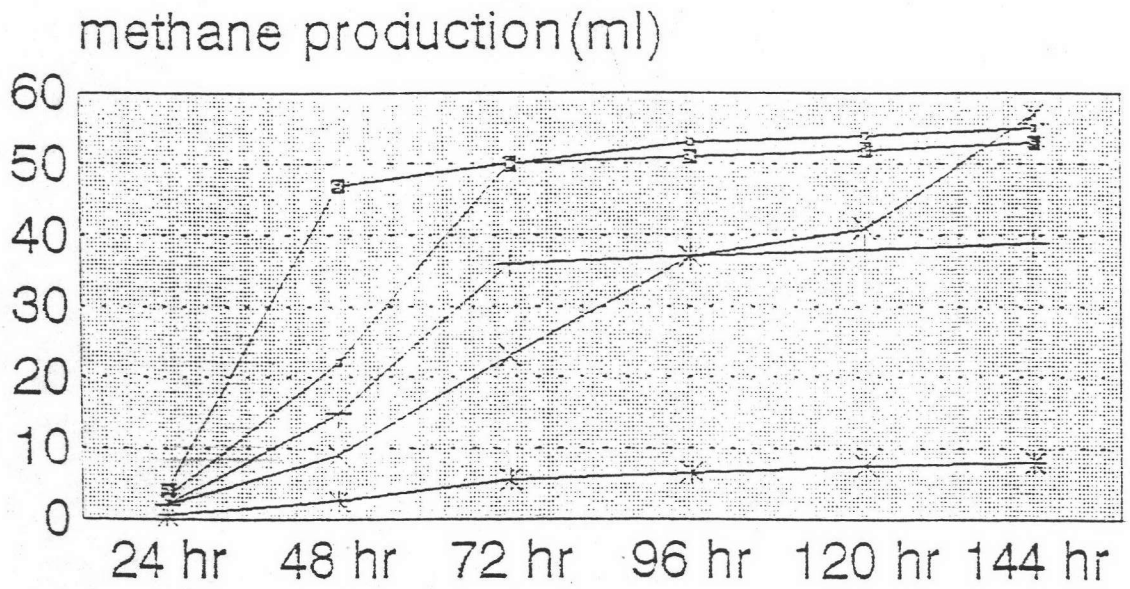


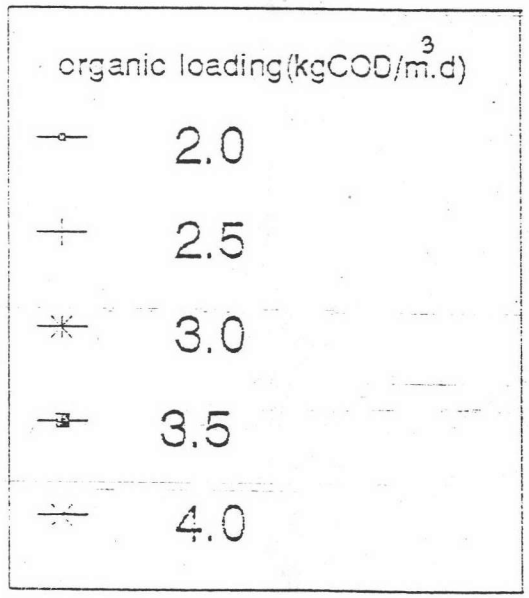
2.0	6	28.5	59.5	60	63.5	65
2.5	14.5	37.5	59.5	60	61	62
3.0	1	3	8	47	48	50
3.5	2	26	61	62	65	67.5
4.0	1	8	19.5	36.5	45.5	82.5

HRT(hr)



ตาราง ข.11 อัตราการผลิตแก๊สมีเทน ของตะกอนจุลินทรีย์ ที่ความสูง 2.0 เมตร

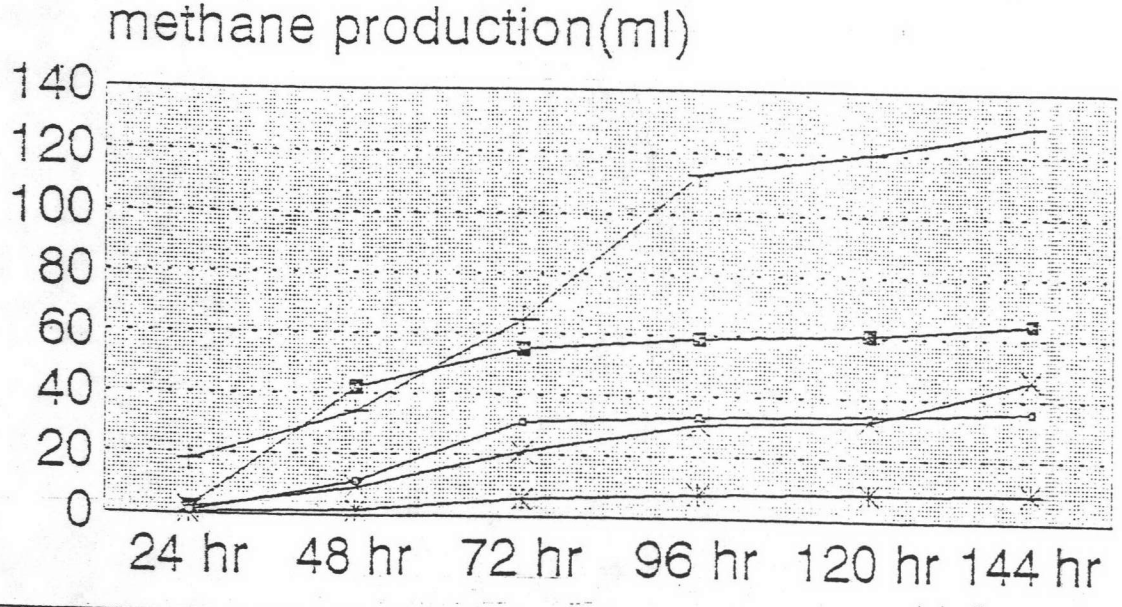


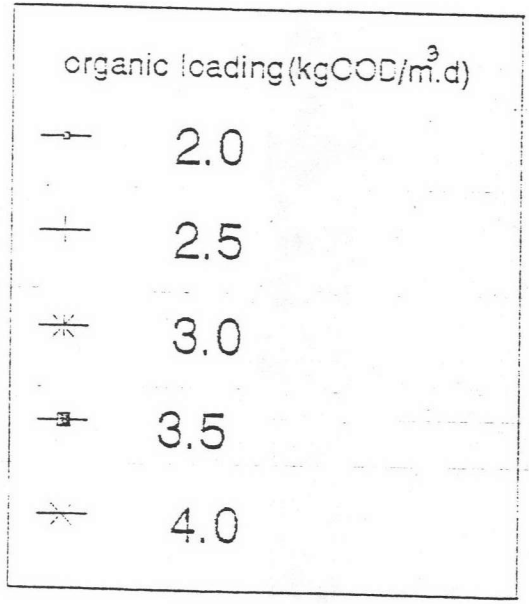


2.0	3	22	50	53	54	55
2.5	2	15	36	37	38	39
3.0	0.5	2.5	5.5	6.5	7.5	8
3.5	4	47	50	51	52	53
4.0	2	9	23	37	41	57

HRT(hr)

ตาราง ข.12 อัตราการผลิตแก๊สมีเทน ของตะกอนจุลินทรีย์ ที่ความสูง 3.0 เมตร

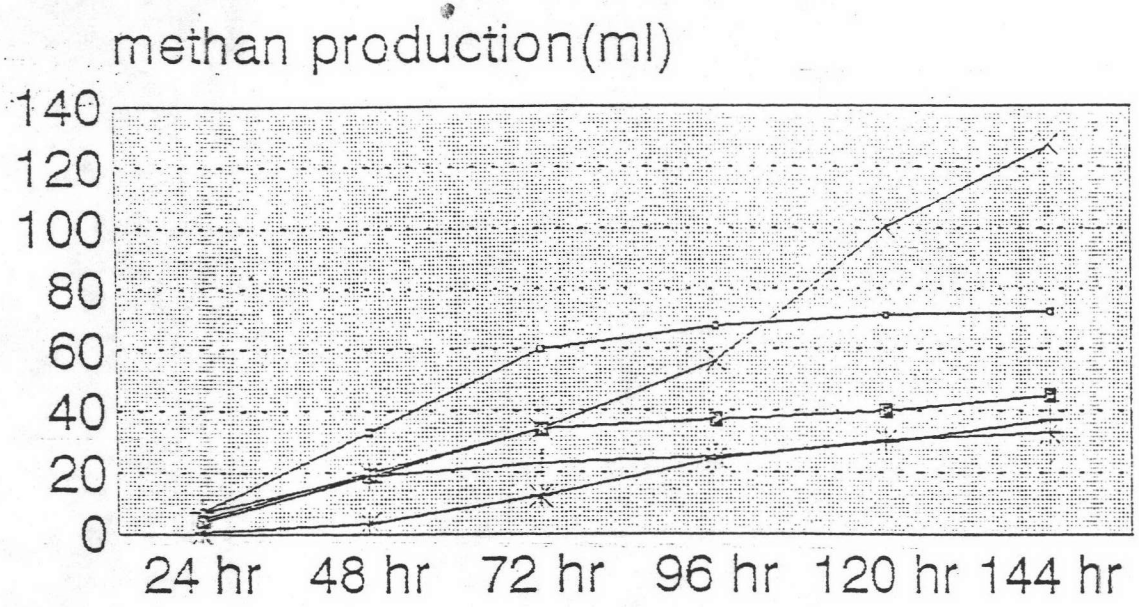


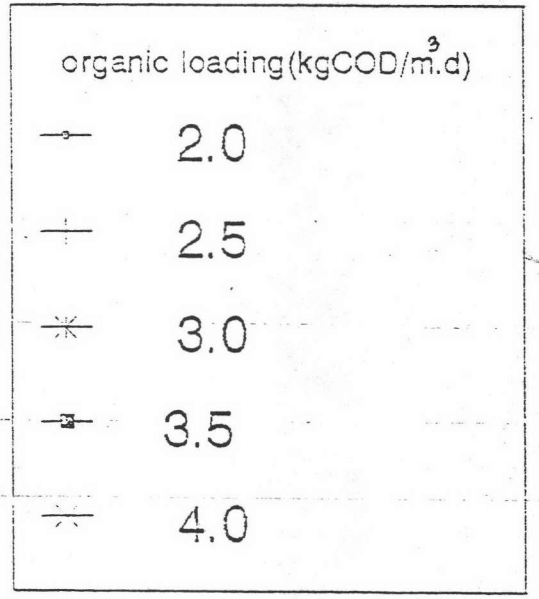


2.0	1	11	31	33	34	36
2.5	18	34	65	113	120	129
3.0	0.5	1.5	5.5	7.5	8.5	9
3.5	2	42	55	59	61	65
4.0	2	9	21	30.5	32.5	46.5

HRT(hr)

ตาราง ข.13 อัตราการผลิตแก๊สมีเทน ของตะกอนจุลินทรีย์ ที่ความสูง 4.0 เมตร





2.0	7.2	33	60.2	67.7	71.2	72.5
2.5	7	19	23	25	30	37
3.0	0.55	3.5	12.5	24.5	30.5	33
3.5	4	19	34	37	40	45
4.0	5	20	34	56	100	127

HRT(hr)

ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณ

ค.1 วิธีการคำนวณ ความสามารถของตะกอน (sludge activity)

การคำนวณความสามารถของตะกอน ในเทอมของ gCOD-CH_4/gVSS.d สามารถคำนวณได้จากสมการ

(R x 24) / (CF x V x VSS) โดยที่

R = methane production rate ($mlCH_4$/h)

24 = h/d

CF = conversionfactor in $mlCH_4$/gCOD

V = effective liquid volumn digester in L

VSS = Sludge Concentration in gVSS/l

และค่า CF (Conversion Factors) แสดงในตาราง ค.1

ตาราง ค.1 แสดงค่า CF (conversion factor)

Temp ^oC	1 gCOD equals the reported ml CH_4 gas	
	Dry CH_4	Moist CH_4
10	363	367
15	369	376
20	376	385
25	382	394
30	388	403
35	395	418
40	401	433
45	408	450

ภาคผนวก ค.2 การคำนวณอัตรารับสารอินทรีย์ที่เข้าระบบหมัก

$$\text{Organic loading} = \frac{(\text{flowrate of wastewater}) \times (\text{Conc. of wastewater})}{\text{Volume of Digester}}$$

$(kgCOD/m^3d)$

ภาคผนวก ค.3 การคำนวณประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas Yield)

$$\text{Biogas Yield} = \frac{\text{Gas production perday}}{(\text{feed flowrate})\ (\text{feed COD} - \text{effuent COD})}$$

$(m^3/kgCOD\ removal)$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายจีรพงษ์ อินทร์จอหอ เกิดวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2509 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2531 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2532