รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2538. ศัพท์บัญญัติและนิยามสิ่งแวดล้อมน้ำ. กรุงเทพมหานคร : เรือนแก้วการพิมพ์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2534. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย. เล่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์.

คณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.) และWorld Environment Center (WEC). 2535. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จินตนา แป้นสุวรรณ. 2540. การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะภาพของการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมระหว่างกระบวนการเอสบีอาร์แบบธรรมดากับแบบแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฏฐิกา เหลืองนฤทัย และเฉลิมราช วันทวิน. 2541. การตอบสนองของกลุ่มจุลินทรีย์ Polyphosphate Accumulating Bacteria เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอะซิเทตและฟอสฟอรัส. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ สวสท.41. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. หน้า 267-277. กรุงเทพมหานคร.

ปริยดา เหล่ารุจิจินดา. 2541. ประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัดซาตุอาหารทางชีวภาพที่อุณหภูมิต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วาสนา พีธรรมนงค์สิน และเฉลิมราช วันทวิน. 2540. การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจากน้ำเสียโดยกระบวนการแอนแอโรบิก - แอโรบิก เอสบีอาร์ ที่อายุตะกอนต่างๆ กัน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ สวสท.40. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. หน้า 114-125. กรุงเทพมหานคร.

อำพล เตโชวาณิชย์. 2541. ผลของเวลาแอนแอโรบิกและความเข้มข้นสีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของสีย้อมรีแอกทีฟโดยกระบวนการเอสบีอาร์แบบบีเอ็นอาร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกพจน์ เหลืองเอกทิน. 2540. การเพิ่มประสิทธิภาพของถานตากสถัดจ์ชีวภาพโดยการแยกน้ำส่วนบนก่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Appeldoorn, K.J. , Kortstee, G.J.J. , and Zehnder, A.J.B. 1992. Biological phosphate removal by activated sludge under defined conditions. Wat.Res. 26(4) : 453-460.

Artan, N., Tasli, R., Ozgur, N. and Orhon, D. 1997. The fate of P under anoxic condition in BNR-AS systems. Proceedings of 2nd IAWQ Int'l conference on Microorganisms in AS and Biofilm Processes., July 21-23, 1997. Berkeley, USA.

Barnard, J. 1982. The influence of nitrogen on phosphorus removal in activated sludge plants. Wat. Sci. Tech. 14 : 31-45.

Brdjanovic, D. , Slamet, A. , van Loosdrecht, M.C.M. , Hooijmans, C.M. , Alaerts, G.J. , and Heijnen, J.J. 1998. Impact of excessive aeration on biological phosphate removal from wastewater. Wat.Res. 32(1) : 200-208.

CEEP. 1999. Scope newsletter. vol.31 March, 1999. Bruxelles, Belgium.

Chang, W.C. , Chiou, R.J. and Ouyang, C.F. 1996. The effect of residual substrate utilization on sludge settling in an enhanced biological phosphorus removal process. Wat.Sci.Tech. 34(1-2) : 425-430.

Chuang, S.H. , Ouyang, C.F. , Yuang, H.C. and You, S.J. 1988. Evaluation of phosphorus removal in anaerobic-anoxic-aerobic system-VIA polyhydroxyalkanoate measurements. Wat. Sci.Tech. 38 : 107-114

Chuang, S-H. , Ouyang, C-F. and Wang, Y-B. 1996. Kinetic competition between phosphorus release and denitrification on sludge under anoxic condition. Wat.Res. 30(12) : 2961-2968.

Corbin, E.J. , Bamforth, I. , Cooper, J. and Osborne, G.J. 1994. Beneficial use of nutrients in sewage sludge. Proceedings Second Austrian Conference on Biological Nutrient Removal from Wastewater BNR 2. Australian Water and Wastewater Association Incorperated. Oct. 4-16, 1994. pp. 249-255. Albury, Australia.

Danesh, S. and Oleszkiewicz, J.A. 1997. Use of a new anaerobic-aerobic sequencing batch reactor System to enhance biological phosphorus removal. Wat.Sci.Tech. 35(1) : 137-144.

Eckenfelder, Jr. W.W. 1989. Industrial water pollution control. 2nd ed. Singapore : McGraw-Hill.

Ekama, G.A. , Wentzel, M.C. and Marais, G v R. 1990. The development of nitrification denitrification biological excess phosphorus removal technology - review. Proceedings of an IAWPRC, AWWA and AWRC Sponsored Conference. Australian Water and Wastewater Association Incorperated. Jul. 9-12, 1990. pp. 135-148.

Fukase, G.W. , Shibata, M. , and Miyaji, Y. 1985. Factor affecting biological removal of phosphorus. Wat.Sci.Tech. 17 : 187-198.

Gorska, J.S. , Gernaey, K. , Demuynck, C. , Vanrolleghem, P. and Verstraete,W. 1996. Nitrification monitoring in activated sludge by oxygen uptake rate (OUR) measurements. Wat.Res. 30(5) : 1228-1236.

Grabriel, B. 1994. Wastewater microbiological. New York : Wiley-Liss.

Griffiths, P. 1997. Sludge production in BNR modelling the COD:VSS ratio why it varies. Proceeding of BNR3 Conference Biological Nutrient Removal. Australian Water and Wastewater Association Incorperated. No.30, 1997. pp.201-207. Brisbane, Australia.

Hong, S. , Krichten, D. , Best, A. , and Rachwal, A. 1984. Biological phosphorus and nitrogen removal via the A/O process : Recent experience in the United States and United Kingdom. Wat. Sci. Tech. 16 : 151-172.

Isaacs, S.H. , Henze, M. 1994. Controlled carbon source addition to an alternating nitrification-denitrification wastewater treatment process including biological P removal. Wat. Res. 29(1) : 77-89.

Jacub, S.C. , Hartman, P.T. , and Wanner, J. 1993. Competition between Poly P and non-Poly P bacteria in an enhanced phosphate removal system. Wat.Sci.Tech. 65(5) : 690-692.

Jardin, N. , and Popel, H.J. 1994. Phosphate release of sludges from enhanced biological P-removal during digestion. Wat.Sci.Tech. 30(6) : 281-292.

Jardin, N. , and Popel, H.J. 1997. Waste activated sludge production of the enhanced biological phosphorus removal process. Wat.Envi.Res. 69(3) : 375-381.

Johanssan, P., Nyberg, A. and Proctor, R. 1997. Competition between biological and chemical phosphorus removal : fullscale experiences. BNR 3 Conference Biological Nutrient Removal. Australian Water and Wastewater Association Incorperated. Nov. 30, 1997. pp. 377-390. Brisbane, Australia.

Jones, P.H., Tadwalkar, A.D. and Hsu, C.L. 1987. Enhanced uptake of phosphorus by activated sludge-effect of substrate addition. Wat.Res. 21(3) : 301-308.

Kanak, A. 1994. Management of solids from biological nutrient reduction process treatment plants-general observations and experience in the Sydney region. Proceedings Second Austrian Conference on Biological Nutrient Removal from Wastewater BNR 2. Australian Water and Wastewater Association Incorperated. Oct 4-16, 1994. pp. 233-240. Albury, Australia.

Kavanaugh, R.G. and Randall, C.W. 1994. Bacteria populations in biological nutrient removal plant. Wat.Sci.Tech. 29 : 25-34.

Kempton , T.J. and Cusack , E. Sustainable management of BNR biosolids. 1997 . Proceeding of BNR 3 Conference Biological Nutrient Removal. Australian Water and Wastewater Association Incorperated. Nov. 30, 1997. pp. 108-115. Brisbane, Australia.

Kuba, T. , Wachtmeister, A. , van Loosdrecht, M.C.M. , and Heijnen, J.J. 1994. Effect of nitrate on phosphorus release in biological phosphorus removal system. Wat.Sci.Tech. 30 : 263-269.

Liu, W.-T. , Mino, T. , Nakamura, K. and Matsuo, T. 1994. Role of glycogen in acetate uptake and polyhydroxyalkanoates systhesis in anaerobic - aerobic activated sludge with a minimized polyphosphate content. Ferment. Biotechnol. 77 : 535-540.

Liu, W.-T. , Mino, T. , Nakamura, K. and Matsuo, T. 1996. Biological phosphorus removal processes-effect of pH on anaerobic substrate metabolism. Wat. Sci.Tech. 34(1-2) : 25-32.

Liu, W.-T. , Nakamura, K. , Matsuo, T. and Mino, T. 1997. Internal energy-based competition between polyphosphate- and glycogen-accumulating bacteria in biological phosphorus removal reactor-effect of P/C feeding ratio. Wat.Res. 30(6) : 1430-1438.

Matsuo, Y. 1994. Effect of the anaerobic solids retention time on enhanced biological phosphorus removal. Wat.Sci.Tech. 30(6) : 193-202.

Meinhold, J., Pedersen, H., Arnold, E., Isaacs, S. and Henze, M. 1998. Effect of continuous addition of an organic substrate to the anoxic phase in biological phosphorus removal. Wat.Sci.Tech. 38(1) :97-105.

Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater engineering : treatment, disposal and reuse. 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill.

Montgomory, C.W-L. 1990. Effect of prolonged aeration on phosphorus removal in the anaerobic - aerobic activated sludge process. Master's Thesis, Department of Environmental Engineering, Asian Institute of Technology.

Okada, M. , Murakami, A. , Lin, C.K. , Ueno, Y. and Okuda, T. 1991. Population dynamics of bacteria for phosphorus removal in sequencing batch reactor. Wat.Sci.Tech. 23 : 775-763.

Randall, A.A. , and Khouri, T.Z. 1997. Observations from steady - state and batch experiments concerning the effect on enhanced biological phosphorus removal of volatile fatty acids and glucose. Proceeding : 2nd International Conference on Microorganism and Biofilm Process. pp. 311-318. Berkeley, California, USA.

Randall, C.W. , Barnard, J.L. , and Stensel, H.D. 1992. Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal. Water Quality Management Library. USA.: Technomic publishing Co.Inc.

Satoh, H. , Mino, T. , and Matsuo, T. 1992. Uptake of organic substrate and accumulation of polyhydroxyalkanoates linked with glycolysis of intracellular carbohydrates under anaerobic conditions in the biological excess phosphate removal process. Wat.Sci.Tech. 26 : 933-943.

Satoh, H. , Mino, T. and Matsuo, T. 1998. Anaerobic uptake of glutamate and aspartate by enhanced biological phosphorus removal activated sludge. Wat.Sci.Tech. 37(4-5) : 579-582.

Sedlak, R.L. 1991. Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater : Principle and practice. New York : The soap and detergent Association.

Sherrard, J.H. and Hawkins, J.M. 1985. Effect of the COD:P ratio on the performance of the activated sludge wastewater treatment process. Proceedings of the international conference : Management strategies for phosphorus in the environment, July 1-4 . pp. 208-213. Lisbon, Turkey.

Smolder, G.J.F., vanLoosdrecht, M.C.M. and Heijnen, J.J. 1994. pH : keyfactor in the biological phosphorus removal process. Wat.Sci.Tech. 29(7) :71-74.

Stephens, H.L. and Stensel, H.D. 1998. Effect of operation conditions on biological phosphorus removal. Wat.Envi.Res. 70(3) : 362-369.

Tonkovic, Z. 1997. Aerobic stabilization criteria for BNR biosolid. Proceeding of BNR3 Conference Biological Nutrient Removal. Australian Water and Wastewater Association Incorperated. Nov. 30, 1997. pp. 108-115. Brisbane, Australia.

US.EPA. 1987. Design manual : Dewatering municipal wastewater sludge. Washington D.C.

WEF Manual of Practice no.8 and ASCE Manual and Report on Engineering Practice no.76. 1992. Design of Municipal wastewater treatment plants. vol. 2. Brattleboro, Vermont. Book Press Inc.

Wentzel, M.C. and Ekama, G.A. 1997. Principle in the design of single - sludge AS system for biological removal of carbon, nitrogen and phosphorus. Water.Env.Res. 69(7) : 1222-1231.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.
การหาอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดี

การหาอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีถูกทำขึ้นเพื่อใช้ในการเตรียมสารเคมีสำหรับการทำน้ำเสีย ซึ่งหาได้จากการเตรียมสารเคมีที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วทำการหาบีโอดีและซีโอดี หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่างซีโอดีกับบีโอดี ความชันที่ได้คืออัตราส่วนที่ต้องการ ผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ ก-1 และรูปที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 ค่าบีโอดีและซีโอดีของสารต่างๆ

โซเดียมอะซิเทต	
ซีโอดี	บีโอดี
360	320
177	132
77	72
40	37

(ก)

กรดอะซิทิก	
ซีโอดี	บีโอดี
673	426
343	170
175	96
76	47

(ข)

นิวเทรียนต์บรอธ	
ซีโอดี	บีโอดี
397	320
203	196
104	72
40	39

(ค)

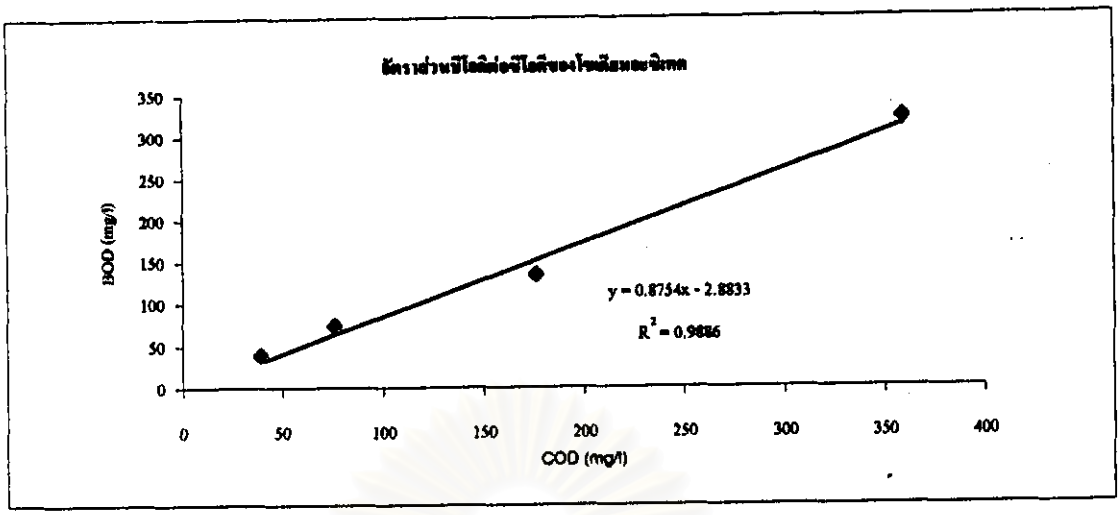
จากผลดังกล่าวทำให้ได้ค่าอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของสารแต่ละชนิดดังนี้

โซเดียมอะซิเทต เท่ากับ 88:100

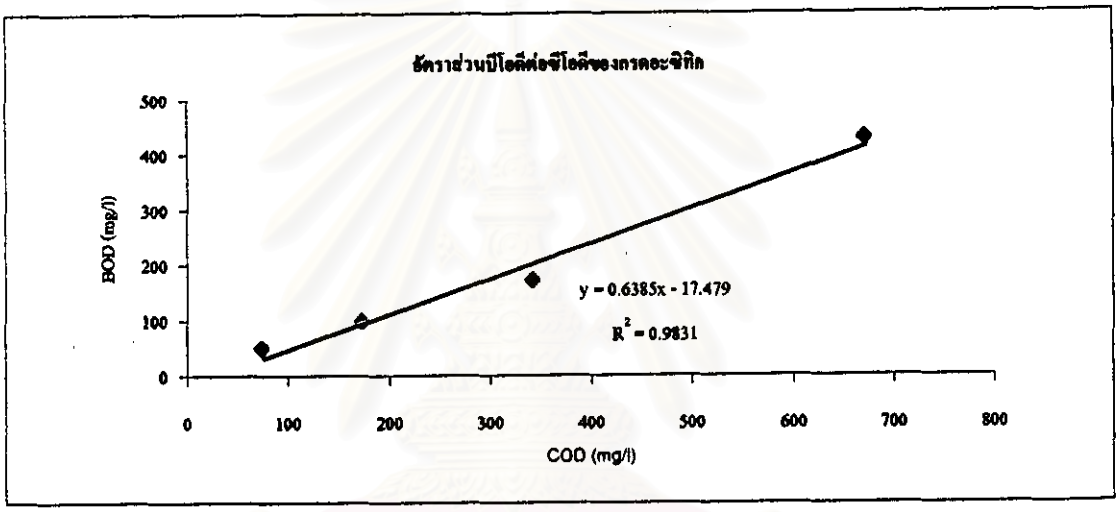
กรดอะซิทิก เท่ากับ 64:100

นิวเทรียนต์บรอธ เท่ากับ 81:100

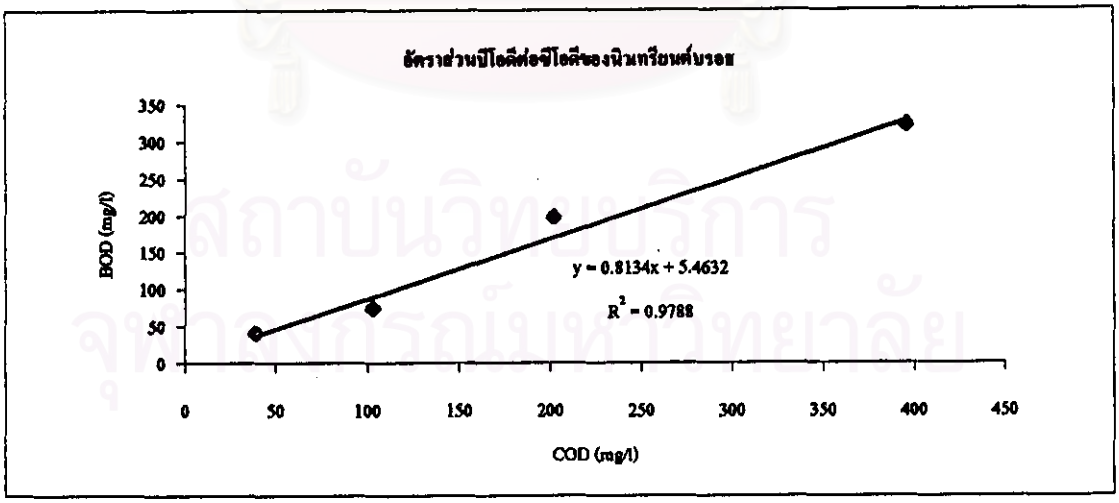
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ก-1 การหาอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของสารแต่ละชนิด (ก) โซเดียมอะซิเทต (ข) กรดอะซิทิก และ (ค) นิวเทรียนต์บรอธ

ภาคผนวก ข.

การคำนวณความเข้มข้นของส่วนประกอบน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในระบบมีลักษณะดังนี้

<u>ชนิดที่ 1</u>		
บีโอดี	300	มก./ลิตร
ไนโตรเจน	10.5	มก./ลิตร
ฟอสฟอรัส	6.7	มก./ลิตร
<u>ชนิดที่ 2</u>		
บีโอดี	300	มก./ลิตร
ไนโตรเจน	10.5	มก./ลิตร
ฟอสฟอรัส	15	มก./ลิตร
<u>ชนิดที่ 3</u>		
บีโอดี	300	มก./ลิตร
ไนโตรเจน	10.5	มก./ลิตร
ฟอสฟอรัส	60	มก./ลิตร

เนื่องจากในการคำนวณหาส่วนประกอบของน้ำเสียจะใช้ค่าซีโอดีในการคำนวณ ดังนั้นจึงต้องทำการหาอัตราส่วนของบีโอดีต่อซีโอดีก่อนทุกครั้ง ซึ่งการหาอัตราส่วนดังกล่าวพบว่าโซเดียมอะซิเทต กรดอะซิทิกและนิวเทรียนต์บรอธมีสัดส่วนบีโอดีต่อซีโอดีเท่ากับ 88:100, 64:100 และ 81:100 ตามลำดับ

น้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นนี้จะเติมในรูปสัดส่วนอะซิเทตในปริมาณเทียบเท่าบีโอดี 2 ส่วนต่อกรดอะซิทิก 1 ส่วน ซึ่งทั้งนี้จะได้บีโอดีจากนิวเทรียนต์บรอธอีกเล็กน้อยเท่าที่เติมในส่วนของไนโตรเจน นอกจากนี้จำต้องเติมธาตุอาหารบางชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของแบกทีเรียในระบบดังนี้ (Randall,1992)

แมกนีเซียม	มีอัตราส่วน	Mg:P = 0.25:1
เหล็ก	มีอัตราส่วน	Fe:COD= 0.35:100
แคลเซียม	มีอัตราส่วน	Ca:P = 0.5:1

นอกจากนี้ยังต้องเติมสภาพด่างให้เพียงพอต่อความต้องการในกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งประมาณ 1.98 โมลไบคาร์บอเนตต่อไนโตรเจนที่ถูกออกซิไดส์ 1 โมล โดยคิดตามสมการต่อไปนี้

$$NH_4^+ + 1.83O_2 + 1.98HCO_3^- \longrightarrow 0.98NO_3^- + 0.021C_5H_7O_2N + 1.88H_2CO_3 + 1.04H_2O$$

ดังนั้นในตัวอย่างการคำนวณนี้น้ำเสียมีบีโอดี 300 มก./ลิตร จะมีซีโอดีเป็น 375 มก./ลิตร ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณหาปริมาณสารต่างๆในรูปสารเคมีที่ต้องใช้ในระบบมีดังนี้

ปริมาณไนโตรเจนที่ต้องการเท่ากับ 10.5 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 1,2,3

เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนได้จากนิวเทรียนต์บรอธ ซึ่งจากการทดลองหาปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในนิวเทรียนต์บรอธพบว่าไนโตรเจน 100 มก. ได้จากนิวเทรียนต์บรอธ 745 มก.

ไนโตรเจน	100	มก.	ใช้นิวเทรียนต์บรอธ	745	มก./ลิตร
ไนโตรเจน	10.5	มก.	ใช้นิวเทรียนต์บรอธ	78.225	มก./ลิตร

ปริมาณบีโอดีที่ต้องการจากอะซิเทต กรดอะซิทิก และนิวเทรียนต์บรอธสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 1,2,3

เนื่องจากนิวเทรียนต์บรอธ 1 มก./ลิตร ได้ค่าซีโอดี 1 มก./ลิตร ดังนั้นน้ำเสียนี้ได้ซีโอดีจากนิวเทรียนต์บรอธ 78.225 มก./ลิตร ซึ่งเป็นบีโอดี 78.225x0.81 = 63.362 มก./ลิตร

ต้องการบีโอดีจากอะซิเทต (2/3)x(300-63.362) = 157.758 มก./ลิตร ซึ่งเป็นค่าซีโอดี 157.758/0.88 = 179.41 มก./ลิตร

ซีโอดีจากการใช้อะซิเทต คำนวณจากสมการ

$$CH_3COONa.3H_2O + 2O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 4H_2O + NaOH$$

ค่าซีโอดี	32	มก.	ใช้โซเดียมอะซิเทต	136	มก./ลิตร
ค่าซีโอดี	179.41	มก.	ใช้โซเดียมอะซิเทต	380.95	มก./ลิตร

เตรียมโซเดียมอะซิเทตเท่ากับ 381 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 1,2,3

ต้องการบีโอดีจากกรดอะซิทิก (1/3)x(300-63.362) = 78.879 มก./ลิตร ซึ่งเป็นค่าซีโอดี 78.879/0.64 = 123.25 มก./ลิตร

เนื่องจากกรดอะซิทิก 1 มล. ให้ค่าซีโอดี 1050 มก.

ค่าซีโอดี	1050	มก.	ใช้กรดอะซิทิก	1	มล./ลิตร
ค่าซีโอดี	123.25	มก.	ใช้กรดอะซิทิก	0.1174	มก./ลิตร

เตรียมกรดอะซิทิกเท่ากับ 0.1174 มล./ลิตร สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 1,2,3

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ต้องการสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละชนิดเป็นดังต่อไปนี้

ชนิดที่ 1 6.7 มก./ลิตร ชนิดที่ 2 15 มก./ลิตร ชนิดที่ 3 60 มก./ลิตร

เติมฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 136

ต้องเติม KH_2PO_4 เท่ากับ (6.7x136)/31 = 29.39 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 1

ต้องเติม KH_2PO_4 เท่ากับ (15x136)/31 = 65.81 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 2

ต้องเติม KH_2PO_4 เท่ากับ (60x136)/31 = 263.22 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 3

ปริมาณแมกนีเซียมที่ต้องการสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละชนิดเป็นดังต่อไปนี้

ชนิดที่ 1 เท่ากับ 0.25x24.3x6.7/31 = 1.31 มก./ลิตร

ชนิดที่ 2 เท่ากับ 0.25x24.3x15/31 = 2.94 มก./ลิตร

ชนิดที่ 3 เท่ากับ 0.25x24.3x60/31 = 11.76 มก./ลิตร

เติมแมกนีเซียมในรูป $MgSO_4.7H_2O$ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 246.3

ต้องเติม $MgSO_4.7H_2O$ เท่ากับ (1.31x246.3)/24.3 = 13.31 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียชนิดที่ 1

ต้องเติม $MgSO_4.7H_2O$ เท่ากับ (2.94x246.3)/24.3 = 29.80 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียชนิดที่ 2

ต้องเติม $MgSO_4.7H_2O$ เท่ากับ (11.76x246.3)/24.3 = 119.20 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียชนิดที่ 3

ปริมาณเหล็กที่ต้องการสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 1,2,3 (0.35x380)/100 = 1.33 มก./ลิตร

เติมเหล็กในรูป $FeCl_3.6H_2O$ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 270.5

ต้องเติม $FeCl_3$ เท่ากับ (1.33x270.5)/56 = 6.43 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 1,2,3

ปริมาณแคลเซียมที่ต้องการสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละชนิดเป็นดังนี้

ชนิดที่ 1 เท่ากับ 0.5x40x6.7/31 = 4.32 มก./ลิตร

ชนิดที่ 2 เท่ากับ 0.5x40x15/31 = 9.68 มก./ลิตร

ชนิดที่ 3 เท่ากับ 0.5x40x60/31 = 37.71 มก./ลิตร

เติมแคลเซียมในรูป $CaCl_2$ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 111

ต้องเติม $CaCl_2$ เท่ากับ (4.32x111)/40 = 11.99 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 1

ต้องเติม $CaCl_2$ เท่ากับ (9.68x111)/40 = 26.86 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 2

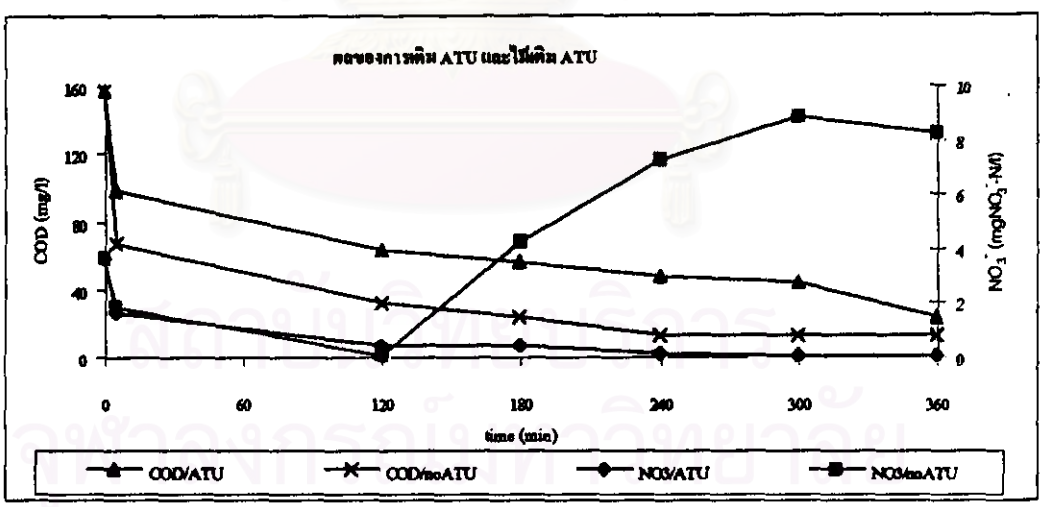
ต้องเติม $CaCl_2$ เท่ากับ (38.71x111)/40 = 107.42 มก./ลิตร สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดที่ 3

ภาคผนวก ค.

การหาผลของการเติมเอทียูต่อการกำจัดซีโอดีและการยับยั้งไนตริฟิเคชัน

ด้วยเหตุที่ไม่ต้องการให้มีไนเทรตเกิดขึ้นในระบบจึงต้องควบคุมไม่ให้มีไนเทรตในช่วงแอนแอโรบิก ซึ่งสามารถทำได้โดยการเติมตัวยับยั้ง (inhibitor) ไม่ให้เกิดไนตริฟิเคชันลงไปในระบบ ตัวยับยั้งดังกล่าว คือ เอทียู (Allylthiourea : ATU) ที่สามารถยับยั้งการออกซิไดส์แอมโมเนียเป็นไนไทรต์ได้เมื่อเติมลงไปที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัม/ลิตร (Wood และคณะ, 1981 และ Volsch และคณะ, 1990 อ้างโดย Gorska และคณะ, 1996)

ถึงแม้ว่าเอทียูสามารถยับยั้งไนตริฟิเคชันได้ แต่ทว่าไม่ทราบแน่ชัดถึงผลของเอทียูต่อการทำงานของจุลชีพในระบบหรือไม่ จึงได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของเอทียูต่อการทำงานของจุลชีพในการกำจัดซีโอดี โดยทำการทดลองแบบแบตช์ 2 แบตช์ที่ดำเนินการด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก โดยมีระยะเวลาช่วงแอนแอโรบิก 2 ชั่วโมง ตามมาด้วยช่วงแอโรบิก 4 ชั่วโมง ใช้สลัดจ์พีเอโอจากถังเพาะเลี้ยงเชื้อที่ได้เลี้ยงไว้ ในการทดลองแบบแบตช์ชุดแรกเป็นชุดควบคุม (ไม่มีการเติมเอทียู) ส่วนชุดที่ 2 มีการเติมเอทียูลงไป เพื่อเปรียบเทียบผลของการเติมเอทียูกับไม่เติมเอทียูในน้ำเสียเข้า ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ ค-1



รูปที่ ค-1 ผลของการเติมเอทียูต่อการกำจัดซีโอดีและการยับยั้งไนตริฟิเคชัน

จากรูป พบว่า เอทียูสามารถยับยั้งไนตริฟิเคชันได้จริงและยังสามารถยับยั้งการกำจัดซีโอดีของจุลชีพด้วย ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงไม่สามารถใช้เอทียูได้ จำเป็นต้องใช้วิธีการอื่นในการควบคุมไนเทรตซึ่งได้ใช้การควบคุมไนโตรเจนในระบบแทน

ภาคผนวก ง.
การเพาะเชื้อพีเอโอ

พีเอโอ (PAO_1) ที่นำมาเพาะเลี้ยงเพื่อใช้ใส่ในชุดการทดลองที่ต้องการให้เป็นประบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ คือ *Pseudomonas fluorescens* โดยซื้อเชื้อสายพันธุ์นี้จากหน่วยบริการเชื้อพันธุ์จุลินทรีย์ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เมื่อได้เชื้อมาแล้วก็นำมาเลี้ยงเพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อให้มากขึ้นโดยเลี้ยงในขวดรูปชมพู่ (flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร ใช้นิวเทรียนต์บรอธที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วเป็นสารอาหาร ภาชนะที่ใช้ต้องผ่านการฆ่าเชื้อก่อนนำมาใช้และต้องระมัดระวัง เรื่องการปนเปื้อนจากเชื้อชนิดอื่น ทำการเขย่าขวดรูปชมพู่ที่มีเชื้ออยู่ในเครื่องเขย่าจนกระทั่งเห็นได้ว่าสารละลายขุ่นมากขึ้นหรือมีปริมาณเชื้อมากพอจึงนำมาถ่ายใส่ขวดรูปชมพู่ใบใหม่เพื่อให้ได้ปริมาณเชื้อมากขึ้น จากนั้น จึงได้นำเชื้อทั้งหมดมาถ่ายใส่ในภาชนะขนาด 3 ลิตรเลี้ยงเป็นระบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก โดยมีระยะเวลาแอนแอโรบิกเท่ากับ 4 ชั่วโมง แอโรบิก 19 ชั่วโมง และตกตะกอน 1 ชั่วโมง โดยยังเลี้ยงด้วยนิวเทรียนต์บรอธเหมือนเดิม เมื่อได้ปริมาณเชื้อมากพอจึงนำมาถ่ายใส่ถังขนาด 30 ลิตร เลี้ยงด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 20:1 โดยใช้เวลาของระบบเท่าเดิม เพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อให้มาก ๆ และทำการวัดค่ามวลจุลินทรีย์ ซีโอดีและฟอสฟอรัสในระบบที่ขั้นตอนต่าง ๆ เป็นระยะ จนมั่นใจว่าระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพได้ดีแล้วและมีมวลมากพอที่จะนำมาใช้ในระบบ ซึ่งในการเลี้ยงเชื้อที่ผ่านมาต้องใช้เวลาถึงประมาณ 5 เดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

บันทึกการทดลอง

<u>เดือนมิถุนายน 2541</u>

- จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย
- เลี้ยงเชื้อที่นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาด้วยน้ำเสียสังเคราะห์
- สั่งทำถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

<u>เดือนกรกฎาคม 2541</u>

- เลี้ยง pure culture ของ *Pseudomonas fluorescens*
- นำเชื้อจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามาเลี้ยงผสมกับ *Pseudomonas fluorescens*

<u>เดือนสิงหาคม 2541</u>

- ทำสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ใบกวน เครื่องเติมอากาศ
- ติดตั้งเครื่องมือ ระบบไฟ-ท่อและถังปฏิกรณ์

<u>เดือนกันยายน 2541</u>

- ติดตั้งปั๊มและวัดอัตราไหลให้ได้ตามที่ต้องการ
- พบปัญหาว่าปั๊มที่มีอยู่ (ปั๊มไดอะเฟรม) ไม่สามารถใช้กับน้ำเสียที่มีสลัดจ์ได้ดี จึงไม่สามารถเริ่มเดินระบบได้ ต้องรอปั๊มรีดสายก่อน

<u>เดือนตุลาคม 2541</u>

- ทำการวัดหาค่ามวลจุลชีพ ซีโอดีและฟอสฟอรัสอีกครั้ง ของ pure culture และเชื้อจากสี่พระยา เพื่อดูว่าเป็นพีเอโอแล้วหรือยัง ซึ่งพบว่ามีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสแต่ยังจับใช้ฟอสฟอรัสได้ไม่ดีเท่าที่ควร

<u>เดือนพฤศจิกายน 2541</u>

- ทำการวัดหาค่ามวลจุลชีพ ซีโอดีและฟอสฟอรัสอีกครั้ง พบว่าทั้ง pure culture และเชื้อจากสี่พระยาสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสและจับใช้ฟอสฟอรัสได้ดี
- ทำการทดลองแบบแบตช์เพื่อหาผลของการเติมเอทียูต่อการกำจัดซีโอดีและยับยั้งไนตริฟิเคชัน

<u>เดือนธันวาคม 2541</u>

- ติดตั้งปั๊มรีดสายเพื่อใช้สำหรับการเวียนตะกอนกลับ พร้อมวัดอัตราการไหล
- ทดสอบการทำงานของระบบโดยเดินระบบด้วยน้ำประปา
- ทดลองหาอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของสารต่างๆ

ปี 2542

4 ม.ค. 42 - เริ่มเดินระบบของการทดลอง W/CE5, W/OK5 และ W/CL5 โดยใช้น้ำเสียบีโอดีต่อไนโตรเจน 200:10

7 ม.ค. 42 - มีปัญหาข้อต่อ 3 ทางที่ต่อท่อน้ำออกจากถังแอโรบิกกับท่อน้ำเข้าถังตกตะกอนมักตันทำให้น้ำในถังปฏิกิริยาล้นออก จึงแก้ปัญหานี้โดยใช้ข้อต่อ 3 ทางพีวีซี ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าแทนข้อต่อ 3 ทางแบบทองเหลือง

20 ม.ค. 42 - เริ่มมีปัญหาการตกตะกอน ตะกอนทั้ง 3 การทดลองตกตะกอนได้ไม่ดี มีตะกอนเวียนกลับไปน้อย จึงใช้วิธีเคาะถังตกตะกอนพร้อม ๆ กับกวาดรอบถังภายใน และเติมเซลล์เข้าไปทดแทนตะกอนที่ล้นออก

21 ม.ค. 42 - สั่งทำใบกวนเพื่อใช้สำหรับถังแอโรบิก เนื่องจากเกิดการกวนไม่สมบูรณ์ พร้อมสั่งทำใบกวาดสลัดจ์ในถังตกตะกอน

25 ม.ค. 42 - ติดตั้งใบกวาดสลัดจ์ในถังตกตะกอน

27 ม.ค.42 - สายยางที่ปั๊มรีดสายของการทดลอง W/CL5 แตกทำให้เซลล์บางส่วนหายไป จึงใช้วิธีเติมเซลล์เพิ่มเข้าไปใหม่

8 ก.พ. 42 - มีปัญหาการตกตะกอน ทำให้ตะกอนหลุดออกไปกับน้ำออกเป็นปริมาณมาก จึงแก้ปัญหาโดยวิธีเติมเซลล์ที่เป็นพีเอโอลงในถังปฏิกิริยาอีก

18 ก.พ. 42 - สลัดจ์ตกตะกอนได้ไม่ดีเท่าที่ควร มีตะกอนหลุดออกไปกับน้ำออก แก้ปัญหาโดยการเติมเซลล์ลงไปในถังปฏิกิริยาทดแทนสลัดจ์ที่หลุดออกไป

26 ก.พ. 42 - ไฟดับตั้งแต่ 16.30-19.00 น. เนื่องจากระบบยังไม่เข้าสู่สถานะคงตัว จึงไม่มีผลกระทบมากนัก

5 มี.ค. 42 - ใบกวาดสลัดจ์ของการทดลอง W/CE5 หยุดทำงาน แต่ทำการเปลี่ยนมอเตอร์ได้ทันเวลา

11 เม.ย. 42 - ห้องแล็บปิดทำให้เข้าไม่ได้ จำเป็นต้องหยุดเติมน้ำเสีย 1วัน

22 เม.ย. 42 - พบว่าทั้ง 3 การทดลองไม่สามารถเกิดการกำจัดฟอสฟอรัสที่ดีได้ จึงหยุดการทดลอง

23 เม.ย. 42 - ล้างถังปฏิกิริยาและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อทำการทดลองอื่นต่อไป

3 พ.ค. 42 - เริ่มเดินระบบของการทดลอง W/CE10, W/OK10 และ W/CL10 โดยใช้น้ำเสียบีโอดีต่อไนโตรเจน 300:15

30 พ.ค. 42 - เปลี่ยนสัดส่วนบีโอดีต่อไนโตรเจนของน้ำเสียเป็น 300:10.5 เพื่อลดไนเทรตในถังแอนแอโรบิก

31 พ.ค. 42 - ใบกวนในถังแอนแอโรบิกของการทดลอง W/OK10 เสีย ต้องนำมาซ่อมเป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง จึงสามารถนำไปติดตั้งและใช้งานได้เช่นเดิม

18 มิ.ย. 42 - เพิ่มเซลล์ที่เป็นพีเอโอลงไปทุก ๆ การทดลอง

20 มิ.ย. 42 - พบปัญหาการตกตะกอน สลัดจ์เวียนกลับไปน้อย ซึ่งน่าจะเกิดจากถังตกตะกอนมีพื้นที่น้ำล้นผิวน้อยเกินไป

24 มิ.ย. 42 - สั่งทำถังตกตะกอนใหม่ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

14 ก.ค. 42 - เปลี่ยนถังตกตะกอนจากใบเดิมเป็นใบใหม่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

18 ก.ค. 42 - ปลั๊กไฟหลุด ทำให้ไฟดับ ระบบหยุดทำงานประมาณ 5 ชั่วโมง

2 ส.ค. 42 - หัวเติมอากาศของการทดลอง W/CE10 ตัน ทำให้ดีโอลดลง จึงแก้ปัญหานี้โดยการเพิ่มหัวเติมอากาศเป็น 2 หัว ในทุกๆ การทดลอง

5 ก.ย. 42 - การทดลอง W/CL10 ระบบเริ่มเข้าสู่สถานะคงตัว

11 ก.ย. 42 - เก็บผลที่สถานะคงตัว 5 วัน ของการทดลอง W/CL10

22 ก.ย. 42 - ทำการทดลองแบบแบตช์ยืดระยะเวลาการเติมอากาศ ดูผลของการกำจัดฟอสฟอรัสและปริมาณสลัดจ์เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการยืดระยะเวลาการเติมอากาศ ของการทดลอง W/CL10

23 ก.ย. 42 - การทดลอง W/CE10 ระบบเริ่มเข้าสู่สถานะคงตัว

4 ต.ค. 42 - เก็บผลที่สถานะคงตัว 5 วัน ของการทดลอง W/CE10

- การทดลอง W/OK10 ระบบเริ่มเข้าสู่สถานะคงตัว

6 ต.ค. 42 - ทำการทดลองหาค่าอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะของการทดลอง W/CL10

15 ต.ค. 42 - ทำการทดลองแบบแบตช์ยืดระยะเวลาการเติมอากาศ ดูผลของการกำจัดฟอสฟอรัสและปริมาณสลัดจ์เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการยืดระยะเวลาการเติมอากาศของการทดลอง W/CE10

25 ต.ค. 42 - ทำการทดลองหาค่าอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะของการทดลอง W/CE10

3 พ.ย. 42 - เก็บผลที่สถานะคงตัว 5 วัน ของการทดลอง W/OK10

10 พ.ย. 42 - ทำการทดลองแบบแบตช์ยืดระยะเวลาการเติมอากาศ ดูผลของการกำจัดฟอสฟอรัสและปริมาณสลัดจ์เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการยืดระยะเวลาการเติมอากาศ ของการทดลอง W/OK10

17 พ.ย. 42 - ทำการทดลองแบบแบตช์ยืดระยะเวลาการเติมอากาศ จนถึงระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัส ดูผลของค่าซีเอสทีของทุกๆ การทดลอง

24 พ.ย.42 - ทำการทดลองแบบแบตช์ยืดระยะเวลาการเติมอากาศ จนถึงระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัส ดูผลของค่าความต้านทานจำเพาะของทุกๆ การทดลอง

16 ธ.ค. 42 - ทำการทดลองหาค่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของทุกๆ การทดลอง

23 ธ.ค. 42 - ทำการทดลองแบบแบตช์เพื่อดูผลของการเติมซีโอดี ณ เวลาที่เหมาะสมของแต่ละการทดลองโดยเติมซีโอดีลงไปเพื่อให้การทดลอง W/OK10 และ W/CL10 มีสัดส่วนบีโอดีต่อฟอสฟอรัสเท่ากับการทดลอง W/CE10 และทำการยืดเวลาการเติมอากาศต่อไป

ปี 2543

4 ม.ค. 43 - ทำการทดลองซ้ำกับที่ทำในวันที่ 23 ธ.ค. 42 แต่ทำการวัดค่าดีโอและพีเอชเพิ่มด้วย เพื่อให้แน่ใจว่าระบบเป็นสภาวะแอโรบิกจริง

11 ม.ค. 43 - ทำการทดลองแบบแบตช์เพื่อดูผลของการเติมซีโอดีกับไนโตรเจน ณ เวลาที่เหมาะสมของแต่ละการทดลอง โดยทำการทดลองคล้ายกับที่ทดลองในวันที่ 4 ม.ค. 43

14 ม.ค. 43 - ปิดชุดการทดลองทั้ง 3 ชุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ.
การวัดค่าซีเอสที

การวัดค่าซีเอสที (capillary suction time) มีวิธีการดังนี้ (เอกพจน์ เหลืองเอกทิน, 2540)

1. เตรียมชุดวัดซีเอสที โดยนำกระดาษโครมาโตกราฟีไปวางไว้ระหว่างแผ่นพลาสติก และนำแท่งทรงกระบอกที่ใช้บรรจุตัวอย่างสลัดจ์ไปวางลงในช่องตรงกลางแผ่นพลาสติกแผ่นบน

2. นำตัวอย่างสลัดจ์ที่ได้จากที่ขั้นตอนการยืดเวลาการเติมอากาศมากวนด้วยแท่งแก้วเพื่อให้ผสมกันก่อนทำการวัดซีเอสที

3. ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างขึ้นมา 6.4 มิลลิลิตร นำไปใส่ลงในแท่งทรงกระบอก

4. เมื่อน้ำที่ซึมผ่านกระดาษโครมาโตกราฟีไปถึงเซ็นเซอร์ 2 ตัวแรก ตัวจับเวลาจะเริ่มทำงานและเมื่อน้ำซึมไปถึงเซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตัวจับเวลาจะหยุดทำงาน อ่านค่าซีเอสทีที่วัดได้และบันทึกผล

5. ทำซ้ำอีกอย่างน้อย 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช.

การวัดค่าความต้านทานจำเพาะ

การวัดค่าความต้านทานจำเพาะมีวิธีการดังนี้ (USEPA, 1987)

1. เตรียมกรวยบุคเนอร์และกระบอกตวงพร้อมปั๊มสูญญากาศ
2. วางกระดาษกรองลงบนกรวยบุคเนอร์ ทำให้กระดาษกรองชื้น เดินเครื่องสูบสูญญากาศจนกระดาษกรองติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์จึงหยุดเครื่อง
3. นำสลัดจ์มาประมาณ 200 มิลลิลิตร กวนผสมก่อนเทลงในกรวยบุคเนอร์ เสร็จแล้วทำการเดินเครื่องสูบสูญญากาศ
4. บันทึกปริมาตรน้ำ (v) ที่กรองได้ที่ระยะเวลาต่างๆ (t)
5. กรองต่อไปจนแผ่นสลัดจ์แห้งจึงหยุด
6. หาปริมาณของของแข็งในสลัดจ์ก่อนกรองและในแผ่นสลัดจ์แห้ง
7. จัดทำกราฟระหว่างค่า t/v กับ v หาความชันของเส้นกราฟซึ่งจะเท่ากับค่า b นำไปใช้หาค่าความต้านทานจำเพาะ; r โดยสมการ (USEPA, 1987)

$$r = (2PA^2b) / (\mu w) \qquad \text{(ช-1)}$$

โดยที่ r = ค่าความต้านทานจำเพาะ (specific resistance) , เมตร/กิโลกรัม

P = ความดันที่ใช้กรอง (pressure of filtration) , นิวตัน/ตร.ม.

A = พื้นที่กระดาษกรอง (area of filter) , ตร.ม.

b = ความชันจากกราฟ (slope of time/volume VS. volume curve) , วินาที/เมตร^6

μ = ความหนืดของน้ำที่ผ่านการกรอง (viscosity of filtrate) , นิวตัน.วินาที/ตร.ม.

w = น้ำหนักแห้งของของแข็งต่อหน่วยปริมาตรของน้ำที่กรองออกจากตะกอน (weight of dry solids/volume of filtrate) , กิโลกรัม/ลบ.ม.

$= C_kC_o / 100(C_k-C_o)$

C_k = ความเข้มข้นของกากของแข็ง (cake solids concentration) , %

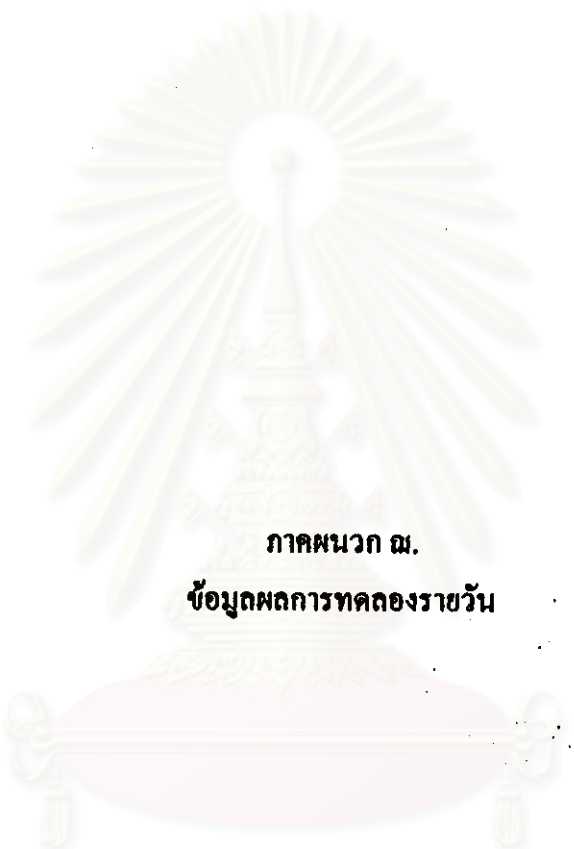
C_o = ความเข้มข้นของของแข็งในสลัดจ์ (feeds solids concentration) , %

ภาคผนวก ช.

การวัดพีเอชเอ

วิธีการวัดพีเอชเอนี้อ้างอิงวิธีของ Lee และคณะ (1995) โดยวัดออกมาในรูปของพีเอชบี (PHB, poly-β-hydroxybutyrate) และพีเอชวี (PHV, poly-β-hydroxyvalerate)

1. นำน้ำในระบบมาประมาณ 50-80 มิลลิลิตร โดยกะประมาณปริมาตรน้ำให้ได้ตะกอนหลังจากทำการเหวี่ยง (centrifuge) แล้วไม่น้อยกว่า 50 มก.
2. นำน้ำมาทำการเหวี่ยงที่ 10,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที
3. แยกเอาตะกอนจุลชีพมาอบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
4. เมื่ออบตะกอนครบเวลาแล้ว นำตะกอนแห้งที่ได้มาชั่งเพื่อจดน้ำหนักแล้วใส่ในขวดตัวอย่างซึ่งทนความร้อนและความดัน (เช่น ยี่ห้อ Wheaton รุ่น V-vial หรือเทียบเท่า)
5. เตรียม standard ของสารพีเอชบีและพีเอชวีอย่างน้อย 5 ค่า ที่ 0-15 มก./ลิตร
6. เตรียมสารละลายกรดซัลฟูริก 15% (ปริมาตร/ปริมาตร) ในเมธานอล
7. เตรียมโซเดียมเบนโซเอท 1.695 กรัมละลายในเมธานอล 100 มิลลิลิตร
8. ปิเปตสารละลายกรดซัลฟูริกที่เตรียมแล้ว 2 มิลลิลิตร ในขวดตัวอย่าง
9. ปิเปตสารละลายโซเดียมเบนโซเอท 0.1 มิลลิลิตร ในขวดตัวอย่าง
10. ปิเปตคลอโรฟอร์ม 2 มิลลิลิตร ในขวดตัวอย่าง แล้วปิดฝาให้แน่น อบตัวอย่างที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมงแล้วทิ้งให้เย็น
11. เปิดฝาขวดแล้วเติมน้ำกลั่น 1-2 มิลลิลิตร ในขวด ปิดฝาแล้วนำไปเขย่าในเครื่องเขย่านาน 10 นาที
12. ตั้งทิ้งไว้ให้ชั้นน้ำ (ซึ่งเป็นน้ำผสมกับเมธานอลและกรด) และกรดคลอโรฟอร์มแยกชั้น โดยชั้นน้ำจะลอยอยู่ข้างบน ใช้ปิเปตดูดเฉพาะชั้นคลอโรฟอร์มมาใส่ในขวด ปิดฝา สามารถเก็บได้นาน 3 สัปดาห์ในตู้เย็น
13. นำตัวอย่างคลอโรฟอร์มไปฉีดวัดค่าพีเอชบีและพีเอชวีในเครื่อง gas chromatography เพื่อทำกราฟ standard ของสารทั้งสอง



ภาคผนวก ฌ.
ข้อมูลผลการทดลองรายวัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-1 อุณหภูมิ (องศาเซียลเซียส) ที่อายุสลัดจ์ 5 วัน (การทดลองที่ 1-3)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
14	28.4	28.6	28.7		28.4	28.6	28.8		28.4	28.5	28.6	
27	28.4	28.7	28.8		28.5	28.7	28.8		28.4	28.6	28.8	
33	28.4	28.5	28.6		28.4	28.7	28.8		28.4	28.6	28.7	
37	28.5	28.6	28.8		28.5	28.8	28.9		28.4	28.7	28.8	
40	29.2	29.4	29.4		29.1	29.4	29.6		29	29.2	29.4	
44	28.6	28.9	29		28.5	28.9	29		28.5	28.8	29	
47	28.4	28.6	28.8		28.5	28.7	29		28.5	28.9	29.3	
54	28.6	28.9	29		28.6	28.9	29.1		28.5	28.7	29	
61	29.4	29.6	29.7		29.4	29.6	29.9		29.3	29.3	29.5	
64	29.4	29.8	30		29.2	29.7	30		29.3	29.5	29.6	
67	29.2	29.5	29.8		29.3	29.9	30.2		29.2	29.7	30	
70	28.5	28.9	29.1		28.6	28.9	29.1		28.5	28.9	29.1	
74	28.3	28.6	28.9		28.3	28.6	28.9		28.3	28.6	28.9	
79	27.9	28.3	28.5		28	28.4	28.5		28	28.3	28.5	
82	28.6	28.9	29		28.6	28.8	28.9		28.5	28.7	28.8	
86	28.7	29.1	29.3		28.6	28.9	29.1		28.7	29.1	29.2	
89	28.4	28.6	28.7		28.4	28.6	28.8		28.4	28.9	29	
93	27.9	28.3	28.4		27.9	28.2	28.3		27.8	28.4	28.7	
96	27.8	28.3	28.4		27.9	28.1	28.4		27.9	28.4	28.5	
107	28.2	28.6	28.7		28.1	28.6	28.8		28.1	28.5	28.6	
111	28.5	28.8	29		28.3	28.7	28.8		28.3	28.7	28.9	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-2 ดีโอ (mg/l) ที่อายุสลัดจ์ 5 วัน (การทดลองที่ 1-3)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
14	0.06		2.8		0.08		3.2		0.09		3.4	
27	0.07		3.4		0.08		3.1		0.08		3.5	
33	0.06		3.5		0.09		2.9		0.09		3.1	
37	0.07		2.9		0.09		2.7		0.1		3.5	
40	0.09		3.1		0.1		2.4		0.1		3.4	
44	0.09		3.5		0.09		3.5		0.09		2.5	
47	0.11		3.4		0.11		3.8		0.09		2.7	
54	0.09		2.9		0.08		3.7		0.08		2.6	
61	0.08		2.8		0.07		3.2		0.06		2.8	
64	0.09		3.1		0.06		3.4		0.08		3.1	
67	0.11		3.5		0.08		2.9		0.07		3.2	
70	0.13		2.9		0.09		3.5		0.09		3.1	
74	0.09		2.8		0.08		3.4		0.1		2.9	
79	0.06		3.4		0.1		3.1		0.1		2.7	
82	0.07		3.3		0.11		2.8		0.12		3.1	
86	0.1		2.8		0.12		2.7		0.09		2.9	
89	0.08		2.9		0.1		3.1		0.08		3.4	
93	0.08		3.1		0.09		3.2		0.09		3.5	
96	0.09		2.8		0.1		2.9		0.08		3.3	
107	0.08		2.8		0.09		2.7		0.09		3.1	
111	0.09		2.7		0.08		2.9		0.09		2.8	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-3 โอ อาร์ พี (mV) ที่อายุสลัดจ์ 5 วัน (การทดลองที่ 1-3)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
14	-135	122			-152	99			-132	101		
27	-158	135			-147	112			-129	123		
33	-167	142			-138	110			-135	152		
37	-158	166			-142	126			-142	168		
40	-172	135			-160	136			-153	147		
44	-166	142			-158	186			-139	163		
47	-147	153			-168	175			-165	153		
54	-157	186			-172	164			-167	185		
61	-148	174			-169	165			-153	123		
64	-162	139			-176	136			-148	109		
67	-171	152			-158	138			-166	113		
70	-135	165			-147	145			-160	126		
74	-140	180			-138	162			-148	134		
79	-138	164			-129	121			-150	108		
82	-135	130			-138	135			-161	93		
86	-147	110			-139	112			-170	102		
89	-152	132			-142	99			-168	100		
93	-134	98			-148	110			-138	136		
96	-141	136			-156	103			-145	142		
107	-152	151			-169	119			-140	123		
111	-147	120			-158	128			-138	136		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-4 พีเอชที่อายุสลัดจ์ 5 วัน (การทดลองที่ 1-3)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
14	5.92	7.29	7.89		6.23	7.22	7.95		5.99	6.98	7.2	
27	5.99	7.3	7.9		6.01	7.19	7.89		6.02	7.01	7.31	
33	6.12	7.25	7.68		5.96	7.06	7.65		6.21	7.04	7.32	
37	5.87	7.23	7.59		5.89	7.01	7.59		5.88	6.91	7.19	
40	5.93	7.26	7.63		6.22	7.21	7.91		5.82	6.9	7.19	
44	5.87	7.19	7.49		6.05	7.16	7.81		6	7	7.29	
47	6.2	7.3	7.89		5.99	7.12	7.77		5.9	7	7.28	
54	6.13	7.31	7.9		5.87	7.03	7.56		5.86	6.94	7.25	
61	5.89	7	7.44		6.24	7.2	7.86		6.03	7.01	7.29	
64	5.8	7	7.46		5.88	7.01	7.55		6.15	7.03	7.3	
67	6.12	7.26	7.67		5.8	7.01	7.57		6.23	7.05	7.32	
70	6.05	7.24	7.56		6.02	7.11	7.72		6.08	7.05	7.33	
74	5.98	7.29	7.59		6.11	7.18	7.75		5.99	6.95	7.28	
79	6.09	7.28	7.61		6.08	7.15	7.73		5.97	6.97	7.29	
82	6.11	7.26	7.62		5.93	7.06	7.59		5.86	6.9	7.19	
86	5.87	7.03	7.45		5.86	7.14	7.69		6.01	7	7.28	
89	5.91	7.26	7.55		6.03	7.2	7.89		5.94	6.97	7.27	
93	6.03	7.19	7.48		6.15	7.21	7.9		5.88	6.91	7.24	
96	6.15	7.22	7.59		6.04	7.14	7.71		5.93	6.99	7.28	
107	6.2	7.24	7.61		5.99	7.1	7.68		5.84	6.94	7.26	
111	5.86	7.06	7.51		6.14	7.18	7.78		6.03	7.01	7.31	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-5 สภาพด่าง (มก.หินปูน/ลิตร) ที่อายุสลัดจ์ 5 วัน (การทดลองที่ 1-3)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
14	186	274	249		160	258	229		161	260	227	
27	175	268	231		175	265	235		170	264	238	
37	168	261	233		182	274	242		188	274	241	
44	173	270	242		190	281	263		182	270	246	
54	176	273	239		163	259	233		174	266	239	
64	185	278	241		177	266	240		176	269	241	
70	161	265	229		164	258	228		168	259	224	
79	177	277	245		188	274	251		181	271	247	
89	183	274	240		164	261	238		179	268	236	
96	166	264	239		185	277	247		167	254	221	
107	170	271	243		169	263	241		185	268	238	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-6 TKN (mg/l) ที่อายุสลัดจ์ 5 วัน (การทดลองที่ 1-3)

TKN	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
14	9.2	4.3	2.2		8.4	5.3	1.6		8.7	4.9	2.1	
27	8.8	3.8	2.1		7.6	5.1	1.8		9.2	5.3	2.2	
33	8.6	4	1.5		9.3	4.9	2.2		10.3	5.2	1.8	
37	9.2	4.6	0.6		9.4	4.3	0.5		11	5.4	1.1	
40	9.1	5.3	1.1		10.5	5.1	0.8		8.7	4.2	0.8	
44	9.5	5.6	0.9		7.8	5.3	1.2		8.4	4.1	0.9	
47	8.6	6	0.6		8.6	4.6	0.8		9.5	4.3	1.1	
61	8.7	5.8	2.3		10.3	4.3	1.1		9.3	3.8	1.3	
64	7.9	4.7	2.1		9.5	4.1	2.1		9.8	4.5	1.5	
74	9.1	4.3	0.9		9.4	3.9	1.3		10.1	4.1	1.2	
82	9.3	3.5	1.1		8.6	3.8	1.2		8.7	3.4	1.2	
86	9.7	3.6	0.6		8.9	4.1	1.1		7.9	3.8	1.4	
96	8.9	4.1	0.6		9.4	3.5	0.9		8.5	3.6	1.1	
107	9.5	3.4	0.8		10.1	3.7	1.1		9.5	4.1	1.3	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-7 ไนเทรต (mg/l) ที่อายุสลัดจ์ 5 วัน (การทดลองที่ 1-3)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
14	0.7	0.3	0.9	0.7	0.2	0.1	0.8	0.7	0.6	0.3	0.9	0.7
27	1	0.5	1	0.6	0.3	0.1	0.6	0.6	0.2	0.5	0.7	0.5
33	0.3	0.1	0.6	0.5	0.1	0.1	0.3	0.3	0.9	0.6	1.1	0.7
37	0.2	0.1	0.4	0.3	0.6	0.3	1.3	1	0.6	0.5	0.8	0.7
40	1.1	0.7	1.2	0.3	0.1	0.3	1.5	0.3	0.4	0	0.9	0.9
44	1.9	0.4	0.6	0.7	1.1	1.6	0.3	0.1	1.1	1.2	0.6	0.9
47	0.7	0.4	0.6	0.5	0.4	0.2	1	0.2	1	1.1	1.6	0.4
61	0	0.1	0.6	0.7	0.1	0	0	0	0	0.4	0.9	0.8
64	0.5	0.5	1	0.2	0.4	0.3	1.5	1.7	0.6	0.6	1.6	1.6
74	0	0.6	1.7	1.5	0.1	0.2	0.9	1.1	0.9	1.2	1.5	1.4
82	0.8	0.5	0.9	0.9	0	0.7	0.9	0.8	0.5	0.7	0.9	0.9
86	0.3	0	0	0.4	0	0	0	0.3	0.6	0.4	0.7	0.7
96	0.2	0.1	0.6	0.4	0.1	0.4	0.8	0.8	0.1	0	1.4	1.1
107	0.2	0.3	0.5	0.1	0.3	0	0.6	0.4	0.2	0	0.6	0.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-8 ไนไทรต์ (mg/l) ที่ย่ายุสลัดจ์ 5 วัน (การทดลองที่ 1-3)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
14	0.02	0.01	0.04	0.03	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0	0.03	0.01
27	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0	0.03	0.02	0	0	0.02	0.01
33	0.01	0.01	0.03	0.03	0	0	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02
37	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02
40	0.03	0.01	0.01	0	0.03	0.01	0.01	0	0.02	0.01	0.04	0.02
44	0	0	0.05	0.05	0	0	0.03	0.02	0	0	0.01	0.01
47	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	0.01	0	0.02	0.01	0.01	0	0.02	0.02	0.02	0	0.04	0.04
74	0.02	0	0.03	0.03	0.03	0	0.03	0.02	0.02	0	0.02	0.02
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	0.03	0	0.01	0.01	0.03	0.01	0.04	0.04	0.02	0	0.03	0.02
96	0.01	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.05	0.05
107	0.03	0	0.01	0.03	0.02	0	0.01	0	0.01	0	0.04	0.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ที่ ฌ-9 COD (mg/l) ที่อายุสลัดจ์ 5 วัน (การทดลองที่ 1-3)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
14	239	64	21	11	238	57	18	18	227	47	32	21
27	274	119	69	73	279	151	119	123	297	110	105	101
33	239	92	32	30	253	103	42	44	247	88	36	34
37	249	42	26	20	267	55	21	19	261	52	21	16
40	252	46	19	19	244	43	19	15	252	66	23	19
44	246	46	38	42	250	65	31	42	273	69	38	27
47	229	38	27	15	229	23	14	15	229	27	19	15
54	221	38	4	1	214	19	1	5	253	61	11	8
61	254	33	11	14	200	36	18	11	214	36	8	14
64	204	14	7	11	229	18	11	7	225	22	7	5
67	235	19	15	12	220	22	11	3	239	45	8	1
70	259	33	11	9	259	62	16	5	258	32	7	1
74	247	42	10	17	229	38	10	4	255	45	17	21
79	269	41	9	11	217	38	12	5	241	31	13	11
82	257	55	2	1	279	51	1	1	210	46	3	2
86	224	34	19	22	266	30	11	15	215	22	11	16
89	214	32	5	4	279	35	10	10	235	15	5	3
93	284	33	8	2	248	28	9	11	246	12	2	4
96	241	40	10	3	259	22	2	2	224	11	2	7
107	254	14	14	3	239	31	14	24	258	16	3	3
111	263	16	4	8	210	8	4	4	226	12	2	4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-10 ฟอสฟอรัส (mg/l) ที่อายุสลัดจ์ 5 วัน (การทดลองที่ 1-3)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
14	3	2.9	2.4	2.4	8	12.6	7.1	7.2	34.7	35.3	32.5	32.8
27	3.8	3.3	2.9	2.9	8.4	13.9	7.2	7.2	39.3	23.5	23.5	30.1
33	3.2	3.9	2.5	2.6	7.3	12.3	6.4	6.4	36.6	38.4	33.9	34.1
37	2.3	3.9	1.4	0.8	7.8	11.5	5.3	5.3	35.6	37.6	32.1	32.8
40	1.9	3.7	0.6	0.2	8.1	11.3	5.3	5	32.3	35.4	29.7	30.7
44	2.3	4.9	1.4	0.5	7.2	13.3	4.8	4.9	33.2	34.8	28.7	28.7
47	1.7	3.9	0	0.8	7	13.9	3.9	3.5	33	35.1	27	29.8
54	2.2	6.7	1	0.4	6.5	14.8	4.5	2.9	37.1	37.5	31.6	25.7
61	2.1	2.9	1.2	0.6	6.4	9.6	5.3	5.3	32.8	33.9	24	29.6
64	3.3	2	2.8	2.8	7.1	8.8	7.4	9	34.3	35.1	29.9	26.4
67	3.9	5.6	0.8	2.7	8.9	10	8.1	11.1	30.5	31.5	24.5	34
70	3.2	3.4	2.1	2.5	8.1	8.8	7.5	7.9	35.2	35.9	29.6	30.4
74	3.7	6.4	3.1	4	9.3	12	4.2	8.6	38.2	35.2	26.8	27.6
79	3.9	5.2	3.5	3.7	8.9	9.6	8.1	8.5	33.6	32.1	26.8	37.9
82	3.1	4.1	3.2	3.2	9.8	11.2	10.6	10.7	38	34.6	25.2	36.8
86	6	6.3	4.2	4.4	11.8	13.6	7.8	8.7	37.5	36.1	28.8	21.2
89	5.2	5.7	3.8	4.1	10.6	11.6	9.6	10.2	41.2	38.7	31.5	32.1
93	5.2	5.5	3.8	4	12.2	12.9	11.8	11.9	44.2	40.2	38.1	39.5
96	5.8	6.2	4.3	5	15.2	16.2	7.6	6.8	45.7	36.2	23	30.5
107	5	5.5	3.2	3.5	12	19.2	11.6	9.8	40.6	38.1	33.3	31.1
111	5.7	6.3	2.4	4	11.8	18.6	10.4	9.9	40.8	38.7	29.8	29.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-11 MLSS และ MLVSS (mg/l) ที่อายุสลัดจ์ 5 วัน (การทดลองที่ 1-3)

time	SSanaCE	SSaerCE	VSanaCE	VSaerCE	SSanaOK	SSaerOK	VSanaOK	VSaerOK	SSanaCL	SSaerCL	VSanaCL	VSaerCL
14	1740	1910	1660	1260	1650	970	1230	960	1810	2050	1300	1410
27	1660	2200	1500	1940	770	730	710	710	1430	1950	1180	1440
33	1320	1360	1260	1250	850	830	800	790	1230	1150	1160	1070
37	1210	1160	1150	980	940	920	910	880	1030	1100	860	880
40	1120	1050	1100	860	1090	1450	1060	1350	800	850	770	780
44	1290	850	1200	820	1100	1150	1060	1080	1200	980	1050	890
47	1080	940	1030	880	1510	1300	1420	1140	1520	1690	1280	1400
54	870	920	840	880	1130	1360	1090	1230	1130	1360	1020	1000
61	1350	840	1290	820	1290	1470	1270	1340	890	1210	820	1040
64	700	820	640	800	1070	940	1030	840	780	850	720	720
67	760	650	600	610	710	540	690	460	860	920	830	860
74	420	390	380	350	550	520	510	480	590	620	570	580
82	470	440	400	360	680	690	620	620	980	1440	920	1310
95	710	690	690	680	960	990	910	920	1740	1990	1210	1420
111	690	700	610	630	860	850	840	820	3900	3970	3720	3840

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-12 อุณหภูมิ (องศาเซียลเซียส) ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน (การทดลองที่ 4-6)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
20	28.2	28.7	28.5		28.3	28.5	28.2		28.3	28.6	28.5	
27	28.3	28.9	28.7		28.2	28.5	28.1		28.3	28.7	28.5	
30	27.9	28.6	28.5		28	28.4	28		28	28.6	28.6	
34	29.2	29.7	29.4		29	29.4	29.3		29	29.1	28.7	
37	29.1	29.4	29.3		29	29.5	29.3		29.1	29.3	29	
41	29	29.6	29.5		28.9	29.1	28.7		28.9	29.3	29.1	
51	28.6	29.4	29.4		28.6	29	28.7		28.5	28.8	28.5	
55	28.7	29	28.5		28.6	29.1	28.7		28.7	29	28.7	
58	29.1	29.4	29.1		28.9	29.3	29		28.9	29.3	29.1	
62	29	29.5	29.3		28.7	28.9	28.7		28.7	29.1	28.6	
70	28.3	28.8	28.2		28.3	28.7	28.4		28.3	28.6	28.4	
76	28.5	28.9	28.7		28.4	28.6	28.5		28.6	28.9	28.5	
79	28.3	28.7	28.6		28.3	28.8	28.3		28.4	28.6	28.6	
84	27.9	28.4	28.1		28	28.5	28		28	28.4	28.1	
90	28.1	28.7	28.3		28.2	28.7	28.5		28.1	28.6	28.2	
96	28.6	29	28.6		28.6	29	28.6		28.5	28.7	28.4	
104	28.9	29.1	28.8		28.9	29.2	29		28.7	29.2	29	
117	29.1	29.5	28.9		29.2	29.6	29.5		29	29.4	29.1	
121	29.5	29.7	29.3		29.4	29.7	29.5		29.4	29.8	29.4	
129	29.3	29.7	29.3		29.3	29.5	29.4		29.4	29.6	29.4	
134	29.6	29.9	29.4		29.5	29.6	29.4		29.6	29.9	29.5	
140	30.1	30.2	29.7		29.8	30	29.3					
144	30.2	30	29.7		29.9	30.1	29.4					
152	30	30.1	29.8		29.8	29.9	29.2					
163					29	29.4	29.3					

ตารางที่ ฌ-13 ดีโอ (mg/l) ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน (การทดลองที่ 4-6)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
20	0.07	2.95			0.06	2.9			0.07	3.01		
27	0.07	2.87			0.06	2.86			0.07	3.14		
30	0.07	2.89			0.07	3.05			0.07	3.06		
34	0.08	3.04			0.06	3.11			0.08	2.99		
37	0.09	3.03			0.06	2.8			0.08	2.85		
41	0.07	2.96			0.06	2.98			0.06	2.87		
51	0.1	3.05			0.07	2.99			0.06	2.96		
55	0.09	3.12			0.08	3.08			0.08	3.04		
58	0.11	3.01			0.08	3.12			0.07	3.23		
62	0.12	3.45			0.09	3.03			0.07	3.11		
70	0.09	3.56			0.08	3.14			0.09	2.99		
76	0.13	3.45			0.07	3.42			0.09	3.21		
79	0.11	3.25			0.09	4.12			0.08	3.23		
84	0.09	3.41			0.08	4.32			0.07	3.56		
90	0.08	3.35			0.06	4.26			0.07	4.23		
96	0.09	3.54			0.06	4.44			0.07	4.26		
104	0.07	3.65			0.07	4.5			0.08	4.15		
117	0.07	3.58			0.07	4.35			0.08	4.2		
121	0.08	3.68			0.06	4.26			0.08	4.12		
129	0.08	4.05			0.08	4.15			0.07	4.26		
134	0.08	4.23			0.07	4.1			0.07	4.25		
140	0.07	4.25			0.08	4.32						
144	0.09	4.36			0.09	4.28						
152	0.08	4.28			0.08	4.19						
163					0.08	4.26						

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-14 โอออาร์พี (mV) ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน (การทดลองที่ 4-6)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
20		-185	99			-224	102			-195	116	
27		-178	107			-256	113			-179	104	
30		-205	106			-285	124			-176	98	
34		-224	115			-268	99			-189	106	
37		-247	91			-277	94			-205	112	
41		-255	146			-269	91			-256	96	
51		-238	185			-286	145			-264	105	
55		-255	173			-283	126			-288	111	
58		-265	186			-276	146			-280	154	
62		-267	195			-273	175			-267	164	
70		-246	187			-291	168			-245	185	
76		-258	177			-294	185			-291	163	
79		-280	180			-285	168			-261	158	
84		-267	167			-267	182			-266	167	
90		-290	192			-288	170			-286	189	
96		-288	173			-265	164			-274	189	
104		-257	162			-258	183			-283	167	
117		-263	173			-268	163			-299	188	
121		-224	176			-277	175			-304	175	
129		-245	185			-269	181			-301	173	
134		-266	191			-299	192			-305	168	
140		-270	183			-294	199					
144		-268	188			-290	182					
152		-291	179			-285	184					
163						-277	190					

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-15 พีเอช ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน (การทดลองที่ 4-6)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana Ok	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
20	5.99	7.29	7.83		6.09	7.18	7.89		6.07	7.01	7.69	
27	5.88	7.19	7.54		5.88	7.14	7.74		5.88	6.98	7.45	
30	5.75	7.08	7.46		5.79	7.09	7.66		5.77	6.91	7.19	
34	5.8	7.11	7.56		5.89	7.11	7.69		5.97	7.02	7.67	
37	5.78	7.15	7.48		5.8	7.08	7.63		5.89	7.01	7.47	
41	5.73	7.09	7.43		5.73	7.07	7.58		5.96	7.04	7.66	
51	5.94	7.28	7.86		5.78	7.11	7.6		6.03	7.04	7.7	
55	6.06	7.3	7.91		5.99	7.25	7.88		6.25	7.05	7.71	
58	5.87	7.26	7.85		5.88	7.23	7.69		6.08	7.03	7.68	
62	5.81	7.24	7.77		5.75	7.05	7.52		5.92	6.92	7.58	
70	5.91	7.28	7.68		5.94	7.16	7.61		6.07	6.99	7.69	
76	5.76	7.14	7.52		5.87	7.2	7.6		6.18	7.05	7.7	
79	5.91	7.27	7.61		5.81	7.18	7.64		6.02	7.01	7.68	
84	5.98	7.22	7.58		5.91	7.2	7.8		5.99	7	7.58	
90	5.98	7.25	7.62		5.97	7.18	7.85		5.97	6.94	7.49	
96	6.11	7.31	7.93		5.76	7.05	7.79		5.99	6.99	7.48	
104	6.06	7.29	7.9		6.01	7.19	7.92		5.82	6.91	7.35	
117	5.78	7.13	7.49		5.98	7.11	7.9		6.06	7.01	7.64	
121	5.97	7.21	7.58		6.11	7.23	7.95		5.98	6.96	7.47	
129	5.82	7.08	7.53		5.98	7.12	7.64		6.06	6.99	7.65	
134	6.06	7.22	7.87		5.99	7.16	7.74		6.11	7.03	7.68	
140	5.91	7.19	7.83		5.82	7.09	7.54					
144	5.88	7.26	7.76		6.18	7.21	7.95					
152	5.75	7.1	7.48		6.07	7.18	7.91					
163					5.92	7.11	7.85					

ตารางที่ ฌ-16 สภาพด่าง (มก.หินปูน/ลิตร) ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน (การทดลองที่ 4-6)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
20	178	265	241		186	281	270		162	258	222	
27	185	274	253		162	259	241		178	276	241	
34	168	267	239		178	271	256		186	274	243	
51	177	266	245		190	279	258		182	276	240	
62	180	271	257		185	273	255		169	263	235	
70	169	273	255		167	258	239		174	268	237	
79	174	274	250		188	277	249		164	260	233	
84	169	259	241		165	254	236		183	278	247	
90	188	275	259		185	267	248		190	281	251	
96	190	276	253		174	268	244		187	271	243	
104	176	271	260		171	261	247		179	276	250	
117	182	278	261		182	275	256		171	270	245	
121	173	269	251		166	259	237		180	269	241	
129	167	261	245		173	260	242		186	275	247	
134	188	274	258		186	273	256		169	268	231	
144	165	266	249		166	261	248					
152	170	263	241		174	266	240					
163					189	280	258					

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-17 TKN (mg N/l) ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน (การทดลองที่ 4-6)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
20	11.4	1.4	0.8		11.4	5.4	1.1		11.4	4.8	1.4	
27	7.8	4.6	1.1		7.7	5.6	1.1		7.7	4.3	0	
34	7.7	2.8	1.7		7.9	3.1	2		8.1	2.3	2.1	
51	9.9	3.2	1.2		10.1	2.8	1.6		9.4	2.5	1.3	
62	9.9	0.6	0		10.2	0.6	0		9.9	2.6	0	
70	11.7	0.9	0.6		10.2	0.8	0.6		11.4	2	0.6	
79	10.5	1.7	0.6		9.8	1.4	0.3		10.5	1.7	0.3	
84	9.9	1.1	0.2		10.2	1.4	0.4		10.6	0.9	0.2	
90	13.1	1.4	0.4		10	0.6	0		9.7	0.8	0	
96	10.8	0.8	0		10.2	1.1	0.4		9.1	1.1	0.6	
104	10.2	1.1	0.2		10.7	1.2	0.3		9.8	1.3	0.4	
117	10.1	1	0.6		10.3	0.6	0		10.5	2	0.8	
121	10.2	2	1.1		10.2	2.3	1.7		10.2	2.1	1.3	
129	11.1	3.4	1.7		11.4	1.4	0.3		11.4	2.1	0.7	
134	9.4	1.1	0.8		9.4	1.7	0.3		9.6	1.2	0.3	
144	9.8	1.4	0		10.2	1.4	0					
152	9.7	3.4	1.7		10.2	2.3	1.7					
163					10.3	1.3	0					

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-18 ไนเทรต (mg N/l)ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน (การทดลองที่ 4-6)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
20	0.4	0.3	0.9	1	1.7	2	2.5	1.5	1.9	2.4	2.4	2.7
27	0.3	0.4	0.2	1	0.3	1.2	1.9	1.1	1.2	1.2	2.1	1.7
30	0.4	0.6	0.9	1.2	0.7	1.2	1.8	1.2	0.3	1.4	2.5	1.4
34	0	0	0	0	0	0.7	1.2	0.5	0	0.4	1.2	0.4
55	0.7	0.2	0.9	1	1.2	0.9	1.8	1.8	0.8	0.9	1.1	1.2
65	0.7	0.6	0.8	1.1	0.7	1.3	1.7	1.4	1	1.5	1.5	1.4
76	0.7	0.4	1.7	1.8	1.1	0.8	0.9	0.5	1.3	0.7	0.8	0.5
84	0.9	0.5	0.9	0.8	0.9	0.6	1.2	1.1	0.7	0.2	0.9	0.9
93	0.8	0	0.1	0.1	0.6	0.5	1.1	1.3	0.6	0.3	0.1	0.2
104	0.7	0.1	0.4	0.3	1	0.7	0.4	0.6	0.8	0.5	0.9	0.3
117	0.9	0.8	0.7	1	0.8	0.7	1.3	0.8	0.9	0.8	0.8	0.4
121	0.6	0.4	1.3	0.9	1.3	1.3	1.6	0.9	1.1	0.9	1.7	1.5
129	0.9	0.4	1.1	1.3	0.8	0.3	1	0.7	0.9	0.5	1.2	1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-19 ไนไทรต์ (mg N/l) ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน (การทดลองที่ 4-5)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
20	0.03	0	0.04	0.03	0.1	0.05	0.02	0.01	0.11	0.06	0	0.01
27	0.01	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0.02	0.01
30	0.04	0.01	0	0.01	0.02	0	0.01	0	0.01	0.01	0	0.02
34	0.04	0.01	0	0.01	0.07	0	0.01	0	0.09	0	0	0.01
55	0.01	0.02	0.04	0.12	0.01	0	0.04	0.03	0.02	0.01	0.05	0.06
65	0.03	0	0.01	0.02	0.02	0.01	0	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
76	0	0.01	0.03	0.04	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
84	0	0	0.01	0	0	0	0.02	0.01	0	0	0.02	0.02
93	0	0	0.01	0	0.01	0	0.02	0.03	0	0	0	0
104	0.01	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
117	0	0	0.02	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.02
121	0.01	0	0.01	0.02	0.01	0	0.01	0.02	0.01	0	0.01	0.02
129	0.01	0	0.01	0.02	0.01	0	0.01	0	0	0	0.03	0.03

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-20 COD (mg/l) ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน (การทดลองที่ 4-6)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
20	303	124	18	22	365	94	11	18	327	84	14	7
27	327	131	25	1	345	105	25	12	315	76	9	11
30	321	111	11	10	250	122	11	7	357	54	6	7
34	316	183	21	16	364	172	25	18	352	122	32	29
37	359	166	18	18	355	155	28	21	347	113	18	21
41	400	173	7	2	394	162	4	3	365	138	7	2
51	325	17	13	10	356	17	13	13	327	7	3	3
55	366	14	7	4	354	17	7	5	354	17	10	6
58	337	17	14	10	400	17	10	3	320	7	3	3
62	362	26	23	21	366	34	26	21	357	34	30	17
70	318	20	0	0	356	0	0	0	355	0	0	0
76	383	8	4	4	380	12	8	4	328	16	12	4
79	343	12	2	2	389	12	8	4	302	20	16	12
84	352	21	4	3	341	15	4	3	319	15	5	2
90	333	19	12	11	356	19	8	8	324	23	15	8
96	361	39	31	18	355	23	19	19	329	58	23	12
104	328	19	5	5	337	17	6	2	318	21	6	4
117	334	23	8	1	380	8	4	1	341	15	4	2
121	316	22	15	14	329	7	3	1	304	15	7	1
129	360	19	7	7	341	19	11	5	347	19	15	2
134	329	7	4	4	366	7	4	4	319	14	7	5
140	318	11	3	3	371	9	2	1				
144	328	17	4	4	370	12	4	4				
152	319	8	4	4	355	4	1	1				
163					386	7	1	1				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-21 ฟอสฟอรัส (mg/l) ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน (การทดลองที่ 4-6)

time	inf CE	ana CE	aer CE	eff CE	inf OK	ana OK	aer OK	eff OK	inf CL	ana CL	aer CL	eff CL
20	7.6	11.6	6.6	7.3	16.1	19.9	10.8	13.2	49.4	66	55	54.7
27	13.9	15.8	6.7	7.9	31.9	14.3	9	12.5	57.6	71.9	17.9	17
30	6.1	12	8.4	2.4	12.4	3.9	14.2	11.5	28.3	52.6	19.1	11.5
34	11.6	12.4	8.6	9.9	23.6	19.4	15.6	16	53.6	69.6	58.5	55.2
37	10.5	18.4	24	15.3	16.2	22.5	11.7	19.4	54.7	72.5	48.1	55.9
41	5	12.3	5.6	5.7	11.1	27	20.4	12.8	55.8	59.4	47.2	50.8
51	5.8	22.1	4.2	8.1	18	23.9	15.6	15.2	57.1	59.1	43.8	41.5
55	7.2	19.4	2	1.6	15.5	34.9	27.2	6	49.5	51.5	44.9	45.7
58	6.4	30	1.5	1.7	9.5	37	3.1	7.3	59.7	72.6	48.2	60.1
62	6.6	40.6	5	2.6	15.8	55.9	8.6	4.2	52.6	80.2	45.4	38.6
65	6.9	18.6	2	1.1	13.1	46.8	5.7	7.4	43.8	67.8	35.4	17.5
70	10.1	38.6	4.2	1.9	16.2	55.9	9.5	13.5	57.4	77.2	48.5	31.8
76	12.1	51.4	3.6	5.8	17.4	51.8	1.8	1.6	57	82.2	46.4	42.5
79	7.2	39.1	2.7	1.6	16.8	69.1	5	6.2	57.9	88.8	30.2	39.7
84	8.6	39.2	2.5	2.6	16.4	71.8	5.4	5.9	54.7	51.1	37.4	28.7
90	11.4	46.3	2.3	2.6	16.8	73.3	6.1	9.3	58	49.6	35.6	22.1
93	11	48.5	1.4	4.1	24.9	76.6	9.6	8.5	45.9	64.7	33.8	27.6
96	10.8	29.5	2.8	6.3	14.7	46.5	5.7	9.6	45.8	77.4	21.7	27.8
104	10.2	22.5	3.4	5.6	16	51.3	6.5	8.6	57	83	36.5	37.2
117	10.1	23.5	4.2	5.2	15.7	47.5	6.4	7.6	52.1	80.2	32.4	36.1
121	7.5	25.3	2.3	2.7	15.6	50.4	8.5	8.2	57.6	82.1	38.1	30.8
124	7.3	30.4	2.6	3.4	15.3	56.3	3.4	3.7	49.3	74.2	31.2	28.9
129	6.4	31	1.9	1.9	14.5	63.4	4.6	5.3	54.3	76	33.9	35.9
131	6.2	26.6	0.1	0.1	12.1	59.6	1.1	4.2	45.9	79.1	30	33.4
134	7.3	28.3	2.1	2.9	11.5	71.4	3.7	5.7	49.7	81.9	30.8	32.2
138	6.3	27.8	2.2	2.3	14.9	59.3	5.2	5.4				
144	6	29.9	2.9	2.6	15.7	57.5	6.7	5.8				
148	5.9	28.6	2.3	2.6	14.9	61.3	5.1	5.1				
152	4.7	28.3	1.1	2.7	13.2	62.1	3.1	4.5				
158					14.8	63.5	6.2	5.6				
163					15.8	66.2	6.1	6.3				

ตารางที่ ฌ-22 MLSS และ MLVSS (mg/l) ที่อายุสลัดจ์ 10 วัน (การทดลองที่ 4-6)

time	SSanaCE	SSaerCE	VSanaCE	VSaerCE	SSanaOK	SSaerOK	VSanaOK	VSaerOK	SSanaCL	SSaerCL	VSanaCL	VSaerCL
20	1250	1070	1210	950	900	1110	790	970	1530	2400	1010	1960
27	820	1290	800	1150	820	1180	730	1050	2380	2570	1830	1050
30	1350	1540	1220	1380	1000	1130	880	980	1690	2390	1390	1730
34	1280	1580	1170	1370	1260	1550	1180	1450	2500	2870	2080	2210
37	1600	1560	1360	1290	1310	1180	1080	1010	1910	1870	1510	1480
41	2420	2540	2130	2210	1980	1850	1560	1520	2640	2580	2170	2190
51	3100	3470	2620	2910	3130	3170	2510	2490	3620	3720	2530	2610
55	3850	4390	3390	3730	3710	4090	3160	3320	4310	4340	3260	3390
58	4150	4330	3510	3520	4200	4540	3330	3490	5470	4680	3530	3330
65	4930	5190	4090	4230	4770	5280	3680	3940	5690	5200	3660	3540
70	4450	4320	2570	3390	4360	4480	3310	3320	6120	5870	4030	4010
79	4310	4420	3450	3540	4210	4420	2850	3200	6520	6280	4110	3790
90	3280	4700	2560	3630	4030	4690	3160	3300	6510	5100	3640	3170
93	3750	4560	3050	3540	3060	3420	2350	2480	5550	6850	3650	3720
104	3840	4010	3180	3220	4210	4350	3320	3360	6520	6640	5310	4410
117	4000	4100	3390	3400	4620	4840	3730	3810	6690	6360	3520	3130
121	3630	4260	2910	3440	4260	4710	3610	3900	6380	6710	3510	3540
124	3820	3910	3150	2900	4300	5420	3320	4160	6340	6390	3120	3050
129	4080	4260	3400	3600	4810	5410	3710	3960	6780	6380	3450	3070
134	3920	3820	3300	3190	4450	5260	3360	3900	6820	6650	3420	3390
144	3710	3720	3160	3060	4390	4870	3450	3770				
152	3690	3930	3210	3160	4370	5200	3450	3890				
163					4200	4900	3280	4030				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ญ.
การหาสัดส่วนต่างๆ ที่สถานะคงตัว

สัดส่วนต่างๆ ที่จะทำการคำนวณมีดังต่อไปนี้

1. สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดออกจากระบบต่อพีเอชเอที่ถูกใช้ไป (A)
2. สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดในช่วงแอโรบิกต่อพีเอชเอที่ถูกใช้ไป (B)
3. สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดในช่วงแอโรบิกต่อซีโอดีที่ถูกใช้ไป (C)
4. สัดส่วนของซีโอดีที่ถูกใช้ไปต่อฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดในช่วงแอโรบิก (D)
5. สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยในช่วงแอนแอโรบิกต่อซีโอดีที่ถูกใช้ไป (E)
6. สัดส่วนของซีโอดีที่ถูกใช้ไปต่อฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยในช่วงแอนแอโรบิก (F)

A : $$\frac{\Delta P_{sys}}{\Delta PHA_{upt}} = \frac{P_{inf} - P_{eff}}{(PHA_{ana} - PHA_{aer}) \times MLVSS}$$ mgP/mgPHA

B : $$\frac{\Delta P_{upt}}{\Delta PHA_{upt}} = \frac{P_{ana} - P_{aer}}{(PHA_{ana} - PHA_{aer}) \times MLVSS}$$ mgP/mgPHA

C : $$\frac{\Delta P_{upt}}{\Delta COD_{upt}} = \frac{P_{ana} - P_{aer}}{COD_{inf} - COD_{aer}}$$ mgP/mgCOD

D : $$\frac{\Delta COD_{upt}}{\Delta P_{upt}} = \frac{COD_{inf} - COD_{aer}}{P_{ana} - P_{aer}} = \frac{1}{C}$$ mgCOD/mgP

E : $$\frac{\Delta P_{rel}}{\Delta COD_{upt}} = \frac{P_{ana} - [(P_{inf} - P_{return}) / 2]}{COD_{inf} - COD_{ana}}$$ mgP/mgCOD

F : $$\frac{\Delta COD_{upt}}{\Delta P_{rel}} = \frac{COD_{inf} - COD_{ana}}{P_{ana} - [(P_{inf} - P_{return}) / 2]} = \frac{1}{E}$$ mgCOD/mgP

หมายเหตุ : $Q = Q_r$

ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ ญ-1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ญ-1 แสดงการคำนวณสัดส่วนต่างๆ ที่สถานะคงตัวของแต่ละการทดลอง

การทดลองที่	P (mg/l)			PHA (mgPHA/mgVSS		COD (mg/l)			MLVSS (mg/l)	A	B	C	D	E	F
	inf	ana	aer	ana	aer	inf	ana	aer							
4	6	27.2	1.8	127.7	32.7	337	17	3	3492	0.01	0.076	0.08	13.158	0.073	13.699
5	14.9	61.7	5.8	126.6	28.4	372	15	3	3544	0.03	0.161	0.15	6.622	0.164	6.098
6	47.4	88.2	30.8	276	52.8	321	17	2	3462	0.02	0.074	0.18	5.618	0.162	6.173

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฎ.
การดุลมวลฟอสฟอรัส

การทำดุลมวลฟอสฟอรัสนี้เป็นการเปรียบเทียบฟอสฟอรัสจากน้ำเสียเข้ากับฟอสฟอรัสที่ทิ้งจากระบบ โดยใช้หลักการดุลมวลสาร เนื่องจากระบบทำงานแบบต่อเนื่อง ฟอสฟอรัสเข้าจึงมาจากน้ำเสียเข้าเพียงอย่างเดียว ส่วนฟอสฟอรัสออกมาจากฟอสฟอรัสที่ออกไปกับน้ำทิ้ง, ฟอสฟอรัสในเอสเอสของน้ำทิ้งและฟอสฟอรัสจากสลัดจ์ส่วนเกินในแต่ละวัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Pin = P_{inf}$$

$$\therefore \quad \sum Pin = P_{inf} \times Q_{inf}$$

$$Pout = P_{eff} + P_{excess} + P_{ss}$$

$$\therefore \quad \sum Pout = (P_{eff} \times Q_{eff}) + (\%Pincell \times MLSS \times VSS/SS \times Q_{excess}) + (\%Pincell \times SS_{eff} \times VSS/SS \times Q_{eff})$$

จากสมการดังกล่าวทำให้สามารถดุลมวลฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นที่สถานะคงตัวของแต่ละการทดลองได้ดังตารางที่ ฎ-1 การทำดุลมวลฟอสฟอรัส

ตารางที่ ฎ-1 การคำนวณการดุลมวลฟอสฟอรัส

ชื่อการทดลอง	ครั้งที่	$\sum$ Pin (มก.)	P_{eff} (1) (มก.)	P_{excess} (2) (มก.)	P_{ss} (3) (มก.)	$\sum$Pout (4) (มก.)	$\sum$Pin -$\sum$ Pout (มก.)	ความถูกต้อง (%)
W/CE10	1	223.2	79.2	134.7	10.5	224.4	-12	99.46
	2	226.8	57.6	148.7	9.6	215.9	10.9	95.19
	3	212.4	61.2	146.5	8.4	216.1	-37	98.26
	4	208.8	50.4	154.7	10.7	215.8	-7	96.65
	5	216.0	68.4	140.5	9.0	217.9	-1.9	99.12
W/OK10	1	536.4	205.2	276.2	20.9	502.3	34.1	93.64
	2	525.6	187.2	280.4	20.4	488.0	37.6	92.85
	3	543.6	226.8	256.9	21.4	505.1	38.5	92.92
	4	543.6	208.8	272.5	24.4	505.7	37.9	93.03
	5	536.4	219.6	266.1	19.5	505.2	31.2	94.18

ชื่อการทดลอง	ครั้งที่	$\sum$ Pin (มก.)	P_{eff} [1] (มก.)	P_{excess} [2] (มก.)	P_{ss} [3] (มก.)	$\sum$Pout [4] (มก.)	$\sum$Pin - $\sum$ Pout (มก.)	ความถูกต้อง (%)
W/CL10	1	1782.0	1166.4	569.1	48.0	1783.5	-1.5	99.92
	2	1724.4	1137.6	542.4	43.8	1723.8	0.6	99.96
	3	1620.0	1040.4	526.8	41.2	1608.4	11.6	99.28
	4	1767.6	1148.4	569.6	44.6	1762.2	5.4	99.69
	5	1641.6	1058.4	534.4	43.0	1635.8	5.8	99.65

หมายเหตุ : (4) = (1) + (2) + (3)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฏ.

อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ

การหาอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสเป็นการทดลองแบบแบตช์ โดยใช้สลัดจ์จากถังแอโรบิกที่สถานะคงตัวล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผสมธาตุอาหาร (แคลเซียม, แมกนีเซียมและเหล็ก) 3-5 ครั้ง แล้วแยกเฉพาะส่วนที่เป็นสลัดจ์ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 400 มก./ลิตร และสารอื่น ๆ ตามสูตรน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจนได้ปริมาตร 1 ลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร ที่มีแท่งกวนแม่เหล็กที่สามารถทำให้สลัดจ์เกิดการกวนอย่างสมบูรณ์และเป็นสภาวะแอนแอโรบิก

การหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสเป็นการทดลองแบบแบตช์เช่นกัน โดยใช้สลัดจ์จากถังแอนแอโรบิกที่สถานะคงตัวล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผสมธาตุอาหาร (แคลเซียม, แมกนีเซียมและเหล็ก) 3-5 ครั้ง แล้วแยกเฉพาะส่วนที่เป็นสลัดจ์ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่เติมซีโอดีส่วนสารอื่น ๆ ใช้ตามสูตรน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองและเพิ่มฟอสฟอรัสเป็น 80 มก./ลิตร เติมลงไปในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร รวมกับสลัดจ์จนได้ปริมาตร 1 ลิตร เติมอากาศให้กับระบบตลอดเวลาจนกระทั่งเสร็จสิ้นการทดลอง

ตารางที่ ฏ-1 ปริมาณฟอสฟอรัสละลายที่สภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก ขณะทำการหาอัตราการปลดปล่อยและจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ

เวลา (นาที)	ฟอสฟอรัสละลาย (มก./ลิตร) ที่สภาวะแอนแอโรบิก			ฟอสฟอรัส (มก./ลิตร) ที่สภาวะแอโรบิก		
	W/CE10	W/OK10	W/CL10	W/CE10	W/OK10	W/CL10
0	0	0	0	72.3	96.4	88.4
5	1.8	5	3.3	59.0	81.8	59.0
10	4.3	10.3	12.9	42.1	45.7	34.6
20	11.1	28.5	30.6	28.6	26.7	21.0
40	27.3	62.5	62.5	19.0	19.0	17.5
60	43.5	78.4	93.4	7.6	12.8	16.7
90	51.6	77.6	97.7			
120	53.6	74.8	101.8	4.7	7.6	15.3
240				2.5	4.1	14.1

ค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะแอนแอโรบิกของการทดลอง W/CE10 เท่ากับ 2400 มก./ลิตร
ค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะแอนแอโรบิกของการทดลอง W/OK10 เท่ากับ 2770 มก./ลิตร
ค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะแอนแอโรบิกของการทดลอง W/CL10 เท่ากับ 1530 มก./ลิตร
ค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะแอโรบิกของการทดลอง W/CE10 เท่ากับ 2500 มก./ลิตร
ค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะแอโรบิกของการทดลองW/OK10 เท่ากับ 2600 มก./ลิตร
ค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะแอโรบิกของการทดลองW/CL10 เท่ากับ 2180 มก./ลิตร

initial rate

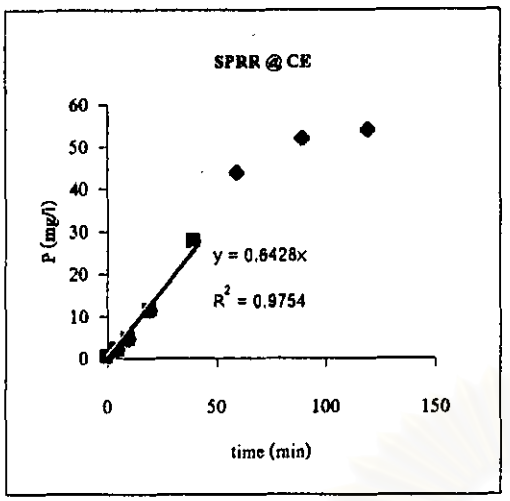
อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะ (specific phosphorus release rate)

- การทดลอง W/CE10 = 0.268 mgP/gvss.min
  = 16.07 mgP/gvss.hr.
  = 0.39 gP/gVSS.d
- การทดลอง W/OK10 = 0.544 mgP/gvss.min
  = 32.64 mgP/gvss.hr.
  = 0.78 gP/gVSS.d
- การทดลอง W/CL10 = 1.002 mgP/gvss.min
  = 60.11 mgP/gvss.hr.
  = 1.44 gP/gVSS.d

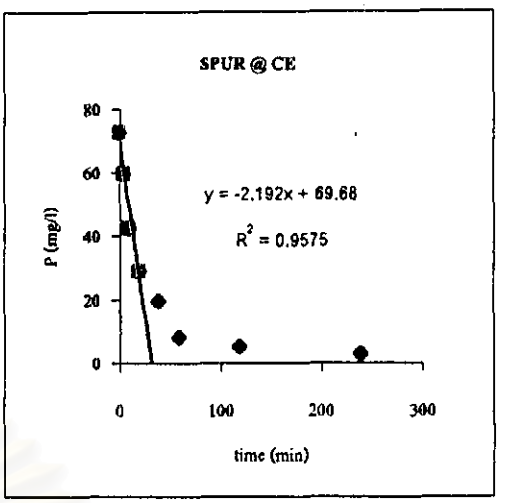
อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (specific phosphorus uptake rate)

- การทดลอง W/CE10 = 0.877 mgP/gvss.min
  = 52.61 mgP/gvss.hr.
  = 1.27 gP/gVSS.d
- การทดลอง W/OK10 = 1.394 mgP/gvss.min
  = 83.63 mgP/gvss.hr.
  = 2.00 gP/gVSS.d
- การทดลอง W/CL10 = 1.500 mgP/gvss.min
  = 90.00 mgP/gvss.hr.
  = 2.16 gP/gVSS.d

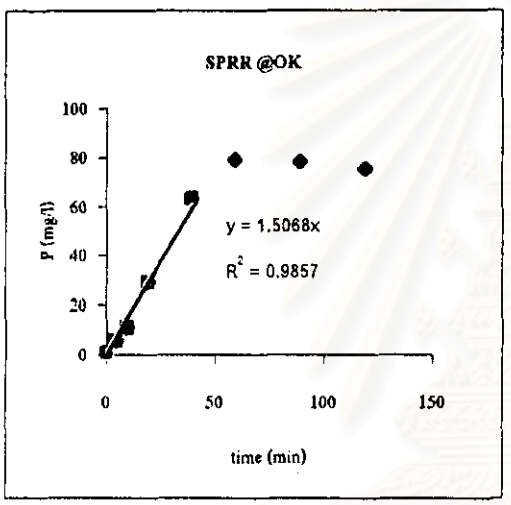
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



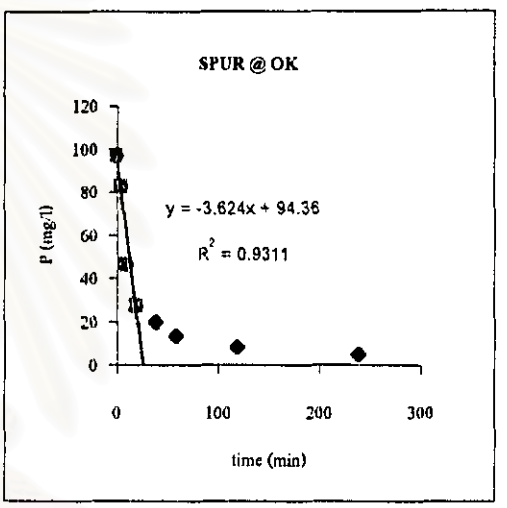
(ก)



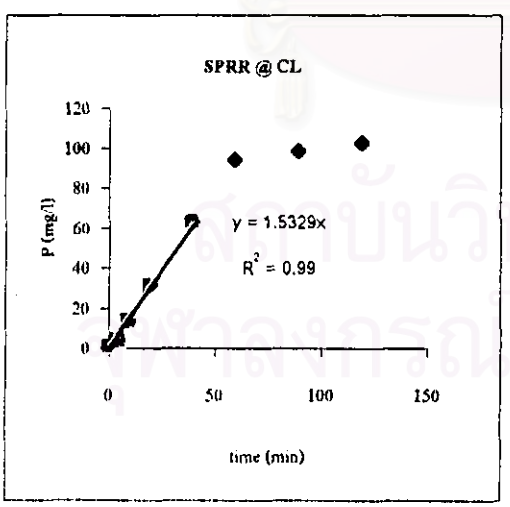
(ง)



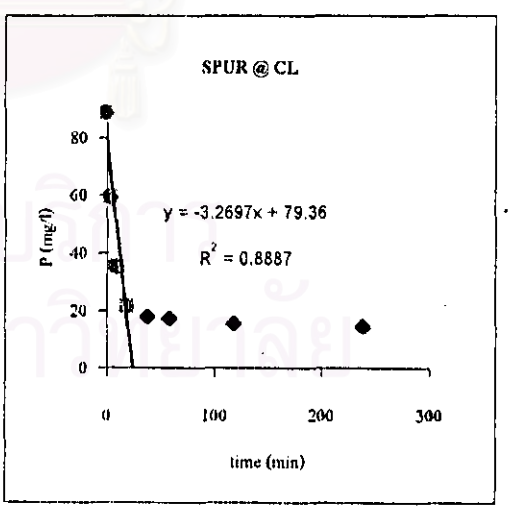
(ข)



(จ)

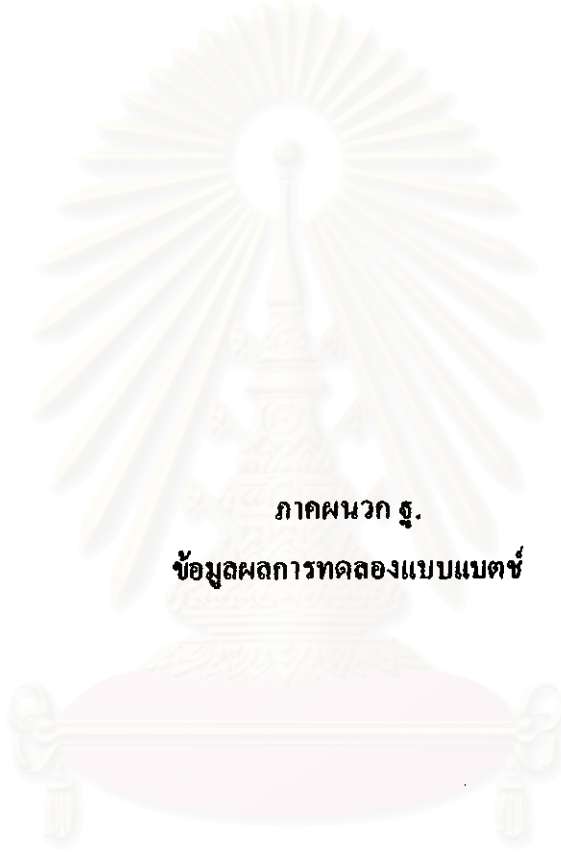


(ค)



(ฉ)

รูปที่ ฎ-1 กราฟแสดงการหาอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะ (ก) W/CE10 (ข) W/OK10 (ค) W/CL10 และอัตราการจับใช้จำเพาะ (ง) W/CE10 (จ) W/OK10 (ฉ) W/CL10



ภาคผนวก ฐ.

ข้อมูลผลการทดลองแบบแบตช์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฐ-1 ผลการทดลองเมื่อยืดระยะเวลาการเติมอากาศของ W/CE10

hr.	P (mg/l)	Pincell(%)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)	CST(sec)	R (m/kg)
4	2.9	5.34	4690	3940	24.51	1.56
5	1.8	5.73	4650	3690	23.66	2.84
6	1.2	5.76	4620	3680	26.08	3.73
7.5	0.6	5.78	4620	3770	25.06	3.9
9	0	5.99	4610	3560	25.47	3.98
11	0.8	5.62	4580	3780	26.28	4.05
13	0.9	5.64	4520	3770	28.45	5.77
15	0.8	5.65	4440	3760		
17	0.8	5.84	4260	3640		
19	2	5.87	4180	3600		
21	2.8	5.91	4100	3560		
23	4.6	5.99	3860	3480		
25	4.6	5.99	3840	3480		
27.5	5.1	5.98	3840	3480		
29	6.5	6.25	3820	3310		
30.5	7.3	6.36	3680	3240		
33	9.2	6.38	3640	3200		
37	10.3	6.42	3620	3160		
39	11.1	6.57	3600	3080		
41.5	11.7	6.68	3540	3020		
44	20.5	6.69	3420	2880		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฐ-2 ผลการทดลองเมื่อยืดระยะเวลาการเติมอากาศของ W/OK10

hr.	P (mg/l)	Pincell(%)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)	CST(sec)	R (m/kg)
4	4	8.37	4520	3560	21.57	2
5	1.9	8.67	4520	3460	21.77	3.07
6	2.9	8.66	4480	3450	21.21	3.43
7.5	3.8	8.66	4440	3440	19.61	3.52
9	4.7	8.66	4400	3430	21.9	3.73
11	6	8.65	4380	3420	23.96	3.85
13	8.6	8.65	4340	3380	24.81	4.75
15	12.8	8.66	4270	3340		
17	14.3	8.72	4260	3300		
19	15	8.8	4210	3260		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฐ-3 ผลการทดลองเมื่อยืดระยะเวลาการเติมอากาศของ W/CL10

hr.	P (mg/l)	Pincell(%)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)	CST(sec)	R (m/kg)
4	28.8	20.49	6280	2990	29.98	1.08
5	9.4	20.66	6200	3060	29.29	1.73
6.5	5	21.72	6260	2930	25.81	3.46
8	6.8	21.29	6000	2980	23.05	3.53
9.5	10.5	20.62	6140	3060	23.14	3.6
11	10.9	20.21	6060	3120	25.56	3.71
13	12.8	20.82	6060	3020	26.5	3.93
15	13.4	20.94	6040	3000		
17	17.3	20.94	6040	2980		
19	21.1	20.68	5880	3000		
21	23.7	20.19	5860	3060		
23.5	27	20.48	5720	3000		
25	32.7	20.85	5180	2920		
28.7	35	21.78	5020	2780		
32	36	22.1	4800	2740		
34	59.9	22.37	4540	2600		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฐ-4 ผลของการเติมซีโอดี ณ เวลาที่ดีที่สุดในการกำจัดฟอสฟอรัส ครั้งที่ 1

	OK/1						CL/1				
hr	COD (mg/l)	P (mg/l)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)	VSS/SS (%	hr	COD (mg/l)	P (mg/l)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l	VSS/SS (%)
4	4	5.4	4860	3740	76.95	4	3	32.3	6720	3290	48.96
5	4	2.1	5360	4130	77.05	5	3	10.1	6610	3230	48.86
5	384	2.1	5360	4130	77.05	6.5	3	6.2	6960	3340	47.99
6	15	17.7	5640	4400	78.01	6.5	2385	6.2	6960	3340	47.99
8.5	12	11.2	5880	4590	78.06	8.5	1834	90.8	7120	3570	50.14
11	7	10.4	5990	4670	77.96	11	1108	150.1	7340	3720	50.68
14	5	8.3	6110	4710	77.09	14	489	162.5	7530	3910	51.92

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฐ-5 ผลของการเติมซีโอดี ณ เวลาที่ดีที่สุดในการกำจัดฟอสฟอรัส ครั้งที่ 2

	OK/2								CL/2						
hr	COD (mg/l)	P (mg/l)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)	pH	DO (mg/l)	VSS/SS (%)	hr	COD (mg/l)	P (mg/l)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)	pH	DO (mg/l)	VSS/SS (%)
4	4	5.2	2920	2250	7.85	6.24	77.1	4	3	33.6	6240	3060	7.5	7.5	49.04
5	3	2.5	2860	2200	8.18	5.72	76.9	5	3	12.4	5720	2750	8.16	7.4	48.08
5	378	2.5	2860	2200	8.18	5.72	76.9	6.5	3	8	5700	2680	8.31	6.6	48.08
6	16	19.1	3300	2540	8.6	4.93	77	6.5	2724	8	5700	2680	8.31	6.6	47.02
8.5	10	10.4	3120	2410	8.84	5.9	77.2	8.5	1508	105.9	6080	3100	8.63	3.88	50.99
11	5	9.6	3140	2450	8.67	5.89	78	11	730	142.9	6160	3260	9.01	5.74	52.92
14	3	9.2	3180	2480	8.57	5.52	78	14	422	149.6	6200	3290	9.03	5.62	53.06
17	3	8.4	3210	2500	8.62	5.47	77.9	17	211	150.3	6660	3540	8.99	5.26	53.15
21	2	12.5	3380	2630	8.64	5.17	77.8	21	113	153	6860	3640	9.01	5.14	53.06
25	1	16.4	3300	2570	8.72	5.35	77.9	25	97	155.1	7050	3740	9.14	5.35	53.05
33	1	14.3	3280	2560	8.79	5.41	78.1	33	78	152.1	7460	3880	9.16	5.29	52.01

ตารางที่ ข-6 ผลของการเติมซีโอดีและไนโตรเจน ณ เวลาที่ดีที่สุดในการกำจัดฟอสฟอรัส

	OK/3								CL/3						
hr	COD (mg/l)	P (mg/l)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)	pH	DO (mg/l)	VSS/SS (%)	hr	COD (mg/l)	P (mg/l)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)	pH	DO (mg/l)	VSS/SS (%)
4	5	6.5	3400	2520	7.85	6.77	74.1	4	5	32.3	6260	3010	7.51	7.13	48.08
5	3	1.9	3280	2460	8.38	6.67	75	5	3	18	5980	2870	8.32	8.63	47.99
5	330	1.9	3280	2460	8.38	6.67	75	6.5	3	8	5820	2760	8.37	6.86	47.42
6	19	33.1	3390	2550	8.43	5.66	75.2	6.5	2659	8	5820	2760	8.37	5.04	47.42
8.5	16	11.6	3610	2680	8.78	5.91	74.2	8.5	1443	120.5	6160	3070	9.11	5.74	49.84
11	6	15.9	3820	2840	8.79	6.04	74.3	11	632	137.3	6300	3210	9.25	5.07	50.95
14	5	17.7	3310	2490	8.81	6.18	75.2	14	449	139.1	6500	3380	9.14	5.15	52
17	3	20.4	3360	2530	8.83	6.03	75.3	17	288	147	6620	3510	9.14	5.21	53.02
21	2	20.8	3520	2660	8.73	5.98	75.6	21	227	153.8	6860	3650	9.17	5.05	53.21
25	2	25.2	3410	2580	8.81	5.89	75.7	25	197	162.3	6990	3720	9.29	5.31	53.22
33	2	32.4	3280	2490	8.85	6.2	75.9	33	98	183.9	7240	3860	9.37	5.28	53.31

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนภาพร ทองคำมาก เกิดเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา เมื่อปี พ.ศ. 2535 จากโรงเรียนอุทัยวิทยาคม จังหวัดอุทัยธานี ได้ศึกษาต่อระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต เมื่อปี พ.ศ. 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย