

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กชกร ก้องกังวาลย์ จิตาภา วชิรศักดิ์ และพิสุทธิ์ เพ็ชรมนกุล. 2552. การศึกษาอุปกรณ์เติมอากาศ ยืดหยุ่นแบบท่อในด้านการถ่ายเทออกซิเจน และอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2537. วิศวกรรมการประปา. เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มูลนิธิชัยพัฒนา. 2531. กังหันชัยพัฒนา. ผลงาน และ งานวิจัย [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://online.benchama.ac.th/webcontest/piboon/images/2/0000311.jpg> [2553, มกราคม 4]
- วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา. 2544. จลนพลศาสตร์และการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี. จำนวนพิมพ์ 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

### ภาษาอังกฤษ

- ALAB, LLC. 1996. Alab Fine Bubble Diffusers. QuickPure™ TECHNOLOGIES [Online]. Available from: <http://www.alabdifusers.com/DiffuserDiscovery.htm> [2010, January 4]
- Arkhangelsky, E., Kuzmenko, D., and Gitis, V. 2007. Impact of chemical cleaning on properties and functioning of polyethersulfone membranes. Journal of Membrane Science 36 : 176-184.
- Bayramoglu, M., Cakici, A., and Tekin, T. 2000. Modeling of oxygen transfer rate in diffused-air aeration tanks. Trans IChemE 78 : 209-212.
- Benjamin, M.M. 2002. WATER CHEMISTRY. International Edition. Water resources and environmental engineering. Singapore : McGraw-Hill.
- CSH INC. 2006. A082 Centrifugal Blower. Centrifugal Blowers [Online]. Available from: <http://www.cshincorporated.com/images/A082.jpg> [2010, January 4]
- Devatine, A., and Mietton-Peuchot, M. 2009. A mathematical approach for oxygenation using micro bubbles application to the micro-oxygenation of wine. Chemical Engineering Science 64 : 1909-1917

- DIRECT INDUSTRY. 2005. Roots type lobe blower. Products [Online]. Available from: [http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-g/roots-type-lobe-blower-53126.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/roots-type-lobe-blower-53126.jpg) [2010, January 4]
- ENVIRONMENTAL DYNAMICS INC. 2005. PermaCap. Aeration products [Online]. Available from: <http://www.wastewater.com/aeration-products/permacap.htm> [2010, January 4]
- ERE CORPORATE. 2009. Aeration. Water treatment [Online]. Available from: <http://ereinc.com/images/Filtration/Aeration/CoarseBubbleDiffuser.jpg> [2010, January 4]
- FAO CORPORATE DOCUMENT REPOSITORY. 2000. Aeration. BIOLOGICAL TREATMENT [Online]. Available from: <http://www.fao.org/docrep/003/v9922e/V9922E29.jpg> [2010, January 4]
- F.L.I. BRIGHTWATER. 2007. Diffuser Aeration Systems. WATER AND WASTEWATER TREATMENT [Online]. Available from: [http://www.brightwaterfli.com/diffused\\_aeration\\_systems.htm](http://www.brightwaterfli.com/diffused_aeration_systems.htm) [2010, January 4]
- Gillot, S., Capela-Marsal, S., Roustan, M., and Héduit, A. 2005. Predicting oxygen transfer of fine bubble diffused aeration systems-model issued from dimensional analysis. Water Research 39 : 1379-1387.
- GRG ENVIRO SOUND SOLUTIONS (P) LTD. 2009. Flyma Jet Aerator. Aerator [Online]. Available from: <http://product-image.tradeindia.com/00227006/b/0/Flyma-Jet-Aerator.jpg> [2010, January 4]
- Grupa Powen-Wafapomp SA. 2006. PUMPS OSW. PRODUCT CATALOGUE [Online]. Available from: <http://www.powen.pl/temp/uploads/file/osw-200-widok-kompresja%281%29.jpg> [2010, January 4]
- Hasanen, A., Orivuori, P., and Aittamaa, J. 2006. Measurements of local bubble size distributions from various flexible membrane diffusers. Chemical Engineering and Processing 45 : 291–302.
- Hebrard, G., Destrac, P., Roustan, M., Huyard, A., and Audic, J.M. 2000. Determination of the water quality correction factor  $\alpha$  using a tracer gas method. Water Research 34 : 684-689.
- HYDRO-LOGIC ENVIRONMENTAL. 2001. Advanced Membrane Technology. Oxygen Transfer Technology [Online]. Available from: <http://www.hydrologic.ca/companies/ott/ott.html> [2010, January 4]

- Jamnongwong, M., Loubiere, K., Dietrich, N., and Hébrard G. 2010. Experimental study of oxygen diffusion coefficients in clean water containing salt, glucose or surfactant: Consequences on the liquid-side mass transfer coefficients. Chemical Engineering Journal 165: 758-768.
- Japanese Advanced Environment Equipment (JSIM). 2001. Deep Shaft Process. Pulp and Paper Wastewater Treatment [Online]. Available from: [http://www.gec.jp/JSIM\\_DATA/WATER/WATER\\_1/img/Fig\\_220-1.jpg](http://www.gec.jp/JSIM_DATA/WATER/WATER_1/img/Fig_220-1.jpg) [2010, January 4]
- Kaliman, A., Rosso, D., Leu, S.Y., and Stenstrom, M.K. 2008. Fine-pore aeration diffusers: Accelerated membrane ageing studies. WATER RESEARCH 42 : 467-475.
- Metcalf & Eddy, Inc. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. Fourth Edition. International Edition. Singapore : McGraw-Hill.
- Moustiri, S., Hebrard, G., Thakre, S.S., and Roustan, M. 2001. A unified correlation for predicting liquid axial dispersion coefficient in bubble columns. Chemical Engineering Science 56. : 1041-1047.
- Mueller, J.A., Boyle, W.C., and Johannes Pöpel, H. 2002. AERATION: Principles and Practice. VOLUME 11. United States of America : CRC PRESS.
- Nanjing DeTech Pumps Co., Ltd. 2007. DSA Submersible Aerator. Environment products [Online]. Available from: <http://image.made-in-china.com/2f0j00tvmQgeiBCDkq/Dsa-Submersible-Aerator-DSA-.jpg> [2010, January 4]
- Nedeltchev, S., Jordan, U., and Schumpe, A. 2006. A new correction factor for theoretical prediction of mass transfer coefficients in bubble columns. Journal of Chemical Engineering of Japan 39 : 1237-1242.
- Painmanakul, P., and Jamnongwong, M. 2007. Theoretical prediction of mass transfer parameters in small bubble column. Asian-Pacific Regional conference on Practical Environmental Technology Proceedings of Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environmental Technologies (APRC 2007 International Conference), August 2007.
- Painmanakul, P., Loubiere, K., Hebrard, G., and Buffiere, P. 2004. Study of different membrane spargers used in wastewater treatment: characterization and performance. Chemical Engineering and Processing 43 : 1347-1359.

- Phoenix Engineering. 2001. Submersible aerator. [KJI Electric Submersible Pumps](http://www.phoenixeng.com.my/images/Pumps/KJI_KRO.jpg) [Online]. Available from: [http://www.phoenixeng.com.my/images/Pumps/KJI\\_KRO.jpg](http://www.phoenixeng.com.my/images/Pumps/KJI_KRO.jpg) [2010, January 4]
- Rosso, D., Libra, J.A., Wiehe, W., and Stenstrom, M.K. 2008. Membrane properties change in fine-pore aeration diffusers: Full-scale variations of transfer efficiency and headloss. [WATER RESEARCH](#) 42 : 2640-2648.
- SIEMENS. 2010. SnapCap™ Coarse Bubble Diffuser. [Aerobic Processes - Diffused Air Systems](http://www.water.siemens.com/en/products/aeration/diffused_air_systems/Pages/envirex_products_snapcap.aspx) [Online]. Available from: [http://www.water.siemens.com/en/products/aeration/diffused\\_air\\_systems/Pages/envirex\\_products\\_snapcap.aspx](http://www.water.siemens.com/en/products/aeration/diffused_air_systems/Pages/envirex_products_snapcap.aspx) [2010, January 4]
- Spartan Environmental Technologies. 2004. Fine Bubble Diffuser Contactors for Ozone Water Treatment. [Air and Water Treatment](http://www.spartanwater-treatment.com/ozone-fine-bubble-diffusers.html) [Online]. Available from: <http://www.spartanwater-treatment.com/ozone-fine-bubble-diffusers.html> [2010, January 4]
- Triumph Machinery Corporation. 1971. Ritz Submersible aerator. [Products-Ritz](http://www.trimcor.net/ritz/Submersible%20aerator.jpg) [Online]. Available from: <http://www.trimcor.net/ritz/Submersible%20aerator.jpg> [2010, January 4]
- Triveni : ENGINEERING AND INDUSTRIES LTD. 2003. Air diffuser. [Types of products](http://www.trivenigroup.com/water/air-diffuser.html) [Online]. Available from: <http://www.trivenigroup.com/water/air-diffuser.html> [2010, January 4]
- Van Halem, D., Van der Laan, H., Heijman, S.G.J., Van Dijk, J.C., and Amy G.L. 2009. Assessing the sustainability of the silver-impregnated ceramic pot filter for low-cost household drinking water treatment. [Physics and Chemistry of the Earth](#) 34 : 36-42.
- VENTUSE. 2001. PRODUCTS-STATIC TUBE AERATORS. [AERATION SYSTEMS](http://www.ventuse.net/detailPic.cfm?pic=staticTube.jpg) [Online]. Available from: <http://www.ventuse.net/detailPic.cfm?pic=staticTube.jpg> [2010, January 4]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

## ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก-1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารของอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่น

ภาคผนวก ก-1.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน ( $k_L a$ ) และค่าความดันขณะเติมอากาศ ของท่อยืดหยุ่นตัวอย่างต่างๆ

ตัวอย่างที่	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)			ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)		
	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
1.1	1.22E-03	2.33E-03	5.37E-03	3.00	6.00	12.00
1.2	1.28E-03	2.33E-03	3.19E-03	1.00	1.20	1.40
1.3	1.12E-03	2.08E-03	2.66E-03	0.80	1.00	1.20
2.1	1.32E-03	-	-	14.00	-	-
2.2	1.18E-03	1.92E-03	3.03E-03	1.00	1.40	3.00
2.3	1.07E-03	2.14E-03	3.00E-03	0.80	1.00	1.20
3.1	1.27E-03	2.23E-03	-	8.00	17.50	-
3.2	1.06E-03	2.34E-03	3.73E-03	0.80	1.20	1.80
3.3	1.05E-03	2.05E-03	3.78E-03	1.00	1.20	2.00
6.1	1.24E-03	2.77E-03	4.70E-03	3.20	6.80	14.00
6.2	1.37E-03	2.19E-03	3.38E-03	1.80	3.00	6.00
6.3	1.37E-03	2.43E-03	3.93E-03	0.80	0.90	1.10
7.1	1.21E-03	2.41E-03	3.62E-03	1.80	4.00	13.00
7.2	1.20E-03	2.20E-03	3.72E-03	0.80	1.00	1.20
7.3	1.31E-03	2.11E-03	3.27E-03	0.80	1.00	1.20
8.1	1.28E-03	2.51E-03	1.22E-02	4.00	11.00	31.00
8.2	1.13E-03	2.35E-03	3.71E-03	1.00	1.40	2.80
8.3	1.25E-03	2.23E-03	3.26E-03	0.80	1.00	1.20

ภาคผนวก ก-1.1.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (OTE) และอัตราการถ่ายเทออกซิเจน (OTR) ของท่อยืดหยุ่นตัวอย่างต่างๆ

ตัวอย่างที่	ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)			อัตราการถ่ายเทออกซิเจน (มก./กิโวลต์-วินาที)		
	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
1.1	2.16	2.07	2.38	287	137	79
1.2	2.27	2.07	1.41	904	686	402
1.3	1.99	1.84	1.18	989	735	391
2.1	2.34	-	-	67	-	-
2.2	2.09	1.70	1.34	833	484	178
2.3	1.90	1.90	1.33	945	756	441
3.1	2.25	1.98	-	112	45	-
3.2	1.88	2.08	1.65	936	689	366
3.3	1.86	1.82	1.68	742	603	334
6.1	2.20	2.46	2.08	274	144	59
6.2	2.43	1.94	1.50	538	258	99
6.3	2.43	2.16	1.74	1,210	954	631
7.1	2.15	2.14	1.61	475	213	49
7.2	2.13	1.95	1.65	1,059	777	547
7.3	2.32	1.87	1.45	1,157	745	481
8.1	2.27	2.23	5.41	226	81	69
8.2	2.00	2.08	1.65	798	593	234
8.3	2.22	1.98	1.45	1,104	788	480

ภาคผนวก ก-1.2.1 ผลวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศ ( $d_B$ ) และความเร็วลอยตัวของฟองอากาศ ( $U_B$ )

ตัวอย่างที่	ขนาดฟองอากาศ (มม.)			ความเร็วลอยตัวของฟองอากาศ (ม./วินาที)		
	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
1.3	2.11	2.17	2.45	0.225	0.236	0.318
6.3	2.12	2.24	2.30	0.219	0.266	0.273
8.1	2.49	2.38	-	0.236	0.287	-

วิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศจากภาพถ่ายโดยกล้องความเร็วสูงที่จุดกึ่งกลางความสูงของระดับน้ำ (สูงประมาณ 10 ซม. จากก้นถัง) และคำนวณขนาดฟองอากาศได้ดังสมการ

$$d_B = (l^2 \times h)^{1/3}$$

เมื่อ  $l$  คือความยาวของฟองอากาศ (มม.)  $h$  คือความสูงของฟองอากาศ (มม.) หลังจากนั้นเฉลี่ยขนาดฟองอากาศแบบซอเทอร์ (Sauter mean diameter,  $d_{32}$ ) ได้ดังสมการ

$$d_{32} = \frac{\sum d^3}{\sum d^2}$$

ภาคผนวก ก-1.2.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่สัมผัสจำเพาะระหว่างฟองอากาศกับน้ำ (a) และสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลผ่านชั้นกลางของเหลว ( $k_L$ )

ตัวอย่างที่	พื้นที่สัมผัสจำเพาะ (1/ม.)			สัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลผ่านชั้นกลางของเหลว (ม./วินาที)		
	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
1.3	4.58	8.51	11.17	4.58	8.51	11.17
6.3	4.68	7.30	13.82	4.68	7.30	13.82
8.1	3.70	6.36	-	3.70	6.36	-

พื้นที่สัมผัสจำเพาะระหว่างฟองอากาศกับน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$a = \frac{N_B \times \pi \times d_B^2}{A \times H_L + N_B \times V_B}$$

เมื่อ  $N_B$  คือจำนวนฟองอากาศ A คือพื้นที่หน้าตัดของถังเติมอากาศ (ตร.ม.)  $H_L$  คือระดับความสูงของน้ำ (ม.) และ  $V_B$  คือปริมาตรของฟองอากาศ (ลบ.ม.) และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลผ่านชั้นกลางของเหลวได้ดังสมการ

$$k_L = \frac{k_L a}{a}$$

ภาคผนวก ก-2 ผลการศึกษาผลกระทบจากสภาวะการทำงานต่างๆต่อประสิทธิภาพการเติมอากาศ การดูดซับ และวิธีการทำความสะอาดที่เหมาะสม

ภาคผนวก ก-2.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนและค่าความดันขณะเติมอากาศในน้ำที่ถูกปนเปื้อนด้วยดินขาว

อัตราการไหล ของอากาศ ลิตร/นาที	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)				ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)			
	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)		
		50	100	200		50	100	200
0.5	9.48E-04	9.51E-04	1.48E-03	1.37E-03	1.50	1.50	1.50	1.50
1.0	2.70E-03	1.86E-03	2.81E-03	2.86E-03	1.80	1.80	1.80	1.80
2.0	4.51E-03	3.16E-03	4.17E-03	4.86E-03	2.60	2.60	2.60	2.60
4.0	6.89E-03	6.79E-03	6.57E-03	7.17E-03	4.30	4.30	4.30	4.30
5.0	8.36E-03	7.54E-03	8.02E-03	8.50E-03	4.90	4.90	4.90	4.90

ภาคผนวก ก-2.1.2 ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนและอัตราการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำที่ถูกปนเปื้อนด้วยดินขาว

อัตราการไหล ของอากาศ ลิตร/นาที	ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)				อัตราการถ่ายเทออกซิเจน (มก./กิโลวัตต์-วินาที)			
	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)		
		50	100	200		50	100	200
0.5	3.36	3.37	5.15	4.84	893	896	1,367	1,284
1.0	4.79	3.30	4.89	5.05	1,059	730	1,081	1,117
2.0	4.00	2.80	3.63	4.29	613	429	555	657
4.0	3.06	3.01	2.86	3.16	283	279	265	293
5.0	2.97	2.68	2.79	3.00	241	217	227	244

ภาคผนวก ก-2.1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนและค่าความดันขณะเต็ม อากาศในน้ำที่ถูกปนเปื้อนด้วยเกลือ

อัตราการไหล ของอากาศ ลิตร/นาที	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)					ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)				
	น้ำประปา	เกลือ (มก./ลิตร)			น้ำทะเล	น้ำประปา	TDS (NaCl, mg/L.)			น้ำทะเล
		7,500	20,000	35,000			7,500	20,000	35,000	
0.5	9.48E-04	1.95E-03	1.72E-03	1.62E-03	1.37E-03	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
1.0	2.70E-03	4.04E-03	6.65E-03	6.75E-03	3.51E-03	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
2.0	4.51E-03	7.37E-03	1.40E-02	1.01E-02	6.07E-03	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
4.0	6.89E-03	1.04E-02	1.97E-02	1.16E-02	9.55E-03	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30
5.0	8.36E-03	1.85E-02	2.08E-02	2.00E-02	1.10E-02	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90

ภาคผนวก ก-2.1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนและค่าความดันขณะเต็ม อากาศในน้ำที่ถูกปนเปื้อนด้วยเกลือ

อัตราการไหล ของอากาศ ลิตร/นาที	ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)					อัตราการถ่ายเทออกซิเจน (มก./กิโลวัตต์-วินาที)				
	น้ำประปา	เกลือ (มก./ลิตร)			น้ำทะเล	น้ำประปา	TDS (NaCl, mg/L.)			น้ำทะเล
		7,500	20,000	35,000			7,500	20,000	35,000	
0.5	3.36E+00	6.81E+00	6.01E+00	5.67E+00	4.65E+00	892.77	1807.42	1594.24	1505.26	1233.82
1.0	4.79E+00	7.05E+00	1.16E+01	1.18E+01	5.95E+00	1059.46	1560.25	2568.24	2613.29	1317.12
2.0	4.00E+00	6.43E+00	1.22E+01	8.84E+00	5.15E+00	612.58	985.26	1871.59	1353.55	788.46
4.0	3.06E+00	4.54E+00	8.60E+00	5.08E+00	4.05E+00	282.93	420.33	796.20	469.99	375.03
5.0	2.97E+00	6.46E+00	7.26E+00	7.00E+00	3.73E+00	241.01	524.92	590.18	568.88	303.26

ภาคผนวก ก-2.1.5 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนและค่าความดันขณะเต็มอากาศในน้ำที่ถูกปนเปื้อนด้วยเซลล์จุลชีพ

อัตราการไหล ของอากาศ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)				ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)			
	น้ำประปา	เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)			น้ำประปา	เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		1,000	2,000	3,000		1,000	2,000	3,000
0.5	9.48E-04	7.80E-04	5.91E-04	5.86E-04	1.50	1.50	1.50	1.50
1.0	2.70E-03	1.86E-03	1.20E-03	1.42E-03	1.80	1.80	1.80	1.80
2.0	4.51E-03	3.00E-03	2.29E-03	2.76E-03	2.60	2.60	2.60	2.60
4.0	6.89E-03	5.24E-03	4.46E-03	4.76E-03	4.30	4.30	4.30	4.30
5.0	8.36E-03	6.57E-03	5.26E-03	5.94E-03	4.90	4.90	4.90	4.90

ภาคผนวก ก-2.1.6 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนและค่าความดันขณะเต็มอากาศในน้ำที่ถูกปนเปื้อนด้วยเซลล์จุลชีพ

อัตราการไหล ของอากาศ	ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)				อัตราการถ่ายเทออกซิเจน (มก./กิโลวัตต์-วินาที)			
	น้ำประปา	เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)			น้ำประปา	เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		1,000	2,000	3,000		1,000	2,000	3,000
0.5	3.36E+00	2.45E+00	1.86E+00	1.64E+00	892.77	650.76	493.08	435.33
1.0	4.79E+00	2.92E+00	1.89E+00	1.99E+00	1059.46	646.59	417.15	439.54
2.0	4.00E+00	2.36E+00	1.80E+00	1.93E+00	612.58	361.00	275.56	295.72
4.0	3.06E+00	2.06E+00	1.75E+00	1.67E+00	282.93	190.63	162.25	154.19
5.0	2.97E+00	2.07E+00	1.65E+00	1.66E+00	241.01	167.80	134.34	135.08



ภาคผนวก ก-2.2.1 ผลวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศ และความเร็วลอยตัวของฟองอากาศในสภาวะการเติมอากาศต่างๆ

ลักษณะน้ำ	ความเข้มข้น (มก./ลิตร)	ขนาดฟองอากาศ (มม.)			ความเร็วลอยตัวของฟองอากาศ (ม./วินาที)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที่)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที่)		
		1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
น้ำประปา	-	2.12	2.24	2.30	0.219	0.266	0.273
ดินขาว	50	1.94	1.91	1.92	0.212	0.275	0.325
	100	1.89	-	1.96	0.268	-	0.290
	200	1.65	-	1.97	0.271	-	0.264
เกลือ	7,500	1.12	-	1.34	0.130	-	0.139
	20,000	1.06	-	1.16	0.120	-	0.124
	35,000	0.98	-	0.98	0.113	-	0.113
เซลล์จุลชีพ	1,000	1.17	-	1.46	0.185	-	0.242
	2,000	1.16	-	1.53	0.122	-	0.233
	3,000	1.25	-	1.51	0.126	-	0.242

ภาคผนวก ก-2.2.2 ผลวิเคราะห์พื้นที่สัมผัสจำเพาะระหว่างฟองอากาศกับน้ำ และสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลผ่านชั้นกลางของเหลวในสภาวะการเติมอากาศต่างๆ

ลักษณะน้ำ	ความเข้มข้น (มก./ลิตร)	พื้นที่สัมผัสจำเพาะ (1/ม.)			สัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลผ่านชั้นกลางของเหลว (ม./วินาที)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที่)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที่)		
		1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
น้ำประปา	-	4.675	7.299	13.824	5.78E-04	6.18E-04	4.98E-04
ดินขาว	50	5.294	8.300	13.949	3.51E-04	3.81E-04	4.87E-04
	100	4.308	-	15.269	6.52E-04	-	4.30E-04
	200	4.887	-	16.734	5.81E-04	-	4.24E-04
เกลือ	7,500	14.966	-	46.184	2.70E-04	-	2.25E-04
	20,000	17.053	-	59.996	3.90E-04	-	3.28E-04
	35,000	19.598	-	78.253	3.44E-04	-	1.48E-04
เซลล์จุลชีพ	1,000	10.052	-	24.569	1.85E-04	-	2.13E-04
	2,000	15.363	-	24.248	7.81E-05	-	1.84E-04
	3,000	13.862	-	23.767	1.02E-04	-	2.00E-04

ภาคผนวก ก-2.3.1 ผลวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน และประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของท่อยึดหยุ่นจากการศึกษาระยะเวลาที่อาจก่อให้เกิดการอุดตันจากการหยุดเติมอากาศ

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)			ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที่)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที่)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	2.70E-03	4.51E-03	6.89E-03	4.79	4.00	3.06
ดินขาว	10	3.00E-03	5.01E-03	8.46E-03	5.30	4.42	3.73
เกลือ	10	2.69E-03	5.07E-03	7.93E-03	4.71	4.44	3.47
น้ำทะเล	10	2.74E-03	5.03E-03	7.60E-03	4.65	4.27	3.22
เชลล์จุลชีพ	0.25	2.67E-03	4.83E-03	7.52E-03	3.74	3.38	2.63
	3	3.16E-03	4.80E-03	8.05E-03	4.42	3.36	2.82
	7	3.44E-03	5.02E-03	8.27E-03	4.81	3.51	2.89
	10	3.30E-03	4.99E-03	8.80E-03	4.62	3.49	3.08

ภาคผนวก ก-2.3.2 ผลวิเคราะห์ค่าตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน และค่าความดันขณะเติมอากาศของท่อยึดหยุ่นจากการศึกษาระยะเวลาที่อาจก่อให้เกิดการอุดตันจากการหยุดเติมอากาศ

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	ตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน			ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที่)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที่)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	1.00	1.00	1.00	1.80	2.60	4.30
น้ำประปา	10	-	-	-	2.45	4.50	9.00
ดินขาว	10	1.05	1.03	1.18	3.20	6.00	11.60
เกลือ	10	0.40	0.50	0.68	2.30	4.00	7.90
น้ำทะเล	10	0.78	0.83	0.80	3.00	4.60	8.60
เชลล์จุลชีพ	0.25	1.88	1.75	1.58	2.60	4.40	8.40
	3	2.23	1.74	1.69	3.00	4.80	9.60
	7	2.42	1.82	1.74	3.50	5.40	10.50
	10	2.32	1.81	1.85	3.70	5.50	10.00

ภาคผนวก ก-2.4.1 ผลวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน และประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของท่อยึดหุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยการขัด

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)			ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	2.70E-03	4.51E-03	6.89E-03	4.79	4.00	3.06
ดินขาว	10	3.07E-03	4.97E-03	7.58E-03	5.42	4.39	3.35
เกลือ	10	2.70E-03	4.68E-03	7.94E-03	4.73	4.10	3.47
น้ำทะเล	10	2.90E-03	4.65E-03	7.47E-03	4.92	3.94	3.17
เชลล์จุลชีพ	0.25	3.11E-03	5.44E-03	8.33E-03	4.35	3.81	2.91
	3	3.06E-03	5.23E-03	8.36E-03	4.28	3.66	2.92
	7	3.19E-03	5.31E-03	8.28E-03	4.46	3.72	2.90
	10	3.47E-03	5.45E-03	8.14E-03	4.86	3.81	2.85

ภาคผนวก ก-2.4.2 ผลวิเคราะห์ค่าตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน และค่าความดันขณะเต็มอากาศของท่อยึดหุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยการขัด

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	ตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน			ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	1.00	1.00	1.00	1.80	2.60	4.30
น้ำประปา	10	-	-	-	2.45	4.50	9.00
ดินขาว	10	1.07	1.02	1.06	3.40	4.60	7.00
เกลือ	10	0.40	0.46	0.68	3.00	4.70	8.00
น้ำทะเล	10	0.83	0.77	0.78	3.60	5.40	8.80
เชลล์จุลชีพ	0.25	2.19	1.97	1.75	3.60	4.80	7.80
	3	2.15	1.89	1.76	3.00	5.20	9.20
	7	2.25	1.92	1.74	3.20	5.30	9.40
	10	2.44	1.97	1.71	4.60	6.70	11.20

ภาคผนวก ก-2.4.3 ผลวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน และประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน ของท่อยืดหยุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์นาน 30 นาที

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)			ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	2.70E-03	4.51E-03	6.89E-03	4.79	4.00	3.06
ดินขาว	10	3.07E-03	5.26E-03	8.11E-03	5.42	4.64	3.58
เกลือ	10	2.23E-03	4.32E-03	7.47E-03	3.90	3.78	3.27
น้ำทะเล	10	3.55E-03	5.38E-03	8.39E-03	6.02	4.56	3.56
เซลล์จุลชีพ	0.25	2.85E-03	4.83E-03	7.71E-03	3.99	3.38	2.70
	3	3.26E-03	5.25E-03	8.48E-03	4.56	3.67	2.97
	7	3.10E-03	5.13E-03	8.50E-03	4.34	3.59	2.97
	10	3.24E-03	5.10E-03	8.31E-03	4.53	3.57	2.91

ภาคผนวก ก-2.4.4 ผลวิเคราะห์ค่าตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน และค่าความดันขณะเต็มอากาศของ ท่อยืดหยุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์นาน 30 นาที

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	ตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน			ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	1.00	1.00	1.00	1.80	2.60	4.30
น้ำประปา	10	-	-	-	2.45	4.50	9.00
ดินขาว	10	1.07	1.08	1.13	3.60	5.90	9.40
เกลือ	10	0.33	0.43	0.64	3.30	5.10	8.00
น้ำทะเล	10	1.01	0.89	0.88	3.40	4.70	7.90
เซลล์จุลชีพ	0.25	2.01	1.75	1.62	3.10	4.90	8.60
	3	2.30	1.90	1.78	3.40	4.90	8.40
	7	2.18	1.86	1.79	3.10	4.80	8.40
	10	2.28	1.85	1.75	3.80	5.50	10.20

ภาคผนวก ก-2.4.5 ผลวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน และประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของท่อยึดหยุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยสารละลายกรดซิดริกนาน 30 นาที

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)			ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	2.70E-03	4.51E-03	6.89E-03	4.79	4.00	3.06
ดินขาว	10	3.72E-03	4.99E-03	7.90E-03	6.57	4.40	3.49
เกลือ	10	3.22E-03	5.16E-03	8.22E-03	5.64	4.52	3.60
น้ำทะเล	10	3.59E-03	5.48E-03	8.99E-03	6.09	4.65	3.81
เซลล์จุลชีพ	0.25	3.22E-03	5.26E-03	8.46E-03	4.51	3.68	2.96
	3	3.15E-03	5.09E-03	8.10E-03	4.41	3.56	2.83
	7	3.15E-03	4.56E-03	8.29E-03	4.41	3.19	2.90
	10	2.52E-03	5.57E-03	8.83E-03	3.53	3.90	3.09

ภาคผนวก ก-2.4.6 ผลวิเคราะห์ค่าตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน และค่าความดันขณะเต็มอากาศของท่อยึดหยุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยสารละลายกรดซิดริกนาน 30 นาที

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	ตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน			ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	1.00	1.00	1.00	1.80	2.60	4.30
น้ำประปา	10	-	-	-	2.45	4.50	9.00
ดินขาว	10	1.30	1.03	1.10	5.20	7.50	12.50
เกลือ	10	0.48	0.51	0.71	3.20	4.30	7.40
น้ำทะเล	10	1.02	0.90	0.94	3.60	5.20	9.40
เซลล์จุลชีพ	0.25	2.27	1.91	1.78	3.00	4.30	7.40
	3	2.22	1.84	1.70	3.80	5.80	10.20
	7	2.22	1.65	1.74	3.70	5.20	8.60
	10	1.77	2.02	1.86	4.00	6.10	9.70

ภาคผนวก ก-2.4.7 ผลวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน และประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของท่อยึดหยุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยเป่าด้วยความดันนาน 30 นาที

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)			ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	2.70E-03	4.51E-03	6.89E-03	4.79	4.00	3.06
ดินขาว	10	2.84E-03	4.90E-03	7.97E-03	5.01	4.33	3.52
เกลือ	10	1.93E-03	3.48E-03	7.03E-03	3.38	3.05	3.08
น้ำทะเล	10	3.15E-03	5.25E-03	8.32E-03	5.34	4.45	3.53
เชลล์จูลซีพี	0.25	3.15E-03	5.15E-03	8.34E-03	4.41	3.60	2.92
	3	2.39E-03	4.08E-03	6.67E-03	3.34	2.85	2.33
	7	3.29E-03	5.23E-03	8.10E-03	4.60	3.66	2.83
	10	3.41E-03	5.25E-03	8.15E-03	4.77	3.67	2.85

ภาคผนวก ก-2.4.8 ผลวิเคราะห์ค่าตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน และค่าความดันขณะเต็มอากาศของท่อยึดหยุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยเป่าด้วยความดันนาน 30 นาที

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	ตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน			ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	1.00	1.00	1.00	1.80	2.60	4.30
น้ำประปา	10	-	-	-	2.45	4.50	9.00
ดินขาว	10	0.99	1.01	1.11	2.50	4.60	9.30
เกลือ	10	0.29	0.34	0.61	2.40	4.50	9.00
น้ำทะเล	10	0.90	0.86	0.87	2.40	4.20	8.20
เชลล์จูลซีพี	0.25	2.22	1.87	1.75	2.50	4.10	7.60
	3	1.68	1.48	1.40	2.40	4.20	8.20
	7	2.32	1.89	1.70	2.60	4.40	8.70
	10	2.40	1.90	1.71	3.20	5.30	10.20

ภาคผนวก ก-2.4.9 ผลวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน และประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของท่อยึดหุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์นาน 24 ชม.

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)			ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	2.70E-03	4.51E-03	6.89E-03	4.79	4.00	3.06
ดินขาว	10	3.22E-03	5.51E-03	8.69E-03	5.68	4.86	3.84
เกลือ	10	3.06E-03	5.10E-03	8.43E-03	5.36	4.46	3.69
น้ำทะเล	10	3.42E-03	5.39E-03	8.54E-03	5.80	4.57	3.62
เซลล์จุลชีพ	0.25	2.97E-03	5.28E-03	8.01E-03	4.16	3.69	2.80
	3	3.11E-03	5.17E-03	8.36E-03	4.35	3.62	2.92
	7	3.28E-03	5.44E-03	8.28E-03	4.59	3.81	2.90
	10	3.24E-03	5.41E-03	8.29E-03	4.53	3.79	2.90

ภาคผนวก ก-2.4.10 ผลวิเคราะห์ค่าตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน และค่าความดันขณะเต็มอากาศของท่อยึดหุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์นาน 24 ชม.

สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	ตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน			ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	1.00	1.00	1.00	1.80	2.60	4.30
น้ำประปา	10	-	-	-	2.45	4.50	9.00
ดินขาว	10	1.13	1.13	1.21	4.40	7.10	12.10
เกลือ	10	0.45	0.50	0.73	3.40	4.80	7.80
น้ำทะเล	10	0.97	0.89	0.89	4.20	5.20	9.20
เซลล์จุลชีพ	0.25	2.09	1.91	1.68	3.60	4.00	8.20
	3	2.19	1.87	1.76	3.60	5.70	10.60
	7	2.31	1.97	1.74	3.70	4.10	9.00
	10	2.28	1.96	1.74	4.00	6.10	10.20

ภาคผนวก ก-2.4.11 ผลวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน และประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของท่อยึดหยุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยสารละลายกรดซิดริกนาน 24 ชม.

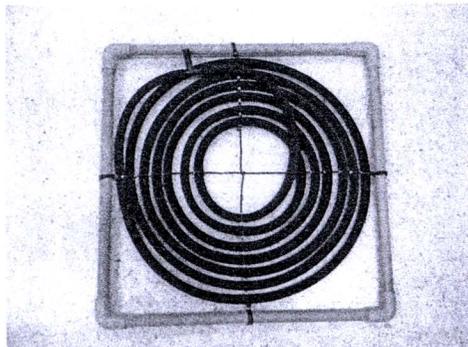
สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)			ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	2.70E-03	4.51E-03	6.89E-03	4.79	4.00	3.06
ดินขาว	10	3.27E-03	5.31E-03	8.20E-03	5.77	4.69	3.62
เกลือ	10	2.96E-03	4.99E-03	7.76E-03	5.18	4.37	3.40
น้ำทะเล	10	3.28E-03	5.44E-03	8.78E-03	5.56	4.61	3.72
เซลล์จูลซีพ	0.25	3.09E-03	5.10E-03	8.41E-03	4.32	3.57	2.94
	3	3.30E-03	5.60E-03	8.61E-03	4.62	3.92	3.01
	7	3.45E-03	5.61E-03	8.87E-03	4.83	3.93	3.10
	10	3.27E-03	5.40E-03	8.55E-03	4.58	3.78	2.99

ภาคผนวก ก-2.4.12 ผลวิเคราะห์ค่าตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน และค่าความดันขณะเต็มอากาศของท่อยึดหยุ่นจากการศึกษาวิธีทำความสะอาดโดยสารละลายกรดซิดริกนาน 24 ชม.

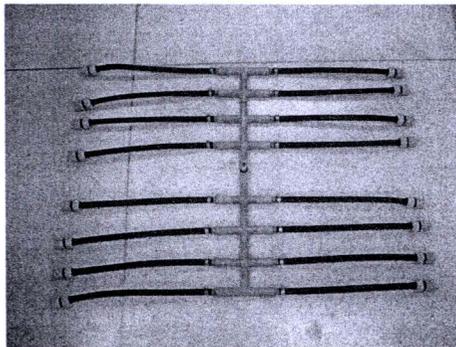
สภาวะของท่อ	ระยะเวลา	ตัวคูณปรับแก้ของการอุดตัน			ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)		
		อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)		
	วัน	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	4.00
ท่อสะอาด	-	1.00	1.00	1.00	1.80	2.60	4.30
น้ำประปา	10	-	-	-	2.45	4.50	9.00
ดินขาว	10	1.14	1.09	1.14	4.50	6.60	12.80
เกลือ	10	0.44	0.49	0.67	2.50	4.30	8.70
น้ำทะเล	10	0.93	0.90	0.92	3.50	5.00	8.80
เซลล์จูลซีพ	0.25	2.18	1.85	1.77	3.10	4.50	9.10
	3	2.32	2.03	1.81	3.20	4.60	8.00
	7	2.43	2.03	1.86	3.60	5.50	10.20
	10	2.30	1.96	1.80	4.20	5.90	10.40

ภาคผนวก ก-3 ผลการศึกษารูปแบบการจัดเรียงท่อยึดหยุนในถังเดิมอากาศ

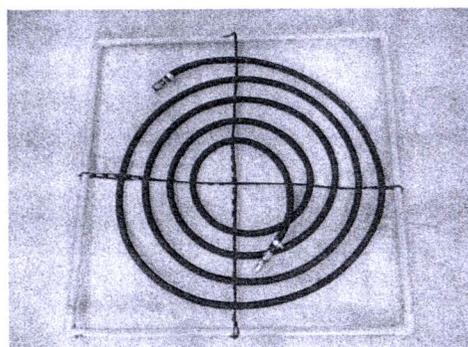
ภาคผนวก ก-3.1.1 ผลวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนจากการศึกษารูปแบบการจัดเรียงท่อยึดหยุนในถังเดิมอากาศ



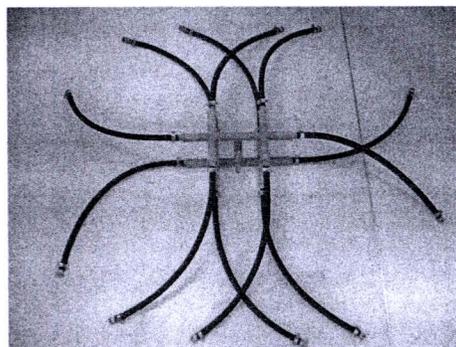
รูปแบบที่ 1



รูปแบบที่ 2



รูปแบบที่ 3



รูปแบบที่ 4

รูปแบบที่	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)				
	ณ อุณหภูมิการทดลอง				
	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)				
	60	70	80	90	100
1	2.99E-03	3.10E-03	3.25E-03	4.09E-03	3.72E-03
2	2.35E-03	2.71E-03	4.02E-03	4.29E-03	4.89E-03
3	2.55E-03	2.98E-03	3.18E-03	3.50E-03	3.79E-03
4	2.43E-03	2.91E-03	3.63E-03	3.81E-03	4.60E-03

หมายเหตุ อุณหภูมิขณะทำการทดลองอยู่ในช่วง 31.0 ถึง 32.5 องศาเซลเซียส

รูปแบบที่	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)				
	อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส				
	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)				
	60	70	80	90	100
1	2.25E-03	2.30E-03	2.44E-03	3.04E-03	2.79E-03
2	1.81E-03	2.09E-03	3.02E-03	3.23E-03	3.68E-03
3	1.92E-03	2.24E-03	2.39E-03	2.57E-03	2.78E-03
4	1.83E-03	2.19E-03	2.73E-03	2.86E-03	3.46E-03

ภาคผนวก ก-3.1.2 ผลวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน ค่าความดันขณะเต็มอากาศ และอัตราการถ่ายเทออกซิเจนจากการศึกษาารูปแบบการจัดเรียงท่อยัดหยุ่นในถังเต็มอากาศ

รูปแบบที่	ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (%)					ความดัน (ปอนด์/ตร.นิ้ว)				
	อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส					อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส				
	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)					อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)				
	60	70	80	90	100	60	70	80	90	100
1	15.33	13.48	12.50	13.83	11.45	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
2	12.36	12.22	15.47	14.69	15.08	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
3	13.10	13.12	12.25	11.70	11.41	4.00	4.30	5.00	5.50	6.40
4	12.48	12.79	13.97	13.03	14.18	3.50	3.90	4.60	5.00	5.80

รูปแบบที่	อัตราการถ่ายเทออกซิเจน (มก./กิโลวัตต์-วินาที)				
	อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส				
	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)				
	60	70	80	90	100
1	1,552	1,212	1,012	1,018	772
2	1,430	1,236	1,391	1,189	1,110
3	1,325	1,235	992	861	721
4	1,444	1,327	1,229	1,055	989

ภาคผนวก ก-3.2.1 ผลวิเคราะห์ค่าความนำไฟฟ้าจากการศึกษาฟังก์ชันการกระจายเวกซ์เดินซีโคมของ  
ท่อยึดหยุนที่ถูกจัดเรียงเป็นรูปแบบที่ต่างๆในถังเดิมอากาศ

รูปแบบที่ 1

เวลา	ความนำไฟฟ้า	เวลา	ความนำไฟฟ้า
นาที	ไมโครซีเมนต์	นาที	ไมโครซีเมนต์
0	264	60	1,026
5	2,070	70	905
10	1,801	80	713
15	1,684	90	640
20	1,586	100	568
25	1,455	110	509
30	1,377	120	456
40	1,305	130	411
50	1,160	-	-

รูปแบบที่ 2

เวลา	ความนำไฟฟ้า	เวลา	ความนำไฟฟ้า
นาที	ไมโครซีเมนต์	นาที	ไมโครซีเมนต์
0	262	60	1,005
5	2,000	70	890
10	1,880	80	789
15	1,725	90	698
20	1,626	100	627
25	1,534	110	560
30	1,433	120	503
40	1,273	130	456
50	1,135	-	-

รูปแบบที่ 3

เวลา	ความนำไฟฟ้า	เวลา	ความนำไฟฟ้า
นาที	ไมโครซีเมนต์	นาที	ไมโครซีเมนต์
0	258	60	998
5	2,010	70	882
10	1,851	80	784
15	1,741	90	696
20	1,637	100	620
25	1,538	110	553
30	1,442	120	451
40	1,272	130	412
50	1,127	-	-

รูปแบบที่ 4

เวลา	ความนำไฟฟ้า	เวลา	ความนำไฟฟ้า
นาที	ไมโครซีเมนต์	นาที	ไมโครซีเมนต์
0	272	40	1,263
3	1,926	50	1,122
6	1,927	60	995
9	1,836	70	887
12	1,781	80	788
15	1,726	100	700
20	1,609	110	622
30	1,426	120	559
-	-	-	-

ภาคผนวก ก-3.2.2 ผลวิเคราะห์ฟังก์ชันการกระจายเรซินใหม่จากการศึกษารูปแบบการจัดเรียงท่อ  
ยึดหุ่นในถังเติมอากาศ

รูปแบบที่	ระยะเวลาที่เก็บโดยเฉลี่ย ( $\bar{t}$ )	เลขเพคเลต์ (Pe)	สัมประสิทธิ์การแพร่ตามแนวท่อน (Ez)
	นาที	-	ม <sup>2</sup> /วินาที
1	49.35	1.673E-03	0.652
2	50.30	1.620E-03	0.674
3	49.78	1.652E-03	0.661
4	49.48	1.664E-03	0.656

ภาคผนวก ข

## ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข-1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของท่อยึดหุ่นตัวอย่างที่ 6.3

ปริมาตรโดยรวมของรูพรุน	0.0038	มล./ก.
น้ำหนักท่อยึดหุ่นยาว 0.1 ม.	12.9822	ก.
ความหนาผนังท่อ	2.70	มม.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	15.875	มม.
ขนาดรูเติมอากาศ	0.19	มม.
จำนวนรูเติมอากาศ	644	

จำนวนรูเติมอากาศ (Orifice number,  $N_{OR}$ ) สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$N_{OR} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{OR}}{H_{OR} \times A_{OR}} = \frac{\phi_D \times W_D}{H_{OR} \times \left( \frac{\pi}{4} \times d_{OR}^2 \right)}$$

เมื่อ  $V_{OR}$  คือปริมาตรของรูเติมอากาศ (ลบ.ม.)  $H_{OR}$  คือ ความสูงของรูเติมอากาศหรือความหนาผนังท่อยึดหุ่น (ม.)  $A_{OR}$  คือพื้นที่หน้าตัดของรูเติมอากาศ  $W_D$  คือน้ำหนักของท่อยึดหุ่น (กก.) และ  $\phi_D$  คืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรรูเติมอากาศกับน้ำหนักท่อยึดหุ่น (ลบ.ม./กก.) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยเครื่องวิเคราะห์พื้นผิวและปริมาตรรูพรุนของสาร (Surface area analyzer) รุ่น Quantachrome Sorptomatic (1990)

ภาคผนวก ข-2 ความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย ณ จุดอิ่มตัว (Saturated Dissolved Oxygen,  $C_s$ )

ลักษณะน้ำ	ความเข้มข้น	ความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย ณ จุดอิ่มตัว ( $C_s$ )
	มก./ลิตร	มก./ลิตร
น้ำประปา	-	8.24
ดินขาว	50	8.24
	100	8.08
	200	8.20
เกลือ	7,500	8.11
	20,000	8.11
	35,000	8.13
น้ำทะเล	-	7.88
เซลล์จุลชีพ	1,000	7.30
	2,000	7.30
	3,000	6.50

ภาคผนวก ข-3 สมบัติของน้ำในสภาวะการเติมอากาศต่างๆ

ลักษณะน้ำ	ความเข้มข้น	ความหนาแน่น	ความตึงผิว	ความหนืด	ความหนืดเชิงจลน์
	มก./ลิตร	กก./ลบ.ม.	กก./วินาที <sup>2</sup>	กก./ม.-วินาที	ม <sup>2</sup> /วินาที
น้ำประปา	-	997	0.072	1.00E-03	1.01E-06
ดินขาว	50	981	0.072	1.00E-03	1.02E-06
	100	985	0.072	1.00E-03	1.02E-06
	200	989	0.072	1.00E-03	1.01E-06
เกลือ	7,500	991	0.072	1.00E-03	1.01E-06
	20,000	1,001	0.073	1.00E-03	1.00E-06
	35,000	1,009	0.074	1.00E-03	9.93E-07
น้ำทะเล	-	1,006.2	0.073	1.00E-03	2.53E-11
เซลล์จุลชีพ	1,000	1,000	0.063	1.00E-03	1.02E-06
	2,000	2,000	0.048	1.00E-03	1.02E-06
	3,000	3,000	0.044	1.00E-03	1.01E-06

## ภาคผนวก ข-4 สมบัติของอากาศในสภาวะการเติมอากาศ

อุณหภูมิ	25	องศาเซลเซียส
ปริมาณออกซิเจน	23.18	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง	9.81	ม./วินาที <sup>2</sup>
ความหนาแน่น	1.184	กก./ลบ.ม.
ความหนืด	1.85E-05	กก./ม.-วินาที

## ภาคผนวก ข-5 รูปทรงถังเติมอากาศ

กว้าง	0.138	ม.
ยาว	0.277	ม.
สูง	0.345	ม.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า	1.43	ม.
พื้นที่หน้าตัด	1.6143	ตร.ม.
ความสูงระดับน้ำ	0.215	ม.
ปริมาตรน้ำ	9.85E-03	ลบ.ม.



## ภาคผนวก ข-6 ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของอุปกรณ์เติมอากาศชนิดต่างๆ

ชนิดอุปกรณ์เติมอากาศ	อัตราการไหลของอากาศ	ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (SOTE) ที่ความลึก 4.5 ม.
	ลิตร/นาที	%
ท่อยึดหยุ่นตัวอย่างที่ 6.3 จัดเรียงรูปแบบที่ 2	60 - 100	12.36 - 15.08 (ความลึก 1.3 ม.)
เซรามิกชนิดจาน (Ceramic disks-grid)	10 - 100	25 - 35
เซรามิกชนิดโดม (Ceramic domes-grid)	15 - 70	27 - 37
เซรามิกชนิดแผ่น (Ceramic plates-grid)	0.6 - 1.5 (ม <sup>3</sup> /ม <sup>2</sup> )	26 - 33
ท่อพลาสติกแข็งชนิดมีรูพรุน (Rigid porous plastic tubes)		
ติดตั้งแบบตาราง	70 - 110	28 - 32
ติดตั้งแบบแถวคู่	80 - 300	17 - 28
ติดตั้งแบบแถวเดียว	-	13 - 25
ท่อพลาสติกอ่อนชนิดมีรูพรุน (Nonrigid porous plastic tubes)		
ติดตั้งแบบตาราง	30 - 200	26 - 36
ติดตั้งแบบแถวเดียว	60 - 200	19 - 37
เพอร์ฟอเรทเมมเบรนชนิดท่อ (Perforated membrane tubes)		
ติดตั้งแบบตาราง	30 - 110	22 - 29
ติดตั้งแบบสี่จุดที่มุมถึง	600 - 1,700	19 - 24
ติดตั้งแบบแถวเดียว	600 - 1,700	15 - 19
เพอร์ฟอเรทเมมเบรนชนิดแผง (Perforated membrane panels)	-	38 - 43
อุปกรณ์เติมอากาศชนิดเจ็ท (Jet aerator)	1,500 - 8,500	15 - 24
อุปกรณ์เติมอากาศชนิดไม่มีรูพรุน (Nonporous diffusers)		
ติดตั้งแบบแถวคู่	100 - 280	12 - 13
ติดตั้ง ณ จุดกึ่งกลาง	120 - 1,250	10 - 13
ติดตั้งแบบแถวเดียว	280 - 1000	9 - 12

ที่มา : Metcalf และ Eddy, 2004

ภาคผนวก ข-7 ผลวิเคราะห์ตัวแปรทางอุทกพลศาสตร์ของพองอากาศ

ภาคผนวก ข-7.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพองอากาศ ( $d_B$ )

อัตราการใช้ ของอากาศ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพองอากาศ (มม.)									
	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.0	2.124	1.944	1.891	1.647	1.119	1.063	0.984	1.171	1.157	1.249
2.0	2.242	1.909	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	2.300	1.916	1.960	1.967	1.341	1.163	0.976	1.458	1.533	1.511

ภาคผนวก ข-7.2 ความเร็วลอยตัวของพองอากาศ ( $U_B$ )

อัตราการใช้ ของอากาศ	ความเร็วลอยตัวของพองอากาศ (ม./วินาที)									
	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.0	0.219	0.212	0.268	0.271	0.130	0.120	0.113	0.185	0.122	0.126
2.0	0.266	0.275	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	0.273	0.325	0.290	0.264	0.139	0.124	0.113	0.242	0.233	0.242

ภาคผนวก ข-7.3 พื้นที่สัมผัสจำเพาะระหว่างฟองอากาศกับน้ำ (a)

อัตราการไหล ของอากาศ	พื้นที่สัมผัสจำเพาะระหว่างฟองอากาศกับน้ำ (1/ม.)									
	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)		เกลือ (มก./ลิตร)		เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)				
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.0	4.675	5.294	4.308	4.887	14.966	17.053	19.598	10.052	15.363	13.862
2.0	7.299	8.300	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	13.824	13.949	15.269	16.734	46.184	59.996	78.253	24.569	24.248	23.767

ภาคผนวก ข-7.4 สัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลผ่านชั้นกลางของเหลว (k<sub>L</sub>)

อัตราการไหล ของอากาศ	สัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลผ่านชั้นกลางของเหลว (ม./วินาที)									
	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)		เกลือ (มก./ลิตร)		เกลือ (มก./ลิตร)		เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.0	5.78E-04	3.51E-04	6.52E-04	5.81E-04	2.70E-04	3.90E-04	3.44E-04	1.85E-04	7.81E-05	1.02E-04
2.0	6.18E-04	3.81E-04	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	4.98E-04	4.87E-04	4.30E-04	4.24E-04	2.25E-04	3.28E-04	1.48E-04	2.13E-04	1.84E-04	2.00E-04

อัตราการผลิต ของอากาศ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (1/วินาที)											
	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซตัสดีซีพ (มก./ลิตร)				
ลิตร/นาที	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000	9.48E-04	9.51E-04	1.48E-03
0.5	1.86E-03	2.81E-03	2.84E-03	1.95E-03	1.72E-03	1.62E-03	7.80E-04	5.91E-04	5.86E-04	2.70E-03	1.86E-03	4.04E-03
1.0	3.16E-03	4.17E-03	4.82E-03	7.37E-03	1.40E-02	1.01E-02	3.00E-03	2.29E-03	2.76E-03	4.51E-03	1.86E-03	6.75E-03
2.0	6.89E-03	6.57E-03	7.10E-03	1.04E-02	1.97E-02	1.16E-02	5.24E-03	4.46E-03	4.76E-03	6.89E-03	1.86E-03	6.75E-03
4.0	8.36E-03	7.54E-03	8.42E-03	1.85E-02	2.08E-02	2.00E-02	6.57E-03	5.26E-03	5.94E-03	8.36E-03	1.86E-03	6.75E-03
5.0												

ภาคผนวก ข-8 ผลทำนายตัวแปรทางอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศ

ภาคผนวก ข-8.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศ ( $d_g$ )

อัตราการผลิต ของอากาศ	สมการ $d_g-1$ (มม.)									
	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซตัสจุลชีพ (มก./ลิตร)		
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	2.033	2.048	2.045	2.042	2.037	2.040	2.043	1.956	1.778	1.736
2.00	2.033	2.048	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	2.033	2.048	2.045	2.042	2.037	2.040	2.043	1.956	1.778	1.736

อัตราการผลิต ของอากาศ	สมการ $d_g-2$ (มม.)									
	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซตัสจุลชีพ (มก./ลิตร)		
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	7.621	7.621	7.621	7.621	7.621	7.621	7.621	7.621	7.621	7.621
2.00	9.601	9.601	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	12.097	12.097	12.097	12.097	12.097	12.097	12.097	12.097	12.097	12.097

อัตราการใช้		สมการ d <sub>g</sub> -3 (มม.)									
ของอากาศ		ดินขาว (มก./ลิตร)		เกลือ (มก./ลิตร)		เกลือ (มก./ลิตร)		เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)	
ลิตร/นาที	น้ำประปา	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000	
1.00	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	
2.00	1.148	1.148	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.00	1.515	1.515	1.515	1.515	1.515	1.515	1.515	1.515	1.515	1.515	

อัตราการใช้		สมการ d <sub>g</sub> -4 (มม.)									
ของอากาศ		ดินขาว (มก./ลิตร)		เกลือ (มก./ลิตร)		เกลือ (มก./ลิตร)		เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)	
ลิตร/นาที	น้ำประปา	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000	
1.00	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.337	1.420	1.458	
2.00	1.292	1.292	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.00	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.528	1.560	1.592	

สมัครการ d <sub>B</sub> -5 (มม.)										
อัตราการใช้ ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที่	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	2.334	2.334	2.334	2.334	2.334	2.334	2.334	2.334	2.334	2.334
2.00	2.608	2.608	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914

สมัครการ d <sub>B</sub> -6 (มม.)										
อัตราการใช้ ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที่	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	9.987	10.043	10.032	10.022	10.002	10.011	10.024	9.702	9.031	8.870
2.00	13.408	13.484	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	18.001	18.103	18.083	18.064	18.029	18.045	18.069	17.488	16.278	15.988

สมการ $d_B-7$ (มม.)										
อัตราการไหล ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	15.246	15.401	15.300	15.267	15.448	15.475	15.507	14.728	13.467	13.131
2.00	15.187	15.321	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	15.179	15.270	15.275	15.275	15.426	15.465	15.507	14.649	13.295	12.961

ภาคผนวก ข-8.2 ความเร็วลอยตัวของอากาศ ( $U_B$ )

สมการ $U_B-1$ (ม.วินาที)										
อัตราการไหล ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	3.354	3.350	3.355	3.359	1.248	1.261	1.271	0.976	1.053	1.090
2.00	3.354	3.350	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	3.354	3.350	3.355	3.359	1.538	1.553	1.566	1.854	1.899	1.942

สมการ U <sub>B</sub> -2 (ม./วินาที)										
อัตราการไหล ของอากาศ	นำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	2.236	2.233	2.236	2.240	0.832	0.840	0.847	0.651	0.702	0.727
2.00	2.236	2.233	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	2.236	2.233	2.236	2.240	1.025	1.036	1.044	1.236	1.266	1.295

สมการ U <sub>B</sub> -3 (ม./วินาที)										
อัตราการไหล ของอากาศ	นำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	0.200	0.201	0.201	0.201	0.141	0.141	0.142	0.129	0.135	0.137
2.00	0.200	0.201	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	0.200	0.201	0.201	0.201	0.153	0.153	0.154	0.165	0.167	0.169

อัตราการใช้ ของอากาศ		สมการ $P_g-4$ (ม.วินาที)											
		น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เชลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)				
ลิตร/นาที		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000			
1.00	0.285	0.287	0.286	0.286	0.351	0.351	0.352	0.349	0.300	0.288			
2.00	0.285	0.287	-	-	-	-	-	-	-	-			
4.00	0.285	0.287	0.286	0.286	0.335	0.335	0.336	0.303	0.265	0.256			

อัตราการใช้ ของอากาศ		สมการ $P_g-5$ (ม.วินาที)											
		น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เชลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)				
ลิตร/นาที		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000			
1.00	0.325	0.325	0.325	0.325	0.104	0.104	0.104	0.090	0.090	0.090			
2.00	0.325	0.325	-	-	-	-	-	-	-	-			
4.00	0.325	0.325	0.325	0.325	0.122	0.122	0.122	0.135	0.135	0.135			

ภาคผนวก ข-8.3 พื้นที่สัมผัสจำเพาะระหว่างฟองอากาศกับน้ำ (a)

สมการ a-1 (1/ม.)										
อัตราการไหล ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที	-	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
1.00	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
2.00	0.017	0.017	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040

สมการ a-2 (1/ม.)										
อัตราการไหล ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที	-	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
1.00	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
2.00	0.070	0.070	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140

สมการ a-3 (1/ม.)										
อัตราการใช้ ของอากาศ	นำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาฬิกา	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	1.335	1.318	1.322	1.325	1.330	1.332	1.332	1.390	1.548	1.592
2.00	3.166	3.126	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	7.486	7.393	7.412	7.432	7.459	7.468	7.469	7.793	8.683	8.926

สมการ a-4 (1/ม.)										
อัตราการใช้ ของอากาศ	นำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาฬิกา	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	3.04E-12	3.04E-12	3.04E-12	3.04E-12	3.04E-12	3.04E-12	3.04E-12	3.04E-12	3.04E-12	3.04E-12
2.00	4.33E-12	4.33E-12	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	6.17E-12	6.17E-12	6.17E-12	6.17E-12	6.17E-12	6.17E-12	6.17E-12	6.17E-12	6.17E-12	6.17E-12

สมการ a-5 (1/ม.)										
อัตราการใช้ ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	4.283	4.251	4.257	4.263	7.005	7.005	7.005	7.889	7.605	7.482
2.00	8.554	8.490	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	17.058	16.931	16.955	16.979	25.130	25.130	25.130	22.798	22.556	22.328

สมการ a-6 (1/ม.)										
อัตราการใช้ ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
2.00	0.011	0.011	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023

สมการ a-7 (1/ม.)										
อัตราการใช้ ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	3.767	3.713	3.723	3.734	16.825	16.825	16.825	10.411	11.262	11.352
2.00	7.525	7.417	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	15.012	14.796	14.837	14.877	51.249	51.249	51.249	25.125	28.104	28.543

ภาคผนวก ข-8.4 สัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลผ่านชั้นกลางของเหลว (k<sub>L</sub>)

สมการ k <sub>L</sub> -1 (ม./วินาที)										
อัตราการใช้ ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.0	5.94E-04	5.94E-04	5.94E-04	5.94E-04	4.30E-04	4.24E-04	4.20E-04	5.49E-04	4.48E-04	3.70E-04
2.0	5.94E-04	5.94E-04	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	5.94E-04	5.94E-04	5.94E-04	5.94E-04	4.42E-04	4.36E-04	4.32E-04	5.12E-04	4.22E-04	3.49E-04

สมการ $k_u-2$ (ม./วินาที)										
อัตราการไหล ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.0	1.14E-04	1.13E-04	1.14E-04	1.14E-04	8.19E-05	8.05E-05	7.96E-05	9.97E-05	7.79E-05	6.06E-05
2.0	1.14E-04	1.13E-04	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	1.14E-04	1.13E-04	1.14E-04	1.14E-04	8.38E-05	8.24E-05	8.15E-05	9.24E-05	7.29E-05	5.69E-05

ภาคผนวก ข-8.5 สมประสิทธิการถ่ายเทออกซิเจน ( $k_{La}$ )

สมการ $k_{La}-1$ (1/วินาที)										
อัตราการไหล ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลินทรีย์ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	4.72E-05	4.72E-05	4.72E-05	4.72E-05	4.72E-05	4.72E-05	4.72E-05	4.72E-05	4.72E-05	4.72E-05
2.00	8.34E-05	8.34E-05	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	1.47E-04	1.47E-04	1.47E-04	1.47E-04	1.47E-04	1.47E-04	1.47E-04	1.47E-04	1.47E-04	1.47E-04

สมการ $k_{a-2}$ (1/วินาที)										
อัตราการผลิต ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	3.44E-03	3.44E-03	3.44E-03	3.44E-03	3.44E-03	3.44E-03	3.44E-03	3.44E-03	3.44E-03	3.44E-03
2.00	5.58E-03	5.58E-03	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	9.07E-03	9.07E-03	9.07E-03	9.07E-03	9.07E-03	9.07E-03	9.07E-03	9.07E-03	9.07E-03	9.07E-03

สมการ $k_{a-3}$ (1/วินาที)										
อัตราการผลิต ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)		
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
ลิตร/นาที	-	50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000
1.00	6.67E-04	6.60E-04	6.62E-04	6.64E-04	6.65E-04	6.69E-04	6.73E-04	6.62E-04	6.63E-04	6.64E-04
2.00	1.33E-03	1.32E-03	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	2.67E-03	2.64E-03	2.65E-03	2.66E-03	2.66E-03	2.68E-03	2.69E-03	2.65E-03	2.65E-03	2.65E-03

สมการ k <sub>a-4</sub> (1/วินาที)														
อัตราการไหล ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)						
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000				
ลิตร/นาที	-													
1.00	3.19E-04	2.19E-04	3.31E-04	3.35E-04	6.64E-04	1.09E-03	1.11E-03	3.31E-04	2.08E-04	2.44E-04				
2.00	6.39E-04	4.45E-04	-	-	-	-	-	-	-	-				
4.00	1.28E-03	1.25E-03	1.21E-03	1.31E-03	2.50E-03	4.73E-03	2.79E-03	1.18E-03	9.97E-04	1.06E-03				

สมการ k <sub>a-5</sub> (1/วินาที)														
อัตราการไหล ของอากาศ	น้ำประปา	ดินขาว (มก./ลิตร)			เกลือ (มก./ลิตร)			เซลล์จุลชีพ (มก./ลิตร)						
		50	100	200	7,500	20,000	35,000	1,000	2,000	3,000				
ลิตร/นาที	-													
1.00	1.67E-03	1.67E-03	1.67E-03	1.67E-03	4.31E-03	4.24E-03	4.20E-03	1.36E-03	1.28E-03	1.07E-03				
2.00	3.35E-03	3.33E-03	-	-	-	-	-	-	-	-				
4.00	6.67E-03	6.65E-03	6.65E-03	6.66E-03	1.35E-02	1.33E-02	1.32E-02	5.98E-03	5.56E-03	4.70E-03				

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรพพงศ์ หงส์ประสิทธิ์ เกิดวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2526 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษาที่ 2548 มีประสบการณ์ทำงานตำแหน่งวิศวกรสิ่งแวดล้อม ในบริษัทเอกชนนาน 2 ปี ก่อนเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



