

REFERENCES

- Boyd, P. (1982). Ion Exchange Resins. New York: Robert E. Krieger Pub. Co. Inc.
- Kenneth, E. and Howard, R. (1979). Fixed-bed ion exchange with differing ionic mobilities and nonlinear equilibrium, Journal of Industrial Engineering Chemistry Fundamental, 18, 312-320.
- Kwon, K. and Jermyn, J. (1992). Kinetics of Removal of Heavy Metals by Chelating Ion-Exchange Resin. American Chemical Society, 161-178
- Manantapong, M. Adsorption Kinetics of Ion exchange column. M.S. Thesis in Petrochemical Technology, The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University.
- Xu, P. and Chuang, T. (1996). Kinetics of Acetic Acid Esterification over Ion Exchange Catalysts. Journal of The Canadian of Chemical Engineering, 74, 413-500.
- Yoshida, H. and Kishimoto, N. (1995). Adsorption of Galtamic acid on weakly ion exchanger. Chemical Engineering Science, 50, 2203-2210.
- Zhao, D. and Sengupty, K. (1996). Selective removal of phosphate in column, Journal of Water Reservoir, 11, 139-147.

APPENDICES
APPENDIX A

Table A Bock setting of Labtech Notebook

Block No.	Block Name	Dev	Ch	Block Function	Iter	Stg	Duration	Rate	Start State	File Name
1	Lower	1	1	Analog Input	1	1	1000	600	ON	a:\test\col.
2	Lower(Av.1)			Block Av(1)	1	1	1000	1	ON	
3	Time			Time	1	1	1000	0.1	ON	
4	Upper	1	0	Analog Input	1	1	1000	600	ON	a:\test\col.
5	Upper(Av.1)			Block Av(4)	1	1	1000	1	ON	
6	Lower(Av.2)			Block Av(2)	1	1	1000	0.1	ON	
7	Upper(Av.2)			Block Av(5)	1	1	1000	0.1	ON	a:\test\col.

APPENDIX B

Table B.1 The analysis of response time experiment in batch operation
 $h_0 = 0.2$ meq/ml

mixing rate = 750 rpm.

$\alpha_e = 0.1633$

Time(s)	volts	pH	h_m	$h_m(T)$	DIFF
0	0.4053	4.0569	0.0001	0.0000	0.0000
12	0.0928	0.9191	0.1205	0.0347	0.0346
24	0.0879	0.8699	0.1349	0.0636	0.0569
36	0.083	0.8207	0.1511	0.0878	0.0471
48	0.083	0.8207	0.1511	0.1080	0.0431
60	0.0781	0.7715	0.1692	0.1250	0.0261
72	0.0781	0.7715	0.1692	0.1391	0.0301
84	0.0781	0.7715	0.1692	0.1510	0.0182
96	0.0781	0.7715	0.1692	0.1609	0.0083
108	0.0781	0.7715	0.1692	0.1692	0.0000
120	0.0781	0.7715	0.1692	0.1762	0.0069
132	0.0781	0.7715	0.1692	0.1820	0.0128
144	0.0732	0.7223	0.1895	0.1869	0.0176
156	0.0732	0.7223	0.1895	0.1909	0.0014
168	0.0732	0.7223	0.1895	0.1943	0.0048
180	0.0732	0.7223	0.1895	0.1972	0.0076
192	0.0732	0.7223	0.1895	0.1996	0.0100
204	0.0732	0.7223	0.1895	0.2016	0.0120
216	0.0732	0.7223	0.1895	0.2032	0.0137
228	0.0732	0.7223	0.1895	0.2046	0.0151
240	0.0732	0.7223	0.1895	0.2058	0.0163
252	0.0732	0.7223	0.1895	0.2068	0.0172
264	0.0732	0.7223	0.1895	0.2076	0.0181
276	0.0732	0.7223	0.1895	0.2083	0.0187
288	0.0732	0.7223	0.1895	0.2089	0.0193
300	0.0732	0.7223	0.1895	0.2093	0.0198
312	0.0732	0.7223	0.1895	0.2097	0.0202
324	0.0684	0.6741	0.2118	0.2101	0.0205
336	0.0684	0.6741	0.2118	0.2103	0.0014
348	0.0684	0.6741	0.2118	0.2106	0.0012
360	0.0684	0.6741	0.2118	0.2108	0.0010
372	0.0684	0.6741	0.2118	0.2109	0.0008
384	0.0684	0.6741	0.2118	0.2111	0.0007
396	0.0684	0.6741	0.2118	0.2112	0.0006
408	0.0684	0.6741	0.2118	0.2113	0.0005
420	0.0684	0.6741	0.2118	0.2114	0.0004
					0.5254

Table B.2 The analysis of response time experiment in fluidized-bed column with $v = 1.67$ ml/s

$$h_o = 0.2 \quad \text{meq/ml}$$

$$\alpha_e = 0.085$$

Time(s.)	volts	pH	η_m	$\eta_m(I)$	DIFF
0	0.493	4.940	0.000	0.000	0.000
12	1.768	17.736	0.000	0.016	0.016
24	0.244	2.438	0.004	0.031	0.031
36	0.132	1.311	0.049	0.044	0.041
48	0.112	1.115	0.077	0.057	0.008
60	0.103	1.017	0.096	0.068	0.009
72	0.103	1.017	0.096	0.078	0.018
84	0.098	0.968	0.108	0.088	0.009
96	0.093	0.919	0.120	0.096	0.011
108	0.093	0.919	0.120	0.104	0.016
120	0.088	0.870	0.135	0.111	0.009
132	0.088	0.870	0.135	0.118	0.017
144	0.088	0.870	0.135	0.124	0.011
156	0.088	0.870	0.135	0.130	0.005
168	0.088	0.870	0.135	0.135	0.000
180	0.083	0.821	0.151	0.139	0.004
192	0.083	0.821	0.151	0.144	0.007
204	0.083	0.821	0.151	0.148	0.004
216	0.083	0.821	0.151	0.151	0.000
228	0.083	0.821	0.151	0.154	0.003
240	0.083	0.821	0.151	0.157	0.006
252	0.083	0.821	0.151	0.160	0.009
264	0.083	0.821	0.151	0.163	0.011
276	0.083	0.821	0.151	0.165	0.014
288	0.083	0.821	0.151	0.167	0.016
300	0.078	0.772	0.169	0.169	0.018
312	0.078	0.772	0.169	0.171	0.001
324	0.078	0.772	0.169	0.172	0.003
336	0.078	0.772	0.169	0.174	0.004
					0.487

Table B.3 The analysis of response time experiment in fluidized-bed column with $v = 2.17\text{ml/s}$

$$h_o = 0.2 \quad \text{meq/ml}$$

$$\alpha_e = 0.129$$

Time(s)	volts	pH	h_m	$h_m(T)$	DIFF
0	0.513	5.135	0.000	0.000	0.000
12	0.283	2.831	0.001	0.024	0.024
24	0.132	1.311	0.049	0.046	0.044
36	0.107	1.066	0.086	0.064	0.015
48	0.103	1.017	0.096	0.081	0.005
60	0.093	0.919	0.120	0.095	0.002
72	0.093	0.919	0.120	0.107	0.014
84	0.088	0.870	0.135	0.118	0.003
96	0.088	0.870	0.135	0.127	0.008
108	0.083	0.821	0.151	0.135	0.000
120	0.083	0.821	0.151	0.142	0.009
132	0.083	0.821	0.151	0.148	0.003
144	0.083	0.821	0.151	0.153	0.002
156	0.083	0.821	0.151	0.158	0.007
168	0.083	0.821	0.151	0.162	0.011
180	0.078	0.772	0.169	0.166	0.015
192	0.078	0.772	0.169	0.169	0.000
204	0.078	0.772	0.169	0.171	0.002
216	0.078	0.772	0.169	0.174	0.005
228	0.078	0.772	0.169	0.176	0.007
240	0.078	0.772	0.169	0.178	0.008
252	0.078	0.772	0.169	0.179	0.010
264	0.078	0.772	0.169	0.180	0.011
276	0.078	0.772	0.169	0.182	0.012
288	0.078	0.772	0.169	0.183	0.013
300	0.078	0.772	0.169	0.184	0.014
312	0.078	0.772	0.169	0.184	0.015
324	0.078	0.772	0.169	0.185	0.016
336	0.073	0.722	0.190	0.186	0.016
348	0.073	0.722	0.190	0.186	0.003
360	0.073	0.722	0.190	0.187	0.003
					0.320

Table B.4 The response time experiment in fluidized-bed column with $v = 2.5$ ml/s.

$$h_0 = 0.1895 \text{ meq/ml}$$

$$\alpha_e = 0.1303$$

Time(s.)	volt	pH	h_m	$h_m(T)$	DIFF
0	0.4346	4.3511	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.1465	1.4583	0.0348	0.0247	0.0247
24	0.1172	1.1641	0.0685	0.0462	0.0114
36	0.1025	1.0165	0.0963	0.0649	0.0036
48	0.0977	0.9683	0.1076	0.0811	0.0151
60	0.0928	0.9191	0.1205	0.0953	0.0123
72	0.0928	0.9191	0.1205	0.1075	0.0129
84	0.0879	0.8699	0.1349	0.1182	0.0023
96	0.0879	0.8699	0.1349	0.1275	0.0074
108	0.0879	0.8699	0.1349	0.1356	0.0007
120	0.0879	0.8699	0.1349	0.1426	0.0077
132	0.083	0.8207	0.1511	0.1487	0.0138
144	0.083	0.8207	0.1511	0.1541	0.0029
156	0.083	0.8207	0.1511	0.1587	0.0076
168	0.0781	0.7715	0.1692	0.1627	0.0116
180	0.0781	0.7715	0.1692	0.1662	0.0030
192	0.0781	0.7715	0.1692	0.1692	0.0000
204	0.0781	0.7715	0.1692	0.1719	0.0026
216	0.0781	0.7715	0.1692	0.1742	0.0049
228	0.0781	0.7715	0.1692	0.1762	0.0069
240	0.0781	0.7715	0.1692	0.1779	0.0087
252	0.0781	0.7715	0.1692	0.1794	0.0102
264	0.0781	0.7715	0.1692	0.1808	0.0115
276	0.0732	0.7223	0.1895	0.1819	0.0127
288	0.0732	0.7223	0.1895	0.1829	0.0066
300	0.0732	0.7223	0.1895	0.1838	0.0058
312	0.0732	0.7223	0.1895	0.1845	0.0050
324	0.0732	0.7223	0.1895	0.1852	0.0044
336	0.0732	0.7223	0.1895	0.1857	0.0038
348	0.0732	0.7223	0.1895	0.1862	0.0033
360	0.0732	0.7223	0.1895	0.1867	0.0029
372	0.0732	0.7223	0.1895	0.1870	0.0025
384	0.0732	0.7223	0.1895	0.1874	0.0022
					0.2455

APPENDIX D**Table D** Modeling of the no adsorption operation

$$\begin{aligned}
 c_0 &= 0.200 \text{ meq/ml.} \\
 \text{flow rate} &= 1.500 \text{ ml/s.} \\
 e &= 0.617 \\
 V_L &= 78.690 \text{ ml.} \\
 V_R &= 25.528 \text{ ml.}
 \end{aligned}$$

Time(s)	h_m	h_p	c	dc/dt
0	0.000	0.000	0.000	0.004
12	0.000	0.000	0.000	0.004
24	0.000	0.000	0.000	0.004
36	0.000	0.000	0.000	0.004
48	0.004	0.004	0.000	0.004
60	0.026	0.026	0.045	0.003
72	0.058	0.058	0.081	0.002
84	0.081	0.081	0.108	0.002
96	0.101	0.101	0.128	0.001
108	0.113	0.113	0.144	0.001
120	0.113	0.113	0.157	0.001
132	0.126	0.126	0.166	0.001
144	0.126	0.126	0.174	0.000
156	0.126	0.126	0.180	0.000
168	0.141	0.141	0.184	0.000
180	0.141	0.141	0.187	0.000
192	0.141	0.141	0.190	0.000
204	0.141	0.141	0.192	0.000
216	0.141	0.141	0.193	0.000
228	0.158	0.158	0.195	0.000
240	0.158	0.158	0.196	0.000
252	0.158	0.158	0.196	0.000
264	0.158	0.158	0.197	0.000
276	0.158	0.158	0.197	0.000
288	0.158	0.158	0.198	0.000
300	0.158	0.158	0.198	0.000
312	0.158	0.158	0.198	0.000
324	0.158	0.158	0.198	0.000
336	0.158	0.158	0.198	0.000
348	0.177	0.177	0.198	0.000
360	0.177	0.177	0.198	0.000
372	0.177	0.177	0.199	0.000
384	0.198	0.198	0.199	0.000
396	0.198	0.198	0.199	0.000
408	0.198	0.198	0.199	0.000
420	0.198	0.198	0.199	0.000
432	0.198	0.198	0.199	0.000
444	0.198	0.198	0.199	0.000
456	0.198	0.198	0.199	0.000
468	0.198	0.198	0.199	0.000
480	0.198	0.198	0.199	0.000
492	0.198	0.198	0.199	0.000

APPENDIX E

Table E.1 Modeling of the continuous adsorption rates for Ca^{2+}

$$\begin{aligned}
 V_R &= 35.3242 & k_1 &= 0.0094 & e &= 0.7025 \\
 V_L &= 83.3973 & k_2 &= 23.9571 & e_o &= 0.41 \\
 \text{flowrate} &= 1.1340 & q_t &= 1.1300 \\
 \alpha_e &= 0.0848 & t_r &= 48.0041 \\
 \beta &= 0.1632 & V_p &= 40.8276 \\
 \gamma &= 5.0828 & V_t &= 118.7215 \\
 d(t) &= 12 & c_o &= 0.2000
 \end{aligned}$$

Time(s)	h_m	$h_p(\text{exp})$	c	$h_p(\text{T})$	r	q	diff(h_p)
0	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
24	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
36	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
48	0.0007	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007
60	0.0077	0.0076	0.0281	0.0000	0.0106	0.0000	0.0076
72	0.0264	0.0261	0.0058	0.0463	0.0068	0.1273	0.0203
84	0.0462	0.0458	0.0035	0.0694	0.0038	0.2085	0.0236
96	0.0645	0.0642	0.0143	0.0764	0.0063	0.2545	0.0123
108	0.0808	0.0805	0.0129	0.0932	0.0051	0.3299	0.0127
120	0.0904	0.0902	0.0171	0.1022	0.0048	0.3905	0.0120
132	0.1011	0.1009	0.0217	0.1089	0.0046	0.4484	0.0080
144	0.1128	0.1126	0.0268	0.1135	0.0043	0.5031	0.0009
156	0.1128	0.1128	0.0323	0.1164	0.0040	0.5545	0.0035
168	0.1128	0.1128	0.0383	0.1176	0.0037	0.6027	0.0047
180	0.1128	0.1128	0.0446	0.1174	0.0035	0.6476	0.0046
192	0.1128	0.1128	0.0512	0.1162	0.0032	0.6894	0.0033
204	0.1128	0.1128	0.0580	0.1139	0.0030	0.7280	0.0011
216	0.1128	0.1128	0.0650	0.1109	0.0027	0.7636	0.0019
228	0.1128	0.1128	0.0720	0.1073	0.0025	0.7964	0.0055
240	0.1128	0.1128	0.0790	0.1032	0.0023	0.8265	0.0096
252	0.1128	0.1128	0.0859	0.0988	0.0021	0.8541	0.0141
264	0.1128	0.1128	0.0927	0.0941	0.0019	0.8794	0.0187
276	0.1128	0.1128	0.0994	0.0893	0.0018	0.9024	0.0235
288	0.1011	0.1013	0.1058	0.0844	0.0016	0.9234	0.0168
300	0.1011	0.1011	0.1121	0.0796	0.0015	0.9426	0.0215
312	0.0904	0.0905	0.1180	0.0748	0.0013	0.9600	0.0158
324	0.0808	0.0809	0.1238	0.0701	0.0012	0.9759	0.0109
336	0.0808	0.0808	0.1292	0.0655	0.0011	0.9903	0.0153
348	0.0722	0.0723	0.1344	0.0611	0.0010	1.0034	0.0113
360	0.0645	0.0646	0.1392	0.0568	0.0009	1.0153	0.0078
372	0.0517	0.0519	0.1438	0.0528	0.0008	1.0261	0.0009
384	0.0462	0.0463	0.1482	0.0489	0.0007	1.0359	0.0027
396	0.0413	0.0413	0.1522	0.0453	0.0007	1.0447	0.0040
408	0.0369	0.0370	0.1560	0.0419	0.0006	1.0528	0.0049
420	0.0330	0.0330	0.1595	0.0387	0.0006	1.0601	0.0056
432	0.0295	0.0295	0.1628	0.0356	0.0005	1.0667	0.0061

444	0.0295	0.0295	0.1658	0.0328	0.0005	1.0726	0.0034
456	0.0264	0.0264	0.1686	0.0302	0.0004	1.0781	0.0037
468	0.0236	0.0236	0.1713	0.0277	0.0004	1.0830	0.0041
480	0.0211	0.0211	0.1737	0.0255	0.0003	1.0874	0.0043
492	0.0211	0.0211	0.1759	0.0234	0.0003	1.0914	0.0023
504	0.0168	0.0169	0.1780	0.0214	0.0003	1.0951	0.0045
516	0.0151	0.0151	0.1798	0.0196	0.0002	1.0984	0.0045
528	0.0151	0.0151	0.1816	0.0179	0.0002	1.1014	0.0029
540	0.0135	0.0135	0.1832	0.0164	0.0002	1.1041	0.0029
552	0.0121	0.0121	0.1847	0.0150	0.0002	1.1065	0.0029
564	0.0108	0.0108	0.1860	0.0137	0.0002	1.1087	0.0029
576	0.0096	0.0096	0.1872	0.0125	0.0002	1.1107	0.0029
588	0.0096	0.0096	0.1884	0.0114	0.0001	1.1125	0.0018
600	0.0086	0.0086	0.1894	0.0104	0.0001	1.1142	0.0018
612	0.0086	0.0086	0.1903	0.0095	0.0001	1.1157	0.0009
624	0.0077	0.0077	0.1912	0.0087	0.0001	1.1170	0.0009
636	0.0069	0.0069	0.1920	0.0079	0.0001	1.1182	0.0010
648	0.0069	0.0069	0.1927	0.0072	0.0001	1.1194	0.0003
660	0.0062	0.0062	0.1934	0.0065	0.0001	1.1204	0.0004

Table E.2 Modeling of the continuous adsorption for the Mg^{2+}

$$\begin{aligned}
 V_R &= 35.324 & k_1 &= 0.007 & e &= 0.693 \\
 V_L &= 79.551 & k_2 &= 19.000 & e_o &= 0.410 \\
 \text{flowrate} &= 0.991 & q_t &= 1.130 \\
 \alpha_e &= 0.085 & t_r &= 57.091 \\
 \beta &= 0.149 & V_P &= 44.674 \\
 \gamma &= 5.329 & V_t &= 114.875 \\
 d(t) &= 12.000 & c_o &= 0.200
 \end{aligned}$$

Time(s)	h_m	hp(exp)	c	$h_p(T)$	r	q	diff(h_p)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
36	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
48	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60	0.000	0.000	0.026	0.000	0.008	0.000	0.000
72	0.004	0.004	0.012	0.037	0.006	0.095	0.032
84	0.024	0.023	0.008	0.060	0.004	0.169	0.037
96	0.046	0.046	0.012	0.073	0.004	0.222	0.027
108	0.065	0.064	0.016	0.084	0.004	0.276	0.020
120	0.072	0.072	0.020	0.093	0.004	0.327	0.021
132	0.081	0.081	0.025	0.100	0.004	0.376	0.019
144	0.090	0.090	0.029	0.105	0.004	0.422	0.015
156	0.090	0.090	0.034	0.108	0.004	0.467	0.018
168	0.101	0.101	0.040	0.111	0.003	0.509	0.010
180	0.101	0.101	0.045	0.112	0.003	0.549	0.011
192	0.101	0.101	0.051	0.112	0.003	0.587	0.011
204	0.101	0.101	0.056	0.111	0.003	0.623	0.010
216	0.101	0.101	0.062	0.110	0.003	0.656	0.009
228	0.101	0.101	0.068	0.108	0.002	0.688	0.007
240	0.101	0.101	0.073	0.105	0.002	0.718	0.004
252	0.101	0.101	0.079	0.102	0.002	0.746	0.001
264	0.101	0.101	0.085	0.099	0.002	0.772	0.002
276	0.101	0.101	0.090	0.096	0.002	0.796	0.005
288	0.101	0.101	0.096	0.092	0.002	0.819	0.009
300	0.101	0.101	0.101	0.088	0.002	0.841	0.013
312	0.101	0.101	0.106	0.085	0.002	0.861	0.016
324	0.090	0.091	0.111	0.081	0.001	0.880	0.010
336	0.090	0.090	0.116	0.077	0.001	0.897	0.013
348	0.081	0.081	0.120	0.073	0.001	0.914	0.007
360	0.081	0.081	0.125	0.070	0.001	0.929	0.011
372	0.072	0.072	0.129	0.066	0.001	0.943	0.006
384	0.072	0.072	0.133	0.063	0.001	0.956	0.009
396	0.065	0.065	0.137	0.059	0.001	0.969	0.005
408	0.065	0.065	0.141	0.056	0.001	0.980	0.009
420	0.058	0.058	0.144	0.053	0.001	0.991	0.005
432	0.052	0.052	0.148	0.050	0.001	1.001	0.002
444	0.052	0.052	0.151	0.047	0.001	1.010	0.005
456	0.046	0.046	0.154	0.044	0.001	1.018	0.002

468	0.041	0.041	0.157	0.041	0.001	1.026	0.000
480	0.041	0.041	0.160	0.039	0.001	1.034	0.002
492	0.037	0.037	0.162	0.037	0.001	1.041	0.000
504	0.033	0.033	0.165	0.034	0.000	1.047	0.001
516	0.029	0.030	0.167	0.032	0.000	1.053	0.003
528	0.029	0.029	0.169	0.030	0.000	1.058	0.001
540	0.021	0.021	0.171	0.028	0.000	1.064	0.007
552	0.024	0.024	0.173	0.026	0.000	1.068	0.003
564	0.024	0.024	0.175	0.025	0.000	1.073	0.001
576	0.021	0.021	0.177	0.023	0.000	1.077	0.002
588	0.019	0.019	0.178	0.021	0.000	1.081	0.003
600	0.017	0.017	0.180	0.020	0.000	1.084	0.003
612	0.017	0.017	0.181	0.019	0.000	1.088	0.002
624	0.017	0.017	0.182	0.017	0.000	1.091	0.001
636	0.013	0.014	0.184	0.016	0.000	1.093	0.003
648	0.012	0.012	0.185	0.015	0.000	1.096	0.003
660	0.012	0.012	0.186	0.014	0.000	1.099	0.002
672	0.011	0.011	0.187	0.013	0.000	1.101	0.002
684	0.011	0.011	0.188	0.012	0.000	1.103	0.002
696	0.010	0.010	0.188	0.011	0.000	1.105	0.002
708	0.010	0.010	0.189	0.011	0.000	1.107	0.001
720	0.009	0.009	0.190	0.010	0.000	1.108	0.001
732	0.008	0.008	0.191	0.009	0.000	1.110	0.002
744	0.008	0.008	0.191	0.009	0.000	1.111	0.001
756	0.007	0.007	0.192	0.008	0.000	1.113	0.001
768	0.006	0.006	0.193	0.007	0.000	1.114	0.002
780	0.006	0.006	0.193	0.007	0.000	1.115	0.001
792	0.006	0.006	0.194	0.006	0.000	1.116	0.001
804	0.005	0.005	0.194	0.006	0.000	1.117	0.001
816	0.005	0.005	0.194	0.006	0.000	1.118	0.001
828	0.004	0.004	0.195	0.005	0.000	1.119	0.001
840	0.004	0.004	0.195	0.005	0.000	1.120	0.000
852	0.004	0.004	0.196	0.004	0.000	1.120	0.001
864	0.004	0.004	0.196	0.004	0.000	1.121	0.000
876	0.004	0.004	0.196	0.004	0.000	1.122	0.000
888	0.004	0.004	0.196	0.004	0.000	1.122	0.000
900	0.003	0.003	0.197	0.003	0.000	1.123	0.000
912	0.003	0.003	0.197	0.003	0.000	1.123	0.000
924	0.003	0.003	0.197	0.003	0.000	1.124	0.000
936	0.003	0.003	0.197	0.003	0.000	1.124	0.000
948	0.003	0.003	0.198	0.002	0.000	1.125	0.000
960	0.002	0.002	0.198	0.002	0.000	1.125	0.000
972	0.002	0.002	0.198	0.002	0.000	1.125	0.000
984	0.002	0.002	0.198	0.002	0.000	1.126	0.000
996	0.002	0.002	0.198	0.002	0.000	1.126	0.000
1008	0.002	0.002	0.198	0.002	0.000	1.126	0.000
1020	0.002	0.002	0.198	0.002	0.000	1.127	0.000
1032	0.002	0.002	0.199	0.001	0.000	1.127	0.000
1044	0.001	0.001	0.199	0.001	0.000	1.127	0.000
1056	0.001	0.001	0.199	0.001	0.000	1.127	0.000
1068	0.001	0.001	0.199	0.001	0.000	1.128	0.000
1080	0.001	0.001	0.199	0.001	0.000	1.128	0.000

Table E.3 Modeling of the continuous adsorption for the Na^+

$V_R =$	35.324	$k_1 =$	0.004	$e =$	0.779
$V_L =$	124.217	$k_2 =$	15.239	$e_o =$	0.410
flowrate =	1.644	$q_t =$	1.130		
$\alpha_c =$	0.085	$t_r =$	48.005		
$\beta =$	0.159	$V_p =$	0.008		
$\gamma =$	3.412	$V_t =$	159.542		
$d(t) =$	12.000	$c_o =$	0.200		

Time(s)	h_m	$h_p(\text{exp})$	$h_p(\text{T})$	r	q	diff(h_p)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
36	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001
48	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001
60	0.001	0.001	0.000	0.005	0.000	0.001
72	0.004	0.004	0.014	0.004	0.058	0.010
84	0.015	0.015	0.025	0.004	0.112	0.011
96	0.026	0.026	0.034	0.004	0.162	0.008
108	0.037	0.037	0.041	0.004	0.209	0.004
120	0.046	0.046	0.047	0.004	0.254	0.001
132	0.046	0.046	0.051	0.003	0.296	0.004
144	0.052	0.052	0.054	0.003	0.337	0.002
156	0.052	0.052	0.056	0.003	0.375	0.004
168	0.052	0.052	0.057	0.003	0.412	0.005
180	0.058	0.058	0.058	0.003	0.446	0.000
192	0.058	0.058	0.058	0.003	0.479	0.000
204	0.058	0.058	0.058	0.002	0.511	0.000
216	0.058	0.058	0.057	0.002	0.541	0.001
228	0.058	0.058	0.056	0.002	0.569	0.001
240	0.058	0.058	0.055	0.002	0.596	0.002
252	0.052	0.052	0.054	0.002	0.622	0.002
264	0.065	0.064	0.053	0.002	0.646	0.012
276	0.052	0.052	0.051	0.002	0.670	0.001
288	0.058	0.058	0.050	0.002	0.692	0.008
300	0.052	0.052	0.048	0.002	0.713	0.004
312	0.046	0.046	0.046	0.002	0.733	0.000
324	0.046	0.046	0.045	0.002	0.752	0.001
336	0.046	0.046	0.043	0.001	0.771	0.003
348	0.041	0.041	0.041	0.001	0.788	0.000
360	0.041	0.041	0.040	0.001	0.805	0.001
372	0.041	0.041	0.038	0.001	0.820	0.003
384	0.037	0.037	0.037	0.001	0.835	0.000
396	0.037	0.037	0.035	0.001	0.850	0.002
408	0.037	0.037	0.034	0.001	0.863	0.003
420	0.033	0.033	0.032	0.001	0.876	0.001
432	0.033	0.033	0.031	0.001	0.888	0.002
444	0.029	0.030	0.029	0.001	0.900	0.000
456	0.029	0.029	0.028	0.001	0.911	0.001

468	0.026	0.026	0.027	0.001	0.922	0.000
480	0.026	0.026	0.026	0.001	0.932	0.001
492	0.024	0.024	0.025	0.001	0.941	0.001
504	0.024	0.024	0.023	0.001	0.951	0.000
516	0.024	0.024	0.022	0.001	0.959	0.001
528	0.021	0.021	0.021	0.001	0.968	0.000
540	0.019	0.019	0.020	0.001	0.975	0.001
552	0.019	0.019	0.019	0.001	0.983	0.001
564	0.019	0.019	0.018	0.001	0.990	0.000
576	0.017	0.017	0.018	0.001	0.997	0.001
588	0.017	0.017	0.017	0.001	1.003	0.000
600	0.015	0.015	0.016	0.000	1.010	0.001
612	0.015	0.015	0.015	0.000	1.015	0.000
624	0.013	0.014	0.015	0.000	1.021	0.001
636	0.012	0.012	0.014	0.000	1.026	0.002
648	0.012	0.012	0.013	0.000	1.031	0.001
660	0.012	0.012	0.013	0.000	1.036	0.000
672	0.011	0.011	0.012	0.000	1.041	0.001
684	0.011	0.011	0.011	0.000	1.045	0.001
696	0.010	0.010	0.011	0.000	1.049	0.001
708	0.010	0.010	0.010	0.000	1.053	0.001
720	0.010	0.010	0.010	0.000	1.057	0.000
732	0.009	0.009	0.009	0.000	1.060	0.001
744	0.009	0.009	0.009	0.000	1.064	0.000
756	0.008	0.008	0.008	0.000	1.067	0.001
768	0.008	0.008	0.008	0.000	1.070	0.000
780	0.007	0.007	0.008	0.000	1.073	0.001
792	0.007	0.007	0.007	0.000	1.076	0.000
804	0.007	0.007	0.007	0.000	1.078	0.000
816	0.006	0.006	0.007	0.000	1.081	0.000
828	0.006	0.006	0.006	0.000	1.083	0.001
840	0.006	0.006	0.006	0.000	1.086	0.000
852	0.006	0.006	0.006	0.000	1.088	0.000
864	0.005	0.005	0.005	0.000	1.090	0.000
876	0.005	0.005	0.005	0.000	1.092	0.000
888	0.004	0.004	0.005	0.000	1.094	0.001
900	0.004	0.004	0.005	0.000	1.095	0.000
912	0.004	0.004	0.004	0.000	1.097	0.001
924	0.004	0.004	0.004	0.000	1.099	0.000
936	0.004	0.004	0.004	0.000	1.100	0.000
948	0.004	0.004	0.004	0.000	1.102	0.000
960	0.004	0.004	0.004	0.000	1.103	0.000
972	0.003	0.003	0.003	0.000	1.104	0.000
984	0.003	0.003	0.003	0.000	1.106	0.000
996	0.003	0.003	0.003	0.000	1.107	0.000
1008	0.003	0.003	0.003	0.000	1.108	0.000
1020	0.003	0.003	0.003	0.000	1.109	0.000
1032	0.003	0.003	0.003	0.000	1.110	0.000
1044	0.003	0.003	0.003	0.000	1.111	0.000
1056	0.002	0.002	0.002	0.000	1.112	0.000
1068	0.002	0.002	0.002	0.000	1.113	0.000
1080	0.002	0.002	0.002	0.000	1.114	0.000

Table E.4 Modeling of the continuous adsorption for the mixed-ion of Ca^{2+} and Mg^{2+}

$$\begin{aligned}
 V_R &= 35.324 & k_1 &= 0.006 & e &= 0.769 \\
 V_L &= 117.843 & k_2 &= 18.000 & e_o &= 0.410 \\
 \text{flowrate} &= 1.336 & q_i &= 1.130 \\
 \alpha_e &= 0.085 & t_r &= 76.776 \\
 \beta &= 0.136 & V_P &= 6.382 \\
 \gamma &= 3.597 & V_t &= 153.167 \\
 d(t) &= 12.000 & c_o &= 0.200
 \end{aligned}$$

Time(s)	h_m	$h_p(\text{exp})$	c	$h_p(\text{T})$	r	q	diff(h_p)
0	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
36	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
48	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
84	0.017	0.017	0.024	0.000	0.007	0.000	0.017
96	0.029	0.029	0.023	0.022	0.006	0.085	0.007
108	0.041	0.041	0.024	0.039	0.005	0.159	0.002
120	0.052	0.051	0.028	0.052	0.005	0.225	0.000
132	0.058	0.058	0.033	0.062	0.005	0.285	0.004
144	0.065	0.064	0.038	0.069	0.004	0.340	0.004
156	0.072	0.072	0.044	0.074	0.004	0.392	0.002
168	0.072	0.072	0.050	0.078	0.004	0.440	0.006
180	0.072	0.072	0.056	0.081	0.004	0.485	0.008
192	0.072	0.072	0.062	0.082	0.003	0.527	0.010
204	0.081	0.081	0.068	0.083	0.003	0.567	0.002
216	0.081	0.081	0.074	0.082	0.003	0.604	0.002
228	0.072	0.072	0.080	0.082	0.003	0.638	0.009
240	0.081	0.081	0.086	0.080	0.003	0.671	0.000
252	0.081	0.081	0.092	0.079	0.002	0.701	0.002
264	0.072	0.072	0.097	0.077	0.002	0.729	0.005
276	0.081	0.081	0.102	0.075	0.002	0.756	0.006
288	0.081	0.081	0.108	0.072	0.002	0.780	0.008
300	0.072	0.072	0.113	0.070	0.002	0.804	0.003
312	0.081	0.081	0.117	0.067	0.002	0.825	0.014
324	0.072	0.072	0.122	0.064	0.002	0.846	0.008
336	0.072	0.072	0.126	0.062	0.001	0.865	0.010
348	0.072	0.072	0.130	0.059	0.001	0.882	0.013
360	0.065	0.065	0.134	0.056	0.001	0.899	0.008
372	0.052	0.052	0.138	0.054	0.001	0.914	0.002
384	0.052	0.052	0.142	0.051	0.001	0.929	0.001
396	0.046	0.046	0.145	0.048	0.001	0.942	0.002
408	0.052	0.052	0.148	0.046	0.001	0.955	0.006
420	0.052	0.052	0.152	0.044	0.001	0.966	0.008
432	0.046	0.046	0.154	0.041	0.001	0.977	0.005
444	0.041	0.041	0.157	0.039	0.001	0.988	0.002

456	0.041	0.041	0.160	0.037	0.001	0.997	0.004
468	0.037	0.037	0.162	0.035	0.001	1.006	0.002
480	0.033	0.033	0.165	0.033	0.001	1.014	0.000
492	0.033	0.033	0.167	0.031	0.001	1.022	0.002
504	0.029	0.030	0.169	0.029	0.001	1.029	0.000
516	0.029	0.029	0.171	0.027	0.001	1.036	0.002
528	0.026	0.026	0.173	0.026	0.000	1.042	0.001
540	0.024	0.024	0.174	0.024	0.000	1.048	0.001
552	0.024	0.024	0.176	0.023	0.000	1.054	0.001
564	0.021	0.021	0.178	0.021	0.000	1.059	0.000
576	0.021	0.021	0.179	0.020	0.000	1.064	0.001
588	0.019	0.019	0.180	0.019	0.000	1.068	0.000
600	0.017	0.017	0.182	0.018	0.000	1.072	0.001
612	0.017	0.017	0.183	0.017	0.000	1.076	0.000
624	0.015	0.015	0.184	0.016	0.000	1.080	0.000
636	0.013	0.014	0.185	0.015	0.000	1.083	0.001
648	0.013	0.013	0.186	0.014	0.000	1.086	0.000
660	0.012	0.012	0.187	0.013	0.000	1.089	0.001
672	0.011	0.011	0.188	0.012	0.000	1.092	0.001
684	0.011	0.011	0.188	0.011	0.000	1.094	0.000
696	0.010	0.010	0.189	0.011	0.000	1.097	0.001
708	0.009	0.009	0.190	0.010	0.000	1.099	0.001

CURRICULUM VITAE

Name: Ms. Anchale Tresattayawed

Date of Birth: May 22, 1974

Nationality: Thai

University Education:

1993-1996 Bachelor Degree of Engineering in Department of
Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart
University, Bangkok, Thailand.

