

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ณัฐพันธุ์ ศุภกา. 2549. ไบปริศนาเทคโนโลยี [online]. แหล่งที่มา :

<http://www.VCharkarn.com> [2006, December 25]

มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. พิมพ์ครั้งที่ 3. วิศวกรรมกรรมประปา เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร :

สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### ภาษาอังกฤษ

Babi, K. G.; Koumenides, K. M.; Nikolaou, A. D.; Makri, C. A.; Tzoumerkas, F. K.; and Lekkas, T. D. 2007. Pilot study of removal of THMs, HAAs and DOC from drinking water by GAC Adsorption. Desalination. 210: 215-224.

Bruce, I.J.; Taylor, J.; Todd, M.; Davies, M.J.; Borioni, E.; Sangregorio, C.; and Sen, T. 2004. Synthesis, characterization and application of silica-magnetite nanocomposites. Journal of Magnetism and Magnetic materials 248: 145 -160.

Brunel, D.; Cauvel, A.; Fajula, F.; and Drenzo, F. 1995. MCM-41 type silicas as supports for immobilized catalysts, zeolites: A refined tool for designing catalytic sites, Elsevier Science :173-180.

Campo, A.D.; Sena, T.; Lellouche, J.P.; and Bruce, I.J. 2005. Multifunctional magnetite and silica-magnetite nanoparticles: Synthesis, surface activation and applications in life sciences. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 293: 33-40.

Carrado, K.; A. 2000. Synthetic organo- and polymer-clays: Preparation, characterization, and materials applications. Applied Clay Science. 17: 1-23.

Chin, C.M.; Chen, P.W.; and Wang, L.J. 2006. Removal of nanoparticles from CMP wastewater by magnetic seeding aggregation. Chemosphere 63 : 1809-1813.

Decottignies, M.; Phalippou, J.; and Zarzycki, J. 1978. Synthesis of glasses by hot-pressing of gels. Journal of Materials Science. 13: 2605-2615.

- Gupta, A.K.; and Gupta, M. 2004. Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications. Biomaterials 26: 3665-4021.
- Kim, D.H.; Lee, S.H.; Im, K.H.; Kim, K.N.; Kim, K.M.; Shim, I.B.; Lee, M.H.; and Lee Y.K. 2006. Surface-modified magnetite nanoparticles for hyperthermia: Preparation, characterization, and cytotoxicity studies. Current Applied Physics 681: e242-e246.
- Li, Y.P.; Cao, H.B.; and Zhang Y. 2007. Reductive dehalogenation of haloacetic acids by hemoglobin-loaded carbon nanotube electrode. Water Research 41: 197-205.
- Liu, X.; Ma, Z.; Xing J.; and Liu, H. 2004. Preparation and characterization of amino-silane modified superparamagnetic silica nanospheres. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 270: 1-6.
- Liu, X.; Xing, J.; Guan, Y.; Shan, G.; and Liu, H. 2004. Synthesis of amino-silane modified superparamagnetic silica supports and their use for protein immobilization. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 238: 127-131.
- Ma, Z.; Guana, Y.; and Liu, H. 2006. Superparamagnetic silica nanoparticles with immobilized metal affinity ligands for protein adsorption. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 301: 469-477.
- Mohamed, M. M.; Salama, T. M.; and Yamaguchi, T. 2002. Synthesis, characterization and catalytic properties of titania-silica catalysts. Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects. 207: 25-32.
- Partiff, G. D.; and Rochester, C. H. 1983. Adsorption of small molecules, adsorption from solution at the solid/liquid interface. Academic Press: 4-41.
- Punyapalukul, P. and Takizawa, S. 2004. Effect of organic grafting modification of hexagonal mesoporous silicate on haloacetic acids removal. Environmental Engineering Forum. 44: 247-256.
- Ratasuk, C.; Kositanont, C.; and Ratanatamsakul, C. 2008. Removal of Haloacetic acids by ozone and biologically active carbon. Science Asia. 34: 293-298.
- Ratasuk, C.; Ratanatamskul, C.; and Ratasuk, N. 2009. Removal of haloacetic acids by nanofiltration. Journal of Environmental Science. 21: 96-100.

- Roy, S.; Bandyopadhyay, S.; and Chakravorty, D. 1996. Sol-gel synthesis of colloidal silica using cyclohexane. Journal of Materials Science Letter. 15: 1872-1874.
- Schulthess, C.P.; and Sparks, D.L. 1986. backtitration Technique for Proton Isotherm Modeling of Oxide Surfaces. Soil SCI.SOC.AM. J. 50: 1406-1411.
- Sun, Y.P.; Li, X.Q.; Cao, J.; Zhang, W.X.; and Wang, H.P. 2006. Characterization of zero-valent iron nanoparticles. Advances in Colloid and Interface Science 120: 47-56.
- Suwat Soonglerdsongpha. Removal of Haloacetic Acid by Adsorption on Mesoporous Silicates. Thesis for Master Degree Science Program in Environmental Management Graduate School Chulalongkorn University, 2006.
- Wang, L.; Wang, Z.; Zhao, J.; Yuan, Z.; Yang, H.; and Zhao, M. 1999. Preparation of mesoporous silica by co-precipitation in the presence of non-ionic surfactant. Materials Chemistry and Physics. 59: 171-174.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1995. Method 552.2: Determination of haloacetic acids and dalapon in drinking water by liquid-liquid extraction. Derivation and gas chromatography with electron capture detector. Cincinnati, Ohio
- U.S. Environmental Protection Agency. 1998. Stage 1 Disinfectants and Byproduct Rule. EPA 815-F-98-010. Available from:  
<http://www.epa.gov/safewater/mdbp/dbp1.html>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ค่าประจุนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับแต่ละชนิด

ตารางที่ ก.1 ค่าประจุบนพื้นผิวของ PAC

ตัวอย่าง	pH	ค่าประจุบนพื้นผิว (C/g)
1	9.78	-21.0795
2	9.63	-7.6424
3	9.51	-3.3454
4	9.47	-1.0167
5	9.38	1.1597
6	9.30	2.8946
7	9.21	4.6074
8	9.08	8.4962
9	8.30	19.7073

ตารางที่ ก.2 ค่าประจุบนพื้นผิวของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก SCP

ตัวอย่าง	pH	ค่าประจุบนพื้นผิว (C/g)
1	4.14	30.7730
2	4.45	15.4111
3	5.6	11.4575
4	6.11	2.2283
5	6.88	-0.0126
6	6.35	-2.5149
7	6.65	-11.8684
8	6.79	-23.6757
9	7.43	-48.1940

ตารางที่ ก.3 ค่าประจุบนพื้นผิวของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก A-SCP

ตัวอย่าง	pH	ค่าประจุบนพื้นผิว (C/g)
1	5.1	46.3339
2	6.02	23.6605
3	6.86	12.0466
4	7.5	2.48116
5	7.8	0.13868
6	8.02	-2.1621
7	8.56	-10.9679
8	9.03	-21.1178
9	9.47	-41.1303

ตารางที่ ก.4 ค่าประจุบนพื้นผิวของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก M-SCP

ตัวอย่าง	pH	ค่าประจุบนพื้นผิว (C/g)
1	3.9	17.8784
2	4.27	11.0585
3	4.82	8.4112
4	5.47	1.5958
5	5.9	-0.2820
6	6.01	-2.6458
7	6.31	-11.9370
8	7.33	-23.6125
9	8.33	-47.7353

ตารางที่ ก.5 ค่าประจุบนพื้นผิวของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก AM-SCP

ตัวอย่าง	pH	ค่าประจุบนพื้นผิว (C/g)
1	4.66	42.9721
2	5.53	23.1820
3	6.04	11.8451
4	6.78	2.3870
5	7.12	0.0126
6	6.01	-2.3615
7	6.31	-11.5627
8	7.33	-23.0985
9	8.33	-45.6050



ภาคผนวก ข

การศึกษาลงพลาศาสตร์และความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกของ  
อนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิด และถ่านกัมมันต์ชนิดผง

ตารางที่ ข.1 การศึกษาจลนพลศาสตร์ในการดูดซับกรด MCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น MCAA ที่เหลือ ณ เวลาสมมูล (ppb)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
0	101.08	100.09	99.05	100.43	101.63
0.17	100.00	97.13	94.53	100.04	92.63
0.33	99.35	93.21	80.15	90.31	60.38
0.5	95.84	92.58	66.71	87.57	51.09
1	79.87	88.19	65.49	83.32	45.16
2	76.21	84.28	50.55	76.58	42.54
4	74.78	64.40	41.58	73.73	37.03
6	72.06	44.92	35.72	63.28	32.03
12	47.94	32.71	35.63	60.80	28.38
18	41.43	22.59	32.74	58.90	25.22
24	39.37	14.91	31.64	57.67	25.73
36	38.55	14.37	31.52	57.42	25.51
48	39.49	15.24	31.54	57.06	25.20

ตารางที่ ข.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์ในการดูดซับกรด DCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น DCAA ที่เหลือ ณ เวลาสมดุล (ppb)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
0	100.68	98.88	99.93	101.94	106.92
0.17	94.59	93.50	94.00	89.00	54.25
0.33	92.56	89.29	78.63	84.75	44.92
0.5	87.87	87.43	73.16	83.43	39.28
1	80.09	79.66	70.75	77.58	37.96
2	56.96	70.20	64.18	72.76	37.94
4	46.18	48.66	66.85	66.43	36.63
6	34.40	41.58	57.75	63.19	37.12
12	31.38	35.46	48.88	53.47	36.63
18	35.35	30.90	40.69	41.42	37.12
24	31.50	30.01	40.86	34.89	29.72
36	30.25	31.45	39.77	35.34	28.76
48	31.01	30.66	39.18	36.47	29.86

ตารางที่ ข.3 การศึกษาจลนพลศาสตร์ในการดูดซับกรด TCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น TCAA ที่เหลือ ณ เวลาสมดุล (ppb)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
0	100.19	100.53	100.08	100.72	105.25
0.17	96.17	89.25	96.02	97.50	75.88
0.33	88.30	88.16	93.41	94.92	62.18
0.5	83.28	86.78	92.47	86.30	55.55
1	67.39	73.40	85.04	83.03	55.79
2	64.87	63.38	77.49	82.70	51.13
4	60.20	58.82	74.76	75.18	51.53
6	55.60	55.45	64.85	67.46	50.53
12	48.89	52.32	52.91	56.11	47.93
18	46.93	46.74	43.55	44.87	45.49
24	45.08	48.47	41.43	38.07	46.24
36	43.56	46.27	40.16	39.36	47.63
48	43.61	46.63	40.21	38.30	45.99

ตารางที่ ข.4 การศึกษาจลนพลศาสตร์ในการดูดซับกรด MBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น MBAA ที่เหลือ ณ เวลาสมดุล (ppb)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
0	100.56	101.26	101.43	100.58	103.51
0.17	94.28	100.05	95.55	94.31	81.09
0.33	88.82	87.81	87.16	82.39	71.99
0.5	89.31	82.28	80.31	70.43	55.74
1	82.67	66.43	77.79	68.98	55.64
2	75.45	63.42	64.56	65.78	48.70
4	67.32	54.20	59.02	54.63	44.12
6	52.57	53.31	54.78	52.65	40.18
12	45.98	39.29	42.57	45.77	35.92
18	39.03	32.78	34.37	38.70	34.29
24	38.42	33.88	31.05	35.80	34.75
36	38.14	33.84	31.32	34.61	34.13
48	39.91	33.11	31.23	35.17	34.75

ตารางที่ ข.5 การศึกษาจลนพลศาสตร์ในการดูดซับกรด DBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น DBAA ที่เหลือ ณ เวลาสมดุล (ppb)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
0	100.09	105.84	101.55	101.67	100.35
0.17	98.53	100.88	99.53	101.06	92.96
0.33	96.48	98.13	95.35	95.40	90.40
0.5	96.62	98.77	94.88	92.50	77.31
1	91.65	93.69	96.00	90.95	73.30
2	88.21	97.92	93.06	83.41	68.39
4	83.56	80.96	92.74	86.65	55.76
6	85.32	89.28	85.46	82.93	52.65
12	59.30	63.93	76.09	62.39	45.85
18	48.78	37.32	42.98	59.45	42.54
24	47.18	30.51	40.01	59.08	42.23
36	42.44	30.26	38.41	58.59	42.40
48	41.58	30.89	37.65	58.11	42.34

### ตัวอย่างการคำนวณ

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับจลนพลศาสตร์การดูดซับของกรด  
ฮาโลอะซิติกโดยใช้อนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก

#### แบบจำลอง Pseudo First Order

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

#### แบบจำลอง Pseudo Second order

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{2k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

โดยที่  $q_e$  คือ ความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกต่อน้ำหนักตัวกลางดูดซับที่  
สภาวะสมดุล ( $\mu\text{g/g}$ )

$q_t$  คือ ความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกต่อน้ำหนักตัวกลางดูดซับที่  
เวลา  $t$  ( $\mu\text{g/g}$ )

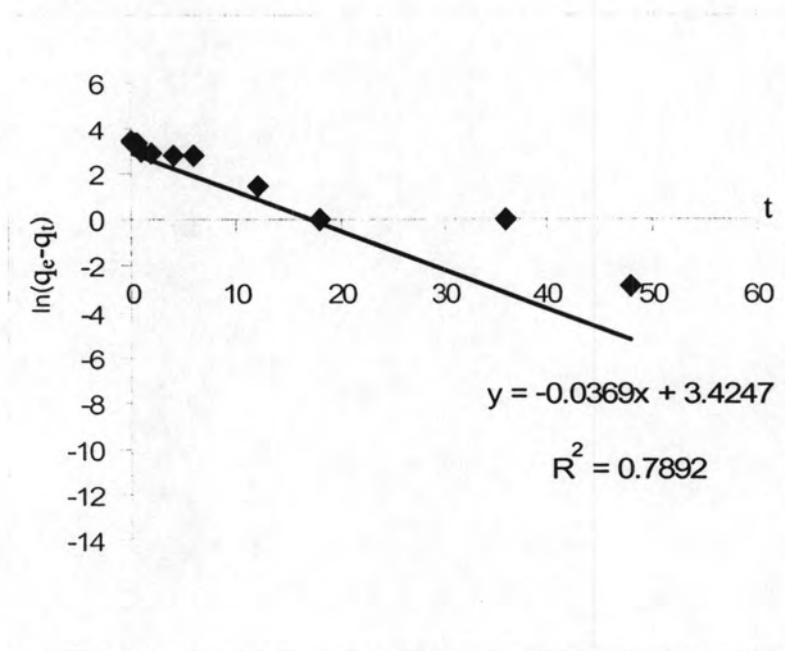
$k_1$  คือ ค่าคงที่อัตราเร็ว Pseudo first order ( $\text{h}^{-1}$ )

$k_2$  คือ ค่าคงที่อัตราเร็ว Pseudo second order ( $\text{g } \mu\text{g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )

ตัวอย่าง กรณีการดูดซับกรดโมโนคลอโรอะซิติกโดยใช้อนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกที่เคลือบซิลิกา (SCP)

แบบจำลอง Pseudo-first order

จากสมการ  $\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$  เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln(q_e - q_t)$  และเวลา (t) ดังแสดงในภาพที่ ก.1 จะได้กราฟของสมการเส้นตรงที่มีจุดตัดแกน  $y = \ln q_e$  และความชันของกราฟ (slope) =  $k_1$



ภาพที่ ข.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln(q_e - q_t)$  และเวลา(t) จากแบบจำลอง Pseudo-first order

จากสมการเส้นตรง  $y = -0.0369x + 3.4247$

จุดตัดแกน  $y = 3.4247$  และความชันของกราฟ = 0.0369

จากสมการของแบบจำลอง Pseudo first order

จุดตัดแกน  $y = \ln q_e$

ดังนั้น  $\ln q_e = 3.4247$

$q_e = e^{3.4247}$

ดังนั้น  $q_e = 30.71$  ไมโครกรัม/กรัม

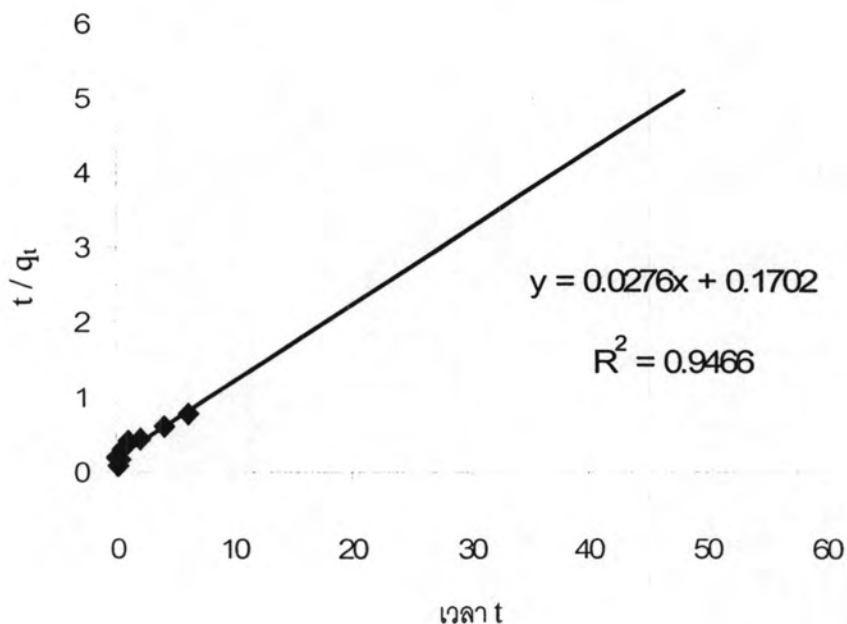


$$\begin{aligned}
 k_1 &= \text{ความชันของกราฟ} \\
 &= 0.0369 \\
 \text{ดังนั้น ค่า } k_1 &= 0.0369 \text{ ชั่วโมง}^{-1}
 \end{aligned}$$

แบบจำลอง Pseudo-second order

$$\text{จากสมการ } \frac{t}{q_t} = \frac{1}{2k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \text{ เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง } \frac{t}{q_t} \text{ และ}$$

เวลา (t) ดังแสดงในภาพที่ ก.2 จะได้กราฟของสมการเส้นตรงที่มีจุดตัดแกน  $y = 1 / 2k_2 q_e^2$  และ  
ความชันของกราฟ (slope) =  $1/q_e$



ภาพที่ ข.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{t}{q_t}$  และเวลา(t) จากแบบจำลอง Pseudo-second order

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการเส้นตรง} & \quad y = 0.0276x + 0.1702 \\
 \text{จุดตัดแกน } y &= 0.1702 \quad \text{และความชันของกราฟ} = 0.0276
 \end{aligned}$$

จากสมการของแบบจำลอง Pseudo first order

$$\begin{aligned}
 \text{ความชันของกราฟ} &= 1 / q_e \\
 \text{ดังนั้น } q_e &= 1 / \text{ความชัน} \\
 &= 1 / 0.0276 \\
 &= 36.23 \text{ ไมโครกรัม/กรัม}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{จุดตัดแกน } y &= 1 / 2k_2q_e^2 \\ k_2 &= 1 / 2(\text{จุดตัดแกน } y)(q_e^2) \\ &= 1 / 2(0.1702) (36.23)^2 \\ &= 0.0022 \text{ กรัม/ไมโครกรัม ชั่วโมง} \end{aligned}$$

จากวิธีการคำนวณข้างต้น สามารถสรุปได้ดังตาราง ข.6

ตารางที่ ๖.6 ค่าคงที่จลนพลศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-first order และ pseudo-second order

Adsorbate	Adsorbent	Pseudo First order		Pseudo second order			$Q_{e,exp}$ ( $\mu\text{g/g}$ )	h ( $\mu\text{g/g h}$ )
		$R^2$	$k_1$ ( $\text{h}^{-1}$ )	$R^2$	$k_2$ ( $\text{g}/\mu\text{g h}$ )	$Q_{e,cal}$ ( $\mu\text{g/g}$ )		
MCAA	SCP	0.7892	0.0369	0.9466	0.0022	36.23	30.85	2.89
	A-SCP	0.9487	0.3632	0.9773	0.0019	48.54	42.59	4.48
	M-SCP	0.9653	0.5928	0.9988	0.0164	34.48	33.70	19.50
	AM-SCP	0.6055	0.0091	0.9882	0.0183	16.45	21.38	4.95
	PAC	0.9378	2.3709	0.9998	0.0319	38.46	37.95	47.19
DCAA	SCP	0.9787	0.4011	0.9973	0.0091	34.59	36.36	10.89
	A-SCP	0.9943	0.2992	0.9971	0.0076	34.44	35.84	9.01
	M-SCP	0.7932	0.0773	0.9960	0.0106	29.54	31.25	9.25
	AM-SCP	0.8384	0.1238	0.9900	0.0069	33.52	34.36	7.75
	PAC	0.7214	1.9966	0.9766	0.0272	38.60	24.33	40.54
TCAA	SCP	0.944	0.1816	0.9987	0.0128	29.07	27.56	10.82
	A-SCP	0.8752	0.2153	0.9991	0.0179	27.55	26.03	13.58
	M-SCP	0.9683	0.1668	0.9915	0.005	32.57	29.82	5.31
	AM-SCP	0.9783	0.1117	0.9849	0.004	33.67	31.33	4.53
	PAC	0.6654	0.2213	0.9997	0.0884	29.50	29.51	76.92
MBAA	SCP	0.8756	0.369	0.9954	0.0074	32.26	31.07	7.70
	A-SCP	0.9389	0.1953	0.9829	0.0576	16.89	33.69	16.44
	M-SCP	0.8059	0.3196	0.9967	0.0074	36.63	35.19	9.93
	AM-SCP	0.9425	0.1502	0.9976	0.0107	33.67	32.39	12.13
	PAC	0.926	0.3019	0.9998	0.0022	36.23	34.38	2.89
DBAA	SCP	0.871	0.1119	0.9635	0.0211	11.75	26.45	2.91
	A-SCP	0.7678	0.1326	0.9463	0.0167	14.45	37.67	3.49
	M-SCP	0.9126	0.1727	0.9389	0.0157	12.75	30.77	2.55
	AM-SCP	0.941	0.2432	0.9636	0.0087	17.39	21.29	2.63
	PAC	0.9748	0.262	0.999	0.0151	29.85	29.06	13.45

ตารางที่ ข.7 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด MCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 7, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ MCAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ ( $\mu\text{g/g}$ )				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	18.22	24.51	2.55	8.21	12.25
50	41.95	56.63	5.50	10.13	18.90
75	53.38	89.11	7.40	36.71	29.03
100	66.02	108.94	30.23	46.24	37.38
200	104.56	130.15	52.30	66.47	82.66
300	122.75	137.51	97.11	126.84	119.04

ตารางที่ ข.8 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด DCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 7, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ DCAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ ( $\mu\text{g/g}$ )				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	9.28	14.13	13.33	5.42	10.56
50	30.00	38.49	37.99	19.85	19.18
75	43.25	51.67	46.04	17.63	28.18
100	52.45	61.28	53.75	20.68	37.09
200	71.48	90.10	79.82	49.33	76.59
300	99.21	123.78	121.59	64.10	110.29

ตารางที่ ข.9 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด TCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 7, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ TCAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ ( $\mu\text{g/g}$ )				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	-0.94	16.15	21.99	35.24	12.73
50	6.17	14.31	47.58	71.68	25.22
75	18.39	24.66	42.62	115.96	37.69
100	22.79	47.61	78.55	149.70	48.69
200	30.21	64.42	164.44	284.03	98.38
300	58.75	133.05	265.55	399.53	145.70

ตารางที่ ข.10 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด MBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 7, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ MBAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ ( $\mu\text{g/g}$ )				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	14.67	21.46	29.27	17.25	8.33
50	36.30	47.46	52.39	43.14	19.99
75	51.33	63.60	84.90	61.77	32.04
100	54.97	85.92	92.34	74.57	43.90
200	106.79	154.46	181.76	122.42	90.97
300	109.73	201.25	238.13	134.96	140.71

ตารางที่ ข.11 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด DBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 7, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (µg/l, ppb)	ปริมาณ DBAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ (µg/g)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	12.48	22.96	21.84	18.74	10.72
50	28.59	39.05	38.94	37.06	21.09
75	41.91	63.38	62.42	54.77	31.95
100	44.70	79.70	80.10	64.74	43.30
200	67.92	179.46	141.98	141.54	88.30
300	329.51	238.03	169.29	155.32	134.35

ตารางที่ ข.12 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด MCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 5, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (µg/l, ppb)	ปริมาณ MCAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ (µg/g)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	13.66	13.71	2.54	4.90	11.76
50	38.58	18.48	3.93	11.20	23.84
75	43.57	27.89	8.06	25.65	35.11
100	-	40.74	8.25	43.94	46.39
200	130.91	46.87	17.44	68.78	92.18
300	194.06	71.98	25.73	99.89	-

ตารางที่ ข.13 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด DCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 5, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (µg/l, ppb)	ปริมาณ DCAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ (µg/g)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	14.26	9.41	26.74	4.49	7.53
50	34.44	24.98	57.04	34.23	14.63
75	42.69	30.70	65.82	41.46	26.06
100	54.34	43.68	95.70	48.85	34.10
200	113.16	107.18	149.36	80.43	74.61
300	163.65	140.26	159.30	95.65	-

ตารางที่ ข.14 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด TCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 5, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (µg/l, ppb)	ปริมาณ TCAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ (µg/g)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	25.97	13.79	17.07	14.32	11.21
50	50.23	39.29	42.38	39.92	22.65
75	72.82	59.47	45.42	68.62	34.34
100	109.45	79.49	58.23	85.48	46.52
200	235.57	152.90	121.38	150.01	93.41
300	339.38	204.15	158.32	213.43	-

ตารางที่ ข.15 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด MBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 5, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ MBAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ ( $\mu\text{g/g}$ )				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	3.31	18.72	13.26	20.05	9.48
50	20.63	38.54	33.93	29.24	19.77
75	37.16	47.45	43.10	46.28	28.44
100	54.11	64.57	63.68	70.25	37.63
200	94.95	106.40	121.40	130.76	80.31
300	147.51	149.19	169.79	201.39	-

ตารางที่ ข.16 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด DBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 5, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ DBAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ ( $\mu\text{g/g}$ )				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	13.70	33.37	26.55	11.59	8.75
50	36.66	49.02	54.45	39.51	19.36
75	52.76	76.09	77.78	64.82	29.48
100	65.73	109.16	110.18	78.95	39.94
200	145.07	182.85	195.45	180.88	76.82
300	141.11	231.39	244.63	280.74	-



ตารางที่ ข.17 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด MCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 9, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ MCAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ ( $\mu\text{g/g}$ )				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	10.13	9.60	-	13.78	9.17
50	17.04	17.75	12.39	15.77	20.80
75	32.24	44.77	14.83	46.11	30.38
100	41.46	44.49	26.93	48.64	40.24
200	-	87.22	47.73	73.28	83.89
300	114.93	154.42	75.23	124.57	-

ตารางที่ ข.18 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด DCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 9, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ DCAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ ( $\mu\text{g/g}$ )				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	8.53	11.50	19.40	8.95	6.10
50	14.64	22.51	47.04	23.57	16.14
75	18.93	53.50	61.27	28.91	20.26
100	33.68	54.22	81.66	35.96	27.99
200	98.10	115.62	139.21	64.32	62.75
300	143.08	170.52	159.22	82.78	-

ตารางที่ ข.19 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด TCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 9, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (µg/l, ppb)	ปริมาณ TCAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ (µg/g)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	18.36	-0.77	34.37	6.70	10.51
50	45.62	8.88	64.68	24.97	21.02
75	67.06	30.42	109.23	27.46	31.08
100	80.18	33.91	141.48	48.28	39.61
200	157.29	83.85	252.57	92.59	81.33
300	172.72	188.88	417.18	198.10	-

ตารางที่ ข.20 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด MBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 9, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (µg/l, ppb)	ปริมาณ MBAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ (µg/g)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	15.13	7.46	19.37	12.35	9.20
50	30.90	20.40	27.46	12.23	18.04
75	38.69	41.26	37.51	24.00	24.51
100	46.26	47.57	48.50	19.22	35.05
200	69.89	95.53	111.11	46.33	69.50
300	105.60	124.05	128.20	89.23	-

ตารางที่ ข.21 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรด DBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ชนิดผง (pH 9, ionic strength 0.01 mol/l, อุณหภูมิ 25 °c)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (µg/l, ppb)	ปริมาณ DBAA ที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ (µg/g)				
	SCP	A-SCP	M-SCP	AM-SCP	PAC
25	25.36	18.51	25.87	14.99	5.83
50	53.25	41.92	52.68	39.16	15.29
75	75.15	70.31	74.99	60.27	22.64
100	93.43	83.69	95.93	77.03	32.41
200	196.32	151.92	190.46	157.96	71.86
300	263.42	192.63	235.81	247.45	-

ตารางที่ ข.22 การศึกษาสมบัติการคัดเลือกในการดูดซับสารละลายผสม HAA5 ของ SCP กรณีควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น

ความเข้มข้นเริ่มต้น (µg/l, ppb)	ปริมาณ HAA5 ที่ถูกดูดซับบน SCP (µg/g)				
	MCAA	DCAA	TCAA	MBAA	DBAA
25	0.04	1.23	0.38	-	3.78
50	1.09	4.86	2.84	2.32	7.69
75	4.70	5.52	1.92	4.92	12.30
100	7.58	-	-	9.30	-
200	18.65	15.89	7.49	29.36	31.81
300	28.02	26.62	13.74	43.68	49.25

ตารางที่ ข.23 การศึกษาสมบัติการคัดเลือกในการดูดซับสารละลายผสม HAA5 ของ A-SCP กรณี  
ควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น

ความเข้มข้น เริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ HAA5 ที่ถูกดูดซับบน A-SCP ( $\mu\text{g/g}$ )				
	MCAA	DCAA	TCAA	MBAA	DBAA
25	0.02	1.10	0.31	1.33	3.07
50	0.00	3.69	1.37	1.79	6.74
75	4.22	4.79	1.18	3.32	11.27
100	5.62	-	-	20.00	-
200	14.22	9.58	0.47	34.01	28.68
300	27.06	19.00	4.59	53.63	45.37

ตารางที่ ก.24 การศึกษาสมบัติการคัดเลือกในการดูดซับสารละลายผสม HAA5 ของ M-SCP  
กรณีควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น

ความเข้มข้น เริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ HAA5 ที่ถูกดูดซับบน M-SCP ( $\mu\text{g/g}$ )				
	MCAA	DCAA	TCAA	MBAA	DBAA
25	0.00	0.39	0.00	3.10	2.97
50	2.57	4.81	4.04	8.37	8.79
75	3.60	4.52	1.19	7.00	11.23
100	7.23	5.84	-	13.48	-
200	13.91	14.84	4.50	36.85	29.27
300	28.64	27.57	16.50	67.77	51.92

ตารางที่ ข.25 การศึกษาสมบัติการคัดเลือกในการดูดซับสารละลายผสม HAA5 ของ AM-SCP  
กรณีควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น

ความเข้มข้น เริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ HAA5 ที่ถูกดูดซับบน AM-SCP ( $\mu\text{g/g}$ )				
	MCAA	DCAA	TCAA	MBAA	DBAA
25	4.37	5.61	7.42	-	4.38
50	8.43	9.59	14.57	2.04	6.62
75	9.19	10.60	18.58	6.90	10.90
100	-	-	-	10.85	15.67
200	17.72	24.78	41.03	33.14	31.55
300	34.81	40.21	66.43	58.47	51.79

ตารางที่ ข.26 การศึกษาสมบัติการคัดเลือกในการดูดซับสารละลายผสม HAA5 ของ PAC กรณี  
ควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น

ความเข้มข้น เริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ HAA5 ที่ถูกดูดซับบน PAC ( $\mu\text{g/g}$ )				
	MCAA	DCAA	TCAA	MBAA	DBAA
25	0.02	1.99	1.79	-	1.41
50	0.62	4.24	3.70	0.73	3.31
75	0.73	5.50	3.25	1.76	2.68
100	0.08	-	-	2.43	-
200	2.33	10.69	5.72	9.34	3.69
300	8.60	19.07	13.00	18.54	10.70

ตารางที่ ข.27 การศึกษาสมบัติการคัดเลือกในการดูดซับสารละลายผสม HAA5 ของ SCP กรณี  
ดูดซับในน้ำประปา

ความเข้มข้น เริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ HAA5 ที่ถูกดูดซับบน SCP ( $\mu\text{g/g}$ )				
	MCAA	DCAA	TCAA	MBAA	DBAA
25	1.67	3.77	5.66	0.00	6.53
50	6.25	9.27	13.60	2.92	14.92
75	8.39	12.81	17.42	9.03	20.66
100	12.96	-	-	16.06	-
200	19.45	31.53	30.13	36.28	45.86
300	30.06	46.60	37.33	68.97	72.11

ตารางที่ ข.28 การศึกษาสมบัติการคัดเลือกในการดูดซับสารละลายผสม HAA5 ของ A-SCP กรณี  
ดูดซับในน้ำประปา

ความเข้มข้น เริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ HAA5 ที่ถูกดูดซับบน A-SCP ( $\mu\text{g/g}$ )				
	MCAA	DCAA	TCAA	MBAA	DBAA
25	0.79	3.80	5.67	0.00	6.62
50	4.22	9.38	11.84	2.39	13.52
75	7.03	11.13	15.08	7.84	18.15
100	14.37	-	-	16.32	-
200	29.93	36.43	41.06	45.69	55.19
300	39.87	52.54	55.28	71.94	75.08

ตารางที่ ข.29 การศึกษาสมบัติการคัดเลือกในการดูดซับสารละลายผสม HAA5 ของ M-SCP  
กรณีดูดซับในน้ำประปา

ความเข้มข้น เริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ HAA5 ที่ถูกดูดซับบน M-SCP ( $\mu\text{g/g}$ )				
	MCAA	DCAA	TCAA	MBAA	DBAA
25	0.82	2.88	4.56	0.00	5.47
50	3.25	8.28	10.78	1.97	12.55
75	7.81	11.73	16.55	8.70	20.13
100	12.82	-	-	16.38	-
200	29.10	35.98	43.30	45.48	54.48
300	37.02	45.86	53.31	66.92	68.80

ตารางที่ ข.30 การศึกษาสมบัติการคัดเลือกในการดูดซับสารละลายผสม HAA5 ของ AM-SCP  
กรณีดูดซับในน้ำประปา

ความเข้มข้น เริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ HAA5 ที่ถูกดูดซับบน AM-SCP ( $\mu\text{g/g}$ )				
	MCAA	DCAA	TCAA	MBAA	DBAA
25	0.82	3.80	6.43	-	4.97
50	3.66	8.49	12.70	3.40	10.14
75	7.91	11.88	18.83	8.40	14.94
100	12.82	-	-	15.36	-
200	29.69	36.14	51.98	39.57	41.44
300	36.83	48.43	73.36	60.40	63.62

ตารางที่ ข.31 การศึกษาสมบัติการคัดเลือกในการดูดซับสารละลายผสม HAA5 ของ PAC กรณี  
ดูดซับในน้ำประปาจริง

ความเข้มข้น เริ่มต้น ( $\mu\text{g/l}$ , ppb)	ปริมาณ HAA5 ที่ถูกดูดซับบน PAC ( $\mu\text{g/g}$ )				
	MCAA	DCAA	TCAA	MBAA	DBAA
25	0.59	3.47	3.62	0.00	4.04
50	3.19	8.01	8.38	2.14	8.97
75	5.06	10.65	11.53	5.92	13.16
100	6.40	-	-	9.54	-
200	17.09	26.98	25.91	26.49	33.42
300	24.90	38.07	28.63	44.52	50.11



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพิชชาภา บุญญคง เกิดวันศุกร์ที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2527 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสตรีราชินูทิศ จังหวัดอุดรธานี เมื่อปี พ.ศ. 2544 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จนสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2548 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2549

