



## เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี. 2550. เบนทอไนท์ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : [http://www.dmr.go.th/new/ewt\\_news](http://www.dmr.go.th/new/ewt_news) [10 มีนาคม 2552].
- กิตติโรจน์ หวันดาหลา, ชยาภาส ทับทอง และ สีนสุภา จุ้ยจุลเจิม. 2550. การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่าน กัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 10, 2 (ม.ค.-เม.ย. 2550) : 104-116.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2546. ของเสียอันตราย. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี.
- ชาญ จรรยาวิชัย. 2534. เบนทอไนท์ เทคโนโลยี การผลิต และการทดสอบ. กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี.
- บุญชัย ตระกูลมหาชัย. 2544. ตัวดูดซับ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- พิสมัย เจนวานิชปัญญากุล. 2527. ผงสี. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 11 (พฤศจิกายน 2527):605-618.
- พูลเพชร ธงไชย. 2541. การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้แผ่นเยื่อกรอง. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ภาณุวัตร จิตพุทธิ. 2543. การกำจัดโลหะโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- รัตนา สนั่นเมือง. 2550. คุณสมบัติกายภาพและการดูดซับสีย้อมชนิดรีแอกทีฟของถ่านและถ่านกัมมันต์เตรียมจากเปลือกมังคุดและเม็ดมะขาม. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, 15: 9-16.
- รัชนิย์ รุกขชาติ. 2544. การกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้ควอร์เทอร์ไนซ์โครอสส์ลิงก์เซลลูโลสจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับประรด และกาบมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัชนิย์ รุกขชาติ. 2545ก. สีย้อมและการบำบัดสีในน้ำทิ้ง (ออนไลน์). สืบค้นได้จาก:<http://www.navy.mi.th/science/phpinfo/index.php> [1 กันยายน 2551].
- รัชนิย์ รุกขชาติ. 2545ข. อุตสาหกรรมฟอกย้อม (ออนไลน์). สืบค้นจาก : [http://www.tpa.or.th/Writer/read\\_this\\_book\\_topic.php?passTo=60964b40f025deb8ce0a235a971ed6&bookID=370&pageid=4&read=true&count=true](http://www.tpa.or.th/Writer/read_this_book_topic.php?passTo=60964b40f025deb8ce0a235a971ed6&bookID=370&pageid=4&read=true&count=true) [30 กันยายน 2551].
- วิชัย สัจจพรปทานสกุล. 2548. เบนทอไนท์ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.thaiengineering.com/webboardold/question.asp?QID=15546> [10 มีนาคม 2552].
- วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2543. อุตสาหกรรมสิ่งทอไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. ระบบบำบัดน้ำเสีย. สำนักพิมพ์ท็อป, กรุงเทพมหานคร.
- สินีนาฏ ทิพย์คนตรี. 2543. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุจินต์ พรราวพันธุ์. 2540. การศึกษาวิจัยวิธีการวิเคราะห์เพื่อวินิจฉัยดินเบนทอไนท์. นักวิทยาศาสตร์ 6 ว. ฝ่ายวิเคราะห์และทดสอบ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกซ์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- สุมาลี เหลืองสกุล และ ชนวรรณ โสมดี. 2550. การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการบำบัดสีย้อมผ้า. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว. 23, 1 (มิถุนายน 2550): 57-67.
- Andini, S., Cioffi, R., Montagnaro, F., Pisciotta, F. and Santoro, L. 2006. Simultaneous adsorption of chlorophenol and heavy metal ions on organophilic bentonite. *Applied Clay Science*, 31: 126-133.
- Ayari, F., Srasra, E. and Ayadi, T.M. 2007. Retention of lead from an aqueous solution by use of bentonite as adsorbent for reducing leaching from industrial effluents. *Desalination*. 206: 270-278.
- Baskaralingam, P., Pulikesi, M., Elango, D., Ramamurthi, V. and Sivanesan, S. 2006. Adsorption of acid dye onto organobentonite. *Journal of Hazardous Materials*, B128: 138-144.
- Bentouami, A. and Ouali, S.M. 2006. Cadmium removal from aqueous solutions by hydroxyl-8 quinoleine intercalated bentonite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 293: 270-277.
- Bulut, E., Ozacar, M. and Sengil, A. 2008a. Adsorption of malachite green onto bentonite: Equilibrium and kinetic studies and process design. *Microporous and Mesoporous Materials*, 115: 234-246.
- Bulut, E., Ozacar, M. and Sengil, A. 2008b. Equilibrium and kinetic data and process design for adsorption of Congo Red onto bentonite. *Journal of Hazardous Materials*, 154: 613-622.
- Cason, R. and Reed, L.W. 1977. Chemistry of two clay systems and three phenoxy herbicides. *Proceedings of Oklahoma Academy of Science*, 57: 116-118.
- Chaisuksant, Y. 2003. Biosorption of cadmium (II) and copper (II) by pretreated biomass of marine alga *Gracilaria fisheri*. *Environmental Technology*, 24: 1501-1508.
- Deliyanni, E.A., Peleka, E.N. and Matis, K.A. 2007. Removal of zinc ion from water by sorption onto iron-based nanoadsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 141: 176-184.
- Donat, R., Akdogan, A., Erdem, E. and Cetisli, H. 2005. Thermodynamics of  $Pb^{2+}$  and  $Ni^{2+}$  adsorption onto natural bentonite from aqueous solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*. 286: 43-52.

- Eren, E. and Afsin, B. 2008. Investigation of a basic dye adsorption from aqueous solution onto raw and pre-treated bentonite surfaces. *Chemical Engineering Journal*, 76: 220-225.
- Gillman, G.P. and Sumpter, E.A. 1986. Modification to the compulsive exchange method for measuring exchange characteristics of soils. *Australian Journal of Soil Research*, 24: 61-66.
- Gou, M., Qu, Y., Zhou, J., Ma, F. and Tan, L. 2009. Azo dye decolorization by new fungal, *Penicillium* sp. QQ and fungal-bacterial cocultures. *Journal of Hazardous Materials*, 170: 314-319.
- Gupta, S.S. and Bhattacharyya, K.G. 2006. Removal of Cd(II) from aqueous solution by kaolinite, montmorillonite and their poly(oxo zirconium) and tetrabutylammonium derivatives. *Journal of Hazardous Materials*, B128: 247-257.
- Han, R., Zou, W., Yu, W., Cheng, S., Wang, Y. and Shi, J. 2007. Biosorption of methylene blue from aqueous solutions by fallen tree's leaves. *Journal of Hazardous Materials*, 141: 156-162.
- Inglezakis, J.V., Stylianou, A.M., Gkantzou, D. and Loizidou, D.M. 2007. Removal of Pb(II) from aqueous solutions by using clinoptilolite and bentonite as adsorbents. *Desalination*, 210: 248-256.
- Jadhav, J.P. Parshetti, G.K., Kalme, S.D. and Govindwar, S.P. 2010 Evaluation of the efficacy of a bacterial consortium for removal of color, reduction of heavy metals, and toxicity from textile effluent. *Bioresource Technology*, 101: 165-173.
- Jiang, Y., Xu, H., Liang D. and Tong, Z. 2008. Adsorption of Basic Violet 14 from aqueous solution on bentonite. *C. R. Chimie*, 11: 125-129.
- Kahr, G. and Madsen, T.F. 1995. Determination of the cation exchange capacity and the surface area of bentonite, illite and kaolinite by methylene blue adsorption. *Applied Clay Science*. 9: 327-336.
- Kannan, N. and Meenakshisundaram, M. 2002. Adsorption of congo red on various activated carbons a comparative study. *Water, Air, Soil Pollution*, 138: 289-305.
- Kaya, A. and Ören, A.H. 2005. Adsorption of zinc from aqueous solutions to bentonite. *Journal of Hazardous Materials*, B125 : 183-189.
- Kim, N.H., Malhotra, S.V. and Xanthos, M. 2006. Modification of cationic nanoclays with ionic liquids. *Microporous and Mesoporous Material*, 96: 29-35.
- Kirk-Othmer. 1985. *Encyclopedia of Chemical Technology*. New York : Interscience Publishing Co.
- LaGrega, M.D., Buckingham, P.L. and Evans, J.C. 1994. *Hazardous Waste Treatment*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Leach, R.H. 1988. *The Printing Ink Manual*. London : Blueprint.

- Lin, S.H. and Juang, R.S. 2002. Heavy metal removal from water by sorption using surfactant-modified montmorillonite. *Journal of Hazardous Materials*, B92: 315-326.
- Lian, L., Guo, L. and Guo, C. 2009. Adsorption of Congo red from aqueous solutions onto Ca-bentonite. *Journal of Hazardous Materials*, 161: 126-131.
- Meena, A.K., Kardirvelu, K., Mishraa, G.K., Rajagopal, C. and Nagar, P.N. 2008a. Adsorptive removal of heavy metals from aqueous solutions by treated sawdust (*Acacia Arabica*). *Journal of Hazardous Materials*, 150: 604-611.
- Meena, A.K., Kardirvelu, K., Mishraa, G.K., Rajagopal, C. and Nagar, P.N. 2008b. Adsorption of Pb(II) and Cd(II) metal ions from aqueous solutions by mustard husk. *Journal of Hazardous Materials*, 150 : 619-625.
- Mittal, A. 2006. Use of hen feathers as potential adsorbent for the removal of a hazardous dye, Brilliant Blue FCF, from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, B128 : 233-239.
- Nir, S., Undabeytia, T., Yaron-Marcovich, D., El-Nahhal, Y., Polubesova, T., Serban, C., Rytwo, G., Lagary, G. and Rubin, B. 2000. Optimization of adsorption of hydrophobic herbicides on montmorillonite preadsorbed by monovalent organic cations: Interaction between phenyl rings. *Environmental Science and Technology*, 34: 1269-1274.
- Özcan, A.S., Erdem, B. and Özcan, A. 2005. Adsorption of Acid Blue 193 from aqueous solutions onto BTMA-bentonite. *Colloids and Surfaces*, 266: 73-81.
- Özcan, A.S., Erdem, B. and Özcan, A. 2004. Adsorption of Acid Blue 193 from aqueous solutions onto Na-bentonite and DTMA-bentonite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280: 44-54.
- Özcan, A.S. and Özcan, A. 2004. Adsorption of acid dyes from aqueous solutions onto acid-activated bentonite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 276: 39-46.
- Özcan, A. and Özcan, A.S. 2005. Adsorption of Acid Red 57 from aqueous solutions onto surfactant-modified sepiolite. *Journal of Hazardous Materials*, B125: 252-259.
- Özcan, A., Omeroglu, C., Erdogan, Y. and Özcan, A.S. 2007. Modification of bentonite with a cationic surfactant: An adsorption study of textile dye Reactive Blue 19. *Journal of Hazardous Materials*, 140: 173-179.
- Sari, A., Tuzen, M. and Soylak, M. 2007. Adsorption of Pb(II) and Cr(III) from aqueous solution on Celtek Clay. *Journal of Hazardous Materials*, 144 : 41-46.
- Shakir, K., Ghoneimy, F.H., Elkafrawy, F.A., Beheir, G.Sh. and Refaat, M. 2008. Removal of catechol from aqueous by adsorption onto organophilic-bentonite. *Journal of Hazardous Materials*, 150: 765-773.

- Sheta, A.S., Falatah, A.M., Al-Sewailem, M.S., Khaled, E.M. and Sallam, A.S.H. 2003. Sorption characteristics of zinc and iron by natural zeolite and bentonite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 61: 127-136.
- Štandeker, S., Novak, Z. and Knez, Ž. 2007. Adsorption of toxic organic compounds from water with hydrophobic silica aerogels. *Journal of Colloid and Interface Science*, 310: 362-368.
- Subramanian, B. and Gupta, G. 2006. Adsorption of trace elements from poultry litter by montmorillonite clay. *Journal of Hazardous Materials*, B128: 80-83.
- Tahir, S.S. and Rauf, N. 2006. Removal of a cationic dye from aqueous solutions by adsorption onto bentonite clay. *Chemosphere*, 63: 1842–1848.
- Vadivelan, V. and Vasanth Kumar, K. 2005. Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk. *Journal of Colloid and Interface Science*, 286: 90–100.
- Veli, S. and Alyüz, B. 2007. Adsorption of copper and zinc from aqueous solution by using natural clay. *Journal of Hazardous Materials*, 149: 226-233.
- Volesky, B. 1987. Biosorbents for metal recovery. *Trends in Biotechnology*, 35: 96-101.
- Wang, L. and Wang, A. 2008. Adsorption properties of Congo Red from aqueous solution onto surfactant-modified montmorillonite. *Journal of Hazardous Materials*, 160: 173-180.
- Yun, L., Xing, S., Qiming, X., Haidong, C., Huixian, Z. and Shixiang, G. 2006. Adsorption of copper and lead in aqueous solution onto bentonite modified by 4'-methylbenzo-15-crown-5. *Journal of Hazardous Materials*, B137: 1149-1155.
- Zohra, B., Aicha, K., Fatima, S., Nourredine, B. and Zoubir, D. 2008. Adsorption of Direct Red 2 on bentonite modified by cetyltrimethylammonium bromide. *Chemical Engineering Journal*, 136: 295-305.
- Zhu, L., Ren, X. and Yu, S. 1998. Use of cetyltrimethylammonium bromide-bentonite to remove organic contaminants of varying polar character from water. *Environmental Science and Technology*, 32: 3374-3381.

## ภาคผนวก ก

### 1. การหาค่าความสามารถดูดซับโลหะและสี ( $q_e$ , mg/g)

สูตรการคำนวณหาค่าความสามารถดูดซับสาร ( $q_e$ , mg/g)

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{W}$$

เมื่อ  $q_e$  = ค่าความสามารถดูดซับสาร ณ สภาวะสมดุล (mg/g)

$C_o$  = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสาร (mg/L)

$C_e$  = ความเข้มข้นของสารละลายสาร ณ สภาวะสมดุล (mg/L)

$V$  = ปริมาตรของสารละลายสาร (L)

$W$  = น้ำหนักของเบนทอไนท์ (g)

### 2. การหาค่าร้อยละการดูดซับโลหะและสี (% Adsorption)

สูตรการคำนวณหาค่าการดูดซับโลหะและสี (% Adsorption)

$$\% \text{Adsorption} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} 100$$

เมื่อ  $C_o$  = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว (mg/L)

$C_e$  = ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว ณ สภาวะสมดุล (mg/L)

### 3. การหาค่าความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC)

สูตรการคำนวณค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)

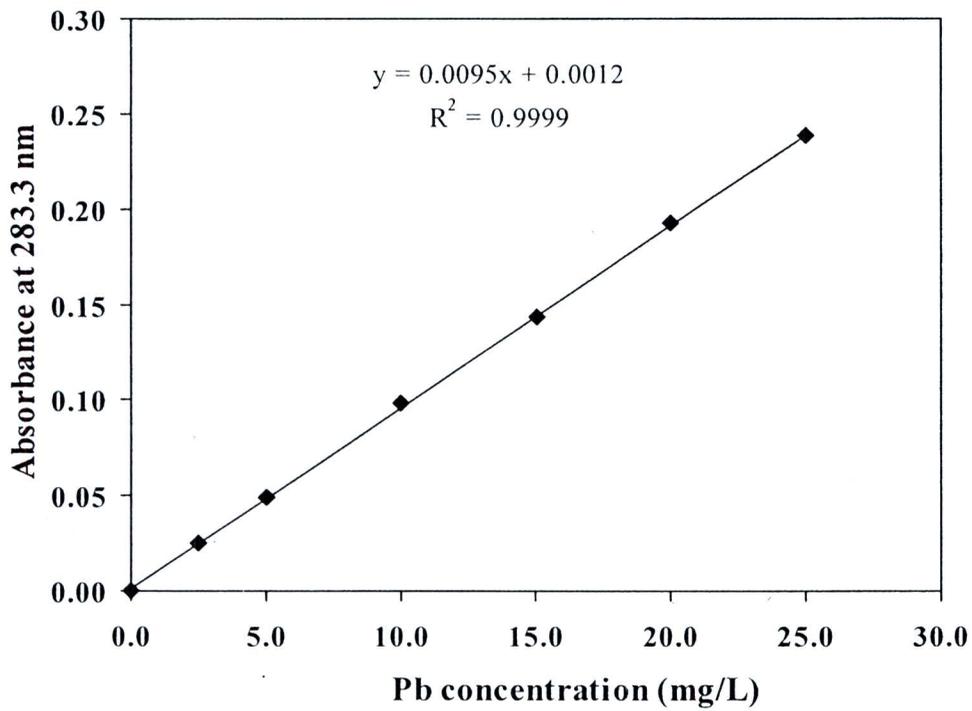
1) Total solution (mL) [assumes 1 mL weights 1 g] = final flask weight (g) – flask tare weight (g) – 2 g [weight of soil used]

2) Mg in solution, not on CEC (meq) = total solution (mLs)  $\times$  0.003 (meq/mL) [1.5 mM  $\text{MgSO}_4$  has 0.003 meq/mL]

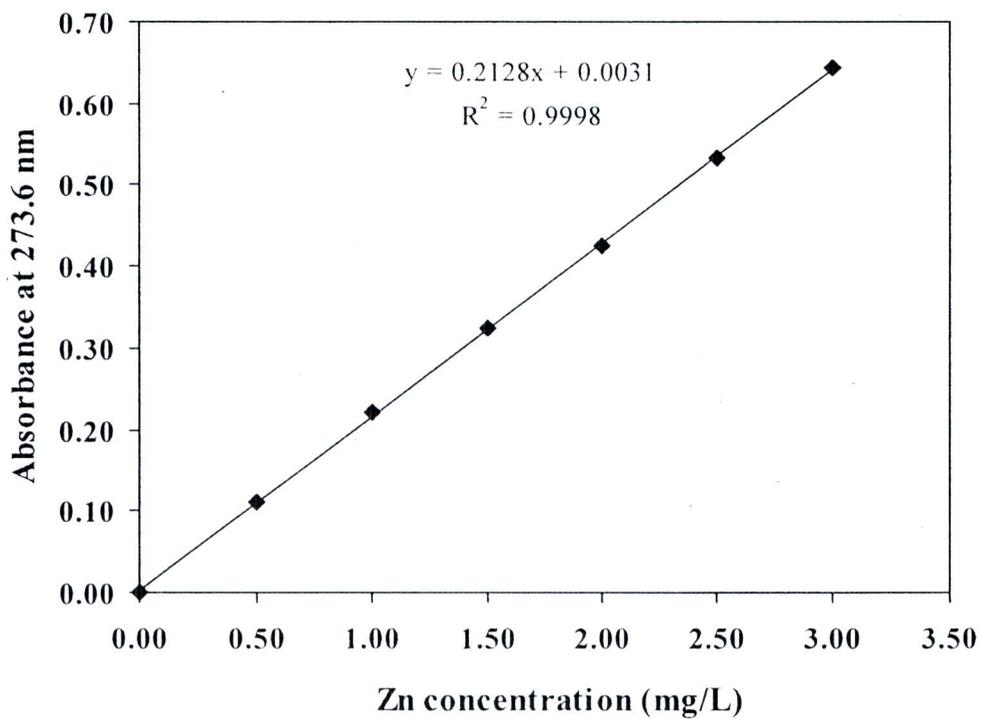
3) Total Mg added (meq) = 0.1 meq [meq in 10 mLs of 5 mM  $\text{MgSO}_4$ ] + meq added in 0.1 M  $\text{MgSO}_4$  [mLs of 0.1 M  $\text{MgSO}_4 \times 0.2$  meq/mL (0.1 M  $\text{MgSO}_4$  has 0.2 meq/mL)]

4) CEC (meq/100g) = (Total Mg added - Mg in final solution)  $\times$  50 [ 50 is to convert from 2 g of soil to 100 g]

### 3. กราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่วและสังกะสี วิเคราะห์โดยวิธี FAAS

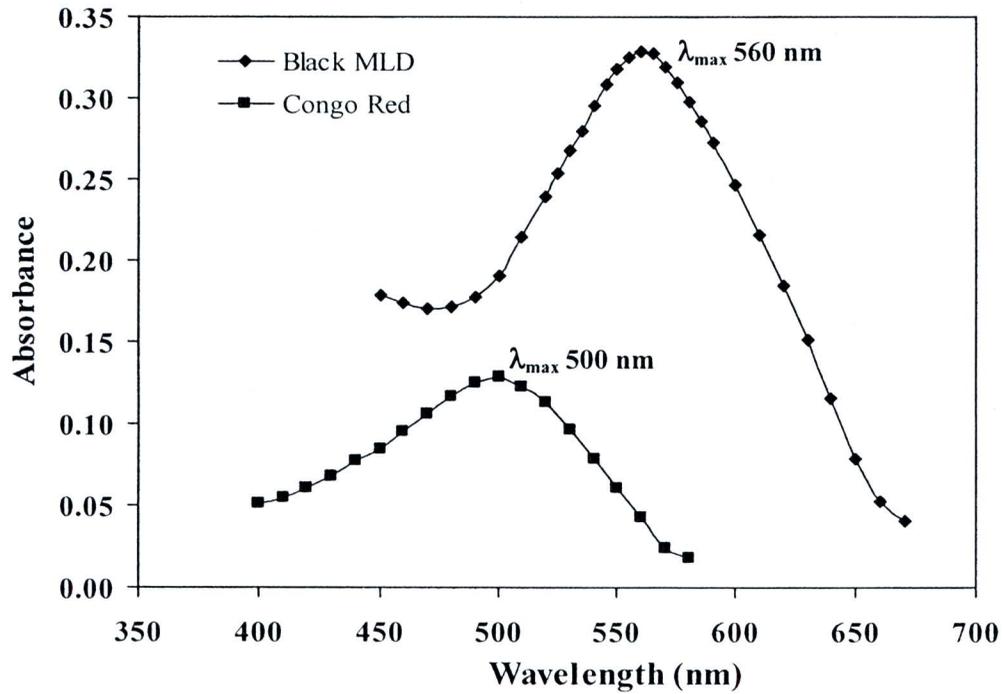


รูปที่ ก-1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 283.3 nm ของสารละลายตะกั่วมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ



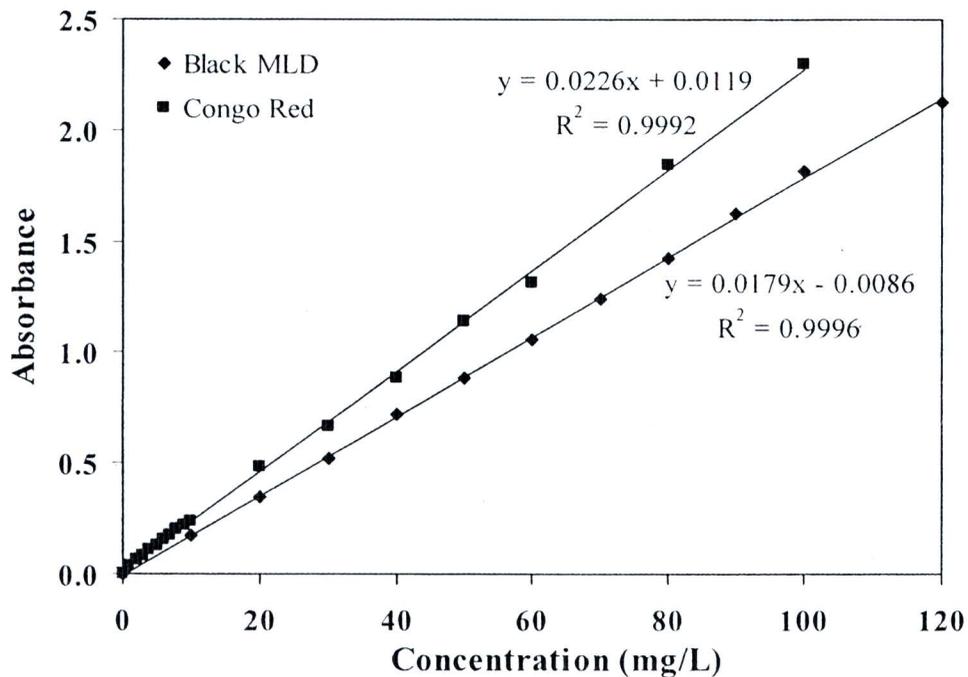
รูปที่ ก-2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 273.6 nm ของสารละลายสังกะสีมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ

#### 4. ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสี Black MLD และ Congo Red



รูปที่ ก-3 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของสี Black MLD และ Congo Red

#### 5. กราฟมาตรฐานของสารละลายสี Black MLD และ Congo Red

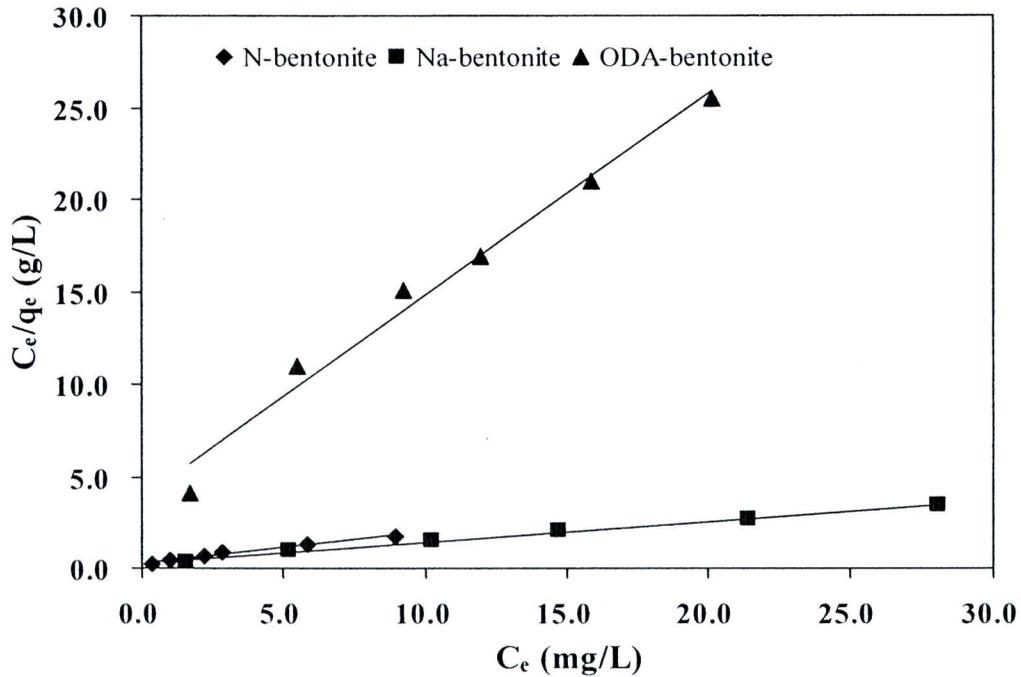


รูปที่ ก-42 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน Black MLD ( $\lambda$  560 nm) และ Congo Red ( $\lambda$  500 nm) ที่ความเข้มข้นต่างๆ

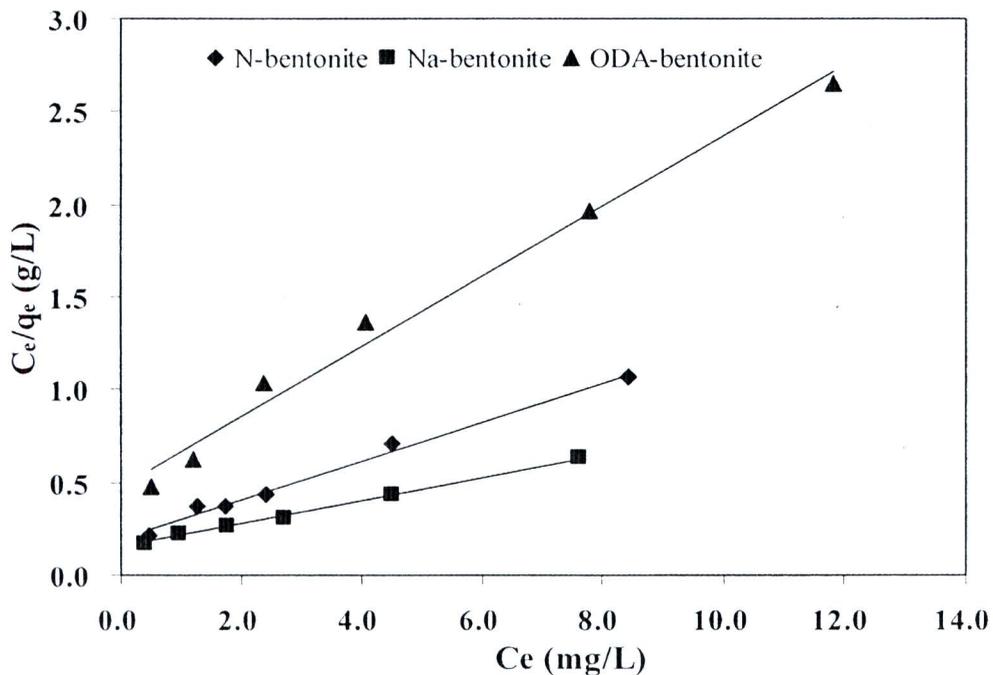
## ภาคผนวก ข

### ไอโซเทอร์มของการดูดซับโลหะและสี

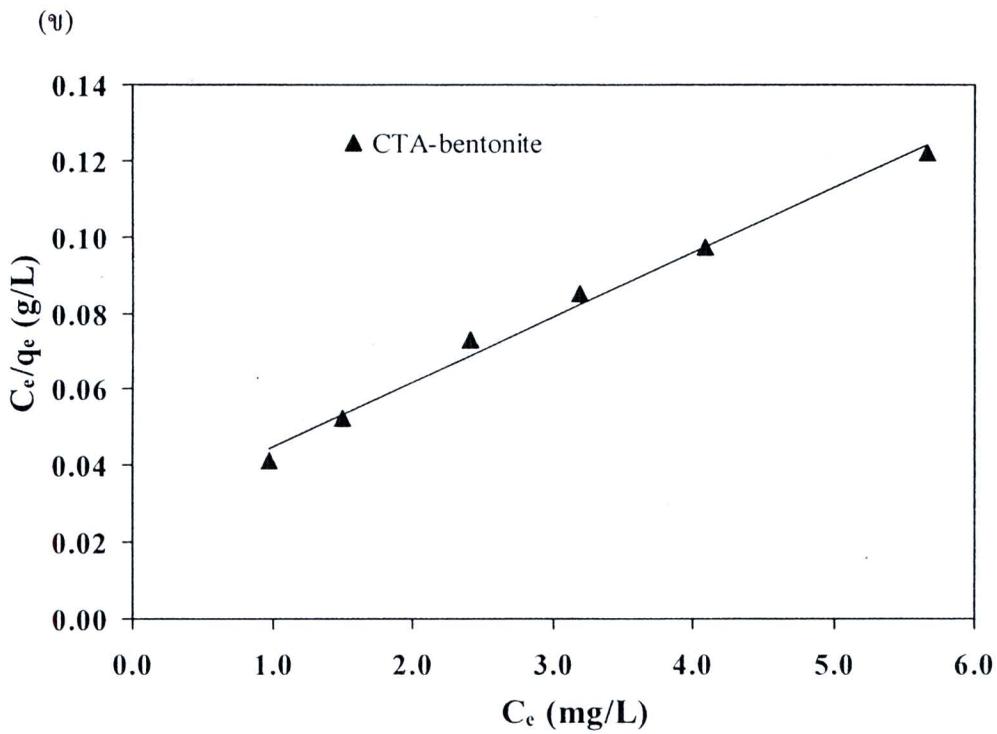
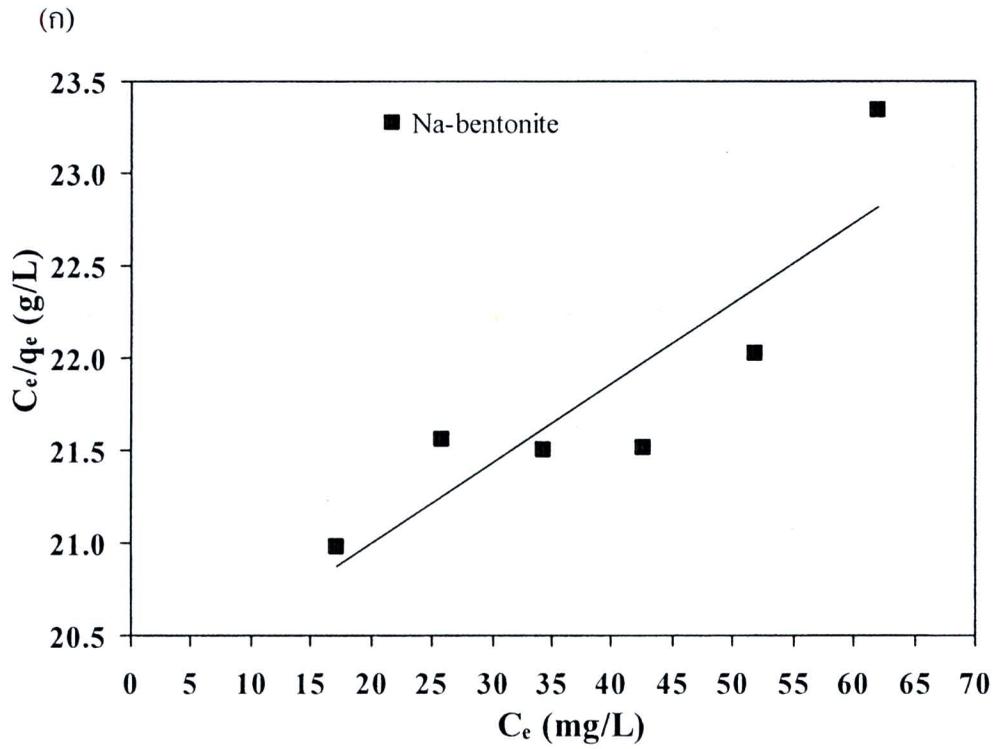
#### 1. Langmuir isotherm ของการดูดซับ



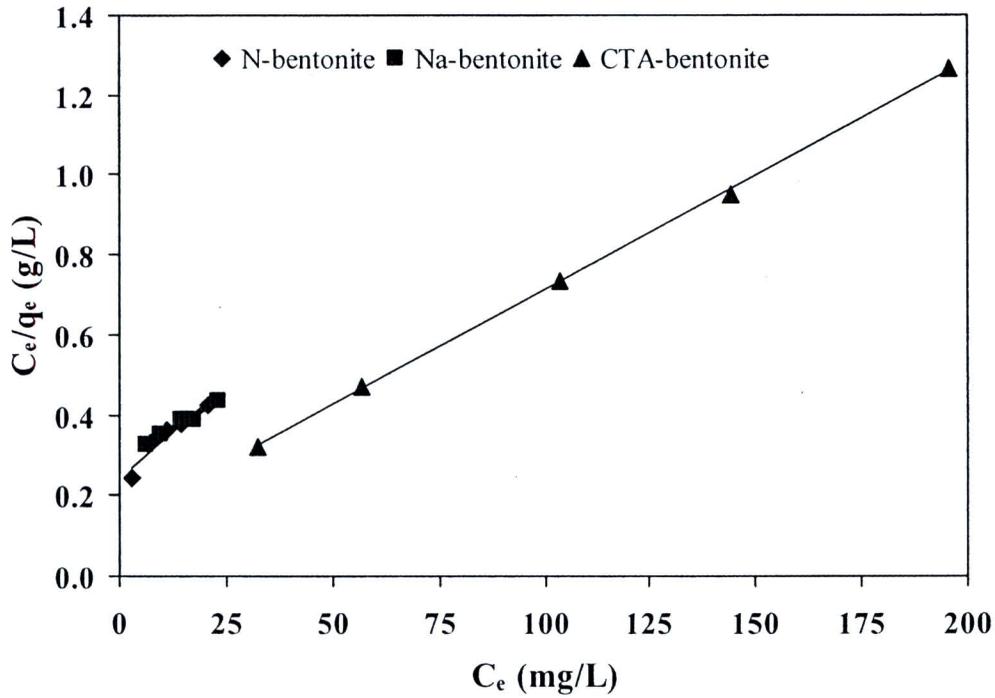
รูปที่ ข-1 Langmuir isotherm ของการดูดซับตะกั่วโดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมมูลต่างๆ pH 5.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 4 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 2 ชั่วโมง)



รูปที่ ข-2 Langmuir isotherm ของการดูดซับสังกะสีโดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมมูลต่างๆ pH 5.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 4 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 2 ชั่วโมง)

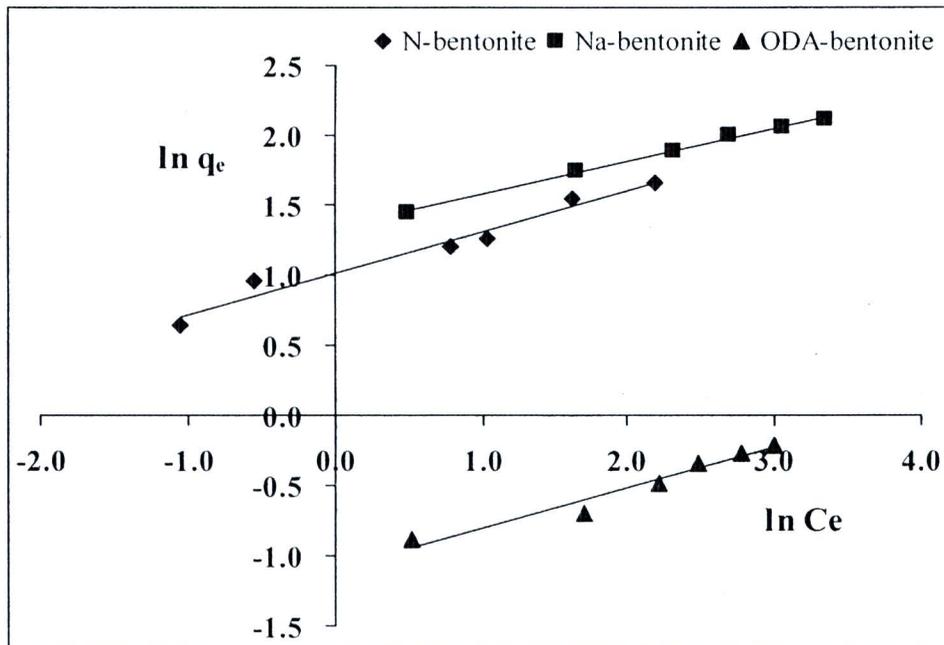


รูปที่ ข-3 Langmuir isotherm ของการดูดซับสี Black MLD โดย Na-bentonite (ก) และ CTA-bentonite (ข) ที่ความเข้มข้นสมดุลต่างๆ pH 4.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 3 ชั่วโมง)

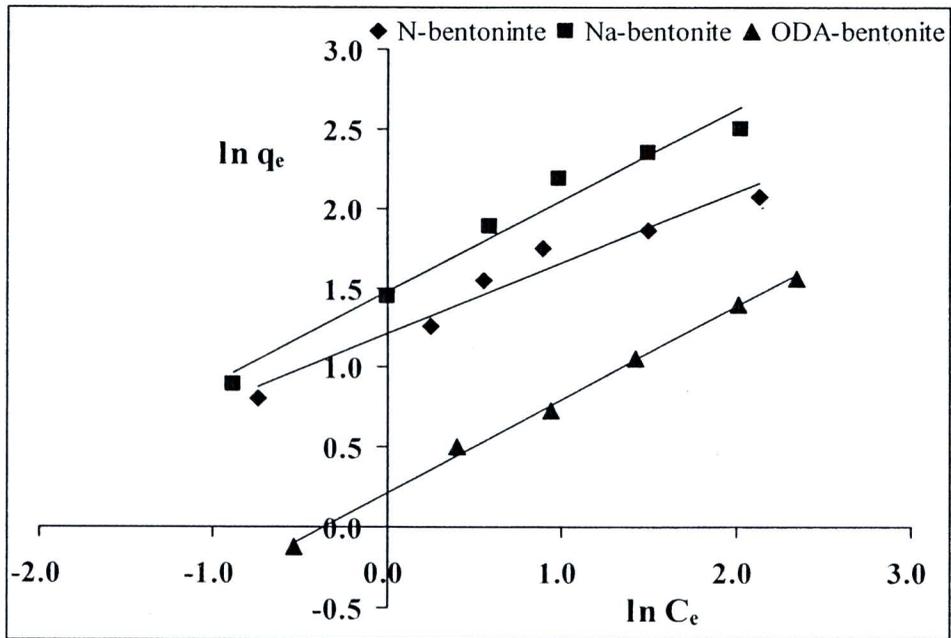


รูปที่ ข-4 Langmuir isotherm ของการดูดซับสี Congo Red โดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมมูลต่างๆ pH 7.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 3 ชั่วโมง)

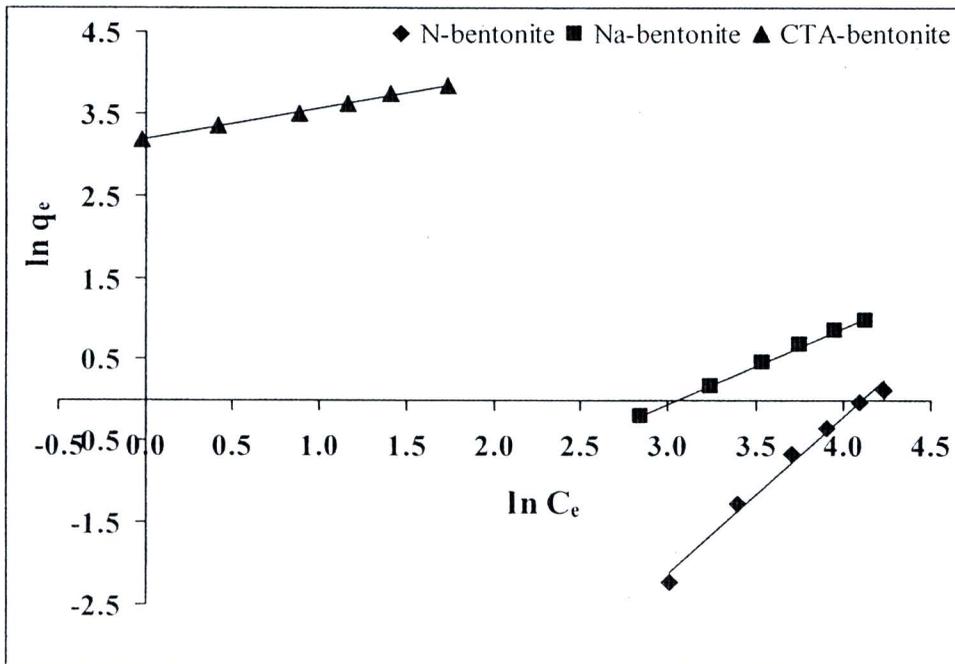
## 2. Freundilch isotherm ของการดูดซับ



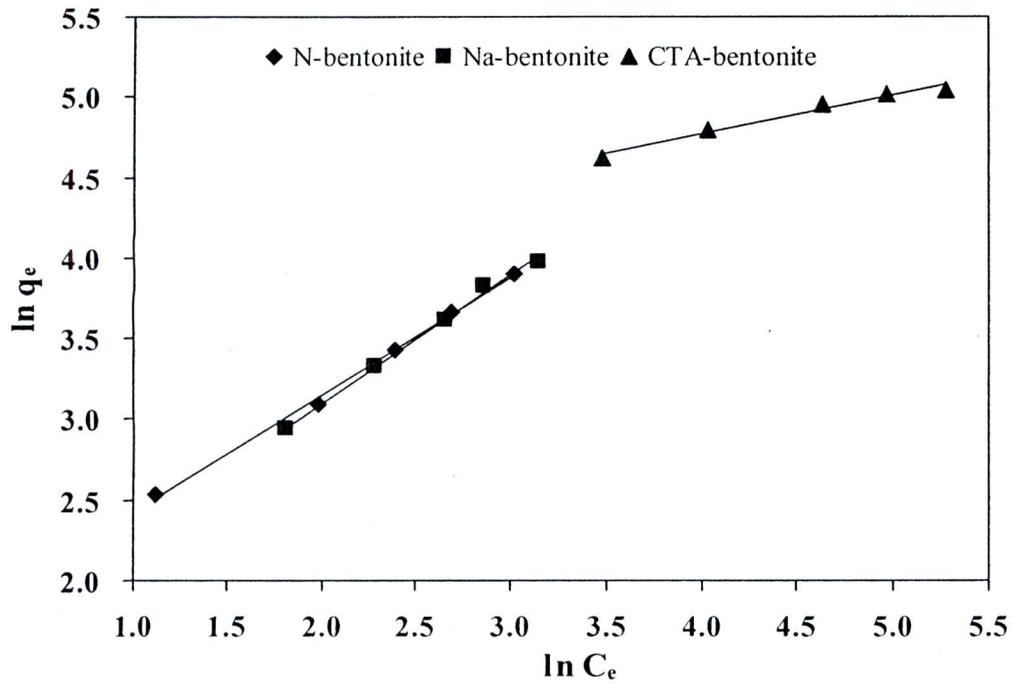
รูปที่ ข-5 Freundilch isotherm ของการดูดซับตะกั่วโดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมมูลต่างๆ pH 5.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 4 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 2 ชั่วโมง)



รูปที่ ข-6 Freundlich isotherm ของการดูดซับสังกะสีโดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมดุลต่างๆ pH 5.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 4 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 2 ชั่วโมง)



รูปที่ ข-7 Freundlich isotherm ของการดูดซับสี Black MLD โดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมดุล pH 4.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 3 ชั่วโมง)



รูปที่ ข-8 Freundlich isotherm ของการดูดซับสี Congo Red โดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้น  
 สมดุลต่างๆ pH 7.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 3 ชั่วโมง)



ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค-1 องค์ประกอบทางเคมีของแร่มอนท์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) และแร่เบนทอไนท์  
ธรรมชาติ (N-Bentonite) จากแหล่งต่างๆ

Component	Montmorillonite (%wt) (Wang and Wang, 2008)	N-Bentonite (%wt) (Bulut <i>et al.</i> , 2008b)	N-Bentonite (%wt) (Donat <i>et al.</i> , 2005)	N-Bentonite (%wt) (Öscan and Öscan, 2004)
SiO <sub>2</sub>	61.92	63.20	60.53	70.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.84	-	15.21	16.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.36	3.00	4.31	0.70
Na <sub>2</sub> O	2.60	2.00	3.57	0.11
MgO	1.65	2.40	2.17	1.25
CaO	1.55	2.10	4.11	1.62
TiO <sub>2</sub>	1.21	-	-	0.18
K <sub>2</sub> O	0.50	1.30	0.75	2.12
SO <sub>2</sub>	0.10	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	-	-	-
MnO	0.02	-	-	-
Loss of ignition	Nd	9.70	8.59	6.63

Nd = not determined

