# เอกสารอ้างอิง


กรมทรัพยากรธรณี. 2550. เบนทอไนท์ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.dmr.go.th/new/ewt_news [10 มีนาคม 2552].

กิตติโรจน์ หวันดาหลา, ชยาภาส ทับทอง และ สินศุภา จุ้ยจุลเจิม. 2550. การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่าน กัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 10, 2 (ม.ค.-เม.ย. 2550) : 104-116.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2546. ของเสียอันตราย. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี.

ชาญ จรรยาวนิชย์. 2534. เบนทอไนท์ เทคโนโลยี การผลิต และการทดสอบ. กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี.

บุญชัย ตระกูลมหาชัย. 2544. ตัวดูดซับ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

พิสมัย เจนวานิชปัญจกุล. 2527. ผงสี. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 11 (พฤศจิกายน 2527):605-618.

พูลเพชร ธงไชย. 2541. การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้แผ่นเยื่อกรอง. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภาณุวัตร์ จิตพุทธิ. 2543. การกำจัดโลหะโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว.วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

รัตนา สนั่นเมือง. 2550. คุณสมบัติกายภาพและการดูดซับสีย้อมชนิดรีแอกทีฟของถ่านและถ่านกัมมันต์เตรียมจากเปลือกมังคุดและเม็ดมะขาม. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, 15: 9-16.

รัชนีย์ รุกขชาติ. 2544. การกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รัชนีย์ รุกขชาติ. 2545ก. สีย้อมและการบำบัดสีในน้ำทิ้ง (ออนไลน์). สืบค้นได้จาก:http://www.navy.mi.th/science/ phpinfo/index.php [1 กันยายน 2551].

รัชนีย์ 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 [30 กันยายน 2551].

วิชัย สังวรปทานสกุล. 2548. เบนทอไนท์ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.thaiengineering.com/webboardold/question.asp?QID=15546 [10 มีนาคม 2552].

วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2543. อุตสาหกรรมสิ่งทอไทย.พิมพ์ครั้งที่2, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. ระบบบำบัดน้ำเสีย. สำนักพิมพ์ท้อป, กรุงเทพมหานคร.

สินีนาฏ ทิพย์ดนตรี. 2543. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพิมพ์กล่องกระดาษ. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะกาจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุจินต์ พราวพันธุ์. 2540. การศึกษาวิจัยวิธีการวิเคราะห์เพื่อวินิจฉัยดินเบนทอไนท์. นักวิทยาศาสตร์ 6 ว. ฝ่ายวิเคราะห์และทดสอบ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกซ์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

สุมาลี เหลืองสกุล และ ธนวรรณ 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. Boresource 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 solutionb 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)

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

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)

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

เมื่อ $C_o$ = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว (mg/L)

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

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

สูตรการคำนวณค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)

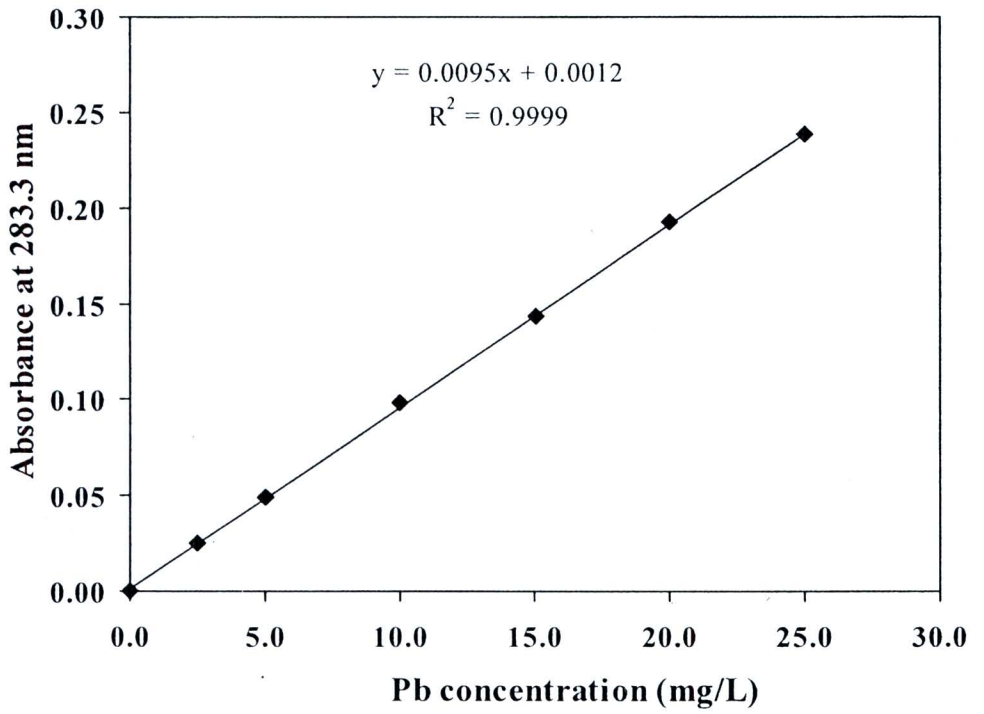
1) Total solution (mL) [assumes 1 mL weights 1 g] = final flask weight (g) – flask tare weight (g) – 2 g [weight of soil used]

2) Mg in solution, not on CEC (meq) = total solution (mLs) × 0.003 (meq/mL) [1.5 mM $MgSO_4$ has 0.003 meq/mL]

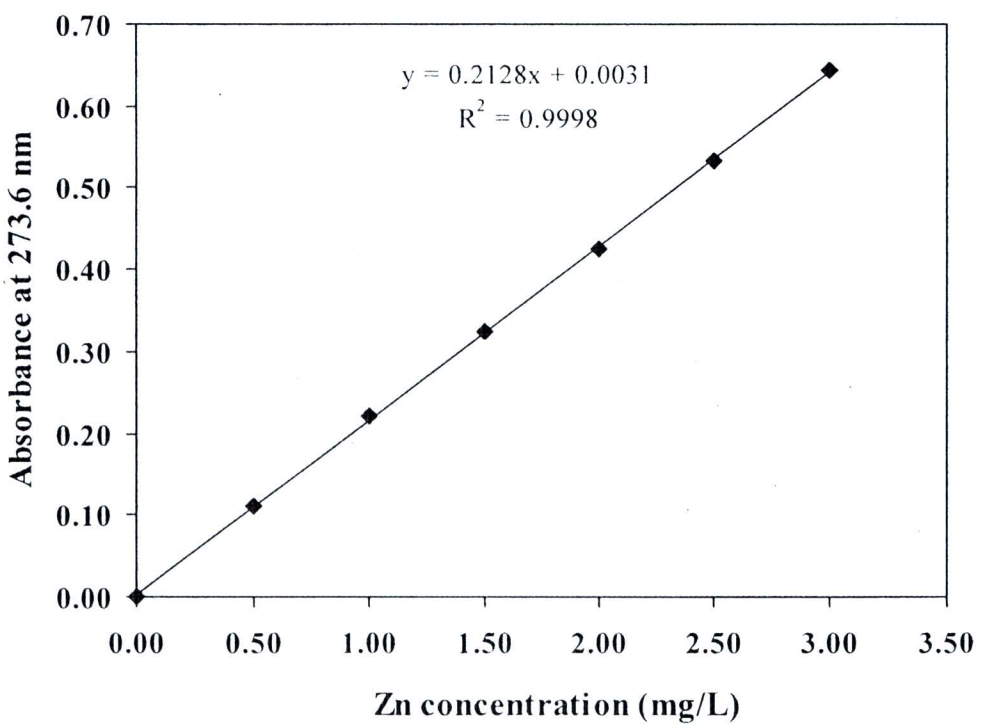
3) Total Mg added (meq) = 0.1 meq [meq in 10 mLs of 5 mM $MgSO_4$] + meq added in 0.1 M $MgSO_4$ [mLs of 0.1 M $MgSO_4$ × 0.2 meq/mL (0.1 M $MgSO_4$ has 0.2 meq/mL)

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

**3. กราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่วและสังกะสี วิเคราะห์โดยวิธี FAAS**

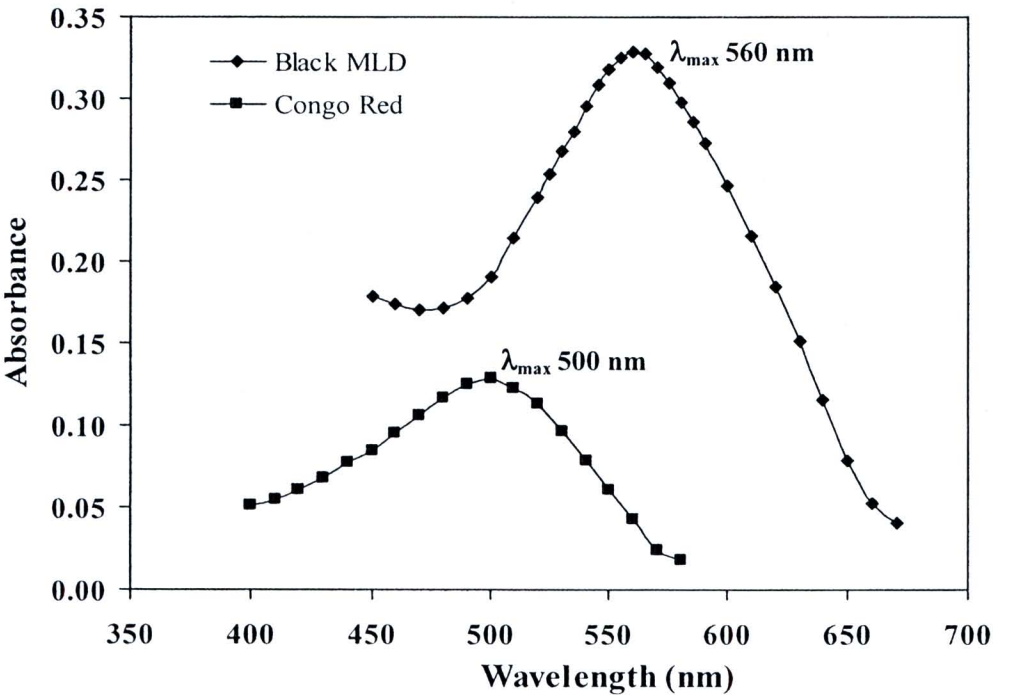



**รูปที่ ก-1** ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 283.3 nm ของสารละลายตะกั่วมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ



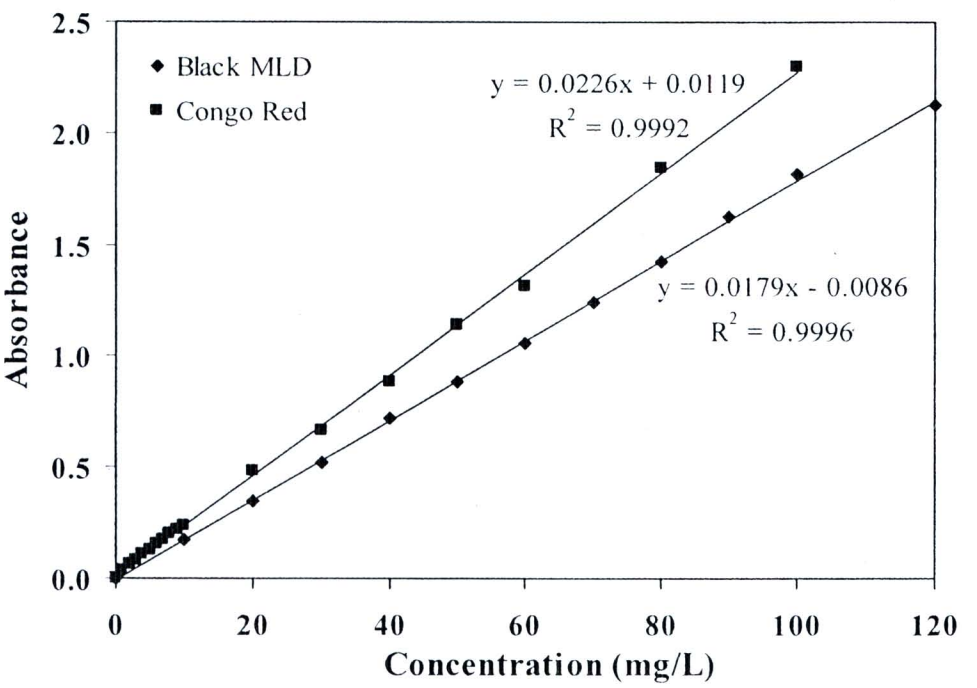

**รูปที่ ก-2** ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 273.6 nm ของสารละลายสังกะสีมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ

## 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

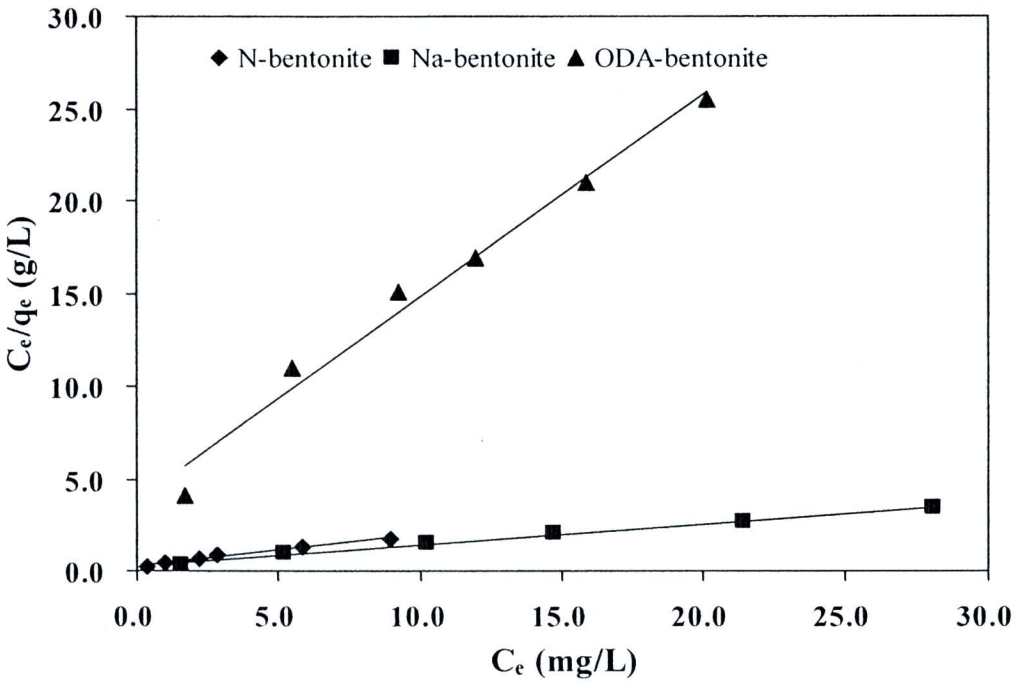



**รูปที่ ก-42** ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน Black MLD ($\lambda$ 560 nm) และ Congo Red ($\lambda$ 500 nm) ที่ความเข้มข้นต่างๆ

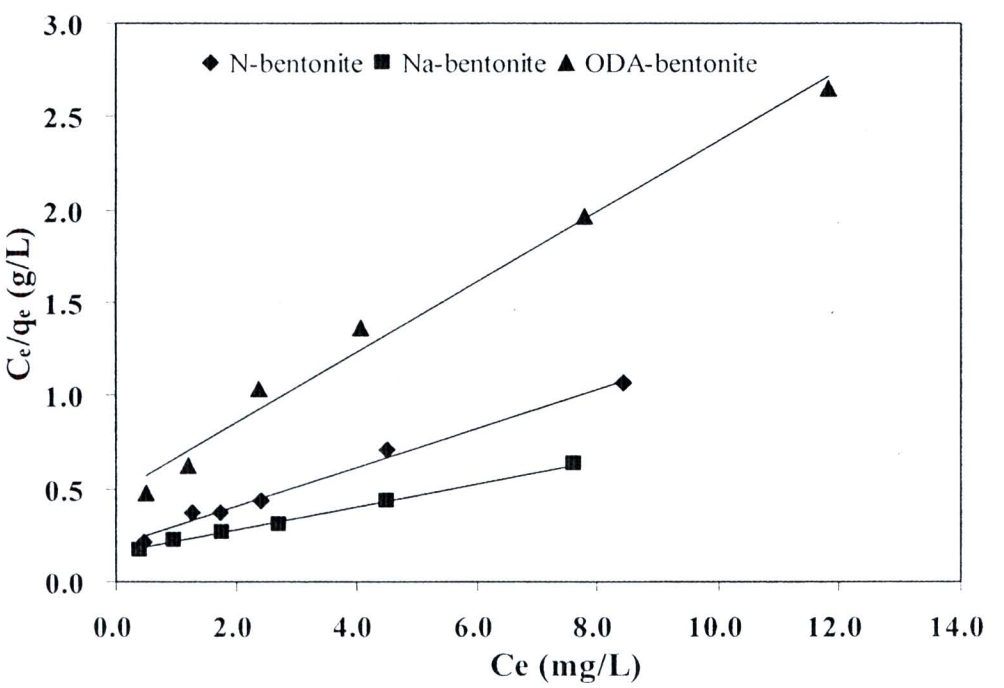
# ภาคผนวก ข

# ไอโซเทอร์มของการดูดซับโลหะและสี

## 1. Langmuir isotherm ของการดูดซับ

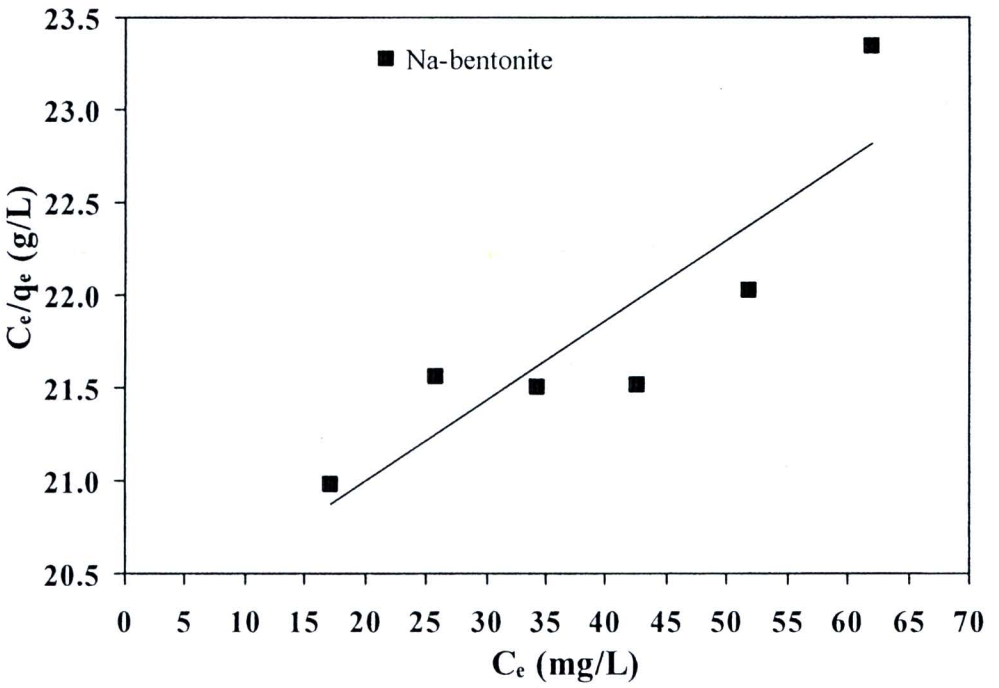



**รูปที่ ข-1** Langmuir isotherm ของการดูดซับตะกั่วโดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมดุลต่างๆ pH 5.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 4 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 2 ชั่วโมง)

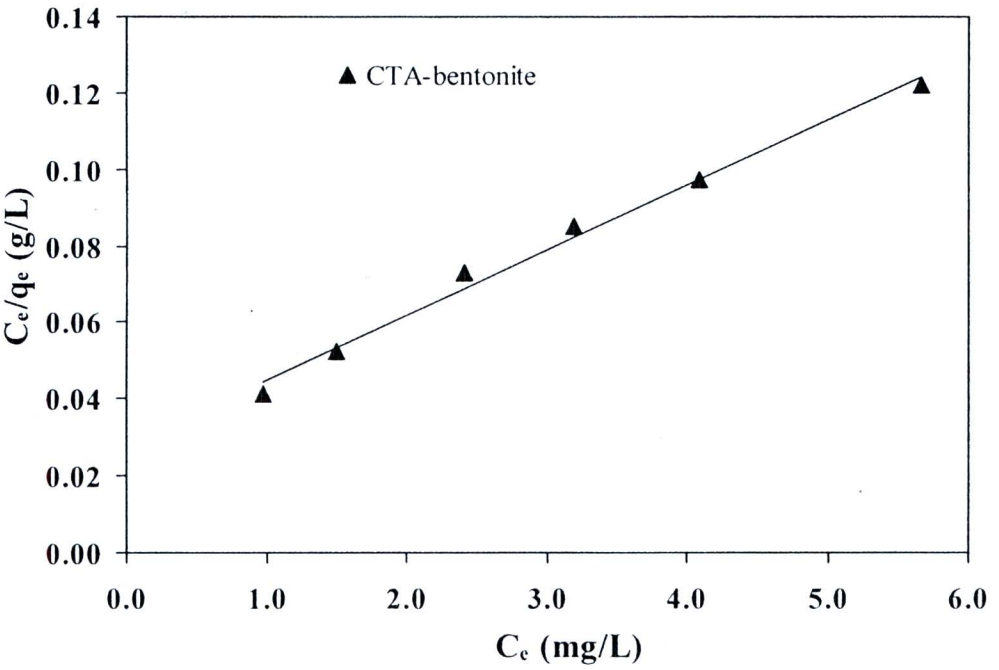



**รูปที่ ข-2** Langmuir isotherm ของการดูดซับสังกะสีโดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมดุลต่างๆ pH 5.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 4 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 2 ชั่วโมง)

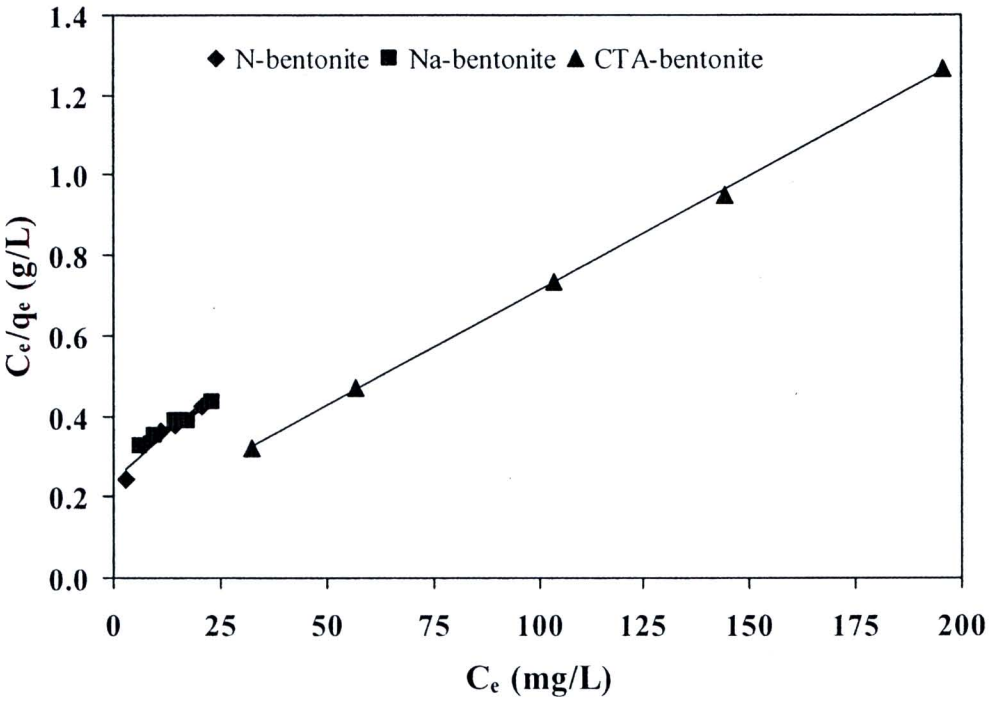
(ก)




(ข)

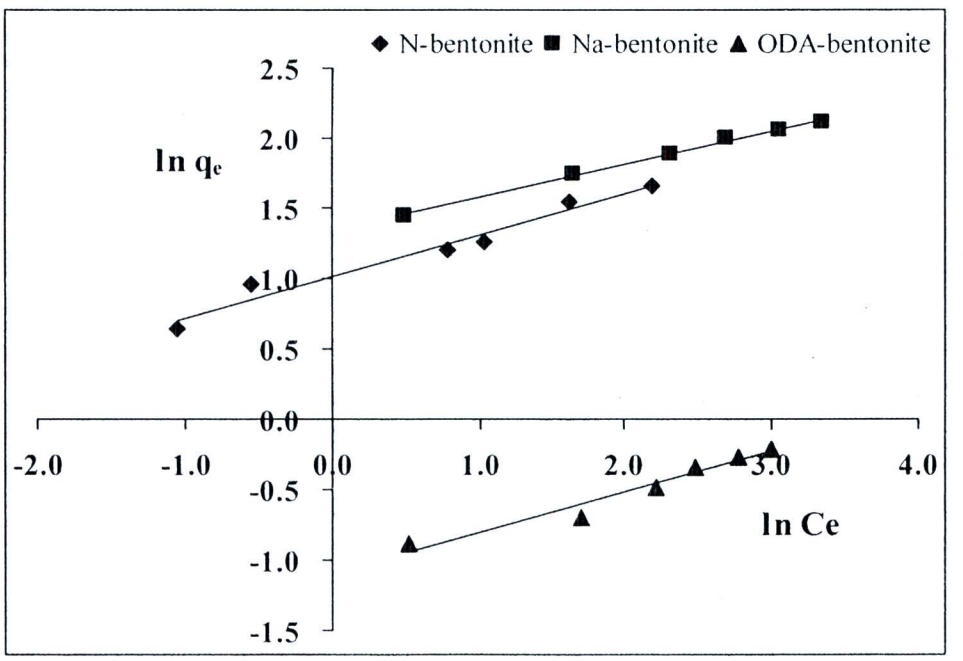



**รูปที่ ข-3** Langmuir isotherm ของการดูดซับสี Black MLD โดย Na-bentonite (ก) และ CTA-bentonite (ข) ที่ความเข้มข้นสมดุลต่างๆ pH 4.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 3ชั่วโมง)

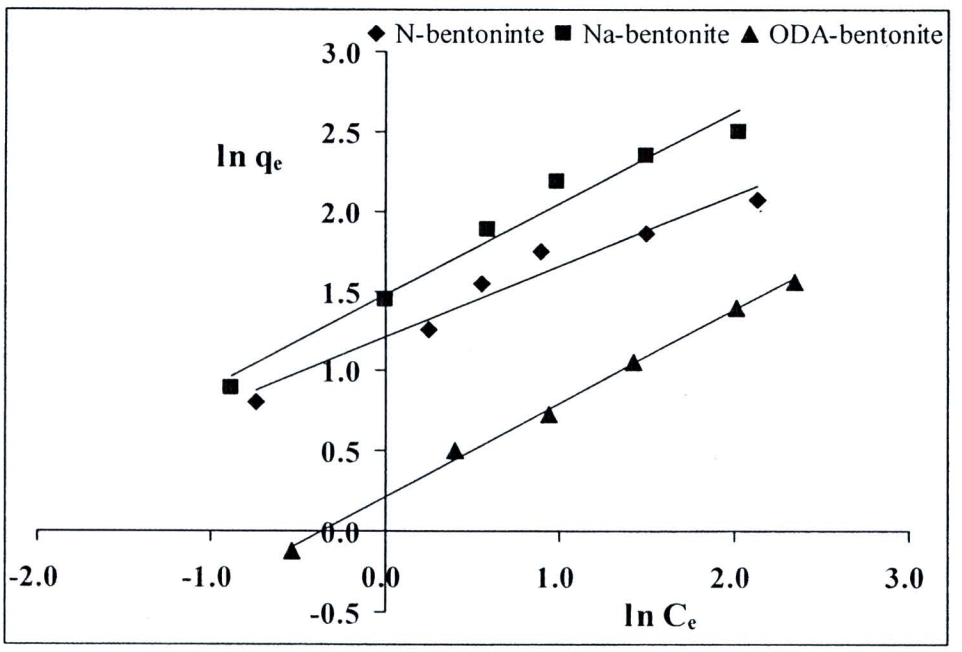



**รูปที่ ข-4** Langmuir isotherm ของการดูดซับสี Congo Red โดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมดุลต่างๆ pH 7.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 3 ชั่วโมง)

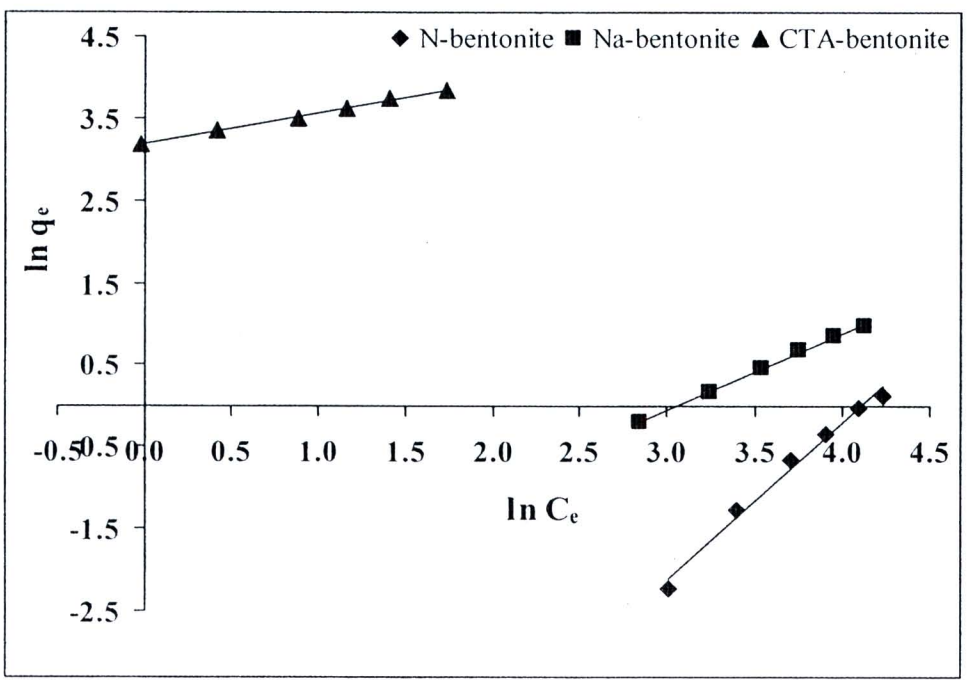
## 2. Freundilch isotherm ของการดูดซับ



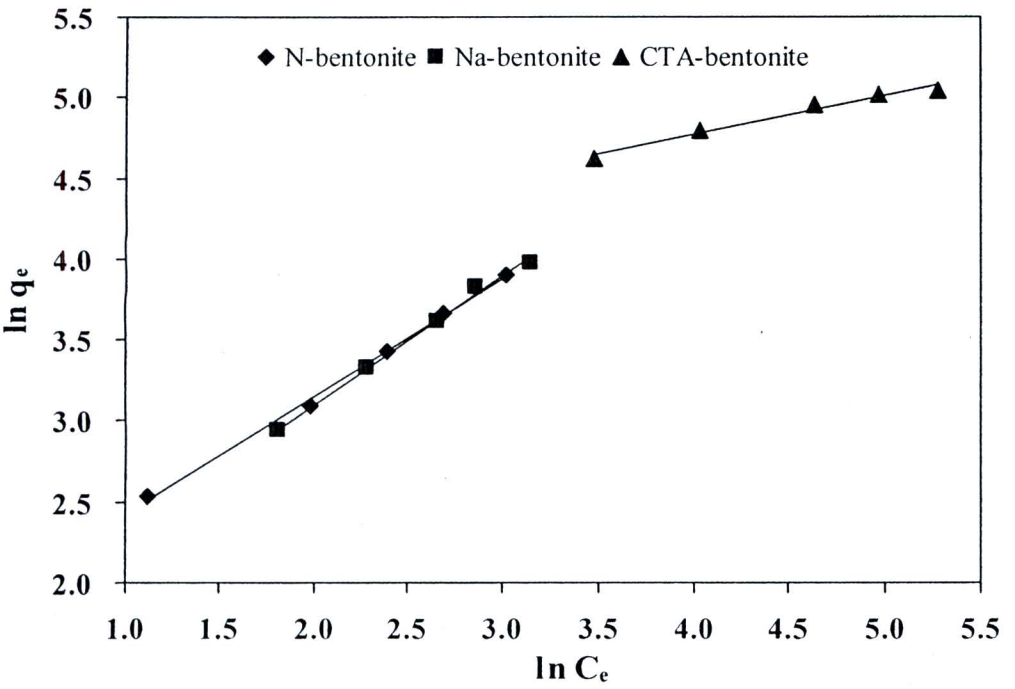

**รูปที่ ข-5** Freundilch isotherm ของการดูดซับตะกั่วโดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมดุลต่างๆ pH 5.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 4 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 2 ชั่วโมง)




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




**รูปที่ ข-7** Freundilch isotherm ของการดูดซับสี Black MLDโดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมดุล pH 4.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 3 ชั่วโมง)




**รูปที่ ข-8** Freundilch isotherm ของการดูดซับสี Congo Red โดยตัวอย่างเบนทอไนท์ที่ความเข้มข้นสมดุลต่างๆ pH 7.0 (ปริมาณเบนทอไนท์ 2 g/L เขย่าที่ 250 rpm, 3 ชั่วโมง)

# ภาคผนวก ค

**ตารางที่ ค-1** องค์ประกอบทางเคมีของแร่มอนท์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) และแร่เบนทอไนท์ธรรมชาติ (N-Bentonite) จากแหล่งต่าง ๆ

| Component | Montmorillonite (%wt) (Wang and Wang, 2008) | N-Bentonite (%wt) (Bulut *et al.*, 2008b) | N-Bentonite (%wt) (Donat *et al.*, 2005) | N-Bentonite (%wt) (Öscan and Öscan, 2004) |
|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 61.92 | 63.20 | 60.53 | 70.80 |
| $Al_2O_3$ | 20.84 | - | 15.21 | 16.20 |
| $Fe_2O_3$ | 9.36 | 3.00 | 4.31 | 0.70 |
| $Na_2O$ | 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 |
| $TiO_2$ | 1.21 | - | - | 0.18 |
| $K_2O$ | 0.50 | 1.30 | 0.75 | 2.12 |
| $SO_2$ | 0.10 | - | - | - |
| $P_2O_5$ | 0.08 | - | - | - |
| MnO | 0.02 | - | - | - |
| Loss of ignition | Nd | 9.70 | 8.59 | 6.63 |

Nd = not determined