

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กนกกาญจน์ อนุสาร และศรีอำพร กิตติพลารักษ์. การศึกษาคุณลักษณะของซีโอไลต์ฟิลิปไซต์ที่สังเคราะห์ได้จากขี้เถ้าขานอ้อย. ปรินูญานินพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. มาตรฐานคุณภาพอากาศและเสียง. [ออนไลน์] 2553. [สืบค้นวันที่ 9 เมษายน 2554]. จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd02.html

กลุ่มพัฒนาการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม ศอ.4. Healty Promotion and Environmental Health Development. [ออนไลน์][ม.ป.ป.][สืบค้นวันที่ 9 เมษายน 2554]. จาก <http://hpe4.anamai.moph.go.th/hia/nox.php>

จิระวัฒน์ พันธนิษฐ์. การสังเคราะห์ซีโอไลต์ SUZ-4 จากเถ้าแกลบ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.

จุฑามาศ อินตะศรี. การสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดบีต้าจากเถ้าลอยของขานอ้อย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.

ตะวัน สุน้อย. ซีโอไลต์และสารมีรุกรุนที่เกี่ยวข้อง. (เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 05103253 ชื่อวิชาซีโอไลต์และสารมีรุกรุนที่เกี่ยวข้อง). กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.

นพภาพร พานิช และคณะ. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

พงษ์ธร แซ่ฮุย, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. การใช้ซิลิกาเป็นสารเติมแต่งในยาง.

[ออนไลน์][ม.ป.ป.][สืบค้นวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2554]. จาก

<http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/Silica.pdf>

วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอด. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ :

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

วันเพ็ญ วิโรจนกุญ และคณะ, ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย. การผลิต

ผลิตภัณฑ์ชีวเคมีที่ใช้ย่อยเป็นวัตถุดิบต้นน้ำ. ขอนแก่น : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2550.

ศักดิ์นันท์ นันตัง. การขจัดกำมะถันอินทรีย์ในเชื้อเพลิงเหลวในการดูดซับบนซีโอไลต์ที่แลกเปลี่ยน

ไอออนโลหะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชา

เคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ภาษาอังกฤษ

Affandi, S., et al. "A facile method for production of high-purity silica xerogels from bagasse ash." **Advanced Powder Technology**. 20 (2009) : 468-472.

Ardelean, I., Cora, S. and Rusu, D. "EPR and FT-IR spectroscopic studies of Bi₂O₃-B₂O₃-CuO glasses." **Physica B**. 403 (2008) : 3682-3685.

Asensi, M. A., Cambor, M. A. and Martinez, A. "Zeolite SUZ-4: reproducible synthesis, physicochemical characterization and catalytic evaluation for the skeletal isomerisation of n-butenes." **Microporous and Mesoporous Materials**. 28 (1999) : 427-436.

Bayati, B., Babaluo, A. A. and Karimi, R. "Hydrothermal synthesis of nanostructure NaA zeolite: The effect of synthesis parameters on zeolite seed size and crystallinity." **Journal of the European Ceramic Society**. 28 (2008) : 2653-2657.

Bhattacharyya, S. and Das, R. K. "Catalytic reduction of NO_x in gasoline engine exhaust over copper and nickel-exchanged X-zeolite catalysts." **Energy Conversion and Management**. 42 (2001) : 2019-2027.

- Bordiga, S., et al. "Interaction of N₂, CO and NO with Cu-exchanged ETS-10: a compared FTIR study with other Cu-zeolites and with dispersed Cu₂O." **Catalysis Today**. 70 (2001) : 91-105.
- Capek, L., Dedecek, P. and Wichterlova, B. "The decisive role of the distribution of Al in the framework of beta zeolites on the structure and activity of Co ion species in propane-SCR-NO_x in the presence of water vapour." **Journal of Catalysis**. 272 (2010) : 44-54.
- Chareonpanich, M., Jullaphan, O. and Tang, C. "Bench-scale synthesis of zeolite A from subbituminous coal ashes with high crystalline silica content." **Journal of Cleaner Production**. 19 (2011) : 58-63.
- Cohen, C. A., et al. "Respiratory Symptoms, Spirometry, and Oxidant Air Pollution in Non-smoking Adults." **ANN. Rev. Resp. Dis.** 105 (1972) : 251-256.
- Cordeiro, G. C., Toledo, R. D. and Fairbairn, E. M. R. "Effect of calcinations temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash." **Construction and Building Materials**. 23 (2009) : 3301-3303.
- Costas, N. C., et al. "Industrial H₂-SCR of NO on a novel Pt/MgO-CeO₂ catalyst." **Applied Catalysis B: Environmental**. 75 (2007) : 147-156.
- Datka, J., Kukulska-Zajac, E. and Kobyzewa, W. "The activation of acetylene by Cu⁺ ions in zeolites studies by IR spectroscopy." **Catalysis Today**. 101 (2005) : 123-129.
- Feldman, Y. C. "The Combined Action of a Human Body of a Mixture of the Main Components of Motor Traffic Exhaust Gases (Carbon Monoxide, Nitrogen Dioxide, Formaldehyde and Hexane)." **Gig. I. Sanit.** 10 (1974) : 7-10.
- Garin, F. "Mechanism of NO_x decomposition." **Applied Catalysis A: General**. 222 (2001) : 183-219.
- Grayson, R. R. "Silago Gas Poisoning: Nitrogen Dioxide Pneumonia, a New Disease in Agricultural Workers." **Ann. Intern. Med.** 45 (1956) : 393-408.

- Gujar, A. C. and Price, G. L. "Synthesis of SUZ-4 in the K^+/TEA^+ system." **Microporous and Mesoporous Materials**. 54 (2002) : 201-205.
- Gujar, A. C., et al. "Raman investigation of the SUZ-4 zeolite." **Microporous and Mesoporous Materials**. 78 (2005) : 131-137.
- Hamdan, H., et al. "Si MAS NMR, XRD and FESEM studies of rice husk silica for the synthesis of zeolite." **Non-Crystalline Solids**. 211 (1997) : 126-131.
- Henschler, D., et al. "Olfactory Threshold of Some Important Irritant Gases and Effects in Man at Low Concentrations." **Arch. Gewerbepathol. Gewerbehyg.** 17 (1960) : 547-570.
- Iwasaki, M. and Shinjoh, H. "NO evolution reaction with NO_2 adsorption over Fe/ZSM-5: In situ FT-IR observation and relationships with Fe sites." **Journal of Catalysis**. 273 (2010) : 29-38.
- Jing, Z. "Preparation and magnetic properties of fibrous gamma iron oxide nanoparticles via a nanoaqueous medium." **Materials Letters**. 60 (2006) : 2217-2221.
- Kim, T. W., et al. "Surface properties and reactivity of Cu/g- Al_2O_3 catalysts for NO reduction by C_3H_6 Influences of calcination temperatures and additives." **Applied Catalysis A: General**. 210 (2001) : 35-44.
- Lawton, S. L., et al. "Synthesis and proposed framework topology of zeolite SUZ-4." **J. Chem. Soc., Chem. Commun.** 11 (1993) : 894-896.
- Lisi, L., et al. "Cu-ZSM5 based monolith reactors for NO decomposition." **Chemical Engineering Journal**. 154 (2009) : 341-347.
- Liu, P., et al. "Pt catalysts supported on b zeolite ion-exchanged with Cr(III) for hydroisomerization of n-heptane." **Applied Catalysis A: General**. 371 (2009) : 142-147.
- Lukyanov, D. B., et al. "On the Structural, Acidic and Catalytic Properties of Zeolite SUZ-4." **J. Phys. Chem. B**. 103 (1999) : 197-202.

- Machida, M., et al. "A dual-bed lean deNO_x catalyst system consisting of NO–H₂–O₂ reaction and subsequent N₂O decomposition." **Catalysis Communications**. 3 (2002) : 233–238.
- Madejova, J., Arvaiova, B. and Komade, P. "FT-IR spectroscopic characterization of thermally treated Cu²⁺, Cd²⁺, and Li⁺ montmorillonites." **Spectrochimica Acta part**. 55 (1999) : 2467-2476.
- Miller, D. D. and Chaung, S. S. C. "In situ infrared study of NO reduction over Pd/Al₂O₃ and Ag-Pd/Al₂O₃ catalysts under H₂-rich and lean-burn conditions." **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**. 40 (2009) : 613–621.
- Mosca, A., et al. "NO₂ and N₂ sorption in MFI films with varying Si/Al and Na/Al ratios." **Microporous and Mesoporous Materials**. 120 (2009) : 195-205.
- Nagase, T., et al. "An effect of the seed species on the PV performance of the secondary synthesized MER zeolite membranes." **Microporous and Mesoporous Materials**. 126 (2009) : 107-114.
- Nakatsuji, T., et al. "A selective NO_x reduction on Rh-based catalysts in lean conditions using CO as a main reductant." **Applied Catalysis B: Environmental**. 85 (2008) : 61-70.
- Orcek, J., et al. "Effect of Short-term, Low-level Nitrogen Dioxide Exposure on Bronchial Sensitivity of Asthmatic Patients." **Clin Invest**. 57 (1976) : 301-307.
- Palomares, A. E., et al. "On the researching of a new zeolite structure for the selective catalytic reduction of NO The possibilities of Cu-exchanged IM5." **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**. 162 (2000) : 175-189.
- Park, S. M., et al. "H₂-SCR of NO on Pt-MnO_x Catalysts: Reaction path via NH₃ formation." **Applied Catalysis A: General**. 395 (2011) : 120-128.
- Pieterse, J. A. Z. and Booneveld, S. "Catalytic reduction of NO_x with H₂/CO/CH₄ over Pd/MOR catalysts." **Applied Catalysis B: Environmental**. 73 (2007) : 327–335.

Price, G. L. **TU Chemical Engineering Zeolite page**. [serial online][n.d.][cited 2011 Apr 9].

Available from : URL : <http://www.personal.utulsa.edu/~geoffrey-price/zeolite/>

Rivallan, M., et al. "Adsorption and reactivity of nitrogen oxides (NO₂, NO, N₂O) on Fe-zeolite."

Journal of Catalysis. 264 (2009) : 104-116.

Salamberid, O. P. "Reflex Ac tion of a Mixture of Sulfur Dioxide and Nitrogen Dioxide." **Gig.**

L. Sanit. 7 (1967) : 9-13.

Sazama, P., et al. "Enhancement of decane-SCR-NO_x over Ag/alumina by hydrogen. Reaction

kinetics and in situ FTIR and UV-vis study." **Journal of Catalysis**. 232 (2005) : 302-317.

Schott, F. J. P., et al. "Reduction of NO_x by H₂ on Pt/WO₃/ZrO₃ catalysts in oxygen-rich

exhaust." **Applied Catalysis B: Environmental**. 87 (2009) : 18-29.

Shichi, A., Satsuma, A. and Hattori, T. "Influence of geometry-limited diffusion on the selective

catalytic reduction of NO by hydrocarbons over Cu-exchanged zeolite." **Applied**

Catalysis B: Environmental. 30 (2001) : 25-33.

Skofteland, B. M., Ellestad, O. H. and Lillerud, K. P. "Potassium merlinoite: crystallization,

structural and thermal properties." **Microporous and Mesoporous Materials**. 43 (2001) : 61-71.

Stathopoulos, V. N., et al. "Comparative study of La-Sr-Fe-O perovskite-type oxides prepared by

ceramic and surfactant methods over the CH₄ and H₂ lean-deNO_x." **Applied Catalysis**

B: Environmental. 93 (2009) : 1-11.

Strohmaier, K. G., Afeworki, M. and Dorset, D. L. "The crystal structures of polymorphic SUZ-

4." **Z. Kristallogr**. 221 (2006) : 689-698.

Subbiah, A., et al. "NO_x reduction over metal-ion exchanged novel zeolite under lean conditions:

activity and hydrothermal stability." **Applied Catalysis B: Environmental**. 42 (2003) : 155-178.

- Suzuki, T. and Ishikawa, K. "A Study on the Effect of Smog on Man." **Science and Technology Agency**. 2 (1965) : 99-121.
- Torre-Abreu, C., et al. "Selective catalytic reduction of NO on copper-exchanged zeolites: the role of the structure of the zeolite in the nature of copper-active sites." **Catalysis Today**. 54 (1999) : 407-418.
- Umeda, J. and Kondoh, K. "High-purification of amorphous silica originated from rice husks by combination of polysaccharide hydrolysis and metallic impurities removal." **Industrial Crops and Products**. 32 (2010) : 539-544.
- US. Environmental Protection Agency. **Scientific and Technical Data Base for Criteria and Hazardous Pollutants**. (1975) : 192-194.
- Valverde, J. L., et al. "Study by in situ FTIR of the SCR of NO by propene on Cu²⁺ ionexchanged Ti-PILC." **Jornal of Molecular Catalysis A: Chemical**. 230 (2005) : 23-28.
- Wen, B. "NO reduction with H₂ in the presence of excess O₂ over Pd/MFI catalyst." **Fuel**. 81 (2002) : 1841-1846.
- Worathanakul, P. **Novel synthesis of nanostructured materials: SiO₂-TiO₂, SiO₂-Al₂O₃ and SUZ-4 zeolite for environmental applications**. Ph.D.Dissertation, Faculty of Chemical Engineering, Kasetsart University, 2008.
- Wu P., et al. "Study on Pt/Al-MCM-41 for NO selective reduction by hydrogen." **Catalysis Today**. (2010).
- Yu, Q., et al. "The promotional effect of Cr on catalytic activity of Pt/ZSM-35 for H₂-SCR in excess oxygen." **Catalysis Communications**. 11 (2010) : 955-959.
- Zhang, R., et al. "Catalytic reduction of NO by CO over Cu/Ce_xZr_{1-x}O₂ prepared by frame synthesis." **Journal of Catalysis**. 272 (2010) : 210-219.
- Zhuravlev, L. T. "The surface chemistry of amorphous silica. Zhuravlev model." **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. 173 (2000) : 1-38.

ภาคผนวก ก

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำเถ้าขาน้อย

ตารางที่ ก-1 องค์ประกอบทางเคมีของจีไถ่ชานอ้อย

สารประกอบ	เปอร์เซ็นต์ประกอบโดยน้ำหนัก		
	จีไถ่ชานอ้อย	ซิลิกาที่เตรียม	ซิลิกาที่เตรียม
	จากโรงงาน	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2
SiO ₂	76.19	92.64	96.09
K ₂ O	4.65	2.07	0.77
Fe ₂ O ₃	7.31	2.34	0.13
CaO	6.78	1.24	0
Al ₂ O ₃	1.76	0.81	2.98
TiO ₂	0.8	0.61	0
Mn ₂ O ₃	0.64	0.15	0
ZrO ₂	0.06	0.04	0
SO ₃	0.1	0.08	0
ZnO	0.04	0	0
P ₂ O ₅	1.65	0	0
ZnO ₂	0	0	0.03

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 จากขี้เถ้าขานอ้อย

ตารางที่ ข-1 สูตรโมเลกุล ความบริสุทธิ์ และน้ำหนักโมเลกุลของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4

สารตั้งต้น	สูตรโครงสร้าง	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	น้ำหนักโมเลกุล
สารกำหนดโครงสร้าง (TEAOH)	$(C_2H_5)_4NOH$	35	147.26
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	KOH	85	56.11
อะลูมินัม	Al	93	26.98
ซิลิกาโซล	SiO_2	40	60.08

ตัวอย่างการคำนวณการสังเคราะห์ SUZ-4 ที่ BA:silics sol เท่ากับ 25:75 โดยใช้จีเถ้าชานอ้อยที่เตรียมด้วยวิธีที่ 2

สัดส่วนโมลที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ $21.22SiO_2$: Al_2O_3 : 7.9KOH: 2.6TEAOH: $498.6H_2O$

1. การคำนวณอัตราส่วนของซิลิกาจากจีเถ้าชานอ้อย : ซิลิกาโซล (BA:silica sol) ที่ใช้ในการเตรียมสารประกอบเจล

เงื่อนไข ซิลิกาทั้งหมด 12 กรัม

ซิลิกาจากจีเถ้าชานอ้อย $0.25 \times 12 = 3$ กรัม

ซิลิกาโซล $0.75 \times 12 = 9$ กรัม

ซิลิกาที่สกัดจากจีเถ้าชานอ้อยวิธีที่ 2 มีซิลิกาบริสุทธิ์ 96.09 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก เพราะฉะนั้นต้องใช้จีเถ้าที่สกัดได้ทั้งหมด $3/0.9609 = 3.12$ กรัม (ในจีเถ้าที่สกัดได้มีอะลูมินา 2.98 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ถ้าในจีเถ้า 3.12 กรัม มีอะลูมินา $(Al_2O_3) = (3.12 \times 0.0298)/101.96 = 9.1189 \times 10^{-4}$ กรัมโมล)

ซิลิกาจากสารเคมี (Ludox AS-40) มีความบริสุทธิ์ 40 เปอร์เซนต์ เพราะฉะนั้นต้องใช้ Ludox AS-40 $9/0.4 = 22.5$ กรัม (ใน Ludox AS-40 22.5 กรัม มีน้ำอยู่ $22.5 \times 0.6 = 13.5$ กรัม)

2. การคำนวณปริมาณสารกำหนดโครงสร้าง (TEAOH) ที่ใช้ในการเตรียมสารประกอบเจล

เงื่อนไข ซิลิกาทั้งหมด 12 กรัม

กำหนดให้สารกำหนดโครงสร้าง (TEAOH) ที่ต้องใช้เท่ากับ X กรัมโมล

ซิลิกา 12 กรัม คิดเป็น $12/60.08 = 0.2$ กรัมโมล จากสัดส่วนโมลของซิลิกาต่อสารกำหนดโครงสร้างเท่ากับ $21.22/2.6$ สามารถคำนวณปริมาณสารกำหนดโครงสร้างที่ใช้ได้ดังนี้

ซิลิกา	21.22	กรัมโมล ใช้สารกำหนดโครงสร้าง	2.6	กรัมโมล
ถ้าต้องการใช้ซิลิกา	0.2	กรัมโมล ใช้สารกำหนดโครงสร้าง	X	กรัมโมล

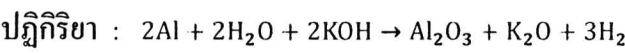
คำนวณ $X = 0.2/21.22 \times 2.6 = 0.0245$ กรัมโมล

เนื่องจากสารกำหนดโครงสร้าง (TEAOH) บริสุทธิ์ 35 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักโมเลกุล 147.26 กรัม

ดังนั้นต้องใช้สารกำหนดโครงสร้าง (TEAOH) บริสุทธิ์ 35 เปอร์เซ็นต์เท่ากับ $(0.0245 \times 147.26)/0.35 = 10.31$ กรัม

(สารกำหนดโครงสร้าง (TEAOH) บริสุทธิ์ 35 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำ 65 เปอร์เซ็นต์ ถ้าสารกำหนดโครงสร้าง (TEAOH) 10.31 กรัม จะมีน้ำ 10.31×0.65 เท่ากับ 6.7 กรัม)

3. ตัวอย่างการคำนวณปริมาณอะลูมินัมที่ใช้เตรียมสารประกอบอะลูมินา



เงื่อนไข ซิลิกาทั้งหมด 12 กรัม (0.2 กรัมโมล)

กำหนดให้อะลูมินา (Al_2O_3) ที่ต้องใช้เท่ากับ X กรัมโมล

จากสัดส่วนโมลของซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ $21.22/1$ สามารถคำนวณปริมาณอะลูมินา (Al_2O_3) ที่ใช้ได้ดังนี้

ซิลิกา	21.22	กรัมโมล ใช้อะลูมินา	1	กรัมโมล
ถ้าต้องการใช้ซิลิกา	0.2	กรัมโมล ใช้อะลูมินา	X	กรัมโมล

คำนวณ $X = (1/21.22) \times 0.2 = 9.4251 \times 10^{-3}$ กรัมโมล

มี Al_2O_3 จากชี้ได้แล้ว 9.1189×10^{-4} กรัมโมล เพราะฉะนั้นต้องการ Al_2O_3 อีก $(9.4251 \times 10^{-3}) - (9.1189 \times 10^{-4}) = 8.5131 \times 10^{-3}$ กรัมโมล

จากสมการในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมอะลูมิเนตต้องใช้ผงอะลูมินัม (Al) 2 กรัมโมลในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ อะลูมินา (Al_2O_3) 1 กรัมโมล จึงต้องใช้ผงอะลูมินัม (Al) เท่ากับ $8.5131 \times 10^{-3} \times 2 = 0.017$ กรัมโมล

เนื่องจากผงอะลูมินัม (Al) บริสุทธิ์ 93 เปอร์เซ็นต์และมีน้ำหนักโมเลกุล 26.98 กรัม ดังนั้นต้องใช้ผงอะลูมินัม (Al) เท่ากับ $(0.017 \times 26.98) / 0.93 = 0.4939$ กรัม

4. ตัวอย่างการคำนวณปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์

เงื่อนไข ชิลิกาทั้งหมด 12 กรัม (0.2 กรัมโมล)

กำหนดให้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ต้องใช้เท่ากับ X กรัมโมล

ชิลิกา	21.22	กรัมโมล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	7.9	กรัมโมล
ถ้าต้องการใช้ชิลิกา	0.2	กรัมโมล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	X	กรัมโมล

คำนวณ $X = (7.9/21.22) \times 0.2 = 0.0745$ กรัมโมล

เนื่องจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) บริสุทธิ์ 85 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักโมเลกุล 56.11 กรัม

ดังนั้นต้องใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เท่ากับ $(0.0745 \times 56.11) / 0.85 = 4.9179$ กรัม

5. การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการสังเคราะห์

เงื่อนไข ซิลิกาทั้งหมด 12 กรัม (0.2 กรัมโมล)

กำหนดให้น้ำ (H₂O) ที่ต้องใช้เท่ากับ X กรัมโมล

ซิลิกา	21.22	กรัมโมล ใช้น้ำ	498.6	กรัมโมล
ถ้าต้องการใช้ซิลิกา	0.2	กรัมโมล ใช้น้ำ	X	กรัมโมล

คำนวณ $X = (498.6/21.22) \times 0.2 = 4.6993$ กรัมโมล

น้ำทั้งหมดที่ต้องใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $4.6993 \times 18.01 = 84.6351$ กรัมเนื่องจากมีน้ำจากสารกำหนดโครงสร้าง 6.7 กรัม และน้ำจากซิลิกาโซล 13.5 กรัม ดังนั้นน้ำที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ SUZ-4 เท่ากับ $84.6351 - 8.7 - 13.5 = 64.4351$ กรัม

ภาคผนวก ค

การคำนวณการแลกเปลี่ยนไอออน

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน 2.3 wt.% Cu/SUZ-4

K/SUZ-4 : สารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ เป็น 1 กรัม : 100 มิลลิลิตร

น้ำหนักโมเลกุลของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	เท่ากับ	241.60 กรัม
น้ำหนักอะตอมของคอปเปอร์ (Cu)	เท่ากับ	63.546 กรัม

เงื่อนไข ต้องการใช้ซีโอไลต์ SUZ-4 0.5 กรัม

K/SUZ-4 : สารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ เป็น 0.5 กรัม : 50 มิลลิลิตร

จากอัตราส่วน 2.3 wt.% Cu/SUZ-4 ถ้าต้องการใช้ SUZ-4 0.5 กรัม ปริมาณคอปเปอร์ (Cu) ที่ต้องการเท่ากับ $((2.3/100) \times 0.5) / 63.546 = 1.8097 \times 10^{-4}$ กรัมโมล

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 1.8097×10^{-4} กรัมโมล มีน้ำหนักเท่ากับ $1.8097 \times 10^{-4} \times 241.60 = 0.0437$ กรัม ดังนั้นในการเตรียมสารละลายคอปเปอร์ไนเตรดต้องใช้คอปเปอร์ไนเตรด ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) 0.0437 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน ให้ได้สารละลายปริมาตร 50 มิลลิลิตร

ตัวอย่างการคำนวณ % Cu exchange level ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจาก 2.3 และ 5.5 wt.% Cu/SUZ-4

$$\% \text{ Cu exchange level} = 2 \times \text{จำนวนของคอปเปอร์} / \text{จำนวนของอลูมิเนียม} \times 100$$

$$\text{หรือ } (\text{Cu}/\text{Al}) \times 200$$

- ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจาก 2.3 wt.% Cu/SUZ-4 มี Cu/Al เท่ากับ 0.38 ดังนั้น

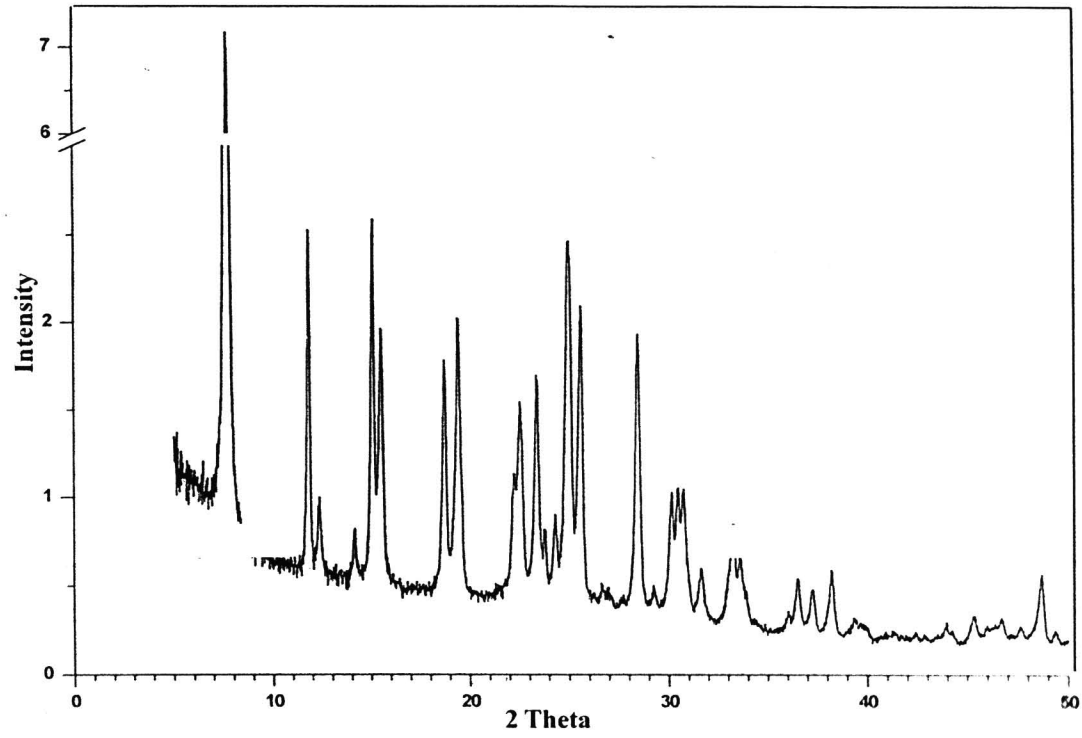
$$\% \text{ Cu exchange level} = 0.38 \times 200 = 75.26$$

- ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจาก 5.5 wt.% Cu/SUZ-4 มี Cu/Al เท่ากับ 0.53 ดังนั้น

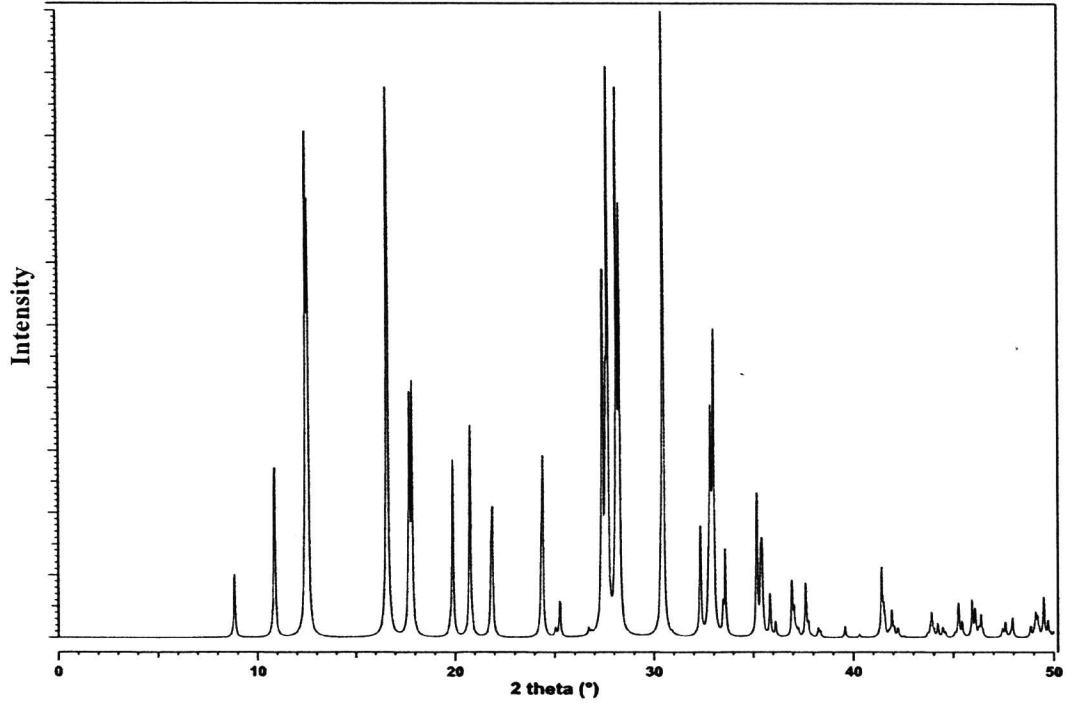
$$\% \text{ Cu exchange level} = 0.53 \times 200 = 105.37$$

ภาคผนวก ง

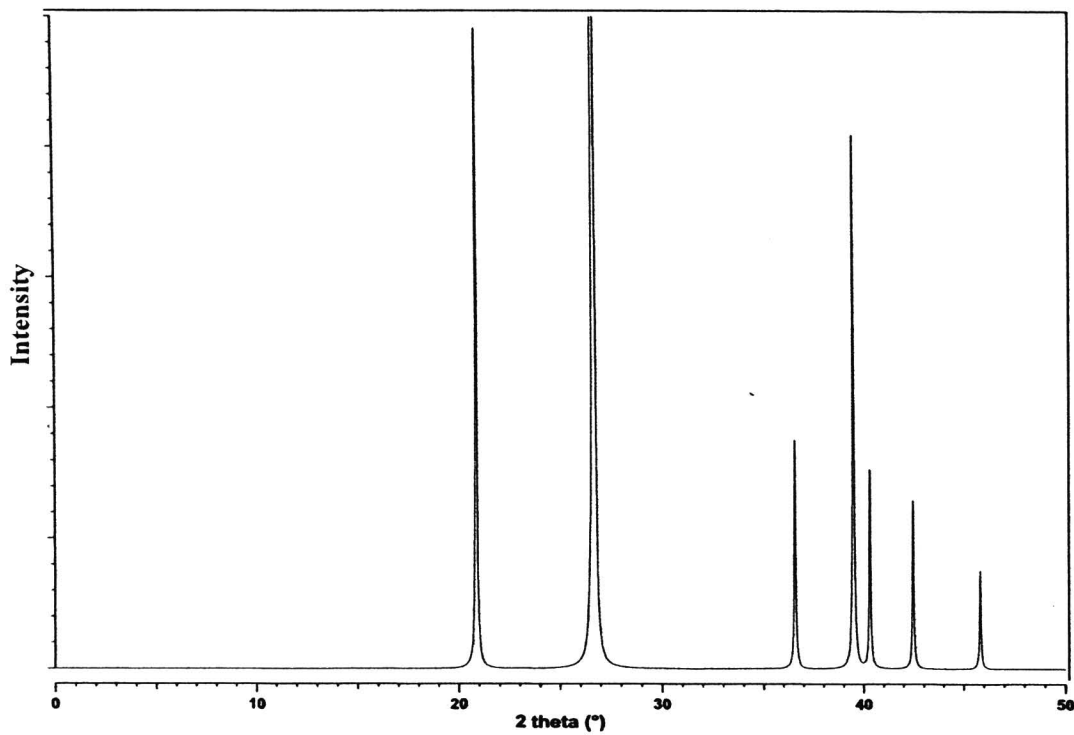
XRD pattern มาตรฐานของซีโอไลต์



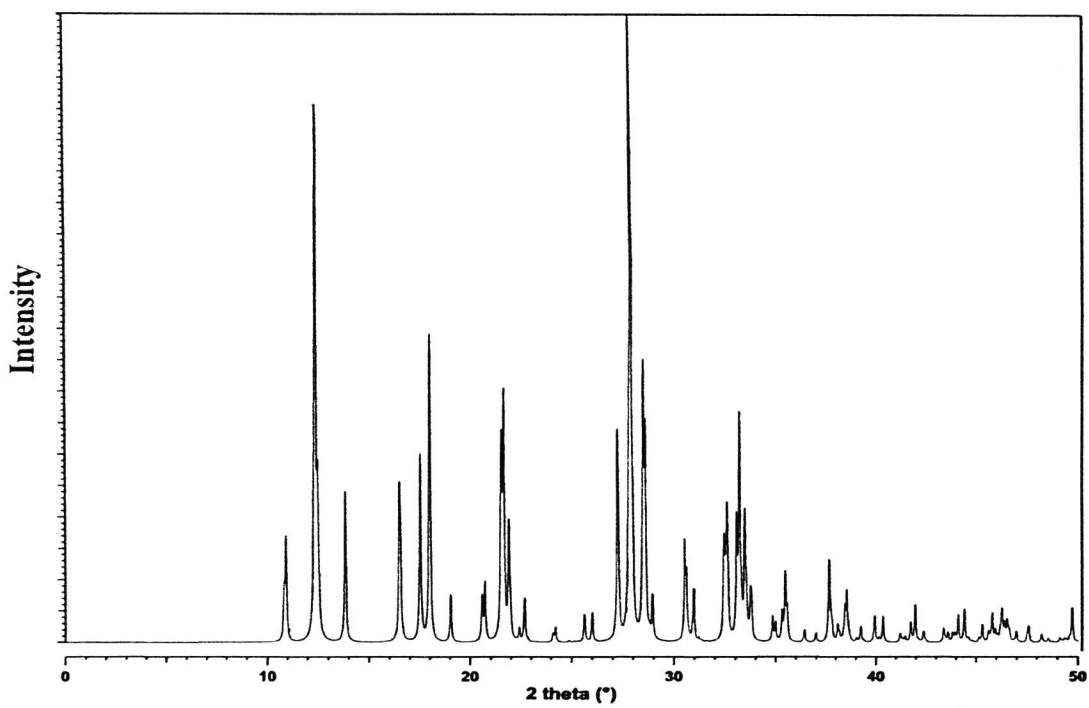
ภาพที่ ง-1 XRD pattern มาตรฐานของซีโอไลต์ SUZ-4



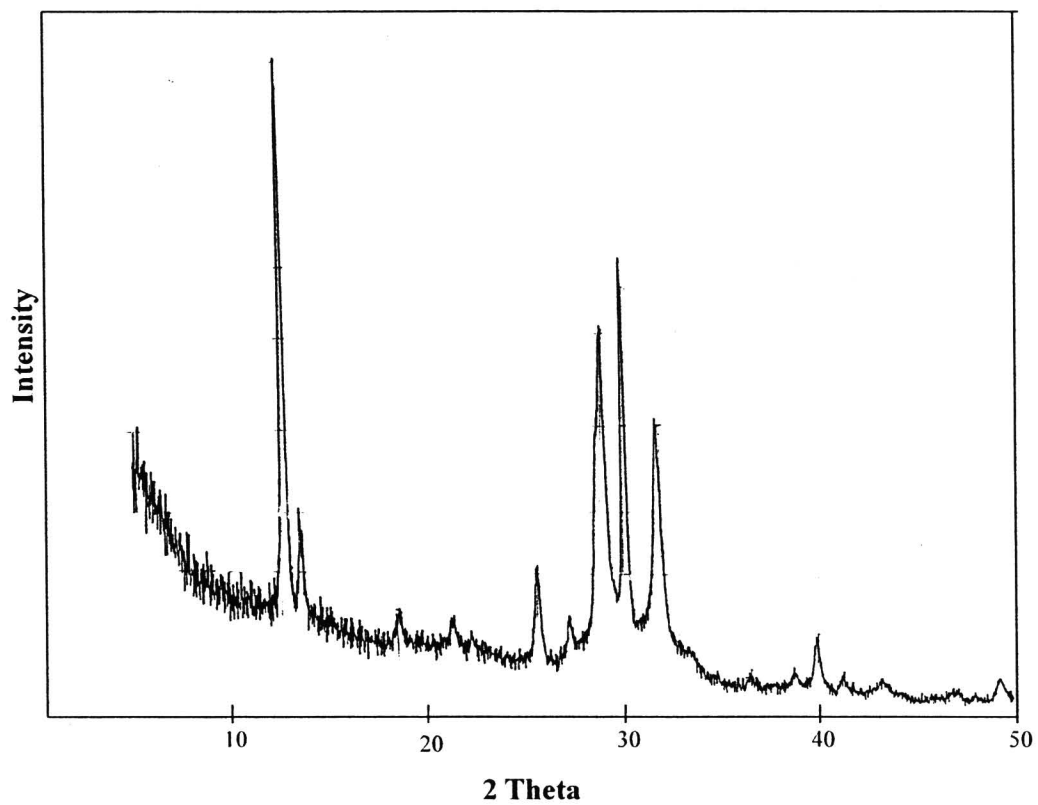
ภาพที่ ง-2 XRD pattern มาตรฐานของซีโอไลต์ Merlinoite



ภาพที่ ง-3 XRD pattern มาตรฐานของ Alpha Quartz



ภาพที่ ง-4 XRD pattern มาตรฐานของซีโอไลต์ Philipsite

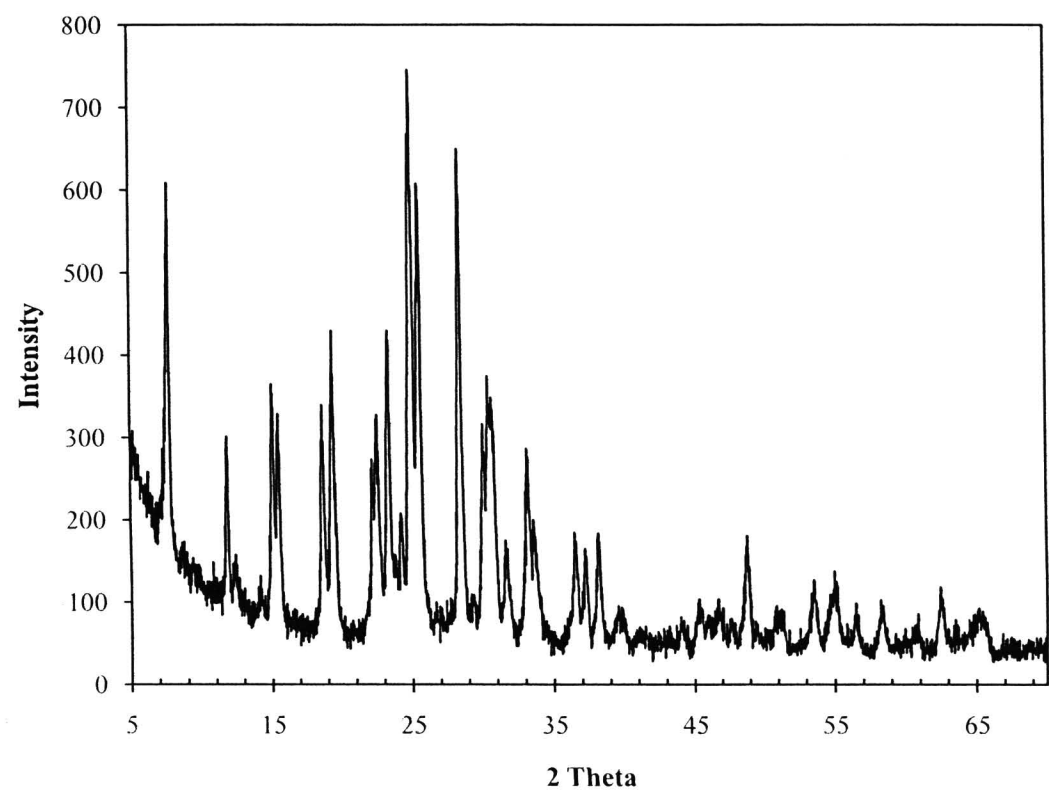


ภาพที่ ๓-5 XRD pattern มาตรฐานของซีโอไลต์ Linde Type F

ภาคผนวก จ

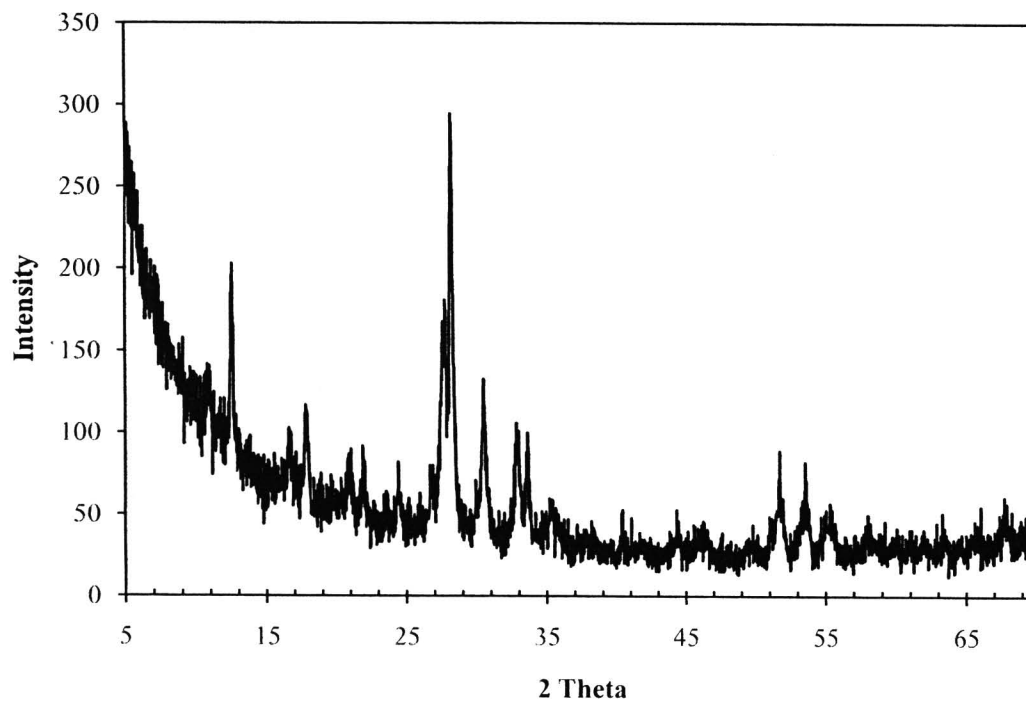
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD

ผลการสังเคราะห์ไฮโดรเจล SUZ-4 โดยใช้สารเคมี

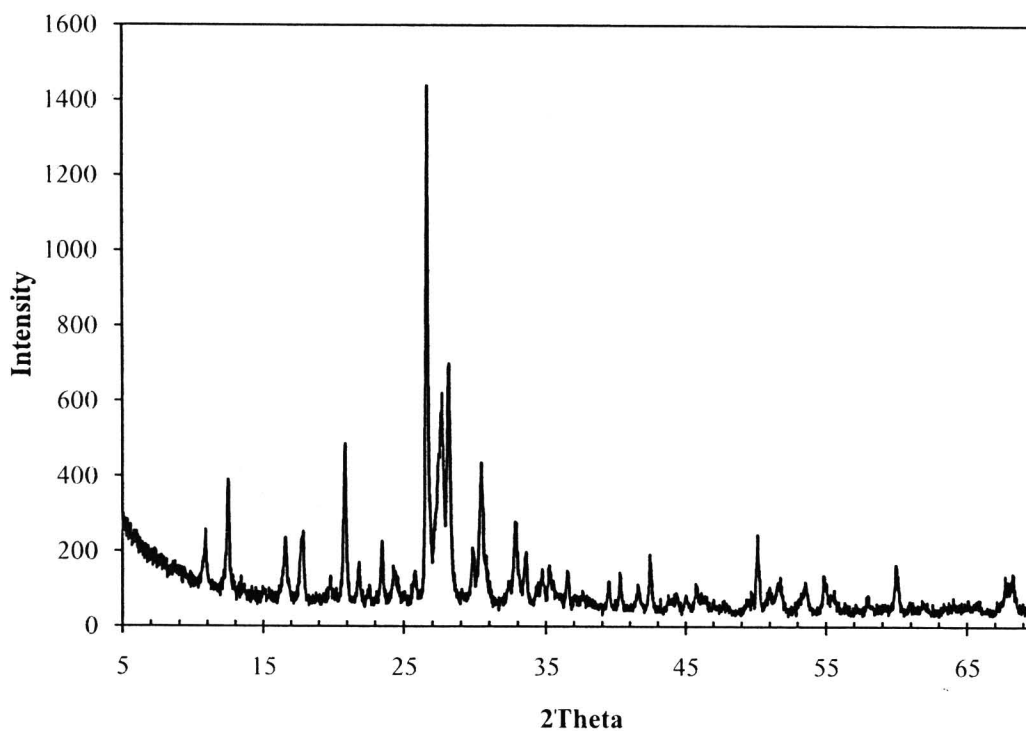


ภาพที่ จ-1 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์จากการใช้สารเคมี 100 เปอร์เซ็นต์
(BA:silica sol เท่ากับ 0:100)

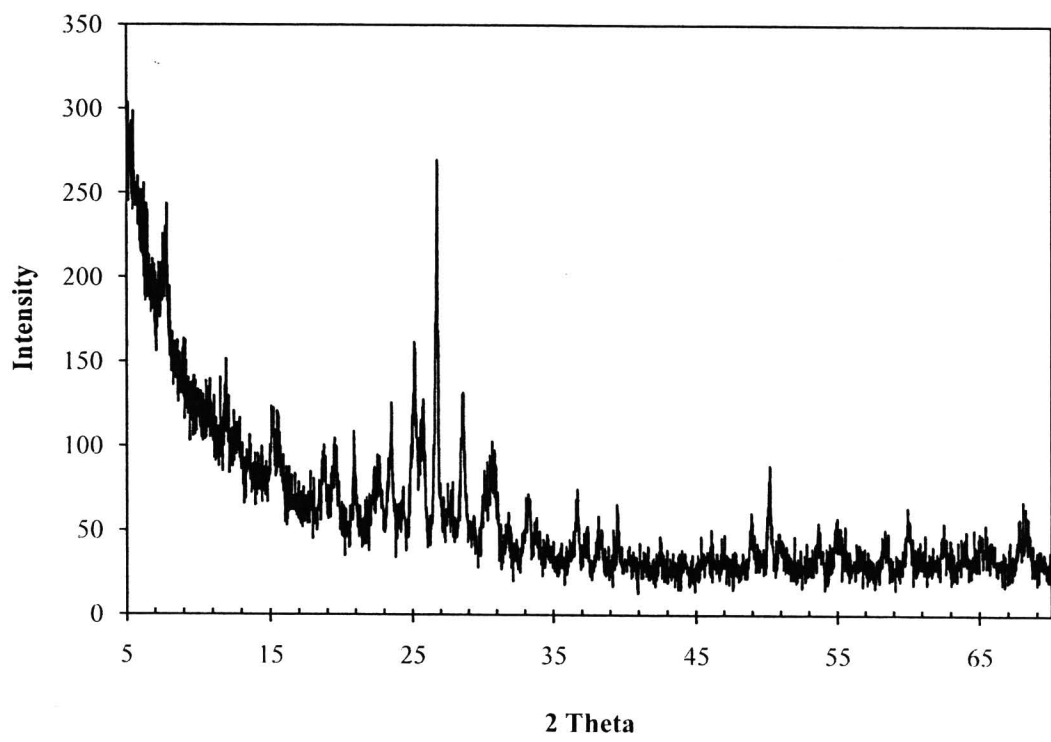
ผลการสังเคราะห์ซีโอไลต์โดยใช้ไข่ขาวอ้อยที่เตรียมจากวิธีที่ 1 มาเป็นแหล่งซิลิกา



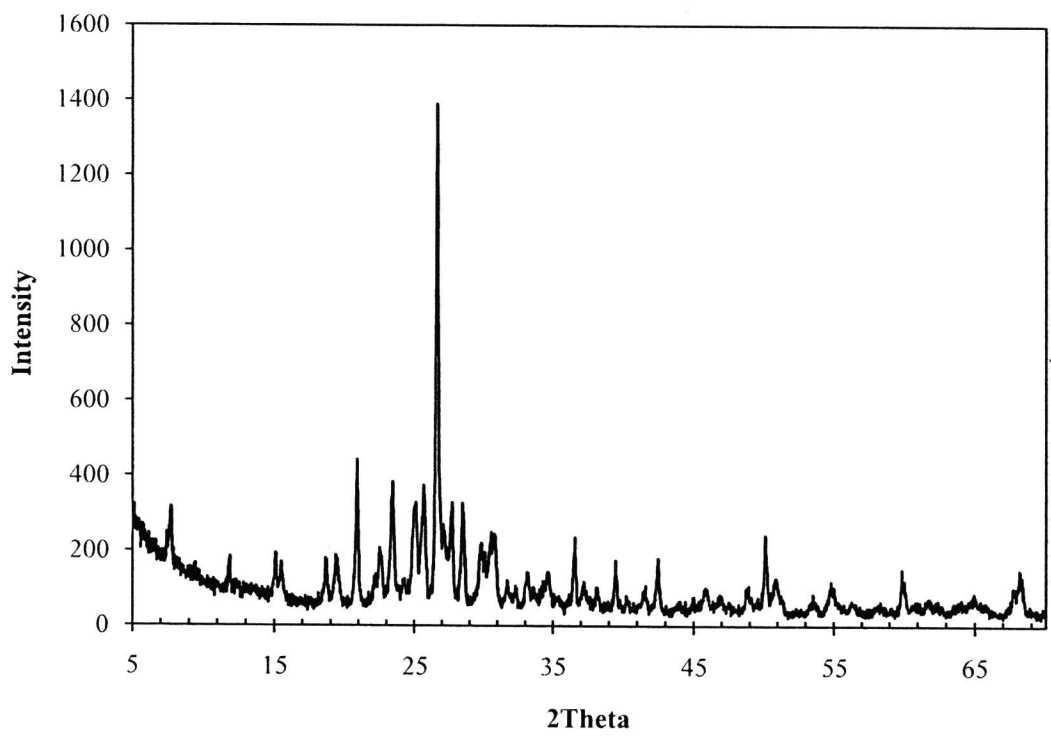
ภาพที่ จ-2 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 25:75



ภาพที่ จ-3 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 50:50

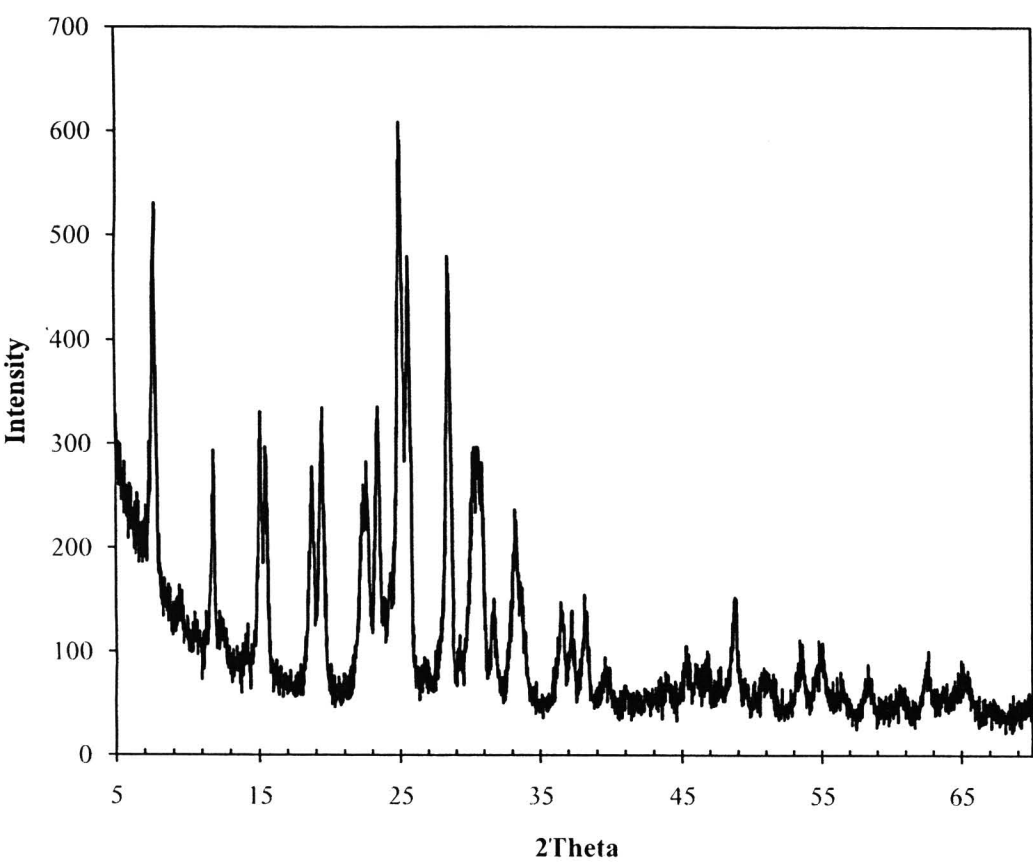


ภาพที่ จ-4 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 75:25

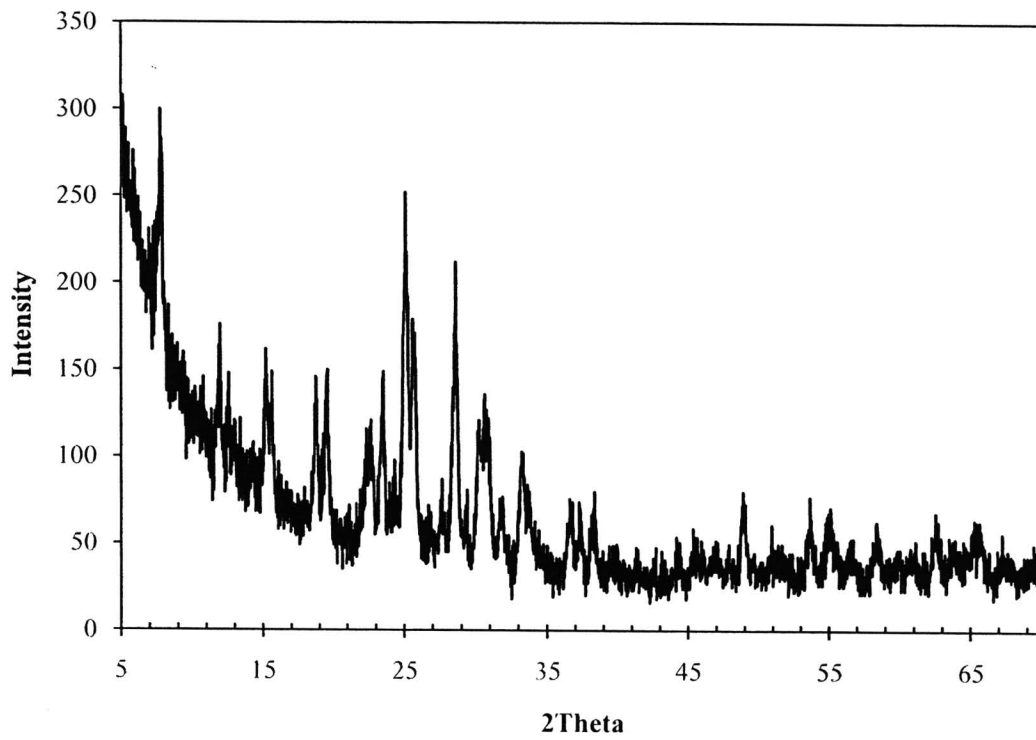


ภาพที่ จ-5 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 100:0

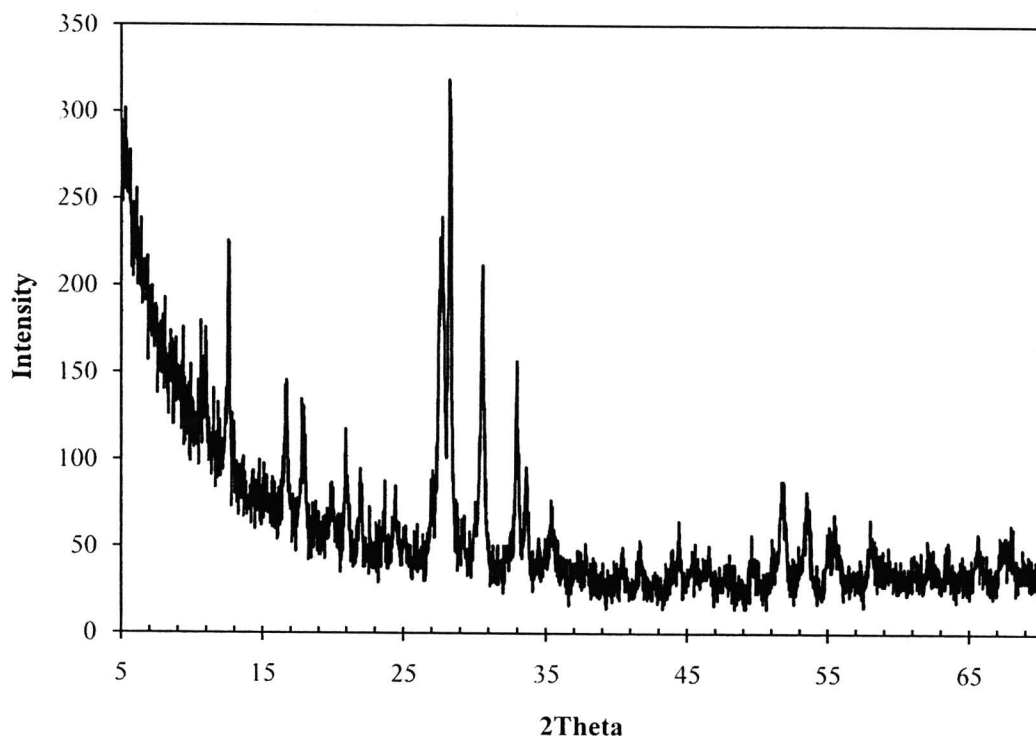
ผลการสังเคราะห์ซีโอไลต์โดยใช้ซีล้าซานอ้อยที่เตรียมจากวิธีที่ 2 มาเป็นแหล่งซิลิกา



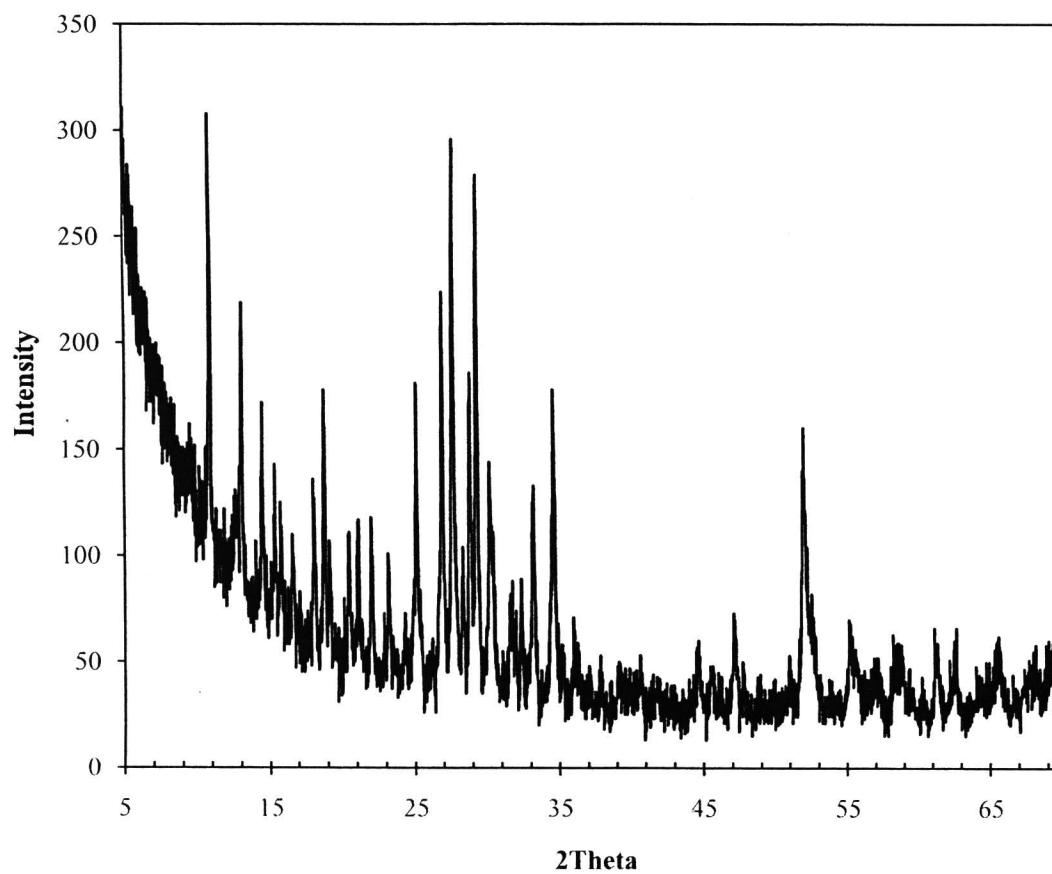
ภาพที่ จ-6 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 25:75



ภาพที่ จ-7 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 50:50

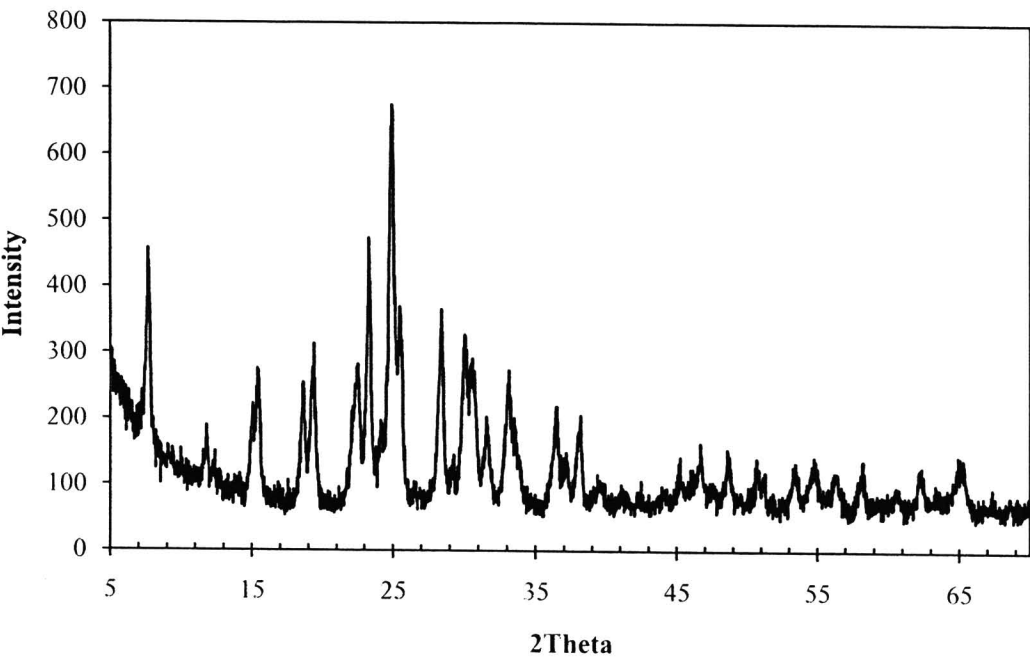


ภาพที่ จ-8 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 75:25

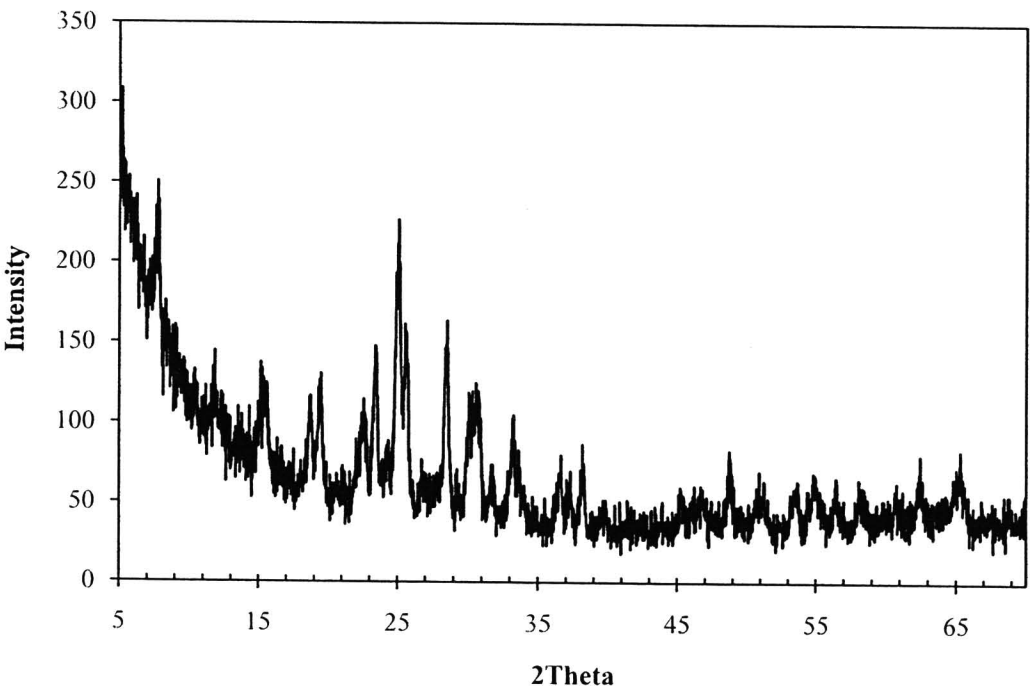


ภาพที่ จ-9 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 100:0

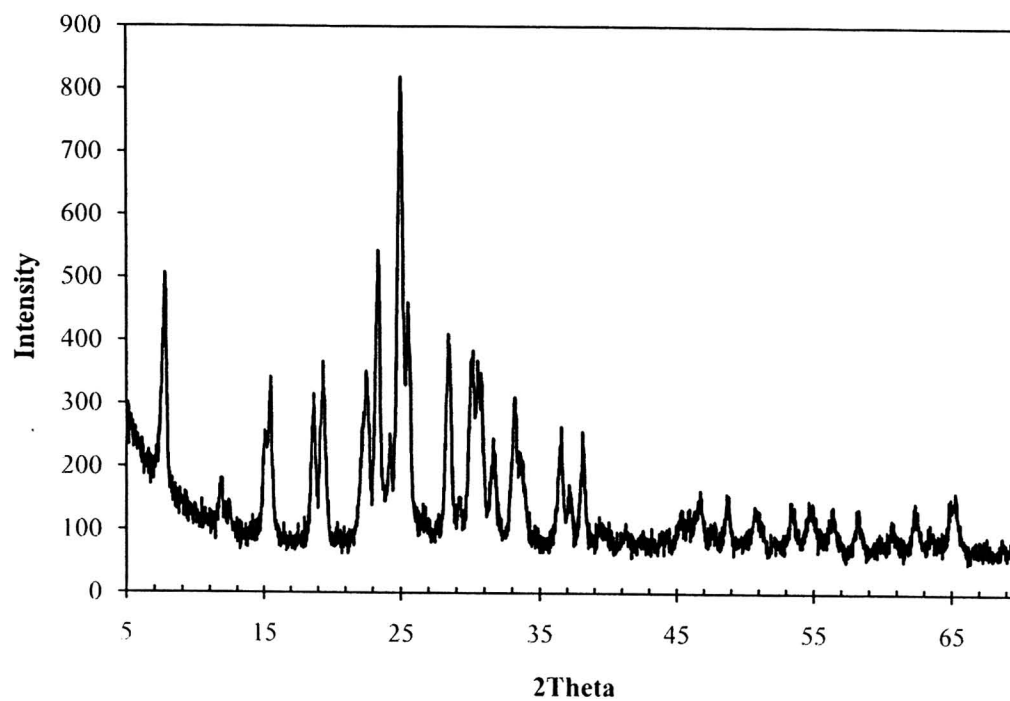
ผลการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง K/SUZ-4 กับโลหะคอปเปอร์



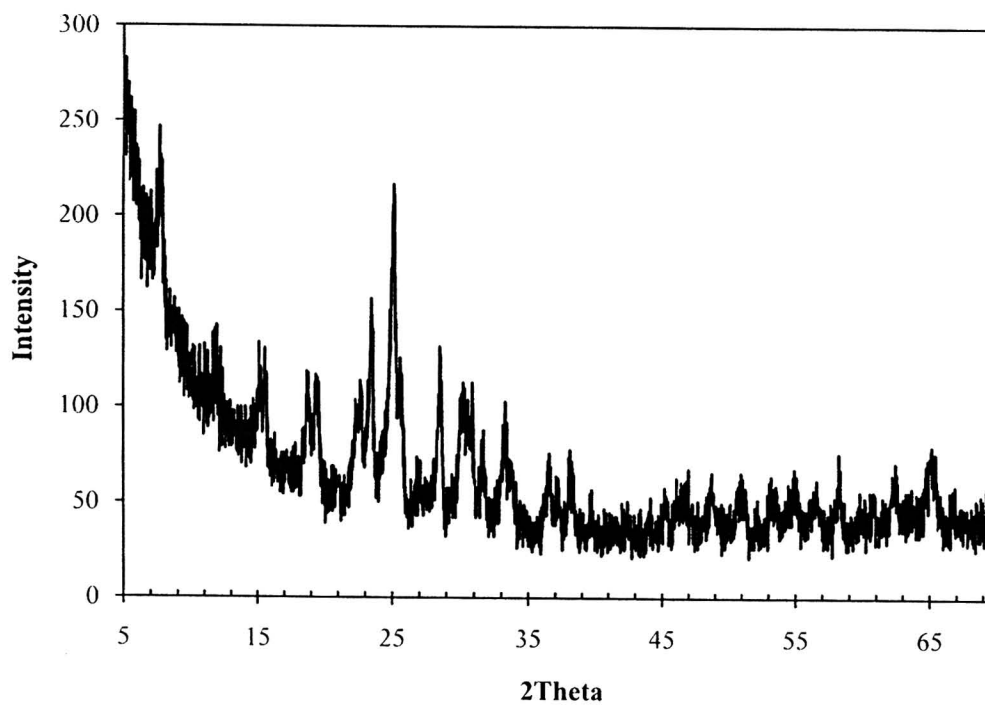
ภาพที่ จ-10 XRD pattern ของ 2.3 wt.% Cu/SUZ-4



ภาพที่ จ-11 XRD pattern ของ 2.8 wt.% Cu/SUZ-4



ภาพที่ จ-12 XRD pattern ของ 3.3 wt.% Cu/SUZ-4

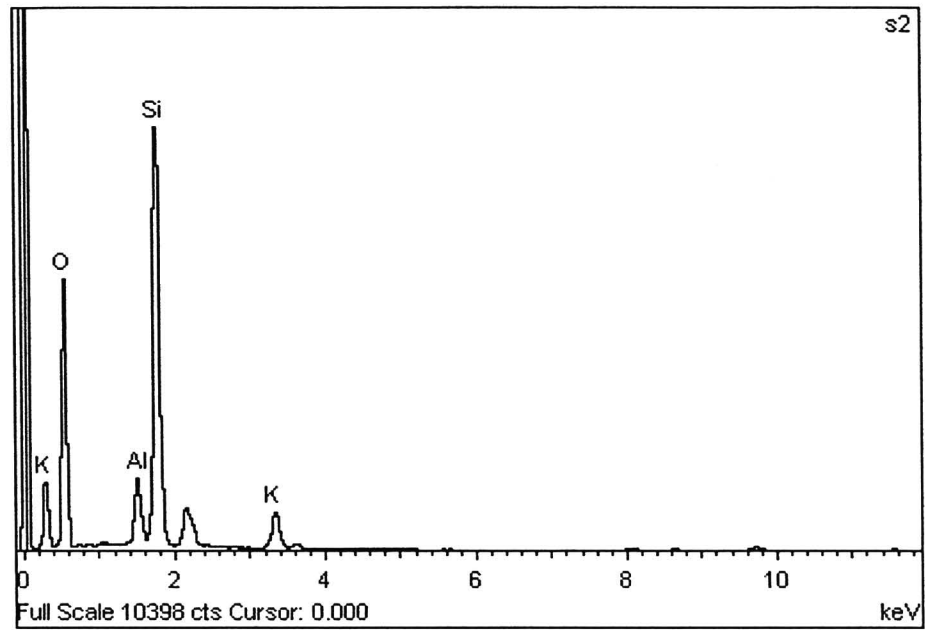


ภาพที่ จ-13 XRD pattern ของ 5.5 wt.% Cu/SUZ-4

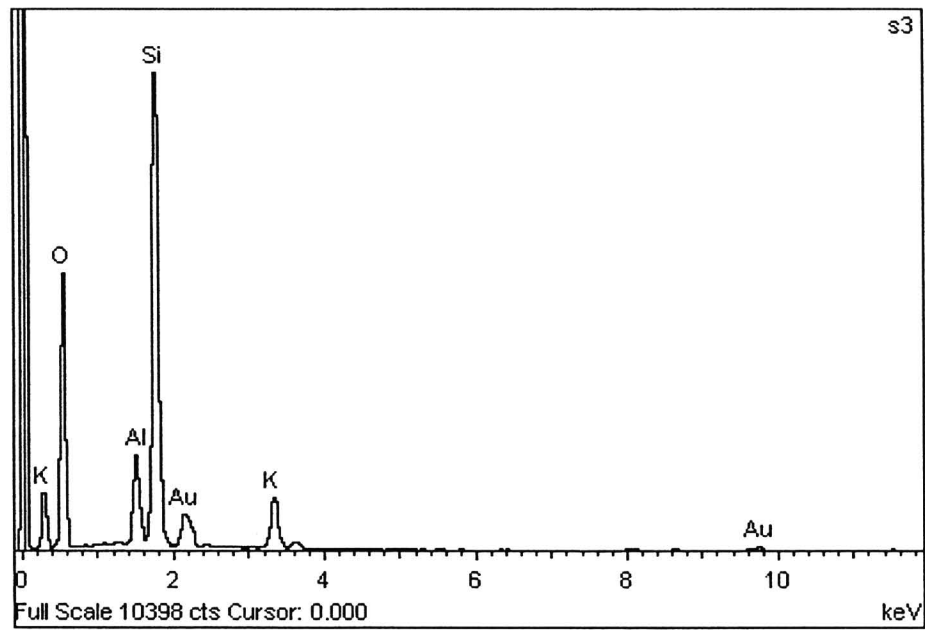
ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่อง EDS

ผลสเปกตรัมซีโอไลต์ SUZ-4 จากเครื่อง EDS



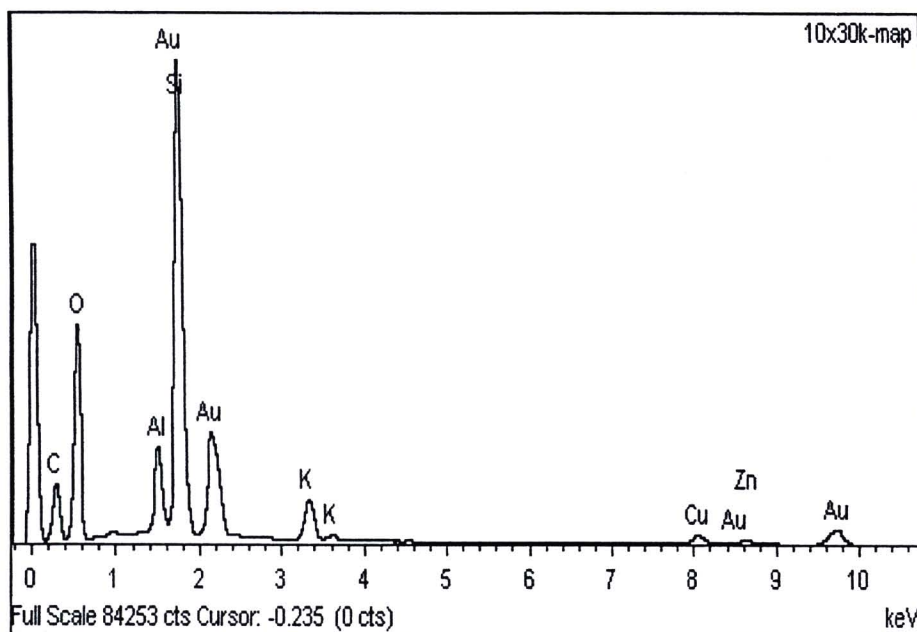
ภาพที่ ฉ-1 สเปกตรัมของซีโอไลต์ SUZ-4 ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 25:75 (เตรียมซีโอไลต์ด้วยวิธีที่ 2)



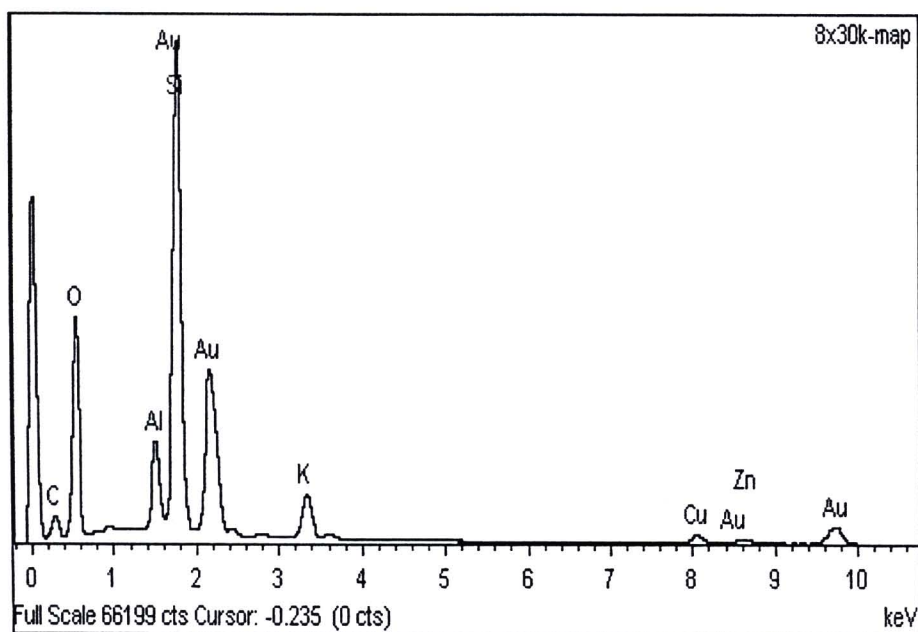
ภาพที่ ฉ-2 สเปกตรัมของซีโอไลต์ SUZ-4 ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 50:50 (เตรียมซีโอไลต์ด้วยวิธีที่ 2)



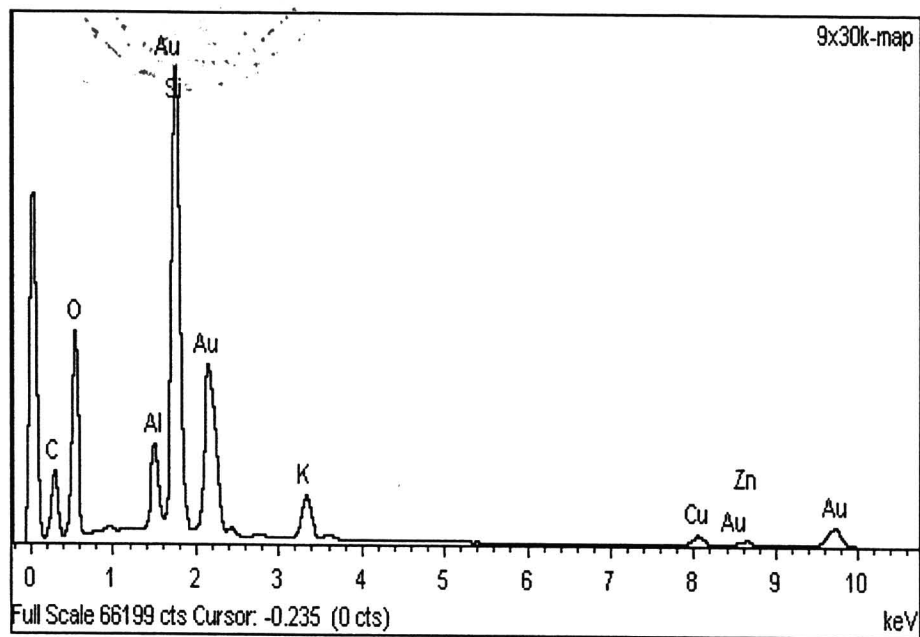
ผลสเปกตรัมของ Cu/SUZ-4 โดยใช้ K/SUZ4 ที่สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 25:75



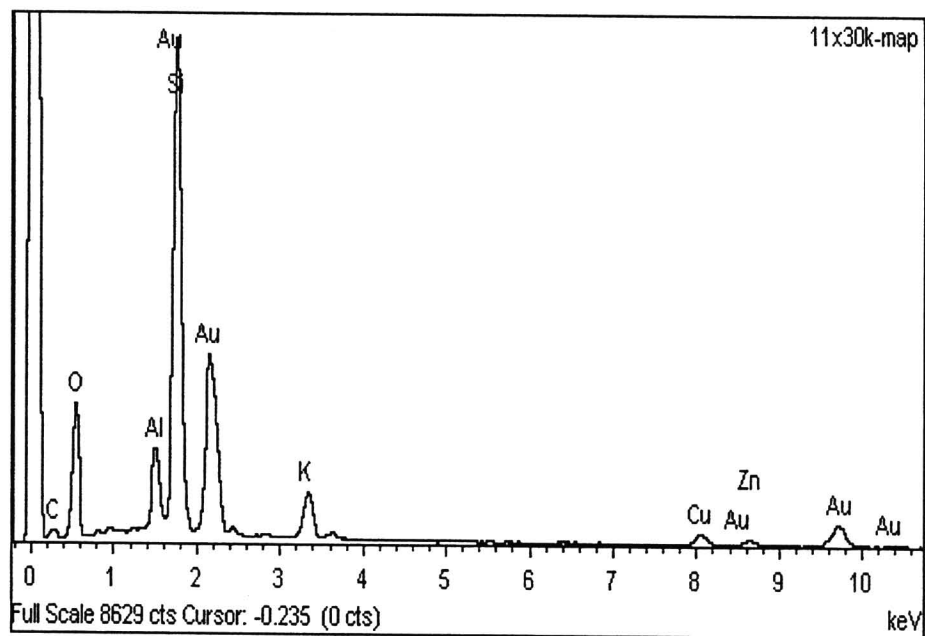
ภาพที่ น-3 สเปกตรัมของ 2.3 wt.% Cu/ SUZ-4



ภาพที่ น-4 สเปกตรัมของ 2.8 wt.% Cu/ SUZ-4



ภาพที่ ๓-5 สเปกตรัมของ 3.3 wt.% Cu/ SUZ-4



ภาพที่ ๓-6 สเปกตรัมของ 5.5 wt.% Cu/ SUZ-4



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นางสาวคุณิ ไตรสุวรรณ
ชื่อวิทยานิพนธ์ : เทคนิคการเตรียมซีโอไลต์ SUZ-4 จากขี้เถ้าชานอ้อย
สาขาวิชา : วิศวกรรมเคมี

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2528 ที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 1029/11 ถนนขมราช ตำบลคลัง อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80000

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสาริตเทพสาล วัดเพชรจริกและระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ นครศรีธรรมราช และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2550

ทุนวิจัยที่ได้รับขณะศึกษาในระดับปริญญาโท

- โครงการทุนวิจัยมหับัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. – อุตสาหกรรม และบริษัท น้ำตาลครบุรี จำกัด (สัญญาเลขที่ MRG-WI525E092)
- ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผลงานทางวิชาการ

- วารสารที่ได้รับการตีพิมพ์

Worathanakul, P., Trisuwan, D., Phatruk, A. and Kongkachuichay, P. “Effect of Sol-gel Synthesis Parameters and Cu Loading on the Physicochemical Properties of a New SUZ-4 Zeolite.” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 377 (2011) : 187–194.

- การสัมมนาทางวิชาการ

Trisuwan, D., Kongkachuichay, P. and Worathanakul, P. “Technique for SUZ-4 Zeolite Powder Synthesis Derived from Bagasse Ash.” *RSCE 2010 the 17th Regional Symposium on Chemical Engineering* ISBN :978-974-466-514-0

