

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กฤษดา พลาฤทธิ์. การปรับปรุงคุณภาพถ่านหินทางเคมีโดยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
- กันทิมา ศิริจิระชัย. การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยวิธีออกซิเดชันในสารละลายเบส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
- เกริกชัย สุกาญจน์จิติ. ไอน้ำและพลังงานจากถ่านหิน. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
- งานถ่านหิน กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ. พลังงานจากถ่านหินในประเทศไทย. ข่าวสารทางธรณี 31 (2529): 26-39.
- พัทธราภรณ์ เพชรานนท์. จลนพลศาสตร์ของออกซิเดชันกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินแม่เมาะในสารละลายทองแดง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
- มานพ อติวานิชพงษ์ และ พัชรินทร์ วิธานดินทร์. การขจัดกำมะถันในถ่านหิน. รายงานโครงการวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- วิทยา ปิ่นสุวรรณ. การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยวิธีออกซิเดชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.
- สมชัย อัครทิวา และ ประเสริฐ กลกิจสกุลผล. การขจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์. รายงานโครงการวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
- อรุณรัตน์ วุฒิมงคลชัย. ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
- เอกชัย อานนท์กิจพานิช. การขจัดกำมะถันและเถ้าในถ่านหินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

ภาษาอังกฤษ

- Alper, E., Calimli, A., Seven, F., and Duzgoren, M.K. Oxydesulphurization of Turkish Lignites in Acidic and Basic Sulrries. Fuel 68 (1989):1081-1085.
- Araya, P.E., Ohlbaum, R.B., and Droguett, E.E., Study of the Treatment of Subbituminous Coal by NaOH Solutions. Fuel 60 (1981): 1127-1130.
- ASTM Standards, D 388. Coal by Rank : American Society for testing Materials. U.S.A., 1985.
- , D 2492. Forms of Sulfur in Coal : American Society for testing and Materials. U.S.A., 1986.
- , D 3173. Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke : American Society for Testing and Materials. U.S.A., 1986.
- , D 3174. Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal : American Society for testing and Materials. U.S.A., 1986.
- , D 3175. Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke : American Society for testing and Materials. U.S.A., 1986.
- , D 3177. Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke : American Society for testing and Materials. U.S.A., 1986.
- , D 3286. Gross Calorific valus of Coal and Coke by the Isothermal-Jacket Bomb Calorimeter : American Society for testing and Materials. U.S.A., 1986.
- Blaustein, B.D., ed. New Approaches in Coal Chemistry : ACS Symposium Series 169. Washington D.C.: American Chemistry Society, 1981.
- Boron, D.J., Taylor, S.R. Mild Oxidation of Coal. Fuel 64 (1985): 209-211

- Dessau, R.M. U.S. Pat. 4,022,588, May 10, 1977.
- Dillon, T.F., Warshaw, A. U.S. Pat. 3,824,084, July 16, 1974.
- Eliot, R.C. Coal Desulfurization Prior to Combustion, 1st ed. New Jersey : Noyes Data Corporation, 1978.
- Husein, K., and Ramazan, C. Removal of Sulphur from Four Central Anatolian Lignites by NaOH. Fuel 67 (1988): 170-172.
- John, B.B. Reaction Kinetics and Reactor Design, New Jersey : Prentice-Hall, Inc., 1980.
- Joshi, J.B., et.al. Modeling of Three Phase Reactors; A case of Oxydesulfurization of Coal. AIChE Journal 27 (1981):937-945.
- Joshi, J.B., Shah, Y.T. Kinetics of Organic Removal from Coal by Oxydesulphurization. Fuel 60 (1981):612-614.
- Khoury, D.L. Coal Cleaning Technology. New Jersey : Noyes Data Co., 1981.
- King, W.E., Perlmutter, D.D. Pyrite Oxidation in Aqueous Ferric Chloride. AIChE Journal 23(1977):679-685.
- King, W.E., Lewis, J.A. Simultaneous Effects of Oxygen and Ferric Iron on Pyrite Oxidation in an Aqueous Slurry, "Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 19 (1980):719-722.
- Kusakabe, K., Orita, M., Kato, K., Morooka, S., Kato, Y., and Kusunoki, K. Simultaneous Desulphurization and Demineralization of Coal. Fuel 68 (1989):396-399.
- Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering, 2nd ed. Singapore : John Wiley & Sons, Inc., 1972.
- Ludmila Lanpa-krzymien. Complete Removal of Sulphur from Coal Using Solutions Containing Cuppric Ions. Fuel 61(1982): 871-872.
- . Complete Removal of Sulphur from Coal Using Solutions Containing Cuppric Ions. Canadian Pat. CA1,159,001, December 20, 1983.

- Mazumder, B., Saikia, P.C., Sain, B., Varuah, B.P., and Bordoloi, C.S. Desulphurization of High Sulphur Coals of North-East Indian Coalfields by Organometallic Compounds. Fuel 68 (1989): 610-613.
- Mendizabal, E. Low Temperature Process for Coal Desulfurization. Report for the U.S. Energy Research and Development Administration. Lawrence Berkeley Laboratory of the University of California, August 1978.
- Meyers, R.A. Coal Desulfurization, New York : Marcel Dekker, Inc., 1977.
- . Coal Handbook, 1st ed. New York : Marcel Dekker Ltd., 1981
- . Desulfurize Coal Chemically. Hydrocarbon Processing 53 (June 1975): 93-95.
- . U.S. Pat. 3,738,988, October 30, 1973.
- Nishioka, M., Lee, M.L., Castle, R.N. Sulfur Heterocycles in Coal-derived Products. Fuel 65(1986):392-395.
- Onganer, Y., Kocakerim, M.M., and Likan, M. A Kinetic Study of Meyers' Desulfurization of Asphaltite. Fuel 68(1989):1043-1047.
- Oshinowo, T., and Ofi, O. Kinetics of Chemical Desulphurization of Coal in Aqueous Ferric Chloride. The Canadian Journal of Chemical Engineering 65(1987):481-486.
- Porter, C.R., et.al. Method for the Removal of Sulfur from Carbonaceous Material. U.S. Pat. 4,324,599, April 13, 1982.
- Slagel, D., Shah, Y.T., Joshi, J.B. Kinetics of Oxydesulfurization of Upper Freeport Coal. Ind. Eng. Chem. Process. Des. Dev. 27(1981):937-945.
- Van Nice, L.J., Santy, M.J., Koutsoubos, E.P., Orisini, R.A., and Meyers, R.A. "Coal Desulfurization Test Plant Status," Coals Desulfurization Chemical and Physical Methods, T.D. Wheelock (ed), ACS Symp. Series 6, Am Chem, Soc, Washington C.C., 1977.
- Vasilakos, N.P., Clinton, C.S. Chemical Benefication of Coal with Aqueous Hydrogen Peroxide / Sulphuric Acid Solution. Fuel 63 (1984):1561-1563.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์

การวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณ (Proximate Analysis) : ASTM D 3173

1. ปริมาณความชื้นในตัวอย่างถ่านหิน (moisture in the analysis sample of coal) : ASTM D 3173

หลักการ

นำตัวอย่างถ่านหินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอนแล้ว มาให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (drying oven) ที่อุณหภูมิประมาณ 105-110 °ซ เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกไปจากถ่านหิน ค่าความชื้นคำนวณได้จากน้ำหนักของถ่านหินที่ลดลง

เครื่องมือ

ตู้อบ (drying oven) , ถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด, desiccator

วิธีการทดลอง

- ออบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในตู้อบ (drying oven) ที่อุณหภูมิ 110 °ซ ประมาณ 30 นาที จากนั้นนำเข้า desiccator ทิ้งให้เย็นประมาณ 15 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล
- ชั่งตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1 กรัมใส่ลงในถาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแล้วอย่างรวดเร็ว ปิดฝาทันที บันทึกน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินไว้
- นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 105 ° - 110 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (น้ำหนักตัวอย่างถ่านหินคงที่)
- หลังจากนั้นนำไปใส่ desiccator ทิ้งให้เย็นประมาณ 15 นาที แล้วชั่งน้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างถ่านหินที่อบแล้วอยู่ภายใน บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = (W_1 - W_2) / W \times 100$$

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

W_1 = น้ำหนักของภาตอลูมิเนียมพร้อมฝารวมน้ำหนักตัวอย่างถ่านหิน
เริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของภาตอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของถ่านหินที่
อบแล้ว (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

2. ปริมาณเถ้าในตัวอย่างถ่านหิน (ash in the analysis sample of coal) : ASTM D 3174

หลักการ

นำตัวอย่างถ่านหินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอนแล้ว ไปเผาให้ความร้อนในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 500 °C จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ของ crucible รวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือ จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้า คำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผา

เครื่องมือ

เตาเผา (Muffle Furnace), crucible แบบ porcelain พร้อมฝา, desiccator

วิธีการทดลอง

- เเผา crucible แบบ porcelain พร้อมฝาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก crucible พร้อมฝา
- ชั่งตัวอย่างถ่านหินใส่ crucible ประมาณ 1 กรัม
- นำไปเผาบนตะเกียงเบนเซน จนควันระเหยหมด

- นำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 °ซ นานประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 750 °ซ เเผาจนน้ำหนักคงที่ นำ crucible ออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน desiccator ซึ่งน้ำหนักพร้อมทั้งบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = (W_3 - W_4) / W \times 100$$

เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า

W_3 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝาและเถ้า (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

3. ปริมาณสารระเหยในตัวอย่งถ่านหิน (Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal) : ASTM D 3175

หลักการ

นำตัวอย่างถ่านหินที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน แล้วมาเผาให้ความร้อนในเตาเผาแบบท่อ (tubular furnace) ปริมาณสารระเหย คำนวณได้จากน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินที่หายไป

เครื่องมือ

เตาเผา (tubular furnace), nickle crucible พร้อมฝา, desiccator

วิธีการทดลอง

- เเผา nickle crucible พร้อมฝา ในเตาเผาอุณหภูมิ 950 °ซ ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักของ crucible พร้อมฝา พร้อมทั้งบันทึกผล
- ชั่งตัวอย่างถ่านหินใส่ใน nickle crucible ประมาณ 1 กรัม
- นำ nickle crucible พร้อมตัวอย่างถ่านหินที่ปิดฝาเรียบร้อยแล้วไปเผาใน tubular furnace โดยให้ความร้อนเป็น 2 ช่วงๆ ละ 6 นาที ช่วงแรกเป็นการเริ่มต้นให้ความร้อนแก่ถ่านหินที่อุณหภูมิ 300 °ซ 3 นาที

และที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 6 นาที

- นำ crucible ออกจากเตาเผา ทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักของ crucible พร้อมฝาและถ่านหินที่เหลือ บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = (W_s - W_e) / W \times 100$$

เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย

M = ร้อยละของความชื้น

W_s = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา รวมกับน้ำหนักถ่านหินก่อนเผา (กรัม)

W_e = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา รวมกับน้ำหนักถ่านหินหลังเผา (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

4. ปริมาณคาร์บอนคงตัวในตัวอย่างถ่านหิน (fixed carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} &= 100 - \text{ร้อยละของความชื้น} - \text{ร้อยละของเถ้า} \\ &\quad - \text{ร้อยละของสารระเหย} \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน

1. การหาปริมาณกำมะถันรวม (total Sulfur) ในตัวอย่างถ่านหิน โดยวิธี
Eschka Method : ASTM D 3177

หลักการ เผาตัวอย่างถ่านหินร่วมกับ Eschka mixture กำมะถันที่ประกอบอยู่ในถ่านหินจะเปลี่ยนเป็นรูปของซัลเฟตไอออน ดังนั้นสามารถหาปริมาณกำมะถันในตัวอย่างถ่านหินได้ในรูปของแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4)

เครื่องมือ เตาเผา (muffle furnace), porcelain crucible, บีกเกอร์, electric hot plate, กรวยกรอง, กระดาษกรอง

สารเคมี

- Eschka mixture ประกอบด้วย แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) กับโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก
- น้ำกลั่น
- สารละลายแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) ความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร
- สารละลายกรดเกลือ, HCl (1:9)
- สารละลายกรดเกลือ, HCl (2:3)
- methyl orange indicator โดยละลาย methyl orange 0.02 กรัมในน้ำร้อน 100 มล. แล้วกรอง
- สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) โดยใช้ผลึกของ (Na_2CO_3) \cdot $10\text{H}_2\text{O}$ 60 กรัม หรือ anhydrous Na_2CO_3 22 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 100 มล.

วิธีการทดลอง

- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1 กรัม ร่วมกับ Eschka mixture 3 กรัมใน crucible ผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง แล้วปิดทับด้วย Eschka mixture อีก 1 กรัม

- นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 825 °C ประมาณ 3 ชั่วโมง เเผาจนกระทั่งสีดำของถ่านหินหมดไป
- นำ crucible ออกจากเตาเผา ย่อยสารใน crucible ด้วยน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร เป็นเวลาประมาณ 30 นาที
- กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง จนสารละลายที่กรองได้มีปริมาตรประมาณ 250 มิลลิลิตร
- นำสารละลายที่กรองได้ให้เป็นกรดด้วย HCl (1:9)
- นำสารละลายให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต โดยใช้เมธิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์
- นำสารละลายให้เป็นกรดเล็กน้อยโดยเติม HCl (1:9) 1 มิลลิลิตร
- ต้มสารละลายให้เดือด แล้วเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ลงไปอย่างช้าๆ 10 มิลลิลิตรด้วยปิเปต ต้มหลังจากเติมสารละลายต่อไปอีกประมาณ 15 นาที ได้ตะกอนสีขาวขุ่นของแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน หรืออย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- กรองตะกอน BaSO_4 ด้วยกระดาษกรอง ashless เบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง จนน้ำล้างตะกอนปราศจากคลอไรด์ไอออน ซึ่งทดสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3)
- นำตะกอนที่กรองได้พร้อมกระดาษกรองใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนัก crucible พร้อมตะกอน BaSO_4 คงที่ นำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักของตะกอน BaSO_4
- blank correction ทำการทดลองเหมือนข้างต้นทุกประการ แต่ไม่ใช้ตัวอย่างถ่านหินเท่านั้น เพื่อตรวจสอบว่าสารเคมีที่ใช้มีปริมาณกำมะถันอยู่ มากน้อยเพียงใด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของกำมะถันรวม} = 13.738(A-B)/C$$

- เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ที่ได้จากตัวอย่าง (กรัม)
 B = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ที่ได้จาก blank (กรัม)
 C = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ (กรัม)

2. การหารูปแบบของกำมะถันในถ่านหิน (Forms of Sulfur in Coal):

ASTM D 2492

2.1 การหาปริมาณกำมะถันซัลเฟต (Sulfate Sulfur)

หลักการ

กำมะถันซัลเฟตจะถูกสกัดออกจากตัวอย่างถ่านหินโดยสารละลายกรดเกลือเจือจางและคำนวณหาปริมาณกำมะถันซัลเฟตได้จากตะกอนแบเรียมซัลเฟต

เครื่องมือ

เตาเผา (muffle furnace), porcelain crucible, electric hot plate, บีกเกอร์ กรวยกรอง และกระดาษกรอง

สารเคมี

- น้ำกลั่น
- สารละลาย HCl (2:3)
- สารละลาย HCl (ถ.พ. 1.19) เข้มข้น 12 โมลาร์
- สารละลาย เอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 โดยปริมาตร
- สารละลาย แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เข้มข้น 5 โมลาร์
- สารละลาย แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) (1:10)
- น้ำโบรมีนอิ่มตัว (Br_2)
- สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) เข้มข้น 100 กรัม/ลิตร
- methyl orange indicator ละลาย methyl orange 0.02 กรัมในน้ำร้อน 100 มล.

- ชั่งตัวอย่างถ่านหินประมาณ 2 กรัมใส่ในบีกเกอร์ เติมสารละลาย HCl (2:3) 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 2 มิลลิลิตร คนให้ถ่านหินเปียกทั่ว ปิดด้วยกระจกนาฬิกา
- ต้มบน electric hot plate ให้สารละลายค่อย ๆ เดือด ประมาณ 30 นาที
- กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง จนแน่ใจว่าล้าง HCl จากตะกอนหมดแล้ว เก็บตะกอนที่ได้จากการกรองไว้ เพื่อนำไปวิเคราะห์หากำมะถันไฟไรต์ต่อไป
- นำสารละลายที่ได้จากการกรองมาเติมน้ำโบรมีน 5 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือดอย่างน้อย 5 นาที
- เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 5 โมลาร์อย่างช้าๆ จนกระทั่งเป็นด่างเล็กน้อย (ทดสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส) แล้วเติมให้มากเกินพออีก 5 มิลลิลิตร คนสารละลายสม่ำเสมอ จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงของเฟอริกไฮดรอกไซด์ $\text{Fe}(\text{OH})_3$
- กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยสารละลาย NH_4OH (1:10)
- นำสารละลายที่ได้จากการกรองมาเติม methy orange 2-3 หยด ทำให้เป็นกรดด้วยสารละลาย HCl เข้มข้น 12 โมลาร์
- ต้มให้เดือดบน electric hot plate เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์อย่างช้าๆ 10 มิลลิลิตร คนสารละลายตลอดเวลาขณะเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ ต้มสารละลายให้เดือดต่อไปอีกประมาณ 15 นาที ได้ตะกอนสีขาวขุ่นของแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน หรืออย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- กรองตะกอนแบเรียมซัลเฟตด้วยกระดาษกรอง ashless เบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง จนน้ำล้างตะกอนปราศจากคลอไรด์อ่อน ตรวจสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3)

- นำตะกอนที่กรองได้พร้อมกระดาษกรองใส่ crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักของตะกอน BaSO₄ คงที่ นำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน desiccator ซึ่งน้ำหนักของตะกอน BaSO₄
- blank correction ทำการทดลองเหมือนข้างต้นทุกประการ แต่ไม่ใช้ตัวอย่างถ่านหิน เพื่อตรวจสอบว่าสารเคมีที่ใช้มีปริมาณกำมะถันซัลเฟตอยู่ มากน้อยเพียงใด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต} = 13.735(A^* - B^*)/C^*$$

เมื่อ A* = น้ำหนักตะกอน BaSO₄ ที่ได้จากตัวอย่าง (กรัม)

B* = น้ำหนักตะกอน BaSO₄ ที่ได้จาก blank (กรัม)

C* = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ (กรัม)

2.2 การหาปริมาณกำมะถันไพไรต์ (Pyritic Sulfur)

หลักการ

กำมะถันไพไรต์จะถูกสกัดออกมาจากถ่านหินโดยใช้สารละลาย HNO₃ (1:7)

วิเคราะห์ผลออกมาในรูปของเหล็กโดยใช้เครื่องมือ atomic absorption spectrophotometer แล้วคำนวณหาปริมาณกำมะถันไพไรต์ได้จากปริมาณ

เหล็ก

เครื่องมือ

atomic absorption spectrophotometer, ขวดปริมาตร บีเปต

สารเคมี

- สารละลาย HNO₃ (1:7)

วิธีการทดลอง

- นำตะกอนที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันซัลเฟต มาย่อยด้วยสารละลาย HNO₃ (1:7) 50 มิลลิลิตร ประมาณ 30 นาที หรือทิ้งค้างคืน

- กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำเย็นอย่างน้อย 6 ครั้ง
- ทำสารละลายให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตร
- นำไปวัดหาปริมาณเหล็กด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร

การเตรียม standard curve ของเหล็ก

- นำสารละลายมาตรฐานของเหล็กที่มีความเข้มข้น 1000 ppm มา 2.5 มล. ทำให้เป็น 100 มล. ในขวดปริมาตรขนาด 100 มล. จะได้ความเข้มข้นของเหล็ก 25 ppm
- บีบสารละลายที่มีความเข้มข้นของเหล็ก 25 ppm มา 1 มล. ทำให้เป็น 10 มล. ในขวดปริมาตรขนาด 10 มล. จะได้ความเข้มข้นของเหล็ก 2.5 ppm
- บีบสารละลายที่มีความเข้มข้นของเหล็ก 25 ppm มา 2 มล. ทำให้เป็น 10 มล. ในขวดปริมาตรขนาด 10 มล. จะได้ความเข้มข้นของเหล็ก 5 ppm
- บีบสารละลายที่มีความเข้มข้นของเหล็ก 25 ppm มา 3 มล. ทำให้เป็น 10 มล. ในขวดปริมาตรขนาด 10 มล. จะได้ความเข้มข้นของเหล็ก 7.5 ppm
- บีบสารละลายที่มีความเข้มข้นของเหล็ก 25 ppm มา 4 มล. ทำให้เป็น 10 มล. ในขวดปริมาตรขนาด 10 มล. จะได้ความเข้มข้นของเหล็ก 10 ppm
- นำสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นของเหล็ก 2.5, 5, 7.5 และ 10 ppm มาวัดค่า absorbance โดยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer
- สร้าง standard curve ระหว่างค่า absorbance กับความเข้มข้นของเหล็ก
- จากค่า absorbance ของสารละลายที่วิเคราะห์ได้ สามารถหาปริมาณเหล็กได้

- จากปริมาณเหล็กที่ทราบ นำไปคำนวณหาปริมาณกำมะถันไฟไรต์ในตัวอย่าง
ถ่านหินได้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของเหล็ก} = 1/4 (x/W)$$

เมื่อ x = ความเข้มข้นของเหล็กที่อ่านจาก standard curve (ppm)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (ppm)

$$\text{ร้อยละของกำมะถันไฟไรต์} = \text{ร้อยละของเหล็ก} \times 1.148$$

หมายเหตุ แสดงที่มาของสูตร

หน่วย ppm = มิลลิกรัม/ลิตร

สมมติว่าปริมาณเหล็ก x มิลลิกรัม/ลิตร ในสารละลายตัวอย่าง 10 มล.

นั่นคือ สารละลายตัวอย่าง 10 มล. มีปริมาณเหล็ก $(10)x/1000$ มิลลิกรัม

สารละลายตัวอย่าง 250 มล. มีปริมาณเหล็ก $(10)(25)x/1000$ มิลลิกรัม

น้ำหนักถ่านหิน W กรัม มีปริมาณเหล็ก $(10)(25)x/1000 \times 1000$ กรัม

น้ำหนักถ่านหิน 100 กรัม มีปริมาณเหล็ก $1/4(x/W)$ กรัม

ถ้ามีปริมาณเหล็ก 55.85 กรัม จะเป็นซัลเฟอร์ในรูป (FeS_2) 32×2 กรัม

ปริมาณเหล็ก $1/4(x/W)$ กรัม จะเป็นซัลเฟอร์ในรูป (FeS_2)

$$= (32 \times 2 / 55.85) (1/4) (x/W) \quad \text{กรัม}$$

$$= 1.148 \times \text{ร้อยละของเหล็ก}$$

2.3 การหาปริมาณกำมะถันอินทรีย์ (Organic Sulfur)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์} = \text{ร้อยละของกำมะถันรวม} - \text{ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต} - \text{ร้อยละของกำมะถันไฟไรต์}$$

การคำนวณความเข้มข้นไฟไรต์ในถ่านหิน

$$\text{ความหนาแน่นของถ่านหิน} = z \text{ กก./ลบ.ม.}$$

$$\text{ดังนั้น น้ำหนักของถ่านหิน } x \text{ กก. (MAF) มีปริมาตร} = x/Z \text{ ลบ.ม.}$$

$$\text{ถ่านหิน 100 กก. มีกำมะถันไฟไรต์} = Y \text{ กก. (MAF)}$$

$$\text{ถ่านหิน } x \text{ กก. มีกำมะถันไฟไรต์} = xY/100 \text{ กก.}$$

$$\text{กำมะถัน 64 กก. เป็นไฟไรต์} = 119.98 \text{ กก.}$$

$$\text{" } xY/100 \text{ " " } = 119.98XY/100 \times 64 \text{ กก.}$$

$$= XY/100 \times 64 \text{ กิโลโมล}$$

$$\text{ดังนั้นคิดเป็นความเข้มข้น} = YZ/100 \times 64 \text{ กิโลโมล/ลบ.ม.}$$

การหาค่าความร้อนของถ่านหิน (Gross Heating Value) : ASTM D 3286

หลักการ

การทำงานภายในเครื่องบอมบ์คาลอรีมิเตอร์ คือ ปรับอุณหภูมิของน้ำในถังให้เท่ากับเครื่องแซ่บอมบ์ เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและวัดอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจากตัวอย่างที่ถูกเผาไหม้ แล้วนำมาคำนวณหาค่าความร้อนของการเผาไหม้ตัวอย่างถ่านหิน และค่าน้ำหนักสมมูลของเครื่องบอมบ์คาลอรีมิเตอร์คำนวณได้จากค่าความร้อนของการเผาไหม้กรดเบนโซอิก

1. การหาค่าน้ำหนักสมมูล (water equivalent) ของเครื่องบอมป์กาลอริมิเตอร์

เครื่องมือ

oxygen bomb calorimeter

สารเคมี

- กรดเบนโซอิก (benzoic acid)
- 0.072 N ของ Na_2CO_3
- methyl orange
- ก๊าซออกซิเจน
- น้ำกลั่น

วิธีการทดลอง

- ชั่งกรดเบนโซอิก (benzoic acid) หนัก 0.9 ถึง 1.0 กรัม อัดเป็นเม็ด โดยใช้เครื่องอัด แล้วนำกรดเบนโซอิกอัดก้อนนี้มาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกผลไว้
- ตัดลวด (fuse wire) ยาว 10 เซนติเมตร มาผูกระหว่างปลายทั้งสองของหัวบอมป์
- นำกรดเบนโซอิกอัดก้อนมาวางใน crucible นำ crucible ไปวางในตำแหน่งบนหัวบอมป์ จัดให้ลวดที่ผูกไว้โค้งจนแตะผิวหน้าของกรดเบนโซอิก
- เติมน้ำกลั่นลงในออกซิเจนบอมป์ 1 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต
- ประกอบหัวบอมป์กับออกซิเจนบอมป์เข้าด้วยกันขันเกลียวให้แน่น แล้วนำไปอัดก๊าซออกซิเจน จนมีความดัน 20-25 บรรยากาศ
- เติมน้ำลงในถังบอมป์ 1 ลิตร โดยให้น้ำมีอุณหภูมิประมาณ 24-25 °C นำออกซิเจนบอมป์ที่อัดก๊าซเรียบร้อยแล้ววางในถังบอมป์ เติมน้ำลงไปถังอีก 1 ลิตร เสียบสายจลจรเบ็ด 2 เส้นต่อกับบอมป์ ปิดฝาของเครื่อง
- เปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงานทุกนาที บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำ เมื่อเครื่องเดินประมาณ 5 นาที กดปุ่มจลจรเบ็ด บันทึกค่าอุณหภูมิที่จลจรเบ็ดนี้ และอ่านอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นทุกครึ่งนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสูงสุด แล้วลดลงหรือคงที่ในที่สุด

- ปิดสวิทช์ของเครื่อง นำออกซิเจนบอมบ์ออกมาจากเครื่อง ปล่องก๊าซจากบอมบ์อย่างช้าๆ ให้หมด
- ล้างหัวบอมบ์และออกซิเจนบอมบ์รวมทั้ง crucible ด้วยน้ำกลั่นที่เติม methyl orange จนหมดกรด (น้ำที่ล้างไม่เป็นสีชมพู)
- นำน้ำล้างที่ได้ไปไตเตรทกับ 0.072 N ของ Na_2CO_3 บันทึกจำนวนมิลลิลิตรของ Na_2CO_3 ที่ใช้ไป
- วัดความยาวของลวดที่เหลือจากการเผาไหม้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$W = (Hg + e_1 + e_3) / t$$

เมื่อ W = ค่าน้ำหนักสมมูลของเครื่องบอมบ์คาลอริมิเตอร์ , แคลอรีต่อ °ฟ

H = ค่าความร้อนของการเผาไหม้กรดเบนโซอิก

= 6318 คาลอรีต่อกรัม

g = น้ำหนักของกรดเบนโซอิก (กรัม)

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก, แคลอรี

= จำนวนมิลลิลิตรของ 0.072 N Na_2CO_3 ที่ใช้ไตเตรท

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของลวด, แคลอรี

= (2.3) x (ความยาวของลวดที่ใช้ไป, เซนติเมตร)

t = อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น, °ฟ

2. การหาค่าความร้อนของถ่านหิน

วิธีการทดลอง

- วางใยแก้วลงใน crucible แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินใส่ลงไปประมาณ 1 กรัม
- ทำการทดลองเช่นเดียวกับกรณีของกรดเบนโซอิก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$H = (tw - e_1 - e_2 - e_3) / g$$

เมื่อ H = ค่าความร้อนของการเผาไหม้ถ่านหิน (แคลอรีต่อกรัม)

t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นซึ่งได้แก่ค่าเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์แล้ว ($^{\circ}\text{F}$)
 $= t_c - t_u$

t_c = อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ที่แก้ค่าเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์แล้ว, ($^{\circ}\text{F}$)

t_u = อุณหภูมิเริ่มจุดระเบิดที่แก้ค่าเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์แล้ว, ($^{\circ}\text{F}$)

W = ค่าน้ำหนักสมมูล (แคลอรีต่อ $^{\circ}\text{F}$)

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก

\cong จำนวนมิลลิลิตรของ 0.072 N ของ Na_2CO_3 ที่ใช้ในการไตเตรท

e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดซัลฟูริก

$= 14 \times (\% \text{ กำมะถัน})$

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของการเผาไหม้ลวด

$= (2.3) \times (\text{ความยาวลวดที่ใช้ไป, เซนติเมตร})$

g = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

3. การหาปริมาณกำมะถันในถ่านหิน

เครื่องมือ

- เตาเผา (muffle furnace) , porcelain crucible, บีกเกอร์
- ตะเกียงเบนเซน, กรวยกรอง, กระดาษกรอง

สารเคมี

- น้ำโบรมีนอิ่มตัว
- สารละลาย HCl (1:9)
- สารละลายแบเรียมคลอไรด์ 100 กรัม/ลิตร

วิธีการทดลอง

- นำน้ำล้างบอมบ์ภายหลังการไตเตรทกับ Na_2CO_3 แล้ว มาต้มจนเดือด กรองขณะร้อนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง
- นำสารละลายที่ได้มาเติมน้ำโบรมีนอิ่มตัว 1 มิลลิลิตร
- ทำให้เป็นกรดด้วยสารละลาย HCl (1:9) นำไปต้มจนเดือด
- ค่อยๆ เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ ตั้งทิ้งไว้ค้างคืนที่อุณหภูมิห้อง หรืออย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 (ashless) ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้งจนหมดคลอไรด์ไอออน ทดสอบด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท
- นำกระดาษกรองพร้อมตะกอนแบเรียมซิลเฟตที่กรองได้มาใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้วนำไปเผาจนหมดควันบนตะเกียงเบนเซน แล้วนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 925°C เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักตะกอนคงที่
- ทำให้เย็นใน desiccator ซึ่งน้ำหนักตะกอนแบเรียมซิลเฟต บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของกำมะถัน} = 13.738 (A - B) / W$$

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน BaSO_4 จากตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

B = น้ำหนักตะกอน BaSO_4 จากการทำ blank correction (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณเถ้า} = \text{ร้อยละของปริมาณเถ้า} \times 100 / (100-m)$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

$$\text{ร้อยละของปริมาณสารระเหย} = \text{ร้อยละของปริมาณสารระเหย} \times 100 / (100-m)$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

$$\text{ร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัว} = \text{ร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัว} \times 100 / (100-m)$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

$$\text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันรวม} = \text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันรวม} \times 100 / (100-m)$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

$$\text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันไฟโรต์} = \text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันไฟโรต์} \times 100 / (100-m)$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

$$\text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันซัลเฟต} = \text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันซัลเฟต} \times 100 / (100-m)$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

$$\text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันอินทรีย์} = \text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันอินทรีย์} \times 100 / (100-m)$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

หมายเหตุ m คือ ร้อยละความชื้น

MAF คือ การคำนวณแบบไม่รวมความชื้นและเถ้า

(moisture ash free basis)

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ตามช่วงเวลาต่างๆ ในกระบวนการจัดกำมะถัน ที่ความเข้มข้นสารละลายเฟอริกคลอไรด์ 0.5, 0.8 และ 1.0 โมลต่อลิตร (ขนาดถ่านหิน 500-750 ไมโครเมตร ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 90 °ซ อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที ตามระยะเวลา 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180 และ 240 นาที

ความเข้มข้น	0.5 โมลต่อลิตร				0.8 โมลต่อลิตร				1.0 โมลต่อลิตร				
	เวลา (นาที)	ค่า (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ค่า (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ค่า (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)		
			ซิลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซิลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซิลเฟต	ไพไรต์	รวม
0	10.80	1.65	1.32	3.22	10.83	1.65	1.33	3.20	10.91	1.68	1.25	3.20	
10	10.72	0.24	1.29	2.49	10.72	0.23	1.11	2.46	10.79	0.23	0.89	2.44	
20	9.89	0.20	1.20	2.37	10.32	0.19	1.07	2.34	10.24	0.21	0.84	2.23	
30	9.76	0.18	1.13	2.34	9.74	0.17	1.03	2.33	9.57	0.17	0.80	2.31	
60	8.72	0.18	1.12	2.34	8.60	0.18	0.93	2.30	8.33	0.16	0.75	2.28	
90	8.69	0.17	1.10	2.29	8.43	0.15	0.81	2.27	7.61	0.16	0.69	2.28	
120	8.15	0.17	1.09	2.26	7.85	0.12	0.78	2.22	7.05	0.14	0.64	2.12	
180	8.03	0.15	0.91	2.25	7.68	0.12	0.67	2.08	6.91	0.13	0.56	2.04	
240	7.07	0.12	0.71	2.20	7.02	0.11	0.60	2.05	6.86	0.10	0.49	2.01	

ตารางที่ ข.2 สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ตามช่วงเวลาต่างๆในกระบวนการจัดกำมะถัน ที่อุณหภูมิ 50, 70, 90 และ 120 °ซ
 (ความเข้มข้นสารละลายเฟอริกคลอไรด์ 1.0 โมลต่อลิตร ขนาดถ่านหิน 500-750 ไมโครเมตร ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย
 500 มิลลิลิตร อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที ตามระยะเวลา 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180 และ 240 นาที

อุณหภูมิ	50 °ซ				70 °ซ				90 °ซ				120 °ซ				
	เวลา (นาที)	ค่า (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ค่า (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ค่า (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ค่า (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)		
			ซิลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซิลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซิลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซิลเฟต	ไพไรต์	รวม
0	10.82	1.65	1.20	3.19	11.12	1.67	1.18	3.19	10.91	1.68	1.25	3.20	11.53	1.67	1.21	3.22	
10	10.33	0.24	1.15	2.49	11.07	0.23	0.85	2.48	10.79	0.23	0.89	2.44	10.96	0.21	0.87	2.42	
20	9.87	0.23	1.08	2.40	9.77	0.23	0.82	2.38	10.24	0.21	0.84	2.33	10.52	0.18	0.82	2.31	
30	9.59	0.23	1.01	2.36	8.92	0.18	0.81	2.36	9.57	0.17	0.80	2.31	10.24	0.17	0.78	2.27	
60	8.84	0.19	0.90	2.35	9.40	0.18	0.81	2.35	8.33	0.16	0.75	2.28	9.83	0.13	0.70	2.20	
90	8.80	0.18	0.84	2.35	8.39	0.18	0.78	2.35	7.61	0.16	0.69	2.12	9.41	0.12	0.62	2.15	
120	8.61	0.17	0.79	2.32	8.19	0.16	0.71	2.29	7.05	0.14	0.64	2.12	8.72	0.10	0.55	2.10	
180	8.43	0.16	0.71	2.27	8.03	0.14	0.69	2.26	6.91	0.13	0.56	2.04	7.21	0.07	0.42	2.00	
240	8.28	0.15	0.63	2.20	7.93	0.12	0.50	2.15	6.86	0.10	0.49	2.01	6.44	0.05	0.36	1.93	

ตารางที่ ข.3 สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ตามช่วงเวลาต่างๆ ในกระบวนการจัดกำมะถัน ที่มีขนาดถ่านหิน 150, 250 และ 500-750 ไมโครเมตร ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มิลลิลิตร ความเข้มข้นสารละลายเฟอริกคลอไรด์ 1.0 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 90 °ซ อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที ตามระยะเวลา 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180 และ 240 นาที

ขนาดถ่านหิน	150 ไมโครเมตร				250 ไมโครเมตร				500-750 ไมโครเมตร				
	เวลา (นาที)	ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)		
			ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม
0	10.98	1.65	1.22	3.19	11.01	1.66	1.24	3.20	10.91	1.68	1.25	3.20	
10	10.69	0.20	1.01	2.41	10.70	0.22	1.03	2.41	10.79	0.23	0.89	2.44	
20	10.23	0.18	0.89	2.35	10.14	0.18	0.91	2.32	10.24	0.21	0.84	2.33	
30	9.45	0.17	0.81	2.24	9.48	0.18	0.87	2.29	9.57	0.17	0.80	2.31	
60	8.41	0.14	0.70	2.21	8.51	0.15	0.74	2.20	8.33	0.16	0.75	2.28	
90	7.39	0.12	0.65	2.16	7.57	0.13	0.70	2.11	7.61	0.16	0.69	2.28	
120	7.11	0.10	0.57	2.09	7.10	0.12	0.61	2.03	7.05	0.14	0.64	2.12	
180	6.90	0.08	0.44	2.01	6.83	0.10	0.53	2.01	6.91	0.13	0.56	2.04	
240	6.67	0.06	0.38	1.94	6.74	0.08	0.42	1.98	6.86	0.10	0.49	2.01	

ตารางที่ ข.4 สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ตามช่วงเวลาต่างๆ ในกระบวนการจัดกำมะถัน ที่ความเข้มข้นสารละลายเฟอริกซัลเฟต 0.5, 0.8 และ 1.0 โมลต่อลิตร (ขนาดถ่านหิน 500-750 ไมโครเมตร ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 90 °ซ อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที ตามระยะเวลา 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180 และ 240 นาที

ความเข้มข้น	0.5 โมลต่อลิตร				0.8 โมลต่อลิตร				1.0 โมลต่อลิตร				
	เวลา (นาที)	ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)		
			ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม
0	10.88	1.65	1.29	3.19	10.86	1.66	1.30	3.20	10.90	1.64	1.25	3.23	
10	10.77	0.44	1.11	2.49	10.69	0.43	1.00	2.48	10.75	0.41	0.93	2.48	
20	10.06	0.36	0.92	2.45	10.22	0.33	0.97	2.43	10.37	0.29	0.86	2.40	
30	9.90	0.28	0.88	2.38	9.75	0.21	0.86	2.31	10.08	0.22	0.78	2.34	
60	9.03	0.22	0.84	2.34	8.80	0.18	0.80	2.29	9.44	0.18	0.67	2.28	
90	8.39	0.19	0.79	2.30	8.24	0.17	0.75	2.25	8.52	0.15	0.61	2.20	
120	7.81	0.17	0.73	2.27	7.85	0.15	0.69	2.19	7.99	0.13	0.55	2.14	
180	7.36	0.16	0.69	2.24	7.53	0.14	0.64	2.08	7.45	0.12	0.51	2.07	
240	7.19	0.14	0.64	2.21	7.17	0.13	0.58	2.03	6.96	0.11	0.47	2.04	

ตารางที่ ข.5 สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ(แบบไม่รวมความชื้น)ตามช่วงเวลาต่างๆในกระบวนการจัดกำมะถัน ที่อุณหภูมิ 50,70,90 และ 120 °ซ (ความเข้มข้นสารละลายเฟอร์ริกซัลเฟต 1.0 โมลต่อลิตร ขนาดถ่านหิน 500-750 ไมโครเมตร ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มิลลิลิตร อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที ตามระยะเวลา 10,20,30,60,90,120,180 และ 240 นาที

อุณหภูมิ	50 °ซ				70 °ซ				90 °ซ				120 °ซ				
	เวลา (นาที)	ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน(%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน(%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน(%)		
			ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม
0	10.83	1.68	1.23	3.20	10.83	1.69	1.22	3.22	10.90	1.64	1.25	3.23	11.07	1.68	1.24	3.26	
10	10.71	0.49	1.19	2.52	10.60	0.47	1.17	2.50	10.75	0.41	0.93	2.48	10.92	0.31	0.90	2.41	
20	10.19	0.35	0.99	2.44	10.00	0.32	0.95	2.45	10.37	0.29	0.86	2.40	10.48	0.20	0.85	2.30	
30	9.91	0.27	0.95	2.39	9.98	0.25	0.82	2.39	10.08	0.22	0.78	2.34	10.11	0.19	0.75	2.24	
60	9.62	0.24	0.90	2.36	9.48	0.20	0.77	2.33	9.44	0.18	0.67	2.28	9.64	0.18	0.61	2.19	
90	9.38	0.21	0.86	2.31	9.11	0.18	0.63	2.27	8.52	0.15	0.61	2.20	8.85	0.16	0.56	2.13	
120	8.81	0.18	0.75	2.28	8.53	0.17	0.57	2.27	7.99	0.13	0.55	2.14	7.72	0.12	0.49	2.06	
180	8.54	0.17	0.70	2.26	8.03	0.15	0.53	2.24	7.45	0.12	0.51	2.07	7.19	0.09	0.40	1.99	
240	8.37	0.16	0.65	2.22	7.44	0.14	0.51	2.20	6.96	0.11	0.47	2.04	6.41	0.06	0.35	1.92	

ตารางที่ ข.6 สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ตามช่วงเวลาต่างๆ ในกระบวนการจัดกำมะถัน ที่มีขนาดถ่านหิน 150, 250 และ 500-750 ไมโครเมตร ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มิลลิลิตร ความเข้มข้นสารละลายเฟอริกซัลเฟต 1.0 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 90 °ซ อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที ตามระยะเวลา 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180 และ 240 นาที

ขนาดถ่านหิน	150 ไมโครเมตร				250 ไมโครเมตร				500-750 ไมโครเมตร				
	เวลา (นาที)	ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)		
			ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม
	0	10.95	1.67	1.19	3.24	10.92	1.65	1.28	3.21	10.90	1.64	1.25	3.23
	10	10.80	0.36	1.02	2.43	10.79	0.38	1.08	2.51	10.75	0.41	0.93	2.48
	20	10.25	0.22	0.90	2.32	10.10	0.24	0.94	2.37	10.37	0.29	0.86	2.40
	30	9.73	0.20	0.81	2.26	9.66	0.19	0.87	2.30	10.08	0.22	0.78	2.34
	60	8.89	0.18	0.72	2.20	8.98	0.19	0.80	2.23	9.44	0.18	0.67	2.28
	90	8.11	0.15	0.60	2.15	8.15	0.17	0.72	2.18	8.52	0.15	0.61	2.20
	120	7.55	0.12	0.51	2.10	7.31	0.14	0.66	2.11	7.99	0.13	0.55	2.14
	180	7.07	0.10	0.45	2.03	7.03	0.13	0.51	2.04	7.45	0.12	0.51	2.07
	240	6.68	0.08	0.36	1.95	6.65	0.10	0.43	2.00	6.96	0.11	0.47	2.04

ประวัติผู้เขียน

นางสาว มณีนีไล แห่งทรัพย์เจริญ เกิดเมื่อวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2511 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2531 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2532



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย