



เอกสารอ้างอิง

1. งานถ่านหิน กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ. "พลังงานจากถ่านหินในประเทศไทย."
ข่าวสารการธรณี 31 (มีนาคม 2529) : 26-38.
2. ASTM Standards, D 388, "Coal by Rank," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1985.
3. เกริกชัย สุภาจันท์, "ถ่านหิน," ไอน้ำและพลังงานจากถ่านหิน, หน้า 2-5 วิศวกรรมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2529.
4. Meyer, R.A., Coal Handbook, pp. 1-50, Marcel Dekker Ltd., New York, 1st ed., 1981.
5. Blaustein, B.D. (ed.), "New Approaches in Coal Chemistry," ACS Symposium Series 169, American Chemical Society, Washington D.C., 1981.
6. Eliot, R.C., Coal Desulfurization Prior to Combustion, pp. 6-43, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, 1st ed., 1978.
7. Nishioka, Lee, M.L., and Castle, R.N., "Sulphur Heterocycles in Coal-derived Products," Fuel, 65, 392-395, 1986.
8. อรุณรัตน์ วุฒิมงคลชัย, "ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน," วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
9. Khoury, D.L., Coal Cleaning Technology, pp. 33-98, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, 1981.
10. Araya, P.E., Ohlbaum, R.B., and Droguett, D.E., "Study of the Treatment of Subbituminous Coal by NaOH Solutions," Fuel, 60, 1127-1130, 1981.
11. King, W.E., and Lewis, J.A., "Simultaneous Effects of Oxygen and Ferric Iron on Pyrite Oxidation in an Aqueous Slurry," Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., 19(4), 719-722, 1980.
12. Joshi, J.B. et al., "Modeling of Three Phase Reactors: A Case of Oxydesulfurization of Coal," AIChE Journal, 27(6), 937-945, 1981.
13. Ludmila Lompa-Krzymien, "Complete Removal of Sulphur from Coal Using Solutions Containing Cupric Ions," Fuel, 61, 871-872, 1982.

14. Levenspiel, O., Chemical Reaction Engineering, pp. 357-377, John Wiley & Sons, Inc., Singapore, 2nd ed., 1972.
15. JOHN, B.B., Reaction Kinetics and Reactor Design, pp. 14-17, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1980.
16. Porter, C.R., et al., "Method for the Removal of Sulfur from Carbonaceous Material," U.S. Pat 4, 324,559, April 13, 1982.
17. Husein, K., and Ramazan, C., "Removal of sulphur from four Central Anatolian lignites by NaOH," Fuel, 67(2), 170-172, 1988.
18. Joshi, J.B., and Shah, Y.T., "Kinetics of organic sulphur removal from coal by Oxydesulphurization," Fuel, 60, 612-614, 1981.
19. Slagle, D., Shah, Y.T., Shah, and Joshi, J.B., "Kinetics of Oxydesulfurization of Upper Freeport Coal," Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., 19, 294-300, 1980.
20. Oshinowo, T., and Ofi, O., "Kinetics of Chemical Desulphurization of Coal in Aqueous Ferric Chloride," The Canadian Journal of Chemical Engineering, 65, 481-486, 1987.
21. วิทยา บันสุวรรณ, "การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยวิธีออกซิเดชัน," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.
22. สมชัย อัครทิวาและประเสริฐ กลกิจสกุลผล, "การขจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์," รายงานโครงการวิจัย, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
23. กัทธมา ศิริจีระชัย, "การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยวิธีออกซิเดชันในสารละลายเบส," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
24. เอกชัย อานนท์กิจพานิช, "การขจัดกำมะถันและกำมะถันในถ่านหินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
25. ASTM Standards, D 3173, "Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
26. ASTM Standards, D 3174, "Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.

27. ASTM Standards, D 3175, "Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
28. ASTM Standards, D 3177, "Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
29. ASTM Standards, D 2492, "Forms of Sulfur in Coal," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
30. ASTM Standards, D 3286, "Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Isothermal-Jacket Bomb Calorimeter," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
31. Hsieh K.C., and Wert C.A., Direct-measurement of Organic Sulphur in Coal, Fuel, 64, 255-261, 1985.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์

1) การวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณ (Proximate Analysis) : ASTM D 3173

1.1 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), ภาดอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด, desiccator

วิธีการทดลอง

- อบภาดอลูมิเนียมพร้อมฝายในตู้อบ (drying oven) ที่อุณหภูมิ 110 °ซ ประมาณ 30 นาที จากนั้นนำเข้า desiccator ทิ้งให้เย็นประมาณ 15 นาที นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล
- ชั่งตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1 กรัม ำลงในภาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแล้วอย่างรวดเร็ว ปิดฝาทันที บันทึกน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินไว้
- นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 105 ° - 110 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (น้ำหนักตัวอย่างถ่านหินคงที่)
- หลังจากนั้นนำไปใส่ desiccator ทิ้งให้เย็นประมาณ 15 นาที แล้วชั่งน้ำหนักของภาดอลูมิเนียมพร้อมฝายที่มีตัวอย่างถ่านหินที่อบแล้วอยู่ภายใน บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

W_1 = น้ำหนักของภาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินเริ่มต้นก่อนอบ(กรัม)

W_2 = น้ำหนักของภาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของถ่านหินที่อบแล้ว (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

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

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอนแล้ว ไปเผาที่ ความร้อนในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 500 °ซ เป็นเวลา 1 ชม. และเพิ่มความร้อนเป็น 750 °ซ จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ของ crucible รวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือ จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้า คำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผา

เครื่องมือ เตาเผา (Muffle Furnace) , crucible แบบ porcelain พร้อม ฟา desiccator

วิธีการทดลอง

- เตา crucible แบบ porcelain พร้อมฟานเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก crucible พร้อมฟา
- ชั่งตัวอย่างถ่านหินใส่ crucible ประมาณ 1 กรัม
- นำไปเผาบนตะเกียงเบนเซน จนควันระเหยหมด
- นำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 °ซ นานประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วเพิ่มอุณหภูมิ เป็น 750 °ซ เตาจนน้ำหนักคงที่ นำ crucible. ออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า

W_3 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฟาและเถ้า (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฟา (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

1.3 ปริมาณสารระเหยในตัวอย่างถ่านหิน (Volatile Matter in The Analysis Sample of Coal) : ASTM D 3175

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน แล้วมาเผาที่ ความร้อนในเตาเผาแบบท่อ (tubular furnace) ปริมาณสารระเหย คำนวณได้จากน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินที่หายไป

เครื่องมือ เตาเผา (tubular furnace), nickle crucible พร้อมฟา, desiccator

วิธีการทดลอง

- เพา nickle crucible พร้อมฝา เวนเตาเผาอุณหภูมิ 950° ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักของ crucible พร้อมฝา พร้อมทั้งบันทึกผล
- ชั่งตัวอย่างถ่านหินสำเนา nickle crucible ประมาณ 1 กรัม
- นำ nickle crucible พร้อมตัวอย่างถ่านหินที่ปิดฝาเรียบร้อยแล้วไปเผาใน tubular furnace โดยให้ความร้อนเป็น 2 ช่วง ๆ ละ 6 นาที ช่วงแรกเป็นการเริ่มต้นให้ความร้อนแก่ถ่านหินที่อุณหภูมิ 300° ซ 3 นาที และที่อุณหภูมิ 600° ซ 3 นาที ช่วงที่สองเป็นการให้ความร้อนที่กึ่งกลางเตาเผาอุณหภูมิ 950° ซ เป็นเวลา 6 นาที
- นำ crucible ออกจากเตาเผา ทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักของ crucible พร้อมฝาและถ่านหินที่เหลือ บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = (W_5 - W_6) / W \times 100 - M$$

เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย

M = ร้อยละของความชื้น

W₅ = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา รวมกับน้ำหนักถ่านหินก่อนเผา (กรัม)

W₆ = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา รวมกับน้ำหนักถ่านหินหลังเผา (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

1.4) ปริมาณคาร์บอนคงตัวในตัวอย่างถ่านหิน (fixed carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = 100 - ร้อยละของความชื้น - ร้อยละของเถ้า - ร้อยละของสารระเหย

2) การหาปริมาณกำมะถันรวม (total Sulfur) ในตัวอย่างถ่านหิน โดยวิธี Eschka

Method : ASTM D 3177

หลักการ เพาตัวอย่างถ่านหินร่วมกับ Eschka mixture กำมะถันที่ประกอบอยู่ในถ่านหินจะเปลี่ยนเป็นรูปของซัลเฟตอิออน ดังนั้นสามารถหาปริมาณกำมะถันในตัวอย่างถ่านหินได้จากรูปของแบเรียมซัลเฟต (BaSO₄)

เครื่องมือ เตาเผา (muffle furnace), porcelain crucible, บีกเกอร์,

electric hot plate, ทรายกรอง , กระดาษกรอง

สารเคมี

- Eschka mixture ประกอบด้วย แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) กับโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ในอัตราส่วน 2 : 1 ทรายน้ำหนัก
 - น้ำกลั่น
 - สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) ความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร
 - สารละลายกรดเกลือ , HCl (1:9)
 - สารละลายกรดเกลือ , HCl (2:3)
- methyl orange indicator ทรายละลาย methyl orange 0.02 กรัมในน้ำร้อน 100 มล. แล้วกรอง
- สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ทรายใช้ผลึกของ (Na_2CO_3) $10 H_2O$ 60 กรัม หรือ anhydrous Na_2CO_3 22 กรัม ทรายในน้ำกลั่นแล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 100 มล.

วิธีการทดลอง

- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1 กรัม รวมกับ Eschka mixture 3 กรัม ใน crucible ผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง แล้วปิดทับด้วย Eschka mixture อีก 1 กรัม
- นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ $825^{\circ}C$ ประมาณ 3 ชั่วโมง เฝ้าจนกระทั่งสีดำของถ่านหินหมดไป
- นำ crucible ออกจากเตาเผา ย่อยสารใน crucible ด้วยน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร เป็นเวลาประมาณ 30 นาที
- กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนสารละลายที่กรองได้มีปริมาตรประมาณ 250 มิลลิลิตร
- นำสารละลายที่กรองได้ให้เบีกรดด้วย HCl (1:9)
- นำสารละลายให้เบีกรกลางด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ทรายใช้เมธิลออเรนจ เป็นอินดิเคเตอร์
- นำสารละลายให้เบีกรดเล็กน้อยโดยเติม HCl (1:9) 1 มิลลิลิตร
- ต้มสารละลายให้เดือด แล้วเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ลงไปอย่างช้า ๆ 10 มิลลิลิตร ด้วยปิเปต ขณะที่เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ คนสารละลายอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา ต้มสารละลายต่อไปอีกประมาณ 15 นาที ได้ตะกอนสีขาวขุ่นของแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน หรือ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- กรองตะกอน $BaSO_4$ ด้วยกระดาษกรอง ashless เบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนน้ำล้างตะกอนปราศจากคลอไรด์อ่อน ซึ่งทดสอบโดยใช้สาร



ละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3)

- นำตะกอนที่กรองได้พร้อมกระดาษกรองใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 850 °ซ เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนหนัก crucible พร้อมตะกอน BaSO_4 คงที่ นำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักของตะกอน BaSO_4
- blank correction ทำการทดลองเหมือนข้างต้นทุกประการ แต่ไม่ใช้ตัวอย่าง ถ่านหินเท่านั้น เพื่อตรวจสอบว่าสารเคมีที่ใช้มีปริมาณกำมะถันอยู่เล็กน้อยเพียงใด สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

- เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน BaSO_4 ที่ได้จากตัวอย่าง (กรัม)
- B = น้ำหนักตะกอน BaSO_4 ที่ได้จากblank (กรัม)
- C = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหินที่ชั่ง (กรัม)

3) การหารูปแบบของกำมะถันในถ่านหิน (Forms of Sulfur in Coal): ASTM D 2492

3.1 การหาปริมาณกำมะถันซัลเฟต (Sulfate Sulfur)

หลักการ กำมะถันซัลเฟต จะถูกสกัดออกจากตัวอย่างถ่านหินโดยสารละลายกรดเกลือเจือจาง และคำนวณหาปริมาณกำมะถันซัลเฟตได้จากตะกอนแบเรียมซัลเฟต

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 เอธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 โดยปริมาตร
- สารละลาย แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เข้มข้น 5 โมลาร์
- สารละลาย แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ (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.

วิธีการทดลอง

- ชั่งตัวอย่างกำนหินประมาณ 2 กรัม ๑ ส่วนเปียเกอร์ เติมสารละลาย HCl (2:3) 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ประมาณ 2 มิลลิลิตร คนให้กำนหินเปียกทั่ว ปิดด้วยกระจกนาฬิกา
- ต้มบน electric hot plate ให้สารละลายค่อย ๆ เดือด ประมาณ 30 นาที
- กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนแน่ใจว่าล้าง HCl จากตะกอนหมดแล้ว เก็บตะกอนที่ได้จากการกรองไว้ เพื่อนำไปวิเคราะห์หากำมะถันไฟรต์ต่อไป
- นำสารละลายที่ได้จากการกรองมาเติมน้ำโบรมีน 5 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือดอย่างน้อย 5 นาที
- เติมสารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ 5 มิลลาร์ อย่างช้า ๆ จนกระทั่งเป็นด่างเล็กน้อย (ทดสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส) แล้วเติมให้มากเกินพออีก 5 มิลลิลิตร คนสารละลายสม่ำเสมอ จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงของเพอร์ริกาไฮดรอกไซด์ $Fe(OH)_3$
- กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยสารละลาย NH_4OH (1:10)
- นำสารละลายที่ได้จากการกรองมาเติม methyl orange 2-3 หยด ทำให้เป็นกรดด้วยสารละลาย HCl เข้มข้น 12 มิลลาร์
- ต้มให้เดือดบน electric hot plate เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์อย่างช้า ๆ 10 มิลลิลิตร คนสารละลาย ตลอดเวลาขณะเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ ต้มสารละลายให้เดือดต่อไปอีกประมาณ 15 นาที ได้ตะกอนสีขาวขุ่นของแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) ตั้งทิ้งไว้ค้างคืนหรือน้อยกว่า 2 ชั่วโมง
- กรองตะกอนแบเรียมซัลเฟตด้วยกระดาษกรอง ashless เบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนน้ำล้างตะกอนปราศจากคลอไรด์ไอออน ตรวจสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ($AgNO_3$)
- นำตะกอนที่กรองได้พร้อมกระดาษกรองใส่ crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ $800^\circ C$ ประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักของตะกอน $BaSO_4$ คงที่ นำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักของตะกอน $BaSO_4$
- blank correction ทำการทดลองเหมือนข้างต้นทุกประการ แต่ไม่ใช้ตัวอย่างกำนหิน เพื่อตรวจสอบว่าสารเคมีที่ใช้มีปริมาณกำมะถันซัลเฟตอยู่เล็กน้อยเพียงใด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

- เมื่อ A* = น้ำหนักตะกอน BaSO₄ ที่ได้จากตัวอย่าง (กรัม)
 B* = น้ำหนักตะกอน BaSO₄ ที่ได้จากblank (กรัม)
 C* = น้ำหนักของตัวอย่างกำหนดที่ชี้ (กรัม)

3.2 การหาปริมาณกำมะถันไพไรต์ (Pyritic Sulfur)

หลักการ กำมะถันไพไรต์จะถูกสกัดออกมาจากถ่านหินโดยใช้สารละลาย HNO₃ (1:7) วิเคราะห์ผลออกมาในรูปของเหล็กโดยใช้เครื่องมือ atomic absorption spectrophotometer แล้วคำนวณหาปริมาณกำมะถันไพไรต์ได้จากปริมาณเหล็ก

เครื่องมือ atomic absorption spectrophotometer, ขวดปริมาตร ปิเปต สารเคมี

- สารละลาย HNO₃ (1:7)

วิธีการทดลอง

- นำตะกอนที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันซัลเฟตมาละลายด้วยสารละลาย HNO₃ (1:7) 50 มิลลิลิตร ประมาณ 30 นาที หรือทิ้งค้างคืน
- กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำเย็น อย่างน้อย 6 ครั้ง
- ทำสารละลายให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 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
- ปิเปตสารละลายที่มีความเข้มข้นของเหล็ก 25 ppm มา 1 มล. ทำให้เป็น 10 มล. ในขวดปริมาตรขนาด 10 มล. จะได้ความเข้มข้นของเหล็ก 2.5 ppm
- ปิเปตสารละลายที่มีความเข้มข้นของเหล็ก 25 ppm มา 2 มล. ทำให้เป็น 10 มล. ในขวดปริมาตรขนาด 10 มล. จะได้ความเข้มข้นของเหล็ก 5 ppm
- ปิเปตสารละลายที่มีความเข้มข้นของเหล็ก 25 ppm มา 3 มล. ทำให้เป็น 10 มล. ในขวดปริมาตรขนาด 10 มล. จะได้ความเข้มข้นของเหล็ก 7.5 ppm
- ปิเปตสารละลายที่มีความเข้มข้นของเหล็ก 25 ppm มา 4 มล. ทำให้เป็น 10 มล. ในขวดปริมาตรขนาด 10 มล. จะได้ความเข้มข้นของเหล็ก 10 ppm
- นำสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นของเหล็ก 2.5, 5, 7.5 และ 10 ppm มา วัดค่า absorbance โดยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer
- สร้าง standard curve ระหว่างค่า absorbance กับความเข้มข้นของเหล็ก

- จากค่า absorbance ของสารละลายที่วิเคราะห์ได้ สามารถหาปริมาณเหล็กได้
 - จากปริมาณเหล็กที่ทราบ นำไปคำนวณหาปริมาณกำมะถันไพไรต์ในตัวอย่างที่กำหนดได้
- สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของเหล็ก} = 1/4 (x/W)$$

เมื่อ x = ความเข้มข้นของเหล็กที่อ่านจาก standard curve (ppm)

W = น้ำหนักของตัวอย่างที่กำหนด (ppm)

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

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 $(10)(250)X/1000$ มิลลิกรัม

น้ำหนักกำหนด W กรัม มีปริมาณเหล็ก $(10)(250)X/1000 \times 1000$ กรัม

น้ำหนักกำหนด 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)

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

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

3.3 การหาปริมาณกำมะถันอินทรีย์ (organic sulfur)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์} &= \text{ร้อยละของกำมะถันรวม} - \text{ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต} \\ &\quad - \text{ร้อยละของกำมะถันไพไรต์} \end{aligned}$$

4) การคำนวณความเข้มข้นไพไรต์ในกำหนด

ความหนาแน่นของกำหนด = Z กก./ลบ.ม.

ดังนั้น น้ำหนักกำหนด x กก. (MAF) มีปริมาตร = X/Z ลบ.ม

กำหนด 100 กก. มีกำมะถันไพไรต์ = Y กก. (MAF)

" X กก. " = $XY/100$ กก.

กำมะถัน 64 กก. เป็นไฟรด์	= 119.98	กก.
" XY/100 "	= 119.98XY/100x64	กก.
	= XY/100x64	กิโลกรัม
ดังนั้นคิดเป็นความเข้มข้น	= YZ/100x64	กิโลกรัม/ลบ.ม.

5) การหาค่าความร้อนของถ่านหิน (Gross Heating Value): ASTM D 3286

หลักการ การทำงานภายในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ คือ ปรับอุณหภูมิของน้ำในถังให้เท่ากับเครื่องแช่บอมบ์ เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและวัดอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจากตัวอย่างที่ถูกเผาไหม้ แล้วนำมาคำนวณหาค่าความร้อนของการเผาไหม้ตัวอย่างถ่านหิน และคำนวณน้ำหนักสมมูลของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์คำนวณได้จากค่าความร้อนของการเผาไหม้กรดเบนโซอิก

5.1 การหาค่าน้ำหนักสมมูล (water equivalent) ของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

เครื่องมือ oxygen bomb calorimeter

สารเคมี

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

วิธีการทดลอง

- ชั่งกรดเบนโซอิก (benzoic acid) น้หนัก 0.9 ถึง 1.0 กรัม อัดเป็นเม็ดโดยใช้เครื่องอัดแล้วนำกรดเบนโซอิกอัดก้อนนี้มาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกผลไว้
- ตัดลวด (fuse wire) ยาว 10 เซนติเมตร มาผูกกระหว่างปลายทั้งสองของหัวบอมบ์
- นำกรดเบนโซอิกอัดก้อนมาวางใน crucible นำ crucible ไปวางในตำแหน่งบนหัวบอมบ์จัดให้ลวดที่ผูกไว้ตั้งจนแตะผิวหน้าของกรดเบนโซอิก
- เติมน้ำกลั่นลงในออกซิเจนบอมบ์ 1 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต
- ประกอบหัวบอมบ์กับออกซิเจนบอมบ์เข้าด้วยกันขันเกลียวให้แน่น แล้วนำไปอัดก๊าซออกซิเจน จนมีความดัน 20-25 บรรยากาศ
- เติมน้ำลงในถังบอมบ์ 1 ลิตร โดยให้น้ำมีอุณหภูมิประมาณ $24-25^{\circ}\text{C}$ นำออกซิเจนบอมบ์ที่อัดก๊าซเรียบร้อยแล้ววางในถังบอมบ์ เติมน้ำลงในถังอีก 1 ลิตร เลียบ

- สายจตุระเบ็ด 2 เส้นต่อกับบอมม์ปิดฝาของเครื่อง
- เปิดสวิตซ์ให้เครื่องทำงาน ทุก ๆ นาที บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำ เมื่อเครื่องเดินประมาณ 5 นาที กดปุ่มจตุระเบ็ด บันทึกค่าอุณหภูมิที่จตุระเบ็ดนี้ และอ่านอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นทุกครั้งนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสูงสุด แล้วลดลงหรือคงที่ในที่สุด
 - ปิดสวิตซ์ของเครื่อง นำออกซิเจนบอมม์ออกมาจากเครื่อง ปลดอยก๊าสจากบอมม์อย่างช้า ๆ ทั้งหมด
 - ล้างหัวบอมม์และออกซิเจนบอมม์ รวมทั้ง crucible ด้วยน้ำกลั่นที่เติม methyl orange จนหมดกรด (น้ำที่ล้างไม่เป็นสีชมพู)
 - นำน้ำล้างที่ได้ไปไตเตรทกับ 0.072 N ของ Na_2CO_3 บันทึกจำนวนมิลลิลิตรของ Na_2CO_3 ที่ใช้ไป
 - วัดความยาวของลวดที่เหลือจากการเผาไหม้
- สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$W = (\text{Hg} + e_1 + e_3) / t$$

- เมื่อ W = ค่าน้ำหนักสมมูลของเครื่องบอมม์แคลอรีมิเตอร์, แคลอรีต่อ °ฟ
- H = ค่าความร้อนของการเผาไหม้กรดเบนโซอิก = 6318 แคลอรีต่อกรัม
- g = น้ำหนักของกรดเบนโซอิก (กรัม)
- e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก, แคลอรี
= จำนวนมิลลิลิตรของ 0.072 N Na_2CO_3 ที่ใช้ไตเตรท
- e_3 = การแก้ค่าความร้อนของลวด, แคลอรี
= $(2.3) \times$ (ความยาวของลวดที่ใช้ไป, เซนติเมตร)
- t = อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น, °ฟ

5.2) การหาค่าความร้อนของถ่านหิน

วิธีการทดลอง

- วางยแก้วลงใน crucible แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินใส่ลงไปในประมาณ 1 กรัม
- ทำการทดลอง เช่นเดียวกับกรณีของกรดเบนโซอิก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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



- เมื่อ H = ค่าความร้อนของการเผาไหม้กำหนด (แคลอรีต่อกรัม)
 t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นซึ่งได้แก่ค่าเนื่องจากเทอร์มิสเตอร์แล้ว ($^{\circ}\text{F}$)
 $= t_c - t_a$
 t_c = อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ที่แก้ค่าเนื่องจากเทอร์มิสเตอร์แล้ว, ($^{\circ}\text{F}$)
 t_a = อุณหภูมิเริ่มจุดระเบิดที่แก้ค่าเนื่องจากเทอร์มิสเตอร์แล้ว, ($^{\circ}\text{F}$)
 W = ค่าน้ำหนักสมมูล (แคลอรีต่อ $^{\circ}\text{F}$)
 e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดการดิวเทรียม
 $=$ จำนวนมิลลิลิตรของ 0.072 N ของ Na_2CO_3 ที่ใช้ในการไตเตรท
 e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดการดิวเทรียม
 $= 14 \times (\% \text{ กำมะถัน}), (\% \text{ กำมะถันหาได้จากวิธีตามหัวข้อ 5.3})$
 e_3 = การแก้ค่าความร้อนของการเผาไหม้ลาว
 $= (2.3) \times (\text{ความยาวของลาวที่เข้าไป, เซนติเมตร})$
 g = น้ำหนักของตัวอย่างกำหนด (กรัม)

5.3 การหาปริมาณกำมะถันในกำหนด

เครื่องมือ

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

สารเคมี

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

วิธีการทดลอง

- นำน้ำล้างบอมม์ ภายหลังจากไตเตรทกับ Na_2CO_3 แล้ว มาต้มจนเดือด กรองขณะ
ร้อนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
- ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง
- นำสารละลายที่ได้มาเติมน้ำโบรมีนอิ่มตัว 1 มิลลิลิตร
- ทำให้เป็นกรดด้วยสารละลาย HCl (1:9) นำไปต้มจนเดือด
- ค่อย ๆ เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ ลงไป 10 มิลลิลิตร ต้มต่อไปอีกประมาณ
15 นาที จะเกิดตะกอนสีขาวของแบเรียมซัลเฟต ตั้งทิ้งไว้ค้างคืนที่อุณหภูมิห้อง
หรือ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 (ashless) ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน

- หลาย ๆ ครั้งจนหมดคลอไรด์ไอออน ทดสอบด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท
- นำกระดาษกรองหรือตะกอนแบเรียมซัลเฟตที่กรองได้มาใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไปเผาจนหมดควันบนตะเกียงเบนเซน แล้วนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 925 °C เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักตะกอนคงที่
 - ทำให้เย็นใน desiccator ซึ่งน้ำหนักตะกอนแบเรียมซัลเฟต บันทึกผล
- สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

- เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน BaSO₄ จากตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)
 B = น้ำหนักตะกอน BaSO₄ 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)

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

(แบบไม่รวมความชื้น)

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

(แบบไม่รวมความชื้น)

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

(แบบไม่รวมความชื้น)

$$\text{ค่าความร้อน} = \text{ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)} \times 100 / ((100 - m))$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

$$\text{ร้อยละการลดปริมาณ} = \frac{\text{ร้อยละกำมะถันรวมเริ่มต้น} - \text{ร้อยละกำมะถันรวมภายหลังดีซัลเฟอร์เซชัน} \times 100}{\text{ร้อยละกำมะถันรวมเริ่มต้น}}$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

$$\text{ร้อยละการลดปริมาณ} = \frac{\text{ร้อยละกำมะถันไพไรต์เริ่มต้น} - \text{ร้อยละกำมะถันไพไรต์หลังดีซัลเฟอร์เซชัน} \times 100}{\text{ร้อยละกำมะถันไพไรต์เริ่มต้น}}$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

$$\text{ร้อยละการลดเถ้า} = \frac{\text{ร้อยละเถ้าเริ่มต้น} - \text{ร้อยละเถ้าหลังดีซัลเฟอร์เซชัน} \times 100}{\text{ร้อยละเถ้าเริ่มต้น}}$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

$$\text{ร้อยละการเพิ่มค่าความร้อน} = \frac{\text{ค่าความร้อนเริ่มต้น} - \text{ค่าความร้อนหลังดีซัลเฟอร์เซชัน} \times 100}{\text{ค่าความร้อนเริ่มต้น}}$$

(แบบไม่รวมความชื้น)

หมายเหตุ m คือ ร้อยละความชื้น

MAF หมายถึง การคำนวณแบบไม่รวมความชื้นและเถ้า
(moisture ash free basis)

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 แสดงสมบัติของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ ตัวอย่างที่ 1 (แบบไม่รวมความชื้น) ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ในกระบวนการขจัดกำมะถัน ที่ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 10% น้ำหนักต่อปริมาตร (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มล. ที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 150 °ซ ตามระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที อัตราการกวน 1400 รอบต่อนาที)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ 120 °ซ				อุณหภูมิ 140 °ซ				อุณหภูมิ 150 °ซ			
	ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)		
		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม
0	31.80	4.86	1.93	9.16	31.85	4.90	1.98	9.20	32.02	4.88	2.00	9.19
10	27.37	0.56	1.73	7.22	25.52	0.28	1.27	6.71	23.98	0.12	1.50	6.52
20	25.18	0.47	1.43	6.55	24.28	0.21	1.26	6.33	23.20	0.10	1.31	6.23
30	24.12	0.40	1.40	6.52	23.71	0.19	1.24	6.10	22.50	0.10	1.16	6.10
40	23.15	0.35	1.34	6.22	22.53	0.16	1.21	6.07	21.98	0.10	0.87	5.91
50	22.90	0.33	1.34	6.16	22.03	0.16	1.13	6.02	21.54	0.10	0.65	5.86
60	22.77	0.33	1.33	6.15	21.82	0.15	1.06	5.99	20.83	0.09	0.54	5.86

ตารางที่ ข.2 แสดงสมบัติของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ ตัวอย่างที่ 1 (แบบไม่รวมความชื้น) ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ในกระบวนการขจัดกำมะถัน ที่ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 20% น้ำหนักต่อปริมาตร (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มล. ที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 150 °ซ ตามระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที อัตราการกวน 1400 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ 120 °ซ				อุณหภูมิ 140 °ซ				อุณหภูมิ 150 °ซ			
	ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)		
		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม
0	31.80	5.60	1.95	10.42	31.88	5.60	1.98	10.40	31.89	5.61	1.88	10.18
10	24.39	0.44	1.62	6.86	22.54	0.28	1.24	5.88	21.53	0.18	1.50	5.30
20	22.67	0.32	1.48	6.55	21.02	0.22	1.10	5.68	20.02	0.16	1.03	5.23
30	22.21	0.28	1.34	6.13	20.38	0.18	0.83	5.63	19.56	0.16	0.77	5.08
40	22.03	0.23	1.29	6.01	20.04	0.16	0.74	5.58	19.07	0.16	0.56	4.98
50	21.89	0.18	1.21	5.89	19.84	0.15	0.71	5.52	18.80	0.16	0.33	4.97
60	21.44	0.15	1.17	5.76	19.02	0.15	0.67	5.21	18.66	0.15	0.29	4.90

ตารางที่ ข.3 แสดงสมบัติของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ ตัวอย่างที่ 3 (แบบไม่รวมความชื้น) ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ในกระบวนการขจัดกำมะถัน ที่ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 20% น้ำหนักต่อปริมาตร (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มล. ที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 150 °ซ ตามระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที อัตราการกวน 1400 รอบต่อนาที)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ 120 °ซ				อุณหภูมิ 140 °ซ				อุณหภูมิ 150 °ซ			
	ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)		
		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม
0	47.40	4.90	6.54	12.20	47.65	4.90	6.51	12.17	47.88	4.92	6.56	12.27
10	42.23	0.45	5.43	10.10	40.82	0.20	4.84	9.61	38.86	0.13	3.58	8.59
20	41.90	0.41	4.60	9.61	39.71	0.18	4.53	9.04	37.97	0.10	3.45	8.58
30	41.46	0.39	4.58	9.33	39.03	0.15	4.30	8.83	37.24	0.10	2.98	8.29
40	40.89	0.34	4.47	9.30	38.86	0.15	4.20	8.59	36.89	0.10	2.66	8.20
50	40.56	0.32	4.39	9.10	38.24	0.16	3.96	8.58	36.13	0.09	2.50	8.18
60	40.29	0.29	3.92	8.83	37.97	0.14	3.75	8.03	35.96	0.09	2.00	7.76

ตารางที่ ข.4 แสดงสมบัติของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ ตัวอย่างที่ 2 (แบบไม่รวมความชื้น) ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ในกระบวนการซัดกำมะถัน ที่ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 20% น้ำหนักต่อปริมาตร (ใช้ขนาดถ่านหินต่าง ๆ กัน ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มล. ที่อุณหภูมิ 150 °ซ ตามระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที อัตราการกวน 1400 รอบต่อนาที)

ขนาดถ่านหิน (ไมโครเมตร)	150-250				250-500				500-600				
	เวลา (นาที)	ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)		
			ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไฟไรต์	รวม
0	30.89	3.90	1.03	6.98	30.77	3.88	1.06	6.97	30.80	3.90	1.05	6.95	
10	23.28	0.42	0.52	3.85	26.12	0.44	0.64	3.69	29.53	0.54	0.68	3.74	
20	22.89	0.38	0.28	3.79	25.55	0.43	0.49	3.59	29.01	0.48	0.53	3.66	
30	22.44	0.38	0.14	3.58	25.36	0.37	0.31	3.59	28.26	0.44	0.43	3.62	
40	21.89	0.37	0.10	3.49	25.26	0.36	0.24	3.55	28.03	0.38	0.28	3.58	
50	21.72	0.36	0.08	3.30	24.97	0.36	0.18	3.52	27.70	0.36	0.20	3.54	
60	21.23	0.22	0.06	3.22	24.51	0.34	0.16	3.40	27.52	0.35	0.18	3.52	

ตารางที่ ๕.5 แสดงสมบัติของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ (แบบไม่รวมความชื้น) ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ในกระบวนการจัดกำมะถัน ใช้ตัวอย่างถ่านหินที่มีองค์ประกอบต่าง ๆ กัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มล. ที่ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 20% น้ำหนักต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 150 °ซ ตามระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที อัตราการกวน 1400 รอบต่อนาที)

เวลา (นาที)	แม่เมาะ 1				แม่เมาะ 2				แม่เมาะ 3				แม่เมาะ 4			
	ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)			ถ้ำ (%)	ปริมาณกำมะถัน (%)		
		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม		ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม
0	31.89	5.61	1.88	10.18	30.89	3.90	1.03	6.98	47.65	4.92	6.56	12.27	35.35	3.90	1.64	5.44
10	21.53	0.18	1.50	5.30	23.28	0.42	0.52	3.85	38.86	0.13	3.58	8.59	23.55	0.15	0.37	2.39
20	20.02	0.16	1.03	5.23	22.89	0.38	0.28	3.79	37.24	0.10	3.45	8.58	18.75	0.15	0.27	2.06
30	19.56	0.16	0.77	5.08	22.44	0.38	0.14	3.58	36.89	0.10	2.98	8.29	17.65	0.13	0.25	2.07
40	19.07	0.16	0.56	4.98	21.89	0.37	0.10	3.49	37.97	0.10	2.66	8.20	16.72	0.13	0.25	2.04
50	18.80	0.16	0.33	4.97	21.72	0.36	0.08	3.30	36.13	0.09	2.50	8.18	16.68	0.12	0.23	2.02
60	18.66	0.15	0.29	4.90	21.23	0.22	0.06	3.22	35.96	0.09	2.00	7.76	16.35	0.11	0.17	1.98



ประวัติผู้เขียน

นางสาวพัทธาภรณ์ เพชรานนท์ เกิดวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2505 ที่ กรุงเทพมหานคร ได้รับพระราชทานปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2526

ศูนย์วิทยพัชร์พยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย