เอกสารอ้างอิง

1. งานถ่านหิน กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ, "พลังงานจากถ่านหินในประเทศไทย," ข่าวสารธรณี, 31 (3), 26-38, 2529.

2. เบ็ญจวรรณ รัตนเสถียร, "การปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินลิกไนท์เพื่อนำมาใช้ในครัวเรือน ตอนที่ 1 คุณภาพของถ่านหินลิกไนท์ในภาคเหนือ," รายงานวิจัยเกี่ยวกับถ่านหิน, สภาวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร, 2523.

3. Meyer, R. A., Coal Handbook, pp. 1-50, Marcel Dekker Ltd., New York, 1 st ed., 1981.

4. Eliot, R. C., Coal Desulfurization Prior to Combution, pp. 1-208, Noyes Data Coporation Park Ridge, NJ., 1 st ed., 1978.

5. Nishioka, M., Lee, M. L., Castle, R. N., "Sulphur Heterocycles in Coal-derived Products," Fuel, 65, 392-395, 1986.

6. Meyer, R. A., Coal Handbook, pp. 210-300, Marcel Dekker Lts., New York, 1 st ed., 1981.

7. Araya, P. E., Ohlbaum, R. B., Droguett, S. E., "Study of the Treatment of Subbituminous Coal by NaOH Solutions," Fuel, 60, 1127-1130, 1981.

8. Mendizabal, E., "Low Temperature Process for Coal Desulfurization," Lawrence Derkeley Laboratory of the University of California, Report for the U.S. Energy Research and Development Administration, August 1976.

9. Cho, E. H., Chang, D. H., Rollins, R. R., "A Kinetic Study of Leaching of Coal Pyrite with Nitric Acid." Metallurgical Transactions b, 14B, 317-323, 1983.

10. Joshi, J. B., et al., "Modeling of Three Phase Reactors: A Case of Oxydesulfurization of Coal," AIChE Journal, 27 (6), 937-945, 1981.

11. Levenspiel, O., Chemical Reaction Engineering, pp. 357-375, Wiley, New York, 2nd ed., 1972.

12. Ludmila Lompa-Krzymin "Complete Removal of Sulphur from Coal Using Solutions Containing Cupric Ions," Fuel, 61, 871-872, 1982.

13. Porter, C. R. et al., "Method for the Removal of Sulfur from Carbonaceous Material," U.S. Pat 4, 324, 559, April 13, 1982.

14. Tai, C. Y., Graves, G. V., Whelock, T. D. "Desulfurization Coal with Alkaline Solution Containing Dissolved Oxygen," Iowa State University DEpartment of Chemical Engineering and Nuclear Engineering Energy and Mineral Resources Research Institute, Ames IA 50011, 1981.

15. Boron, D. J., Taylor, S. R., "Mild Oxidations of Coal," Fuel, 64 (2), 209-211, 1985.

16. Vasilakos, N. P., Clonton, C. S., "Chemical Benefication of Coal with Aqueous Hydrogen Peroxide/Sulphuric Acid Solutions," Fuel, 63, 1561-1563, 1984.

17. Slagel, D., Shah, Y. T., Joshi, J. B., "Kinetics of Oxydesulfurization of Upepr Freeport Coal," Ind. Eng. Chem. Process. Des. Dev., 19, 294-300, 1980.

18. วิทยา ปั้นสุวรรณ, "การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยวิธีออกซิเดชัน," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

19. สมชัย อัครทิวา, ประเสริฐ สกิกิจสกุลผล, "การขจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์," วิทยานิพนธ์ ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 25 .

20. กัณฑิมา ศิริจีระชัย, "การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยวิธีออกซิเดชันในสารละลายเบส," วิทยานิพนธ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย, 2528.

21. ASTM Standards, D 2013, "Preparaing Coal Samples for Analysis," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1983.

22. ASTM Standards, D 3173, "Test for Moisture in the Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1983.

23. ASTM Standards, D 3174, "Test for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1982.

24. ASTM Standards, D 2015, "Test for Gross Calorilific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Romb Calorimetor," American Society for Testing and materials, U.S.A., 1983.

25. ASTM Standards, D 3177, "Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1983.

26. ASTM Standard, D 2072, "Form of Sulfurs in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1983.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การหาปริมาณความชื้นในถ่านหิน (moisture content in coal), ASTM D3173

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่จะวิเคราะห์มาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน แล้วนำมาให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (dry-oven) ที่อุณหภูมิประมาณ 105-110 °ซ เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกไปจากถ่านหิน และค่าความชื้นสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของถ่านหินที่ลดลง

เครื่องมือ ตู้อบ (dry-oven), crucible, dessicator

วิธีการทดลอง

1. อบ crucible ที่อุณหภูมิ 110 °ซ ประมาณ 30 นาที แล้วนำออกมาจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นใน dessicator แล้วชั่งน้ำหนัก
2. นำถ่านหินใส่ crucible แล้วชั่งให้ได้น้ำหนักของถ่านหินประมาณ 1 กรัม
3. นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 °ซ จนน้ำหนักคงที่
4. นำ crucible ออกจากตู้อบทำให้เย็นใน dessicator แล้วชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$m = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

เมื่อ m = ร้อยละของปริมาณความชื้น (% moisture content)

W_1 = น้ำหนักของ crucible (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของ crucible และน้านหักถ่านหินก่อนเข้าตู้อบ (กรัม)

W_3 = น้ำหนักของ crucible กับน้ำหนักของถ่านหินภายหลังจากนำออกมาจากตู้อบ (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.2 การหาปริมาณสารระเหยในถ่านหิน (volatile matter in coal), ASTM D3175

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่จะวิเคราะห์ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน แล้วนำมาเผาให้ความร้อนในเตาเผาแบบท่อ (tube furnace) ปริมาณสารระเหยสามารถคำนวณโดยการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน

เครื่องมือ เตาเผา (tube furnace), nickel crucible พร้อมฝาปิด dessicator

วิธีการทดลอง

1. เผา nickel crucible และฝาปิดที่อุณหภูมิ 950 °ซ ± 20 °ซ ในเตาเผา ประมาณ 30 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน dessicator นำไปชั่งหาน้ำหนักของ crucible และฝาปิด

2. ชั่งน้ำหนักถ่านหินใส่ใน nickel crucible ประมาณ 1 กรัม

3. นำ nickel crucible พร้อมถ่านหินเข้าเตาเผาโดยจะปิดฝา crucible ให้มีช่องว่างเล็กน้อย (นำไปให้ความร้อน 2 ช่วง ๆ ละ 6 นาที ช่วงแรกเป็นการเริ่มต้นให้ความร้อนถ่านหิน ที่อุณหภูมิ 300 °ซ 3 นาที และที่อุณหภูมิ 600 °ซ 3 นาที ช่วงที่สองเผาที่กึ่งกลางเตาอุณหภูมิ 950 °ซ 6 นาที)

4. ชั่งน้ำหนักของ crucible และถ่านหินที่เหลือพร้อมฝาปิด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = \frac{W_5 - W_6}{W_5 - W_4} \times 100 - m$$

เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย

m = ร้อยละของปริมาณความชื้น

W_4 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝาปิด (กรัม)

W_5 = น้ำหนักของ crucible รวมกับน้ำหนักถ่านหินพร้อมฝาปิด ก่อนเข้าเตาเผา (กรัม)

W_6 = น้ำหนักของ crucible รวมกับน้ำหนักถ่านหิน พร้อมฝาปิด ภายหลังจากนำออกมาจากเตาเผา (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.3 การหาปริมาณเถ้าในถ่านหิน (ash in coal), ASTM D3174

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่จะวิเคราะห์มาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน แล้วนำไปเผาให้ความร้อนในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 500 °ซ เป็นเวลานาน 30 นาที และเพิ่มความร้อนเป็น 825 °ซ จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของ crucible รวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือพร้อมฝาปิด crucible จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้าสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาแล้ว

เครื่องมือ เตาเผา (muffle furnace), crucible พร้อมฝาปิด dessicator

วิธีการทดลอง

1. เผา crucible พร้อมฝาปิดที่อุณหภูมิ 825 °ซ เป็นเวลาประมาณ 30 นาที ในเตาเผา แล้วนำออกมาทำให้เย็นใน dessicator จึงชั่งน้ำหนัก crucible พร้อมฝาปิด
2. ชั่งถ่านหินประมาณ 1 กรัม ใส่ใน crucible
3. นำเข้าเตาเผาพร้อมปิดฝาให้มีช่องว่างเล็กน้อยเผาที่อุณหภูมิ 500 °ซ นาน ประมาณ 30 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 825 °ซ เผา จนน้ำหนักคงที่ จึงนำ crucible ออกจากเตาเผา ทำให้เย็นใน dessicator แล้วชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = \frac{W_7 - W_4}{W_5 - W_4} \times 100$$

เมื่อ A = ร้อยละของปริมาณเถ้า (% ash)

W_4 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝาปิด (กรัม)

W_5 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝาปิดและตัวอย่างถ่านหินก่อนเข้าเตาเผา (กรัม)

W_7 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝาปิดและเถ้าหลังจากการเผา (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านหิน (fixed carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = 100 - ร้อยละของปริมาณความชื้น - ร้อยละของปริมาณสารระเหย - ร้อยละของปริมาณเถ้า

ก.5 การหาปริมาณกำมะถันรวม (total sulfur) โดยวิธี Eschka method

หลักการ ตัวอย่างถ่านหินจะถูกเผาร่วมกับ Eschka mixture โดยที่กำมะถันที่ประกอบอยู่ในถ่านหินจะเปลี่ยนเป็นรูปของซัลเฟตอิออน และจะหาปริมาณกำมะถันในรูปของแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$)

เครื่องมือ เตาเผา (muffle furnace), crucible,บีกเกอร์, hot plate, กรวยกรองพร้อมกระดาษกรอง

สารเคมี

ก. น้ำกลั่น

ข. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) ความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร

ค. Eschka mixture ประกอบด้วย แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) กับโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ในอัตราส่วน 2 : 1 โดยน้ำหนัก

ง. สารละลายกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 6 โมลาร์

จ. สารละลายกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 1.2 โมลาร์

ฉ. methyl orange indicator โดยละลาย 0.02 กรัม methyl orange ในน้ำร้อน 100 มล. แล้วกรอง

ช. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ชั่ง 60 กรัมของผลึก $Na_2CO_3{\cdot}10H_2O$ หรือ 22 กรัมของ anhydrous Na_2CO_3 ละลายในน้ำกลั่นแล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 100 มล.

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักถ่านหินประมาณ 1 กรัม รวมกับน้ำหนัก 3 กรัมของ Eschka mixture ผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึงใน crucible แล้วปิดทับหน้าด้วย 1 กรัม ของ Eschka mixture

2. นำเข้าเตาเผาปรับอุณหภูมิให้ถึง 825 °ซ ในช่วง 1 ชม. แรก แล้วรักษาอุณหภูมินี้ไว้ต่ออีก $1\frac{1}{2}$ ชม. (สังเกตุจนสีดำของถ่านหินหมดไป)

3. นำ crucible ออกจากเตาเผา ย่อยด้วยน้ำร้อน 100 มล. เป็นเวลานานประมาณ $\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$ ชม.

4. กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจนสารละลายที่ได้มีปริมาตร 250 มล.

5. ทำสารละลายให้เป็นกรดด้วย กรดเกลือ 6 โมลาร์

6. ทำสารละลายให้เป็นกลางด้วยสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนตโดยใช้ methyl orange เป็น indicator

7. ทำให้เป็นกรดเล็กน้อยโดยเติมกรดเกลือ 1.2 โมลาร์ แล้วเติมสารละลาย $BaCl_2$ อย่างช้า ๆ 20 มล. ลงในสารละลาย

8. ต้มให้สารละลายเดือดต่อไปอีกประมาณ 15 นาที แล้วจึงนำมากรองผ่านกระดาษกรอง ashless ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจนน้ำล้างตะกอนปราศจากคลอไรด์ออออน

9. นำตะกอน $BaSO_4$ ที่กรองได้ ใส่ crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำเข้าเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 925 °ซ ประมาณ 1 ชม. จึงนำ crucible ออกจากเตาเผา ทำให้เย็นใน dessicator แล้วชั่งน้ำหนัก

10. blank correction ทำการวิเคราะห์เหมือนกับ 1-9 เพียงแต่ไม่ได้ตัวอย่างถ่านหินในการวิเคราะห์เท่านั้น

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของปริมาณกำมะถันรวมในถ่านหิน $= \frac{(A^* - B^*) \times 13.738}{C}$

A^* = น้ำหนักของ $BaSO_4$ (กรัม) ที่ได้จากตัวอย่าง = $W_{10} - W_4$

B^* = น้ำหนักของ $BaSO_4$ (กรัม) ที่ได้จาก blank (น้อยมาก)

C = น้ำหนักของถ่านหินที่ใช้ (กรัม) = $W_9 - W_8$

W_8 = น้ำหนักภาชนะที่ใส่สาร (กรัม) W_4 = น้ำหนัก crucible พร้อมฝาปิด (กรัม)

W_9 = น้ำหนักภาชนะที่ใส่สารและน้ำหนักถ่านหิน (กรัม)

W_{10} = น้ำหนัก crucible พร้อมฝาปิด และน้ำหนัก $BaSO_4$ (กรัม)

ก.6 การวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันซัลเฟต (sulfate sulfur)

หลักการ กำมะถันซัลเฟตสามารถที่จะถูกสกัดออกจากถ่านหินได้โดย สารละลายกรดเกลือเจือจาง และจะวิเคราะห์ผลออกมาในรูปของตะกอนแบเรียมซัลเฟต

เครื่องมือ เตาเผา (muffle furnace), crucible, hot plate, บีกเกอร์ กรวยกรองพร้อมกระดาษกรอง

สารเคมี

ก. สารละลายกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 12 โมลาร์ (ถ.พ. 1.19)

ข. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) 100 กรัม/ลิตร

ค. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 5 โมลาร์

ง. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.45 โมลาร์

จ. สารละลายกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 4.8 โมลาร์

ฉ. น้ำโบรมีนอิ่มตัว

ช. methyl orange ละลาย 0.02 กรัม methyl orange ในน้ำร้อน 100 มล.

ซ. สารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 โดยปริมาตร

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างถ่านหินที่จะวิเคราะห์ประมาณ 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์แล้วเติมสารละลาย 4.8 M HCl 50 มล.

2. เติมสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ 2 มล. นำขึ้นต้มบน hot plate พร้อมปิดด้วยกระจกนาฬิกา เป็นเวลานาน $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง

3. กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำเย็น นำตะกอนที่ได้เก็บไว้วิเคราะห์หากำมะถันไพไรต์ ส่วนสารละลายเติมน้ำโบรมีน 10 มล. ต้มให้เดือนอย่างน้อย 5 นาที

4. เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 4 โมลาร์ จนกระทั่งสารละลายเป็นด่างเล็กน้อย แล้วเติมให้เกินพอ 5 มล.

5. กรองตะกอนที่ได้ล้างตะกอนด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 0.45 โมลาร์

6. นำสารละลายมาเติม methyl orange indicator 2-3 หยด แล้วเติมสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 12 โมลาร์ ลงไปจนสารละลายเป็นกรด

7. นำขึ้นต้มให้เดือดบน hot plate แล้วค่อย ๆ เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์อย่างช้า ๆ 20 มล. ต้ม สารละลายให้เดือดต่ออีกประมาณ 15 นาที ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 2 ชม.

8. กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง ashless แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจนหมดคลอไรด์ออออน

9. นำตะกอนที่ได้ใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้วนำเข้าเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 925 °ซ ประมาณ 1 ชม. จึงนำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน dessicator แล้วจึงชั่งน้ำหนัก

10. ทำ blank correction เหมือน 1-9 โดยไม่ใส่ตัวอย่างถ่านหินในการวิเคราะห์

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันซัลเฟต} = \frac{(A^* - B^*) \times 13.738}{C}$$

A^* = น้ำหนักของตะกอน $BaSO_4$ (กรัม) = $W_{10} - W_4$

B^* = น้ำหนักของตะกอน $BaSO_4$ ใน blank (น้อยมาก)

C = น้ำหนักถ่านหินที่ใช้ (กรัม) = $W_9 - W_8$

W_8 = น้ำหนักภาชนะที่ใส่สาร (กรัม) W_4 = น้ำหนัก crucible พร้อมฝาปิด (กรัม)

W_9 = น้ำหนักภาชนะที่ใส่สารและน้ำหนักถ่านหิน (กรัม)

W_{10} = น้ำหนัก crucible พร้อมฝาปิด และน้ำหนัก $BaSO_4$ (กรัม)

ก.7 การหาปริมาณกำมะถันไพไรต์ (pyritic sulfur)

หลักการ กำมะถันไพไรต์จะถูกสกัดออกมาจากถ่านหินโดยต้มกับสารละลาย 2M HNO_3 และจะวิเคราะห์ผลออกมาในรูปของเหล็กโดยเครื่องมือ atomic absorption spectrophotometer และปริมาณเหล็กที่ได้ก็จะเปลี่ยนเป็นรูปของกำมะถันไพไรต์อีกที่หนึ่ง

เครื่องมือ atomic absorption spectrophotometer ขวดปริมาตร, ไปเปต

สารเคมี สารละลาย HNO_3 เข้มข้น 2 โมลาร์ สารละลาย $LaCl_3.7H_2O$

วิธีการทดลอง

1. นำตะกอนและกระดาษกรองจากการวิเคราะห์หากำมะถันซัลเฟตมาย่อยด้วยสารละลาย 2M HNO_3 50 มล. ประมาณ 30 นาที

2. กรองสารละลายและล้างตะกอนด้วยน้ำเย็นจนสารละลายมีปริมาตรประมาณ 150 มล.

3. ทำสารละลายให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 250 มล. ในขวดปริมาตร

4. ไปเปตสารละลายมา 1 มล. ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 10 มล. พร้อมเติมสารละลาย $LaCl_3.7H_2O$ ลงไป 1 มล. ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 10 มล.

5. นำไปวัดหาปริมาณเหล็กด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร

การเตรียม standard curve ของเหล็ก

1. นำสารละลายมาตรฐานของเหล็กที่ความเข้มข้น 1000 ppm มา 2.5 มล. ทำให้เป็น 100 มล. ในขวดปริมาตรขนาด 100 มล. จะทำให้ได้ความเข้มข้นของเหล็ก 25 ppm

2. ไปเปตสารละลายในข้อ 1 มา 1 มล. ทำให้เป็น 10 มล. จะได้ความเข้มข้น 2.5 ppm, ไปเปตสารละลายในข้อ 1 มา 2 มล. ทำให้เป็น 10 มล. จะได้ความเข้มข้น 5.0 ppm, ไปเปตสารละลายในข้อ 1 มา 3 มล. ทำให้เป็น 10 มล. จะได้ความเข้มข้น 7.5 ppm, ไปเปตสารละลายในข้อ 1 มา 4 มล. ทำให้เป็น 10 มล. จะได้ความเข้มข้น 10 ppm.

3. นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้คือ 2.5, 5, 7.5, 10 ppm มาวัดค่า absorbance โดยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

4. สร้าง standard curve ระหว่างค่า absorbance กับความเข้มข้นของเหล็ก

5. จากค่า absorbance ของสารละลายที่วิเคราะห์สามารถหาปริมาณของเหล็กได้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของเหล็ก = $\frac{1}{4}$ ($\frac{X}{W}$)

เมื่อ X = ความเข้มข้นของเหล็กที่อ่านจาก standard curve (ppm)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ = ร้อยละของเหล็ก × 1.148

หมายเหตุ แสดงที่มาของสูตร

หน่วย ppm = มิลลิกรัม/ลิตร

สมมติว่าได้ปริมาณเหล็ก X มก./ลิตร ในสารละลายตัวอย่าง 10 มล.

นั่นคือสารละลายตัวอย่างจริง 1 มล. มีปริมาณเหล็ก = $\frac{10X}{1000}$ มก.

นั่นคือสารละลายตัวอย่างจริง 250 มล. มีปริมาณเหล็ก = $\frac{10X(250)}{1000}$ มก.

นั่นคือน้ำหนักถ่านหิน กรัม มีปริมาณเหล็ก = $\frac{10X\ (250)}{1000 \times 1000}$ กรัม

นั่นคือน้ำหนักถ่านหิน 100 กรัม มีปริมาณเหล็ก = $\frac{1}{4}(\frac{X}{W})$

ถ้ามีปริมาณเหล็ก 55.85 กรัม จะเป็นซัลเฟอร์ในรูป pyrite (FeS_2)

= 32 x 2 กรัม

ถ้ามีปริมาณเหล็ก $\frac{1}{4}$ ($\frac{X}{W}$) กรัม เป็นซัลเฟอร์ในรูป pyrite (FeS_2)

= $(\frac{32 \times 2}{55.85})\ \frac{1}{4}(\frac{X}{W})$

= 1.148 x ร้อยละของเหล็ก

ก.8 การหาปริมาณกำมะถันอินทรีย์ (organic sulfur)

สูตรที่ใช้คำนวณ

ร้อยละของกำมะถันอินทีย์ = ร้อยละของกำมะถันรวม - ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ - ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.9 การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

หลักการ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีคุณสมบัติเป็น reducing agent เมื่อทำปฏิกิริยากับ $KMnO_4$ ซึ่งเป็น oxidizing agent ในสารละลายกรดจะทำให้ oxidation state ของ O^{1-} ใน H_2O_2 เปลี่ยนเป็น O_2^o จึงหาปริมาณ H_2O_2 ได้โดย direct tritation ด้วยสารละลายมาตรฐาน

สารเคมี ก. สารละลายมาตรฐาน 0.1 นอร์มอล โปตัสเซียม เปอร์มังกาเนต

ข. สารละลาย 2 นอร์มอล กรดซัลฟูริก

ค. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 29-32 % โดยน้ำหนัก

วิธีการ ไปเปต สาระลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.0 มล. เติมน้ำ 20 มล. และ 2 นอร์มอล กรดซัลฟูริกอีก 20 มล. ไตเตรทด้วย 0.1 นอร์มอล โปตัสเซียม เปอร์มังกาเนต จนถึงจุดยุติ blank ทำเช่นเดียวกันแต่ไม่มีสารตัวอย่าง

สูตรที่ใช้คำนวณ

1 มล. 0.1 นอร์มอล โปตัสเซียม เปอร์มังกาเนต = ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.701 มก.

ก.10 การคำนวณความเข้มข้นไพไรต์ในถ่านหิน

ความหนาแน่นของถ่านหิน = 3225 กก./ลบ.ม.

ดังนั้นน้ำหนักถ่านหิน X กก. (MAF) มีปริมาตร = $\frac{X}{3225}$ ลบ.ม.

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

" X " " = $\frac{X \times Y}{100}$ กก.

กำมะถัน 64 กก. เป็นไพไรต์ = 119.98 กก.

" $\frac{X\ Y}{100}$ " " = $\frac{119.98 \times X \times Y}{100 \times 64}$ "

= $\frac{X \times Y}{100 \times 64}$ กิโลโมล

ดังนั้นคิดเป็นความเข้มข้น = $\frac{X \times Y \times 3225}{100 \times 64}$ กิโลโมล/ลบ.ม.

ก.11 Linear Regression

สมมติให้ X เป็นตัวแปรอิสระ (independent variable) และ Y เป็นตัวแปรตาม (dependent variable) การเปลี่ยนของค่า X ย่อมทำให้ค่า Y เปลี่ยนตามไปด้วย สมการเส้นตรงที่ใช้บรรยายความสัมพันธ์ดังกล่าวให้ดีคือ

$$Y = A + B.X$$

โดยที่ A และ B เป็นค่าคงที่ (A คือจุดที่เส้นตรงตัดแกน Y และ B คือความชันของเส้นตรง)

$$Y = A + B.X + E$$

เมื่อ E คือค่าแตกต่างระหว่าง Y จริงและ $\hat{Y}$ (ค่า Y ที่ได้จากการพยากรณ์โดยเส้นตรง) จุดประสงค์ในการเลือกเส้นตรงคือเราต้องการ

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{n} E_i^2 = \sum_{i=1}^{n} \left| Y_i - \hat{Y}_i \right|^2$$

เมื่อ i เป็นดัชนีของจุดสังเกต

n เป็นจำนวนจุดทั้งหมด

เขียนจุดประสงค์ใหม่ได้ว่า

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{n} E_i^2 = \sum_{i=1}^{n} \left| Y_i - (A + BX_i) \right|^2$$

ถ้าเราดิฟเฟอเรนชิเอต (differentiate) ฟังก์ชันข้างต้นเทียบกับ A และ B และตั้งให้ผลลัพธ์เป็น 0 และแก้สมการเชิงเส้นทั้งสอง ก็จะได้ค่าของ A และ B ที่ทำให้จุดประสงค์ของเราเป็นจริง คือลดขนาดผลบวกของกำลังสองของความบ่ายเบนให้มากที่สุด นั่นคือ

$$\frac{\partial \left(\sum_{i=1}^{n} E_i^2 \right)}{\partial B} = -2 \sum_{i=1}^{n} X_i \left| Y_i - (A + BX_i) \right| = 0$$

$$\frac{\partial \left(\sum_{i=1}^{n} E_i^2 \right)}{\partial A} = -2 \sum_{i=1}^{n} \left| Y_i - (A + BX_i) \right| = 0$$

เมื่อแก้สมการทั้งสองแล้วจะได้

$$A = \bar{Y} - B\bar{X} \quad \text{และ} \quad B = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - n\bar{X}^2}$$

โดยที่ $\bar{X} = \sum_{i=1}^{n} X_i/n =$ ค่าเฉลี่ยของ X_i ทั้งหมด

และ $\bar{Y} = \sum_{i=1}^{n} Y_i/n =$ ค่าเฉลี่ยของ Y_1 ทั้งหมด

ในการใช้เส้นฟิตจุดดังกล่าวเมื่อต้องการทราบว่าเส้นดังกล่าวใช้แทนความสัมพันธ์ดีแค่ไหน ข้อผิดพลาดมีมากน้อยเพียงใด ได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation) ซึ่งหาได้จาก

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_1}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} X_i)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} Y_i)^2\right]}}$$

ค่าดังกล่าวหรือ r ซึ่งมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 ยิ่งค่าสัมบูรณ์ของ r มีค่าใกล้ 1 เพียงใดก็แสดงว่าเส้นตรงที่ได้ยิ่งฟิตจุดดังกล่าวดีขึ้นเพียงนั้น การที่ค่า r=0 แสดงว่าเส้นที่ได้ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของ X และ Y ได้เลย ซึ่งอาจอาจจะลองหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองในรูปอื่นได้ เช่น เอกซ์โพเนนเชียล (exponential) ลอการิทึม (logarithm)

$$\log Y = a + bX$$

ค่าอีกค่าหนึ่งที่สำคัญคือ r^2 หรือสัมประสิทธิ์ของการพิจารณา (coefficient fo determination) ซึ่งคือค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่า r^2 นี้ใช้อธิบายว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามสามารถอธิบายได้โดยเส้นตรงนี้ได้ขนาดไหน ถ้าค่า $r^2 = 1$ ก็แสดงว่าเส้นตรงดังกล่าวสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงได้ทั้ง 100%

ค่าที่สำคัญอีกค่าหนึ่งคือ ค่าความบ่ายเบนมาตรฐานของส่วนผิดพลาด (standard error of the estimate) ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$SE = \sum_{i=1}^{n} (Y_1 - Y_1)^2 / (n - 2)$$

สมการนี้ใช้วัดว่าส่วนผิดพลาดระหว่าง Y_i และ $\hat{Y}_i$ มีมากน้อยเพียงใด การที่ค่า SE ต่ำ แสดงว่าดีกว่าการที่มีค่า SE สูง

```
1000 REM   SIMPLE LINEAR REGRESSION
1001 REM   ************************
1010 REM USING LINEAR REGRESSION THIS PROGRAM WILL ESTIMATE A
1020 REM LINE, Y=A+BX, WHERE X IS THE INDEPENDENT VARIABLE AND
1030 REM Y IS THE DEPENDENT VARIABLE. IF MORE THAN 30
1040 REM OBSERVATIONS ARE USED, THE DIMENTION STATEMENTS MUST
1050 REM BE CHANGED.SUBRUTINE REGRESSION MAY BE USED BY OTHER
1060 REM PROGRAMS IF DATA IS PROVIDED IN THE ARRAYS X AND Y AND
1070 REM NUMBER OBSERVATIONS IS PROVIDED IN VARIABLE IN.
1080 DEFINT I
1090 DIM X(30), Y(30)
1094 PRINT:PRINT
1095 PRINT "     SIMPLE LINEAR REGRESSION : Y = A+B.X"
1096 PRINT "                                              ":PRINT
1100 PRINT:INPUT "INPUT THE TOTAL NUMBER OF DATA POINTS"; IN
1110 IF IN<=0 THEN 1100
1120 IF IN<4 THEN PRINT "NO. MUST BE > 3":GOTO 1100
1130 PRINT "INPUT DATA IN PAIRS:X,Y"
1140 PRINT "WHERE X IS INDEPENDENT VARIABLE, Y IS DEPENDENT VARIABLE"
1150 FOR I=1 TO IN
1160 PRINT "INPUT X,Y FOR POINT"; I;
1170 INPUT X(I), Y(I)
1180 NEXT I
1190 PRINT:PRINT "AVAILABLE OPTION:"
1200 PRINT TAB(7) "1-LIST INPUT DATA"
1210 PRINT TAB(7) "2-MODIFY INPUT DATA"
1220 PRINT TAB(7) "3-PERFORM REGRESSION ANALYSIS"
1230 PRINT TAB(7) "4-QUITE"
1240 INPUT "OPTION"; IP
1250 IF(IP<1) OR (IP>4) THEN 1190
1260 IF IP=1 THEN GOSUB 1330
1270 IF IP=2 THEN GOSUB 1450
1280 IF IP=3 THEN GOSUB 1520
1290 IF IP=4 THEN 1870
1300 GOTO 1190
1310 REM ************************************************************************
1320 REM SUBROUTINE: LIST DATA
1330 PRINT:PRINT "LISTING OF DATA"
1340 PRINT "    X", "    Y"
1350 IC=1
1360 FOR I=1 TO IN
1370 IF I<>(IC*15) THEN 1400
1380 IC=IC+1
1390 PRINT:INPUT "PRESS ENTER TO CONTINUE";Y$:PRINT
1400 PRINT X(I),Y(I)
1410 NEXT I
1420 RETURN
1430 REM ************************************************************************
1440 REM SUBROUTINE: MODIFY DATA
1450 PRINT:INPUT "ENTER NUMBER OF DATA POINT TO BE MODIFIED"; ID
1460 PRINT "NEW VALUES FOR X AND Y FOR POINT"; ID;
1470 INPUT X(ID), Y(ID)
1480 INPUT "ANY MORE DATA POINTS TO BE MODIFIED (Y/N)"; Y$
1490 IF Y$="Y" THEN 1450
1500 RETURN
1510 REM ************************************************************************
1520 REM SUBROUTINE: REGRESSION
1530 SX=0:SY=0:SX2=0:SY2=0:SXY=0
1540 FOR I=1 TO IN
1550 SX=SX+X(I)                          'SUM OF X
1560 SY=SY+Y(I)                          'SUM OF Y
1570 SX2=SX2+X(I)^2                      'SUM OF X^2
1580 SY2=SY2+Y(I)^2                      'SUM OF Y^2
1590 SXY=SXY+X(I)*Y(I)                   'SUM OF X*Y
1600 NEXT I
1610 B=(IN*SXY-SX*SY)/(IN*SX2-SX^2)      'SLOPE OF LINE
1620 A=(SY-B*SX)/IN                      'INTERCEPT OF LINE
1630 REM COEFFICIENT OF CORRELATION
1640 CC=(SXY-SX*SY/IN)/(SQR((SX2-(SX^2)/IN)*(SY2-(SY^2)/IN)))
1650 CR=CC^2                             'COEFFICIENT OF DETERMINATION
```

```
1660 SSE=SY2-SY^2/IN-B*(SXY-SX*SY/IN)   'ERROR SUM OF SQUARES
1670 SE=SQR(SSE/(IN-2))                 'STD DEVIATION OF ESTIMATION
1680 REM ************************************************************************
1690 REM SUBROUTINE: PRINT RESULTS
1700 PRINT:PRINT "REGRESSION EQUATION:"
1710 PRINT "Y="; A; "+";B;"X":PRINT
1720 PRINT "COEFFICIENT OF DETERMINATION="; CR
1730 PRINT "COEFFICIENT OF CORRELATION="; CC
1740 PRINT "STANDARD DEVIATION OF THE ESTIMATE=";SE
1750 PRINT:PRINT "ACTUAL VERSUS ESTIMATED VALUES"
1760 PRINT "X", "Y", "ESTIMATED Y", "ERROR"
1770 IC=1
1780 FOR I=1 TO IN
1790 IF I<>(IC*15) THEN 1820
1800 PRINT:INPUT "PRESS ENTER TO CONTINUE";Y$:PRINT
1810 IC=IC+1
1820 EY=A+B*X(I)
1830 PRINT X(I), Y(I), EY, Y(I)-EY
1840 NEXT I
1850 PRINT:INPUT  "PRESS ENTER TO CONTINUE";Y$
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.12 การหาค่าความร้อน (heating value)

ค่าความร้อน (heating value or calorific value) วิเคราะห์ค่าความร้อน โดยใช้เครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ รุ่น CA - 3 ของชิมัตสุ (Shimadzu) ซึ่งก็คือเครื่องหาความร้อนแบบอะเดียเบติคตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D2015 ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องคำนวณแสดงผลออกเป็นค่าความร้อน ตามรูปที่ ก.1 ซึ่งติดตั้งอยู่ ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เครื่องหาค่าความร้อนแบบนี้ทำงานโดยอัตโนมัติ วัดค่าความร้อนจากการเผาไหม้แสดงผลเป็นตัวเลข กรณีตัวอย่างเป็นของแข็ง เช่น ถ่านหิน หรือถ่านชาร์จะต้องอัดตัวอย่างเป็นก้อน หรือห่อด้วยกระดาษฟาง (rice paper) ซึ่งทราบค่าความร้อนแล้ว พันห่อกระกาษด้วยลวดเผาไหม้ (ignition wire) ใส่ลงในถ้วยตัวอย่าง (sample pan) ซึ่งทำด้วยเหล็กปลอดสนิม วางถ้วยตัวอย่างในห่วงของเครื่องบอมบ์ ปิดฝาและอัดก๊าซออกซิเจนด้วยความดัน 30 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร เช่นเดียวกับเครื่องบอมบ์ทั่ว ๆ ไป แล้วประกอบเข้าในถัง (jacket) เมื่ออุณหภูมิในเครื่องคงที่ ตัวอย่างจะถูกเผาไหม้ (ignite) และแสดงผลค่าความร้อน การทำงานภายในเครื่องก็คือการทำงานของเครื่องหาค่าความร้อนแบบอะเดียเบติค คือปรับอุณหภูมิน้ำในถังให้เท่ากับเครื่องที่แช่บอมบ์ เพื่อกันการสูญเสียความร้อน และวัดอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจากตัวอย่างที่ถูกเผาไหม้ แสดงผลซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$Q = C\,(W + w) \times t_d$$

Q : ค่าความร้อนจากการเผาไหม้, แคลอรี

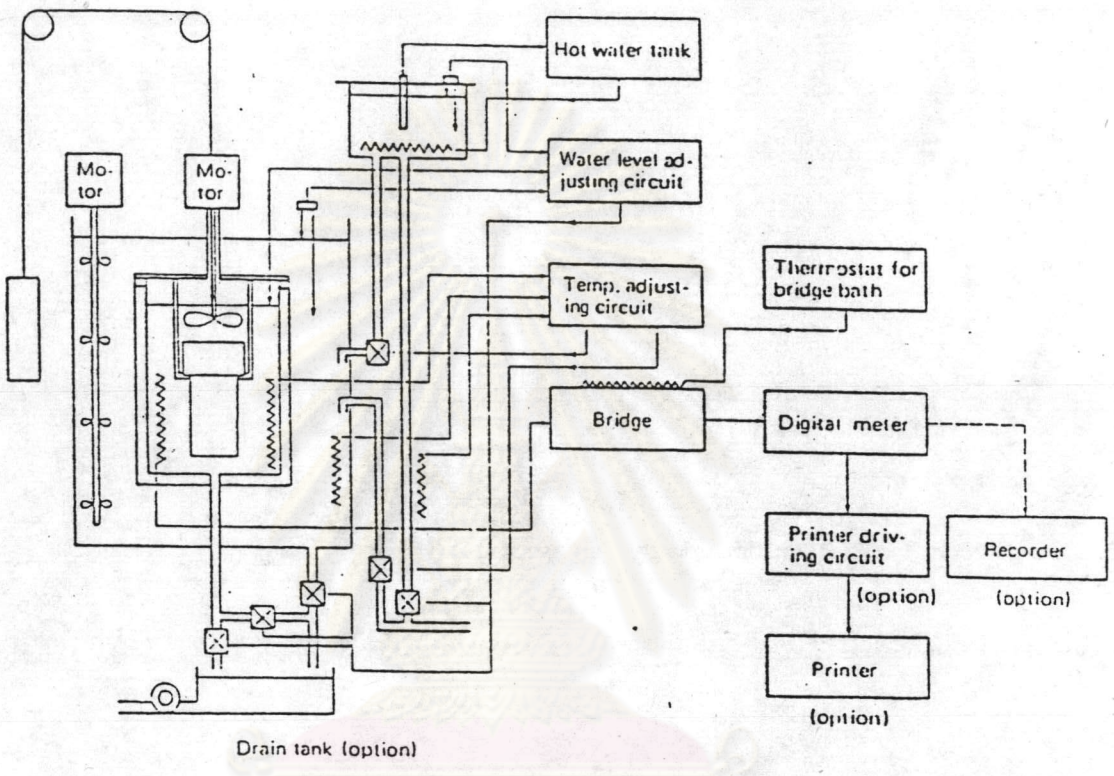
C : ความร้อนจำเพาะของน้ำ, แคลอรีต่อกรัมต่อองศา

W : ค่าคงที่ของเครื่อง (water equivalent), กรัม

w : ปริมาตรน้ำในเครื่องที่แช่บอมบ์, กรัม

t_d : อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น, องศา

ค่าของ C (W + w) เป็นค่าคงที่ของเครื่องหนึ่ง ๆ เมื่อปรับเครื่องด้วยสารมาตรฐานซึ่งทราบค่าความร้อนแล้ว คือ กรดเบนโซอิคแห้ง (benzoic acid) ดังนั้นค่าความร้อน (Q) เป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (t_d) จึงสามารถแสดงค่าความร้อนจากเครื่องได้เป็นแคลอรี



รูปที่ ก.1 แผนผังการทำงานของเครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลและการคำนวณ

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลกำมะถันไพไรต์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะของการทดลองตารางที่ 4.14

อุณหภูมิ		เริ่มต้น	5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	30 นาที	60 นาที
15 °ซ	เถ้า, % (MFB)	19.38	13.58	12.80	11.83	10.48	9.12	5.93
	กำมะถันไพไรต์, % (MFB)	0.97	0.53	0.43	0.37	0.30	0.24	0.06
	กำมะถันไพไรต์, % (MAF)	1.21	0.62	0.49	0.42	0.34	0.26	0.07
	น้ำหนักถ่านหิน, กรัม (MAF)	1.263	1.476	1.474	1.520	1.519	1.559	1.619

อุณหภูมิ		เริ่มต้น	5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	30 นาที	60 นาที
25 °ซ	เถ้า, % (MFB)	19.39	12.41	9.89	8.61	8.14	7.76	6.79
	กำมะถันไพไรต์, % (MFB)	1.14	0.45	0.31	0.23	0.19	0.12	0.04
	กำมะถันไพไรต์, % (MAF)	1.42	0.51	0.34	0.25	0.21	0.13	0.05
	น้ำหนักถ่านหิน, กรัม (MAF)	1.261	1.521	1.567	1.591	1.606	1.616	1.629

อุณหภูมิ		เริ่มต้น	5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	30 นาที	60 นาที
30 °ซ	เถ้า, % (MFB)	19.43	11.00	8.68	8.11	7.72	7.14	6.75
	กำมะถันไพไรต์, % (MFB)	1.17	0.41	0.28	0.17	0.15	0.08	0.03
	กำมะถันไพไรต์, % (MAF)	1.45	0.46	0.31	0.19	0.16	0.09	0.04
	น้ำหนักถ่านหิน, กรัม (MAF)	1.266	1.538	1.581	1.591	1.606	1.619	1.618

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินเหมืองป่าคาของการทดลองตารางที่ 4.19

อุณหภูมิ		เริ่มต้น	5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	30 นาที	60 นาที
15 °ซ	เถ้า, % (MFB)	47.64	39.06	38.11	35.73	34.78	32.87	31.44
	กำมะถันไพไรต์, % (MFB)	0.38	0.33	0.26	0.21	0.20	0.13	0.10
	กำมะถันไพไรต์, % (MAF)	0.74	0.54	0.42	0.33	0.31	0.20	0.15
	น้ำหนักถ่านหิน, กรัม (MAF)	0.929	1.131	1.145	1.187	1.207	1.235	1.235

อุณหภูมิ		เริ่มต้น	5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	30 นาที	60 นาที
25 °ซ	เถ้า, % (MFB)	47.52	37.54	35.64	33.36	32.31	30.89	30.41
	กำมะถันไพไรต์, % (MFB)	0.35	0.19	0.16	0.13	0.11	0.08	0.08
	กำมะถันไพไรต์, % (MAF)	0.66	0.31	0.25	0.19	0.17	0.12	0.12
	น้ำหนักถ่านหิน, กรัม (MAF)	0.915	1.108	1.178	1.216	1.166	1.195	1.266

อุณหภูมิ		เริ่มต้น	5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	30 นาที	60 นาที
30 °ซ	เถ้า, % (MFB)	47.32	35.49	33.12	32.18	30.76	29.81	29.34
	กำมะถันไพไรต์, % (MFB)	0.33	0.19	0.13	0.10	0.08	0.07	0.07
	กำมะถันไพไรต์, % (MAF)	0.62	0.30	0.20	0.15	0.12	0.10	0.10
	น้ำหนักถ่านหิน, กรัม (MAF)	0.922	1.179	1.202	1.222	1.266	1.271	1.272

ตารางที่ ข.3 linear regression ด้วย Lotus V. 2.0 สำหรับการหาค่า $k_2 C_{p_o}$ ของถ่านหินเหมืองแม่เมาะตารางที่ 4.16

TIME(S)	(15 DEG.C) 1/(1-X)^-1	(25 DEG.C) 1/(1-X) -1	(30 DEG.C) 1/(1-X) -1
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.9373	1.8024	2.1211
600	1.4649	3.1237	3.6083
900	1.8769	4.5835	6.5244
1200	2.5130	5.6622	8.2850
1800	3.7202	9.6246	14.4314

(15 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.1667
R Squared	0.9832
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0021
Std Err of Coef.	0.0001

(25 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.3043
R Squared	0.9918
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0052
Std Err of Coef.	0.0001

(30 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.6695
R Squared	0.9832
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0075
Std Err of Coef.	0.0003

TIME(s)	(15 DEG.C) 1/(1-X) -1 (ESTIMATE)	(25 DEG.C) 1/(1-X) -1 (ESTIMATE)	(30 DEG.C) 1/(1-X) -1 (ESTIMATE)
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.6344	1.5484	2.2521
600	1.2688	3.0969	4.5042
900	1.9032	4.6453	6.7563
1200	2.5376	6.1937	9.0084
1500	3.1720	7.7422	11.2606
1800	3.8065	9.2906	13.5127

ตารางที่ ข.4 linear regression ด้วย Lotus V.2.0 สำหรับขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นเถ้าและหาค่า $\frac{1}{\tau}$ ของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ รูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.17

TIME(S)	(15 DEG.C) 1-3(1-X)^2/3+2(1-X)	(25 DEG.C) 1-3(1-X)^2/3+2(1-X)	(30 DEG.C) 1-3(1-X)^2/3+2(1-X)
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.1011	0.2044	0.2361
600	0.1673	0.3184	0.3507
900	0.2121	0.4050	0.4845
1200	0.2711	0.4529	0.5363
1800	0.3575	0.5675	0.6456

(15 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.0289
R Squared	0.9476
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0002
Std Err of Coef.	0.0000

(25 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.0812
R Squared	0.8368
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0004
Std Err of Coef.	0.0000

(30 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.0962
R Squared	0.8296
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0004
Std Err of Coef.	0.0000

TIME(s)	(15 DEG.C) (ESTIMATE)	(25 DEG.C) (ESTIMATE)	(30 DEG.C) (ESTIMATE)
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.0652	0.1102	0.1274
600	0.1303	0.2204	0.2548
900	0.1955	0.3306	0.3823
1200	0.2607	0.4408	0.5097
1500	0.3259	0.5510	0.6371
1800	0.3910	0.6612	0.7645

ตารางที่ ข.5 linear regression ด้วย Lotus V. 2.0 สำหรับขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม ของถ่านหินเหมืองแม่เมาะรูปที่ 4.24

TIME(S)	(15 DEG.C) X	(25 DEG.C) X	(30 DEG.C) X
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.4838	0.6432	0.6796
600	0.5943	0.7575	0.7830
900	0.6524	0.8209	0.8671
1200	0.7153	0.8499	0.8923
1800	0.7881	0.9059	0.9352

(15 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.2184
R Squared	0.4078
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0006
Std Err of Coef.	0.0001

(25 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.3037
R Squared	0.1880
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0007
Std Err of Coef.	0.0001

(30 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.3213
R Squared	0.1635
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0007
Std Err of Coef.	0.0001

TIME(s)	(15 DEG.C) X (ESTIMATE)	(25 DEG.C) X (ESTIMATE)	(30 DEG.C) X (ESTIMATE)
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.1700	0.2039	0.2125
600	0.3400	0.4078	0.4251
900	0.5100	0.6116	0.6376
1200	0.6800	0.8155	0.8501
1500	0.8500	1.0194	1.0627
1800	1.0199	1.2233	1.2752

ตารางที่ ข.6 linear regression ด้วย Lotus V. 2.0 สำหรับขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาของถ่านหินเหมืองแม่เมาะรูปที่ 4.24

TIME(S)	(15 DE6.C) 1-(1-X)^1/3	(25 DE6.C) 1-(1-X)^1/3	(30 DE6.C) 1-(1-X)^1/3
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.1978	0.2907	0.3157
600	0.2597	0.3764	0.3991
900	0.2969	0.4363	0.4897
1200	0.3421	0.4685	0.5242
1800	0.4038	0.5451	0.5983

(15 DE6.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.0814
R Squared	0.6675
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0003
Std Err of Coef.	0.0000

(25 DE6.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.1008
R Squared	0.7137
No. of Observations	5.0000
Degrees of Freedom	4.0000
X Coefficient(s)	0.0005
Std Err of Coef.	0.0001

(30 DE6.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.1043
R Squared	0.7525
No. of Observations	5.0000
Degrees of Freedom	4.0000
X Coefficient(s)	0.0005
Std Err of Coef.	0.0001

TIME(s)	(15 DE6.C) (ESTIMATE)	(25 DE6.C) (ESTIMATE)	(30 DE6.C) (ESTIMATE)
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.0818	0.1409	0.1560
600	0.1636	0.2818	0.3120
900	0.2454	0.4226	0.4680
1200	0.3272	0.5635	0.6240
1500	0.4090	0.7044	0.7800
1800	0.4908	0.8453	0.9360

ตารางที่ ข.7 linear regression ด้วย Lotus V. 2.0 สำหรับการหาค่า k_2C_{Po} ของถ่านหินเหมืองป่าคา ตารางที่ 4.18

TIME(S)	(15 DEG.C) 1/(1-X)-1	(25 DEG.C) 1/(1-X)-1	(30 DEG.C) 1/(1-X)-1
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.3757	1.1004	1.1103
600	0.7501	1.6089	2.1898
900	1.2548	2.3910	3.2176
1200	1.4004	2.9588	4.1787
1800	2.6509	4.6754	5.2735

(15 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.1417
R Squared	0.9770
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0014
Std Err of Coef.	0.0001

(25 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.1634
R Squared	0.9898
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0026
Std Err of Coef.	0.0001

(30 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.3348
R Squared	0.9707
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0032
Std Err of Coef.	0.0001

TIME(s)	(15 DEG.C) 1/(1-X)-1 (ESTIMATE)	(25 DEG.C) 1/(1-X)-1 (ESTIMATE)	(30 DEG.C) 1/(1-X)-1 (ESTIMATE)
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.4113	0.7785	0.9621
600	0.8226	1.5569	1.9242
900	1.2340	2.3354	2.8863
1200	1.6453	3.1139	3.8484
1500	2.0566	3.8923	4.8105
1800	2.4679	4.6708	5.7726

ตารางที่ ข.8 linear regression ด้วย Lotus V. 2.0 สำหรับขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นเถ้าและหาค่า $\frac{1}{\tau}$ ของถ่านหินเหมืองป่าคารูปที่ 4.28 และตารางที่ 4.20

TIME(S)	(15 DE6.C) 1-3(1-X)^2/3+2(1-X)	(25 DE6.C) 1-3(1-X)^2/3+2(1-X)	(30 DE6.C) 1-3(1-X)^2/3+2(1-X)
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.0285	0.1230	0.1243
600	0.0770	0.1836	0.2425
900	0.1423	0.2607	0.3250
1200	0.1598	0.3064	0.3840
1800	0.2825	0.4095	0.4368

(15 DE6.C)
Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.0145
R Squared	0.9802
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0001
Std Err of Coef.	0.0000

(25 DE6.C)
Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.0357
R Squared	0.9385
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0003
Std Err of Coef.	0.0000

(30 DEC.C)
Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.0612
R Squared	0.8631
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0003
Std Err of Coef.	0.0000

TIME(s)	(15 DE6.C) (ESTIMATE)	(25 DE6.C) (ESTIMATE)	(30 DE6.C) (ESTIMATE)
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.0446	0.0751	0.0870
600	0.0892	0.1501	0.1740
900	0.1338	0.2252	0.2610
1200	0.1784	0.3003	0.3479
1500	0.2230	0.3754	0.4349
1800	0.2676	0.4504	0.5219

ตารางที่ ข.9 linear regression ด้วย Lotus V. 20 สำหรับขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของถ่านหินเหมืองป่าคารูปที่ 4.30

TIME(S)	(15 DEG.C) X	(25 DEG.C) X	(30 DEG.C) X
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.2731	0.5239	0.5261
600	0.4286	0.6167	0.6865
900	0.5565	0.7051	0.7629
1200	0.5834	0.7474	0.8069
1800	0.7261	0.8239	0.8406

(15 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.1192
R Squared	0.7891
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0005
Std Err of Coef.	0.0000

(25 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.2357
R Squared	0.3736
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0006
Std Err of Coef.	0.0001

(30 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.2592
R Squared	0.3284
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0006
Std Err of Coef.	0.0001

TIME(s)	(15 DEG.C) (ESTIMATE)	(25 DEG.C) (ESTIMATE)	(30 DEG.C) (ESTIMATE)
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.1438	0.1789	0.1888
600	0.2876	0.3577	0.3775
900	0.4314	0.5366	0.5663
1200	0.5752	0.7155	0.7551
1500	0.7189	0.8943	0.9439
1800	0.8627	1.0732	1.1326

ตารางที่ ข.10 linear regression ด้วย Lotus V. 2.0 สำหรับขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาของถ่านหินเหมืองป่าคารูปที่ 4.30

TIME(S)	(15 DEG.C) 1-(1-X)^1/3	(25 DEG.C) 1-(1-X)^1/3	(30 DEG.C) 1-(1-X)^1/3
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.1008	0.2192	0.2203
600	0.1702	0.2736	0.3207
900	0.2374	0.3344	0.3811
1200	0.2531	0.3679	0.4220
1800	0.3506	0.4394	0.4578

(15 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.0355
R Squared	0.9176
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0002
Std Err of Coef.	0.0000

(25 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.0891
R Squared	0.6630
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0003
Std Err of Coef.	0.0000

(30 DEG.C) Regression Output:

Constant	0.0000
Std Err of Y Est	0.1058
R Squared	0.6092
No. of Observations	6.0000
Degrees of Freedom	5.0000
X Coefficient(s)	0.0003
Std Err of Coef.	0.0000

TIME(s)	(15 DEG.C) (ESTIMATE)	(25 DEG.C) (ESTIMATE)	(30 DEG.C) (ESTIMATE)
0	0.0000	0.0000	0.0000
300	0.0647	0.0891	0.0976
600	0.1294	0.1781	0.1951
900	0.1941	0.2672	0.2927
1200	0.2588	0.3562	0.3903
1500	0.3234	0.4453	0.4879
1800	0.3881	0.5343	0.5854

การคำนวณ

ร้อยละของปริมาณสารระเหย (แบบไม่รวมความชื้น) = $\frac{1}{100 - m}$ ร้อยละของปริมาณสารระเหย × 100

ร้อยละของปริมาณเถ้า (แบบไม่รวมความชื้น) = $\frac{1}{100 - m}$ ร้อยละของปริมาณเถ้า × 100

ร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัว (แบบไม่รวมความชื้น) = $\frac{1}{100 - m}$ ร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัว × 100

ร้อยละของปริมาณกำมะถันรวม (แบบไม่รวมความชื้น) = $\frac{1}{100 - m}$ ร้อยละของปริมาณกำมะถันไพไรต์ × 100

ร้อยละของปริมาณกำมะถันไพไรต์ (แบบไม่รวมความชื้น) = $\frac{1}{100 - m}$ ร้อยละของปริมาณกำมะถันไพไรต์ × 100

ร้อยละของปริมาณกำมะถันอินทรีย์ (แบบไม่รวมความชื้น) = $\frac{1}{100 - m}$ ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ × 100

ร้อยละของปริมาณกำมะถันซัลเฟต (แบบไม่รวมความชื้น) = $\frac{1}{100 - m}$ ร้อยละของปริมาณกำมะถันซัลเฟต × 100

ค่าความร้อน (แบบไม่รวมความชื้น) = $\frac{1}{100 - m}$ ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม) × 100

%De-S = ร้อยละของการลดปริมาณกำมะถันรวม (แบบไม่รวมความชื้น)

$$= \frac{\text{ร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้น} - \text{ร้อยละของกำมะถันรวมภายหลังดีซัลเฟอไรเซชัน}}{\text{ร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้น}} \times 100$$

%De-pyrite = ร้อยละของการลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ (แบบไม่รวมความชื้น)

$$= \frac{\text{ร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้น} - \text{ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ภายหลังดีซัลเฟอไรเซชัน}}{\text{ร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้น}} \times 100$$

%De-ashing = ร้อยละของการลดปริมาณเถ้า (แบบไม่รวมความชื้น)

$$= \frac{\text{ร้อยละของเถ้าเริ่มต้น} - \text{ร้อยละของเถ้าภายหลังดีซัลเฟอไรเซชัน}}{\text{ร้อยละของเถ้าเริ่มต้น}} \times 100$$

% Heating value increave = ร้อยละของค่าความร้อนเพิ่มหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอ-ไรเซชัน (แบบไม่รวมความชื้น)

$$= \frac{\text{ค่าความร้อนเริ่มต้น} - \text{ค่าความร้อนภายหลังดีซัลเฟอไรเซชัน}}{\text{ค่าความร้อนเริ่มต้น}} \times 100$$

% Coal recovery = ร้อยละของถ่านหินที่ได้คืนกลับหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (แบบไม่รวมความชื้น)

$$= \frac{\text{น้ำหนักถ่านหินเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักถ่านหินภายหลังดีซัลเฟอไรเซชัน}}{\text{น้ำหนักถ่านหินเริ่มต้น}} \times 100$$

หมายเหตุ m คือ ร้อยละของค่าความชื้น

MFB หมายถึง การคำนวณแบบไม่รวมความชื้น (moisture free basis)

MAF หมายถึง การคำนวณแบบไม่รวมความชื้นและเถ้า (moisture ash free basis)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นาย เอกชัย อานนท์กิจพานิช เกิดที่จังหวัดลพบุรี เมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2503 ได้รับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2525

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย