

เอกสารอ้างอิง

1. Meyer, R.A. in "Coal Handbook" 1st ed., pp. 1-50, Marcel Dekker Ltd., New York 1981.
2. กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ "ถ่านหิน" กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ กรมทรัพยากรธรณี
กรุงเทพฯ ๒ 2526
3. บงบุตร อุดคคกิม่าพันธ์และคณะ "ถ่านหิน-ความก้าวหน้าในการสำรวจและการผลิตภายในประเทศ" การประชุมทางวิชาการกรมทรัพยากรธรณี ครั้งที่ 2 กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ กรมทรัพยากรธรณี 2526
4. Eliot, R.C. in "Coal Desulfurization Prior to Combustion" 1 st ed.
pp 1-31, Noyes Data Coporation Park Ridge, NJ, 1978.
5. Meyer, R.A. in "Coal Handbook" 1 st. ed., pp. 210-300 Marcel Dekker Ltd., New York 1981.
6. Eliot, R.C. in "Coal Desulfurization Prior to Combustion", 1 st.ed.,
pp. 127-208, Noyes Data Coporation Park Ridge, NJ 1978.
7. Eliot, R.C. in "Coal Desulfurization Prior to Combustion", 1 st.ed.,
pp. 262-282, Noyes Data Coporation Park Ridge, NJ 1978.
8. Mendizabal, E. in "Low Temperature Process for Coal Desulfurization",
Lawrence Berkeley Laboratory of the University of California, Report for the U.S. Energy Research and Development Administration, August 1976.
9. Araya, P.E., Ohlbaum, R.B., Droguett, S.E. "Study of the Treatment of Subbituminous Coal by NaOH solutions." Fuel 60 (1981): 1127 - 1130.

10. George, W., Land, P.E. in "The Problem of Removing Sulfur from Coal". The National Western Mining Conference of the Colorado Mining Association, Amax Coal Company, Denver Colorado, January 31, February 1,2, 1979.
11. Tai, C.Y., Graves, G.V. and Wheelock, 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.
12. Markuszewski, R., Chuang, K.C., and Wheelock, T.D., "Coal Desulfurization by Leaching with Alkaline Solution Containing Oxygen." Proceeding : Symposium on Coal Cleaning to Achieve Energy and Environmental Goals EPA-600/7-79-098 b U.S. Environmental Protection Agency, Washing, D.C. 20460 April 1979.
13. Squires, T.G., Venier, C.G., Chang, L.W. and Schmidt, T.E. "Chemical Studies of the Ames Oxydesulfurization Process" Ames Laboratory Operated for the U.S. Department of Energy by Iowa State University, Ames, Iowa, 50011, 1981.
14. _____, Chang, L.W., Venier C.G. and Barton, T.J. "Coal Desulfurization : Application of Basic Research in Sulfur Chemistry to Process Research and Development, Ames Laboratory, U.S. DOE and Department of Chemistry, Iowa State University, Ames, Iowa, 50011, 1979.
15. Wheelock, T.D. "Oxydesulfurization of Coal in Alkaline Solution" Chem. Eng. Commun, 12 (1981) : 137 - 159.

16. Slagle, D, Shah, Y.T., and Joshi, J.B. "Kinetics of Oxydesulfurization of Upper Freeport Coal" Ind. Eng. Chem. Process. Des. Dev. 19 (1980) : 294 - 300.
17. Joshi, J.B. et. al "Modeling of Three Phase Reactors : A Case of Oxydesulfurization of Coal" AIChE Journal, 27 (6) (1981) : 937 - 945.
18. Prasassarakich, P., Premyothin, W. "Study of Coal Desulfurization", The Journal of Scientific Research (1983) : 111 - 120.
19. มานพ อติวณิชพงษ์ และพัชรินทร์ "การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยวิธีออกซิเดชัน" วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2525
20. วิทยา บัณฑิตวรณ "การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยวิธีออกซิเดชัน" วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2527
21. สัมชัย อัครทิวา และประเสริฐ กลกิจสกุลผล "การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์" วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2527.
22. สมบุญ รวมก้อนทอง และ สัมชาย อารีชั้นลุ่ม "การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยใช้ ฟลูอิดไอซ์เบด" วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2528.
23. ASTM Standards ; D 2013 "Preparaing Coal Samples for Analysis" American Society for Terting and Materials U.S.A., 1983
24. ASTM Standards ; D 3173 "Test for Moisture in the Sample of Coal and Coke" American Society for Testing and Material, U.S.A., 1983.

25. ASTM Standards ; D 3174 "Test for Ash in the Analysts Sample of Coal and Coke" American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1982.
26. ASTM Standards ; D 2015, "Test for Gross Calorific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Bomb Calorimeter" American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1983.
27. ASTM Standards ; D 3177 "Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke" American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1983.
28. ASTM Standards ; D 2072 "Form of Sulfurs in the Analysis Sample of Coal and Coke" American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1983.

ภาคผนวก ก.

วิธีการวิเคราะห์

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

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่จะวิเคราะห์มาผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน แล้วนำมาให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (dry-oven) ที่อุณหภูมิประมาณ $105 - 110^{\circ}\text{C}$ เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกไปจากถ่านหิน และค่าความชื้นสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของถ่านหินที่ลดลง

เครื่องมือ ตู้อบ (dry-oven), crucible, dessicator

วิธีการทดลอง

1. อบ crucible ที่อุณหภูมิ 110°C ประมาณ 30 นาที แล้วนำออกมาจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นใน dessicator แล้วชั่งน้ำหนัก
2. นำถ่านหินใส่ crucible แล้วชั่งให้ได้น้ำหนักของถ่านหินประมาณ 1 กรัม
3. นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110°C 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 และน้ำหนักถ่านหินก่อนเข้าตู้อบ (กรัม)

W_3 = น้ำหนักของ crucible กับน้ำหนักของถ่านหินภายหลังจากนำออกมาจากตู้อบ (กรัม)

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

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่จะวิเคราะห์ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน
แล้วนำมาเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 925⁰ ช ในเตาเผา (muffle furnace) เป็นเวลา
7 นาที ปริมาณสารระเหยสามารถคำนวณโดยการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน

เครื่องมือ เตาเผา (muffle furnace), crucible พร้อมฝาปิด
dessicator

วิธีการทดลอง

1. เเผา crucible และฝาปิดที่อุณหภูมิ 925⁰ ช ในเตาเผาประมาณ 30
นาที แล้วนำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน dessicator นำไปชั่งน้ำหนักของ crucible
และฝาปิด

2. ชั่งน้ำหนักถ่านหินใส่ใน crucible ประมาณ 1 กรัม

3. นำ crucible พร้อมถ่านหินเข้าเตาเผาโดยจะปิดฝา crucible
ให้มีช่องว่างเล็กน้อย เเผาที่ 925⁰ ช นาน 7 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน
dessicator

4. ชั่งน้ำหนักของ crucible และถ่านหินที่เหลือพร้อมฝาปิด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย (% volatile matter)

m = ร้อยละของปริมาณความชื้น (% moisture content)

W₄ = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝาปิด (กรัม)

W₅ = น้ำหนักของ crucible รวมกับน้ำหนักถ่านหินพร้อมฝาปิดก่อน
เข้าเตาเผา (กรัม)

W₆ = น้ำหนักของ crucible รวมกับน้ำหนักถ่านหิน พร้อมฝาปิด
ภายหลังจากนำออกมาจากเตาเผา (กรัม)

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

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

เครื่องมือ เตาเผา (muffle furnace), crucible พร้อมฝาปิด dessicator
วิธีการทดลอง

1. เเผา crucible พร้อมฝาปิดที่อุณหภูมิ 825°C เป็นเวลาประมาณ 30 นาที ในเตาเผา แล้วนำออกมาทำให้เย็นใน dessicator จึงชั่งน้ำหนัก crucible พร้อมฝาปิด
2. ชั่งถ่านหินประมาณ 1 กรัมใส่ใน crucible
3. นำเข้าเตาเผาพร้อมปิดฝาให้มีช่องว่างเล็กน้อยเผาที่อุณหภูมิ 500°C นานประมาณ 30 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 825°C เเผา 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)

ก.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านหิน (fixed carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = $100 - \text{ร้อยละของปริมาณความชื้น} - \text{ร้อยละของปริมาณสารระเหย} - \text{ร้อยละของปริมาณถ้ำ}$

ก.5 การหาปริมาณกำมะถันรวม (total sulfur) โดยวิธี Eschka method

หลักการ ตัวอย่างถ่านหินจะถูกเผาพร้อมกับ eschka mixture โดยที่กำมะถันที่ประกอบอยู่ในถ่านหินจะเปลี่ยนเป็นรูปของซัลเฟตไอออน และจะหาปริมาณกำมะถันในรูปของแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4)

เครื่องมือ เต้าเผา (muffle furnace), crucible ปีกเกอร์ hot plate, กรวยกรองพร้อมกระดาษกรอง

สารเคมี

- ก. น้ำกลั่น
- ข. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) ความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร
- ค. น้ำโบรมีนอิ่มตัว
- ง. eschka mixture ประกอบด้วย แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) กับโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ในอัตราส่วน 2 : 1 โดยน้ำหนัก
- จ. สารละลายกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 6 โมลาร์
- ฉ. สารละลายกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 1.2 โมลาร์
- ช. methyl orange indicator โดยละลาย 0.02 กรัม methyl orange ในน้ำร้อน 100 มล. แล้วกรอง
- ฉ. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ชั่ง 60 กรัมของผลึก $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 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°C ในช่วง 1 ชม.แรก แล้วรักษาอุณหภูมิไว้ต่ออีก $1\frac{1}{2}$ ชม. (สังเกตอุณหภูมิของถ่านหินหมดไป)
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 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจนน้ำล้างตะกอนปราศจากคลอไรด์ไอออน
9. นำตะกอน BaSO_4 ที่กรองได้ ใส่ crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำเข้าเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 925°C ประมาณ 1 ชม. จึงนำ crucible ออกจากเตาเผา ทำให้เย็นใน dessicator แล้วชั่งน้ำหนัก
10. Blank correction ทำการวิเคราะห์ที่เหมือนกับ 1-9 เพียงแต่ไม่ใส่ตัวอย่างถ่านหินในการวิเคราะห์เท่านั้น

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

เมื่อ $A^* =$ 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 สํารละลาย กรดเกลือเคือจาง และจะวิเคราะห์ห้ผลออกมาในรูปของตะกอนแบ่เตรียมซัลเฟต

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

สํารเคมี

- ก. สํารละลายกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 12 โมลาร์ (ถ.พ. 1.19)
- ข. สํารละลายแบ่เตรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) 100 กรัม/ลิตร
- ค. สํารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 5 โมลาร์
- ง. สํารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.45 โมลาร์
- จ. สํารละลายกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 4.8 โมลาร์
- ฉ. น้ำโบรมีนอิ่มตัว
- ช. methyl orange indicator ละลาย 0.02 กรัม methyl orange
ในน้ำร้อน 100 มล.
- ซ. สํารละลายเอริลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 โดยปริมาตร

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างถ่านหินที่จะวิเคราะห์ประมาณ 2 กรัม ใส่ในปิ๊คเกอร์แล้วเติม
สํารละลาย 4.8 M HCl 50 มล.
2. เติมสํารละลายเอริลแอลกอฮอล์ 2 มล. นำขึ้นต้มบน hot plateพร้อมปิด
ด้วยกระดาษฟีก เป็นเวลานาน $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง
3. กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำเย็น นำตะกอนที่ได้เก็บไว้วิเคราะห์หากำมะถัน
ไฟไรต์ ส่วนสํารละลายเติมน้ำโบรมีน 10 มล. ต้มให้เดือดอย่างน้อย 5 นาที
4. เติสํารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 4 โมลาร์ จนกระทั่งสํารละลาย
เป็นด่างเล็กน้อย แล้วเติมให้เกินพอ 5 มล.
5. กรองตะกอนที่ได้ล้างตะกอนด้วยสํารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 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 แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจนหมดคลอไรด์ไอออน
9. นำตะกอนที่ได้ใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้วนำเข้าเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 925⁰ ช ประมาณ 1 ชม. จึงนำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน dessicator แล้วชั่งน้ำหนัก
10. ทำ blank correction เหมือน 1-9 โดยไม่ใส่ตัวอย่างถ่านหินในการวิเคราะห์

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

เมื่อ 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 และจะวิเคราะห์ห้มออกมาในรูปของเหล็กโดยเครื่องมือ atomic absorption spectrophotometer และปริมาณเหล็กที่ได้ก็จะเปลี่ยนเป็นรูปของกำมะถันไพไรต์อีกทีหนึ่ง

เครื่องมือ atomic absorption spectrophotometer ยวตปริมาตร, ไปเปต

สารเคมี สารละลาย HNO_3 เข้มข้น 2 โมลาร์ สารละลาย $LaCl \cdot 7H_2O$

วิธีการทดลอง

1. นำตะกอนและกระดาษกรองจากการวิเคราะห์หาค่าตะกอนซิลเฟตมาบดด้วย
สารละลาย 2M HNO_3 50 มล. ประมาณ 30 นาที
2. กรองสารละลายและล้างตะกอนด้วยน้ำเป็นจนสารละลายมีปริมาตรประมาณ
150 มล.
3. ทำสารละลายให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 250 มล. ในขวดปริมาตร
4. ใส่น้ำไปเปิดสารละลายมา 1 มล. ใส่น้ำในขวดปริมาตรขนาด 10 มล. พร้อมเติม
สารละลาย $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 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. ใส่น้ำไปเปิด สารละลายในข้อ 1 มา 1 มล. ทำให้เป็น 10 มล. จะได้ความ
เข้มข้น 2.5 ppm, ใส่น้ำไปเปิด สารละลายในข้อ 1 มา 2 มล. ทำให้เป็น 10 มล. จะได้
ความเข้มข้น 5.0 ppm, ใส่น้ำไปเปิดสารละลายในข้อ 1 มา 3 มล. ทำให้เป็น 10 มล. จะได้
ความเข้มข้น 7.5 ppm, ใส่น้ำไปเปิด สารละลายในข้อ 1 มา 4 มล. ทำให้เป็น 10 มล. จะได้
ความเข้มข้น 10 ppm.
3. นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้คือ 2.5, 5, 7.5, 10 ppm มาวัดค่า
absorbance โดยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer
4. สร้าง standard curve ระหว่างค่า absorbance กับความเข้มข้น
ของเหล็ก
5. จากค่า absorbance ของสารละลายที่วิเคราะห์หาค่าสามารถหาปริมาณของ
เหล็กได้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของเหล็ก} = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{X}{W}\right)$$

เมื่อ X = ความเข้มข้นของเหล็กที่อ่านจาก standard curve (ppm)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

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

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

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

ถ้ามีปริมาณเหล็ก 55.85 กรัม จะเป็นซัลเฟอร์ในรูป pyrite (FeS_2)

$$= 32 \times 2 \text{ กรัม}$$

ถ้ามีปริมาณเหล็ก $\frac{1}{4} \left(\frac{X}{W}\right)$ กรัมเป็นซัลเฟอร์ในรูป pyrite (FeS_2)

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

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

ก.8 การหาปริมาณกำมะถันอินทรีย์ (Organic sulfur)

สูตรที่ใช้คำนวณ

ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ = ร้อยละของกำมะถันรวม - ร้อยละของกำมะถัน

ไพไรต์ - ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต

ก.9 การหาค่าความร้อน (heating value)

ค่าความร้อน (heating value or calorific value) วิเคราะห์ค่าความร้อน โดยใช้เครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ รุ่น CA - 3 ของชิมัดซู (Shimadzu) ซึ่งก็คือเครื่องหาความร้อนแบบอะเดียเบติกตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D2015 ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องคำนวณแสดงผลออกเป็นค่าความร้อน ตามรูปที่ ก.1 ซึ่งติดตั้งอยู่ ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เครื่องหาค่าความร้อนแบบนี้ทำงานโดยอัตโนมัติ วัดค่าความร้อนจากการเผาไหม้แสดงผลเป็นตัวเลข กรณีตัวอย่างเป็นของแข็ง เช่น ถ่านหิน หรือถ่านซาร์จะต้องอัดตัวอย่างเป็นก้อน หรือห่อด้วยกระดาษฟาง (rice paper) ซึ่งทราบค่าความร้อนแล้ว พันห่อกระดาษด้วยลวดเผาไหม้ (ignition wire) ใ้ลงในถ้วยตัวอย่าง (sample pan) ซึ่งทำด้วยเหล็กปลอดสนิม วางถ้วยตัวอย่างในห้วงของเครื่องบอมบ์ ปิดฝาและอัดก๊าซออกซิเจนด้วยความดัน 30 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร เช่นเดียวกับเครื่องบอมบ์ทั่ว ๆ ไป แล้วประกอบเข้าในถัง (jacket) เมื่อจุดหลอดภายในเครื่องคังที่ ตัวอย่างจะถูกเผาไหม้ (ignite) และแสดงผลค่าความร้อน การทำงานภายในเครื่องก็คือการทำงานของเครื่องหาค่าความร้อนแบบอะเดียเบติก คือปรับจุดหลอดมีน้ำในถังให้เท่ากับเครื่องที่แยกบอมบ์ เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน และวัดจุดหลอดมีน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจากตัวอย่างที่ถูกเผาไหม้ แสดงผลซึ่งคำนวณได้จากสูตร

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

Q : ค่าความร้อนจากการเผาไหม้, แคลอรี

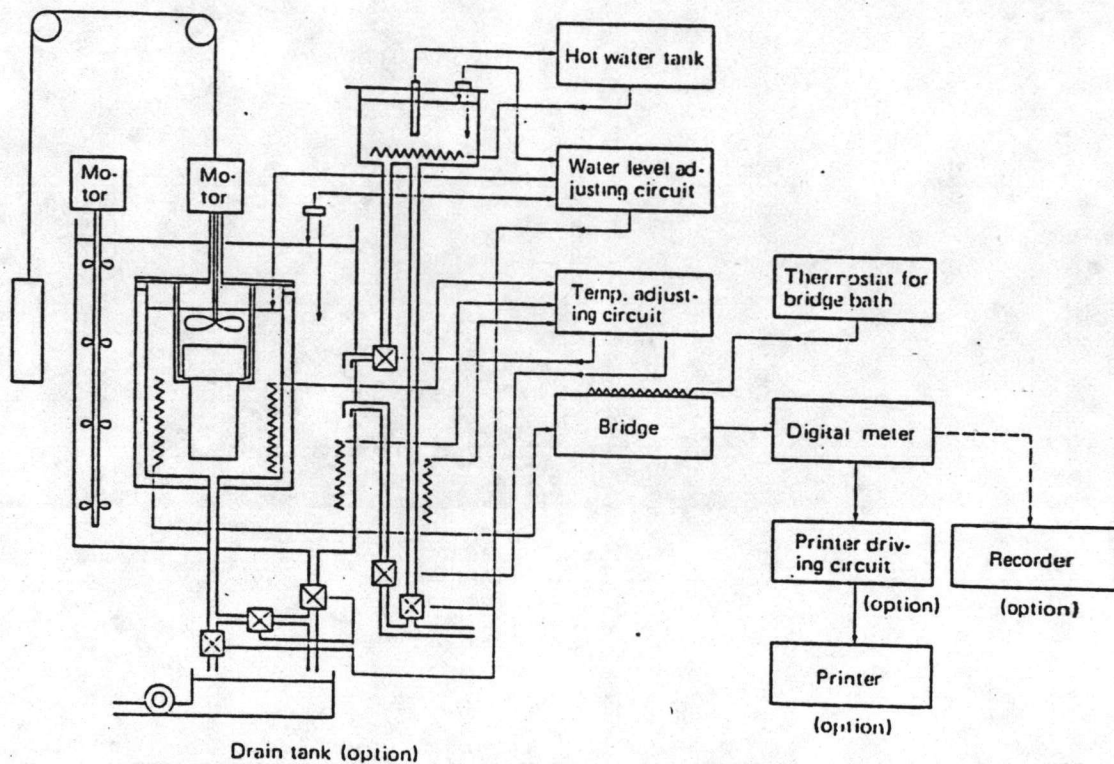
C : ความร้อนจำเพาะของน้ำ, แคลอรีต่อกรัมต่อองศา

W : ค่าคังที่ของเครื่อง (Water equivalent), กรัม

w : ปริมาณน้ำในเครื่องที่แยกบอมบ์, กรัม

t_d : จุดหลอดมีน้ำที่เพิ่มขึ้น, องศา

ค่าของ C (W + w) เป็นค่าคังที่ของเครื่องหนึ่ง ๆ เมื่อปรับเครื่องด้วยสารมาตรฐานซึ่งทราบค่าความร้อนแล้ว คือ กรดเบนโซอิกแห้ง (benzoic acid) ดังนั้นค่าความร้อน (Q) เป็นสัดส่วนกับจุดหลอดมีน้ำที่เพิ่มขึ้น (t_d) จึงสามารถแสดงค่าความร้อนจากเครื่องได้เป็นแคลอรี



รูปที่ ก.1 แผนผังการทำงานของเครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ

ภาคผนวก ข.

การคำนวณ

$$\begin{aligned}
&\text{ร้อยละของปริมาณสารระเหย} \\
&(\text{แบบไม่รวมความชื้น}) = \frac{1}{100 - m} \text{ ร้อยละของปริมาณสารระเหย} \times 100 \\
&\text{ร้อยละของปริมาณแก้ว} \\
&(\text{แบบไม่รวมความชื้น}) = \frac{1}{100 - m} \text{ ร้อยละของปริมาณแก้ว} \times 100 \\
&\text{ร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัว} \\
&(\text{แบบไม่รวมความชื้น}) = \frac{1}{100 - m} \text{ ร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัว} \times 100 \\
&\text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันรวม} \\
&(\text{แบบไม่รวมความชื้น}) = \frac{1}{100 - m} \text{ ร้อยละของปริมาณกำมะถันรวม} \times 100 \\
&\text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันไพไรต์} \\
&(\text{แบบไม่รวมความชื้น}) = \frac{1}{100 - m} \text{ ร้อยละของปริมาณกำมะถันไพไรต์} \times 100 \\
&\text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันอินทรีย์} \\
&(\text{แบบไม่รวมความชื้น}) = \frac{1}{100 - m} \text{ ร้อยละของปริมาณกำมะถันอินทรีย์} \times 100 \\
&\text{ร้อยละของปริมาณกำมะถันซัลเฟต} \\
&(\text{แบบไม่รวมความชื้น}) = \frac{1}{100 - m} \text{ ร้อยละของปริมาณกำมะถันซัลเฟต} \times 100 \\
&\text{ค่าความร้อน (แบบไม่รวมความชื้น)} = \frac{1}{100 - m} \text{ ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)} \times 100 \\
\%De-S &= \text{ร้อยละของการลดปริมาณกำมะถันรวม (แบบไม่รวมความชื้น)} \\
&= \frac{\text{ร้อยละของกำมะถันรวม เริ่มต้น} - \text{ร้อยละของกำมะถันรวมภายหลังดีซัลเฟอร์ เอชัน}}{\text{ร้อยละของกำมะถันรวม เริ่มต้น}} \times 100
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{De-pyrite} &= \text{ร้อยละของการลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ (แบบไม่รวมความชื้น)} \\ &= \frac{\text{ร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้น} - \text{ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ภายหลังดีซัลเฟอร์เซชัน}}{\text{ร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้น}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{De-ashing} &= \text{ร้อยละของการลดปริมาณเถ้า (แบบไม่รวมความชื้น)} \\ &= \frac{\text{ร้อยละของเถ้าเริ่มต้น} - \text{ร้อยละของเถ้าภายหลังดีซัลเฟอร์เซชัน}}{\text{ร้อยละของเถ้าเริ่มต้น}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Heating value recovery} &= \text{ร้อยละของค่าความร้อนคืนกลับหลังจากกระบวนการดีซัลเฟอร์เซชัน (แบบไม่รวมความชื้น)} \\ &= \frac{\text{ค่าความร้อนเริ่มต้น} - \text{ค่าความร้อนภายหลังดีซัลเฟอร์เซชัน}}{\text{ค่าความร้อนเริ่มต้น}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Coal Recovery} &= \text{ร้อยละของถ่านหินที่ได้คืนกลับหลังจากกระบวนการดีซัลเฟอร์เซชัน (แบบไม่รวมความชื้น)} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักถ่านหินเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักถ่านหินภายหลังดีซัลเฟอร์เซชัน}}{\text{น้ำหนักถ่านหินเริ่มต้น}} \times 100 \end{aligned}$$

หมายเหตุ m คือ ร้อยละของค่าความชื้น

MFB หมายถึง การคำนวณแบบไม่รวมความชื้น (moisture free basis)

ประวัติผู้เขียน

นางสาว กัดสิมา ศิริศิระชัย เกิดเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2502 ได้รับ
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
เมื่อปีการศึกษา พ.ศ. 2524



✓