หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, "การพัฒนาไฟฟ้าที่แหล่งลิกไนท์แม่เมาะ," การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2530.
2. นิยม จันทร์เทพา, และ ธีระ มนัสธรรม, คู่มือการผลิตและใช้เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง, หน้า 1-65, สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2527.
3. สุชาติ อารีรุ่งเรือง, "เตาหุงต้มเพื่อใช้กับถ่านหินอัดก้อน," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
4. ASTM Standard ; D 388, "Classification of Coals by Rank," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1985.
5. ณรงค์ โมกขวิสุทธิ์, ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, และ วณิชย์ ศิริสันธนะ, "ความเหมาะสมในการลงทุนนำลิกไนต์มาใช้ในอุตสาหกรรมปูนซิเมนต์," วิศวกรรมสาร, 36(6), 147-150, 2526.
6. เกริกชัย สุกาญจนัจที, ไอน้ำและพลังงานจากถ่านหิน, หน้า 16-25, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2529.
7. Green, Don W., R.H. Perry, Perry's Chemical Engineers' Handbook, pp. 284-286, McGraw-Hill Book Co., New York, 6th ed., 1984.
8. Gibson, J., and D.H. Gregory, Carbonization of Coal, pp. 30-32, Mills & Boon, London, 1971.
9. Philip, P.J., and J.H. Wells, Chemical Engineering Series, pp. 1-5, McGraw-Hill Book Co., New York, 1950.
10. อนัญญา พจนารถ, "การปรับปรุงคุณภาพเศษถ่านหินโดยวิธีคาร์บอไนซ์เซชัน," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

11. Kasperczyk, J., "Predicting the carbonizing period and coking heat of coal charges in horizontal-chamber coke ovens," Fuel, 53, 126-131, 1974.

12. Lowry, H.H., Chemistry of Coal Utilization, Supp. Vol., pp. 450 - 452, John Wiley & Sons Inc., New York, 1963.

13. Meurisse, L., "Production of Smokeless Briquettes by Semi-Carbonization," Low Temperature Carbonization of non-caking coals & Lignites and Briquetting of coal fines, Vol. I, pp. 331-341, Rafi Marg, New Delhi, 1961.

14. Chanda, B.C., "Recent Developments in Briquetting and Low Temperature Carbonization of Weakly Caking Coals," Low Temperature Carbonization of non-caking coal & Lignites and Briquetting of coals fines, Vol. I, pp. 342-350, Rafi Marg, New Delhi, 1961.

15. Gesellschaft, L., "Prediction of Smokeless Fuel and Metallurgical Coke by Heat Hardening in an Oxidizing Atmosphere and Subsequent L.T.C.," Low Temperature Carbonization of non-caking coals & Lignites and Briquetting of coal fines, Vol. I, pp. 143-162, Rafi Marg, New Delhi, 1961.

16. Khaleel Akmal, M.A., M. Waheeduddin, K.G. Rangrez, and M.G. Krishna, "Combustion of Low Temperature Semicoke on Open Grates," Low Temperature Carbonization of non-caking coals & Lignites and Briquetting of coal fines, Vol. II, pp. 55-71, Rafi Marg, New Delhi, 1961.

17. Lowry, H.H., Chemistry of Coal Utilization, Supp. Vol., pp. 675 - 703, John Wiley & Sons Inc., New York, 1963.

18. Frances, W., and M.C. Peter, Fuels and Fuel Technology, pp. 131-136, Pergamon Press Ltd., Oxford, 2 nd ed., 1980.

19. Sibal, D.N., and G. Lorenzen, "Domestic and Metallurgical Coke from South Arcot Lignite," Low Temperature Carbonization

of non-caking coals & Lignites and Briquetting of coal fines, Vol. I, pp. 55-70, Rafi Marg, New Delhi, 1961.

20. ดวงพร ธีรภาพไพสิฐ, "การขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนโดยใช้ปูนขาว," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

21. Meyers, R.A., W.D. Hart, and L.C. McClanathan, "Gravimelt Process for Near Complete Chemical Removal," Coal Processing Technology, Vol. VII, pp. 89-93, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1981.

22. Ibarra, J.V., J.M. Palacios, and A.M. de Andres, "Analysis of coal and char ashes and their abality for sulphur retention," Fuel, 68, 861-867, 1989.

23. Elliott, M.A., Chemistry of Coal Utilization, 2nd Supp. Vol., pp. 499, John Wiley & Sons Inc., New York, 1981.

24. Kruse, C.W., and N.F. Shimp, "Removal of Organic Sulfur by Low - Temperature Carbonization of Illinois Coals," Coal Processing Technology, Vol. VII, pp. 124-134, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1981.

25. สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, "โครงการส่งเสริมการผลิตและการใช้เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง," สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร, 2529.

26. สมคิด สลัคยะนันท์, "เตา," ข่าวสารวิชาการ, 1(10), 13-23, 2528.

27. สมชาย โอสุวรรณ และ กัญจนา บุณยเกียรติ, "การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเตาถ่าน," วารสารเคมีวิศวกรรมเทคโนโลยีทางอาหารและเชื้อเพลิง, 4(1), 75-95, 2525.

28. Scaroni, A.W., P.L. Walker, and R.G. Jenkins, "Effect of surfaces on the yield of volatiles from coal," Fuel, 60, 558-559, 1981.

29. Okuhara, T., H. Nakama, and Y. Miura, "Carbonization behaviour of coal briquettes in a slot-type coke oven," Fuel, 60, 1091-1095, 1981.

30. Rao, D.K., "Curing, Maturing and Carbonization of Briquettes from Non-caking Coal Slack," Low Temperature Carbonization of non-caking Coals & Lignites and Briquetting of coals fines, Vol. I, pp. 113-120, Rafi Marg, New Delhi, 1961.

31. Sanada, Y., and H. Honda, "Briquetting of Non-caking Coal," Low Temperature Carbonization of non-caking coals & Lignites and Briquetting of coal fines, Vol. I, pp. 1-9, Rafi Marg, New Delhi, 1961.

32. Dutta, M.L., R.S. Ghosh, and M.S. Iyengar, "Hot Briquetting of Indian Coals," Low Temperature Carbonization of non-caking coals & Lignites and Briquetting of coal fines, Vol. I, pp. 84-97, Rafi Marg, New Delhi, 1961.

33. Nagasaka, K., and S.Sugiyama, "Low Temperature Carbonization of Briquettes," Low Temperature Carbonization of non-caking coals & Lignites and Briquetting of coal fines, Vol. I, pp. 186-203, Rafi Marg, New Delhi, 1961.

34. นิภา เศรษฐไพศาล, "การนำเศษถ่านหินมาอัดก้อนเพื่อใช้ในครัวเรือน," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

35. อรุณรัตน์ วุฒิมงคลชัย, "ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

36. ASTM Standards ; D 3172, "Proximate Analysis of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1987.

37. ASTM Standards ; D 3173, "Test for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1987.

38. ASTM Standards ; D 3174, "Test for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1987.

39. ASTM Standards ; D 3175, "Test for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1987.

40. ASTM Standards ; D 3177, "Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1987.

41. 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., 1987.

42. ASTM Standards ; D 1757, "Sulfur in Ash from Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1987.

43. ASTM Standards ; D 2492, "Forms of Sulfur in Coal," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1987.

44. วิเชียร ตรงจิตธรรม, "การคาร์บอไนซ์ของถ่านหินในฟลูอิไดซ์เบด," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณ (proximate analysis) , ASTM D 3172

ก.1 การหาปริมาณความชื้นในถ่านหิน (moisture content in coal), ASTM D 3173

เครื่องมือ ตู้อบ (dry oven), ถาดอลูมิเนียม, desiccator

วิธีการทดลอง

1. อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาทีนำเข้า desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งถ่านหินขนาด 250 ไมครอน ประมาณ 1 กรัม ใส่ในถาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก ปิดฝา
3. นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง
4. ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

W_1 = น้ำหนักถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาและถ่านหินก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาและถ่านหินหลังอบ (กรัม)

W = น้ำหนักถ่านหิน (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.2 <u>การหาปริมาณสารระเหย</u> (volatile matter in coal), ASTM D 3175

<u>เครื่องมือ</u> เตาเผา (tube furnace), nickle crucible พร้อมฝาปิด, desiccator

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. เผา nickle crucible พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ในเตาเผา ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผา ทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งถ่านหินขนาด 250 ไมครอน ใส่ใน nickle crucible ประมาณ 1 กรัม ปิดฝา

3. นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที แล้วจึงใส่กลางเตาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที

4. นำออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก

<u>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</u>

$$V = \frac{W_3 - W_4}{W} \times 100 - M$$

เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย

M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

W_3 = น้ำหนักของ nickle crucible พร้อมฝาและถ่านหินก่อนเผา (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของ nickle crucible พร้อมฝาและถ่านหินหลังเผา (กรัม)

W = น้ำหนักถ่านหิน (กรัม)

ก.3 <u>การหาปริมาณเถ้าในถ่านหิน</u> (ash in coal), ASTM D 3174

<u>เครื่องมือ</u> เตาเผา (muffle furnace), crucible พร้อมฝาปิด, desiccator

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. เผา crucible พร้อมฝาปิดที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ในเตาเผา แล้วนำออกมา ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งถ่านหินขนาด 250 ไมครอน ประมาณ 1 กรัม ใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนัก

3. ปิดฝาให้มีช่องว่างเล็กน้อย นำเข้าเตาเผาที่ 500 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 825 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกจากเตา ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก

<u>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</u>

$$A = \frac{W_s - W_c \times 100}{W}$$

เมื่อ A = ร้อยละของปริมาณเถ้า

W_s = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝาและเถ้าของถ่านหินหลังเผา (กรัม)

W_c = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา (กรัม)

W = น้ำหนักของถ่านหิน (กรัม)

ก.4 <u>การหาปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านหิน</u> (fixed carbon)

<u>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</u>

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = 100 - (ร้อยละของปริมาณความชื้น)
- (ร้อยละของปริมาณสารระเหย)
- (ร้อยละของปริมาณเถ้า)

ก.5 <u>การหาปริมาณกำมะถันรวมในถ่านหิน</u> (total sulfur) , ASTM D 3177 โดยวิธี Eschka method

<u>เครื่องมือ</u> เตาเผา (muffle furnace), crucible, บีกเกอร์, hot plate, กรวยกรองพร้อมกระดาษกรอง

<u>สารเคมี</u> ก. น้ำกลั่น

ข. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) ความเข้มข้น 10 %

ค. น้ำโบรมีนอิ่มตัว

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

จ. สารละลายกรดเกลือ (HCl) 1+1

ฉ. สารละลายกรดเกลือ (HCl) 1+9

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

ซ. สารละลาย silver nitrate ($AgNO_3$)

ฌ. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ชั่ง 60 กรัม ของผลึก $Na_2CO_3.10H_2O$ หรือ 22 กรัมของ anhydrous Na_2CO_3 ละลายในน้ำกลั่นแล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 100 มล.

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ชั่งถ่านหินประมาณ 1 กรัม รวมกับ 3 กรัมของ Eschka mixture ผสมให้เข้ากันใน crucible แล้ว ปิดทับด้วย 1 กรัม ของ Eschka mixture

2. นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง (สังเกตสีดำของถ่านหินหมดไป)

3. นำ crucible ออกจากเตาเผา ย่อยด้วยน้ำร้อน 100 มล. นานประมาณ 1/2 ชั่วโมง

4. กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนมีปริมาตร 250 มล.

5. ทำสารละลายให้เป็นกรดด้วย HCl (1+9) และทำให้เป็นกลางด้วย Na_2CO_3 โดยใช้ methyl orange เป็น indicator

6. เติม HCl (1+9) อีก 1 มล. ให้เป็นกรดเล็กน้อย

7. ต้มสารละลายให้เดือด แล้วเติมสารละลาย $BaCl_2$ อย่างช้า ๆ 10 มล. กวนขณะเติมจะเกิดตะกอนขาวขุ่นของ $BaSO_4$ ทิ้งไว้ค้างคืน

8. กรองตะกอนด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 ล้างด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนหมดคลอไรด์ ซึ่งทดสอบด้วย $AgNO_3$

9. นำตะกอนที่กรองได้ พร้อมกระดาษกรองใส่ crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว เผาที่อุณหภูมิ 925 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก

10. ทำ blank correction เหมือนข้อ 1-9 แต่ไม่ใส่ตัวอย่างถ่านหิน

<u>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</u>

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

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ในตัวอย่าง (กรัม)

B = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ใน blank (กรัม)

C = น้ำหนักถ่านหินที่ใช้ (กรัม)

ก.6 <u>การหาปริมาณกำมะถันในเถ้าถ่านหิน</u> (sulfur in ash from coal), ASTM D 1757 โดยวิธี Eschka method

<u>เครื่องมือ</u> เตาเผา (muffle furnace), crucible, บีกเกอร์, กรวยกรองพร้อมกระดาษกรอง, hot plate

<u>สารเคมี</u> ก. น้ำกลั่น

ข. น้ำโบรมีนอิ่มตัว

ค. สารละลายกรดเกลือ (HCl) 1+1 และ 1+9

ง. Eschka mixture

จ. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) ความเข้มข้น 10 %

ฉ. methyl orange indicator

ช. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต

ซ. สารละลาย silver nitrate ($AgNO_3$)

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ชั่งเถ้าถ่านหินประมาณ 0.5 กรัม ผสมกับ 3 กรัม ของ Eschka mixture ให้เข้ากันใน crucible แล้วปิดทับด้วย 1 กรัม ของ Eschka mixture

2. นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

3. นำ crucible ออกจากเตาเผา ย่อยสารที่ได้ด้วยน้ำร้อน 100 มล. นาน 1/2 ชั่วโมง

4. กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง

5. ทำสารละลายที่ได้ให้เป็นกรดด้วย HCl (1+1) 10 มล. และ 4 มล. ของน้ำโบรมีน

6. ต้มไล่โบรมีน ปรับ pH ของสารละลายด้วย Na_2CO_3 และเติม HCl (1+9) จนสารละลายเป็นกรดเล็กน้อย

7. ต้มสารละลายให้เดือด เติม $BaCl_2$ อย่างช้า ๆ 10 มล. คนสม่ำเสมอ แล้วทิ้งไว้ค้างคืน

8. กรองตะกอนด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 ล้างตะกอนจนหมดคลอไรด์ ทดสอบด้วย $AgNO_3$

9. นำตะกอนที่กรองได้พร้อมกระดาษกรองใส่ crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว เผาที่ 925 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก

10. ทำ blank correction เหมือนข้อ 1-9 แต่ไม่ใส่ตัวอย่างถ่านหิน

<u>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</u>

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

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ในตัวอย่าง (กรัม)

B = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ใน blank (กรัม)

C = น้ำหนักของเถ้าที่ใช้ (กรัม)

ก.7 <u>การวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันซัลเฟต</u> , ASTM D 2492

<u>เครื่องมือ</u> เตาเผา (muffle furnace), crucible, hot plate, บีกเกอร์, กรวยกรองพร้อมกระดาษกรอง

<u>สารเคมี</u> ก. สารละลายกรดเกลือเข้มข้น (conc. HCL)

ข. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) 10 %

ค. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (conc.NH_4OH)

ง. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 1+10

จ. สารละลายกรดเกลือ (HCl) 2+3

ฉ. น้ำโบรมีนอิ่มตัว

ช. สารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 โดยปริมาตร

ซ. methyl orange indicator

วิธีการทดลอง

1. ชั่งถ่านหินประมาณ 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติม HCl (2+3) 50 มล. และสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ 2 มล. ต้มบน hot plate ปิดด้วยกระจกนาฬิกา นาน 1/2 ชั่วโมง

2. กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำเย็น เก็บตะกอนไว้วิเคราะห์กำมะถันไพไรต์

3. นำสารละลายที่กรองได้มาเติมน้ำโบรมีน 10 มล. ต้มให้เดือด 5 นาที เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น จนสารละลายเป็นด่างเล็กน้อย แล้วเติมให้เกินพออีก 5 มล.

4. กรองตะกอนล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (1+10) ที่ร้อน

5. นำสารละลายมาเติม methyl orange indicator 2-3 หยด แล้วเติม HCl เข้มข้นจนสารละลายเป็นกรด

6. ต้มบน hot plate ค่อยๆเติม $BaCl_2$ อย่างช้าๆ 10 มล. ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

7. กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจนหมดคลอไรด์ ซึ่งทดสอบด้วย $AgNO_3$

8. นำตะกอนพร้อมกระดาษกรองใส่ crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้วเผาที่อุณหภูมิ 925 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกเตาเผา ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก

9. ทำ blank correction เหมือนข้อ 1-8 โดยไม่ใส่ตัวอย่างถ่านหิน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต} = \frac{A-B}{C} \times 13.735$$

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ในตัวอย่าง (กรัม)

B = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ใน blank (กรัม)

C = น้ำหนักถ่านหินที่ใช้ (กรัม)

ก.8 <u>การหาปริมาณกำมะถันไพไรต์</u>

<u>เครื่องมือ</u> hot plate, บีกเกอร์, กรวยกรองพร้อมกระดาษกรอง, อ่างน้ำเย็น, บิวเรต, ปิเปต

<u>สารเคมี</u> ก. สารละลายกรดไนตริก (HNO_3) 1+7

ข. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

ค. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 1+10

ง. สารละลายกรดเกลือ (HCl) 2+3

จ. สารละลาย stanous chloride ($SnCl_2$)

ฉ. สารละลาย mecuric chloride ($HgCl_2$)

ช. diphenylamine sulfonate indicator

ซ. สารละลายกรดซัลฟุริก-ฟอสฟอริก (H_2SO_4 . H_3PO_4)

ฌ. สารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. นำตะกอนและกระดาษกรองจากการวิเคราะห์หากำมะถันซัลเฟตมาย่อยด้วย HNO_3 (1+7) 50 มล. นาน 30 นาที

2. กรองสารละลายและล้างตะกอนด้วยน้ำเย็นจนได้ปริมาตรประมาณ 150 มล.

3. เติมสารละลาย H_2O_2 2 มล. ต้มให้เดือด 5 นาที นำมาตกตะกอน $Fe(OH)_3$ โดยเติม NH_4OH ให้มากเกินพอ 5 มล.

4. กรองตะกอน $Fe(OH)_3$ ล้างตะกอนด้วย NH_4OH (1+10) ที่ร้อน

5. ละลายตะกอนบนกระดาษกรองด้วย HCl (2+3) ที่ร้อน 25 มล. ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำร้อนจนหมดตะกอน

6. นำสารละลายที่ได้มาต้มให้เดือด เติมสารละลาย $SnCl_2$ ทีละหยดจนสีเหลืองของ Fe^{3+} หมดไป นำไปแช่ในอ่างน้ำที่เย็นจัด

7. เติมสารละลาย $HgCl_2$ 10 มล. อย่างรวดเร็ว ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที

8. เติม H_2SO_4 . H_3PO_4 20 มล. เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 200 มล.

9. หยด diphenylamine sulfonate indicator ลงไป 2-3 หยด นำไปไตเตรตกับสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ จนได้จุดยุติเป็นสีม่วง

10. ทำ blank correction เหมือนข้อ 1-9 โดยไม่ใส่ตัวอย่างถ่านหิน

<u>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</u>

$$\text{ร้อยละของกำมะถันไพไรต์} = \frac{[\,(E-F)\ N \times 5.585\,] \times 1.148}{W}$$

เมื่อ E = มล. ของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ไตเตรตกับสารละลาย

F = มล. ของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ไตเตรตกับ blank

N = ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ (normal)

W = น้ำหนักของถ่านหิน (กรัม)

ก.9 <u>การหาปริมาณกำมะถันอินทรีย์</u>

<u>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</u>

ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ = ร้อยละของกำมะถันรวม - (ร้อยละของกำมะถันไพไรต์) - (ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต)

ก.10 <u>การหาค่าความร้อนของถ่านหิน</u> , ASTM D 2015

<u>เครื่องมือ</u> adiabatic bomb calorimeter, บีกเกอร์, ปิเปต, บิวเรต, กรวยกรองพร้อมกระดาษกรอง

<u>สารเคมี</u> ก. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ เข้มข้น 10 %

ข. น้ำโบรมีนอิ่มตัว

ค. สารละลายกรดเกลือ (HCl) 1+9

ง. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.0709 N

จ. methyl orange indicator

ฉ. กรดเบนโซอิคอัดเม็ด

<u>วิธีการทดลอง</u>

<u>การหาค่ามาตรฐานของเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์</u> (water equivalent)

1. ชั่งน้ำหนักกรดเบนโซอิค (benzoic acid) ที่อัดเป็นเม็ดแล้วใส่ลงใน crucible

2. ตัดลวดยาวประมาณ 10 ซม. ผูกที่ปลายทั้งสองของแท่งเหล็กด้านล่างฝาบอมบ์

3. วาง crusible ที่ใส่เม็ดกรดเบนโซอิคบนห่วงปลายเหล็กด้านฝาบอมบ์ จัดลวดให้อยู่เหนือผิวหน้า เติมน้ำกลั่น 1 มล. ลงในตัวบอมบ์

4. ประกอบฝาบอมบ์กับตัวบอมบ์ นำไปอัดออกซิเจนให้ได้ความดันในช่วง 20-22 บรรยากาศ นำไปวางในถังบรรจุบอมบ์

5. ใส่น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณ 2 ลิตร ลงในถังบรรจุบอมบ์ (bucket) เสียบสายไฟที่ใช้ในการจุดระเบิด 2 เส้นเข้ากับตัวบอมบ์แล้วปิดฝาเครื่อง

6. เปิดสวิทช์ อ่านอุณหภูมิของน้ำในถังบรรจุบอมบ์ (bucket) กับน้ำที่อยู่ในตัวหุ้ม (jacket) เมื่ออุณหภูมิทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน กดปุ่มจุดระเบิด บันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งคงที่จึงยุติการทดลอง

7. นำตัวบอมบ์ออก ปล่อยก๊าซออกจากตัวบอมบ์อย่างช้าๆ

8. ล้างฝาและตัวบอมบ์ และถ้วยที่บรรจุเม็ดเบนโซอิคด้วยน้ำกลั่น เก็บน้ำที่ล้างไว้ เติม methyl orange 2-3 หยด นำมาไตเตรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.0709 N จุดยุติสังเกตจากสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

9. วัดความยาวลวดที่เหลือ

<u>สูตรที่ใช้ในการคำนวณ</u>

$$W = [(H)g + e_1 + e_3] / t$$

เมื่อ W = ค่ามาตรฐานของเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)

H = ค่าความร้อนการเผาไหม้ของกรดเบนโซอิค (แคลอรีต่อกรัม)

g = น้ำหนักของกรดเบนโซอิค (กรัม)

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก (แคลอรี)

= จำนวน มล. ของ 0.0709 N Na_2CO_3 ที่ใช้ไตเตรต

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของลวด (แคลอรี)

= 2.3 x ความยาวลวดที่ใช้ไปเป็นเซนติเมตร

t = อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งได้แก้ค่าเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์แล้ว (องศาเซลเซียส)

การหาค่าความร้อนของถ่านหิน

1. ปูเส้นใย (asbestos) ในถ้วย crucible ใส่ถ่านหินประมาณ 1 กรัม

2. ทำการทดลองเหมือนการหาค่ามาตรฐานของเครื่องบอมบ์ ข้อ 2-9

การหาปริมาณกำมะถันในถ่านหิน

1. นำน้ำล้างบอมบ์ที่ไตเตรตกับสารละลาย Na_2CO_3 แล้ว มาต้มจนเดือด กรองขณะร้อนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง นำสารละลายมาเติมน้ำโบรมีนอิ่มตัว 1 มล. แล้วทำให้เป็นกรดด้วย HCl (1+9) 1 มล.

2. ต้มให้เดือด เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ 10 มล. ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

3. กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจนหมดคลอไรด์ ทดสอบได้ด้วย $AgNO_3$

4. นำตะกอนที่ได้พร้อมกระดาษกรองใส่ crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว เผาที่อุณหภูมิ 925 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$Qv = [t(W) - e_1 - e_2 - e_3 - e_4] / g$$

เมื่อ Qv = ค่าความร้อนของถ่านหินเมื่อปริมาตรคงที่ (แคลอรี/กรัม)

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก (แคลอรี)

= จำนวน มล. ของ 0.0709 N Na_2CO_3 ที่ใช้ไตเตรต

e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดซัลฟูริค

= 13.16 x [%S] x (g)

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของลวด (แคลอรี)

= 2.3 x ความยาวลวดที่ใช้ไปเป็นเซนติเมตร

e_4 = การแก้ค่าความร้อนของด้าย = 0

g = น้ำหนักของถ่านหิน (กรัม)

โดยที่ $$\% S = \frac{13.738 (A-B)}{g}$$

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ในตัวอย่าง (กรัม)

B = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ใน blank (กรัม)

g = น้ำหนักถ่านหิน (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

ตัวอย่างข้อมูลและการคำนวณ

1. การคำนวณปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการอัดก้อนถ่านหินไร้ควัน

<u>ตัวอย่าง</u> การอัดก้อนถ่านหินไร้ควันแต่ละครั้งใช้ส่วนผสมคือ ดินเหนียวร้อยละ 10 และปูนขาวร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เทียบกับน้ำหนักถ่านหินไร้ควันแห้ง

ในการอัดก้อนแต่ละครั้ง ใช้ถ่านหินไร้ควัน 2,000 กรัม

ถ่านหินไร้ควันมีความชื้นร้อยละ 5.18

ดังนั้น น้ำหนักถ่านหินไร้ควันแห้ง $= \frac{2,000\ (100-5.18)}{100} = 1,896.4$ กรัม

น้ำหนักดินเหนียวที่ใช้ $= (0.10)(1,896.4) = 189.6$ กรัม

น้ำหนักของปูนขาวที่ใช้ $= (0.05)(1,896.4) = 94.8$ กรัม

2. การคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน

<u>ส่วนผสม</u> : ถ่านหินไร้ควันมีค่าความร้อนแบบไม่รวมความชื้น 5,977 แคลอรี/กรัม

ปูนขาวร้อยละ 5 เทียบกับน้ำหนักถ่านหินไร้ควันแห้ง

ดินเหนียวร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักถ่านหินไร้ควันแห้ง

ถ่านหินไร้ควันแห้งในถ่านหินอัดก้อนไร้ควันมีร้อยละ $= \frac{100}{100 + 5 + 10} \times 100$

$= 86.96$

(ค่าความร้อนของดินเหนียวและปูนขาว มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความร้อนของถ่านหินไร้ควัน ดังนั้นจึงไม่นำมาคิด)

ดังนั้น ค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อนไร้ควันแบบไม่รวมความชื้น $= (0.8696)(5,977)$

$= 5,197$ แคลอรี/กรัม

3. การคำนวณประสิทธิภาพการใช้งาน

ตัวอย่าง ปริมาณน้ำที่ใช้ทดลองหาประสิทธิภาพการใช้งาน 2,400 กรัม
เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน (รวมความชื้น) 724 กรัม
ความชื้นของถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน ร้อยละ 9.69
ค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน (ไม่รวมความชื้น) 5,197 แคลอรี/กรัม
อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 32.5 องศาเซลเซียส
ปริมาณน้ำที่เหลือทั้งหมด 440 กรัม
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ 540 แคลอรี/กรัม
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ 1 แคลอรี/กรัม - องศาเซลเซียส

จากสมการหาประสิทธิภาพการใช้งาน (ร้อยละ)

$$= \frac{ms\,(T_2 - T_1) + (m - m_1)\lambda}{wq} \times 100$$

$$= \frac{(2,400)\,(1)\,(100-32.5) + (2400-440)\,(540)}{724\,(1-0.0969)\,(5,197)} \times 100$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพการใช้งาน (ร้อยละ) = 35.93

4. การคำนวณปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ของสารระเหยในเตา

ตัวอย่าง การคาร์บอไนซ์ถ่านหิน 1,300 กรัม โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน ปริมาณเทียบเท่ากับความร้อนที่ได้รับจากถ่านไม้ 500 กรัม คิดเป็นปริมาณความร้อนรวมเท่ากับ 3,396,346 แคลอรี

ประสิทธิภาพการใช้งานเมื่อปล่อยสารระเหยทิ้งไป ร้อยละ 29.14
ประสิทธิภาพการใช้งานเมื่อนำสารระเหยมาเผาไหม้ในเตา ร้อยละ 36.20
ดังนั้น ผลต่างของประสิทธิภาพการใช้งาน ร้อยละ 36.20 - 29.14 = 7.06
หรือคิดเป็นปริมาณความร้อน = 0.0706 x 3,396,346 แคลอรี
= 239,782 แคลอรี
ประสิทธิภาพการใช้งานเฉลี่ยร้อยละ = (29.14 + 36.20) / 2
= 32.67

ดังนั้น ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้จากการเผาไหม้ของสารระเหยในเตา (รวมความชื้น) คือ

$$= \frac{239,782 \times 100}{32.67} \text{ แคลอรี}$$

$$= 733,952 \text{ แคลอรี}$$

ถ่านหินก่อนคาร์บอไนซ์ที่ใช้มีความชื้นร้อยละ 17.96

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่มีในถ่านหินก่อนคาร์บอไนซ์ $= 1,300 (0.1796)$ กรัม

$= 233.48$ กรัม

ปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่ความชื้นออกจากถ่านหิน สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q = ms (T_2 - T_1) + m\lambda$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่ความชื้นออกจากถ่านหิน (แคลอรี)

m = ปริมาณน้ำที่มีในถ่านหินก่อนคาร์บอไนซ์ (กรัม)

s = ความจุความร้อนของน้ำ (แคลอรี/กรัม - องศาเซลเซียส)

T_2 = อุณหภูมิของน้ำเดือด (องศาเซลเซียส)

T_1 = อุณหภูมิของอากาศ (องศาเซลเซียส)

λ = ค่าความร้อนของการกลายเป็นไอของน้ำ (แคลอรี/กรัม)

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่ความชื้นออกจากถ่านหิน คือ

$$Q = 233.48 (1) (100 - 30) + 233.48 (540) \text{ แคลอรี}$$

$$= 142,423 \text{ แคลอรี}$$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้จากการเผาไหม้ของสารระเหยในเตา (ไม่รวมความชื้น)

$$= 733,952 - 142,423 \text{ แคลอรี}$$

$$= 591,529 \text{ แคลอรี}$$

เมื่อคิดเทียบต่อปริมาณของถ่านหินแห้งที่ใส่ในห้องคาร์บอไนซ์ คิดเป็น

$$= \frac{591,529}{(1,300 - 233.48)} \text{ แคลอรี/กรัม}$$

$$= 555 \text{ แคลอรี/กรัม}$$

5. การคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่ความชื้นและสารระเหย

ตัวอย่าง การคาร์บอไนซ์ถ่านหินโดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน ปริมาณเทียบเท่ากับความร้อนที่ได้รับจากถ่านไม้ 500 กรัม และปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 1,300 กรัม

ถ่านหินก่อนคาร์บอไนซ์มี : ค่าความร้อน (ไม่รวมความชื้น) 5,562 แคลอรี / กรัม

ความชื้น (ร้อยละ) 17.96

ดังนั้น ถ่านหินก่อนคาร์บอไนซ์ 100 กรัม คิดเป็นถ่านหินแห้ง 100 - 17.96 = 82.04 กรัม

ถ่านหินไร้ควันที่ได้จากการคาร์บอไนซ์มีค่าความร้อน (ไม่รวมความชื้น) 6,383 แคลอรี / กรัม

ถ่านหินก่อนคาร์บอไนซ์ 100 กรัม เมื่อคาร์บอไนซ์แล้ว ได้ถ่านหินไร้ควันเฉลี่ย 56.28 กรัม

คำนวณเป็นปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่ความชื้นและสารระเหย ต่อถ่านหิน 100 กรัมที่ใส่ในห้องคาร์บอไนซ์ คิดเป็น $(5,562 \times 82.04) - (6,383 \times 56.28) = 97,071$ แคลอรี

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่ความชื้นและสารระเหยออกจากถ่านหิน 1,300 กรัมที่นำไปคาร์บอไนซ์ คือ $\frac{1,300 \times 97,071}{100} = 1,261,923$ แคลอรี

แต่ปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่ความชื้นออกจากถ่านหิน = 142,423 แคลอรี

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่สารระเหยออกจากถ่านหิน 1,300 กรัมที่นำไปคาร์บอไนซ์

= 1,261,923 - 142,423 แคลอรี

= 1,119,500 แคลอรี

เมื่อคิดเทียบต่อปริมาณของถ่านหินแห้งที่ใส่ในห้องคาร์บอไนซ์ คิดเป็น

$$= \frac{1,119,500}{(1 - 0.1796)(1,300)}$$ แคลอรี/กรัม

= 1,050 แคลอรี/กรัม

6. การคำนวณสมดุลพลังงานของเตาคาร์บอไนซ์

ตัวอย่าง การคาร์บอไนซ์ถ่านหิน 1,300 กรัม โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน ปริมาณเทียบเท่ากับความร้อนที่ได้รับจากถ่านไม้ 500 กรัม และนำสารระเหยที่ได้จากการคาร์บอไนซ์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตา

ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากเชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัม คิดเป็น 3,396,346 แคลอรี

ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ของสารระเหยในเตา คิดเป็น 591,529 แคลอรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้น ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับคือ 3,396,346 + 591,529 = 3,987,875 แคลอรี

จากผลการทดลอง เตามีประสิทธิภาพการใช้งานร้อยละ 36.20

หรือคิดเป็นพลังงานความร้อน 3,396,346 x 0.3620 = 1,229,477 แคลอรี

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหุงต้มอาหาร คิดเป็นร้อยละ $\frac{1,229,477}{3,987,875} \times 100$

= 30.83

จากการคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่ความชื้นและสารระเหย คิดเป็น 1,119,500 แคลอรี

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์ถ่านหิน คิดเป็นร้อยละ $\frac{1,119,500}{3,987,875} \times 100$

= 28.07

ดังนั้น ปริมาณความร้อนส่วนที่สูญเสียและสะสมในเตา คิดเป็นร้อยละ 100 - 30.83 - 28.07

= 41.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

วิธีการและรายละเอียดในการทดลองจุดเตา

1. การจัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ก่อนการทดลอง

1.1 ชั่งน้ำหนักน้ำปริมาณ 2,000 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า บรรจุลงในหม้ออลูมิเนียม เบอร์ 26 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปากหม้อ 26 ซม. วัดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ปรอท บันทึกผล ปิดฝาหม้อ

1.2 เตรียมชี้ไต้ ขนาดประมาณ 1.5 x 1.5 ซม. และชั่งไม้ฟืน 30 กรัม ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า

1.3 ชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิง ถ่านไม้ หรือ ถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน ตามปริมาณที่ต้องการศึกษา โดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า

1.4 ชั่งน้ำหนักของถ่านหินที่จะนำไปคาร์บอไนซ์ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า นำไปบรรจุลงในห้องคาร์บอไนซ์ถ่านหิน ปิดประตูเตา

1.5 จัดตำแหน่งของเทอร์โมคับเปิลทุกตัวที่ติดอยู่บนเตา ให้ห่างจากผนังเตาด้านในห้องคาร์บอไนซ์ 1.5 ซม. เพื่อวัดอุณหภูมิภายในห้องคาร์บอไนซ์ขณะที่คาร์บอไนซ์ถ่านหิน โดยที่ตำแหน่งดังกล่าวเป็นตรงกลางของความหนาของห้องคาร์บอไนซ์พอดี ซึ่งอุณหภูมิที่วัดได้เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยในขณะทำการคาร์บอไนซ์

1.6 เปิดวาล์วตัวที่ 2 เพื่อให้ไอน้ำ สารระเหย ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ถ่านหินออกไปสู่บรรยากาศ และปิดวาล์วตัวที่ 1 เพื่อไม่ให้ไอน้ำและสารระเหยกลับเข้าไปยังตัวเตาในระยะแรกที่เริ่มจุดเตา

(หมายเลขของวาล์ว ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6)

1.7 เปิดเครื่อง recorder และตรวจสอบความเรียบร้อยของเทอร์โมคับเปิลทุกตัว

2. ขั้นตอนการจุดเตาคาร์บอไนซ์

2.1 วางขี้ไต้ไว้บนตะแกรงรองรับเชื้อเพลิงในเตา โดยวางไว้ตรงกลางเตา วางไม้ฟืนบางส่วนล้อมรอบขี้ไต้ จุดขี้ไต้ให้ติดไฟ หลังจากนั้นวางฟืนที่เหลือทั้งหมดลงไป เมื่อไม้ฟืนติดไฟดีแล้วจึงใส่เชื้อเพลิงตาม

2.2 เปิดพัดลมขนาดเล็ก ตั้งพัดลมให้ห่างจากช่องเปิดหน้าเตาประมาณ 50 ซม. ซึ่งพัดลมจะช่วยให้เชื้อเพลิงติดไฟดีขึ้นและสม่ำเสมอ เริ่มจับเวลาจนกว่าควันจะหมด ปิดพัดลม บันทึกเวลาซึ่งเป็นเวลาจุดติดของเชื้อเพลิง

2.3 นำหม้ออลูมิเนียมบรรจุน้ำที่เตรียมไว้ขึ้นตั้งบนเตา เริ่มจับเวลาใหม่อีกครั้ง

2.4 วัดอุณหภูมิของอากาศ บันทึกผล

2.5 วัดอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ทุกตำแหน่งของเทอร์โมคับเปิลที่ต่ออยู่กับเตา โดยใช้ recorder เป็นเครื่องบันทึกผลทุกๆระยะ 5 นาที นับตั้งแต่ตั้งหม้ออลูมิเนียมบนเตาจนถึง 1 ชั่วโมง จึงเปลี่ยนเป็นช่วงละ 10 นาที จนกว่าเลิกการทดลอง

2.6 เมื่ออุณหภูมิของไอน้ำและสารระเหยที่ท่อทางออกซึ่งวัดได้ด้วยเทอร์โมคับเปิล มีอุณหภูมิเกิน 100 องศาเซลเซียส ปิดวาล์วตัวที่ 2 และเปิดวาล์วตัวที่ 1 เพื่อให้สารระเหยที่ได้จากการคาร์บอไนซ์กลับเข้าไปยังเตาผ่านหัวเผา (burner) เพื่อใช้จุดเป็นเชื้อเพลิงในเตา

2.7 เมื่อน้ำเดือด เปิดฝาหม้ออลูมิเนียม ปล่อยให้น้ำระเหยไปในอากาศ บันทึกเวลาที่ใช้ไปเพื่อทำให้น้ำเดือด

2.8 สังเกตที่หัวเผาซึ่งอยู่ใต้ห้องเผาไหม้ หลังจากที่ปล่อยให้สารระเหยกลับเข้ามาในเตาซึ่งสารระเหยจะติดไฟได้เอง บันทึกเวลาครั้งแรกขณะที่เห็นเปลวไฟที่หัวเผา และคอยสังเกตจนกว่าเปลวไฟจะดับไปเอง บันทึกเวลาอีกครั้งเมื่อเปลวไฟดับ ผลต่างของเวลาที่บันทึกไว้คือ ระยะเวลาที่สารระเหยจุดติดไฟได้ที่หัวเผา

2.9 คอยสังเกตปริมาณน้ำที่เหลือในหม้ออลูมิเนียม หากน้ำในหม้อลดลงจนเหลือความสูงน้อยกว่า 1.5 ซม. เหนือก้นหม้อ ให้เติมน้ำ (วัดอุณหภูมิก่อนเติมไว้แล้ว) ลงไปเพิ่ม 250 กรัม บันทึกปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ใส่ลงไป เพื่อใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งานต่อไป

2.10 ทำการทดลองจนกว่าเชื้อเพลิงที่ใช้จะมอด ซึ่งทราบได้โดยวัดอุณหภูมิของน้ำที่เหลือในหม้ออลูมิเนียมด้วยเทอร์โมมิเตอร์ปรอท เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงจนต่ำกว่า 75 องศาเซลเซียส จึงยุติการทดลอง บันทึกเวลาซึ่งเป็นเวลาใช้งานของเตา

2.11 ชั่งน้ำหนักของน้ำที่เหลือในหม้ออลูมิเนียมด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า บันทึกน้ำหนักของน้ำที่เหลือ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณประสิทธิภาพการใช้งานของเตา

2.12 นำข้อมูลของอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ที่บันทึกโดย recorder ไปสร้างกราฟ และนำไปวิเคราะห์ผล

2.13 ปล่อยเตาให้เย็นลง โดยตั้งทิ้งไว้ 1 คืน แล้วจึงนำเอาถ่านหินไร้ควันที่อยู่ในห้องคาร์บอไนซ์ออกจากเตา เก็บตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์คุณสมบัติตาม 3.3.2 สำหรับถ่านหินไร้ควันที่เหลือ จะเก็บรวบรวมไว้เพื่อนำไปบด ผสมและอัดก้อนเป็นถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาต่อไป

<u>จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง</u> : ต่ำสุด 2 ครั้ง ตามสภาวะที่ต้องการศึกษา โดยใช้เตาทั้งสองตัวที่สร้างขึ้น หากผลการทดลองไม่สอดคล้องกัน จึงมีการทดลองเพิ่มอีก

<u>การคำนวณผลการทดลอง</u> : ใช้ค่าเฉลี่ย (average) จากผลการทดลองที่สอดคล้องกัน

<u>ความถูกต้องในการวัด</u> : ตามมาตรฐาน ASTM ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นาย ธานินทร์ ตัณฑเกษม เกิดเมื่อวันที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2506 ที่กรุงเทพมหานคร ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อศึกษา 2529

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย