รายการอ้างอิง

1. กัญจนา บุณยเกียรติ. การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
2. นาวิน หมื่นเข็ม และมะลิ หุ่นสม. การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินในฟลูอิไดซ์เบดแบบ 2 คอลัมน์ โครงการวิจัยปริญญาตรี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
3. Von Fredersdorff, C.G. and Martin, A. Elliott in Coal Gasification. Chemistry of coal Utilization. New York : John Wiley and Sons Inc, 1963.
4. Parent, J.D. and Katz, S Inst. Gas Technology Research Bull No.2(1948) : 110.
5. May, W.G., Mueller, R.H. and Sweetser S.B. Hydrocarbon synthesis with 2 – stage coke gasification. Ind. Eng. Chem. 42(1950) : 1289-1296
6. Stull, D.R. and Prophet, H.Eds. JANAF Thermochemical Table. 2nd ed. Washington D.C. : Government Printing Office, 1971.
7. บัณฑิต ปัตทวีคงคา. กระบวนการกาซซิไฟถ่านหินลิกไนท์ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบฟลูอิไดซ์ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
8. Baron R.B., Porter, J.H. and Hammare. Jr, O.H. Chemical Equilibrium in Carbon-Hydrogen-Oxygen Systems. MIT. Press, 1976.
9. Diazo Kunii and Octave Levenspiel. Gross Behavior of Fluidized Bed. Fluidization Engineering. New York. : Wiley, 1969.
10. Ergun, S. Fluid flow through randomly randomly packed columns and fluidized bed. Chem. Eng. Progr. 49(1952) : 89.
11. Richardson, D.R. How to design fluid – flow distributor. Chem. Eng. 68(1961) : 83.
12. Agarwal, J.C., Divis. Jr, W.L. and King, D.T. Fluidized – bed coal dryer. Chem. Eng. Progr. 58(1962).: 85.
13. Wen, C.Y. and Yu, Y.H. NH_3 absorbtion in beds of saddles. AIChE. J. 12(1947) : 537.
14. Haslam, R.T., Hitchcock, F.L. and Rudow, E.W. The water- Gas Reactions. Ind. Eng. Chem. 15(1923) : 115-121.

15. Scott, G.S. Mechanism of the Steam-Carbon Reaction. Ind. Eng. Chem. 33(1941) : 1279-1284.

16. Goring, G.E., Curran, G.P., Zielke, C.W. and Everett, Gorin. Kinetics of Farbon Gasification by Steam. Ind. Eng. Chem. 45(1953) : 2586-2591.

17. Hunt, B.E., Mori, S., Katz, S. and Peck, R.E. Reaction of C with steam elevated temps. Ind. Eng. Chem. 45(1955) : 1742.

18. Pilcher, J.M., Walker Jr, P.L. and Wright, C.C. Kinetic study of the steam – C reaction. Ind. Eng. Chem. 47(1955) : 1742.

19. Klei, H.E., Sahagian, J. and Sunderstrom, D.W. Kinetics of the activated carbon – steam reaction. Ind. Eng. Chem. Process Des. and Develop. 14(1975) : 470.

20. Ergun, S. Kinetics of the reaction of CO_2 with C. Ind. Eng. Chem. 47(1955) : 2075-2080.

21. Octave Levenspiel. Fluid-Particle, Chemical Reaction Engineering. 2nd ed. New York : Wikey, 1972.

22. Wen, C.Y. Noncatalytics heterogeneous solid – fluid reaction. Ind. Eng. Chem. 60 (1968) : 34.

23. Jensen, G.A. The Kinetics of Gasification of Carbon Contained in Coal Nineals at Atmospheric Pressure. Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop. 14(1975) : 308-314.

24. Bruce, E., Riede and Deran Hanesian. Kinetics study of Carbon-Steam Reaction. Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop. 14(1975) : 70-74

25. Chan, E.M. and Papic M.M. Can. J. Chem. Eng. 54(1976) : 645

26. Satyanarayana Katta and Dale L. Keaims. Study of Kinetics of Carbon Gasifications. Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop. 20(1981) : 6-13.

27. Mark, J. Purdy, Richard M. Felder and Jame K. Ferrell. Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop. 20(1981) : 675-682.

28. Martin Schmal, Jose Luiz Fontes Monterro and Forge Luiz Castellan. Kinetics of Coal Gasification. Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop. 21(1982) : 256-266.

29. Khummongkol, D. and Arunlaksadamrong, W. Momentum, Heat and Mass Transfer. Mechanic and Chemical Engineering Conference. pp. (16-1) – (16-2) Bangkok, 1989.

30. Li Shufen and Xiao Xinyan. Gasification reactivity of three Chinese coal chars with steam at elevated pressure. Fuel 72(1993) : 1351–1353.

31. P. K. Chatterjee, A. B. Datta and K. M. Kundu. Fluidized Bed Gasification of Coal. Can. J. Chem. Eng. 73(1995) : 204–210.

32. จิระศักดิ์ แสงพุ่ม. การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้ในฟลูอิไดซ์เบด วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

33. วรเดช เพริศพรายวงศ์. การเผาถ่านลิกไนต์ในฟลูอิไดซ์เบด วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

34. พรทิพย์ แก้ววรานนท์ชัย. แบบจำลองของการก๊าซซิฟิเคชันจากถ่านไม้ในฟลูอิไดซ์เบด วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

35. วิวัฒน์ ตัณพะพานิชกุล. อุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2536.

36. สมพร บรรลือศรีเรือง. แกสิฟิเคชันของถ่านชาร์ที่ล้างสารอินทรีย์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแอลคาไลคาร์บอเนต วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

37. อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย. การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงในเบดนิ่ง วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

38. ชัยรัตน์ อรัญญษทรรศน์ และฐศักดิ์ วิทยาขจรศาสตร์. การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินในฟลูอิไดซ์เบดแบบ 2 คอลัมน์ โครงการวิจัยปริญญาตรี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

39. พล สาเกทอง, เลอสรวง เมฆสุต และวรเดช เพริศพรายวงศ์. รายงานผลการวิจัยเรื่องระบบการใช้ถ่านลิกไนต์โดยการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด. กรุงเทพมหานคร : ฝ่ายวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

40. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. ฟลูอิดไดเซชัน. กรุงเทพมหานคร : คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

41. Kunii, D. and Levenspiel, O. Fluidization engineering. New York : John Wiley and Sons Inc, 1969.

42. Ronald F. Probstein, and R. Edwin Hicks. Synthetic Fuels. New York : McGraw-Hill Inc, 1982.

43. Merrick, D. Coal Combustion and Conservation Technology. London : MacMillan Publishers, 1984.

44. Theodore L. Brown, H. Eugene LeMay, Jr. and Bruce E. Bursten. Chemistry The Central Science. 6th ed. London : Prentice-Hill International Inc, 1994.

45. S. K. Foong, C. J. Lim and A. P. Watkinson. Coal Gasification in a Spouted Bed. Can. J. Chem. Eng. 58(1980) : 84-91.

46. Kirk R..E. Producer Gas Encyclopedia of Chemical Technology. New York : John Wiley & Sons Inc, 1956.

47. Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering 2nd ed. New York : John Wiley & Sons Inc, 1978.

48. Oader, S.A. Natural gas substitutes form coal and oil. Coal Science and Technology. Elsevier 8(1985) : 105-110.

49. Hulber, J. and Janka, J. C. Fuels Synthetic. Encyclopedia of Technology 11 (1966) : 410–425.

50. Larry L. Anderson and David A..Tillman. Synthetic Fuels from Coal. New York : John Wiley & Sons, 1929.

51. Yong Jeon Kim, Jong Min Lee and Sang Done Kim. Coal gasification Characteristics in an internally circulating fluidized bed with draught tube.Fuel 76(1997) : 1067-1073.

52. Neogi, D., Chang, C.C., Walawender, W.P. and Fan, L.T. Study of Coal Gasification in an Experimental Fluidized Bed Reactor. AIChE J. 32(1986) : 17-28.

53. American Standard of Testing Material. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke ASTM D 3172 – 89. (1996) : 293.

54. American Standard of Testing Material . Standard test method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke ASTM D 3173 – 87. (1996) : 294-295.

55. American Standard of Testing Material . Standard test method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke ASTM D 3174 – 93. (1996) : 296-299.

56. American Standard of Testing Material . Standard test method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke ASTM D 3175 – 89. (1996) : 300-302.

57. American Standard of Testing Material. Standard Practice for Ultimate Analysis of Coal and ASTM D 3176-89. (1996) : 301-303.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์สมบัติถ่านหิน

1. การวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณ (Proximate analysis) : ASTM D 3173-3175

1.1 ปริมาณความชื้นในตัวอย่างถ่านหิน (Standard test method for moisture in the analysis sample of coal and coke), ASTM D 3173

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร มาให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (drying oven) ที่อุณหภูมิประมาณ 105–110 °C เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกไปจากถ่านหิน ค่าความชื้นที่คำนวณได้จากน้ำหนักของถ่านหินที่หายไป

เครื่องมือ ตู้อบ (drying oven) , ถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และ desiccator

วิธีการทดลอง

- ถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาในตู้อบ (drying oven) ที่อุณหภูมิ 110 °C ประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นใน desiccator ประมาณ 15 นาที ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล
- ชั่งตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1 กรัม ใส่ในถาดอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ปิดฝาทันที บันทึกน้ำหนักตัวอย่างถ่านหิน
- นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 105-110°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (จนกระทั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินคงที่)
- นำถาดอะลูมิเนียมใส่ใน desiccator ทิ้งให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักของถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่บรรจุตัวอย่างถ่านหินอบแล้วอยู่ภายใน บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = (W_1 - W_2)/W \times 100 \qquad (ก.1)$$

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

W_1 = น้ำหนักของอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด รวมน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินเริ่มต้นก่อนการอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด รวมน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินที่อบ (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

1.2 ปริมาณเถ้าในตัวอย่างถ่านหิน (Standard test method for ash in the analysis sample of coal and coke from coal), ASTM D 3174

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร มาให้ความร้อนในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 500 °C จนน้ำหนักคงที่ ร้อยละปริมาณเถ้า คำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผา

เครื่องมือ เตาเผา (muffle furnace), ครูซิเบิล (crucible) แบบ porcelain พร้อมฝา และ desiccator

วิธีการทดลอง

- เผาครูซิเบิล พร้อมฝาในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
- ชั่งตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1 กรัม ใส่ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ปิดฝาอย่างรวดเร็ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง
- นำตัวอย่างไปเผาบนตะเกียงบุนเซน จนควันระเหยหมด เพื่อไล่กำมะถัน
- นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 450 - 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- เพิ่มอุณหภูมิเป็น 700 - 750 °C เผาจนน้ำหนักคงที่
- นำครูซิเบิลออกจากเตาเผา ทำให้เย็นใน desiccator
- ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลพร้อมฝา บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = (W_3 - W_4)/W \times 100 \qquad \text{(ก.2)}$$

เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า

W_3 = น้ำหนักของครูซิเบิล พร้อมฝา และเถ้า (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของครูซิเบิล พร้อมฝา (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

1.3 ปริมาณสารระเหยในตัวถ่านหิน (Standard test method for volatile matter in the analysis sample of coal and coke), ASTM D 3175

หลักการ ตัวอย่างถ่านหินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร ให้ความร้อนในเตาเผาแบบท่อ (tubular furnace) ปริมาณสารระเหยคำนวณได้จากน้ำหนักตัวอย่าง ถ่านหินที่หายไป

เครื่องมือ เตาเผา (tubular furnace), nickle crucible พร้อมฝา และ desiccator

วิธีการทดลอง

- เผาครูซิเบิล nickle พร้อมฝา ในเตาเผาอุณหภูมิ 950 °C นาน 30 นาที
- นำออกจากเตาเผาปล่อยให้เย็นใน desiccator จนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักของครูซิเบิล บันทึกผล

- ชั่งตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1 กรัม ใส่ในครูซิเบิล nickle ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ปิดฝาให้สนิท บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

- นำครูซิเบิล nickle พร้อมตัวอย่างถ่านหิน เผาใน tubular furnace โดยให้ความร้อนเป็นช่วง ๆ เริ่มต้นให้ความร้อนแก่ถ่านหินที่อุณหภูมิ 300 °C , 600 °C นาน 3 นาที และ ที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 6 นาที

- นำครูซิเบิลออกจากเตาเผา ปล่อยให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักของครูซิเบิล พร้อมฝาและถ่านหินที่เหลือ บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = [(W_5 - W_6)/W \times 100] - M \qquad (ก.3)$$

เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย

M = ร้อยละของความชื้น

W_5 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝา รวมน้ำหนักของถ่านหินก่อนเผา (กรัม)

W_6 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝา รวมน้ำหนักของถ่านหินหลังเผา (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในตัวอย่างถ่านหิน (Fixed carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = 100 - ร้อยละความชื้น - ร้อยละเถ้า - ร้อยละสารระเหย (ก.4)

2 การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน, ASTM D 3177

2.1 ปริมาณกำมะถันรวม (Standard test method for total sulphur in the analysis sample of coal and coke), ASTM D 3177

<u>หลักการ</u> เผาตัวอย่างถ่านหินที่ผสมกับ Eschka mixture กำมะถันที่ประกอบอยู่ในถ่านหินจะละลายในรูปแบบของซัลเฟตอิออน ดังนั้นสามารถหาปริมาณกำมะถันในตัวอย่างถ่านหินได้ในรูปแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$)

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

<u>สารเคมี</u>

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

- สารละลายแบเรียมคลอไรด์ (100 กรัม/ลิตร) ละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$) 100 กรัมในน้ำและเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

- สารละลายกรดเกลือ, HCl (1:9) ผสมกรดเกลือเข้มข้น (ความถ่วงจำเพาะ 1.19) 1 ส่วน และน้ำกลั่น 9 ส่วนโดยปริมาตร

- สารละลายกรดเกลือ, HCl (1:1) ผสมกรดเกลือเข้มข้น (ความถ่วงจำเพาะ 1.19) และน้ำกลั่นในอัตราส่วนเท่ากันโดยปริมาตร

- methyl orange indicator โดยละลาย methyl orange 0.02 กรัมในน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร และกรอง

- สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต(Na_2CO_3) โดยใช้ผลึกของ $(Na_2CO_3) \cdot 10H_2O$ 60 กรัม หรือ anhydrous Na_2CO_3 22 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

<u>วิธีการทดลอง</u>

- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1 กรัม รวมกับ Eschka mixture 3 กรัมใน ครูซิเบิล ผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง แล้วปิดทับด้วย Eschka mixture 1 กรัม

- นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิห้องแล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 825 °C ประมาณ 3 ชั่วโมง เผาจนกระทั่งสีดำของถ่านหินหมดไป

- นำครูซิเบิลออกจากเตาเผา ย่อยสารในครูซิเบิลด้วยน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร และคนให้ทั่วถึง เป็นเวลา 30 นาที

- ค่อย ๆ กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างด้วยน้ำร้อน หลาย ๆ ครั้ง จนสารละลายที่กรองได้มีปริมาณ 250 มิลลิลิตร

- ทำสารละลายที่กรองได้ให้กลางด้วยกรดเลือ(1:1) โดยใช้เมธิลออเรนจ์ เป็นอินดิเคเตอร์ ทำสารละลายให้เป็นกรดเล็กน้อยด้วยกรดเกลือ (1:9) 1 มิลลิลิตร

- ต้มสารละลายที่กรองได้ให้เดือดและคนช้าๆ ค่อยๆเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ลงไปอย่างช้า ๆ 10 มิลลิลิตร ด้วยปิเปต ต้มต่อไปเป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

- กรองตะกอนแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) ด้วยกระดาษกรอง ashless เบอร์ 42 ล้าง ตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนน้ำล้างตะกอนปราศจากคลอไรด์ไอออน ซึ่งสามารถทดสอบโดยการเติมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ($AgNo_3$)

- นำตะกอนที่กรองได้พร้อมกระดาษกรอง ใส่ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนัก แน่นอน เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมตะกอน $BaSO_4$ คงที่ นำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก

- blank correction ทำการทดลองเหมือนข้างต้นทุกประการ แต่ไม่ใช้ตัวอย่างถ่านหินเท่านั้น เพื่อตรวจสอบสารเคมีที่ใช้มีปริมาณกำมะถันอยู่มากน้อยเพียงใด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของกำมะถันรวม = 13.738 (A - B)/C (ก.5)

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ที่ได้จากตัวอย่าง (กรัม)

B = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ได้จาก blank (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ (กรัม)

3. **การหาค่าความร้อนของถ่านหิน (Gross Heating Value) : ASTM D 2015**

หลักการการทำงานภายในเครื่องบอมบ์คาลอริมิเตอร์ คือ ปรับอุณหภูมิของน้ำในถังให้เท่ากับเครื่องแชบอมบ์ เพื่อกันการสูญเสียความร้อนและวัดอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น เมื่อได้รับจากตัวอย่างที่ถูกเผาไหม้ แล้วนำมาคำนวณหาค่าความร้อนของการเผาไหม้ตัวอย่างถ่านหิน

เครื่องมือ oxygen bomb calorimeter

สารเคมี

- ถ่านหิน 1 กรัม
- 0.072 นอร์มัล ของ Na_2CO_3
- methyl orange
- แก๊สออกซิเจน
- น้ำกลั่น

วิธีการทดลอง

- ชั่งถ่านหิน 1 กรัมลงในครูซิเบิล
- ตัดลวด (fuse wire) ยาว 10 เซนติเมตร มาผูกปลายทั้งสองของหัวบอมบ์
- นำครูซิเบิลไปวางในตำแหน่งบนหัวบอมบ์ จัดให้ลวดที่ผูกไว้แตะที่ผิวหน้าของถ่านหิน
- เติมน้ำกลั่นลงในออกซิเจนบอมบ์ 1 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต
- ประกอบหัวบอมบ์กับออกซิเจนบอมบ์เข้าด้วยกัน ขันเกลียวให้แน่นแล้วนำไปอัดแก๊สออกซิเจน จนมีความดัน 20 - 25 บรรยากาศ

- เติมน้ำกลั่นลงในถังบอมบ์ 1 ลิตร โดยให้น้ำมีอุณหภูมิ 24 - 25 °C นำออกซิเจนบอมบ์ที่อัดแก๊สเรียบร้อยแล้ววางลงในถังบอมบ์เติมน้ำลงไปในถังอีก 1 ลิตร เสียบสายจุดระเบิด 2 เส้นต่อกับบอมบ์ ปิดฝาของเครื่อง

- เปิดสวิตช์ให้เครื่องกวน ทำงานทุก ๆ นาที บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำ เมื่อเครื่องเดินประมาณ 5 นาที กดปุ่มจุดระเบิด บันทึกค่าอุณหภูมิที่จุดระเบิดนี้ และอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นทุกครึ่งนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสูงสุดแล้วลดลงหรือคงที่ในที่สุด

- ปิดสวิตช์ของเครื่อง นำออกซิเจนบอมบ์ออกมาจากเครื่องปล่อยแก๊สจากบอมบ์อย่างช้า ๆ ให้หมด

- ล้างหัวบอมบ์และออกซิเจนบอมบ์รวมทั้ง crucible ด้วยน้ำกลั่นที่เติม methyl orange จนหมดกรด (น้ำที่ล้างไม่เป็นสีชมพู)

- น้ำที่ล้างได้ไปไตเตรทกับ 0.072 นอร์มัล ของ Na_2CO_3 บันทึกจำนวนมิลลิลิตร ของ Na_2CO_3 ที่ใช้ไป

- วัดความยาวของลวดที่เหลือจากการเผาไหม้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$H = (tE - e_1 - e_2 - e_3)/g \qquad (ก.6)$$

เมื่อ H = ค่าความร้อนของการเผาไหม้ถ่านหิน (แคลอรีต่อกรัม)

t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งได้แก้ค่าเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์แล้ว (°C)

$= t_c - t_a$

t_c = อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้เมื่อแก้ค่าเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์แล้ว (°C)

t_a = อุณหภูมิเริ่มจุดระเบิดเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์แล้ว (°C)

E = ค่า calorimeter energy equivalant (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของกรดไนตริก

= จำนวน มล.ของ 0.072 นอร์มัล Na_2CO_3 ที่ใช้ในการไทเทรต

e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดซัลฟิวริก

= 14 x (%กำมะถัน)

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของการเผาไหม้ลวด

= (2.3) x (ความยาวลวดที่ใช้ไป, เซนติเมตร)

g = ตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

การคำนวณ

ร้อยละของปริมาณเถ้า (แบบไม่รวมความชื้น) = ร้อยละของปริมาณเถ้า * 100 / (100-m)

ร้อยละปริมาณสารระเหย (แบบไม่รวมความชื้น) = ร้อยละของปริมาณสารระเหย * 100 / (100-m)

ร้อยละปริมาณคาร์บอนคงตัว (แบบไม่รวมความชื้น) = ร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัว * 100 / (100-m)

ร้อยละปริมาณกำมะถันรวม (แบบไม่รวมความชื้น) = ร้อยละของปริมาณกำมะถันรวม * 100 / (100-m)

หมายเหตุ m = ร้อยละความชื้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณสมบัติของถ่านหิน

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ

ตัวอย่าง : ถ่านหินเวียงแหง ขนาดต่ำกว่า 250 ไมโครเมตร

การคำนวณปริมาณความชื้นในตัวอย่างถ่านหิน

น้ำหนักถาดอะลูมิเนียมและฝาปิด	12.61	กรัม
น้ำหนักถาดอะลูมิเนียมและฝาปิดรวมน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้	13.62	กรัม
น้ำหนักถาดอะลูมิเนียมและฝาปิดรวมตัวอย่างหลังให้ความร้อน	13.24	กรัม

ร้อยละความชื้น $= \{(13.62-12.61)-(13.24-12.61)\}/(13.62-12.61) \times 100$

$= 37.94$

การคำนวณปริมาณเถ้าในตัวอย่างถ่านหิน

น้ำหนักครูซิเบิลและฝาปิด	18.58	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิลและฝาปิดรวมน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้	19.58	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิลและฝาปิดรวมตัวอย่างหลังให้ความร้อน	18.60	กรัม

ร้อยละเถ้า $= \{(18.60-18.58)/(19.58-18.58)\} \times 100$

$= 1.96$

การคำนวณปริมาณสารระเหยในตัวอย่างถ่านหิน

น้ำหนักครูซิเบิลและฝาปิด	20.85	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิลและฝาปิดรวมน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้	21.87	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิลและฝาปิดรวมตัวอย่างหลังให้ความร้อน	21.22	กรัม

ร้อยละน้ำหนักที่สูญเสีย $= \{(21.87-20.85)-(21.22-20.85)\}/(21.87-20.85) \times 100$

$= 64.16$

ร้อยละสารระเหย $= 64.16 - 37.94 = 26.23$

การคำนวณสมบัติถ่านหินแบบไม่คิดความชื้น

ปริมาณเถ้าในถ่านหิน = 1.96x100 / (100-37.94)

= 3.16

ปริมาณสารระเหยในถ่านหิน = 26.23x100 / (100-37.94)

= 42.26

ปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านหิน = 100 – 3.16 – 42.26

= 54.58

หมายเหตุ การคำนวณร้อยละความชื้น เถ้า สารระเหย ในถ่านหิน คำนวณจากการทดลองหนึ่งครั้ง ส่วนการคำนวณสมบัติถ่านหิน คำนวณจากร้อยละความชื้น เถ้า และ สารระเหยเฉลี่ยจากผลการทดลอง 3 ครั้ง

2. การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวม

ตัวอย่าง : ถ่านหินแม่เวียงแหง ขนาดต่ำกว่า 250 ไมโครเมตร

การคำนวณปริมาณกำมะถันรวม

น้ำหนักครูซิเบิล	16.07	กรัม
น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้	1.00	กรัม
น้ำหนักครูซิเบิลรวมตัวอย่างหลังการทดลอง	16.15	กรัม
น้ำหนักของแบเรียมซัลเฟต (blank)	0.03	กรัม

ร้อยละกำมะถันรวม = {(16.15 -16.07) -0.03}x13.74 / 1.00

= 0.74

ร้อยละกำมะถันรวม เมื่อไม่คิดความชื้น = 0.74x100 / (100-37.94)

= 1.19

3. การคำนวณค่าความร้อนของถ่านหิน

สูตรในการคำนวณ

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

เมื่อ H = ค่าความร้อนของการเผาไหม้ถ่านหิน (แคลอรีต่อกรัม)

t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งได้แก้ค่าเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์แล้ว (^{o}C)

$= t_c - t_a$

t_c = อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้เมื่อแก้ค่าเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์แล้ว (^{o}C)

t_a = อุณหภูมิเริ่มจุดระเบิดเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์แล้ว (^{o}C)

E = ค่า calorimeter energy equivalant (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของกรดไนตริก

= จำนวน ปริมาตรของ 0.072 Nของ Na_2CO_3 ที่ใช้ในการไทเทรต

e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดซัลฟิวริก

= 1.37 x (% กำมะถัน)

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของการเผาไหม้ลวด

= (2.3) x (ความยาวลวดที่ใช้ไป, เซนติเมตร)

g = ตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

ข้อมูล

ปริมาณถ่านหิน 1.00 กรัม

ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหิน = 1.19

ความแตกต่างอุณหภูมิ = 26.74 – 25.00 = 1.74 องศาเซลเซียส

ค่าน้ำหนักสมมูล 2409 cal/^{o}C

ปริมาตร Na_2CO_3 ในการไทเทรต 1 มิลลิลิตร

ความยาวลวดที่ใช้ไป = 10 – 6 = 4 เซนติเมตร

การคำนวณ

$H = ((2409 \times 1.74) - 1 - (1.37 \times 1.191) - (2.3 \times 4)) / 1.000$

= 4,179.83 cal/ g

= 23,702.82 kJ/kg

ภาคผนวก ค

วิธีการคำนวณหาความหนาแน่นของถ่านหิน

(Determination of coal density)

ความหนาแน่นถ่านหินจากแหล่งถ่านหินเวียงแหง อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่

$$Density = \frac{W_2 - W_1}{V - (W_3 - W_2)}$$

W_1 = น้ำหนักกระบอกตวงเปล่า (กรัม)

W_2 = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำหนักถ่านหิน (กรัม) ณ ปริมาตร V มิลลิลิตร

W_3 = น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำหนักถ่านหิน + น้ำหนักน้ำ (กรัม) ณ ปริมาตร V มิลลิลิตร

V = ปริมาตรถ่านหินในกระบอกตวง (มิลลิลิตร)

	ตัวอย่างที่1	ตัวอย่างที่2	ตัวอย่างที่3
น้ำหนักกระบอกตวงเปล่า	110.16	145.86	129.65
น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำหนักถ่านหิน	138.63	180.63	155.85
น้ำหนักกระบอกตวง + น้ำหนักถ่านหิน + น้ำหนักน้ำ	167.94	202.82	176.21
ปริมาตรของถ่านหินในกระบอกตวง	53	52	44
ความหนาแน่นถ่านหิน	1.20	1.17	1.11

ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นถ่านหินเวียงแหง = (1.20 + 1.17 + 1.11) /3 กรัม / มิลลิลิตร

= 1.16 กรัม / มิลลิลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง
วิธีการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ภาวะการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

แก๊สนำพา (Carrier Gas) : แก๊สอาร์กอน (Ar)

ปริมาณแก๊สนำพา : 12 มิลลิตร ต่อ นาที

อุณหภูมิการฉีด (Injector Temperature) : 150 องศาเซลเซียส

ระบบตรวจวัด (Detector) : ระบบวัดสภาพการนำความร้อน (TCD)

อุณหภูมิระบบตรวจวัด : 150 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิคอลัมน์ (Column Temperature) : 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 3 องศาเซลเซียสต่อนาที คงอุณหภูมิไว้ที่ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที

ความว่องไวระบบตรวจวัด (Sensibility) : 60 มิลลิแอมป์แปร์

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลเฉพาะของคอลัมน์

ชนิดคอลัมน์	Molecular sieve 5 A	Porapak Q
ขนาดอนุภาค	60 – 80 ไมโครเมตร	60 – 80 ไมโครเมตร
ขนาดคอลัมน์	เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ความยาว 3 เมตร	เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ความยาว 3 เมตร
แก๊สที่สามารถทำการแยกได้เรียงตามลำดับเวลา		
	แก๊สไฮโดรเจน แก๊สออกซิเจน แก๊สไนโตรเจน แก๊สมีเทน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
วิธีการฉีดแก๊ส	เข็มฉีดขนาด1 ลูกบาศ์กเซ็นติเมตร	เข็มฉีดขนาด 1 ลูกบาศ์กเซ็นติเมตร

ตัวอย่างแฟกเตอร์คงที่สำหรับการหาค่าความเข้มข้นของแก๊ส

การวิเคราะห์หาค่าแฟกเตอร์คงที่เพื่อหาค่าความเข้มข้น หาได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี ตามสภาวะข้างต้น โดยฉีดแก๊สมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น จากนั้นจึงวัดพื้นที่ใต้กราฟ และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละโมลของแก๊ส กับ พื้นที่ใต้กราฟของแก๊สนั้นๆ

ตารางที่ ง.2 ค่าแฟกเตอร์คงที่สำหรับการหาค่าความเข้มข้นของแก๊ส

ชนิดแก๊ส	แฟกเตอร์คงที่ (F_A)			Attenuator
	A	B	C	
แก๊สไฮโดรเจน	6.69×10^{-6}	6.62×10^{-6}	6.87×10^{-6}	6
แก๊สมีเทน	1.94×10^{-5}	2.38×10^{-5}	2.33×10^{-5}	6
แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์	6.56×10^{-5}	6.52×10^{-5}	6.91×10^{-5}	6
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	8.80×10^{-5}	8.74×10^{-5}	8.58×10^{-5}	6

$$\text{พื้นที่ใต้กราฟ} = H \times W$$

H = ความสูงของโครมาโทแกรม

W = ความกว้างของโครมาโทแกรม ที่ความสูง H / 2

การคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของแก๊ส

$$C_A = (\text{Area})_A \times F_A$$

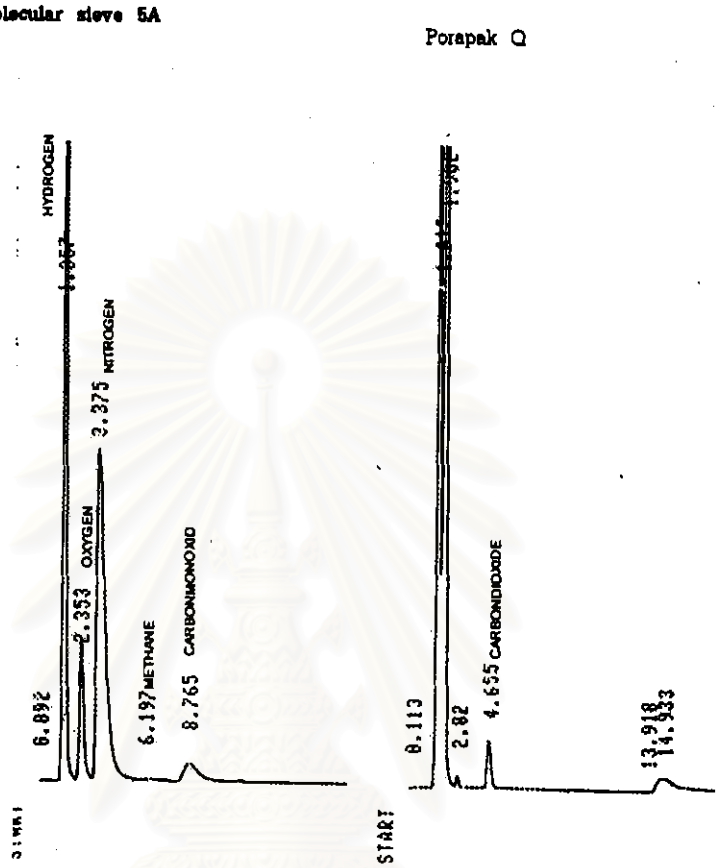
C_A = ร้อยละโมลของแก๊สชนิด A

$(\text{Area})_A$ = พื้นที่ใต้กราฟของโครมาโทแกรมของแก๊ส A = H x W

F_A = แฟกเตอร์คงที่ของแก๊ส A

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของแก๊ส

จากตัวอย่างโครมาโทแกรมในรูปที่ง.1 ซึ่งเป็นโครมาโทแกรมของผลการทดลอง สามารถคำนวณหาค่าความเข้มข้นของแก๊สได้ดังตารางที่ ง.3



CHROMATOPAC C-R6A FILE 0
SAMPLE NO 0 METHOD 41
REPORT NO 3867

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1.357	1,185,618			42.5862	HYDROGEN
2	2.353	247,650	V		8.8953	OXYGEN
3	3.375	1,216,998	SV		43.7134	NITROGEN
4	6.197	7,982	T		0.2867	METHANE
5	8.765	125,791	T		4.5183	CARBONMONOXIDE

CHROMATOPAC C-R8A FILE 0
SAMPLE NO 0 METHOD 41
REPORT NO 3868

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1.612	1,120,389			39.0060	
2	1.982	1,546,872	SV		53.6546	
3	2.820	12,277	T		0.4274	
4	4.655	82,606	T		2.8670	CARBONDIOXIDE
5	13.918	3,342			0.1164	
6	14.933	106,826	V		3.7192	

รูปที่ ง.1 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของผลการทดลอง

ตารางที่ ง.3 ผลการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของแก๊ส

Type Gas	Area	F_A	% mole
Hydrogen	1,185,616	6.62×10^{-6}	$1,185,616 \times 6.62 \times 10^{-6} = 9.39$
Methane	7,982	2.38×10^{-5}	$7,982 \times 2.38 \times 10^{-5} = 0.19$
Carbonmonoxide	125,791	6.52×10^{-5}	$125,791 \times 6.52 \times 10^{-5} = 8.52$
Carbondioxide	820,606	8.74×10^{-5}	$820,606 \times 8.74 \times 10^{-5} = 7.22$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

การคำนวณขอบเขตความเร็วฟลูอิไดซ์

(Fluidization Velocity Limitation Calculation)

ความเร็วต่ำสุดที่เกิดฟลูอิไดซ์ (Minimum Fluidization Velocity)

สภาวะอ้างอิง อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ

ความหนาแน่นอากาศ : ρ_{air} = 0.0003 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร

ความหนาแน่นของอนุภาคของแข็ง : ρ_s = 1.136 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร

ความหนืดของอากาศ : μ_{air} = 0.00055 กรัม / เซนติเมตร – วินาที

เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคของแข็ง : D_p = 0.286 เซนติเมตร (อนุภาคใหญ่)

เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคของแข็ง : D_p = 0.040 เซนติเมตร (อนุภาคเล็ก)

ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก : g = 981 เซนติเมตร / (วินาที)^2

$$U_{mf} = \frac{\mu}{D_p \rho_g}\left\{\left[(33.7)^2 + 0.0408\frac{D_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2}\right]^{\frac{1}{2}} - 33.7\right\}$$

$$U_{mf} = \frac{0.00055}{(0.286)(0.0003)}\left\{\left[(33.7)^2 + 0.0408\frac{(0.286)^3 (0.0003)(1.136 - 0.0003)981}{(0.00055)^2}\right]^{\frac{1}{2}} - 33.7\right\}$$

= 83.94 เซนติเมตร / วินาที

ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดซ์ (อนุภาคใหญ่) = 0.84 เมตร / วินาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเร็วสุดท้ายที่จะเกิดฟลูอิไดซ์ (Terminal Fluidization Velocity)

$$U_t = \left\{ \left[\left(\frac{4}{225} \right) \frac{(\rho_s - \rho_g)(g)^2}{(\rho_g)(\mu)} \right]^{\frac{1}{3}} (D_p) \right\}$$

$$U_t = \left\{ \left[\left(\frac{4}{225} \right) \frac{(1.136 - 0.0003)(981)^2}{(0.00055)(0.0003)} \right]^{\frac{1}{3}} (0.04) \right\}$$

$$= 204.55 \text{ เซนติเมตร / วินาที}$$

ความเร็วสุดท้ายที่จะเกิดฟลูอิไดซ์ = 2.046 เมตร / วินาที

ตรวจสอบค่าความถูกต้องของสูตร

$$Re = \frac{D_p \rho_g U_t}{\mu_g}$$

$$Re = \frac{(0.04)(0.0003)(204.55)}{0.00055}$$

$$= 4.46$$

ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดของการใช้สูตรโดยที่ค่า Reynold number จะต้องอยู่ระหว่าง0.4 - 500

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ
การคำนวณหาค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง

ตารางที่ ฉ.1 องค์ประกอบแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ถ่านหินขนาด 2.36 – 4.75 มิลลิเมตร และ ค่า Heating value ของแก๊สแต่ละชนิด

Composition	% Volume (dry gas)	Heating value (kcal / kgmole)
H_2	8.98	68,317
CH_4	0.36	212,800
CO	16.32	67,636
CO_2	7.51	-
N_2,other	66.83	-
Total	100.00	

Basis : 1 kgmole dry gas

Heating value of H_2 = [(8.98/100) x 68317]

= 6,137.60 kcal / kgmole

Heating value of CH_4 = [(0.36/100) x 212,800]

= 763.95 kcal / kgmole

Heating value of CO = [(16.32/100) x 67,636]

= 11,040.22 kcal / kgmole

Heating value of CO_2 and N_2 = 0

Heating value of producer gas :

(Heating value of H_2) + (Heating value of CH_4) + (Heating value of CO)

= 6,137.60 + 763.95 + 11,040.22 kcal / kgmole

= 17,941.78 kcal / kgmole

ที่ภาวะ 25 องศาเซลเซียส แก๊ส 1 kgmole มีปริมาตร 22.4 m^3

= 17,941.78 / 22.4 kcal / m^3

= 800.97 kcal / m^3

1 kcal มีค่าเท่ากับ 4.184 kJ

= (800.97 x 4.184) kJ / m^3

= 3,351.27 kJ / m^3

= 3,351.27/1000 MJ / m^3

= 3.35 MJ / m^3

เพราะฉะนั้น Heating value ของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่า 3.35 MJ / m^3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลสารจากผลการทดลอง

ทดลองที่ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 500 องศาเซลเซียส โดยใช้ถ่านหินขนาด 0.8 - 2.36 มิลลิเมตร

พื้นที่หน้าตัดของเตาปฏิกรณ์ : Ac = 0.119 m^3

ความเร็วอากาศที่ใช้ในการทำให้เกิดฟลูอิไดซ์ : V_{air} = 1.26 m / s

ความหนาแน่นของอากาศที่ 29 องศาเซลเซียส = 1.169 kg /m^3

องค์ประกอบแก๊สที่วัดได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

แก๊สองค์ประกอบ	ร้อยละ(โดยปริมาตร)
H_2	4.75
CH_4	0.87
CO	4.98
CO_2	12.10
0_2	6.20
N_2	71.10
	100.00

ที่ภาวะอุณหภูมิอากาศ 29 องศาเซลเซียส

ปริมาตรอากาศ = (Ac) x (V_{air})

= (0.119) x (1.26) = 0.150 m^3 / s

= 0.150 x 3600 = 540 m^3 / hr.

น้ำหนักของอากาศ = ปริมาตรอากาศ x ความหนาแน่น

= (540) x (1.169) = 631.26 kg / hr.

สมดุลมวลสาร :ที่ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 500 องศาเซลเซียส ขนาดถ่านหิน 0.8 - 2.36 มิลลิเมตร

Basis : 15 นาที

อัตราการป้อนอากาศ = 631.26 / 4 = 157.82 kg

อัตราการป้อนถ่านหิน = 174 kg / hr. = 174 / 4 = 43.5 kg.

อุณหภูมิกระเปาะเปียก = 24 องศาเซลเซียส = 297 องศาเคลวิน

อุณหภูมิกระแห้ง = 29 องศาเซลเซียส = 302 องศาเคลวิน

หาความชื้นของอากาศจาก Humidity chart = 0.027 kgmoleH_2O / kgmole dry air

อากาศเปียก 1.027 kgmole. มีน้ำอยู่ 0.027 kgmole. มีอากาศแห้งอยู่ 1 kgmole.

อากาศเปียก 1.027 kgmole. มีน้ำอยู่ 0.027 kgmole.

น้ำ 0.027 kgmole. = 0.027 x 18 = 0.486 kg.

อากาศเปียก 1.027 kgmole. มีอากาศแห้งอยู่ 1 kgmole.

อากาศแห้ง 1 kgmole. = 1 x 29 = 29 kg.

เพราะฉะนั้นอากาศเปียกมีน้ำหนัก = 29 + 0.486 = 29.486 kg.

อากาศเปียก 29.486 kg. มีอากาศแห้งอยู่ 29 kg.

ถ้าอากาศเปียก 157.82 kg. มีอากาศแห้งอยู่ (157.82 x 29) / 29.486 kg.

= 155.22 kg.

อากาศแห้ง 155.22 kg = 155.22 / 29 = 5.35 kgmole.

อากาศเปียก 29.486 kg. มีน้ำอยู่ 0.486 kg.

ถ้าอากาศเปียก 157.82 kg. มีน้ำอยู่ (157.82 x 0.486) / 29.486 kg.

น้ำในอากาศ = 2.60 kg.

= 2.60 / 18 = 0.14 kgmole

สมดุลมวลสารของไนโตรเจน

ไนโตรเจนอากาศแห้ง = (5.35 x 79) / 100 = 4.23 kgmole

= 4.23 x 28 = 118.44 kg.

ไนโตรเจนในถ่านหิน = (2.92 x 43.5) / 100 = 1.27 kg.

= 1.27 / 28 = 0.045 kgmole

ไนโตรเจนในแก๊สผลิตภัณฑ์ 0.711

ไนโตรเจนขาเข้า = ไนโตรเจนขาออก

ไนโตรเจนขาเข้า = ไนโตรเจนในถ่านหิน + ไนโตรเจนในอากาศแห้ง

= 0.045 + 4.23 = 4.28 kgmole

มีไนโตรเจน 71.10 ในแก๊สผลิตภัณฑ์ 100

ถ้าไนโตรเจน 4.28 ในแก๊สผลิตภัณฑ์ = (4.28 x 100) / 71.10

เพราะฉะนั้นมีแก๊สผลิตภัณฑ์ = 6.02 kgmole

ไนโตรเจนในแก๊สผลิตภัณฑ์ 0.711 x 6.02 = 4.28 kgmole

= 4.28 x 28 = 119.84 kg

สมดุลมวลสารของคาร์บอน

คาร์บอนในถ่านหิน

ถ่านหิน 100 kg. มีคาร์บอนอยู่ 42.93 kg.

ถ่านหิน 43.5 kg. มีคาร์บอนอยู่ (43.50 x 42.93) / 100 kg.

= 18.67 kg.

= 18.67 / 12 = 1.56 kgmole

คาร์บอนในเถ้า

เถ้าหนัก 100 kg. มีคาร์บอนอยู่ 6.57 kg.

เถ้าหนัก 0.20 kg. มีคาร์บอนอยู่ (0.20 x 6.57) / 100 kg.

= 0.01 kg.

= 0.01 / 12 = 0.0008 kgmole

คาร์บอนในอนุภาคที่ได้จากไซโคลน

อนุภาคหนัก 100 kg. มีคาร์บอนอยู่ 60.17 kg.

อนุภาคหนัก 1 kg. มีคาร์บอนอยู่ (60.17 x 1) / 100 kg.

= 0.60 kg.

= 0.60 / 12 = 0.05 kgmole

คาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์

Basis : 100 kgmole แก๊สแห้ง

คาร์บอนในแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ = 12.09 kgmole

คาร์บอนในแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ = 4.98 kgmole

คาร์บอนในแก๊สมีเทน = 0.87 kgmole

รวม = 17.94 kgmole

Basis : 43.5 kg. ของถ่านหิน

คาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์ = (17.86 x 6.02) / 100 kgmole

= 1.08 kgmole

= 1.08 x 12 = 12.96 kg.

ผลรวมของแก๊สผลิตภัณฑ์

แก๊สองค์ประกอบ		% Vol.	Total			Mw		kg
ไฮโดรเจน	=	0.048	6.02	=	0.29	2	=	0.58
มีเทน	=	0.009	6.02	=	0.05	16	=	0.80
คาร์บอนมอนอกไซด์	=	0.050	6.02	=	0.30	28	=	8.4
คาร์บอนไดออกไซด์	=	0.120	6.02	=	0.72	44	=	31.68
ออกซิเจน	=	0.062	6.02	=	0.37	32	=	11.84
ไนโตรเจน	=	0.711	6.02	=	4.28	28.2	=	120.69
รวม		1.000						173.99

สมดุลมวลสารของไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนในถ่านหิน

ถ่านหินหนัก 100 kg. มีไฮโดรเจน 1.19 kg.

ถ่านหินหนัก 43.5 kg. มีไฮโดรเจน (43.50 X 1.19) / 100 kg.

= 0.52 kg.

= 0.52 / 2 = 0.26 kgmole

ไฮโดรเจนที่ได้จากน้ำในถ่านหิน

ถ่านหินหนัก 100 kg. มีน้ำอยู่ 37.64 kg.

ถ่านหินหนัก 43.5 kg. มีน้ำอยู่ (43.50 x 37.64) /100 kg.

= 16.37 kg.

= 16.37 / 18 = 0.91 kgmole

ไฮโดรเจนที่ได้จากน้ำในถ่านหิน = 0.91 kgmole

ไฮโดรเจนที่ได้จากน้ำในถ่านหิน = 0.91 x 2 = 1.82 kg.

ไฮโดรเจนที่หาจากน้ำในอากาศ

ไฮโดรเจนที่หาจากน้ำในอากาศ = 0.14 kgmole

= (0.14 x 2) = 0.28 kg.

ไฮโดรเจนที่ได้จากแก๊สผลิตภัณฑ์

แก๊สไฮโดรเจน = 0.29 kgmole

= (0.29 x 2) = 0.58 kg.

ไฮโดรเจนในแก๊สมีเทน = 0.05 x 2 = 0.1 kgmole

= 0.1 x 2 = 0.2 kg.

ไฮโดรเจนที่หาจากน้ำในเถ้า

ถ่านหินหนัก 100 kg. มีน้ำอยู่ = 0 kg.

ถ่านหินหนัก 0.2 kg. มีน้ำอยู่ = (0 x 0.2) /100 = 0 kg.

= 0 / 18 = 0 kgmole

ไฮโดรเจนที่หาจากน้ำในเถ้า = 0 x 2 = 0 kg.

ไฮโดรเจนที่หาจากน้ำในอนุภาคที่ดักได้โดยไซโคลน

อนุภาคหนัก 100 kg. มีน้ำอยู่ = 12.89 kg.

อนุภาคหนัก 1 kg. มีน้ำอยู่ = (12.89 x 1) / 100 kg.

= 0.13 / 18 = 0.0072 kgmole

ไฮโดรเจนที่หาจากน้ำในอนุภาค = 0.0072 x 2 = 0.014 kg.

ไฮโดรเจนที่ได้จากน้ำในแก๊สผลิตภัณฑ์ = (0.26 + 0.91 + 0.14) – (0.29 + 0.1+ 0 + 0.0072)

= 1.31 – 0.3972 = 0.913 kgmole

= 0.913 x 2 = 1.83 kg.

สมดุลมวลสารของออกซิเจน

ออกซิเจนในถ่านหิน

ถ่านหินหนัก 100 kg. มีออกซิเจนอยู่ 12.51 kg.

ถ่านหินหนัก 43.5 kg. มีออกซิเจนอยู่ (43.5 x 12.51) / 100 = 5.44 kg.

= 5.44 / 32 = 0.17 kgmole

ออกซิเจนที่หาได้จากน้ำในถ่านหิน

ถ่านหินหนัก 100 kg. มีน้ำอยู่ 37.64 kg.

ถ่านหินหนัก 43.5 kg.มีน้ำอยู่ (43.5 x 37.64) / 100 = 16.37 kg.

= 16.37 / 18 = 0.91 kgmole

ออกซิเจนที่หาได้จากน้ำในถ่านหิน = 0.91 / 2 = 0.46 kgmole

ออกซิเจนที่หาได้จากน้ำในถ่านหิน = 0.46 x 32 = 14.72 kg.

ออกซิเจนในอากาศ

ออกซิเจนในอากาศ = (5.35 x 21) / 100 = 1.12 kgmole

= 1.12 x 32 = 35.84 kg.

ออกซิเจนที่หาได้จากน้ำในอากาศ

ออกซิเจนที่หาได้จากน้ำในอากาศ = 0.14 / 2 = 0.07 kgmole

ออกซิเจนที่หาได้จากน้ำในอากาศ = 0.07 x 32 = 2.24 kg

ออกซิเจนในแก๊สผลิตภัณฑ์

ออกซิเจนในแก๊สผลิตภัณฑ์ = 0.37 kgmole

= 0.37 x 32 = 11.84 kg.

ออกซิเจนที่หาได้จากน้ำแก๊สผลิตภัณฑ์

น้ำแก๊สผลิตภัณฑ์ = 0.913 kgmole

ออกซิเจนที่หาได้จากน้ำแก๊สผลิตภัณฑ์ = (0.913 / 2)x 32

= 14.61 kg.

ออกซิเจนในแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ = 0.30 / 2 = 0.15 kgmole

= 0.15 x 32 = 4.80 kg.

ออกซิเจนในแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ = 0.72 = 0.15 kgmole

= 0.72 x 32 = 23.04 kg.

ออกซิเจนที่หาได้จากน้ำในเถ้า

ถ่านหินหนัก 100 kg. มีน้ำอยู่ = 0 kg.

ถ่านหินหนัก 0.2 kg. มีน้ำอยู่ = (0 x 0.2) /100 = 0 kg.

= 0 / (18 x 2) = 0 kgmole

ออกซิเจนที่หาจากน้ำในเถ้า = 0 x 32 = 0 kg.

ออกซิเจนที่หาจากน้ำในอนุภาคที่ดักได้โดยไซโคลน

อนุภาคหนัก 100 kg. มีน้ำอยู่ = 12.89 kg.

อนุภาคหนัก 1 kg. มีน้ำอยู่ = (12.89 x 1) / 100 kg.

= 0.13 / 18 = 0.0072 kgmole

= 0.0072 / 2 = 0.0036 kgmole

ออกซิเจนที่หาจากน้ำในอนุภาค = 0.0036 x 32 = 0.12 kg.

Overall material balance :

Input		Output	
Carbon balance	kg.		kg.
คาร์บอนในถ่านหิน	18.67	คาร์บอนในเถ้า	0.01
		คาร์บอนในอนุภาค	0.60
		คาร์บอนในแก๊ส CO_2	8.64
		คาร์บอนในแก๊ส CO	3.8
		คาร์บอนในแก๊ส CH_4	0.6
รวม	18.67		13.45
Nitrogen balance			
ไนโตรเจนในถ่านหิน	1.27	ไนโตรเจนในแก๊สผลิตภัณฑ์	119.84
ไนโตรเจนในอากาศ	118.44		
รวม	119.71		119.84
Hydrogen balance			
ไฮโดรเจนในถ่านหิน	0.52	ไฮโดรเจนในแก๊สผลิตภัณฑ์	0.58
ไฮโดรเจนจากน้ำในถ่านหิน	1.82	ไฮโดรเจนใน CH_4	0.20
ไฮโดรเจนจากน้ำในอากาศ	0.28	ไฮโดรเจนจากน้ำในเถ้า	0.00
		ไฮโดรเจนจากน้ำในอนุภาค	0.01
		ไฮโดรเจนจากน้ำในแก๊สผลิตภัณฑ์	1.83
รวม	2.62		2.62
Oxygen balance			
ออกซิเจนในถ่านหิน	5.44	ออกซิเจนในแก๊สผลิตภัณฑ์	11.84
ออกซิเจนจากน้ำในถ่านหิน	14.72	ออกซิเจนของน้ำในแก๊สผลิตภัณฑ์	14.61
ออกซิเจนจากอากาศ	35.84	ออกซิเจนในแก๊ส CO_2	23.04
ออกซิเจนจากน้ำในอากาศ	2.24	ออกซิเจนในแก๊ส CO	4.80
		ออกซิเจนของน้ำในเถ้า	0.00
		ออกซิเจนของน้ำในอนุภาค	0.12
รวม	58.24		54.41
รวมมวลสารขาเข้า	199.24	รวมมวลสารขาออก	190.32

แสดงผลการคำนวณสมดุลมวลสารของข้อมูลในการทดลองทุกภาวะ

ภาวะที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 500 – 900 องศาเซลเซียส โดยใช้ถ่านหินขนาด เล็กกว่า 0.8 มิลลิเมตร

Basis : 15 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างแก๊สผลิตภัณฑ์

ปริมาณอากาศที่ใช้ 631.26 kg / hr

พื้นที่หน้าตัดของเตาปฏิกรณ์ : Ac = 0.119 m^3

ความเร็วอากาศที่ใช้ในการทำให้เกิดฟลูอิไดซ์ : V_{air} = 1.26 m / s

ความหนาแน่นของอากาศที่ 29 องศาเซลเซียส = 1.169 kg /m^3

อุณหภูมิกระเปราะเปียก 24 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิกระเปราะแห้ง 29 องศาเซลเซียส

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 174 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 175 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 175.5 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 190 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส 196 kg. / hr.

องค์ประกอบแก๊สที่วัดได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

	% Composition (% Vol)				
Composition	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C
H_2	1.09	1.84	2.14	2.96	4.38
CH4	0.93	0.45	0.51	0.37	0.57
CO	3.01	2.56	2.69	2.75	5.07
CO2	9.17	10.22	10.47	9.27	7.38
O2	16.25	16.56	15.00	15.39	16.88
N2	69.55	68.37	69.20	69.26	65.73

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 500 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด < 0.8 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	18.67		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	6.84	
			C in CO	2.25	
			C in CH_4	0.69	
รวม	18.67			10.39	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.26		N_2 in producer gas	119.92	
N_2 in air	118.66				
รวม	119.92			119.92	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.52		H_2 in producer gas	0.13	
H_2 in H_2O (in coal)	1.82		H_2 in CH_4	0.23	
H_2 in H_2O (in air)	0.29		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	2.25	
รวม	2.63			2.63	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.44		O_2 in producer gas	33.56	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	18.24	
O_2 in air	36.05		O_2 in CO	3.00	
O2 in H2O (in air)	2.32		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	17.97	
รวม	77.26			72.88	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**215.85**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**205.82**	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 600 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด < 0.8 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	18.78		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	7.56	
			C in CO	1.89	
			C in CH_4	0.33	
รวม	18.78			10.39	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.27		N_2 in producer gas	119.92	
N_2 in air	118.66				
รวม	119.92			119.92	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.52		H_2 in producer gas	0.23	
H_2 in H_2O (in coal)	1.83		H_2 in CH_4	0.11	
H_2 in H_2O (in air)	0.29		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	2.29	
รวม	2.64			2.64	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.47		O_2 in producer gas	30.33	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	20.15	
O_2 in air	36.05		O_2 in CO	2.52	
O2 in H2O (in air)	2.32		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	18.30	
รวม	77.29			71.41	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**218.64**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**204.37**	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 700 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด < 0.8 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	18.84		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	7.78	
			C in CO	2.00	
			C in CH_4	0.38	
รวม	18.84			10.77	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.27		N_2 in producer gas	119.93	
N_2 in air	118.66				
รวม	119.93			119.93	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.52		H_2 in producer gas	0.26	
H_2 in H_2O (in coal)	1.83		H_2 in CH_4	0.13	
H_2 in H_2O (in air)	0.29		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	2.24	
รวม	2.65			2.65	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.49		O_2 in producer gas	29.71	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	20.74	
O_2 in air	36.05		O_2 in CO	2.67	
O2 in H2O (in air)	2.32		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	17.94	
รวม	77.31			71.17	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**218.72**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**204.52**	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด < 0.8 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	20.39		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	7.01	
			C in CO	2.08	
			C in CH_4	0.28	
รวม	20.39			9.98	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.38		N_2 in producer gas	120.03	
N_2 in air	118.66				
รวม	120.03			120.03	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.57		H_2 in producer gas	0.37	
H_2 in H_2O (in coal)	1.99		H_2 in CH_4	0.09	
H_2 in H_2O (in air)	0.29		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	2.36	
รวม	2.84			2.84	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.94		O_2 in producer gas	33.35	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	18.68	
O_2 in air	36.05		O_2 in CO	2.77	
O2 in H2O (in air)	2.32		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	18.89	
รวม	77.76			73.80	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**221.03**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**206.66**	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด < 0.8 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	21.04		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	5.72	
			C in CO	3.93	
			C in CH_4	0.45	
รวม	21.04			10.71	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.42		N_2 in producer gas	120.08	
N_2 in air	118.66				
รวม	120.08			120.08	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.58		H_2 in producer gas	0.57	
H_2 in H_2O (in coal)	2.05		H_2 in CH_4	0.15	
H_2 in H_2O (in air)	0.29		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	2.19	
รวม	2.92			2.92	
Oxygen balance					
O_2 in coal	6.13		O_2 in producer gas	33.60	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	15.25	
O_2 in air	36.05		O_2 in CO	5.24	
O2 in H2O (in air)	2.32		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	17.55	
รวม	77.95			71.76	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	221.98		**รวมองค์ประกอบขาออก**	205.47	

ภาวะที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 500 – 900 องศาเซลเซียส โดยใช้ถ่านหินขนาด 0.8 – 2.36 มิลลิเมตร

Basis : 15 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างแก๊สผลิตภัณฑ์

ปริมาณอากาศที่ใช้ 631.26 kg / hr

พื้นที่หน้าตัดของเตาปฏิกรณ์ : Ac = 0.119 m^3

ความเร็วอากาศที่ใช้ในการทำให้เกิดฟลูอิไดซ์ : V_{air} = 1.26 m / s

ความหนาแน่นของอากาศที่ 29 องศาเซลเซียส = 1.169 kg /m^3

อุณหภูมิกระเปราะเปียก 24 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิกระเปราะแห้ง 29 องศาเซลเซียส

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 174 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 175 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 175.5 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 190 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส 196 kg. / hr.

องค์ประกอบแก๊สที่วัดได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

	% Composition (% Vol)				
Composition	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C
H_2	4.76	4.34	7.18	6.21	8.00
CH4	0.87	1.02	1.62	0.56	0.27
CO	4.98	3.25	3.23	7.12	13.07
CO2	12.09	12.14	11.22	7.59	6.11
O2	8.50	14.62	9.85	9.26	6.23
N2	68.8	64.63	66.9	69.26	66.32

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 500 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด 0.8 –2.36 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	18.67		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	8.74	
			C in CO	3.60	
			C in CH_4	0.63	
รวม	18.67			13.59	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.26		N_2 in producer gas	119.92	
N_2 in air	118.66				
รวม	119.92			119.92	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.52		H_2 in producer gas	0.57	
H_2 in H_2O (in coal)	1.82		H_2 in CH_4	0.21	
H_2 in H_2O (in air)	0.29		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	1.83	
รวม	2.63			2.63	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.44		O_2 in producer gas	12.00	
O_2 in H_2O (in coal)	14.55		O_2 in CO_2	23.32	
O_2 in air	36.05		O_2 in CO	4.80	
O2 in H2O (in air)	2.32		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	14.63	
รวม	58.36			54.87	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	199.58		**รวมองค์ประกอบขาออก**	191.00	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 600 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด 0.8 – 2.36 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	18.78		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	8.92	
			C in CO	2.39	
			C in CH_4	0.75	
รวม	18.78			12.67	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.27		N_2 in producer gas	119.92	
N_2 in air	118.66				
รวม	119.92			119.92	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.52		H_2 in producer gas	0.53	
H_2 in H_2O (in coal)	1.83		H_2 in CH_4	0.25	
H_2 in H_2O (in air)	0.29		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	1.84	
รวม	2.64			2.64	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.47		O_2 in producer gas	18.13	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	23.78	
O_2 in air	36.05		O_2 in CO	3.18	
O2 in H2O (in air)	2.32		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	14.75	
รวม	77.29			59.96	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**218.64**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**195.20**	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 700 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด 0.8 – 2.36 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	18.84		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	8.62	
			C in CO	2.49	
			C in CH_4	1.24	
รวม	18.84			12.96	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.27		N_2 in producer gas	119.93	
N_2 in air	118.66				
รวม	119.93			119.93	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.52		H_2 in producer gas	0.92	
H_2 in H_2O (in coal)	1.83		H_2 in CH_4	0.41	
H_2 in H_2O (in air)	0.29		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	1.30	
รวม	2.65			2.65	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.49		O_2 in producer gas	20.17	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	22.98	
O_2 in air	36.05		O_2 in CO	3.31	
O2 in H2O (in air)	2.32		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	20.78	
รวม	77.31			67.36	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	218.72		**รวมองค์ประกอบขาออก**	202.89	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด 0.8 – 2.36 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	20.39		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	6.11	
			C in CO	5.73	
			C in CH_4	0.45	
รวม	20.39			12.90	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.38		N_2 in producer gas	120.03	
N_2 in air	118.66				
รวม	120.03			120.03	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.57		H_2 in producer gas	0.83	
H_2 in H_2O (in coal)	1.99		H_2 in CH_4	0.15	
H_2 in H_2O (in air)	0.29		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	1.84	
รวม	2.84			2.84	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.94		O_2 in producer gas	31.37	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	16.29	
O_2 in air	36.05		O_2 in CO	7.64	
O2 in H2O (in air)	2.32		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	14.75	
รวม	77.76			70.17	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**221.03**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**205.95**	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด 0.8 – 2.36 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	21.04		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	4.91	
			C in CO	10.50	
			C in CH_4	0.22	
รวม	21.04			16.25	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.42		N_2 in producer gas	120.08	
N_2 in air	118.66				
รวม	120.08			120.08	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.58		H_2 in producer gas	1.07	
H_2 in H_2O (in coal)	2.05		H_2 in CH_4	0.07	
H_2 in H_2O (in air)	0.29		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	1.76	
รวม	2.92			2.92	
Oxygen balance					
O_2 in coal	6.13		O_2 in producer gas	18.21	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	13.10	
O_2 in air	36.05		O_2 in CO	14.00	
O2 in H2O (in air)	2.32		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	14.11	
รวม	77.95			59.54	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**221.98**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**198.79**	

ภาวะที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 500 – 900 องศาเซลเซียส โดยใช้ถ่านหินขนาด 2.36 – 4.75 มิลลิเมตร

Basis : 15 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างแก๊สผลิตภัณฑ์

ปริมาณอากาศที่ใช้ 631.26 kg / hr

พื้นที่หน้าตัดของเตาปฏิกรณ์ : Ac = 0.119 m^3

ความเร็วอากาศที่ใช้ในการทำให้เกิดฟลูอิไดซ์ : V_{air} = 1.26 m / s

ความหนาแน่นของอากาศที่ 29 องศาเซลเซียส = 1.169 kg/m^3

อุณหภูมิกระเปราะเปียก 24 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิกระเปราะแห้ง 29 องศาเซลเซียส

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 174 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 175 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 175.5 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 190 kg. / hr.

อัตราการป้อนถ่านหินที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส 196 kg. / hr.

องค์ประกอบแก๊สที่วัดได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

	% Composition (% Vol)				
Composition	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C
H_2	5.89	5.80	7.62	8.26	8.98
CH4	0.78	0.91	1.23	0.82	0.36
CO	8.14	8.54	7.52	13.28	16.32
CO2	8.38	8.85	9.57	8.88	7.51
O2	1.58	4.41	5.40	10.09	9.28
N2	75.25	73.49	68.66	58.67	57.55

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 500 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด 2.36 – 4.75 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	18.67		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	8.79	
			C in CO	8.54	
			C in CH_4	0.80	
รวม	18.67			18.74	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.26		N_2 in producer gas	165.35	
N_2 in air	164.09				
รวม	165.35			165.35	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.52		H_2 in producer gas	1.03	
H_2 in H_2O (in coal)	1.82		H_2 in CH_4	0.27	
H_2 in H_2O (in air)	0.40		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	1.43	
รวม	2.74			2.74	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.44		O_2 in producer gas	25.95	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	23.43	
O_2 in air	49.85		O_2 in CO	11.39	
O2 in H2O (in air)	3.20		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	22.85	
รวม	91.95			83.73	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**278.72**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**270.56**	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 600 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด 2.36 – 0.8 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	18.78		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	9.25	
			C in CO	6.83	
			C in CH_4	0.96	
รวม	18.78			17.65	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.27		N_2 in producer gas	165.36	
N_2 in air	164.09				
รวม	165.36			165.36	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.52		H_2 in producer gas	1.01	
H_2 in H_2O (in coal)	1.83		H_2 in CH_4	0.32	
H_2 in H_2O (in air)	0.40		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	1.41	
รวม	2.75			2.75	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.47		O_2 in producer gas	28.13	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	24.67	
O_2 in air	49.85		O_2 in CO	9.11	
O2 in H2O (in air)	3.20		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	11.26	
รวม	91.98			73.29	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**278.88**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**259.05**	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 700 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด 2.36 – 4.75 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	18.84		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	9.88	
			C in CO	7.76	
			C in CH_4	1.27	
รวม	18.84			19.53	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.27		N_2 in producer gas	165.36	
N_2 in air	164.09				
รวม	165.36			165.36	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.52		H_2 in producer gas	1.31	
H_2 in H_2O (in coal)	1.83		H_2 in CH_4	0.42	
H_2 in H_2O (in air)	0.40		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	1.01	
รวม	2.76			2.76	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.49		O_2 in producer gas	14.87	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	26.35	
O_2 in air	49.85		O_2 in CO	10.35	
O2 in H2O (in air)	3.20		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	8.08	
รวม	92.00			59.77	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**278.96**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**247.42**	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด 2.36 – 4.75 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	20.39		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	9.79	
			C in CO	14.63	
			C in CH_4	0.90	
รวม	20.39			25.94	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.38		N_2 in producer gas	165.47	
N_2 in air	164.09				
รวม	165.47			165.47	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.57		H_2 in producer gas	1.52	
H_2 in H_2O (in coal)	1.99		H_2 in CH_4	0.30	
H_2 in H_2O (in air)	0.40		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	1.12	
รวม	2.95			2.95	
Oxygen balance					
O_2 in coal	5.94		C_2 in producer gas	12.96	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	26.10	
O_2 in air	49.85		O_2 in CO	19.51	
O2 in H2O (in air)	3.20		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	8.96	
รวม	92.45			67.64	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**281.26**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**262.00**	

ภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส ถ่านหินขนาด 2.36 – 4.75 mm.

Input			Output		
Composition		kg.	Composition		kg.
Carbon balance					
C in coal	21.04		C in refuse	0.01	
			C in particle	0.60	
			C in CO_2	8.16	
			C in CO	17.74	
			C in CH_4	0.39	
รวม	21.04			26.91	
Nitrogen balance					
N_2 in coal	1.42		N_2 in producer gas	165.51	
N_2 in air	164.09				
รวม	165.51			165.51	
Hydrogen balance					
H_2 in coal	0.58		H_2 in producer gas	1.63	
H_2 in H_2O (in coal)	2.05		H_2 in CH_4	0.13	
H_2 in H_2O (in air)	0.40		H_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			H_2 in H_2O (in particle)	0.01	
			H_2 in H_2O (in producer gas)	1.26	
รวม	3.03			3.03	
Oxygen balance					
O_2 in coal	6.13		O_2 in producer gas	4.57	
O_2 in H_2O (in coal)	33.45		O_2 in CO_2	21.76	
O_2 in air	49.85		O_2 in CO	23.66	
O2 in H2O (in air)	3.20		O_2 in H_2O (in refuse)	0.00	
			O_2 in H_2O (in particle)	0.11	
			O_2 in H_2O (in producer gas)	10.08	
รวม	92.64			60.19	
รวมองค์ประกอบขาเข้า	**282.22**		**รวมองค์ประกอบขาออก**	**255.64**	

ประวัติผู้เขียน

นายอรรถพล ณรงค์ฤทธิชัย เกิดวันที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2517 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย