

เอกสารอ้างอิง

1. Supartipanish, S., Y. Ukkakimapan, N. Pithchayakul, V. Tawaytibpong, J. Meesuk, and S. Krobbuaban, "Tertiary Coal in Thailand," Abstr. Geology and Mineral Resources of Thailand, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand, 1983.
2. ฉัตรคณัย ฉัตรพลรักษ์, "รายงานประเมินผลทางเศรษฐกิจเบื้องต้น โครงการผลิตถ่านหินลิกไนท์อัดก้อนเพื่ออุตสาหกรรม," กรุงเทพมหานคร สำนักงานพลังงานแห่งชาติ (อัครสํานา).
3. Moore, E. S., Coal, pp. 131-135, John Wiley & Sons, New York, 1940.
4. ASTM Standard; D 388, "Coal by Rank," American Society for Testing Material, U.S.A., 1985.
5. Meyer, R. A., Coal Handbook, 1st ed., pp. 1-50, Marcel Dekker Ltd., New York, 1981.
6. Blaustein, B. D. (ed.), "New Approaches in Coal Chemistry," ACS Symposium Series 169, American Chemical Society, Washington, D.C., 1981.
7. Eliot, R. C., Coal Desulfurization Prior to Combustion, pp. 6-36, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New York, 1978.
8. Gilbert, T., "Forms of Sulfur in Coal," Chemistry of Coal Utilization (Lowry, H. H., ed.) Vol. 1, pp. 425-439, John Wiley & Sons, New York, 1963.
9. กัณฑ์มา ศิริจีระชัย, "การขจัดกำมะถันในด้านหินโดยวิธีออกซิเคชันในสารละลายเบส," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

10. อรุณรัตน์ วุฒิมงคลชัย, "ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน," วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2528.
11. Lowry, H. H. (ed.), Chemistry of Coal Utilization, Vol. 1, pp.
623-625, John Wiley & Sons, New York, 1945.
12. Francis, W., Fuels and Fuel Technology, Vol. 1, pp. 142-150,
Pergamon Press Ltd., Oxford, 1965.
13. Lowry, H. H. (ed.), Chemistry of Coal Utilization, Supp. Vol.,
pp. 675-703, John Wiley & Sons, New York, 1963.
14. Hama, T. and B. Hama, "Odorless briquet preparation from coal,"
Chemical Abstract, Vol. 84 (22), 153069p, pp. 156, The
American Chemical Society, 1976.
15. Woudes, H., K. P., Hoffman, L. Koegel, H. J. Kretzschmar, and
H. Kurek, "Weather-resistant coke briquets," Chemical
Abstract, Vol. 83 (20), 166818m, pp. 162, The American
Chemical Society, 1975.
16. Mizuma, N. and K. Ohmura, "Molding carbon product," Chemical
Abstract Vol. 82 (26), 174577b, pp. 235, The American
Chemical Society, 1975.
17. Eliot, R. C., Coal Desulfurization Prior to Combustion, 1st ed.,
pp. 127-208, Noyes Data Corporation Park Ridge, New York,
1978.
18. Meyer, R. A., Coal Handbook, 1st ed., pp. 250-257, Marcel Dekker
Ltd., New York, 1981.

19. Burdett, M. A., J. R. P. Cooper, S. Dearnley, W. S. Kyte, and M. F. Tunnieliffe, "The application of direct limestone injection to UK power stations," Journal of the institute of energy, 64 (1985): 64-69.
20. Slack, A. V., "Throwaway Process: Dry Systems," Pollution control Review, Vol. 4, pp. 14-52, Noyes Data Corporation, New Jersey, 1971.
21. Maust, E. E., "Method for enhancing the Utilization of powdered coal," U.S. Pat. 4,230,460, Oct. 28, 1980.
22. Gioia, F. and G. Mura, "Influence of catalysts on SO₂ control in coal combustion with limestone," International Chemical Engineering, 20 (3), 1980: 458-465.
23. Lallai, A., G. Mura, A. Viola, and F. Gioia, "Removal of sulfur during the combustion of coal by adding limestone," International Chemical Engineering, 19 (3), 1979: 445-453.
24. Boynton, R. S., Chemistry and Technology of Lime and Limestone, pp. 192-913, A division of John Wiley & Sons, New York, 1967.
25. Hartman, M. and R. W. Coughlin, "Reaction of sulfur dioxide with limestone and the grain model," AIChE Journal, 22 (3), 1976: 490-497.
26. Desal, N. J. and R. T. Yang, "Catalytic fluidized-bed combustion. Enhancement of sulfation of calcium oxide by iron oxide," Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., 22 (1983): 119-123.
27. Hartman, M. and R. W. Coughlin, "Reaction of sulfur dioxide with limestone and the influence of pore structure," Ind. Eng.



Chem. Process Des. Dev., 13 (1974): 248-253.

28. Chen, J. M. and R. T. Yang, "Fluidized-bed combustion of coal with lime additives. Kinetics and mechanism of regeneration of lime sorbent," Ind. Eng. Chem. Fundam., 18 (2), 1979: 134-138.
29. Mobley, J. D. and J. C. S. Chang, "The adipic acid enhanced limestone flue gas desulfurization process," Journal of the air pollution control association, 31 (12), 1981: 1249-1253.
30. Chang, J. C. S. and J. D. Mobley, "Testing and commercialization of by-product dibasic acids as buffer additives for limestone flue gas desulfurization systems," Journal of the air pollution control association, 33 (10), 1983: 955-962.
31. สุปจน์ ตั้งมณีพิทักษ์ และ อติพันธ์ เหล่าวงศ์สิน, "การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของกำมะถันในด้านหินเมื่อเผาไหม้," รายงานวิจัย Senior Project ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.
32. มีชัย สันธิติโกศล และ อติชาติ วงศ์กอบลาภ, "ผลของปูนขาวที่มีต่อการกำจัดกำมะถันเมื่อเผาไหม้," รายงานวิจัย Senior Project ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
33. Simons, G. A. and W. T. Rowlin, "Reaction of sulfur dioxide and hydrogen sulfide with porous calcined limestone," Ind. Eng. Chem. Process Res. Dev., 19 (1980): 565-572.
34. Borgwardt, R. H. and K. R. Bruce, "Effect of specific surface area on the reactivity of CaO with SO₂," AIChE Journal, 32 (2), 1986: 239-246.

35. Altar, A., "Chemistry, Thermodynamics and kinetics of reaction of sulfur in coal-gas reaction: A review," Fuel, 57 (1978): 201-212.
36. นิภา เศรษฐไพศาล, "การทำด้านหินอัคน้ำเพื่อใช้ในครัวเรือน," วิทยานิพนธ์ปริญญาโท-บัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
37. ASTM Standard; D 3172, "Proximate Analysis of Coal and Coke," American Society for Testing Material, U.S.A., 1986.
38. ASTM Standard; D 3286, "Gross Calorific Value of Coal and Coke by The Isothermal-Jacket Bomb Calorimeter," American Society for Testing Material, U.S.A., 1986.
39. ASTM Standard; D 3177, "Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing Material, U.S.A., 1986.
40. ASTM Standard; D 2492, "Forms of Sulfur in Coal," American Society for Testing Material, U.S.A., 1986.
41. ASTM Standard; D 1757, "Sulfur in Ash from Coal and Coke," American Society for Testing Material, U.S.A., 1986.
42. Holtel, H. C. and A. F. Sarofim, Radiative Transfer, pp. 297-325, McGrao-Hill Book Company, 1967.
43. อรวรรณ ชัยลาภกุล, "การวิเคราะห์ด้านหินจากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทย," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

1) การวิเคราะห์ด้านหินแบบประมาณ (Proximate Analysis) : ASTM D3172

1.1) ความชื้น (moisture) : ASTM D3173

วิธีทดลอง

- อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบ (drying oven) ที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 10-30 นาที จากนั้นนำเข้า desiccator ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

- ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแล้วอย่างรวดเร็ว ปิดฝาทันที บันทึกน้ำหนักตัวอย่างไว้

- นำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

- หลังจากนั้นนำไปใส่ desiccator ประมาณ 15 นาที จึงชั่งน้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างอบแล้วอยู่ภายใน บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

โดยที่ M = ร้อยละของความชื้น

W_1 = น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างอบแล้วอยู่ภายใน (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

1.2) เถ้า (ash) : ASTM D 3174

วิธีทดลอง

- เเผา crucible แบบ porcelain พร้อมฝาในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำออกมาทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก crucible พร้อมฝา

- ชั่งถ่านหินตัวอย่างใส่ crucible ประมาณ 1 กรัม
- นำไปเผาบนตะเกียงเบนเซน จนควันระเหยหมด
- นำเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ จึงนำ crucible ออกจากเตาเผา ทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

โดยที่ A = ร้อยละของเถ้า

W_3 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา ภายในมีเถ้าหลังการเผาไหม้อยู่ (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน, (กรัม)

1.3) สารระเหย (volatile matter) : ASTM D 3175

วิธีทดลอง

- เผา nickle crucible พร้อมฝา ในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 950 °C เป็นเวลาประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผาทำให้เย็นใน desiccator จากนั้นชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งบันทึกผล
- ชั่งตัวอย่างถ่านหินใส่ใน nickle crucible ประมาณ 1 กรัม
- นำไปเผาใน tube furnace โดยให้ความร้อนเป็น 2 ช่วง ๆ ละ 6 นาที ช่วงแรกเป็นการเริ่มต้นให้ความร้อนแก่ถ่านหินที่อุณหภูมิ 300 °C 3 นาที และที่อุณหภูมิ 600 °C 3 นาที สำหรับช่วงที่สองเป็นการให้ความร้อนที่กึ่งกลางเตาเผาอุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 6 นาที
- เมื่อนำ crucible ออกจากเตาเผาแล้วทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator จากนั้นจึงชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = \frac{W_5 - W_6}{W} \times 100 - M$$

โดยที่ V = ร้อยละของสารระเหย

M = ร้อยละของความชื้น

w_5 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา รวมกับน้ำหนักด้านหินก่อนเผา (กรัม)

w_6 = น้ำหนักของ crucible พร้อมฝา รวมกับน้ำหนักด้านหินหลังการเผา (กรัม)

w = น้ำหนักด้านหินตัวอย่าง (กรัม)

1.4) คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = $100 - \text{ร้อยละของความชื้น} - \text{ร้อยละของเถ้า} - \text{ร้อยละของสารระเหย}$

2) การหาค่าความร้อนของด้านหิน (Gross Heating Value) : ASTM D 3286

2.1) การหาค่าน้ำหนักสมมูล (water equivalent) ของเครื่องบอมม์คาลอริมิเตอร์

วิธีทดลอง

- ชั่งกรดเบนโซอิก (benzoic acid) หนัก 0.9 ถึง 1.0 กรัม มาอัดเป็นเม็ดโดยใช้เครื่องอัด จากนั้นนำกรดเบนโซอิกอัดก้อนนี้มาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกน้ำหนักไว้
- ตัดลวด (fuse wire) ยาว 10 เซนติเมตร มาผูกระหว่างปลายทั้งสองของหัวบอมม์
- นำกรดเบนโซอิกอัดก้อนมาวางใน crucible จากนั้นจึงนำ crucible นี้ไปวางในตำแหน่งบนหัวบอมม์ จัดให้ลวดที่ผูกไว้โค้งจนแตะผิวหน้าของกรดเบนโซอิก
- เติมน้ำกลั่นลงในออกซิเจนบอมม์ 1 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต
- ประกอบหัวบอมม์กับออกซิเจนบอมม์เข้าด้วยกัน ชันเกลียวให้แน่น แล้วนำไปอัดก๊าซออกซิเจนจนมีความดันประมาณ 25-30 บรรยากาศ
- เติมน้ำลงในถังบอมม์ 1 ลิตร โดยให้น้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 2-3 °F นำออกซิเจนบอมม์ที่อัดก๊าซเรียบร้อยแล้ววางในถังบอมม์ เติมน้ำลงไปในถังอีก 1 ลิตร เสียบสายจุกกระบอก 2 เส้นต่อกับบอมม์ ปิดฝาของเครื่อง
- เปิดสวิทช์ให้เครื่องกวนทำงาน ทุก ๆ นาที บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำ เมื่อเครื่องเดินประมาณ 5 นาที ถอดจุกกระบอก บันทึกค่าอุณหภูมิที่จุกกระบอกนี้ และอ่านอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นทุกนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสูงสุด แล้วลดลงหรือคงที่ในที่สุด

- ปิคสวิตช์ของเครื่อง นำออกซิเจนบอมม์ออกมาปล่อยก๊าซจากบอมม์ให้หมด
- ล้างหัวบอมม์และออกซิเจนบอมม์ รวมทั้ง crucible ด้วยน้ำกลั่นที่เติม methyl orange จนหมดกรด (น้ำที่ล้างไม่เป็นสีชมพู)
- นำน้ำล้างที่ได้ไปไตเตรทกับ 0.0725 N ของ Na_2CO_3 บันทึกมิลลิลิตรของ Na_2CO_3 ที่ใช้ไป
- วัดความยาวของลวดที่เหลือ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$W = \frac{Hg + e_1 + e_3}{t}$$

โดยที่ W = ค่าน้ำหนักสมมูลของเครื่องบอมม์แคลอรีมิเตอร์, แคลอรีต่อ °ฟ

H = ค่าความร้อนของการเผาไหม้กรดเบนโซอิก = 6318 แคลอรีต่อกรัม

g = น้ำหนักของกรดเบนโซอิกที่ทดลอง (กรัม)

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก, แคลอรี
= จำนวนมิลลิลิตรของ 0.0725 N Na_2CO_3 ที่ใช้ไตเตรท

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของลวด, แคลอรี
= $(2.3) \times$ (ความยาวของลวดที่ใช้ไปเป็นเซนติเมตร)

t = อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น, °ฟ

2.2) การหาค่าความร้อน

วิธีทดลอง

- วางแผ่นแอสเบสตอส (asbestos) ลงใน crucible จากนั้นชั่งด้านหน้าตัวอย่าง ประมาณ 0.9 ถึง 1.0 กรัม ลงใน crucible
- ทำการทดลองเช่นเดียวกับกรดไนตริกเบนโซอิก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$H = \frac{tw - e_1 - e_2 - e_3}{g}$$

โดยที่ H = ค่าความร้อนของการเผาไหม้ด้านหน้า (Gross Heating Value), (แคลอรีต่อกรัม)

- t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นซึ่งได้แก่ค่าเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์แล้ว ($^{\circ}\text{F}$)
 $= t_c - t_a - r_1(b-a) + r_2(c-b)$
 t_c = อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ ($^{\circ}\text{F}$)
 t_a = อุณหภูมิเริ่มจุดระเบิด ($^{\circ}\text{F}$)
 r_1 = อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิก่อนการจุดระเบิด 5 นาที ($^{\circ}\text{F}$ ต่อ นาที)
 r_2 = อัตราการลดลงของอุณหภูมิหลังจากอุณหภูมิสูงสุด ($^{\circ}\text{F}$ ต่อ นาที)
 a = เวลาก่อนการจุดระเบิด (นาที)
 b = เวลาที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 60% ของการเพิ่มอุณหภูมิทั้งหมด (นาที)
 c = เวลาตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกิ่งที่ (นาที)
 w = ค่าน้ำหนักสมมูล (กาลอรีต่อ $^{\circ}\text{F}$)
 e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก
 $=$ จำนวนมิลลิลิตรของ 0.0725 N Na_2CO_3 ที่ใช้ในการไตเตรท
 e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดซัลฟูริก
 $= 14 \times (\% \text{ กำมะถัน}), (\% \text{ กำมะถัน หาได้จากวิธีตามหัวข้อ 2.3})$
 e_3 = การแก้ค่าความร้อนของการเผาไหม้ลวด
 $= (2.3) \times (\text{ความยาวลวดที่ใช้ไปเป็นเซนติเมตร})$
 g = น้ำหนักของด้านหินที่ทดลอง (กรัม)

2.3) การหาปริมาณกำมะถันในด้านหิน

วิธีทดลอง

- นำน้ำล้างบอมม์ ภายหลังจากไตเตรทกับ Na_2CO_3 แล้ว มาต้มจนเดือด แล้วกรอง
 ขณะร้อนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง
- นำสารละลายที่ได้มาเติมสารละลาย Br_2 (อิ่มตัว) 1 มิลลิลิตร
- ทำให้เป็นกรดด้วยสารละลาย HCl 1:9 แล้วนำไปต้มจนเดือด
- เติมสารละลาย BaCl_2 ลงไปที่ละลายจนครบ 10 มิลลิลิตร ต้มต่อไปอีกประมาณ
 15 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง หรืออาจทิ้งค้างคืนจะเกิดการตกตะกอนสีขาว
 ของ BaSO_4

- กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 (ashless) ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนหมดคลอไรด์ โดยการทดสอบด้วย AgNO_3

- นำกระดาษกรองที่กรองตะกอน BaSO_4 ได้มาใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปเผาจนไหม้หมดควัน บนตะเกียงเบนเซน จากนั้นจึงนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 925 °ซ เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งตะกอนมีน้ำหนักคงที่

- ทำให้เย็นใน desiccator ซึ่งน้ำหนักตะกอน BaSO_4 ที่ได้ พร้อมทั้งบันทึกผลสูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\% \text{ กำมะถัน} = \frac{13.738(A - B)}{g}$$

โดยที่ A = น้ำหนักตะกอน BaSO_4 จากด้านหินตัวอย่าง (กรัม)

B = น้ำหนักตะกอน BaSO_4 จาก Blank (กรัม)

g = น้ำหนักของด้านหินตัวอย่าง (กรัม)

3) การหาปริมาณกำมะถันรวม (Total Sulfur) โดยวิธี Eschka Method : ASTM D3177

วิธีทดลอง

- ชั่งด้านหินหนักประมาณ 1 กรัม ผสมกับ 3 กรัมของ Eschka mixture ใน crucible โดยให้ด้านหินและ Eschka mixture ผสมกันอย่างทั่วถึง มิฉะนั้นจะทำให้ค่ากำมะถันรวมที่วิเคราะห์ได้น้อยกว่าความเป็นจริง จากนั้นปิดทับด้วย 1 กรัมของ Eschka mixture

- นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 825 °ซ ประมาณ 3 ชั่วโมง จนกระทั่งสีค่าของด้านหินหมดไป

- นำ crucible ออกจากเตาเผา ย่อยสารใน crucible ด้วยน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร เป็นเวลาประมาณครึ่งชั่วโมง

- กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนมีปริมาตรประมาณ 250 มิลลิลิตร

- ทำสารละลายที่กรองให้ให้เป็นกรดด้วย HCl (1:9)

- ทำสารละลายให้เป็นกลางด้วย Na_2CO_3 โดยใช้ methyl orange เป็น indicator

- ทำสารละลายให้เป็นกรดเล็กน้อยโดยเติม HCl (1:9) 1 มิลลิลิตร

- ต้มสารละลายให้เดือด แล้วเติมสารละลาย BaCl_2 อย่างช้า ๆ 10 มิลลิลิตร

ด้วยปิเปตในขณะที่กวนสารละลายตลอดเวลา ต้มสารละลายต่อไปอีกประมาณ 15 นาที จะได้

ตะกอนสีขาวขุ่นของ BaSO_4 ตั้งทิ้งไว้ข้างคืน หรืออย่างน้อย 2 ชั่วโมง

สารละลาย BaCl_2 ที่เติมลงไปต้องมากเกินพอ ในกรณีที่ตะกอน BaSO_4 ที่เกิดขึ้น มากเกินกว่า 0.95 กรัม ต้องลดน้ำหนักของตัวอย่างลงเหลือครึ่งหนึ่ง ในขณะที่เดียวกันถ้าใช้ ตัวอย่าง 0.5 กรัม แล้วได้ตะกอน BaSO_4 ต่ำกว่า 0.058 กรัม ต้องเพิ่มน้ำหนักตัวอย่างที่ทดสอบ

- กรองตะกอน BaSO_4 ด้วยกระดาษกรอง ashless เบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยน้ำ- ร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนหมดคลอไรด์ ซึ่งตรวจสอบโดยใช้ AgNO_3

- นำตะกอนที่กรองได้พร้อมกระดาษกรองใส่ crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 925 °C ประมาณ 3 ชั่วโมง จึงนำออกจากเตา ทำให้เย็นใน desiccator แล้ว จึงชั่งหาน้ำหนักของตะกอน BaSO_4 ที่เกิดขึ้น

- blank correction ทำการทดลองเหมือนข้างต้นทุกประการ เพียงแต่ไม่ใช้ตัวอย่าง ถ่านหินเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่า สารเคมีที่ใช้มีปริมาณกำมะถันอยู่เล็กน้อยเพียงใด

หมายเหตุ สำหรับการวิเคราะห์หากำมะถันรวมในถ่านหิน ตาม ASTM D1757 นั้น มีวิธีการเหมือนการวิเคราะห์กำมะถันรวมในถ่านหิน (ตาม ASTM D 3177) แต่จะแตกต่างกันที่จะใช้น้ำหนักของถ่านหิน 0.5 กรัม ถ้าได้น้ำหนักตะกอน BaSO_4 ต่ำกว่า 0.058 กรัม จึงจะเพิ่มน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

โดยที่ A = น้ำหนักตะกอน BaSO_4 ที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตะกอน BaSO_4 ที่ได้จาก blank (กรัม)

C = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

4) การหารูปแบบของกำมะถัน (Forms of Sulfur) : ASTM D 2492

4.1) การหาปริมาณกำมะถันซัลเฟต (Sulfate Sulfur)

วิธีทดลอง

- ชั่งตัวอย่างถ่านหินหรือถ่านประมาณ 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมสารละลาย HCl (2:3) 50 มิลลิลิตร จากนั้นใส่เอทานอลประมาณ 2 มิลลิลิตร คนให้ทั่วถึงกัน แล้วปิดด้วยกระดาษฟิลา

- ต้มบน hot plate ให้สารละลายค่อย ๆ เคี้ยว เป็นเวลาประมาณครึ่งชั่วโมง
 - กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ด้วยความระมัดระวัง ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนแน่ใจว่าล้าง HCl ทั้งหมดที่สกัดได้ตะกอนที่ได้จากการกรองเก็บไว้เพื่อหาค่ามะดันไฟไรต์ต่อไป

- สารละลายที่ได้จากการกรองนำมาเติมน้ำโบรมีน (Br_2) 5 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือดอย่างน้อย 5 นาที

- เติมสารละลาย NH_4OH อย่างช้า ๆ จนกระทั่งเป็นค่างเล็กน้อย (ทดสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส) แล้วเติมให้เกินพออีก 5 มิลลิลิตร จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$

- กรองตะกอนผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วย NH_4OH (1:10) ที่ร้อน 2-3 ครั้ง

- นำสารละลายที่ได้จากการกรองมาเติม methyl orange 2-3 หยด ทำให้เป็นกรดด้วย HCl เข้มข้น

- ต้มบน hot plate ให้เดือด แล้วเติมสารละลาย BaCl_2 อย่างช้า ๆ 10 มิลลิลิตร ด้วยปิเปตในขณะที่กวนสารละลายตลอดเวลา ต้มสารละลายต่อไปอีก 15 นาที จะได้ตะกอนสีขาวขุ่นของ BaSO_4 ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน หรืออย่างน้อย 2 ชั่วโมง

- กรองตะกอน BaSO_4 ด้วยกระดาษกรอง ashless เบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนหมดคลอไรด์ ซึ่งตรวจสอบโดยใช้ AgNO_3

- นำตะกอนที่กรองได้พร้อมกระดาษกรองใส่ crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 925 °C ประมาณ 3 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผา ทำให้เย็นใน desiccator แล้วจึงชั่งหาน้ำหนักของตะกอน BaSO_4 ที่เกิดขึ้น

- blank correction ทำการทดลองเหมือนข้างต้นทุกประการ เพียงแต่ไม่ใช้ตัวอย่าง ถ่านหินเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่าสารเคมีที่ใช้มีปริมาณกำมะดันซัลเฟตอยู่เล็กน้อยเพียงใด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของกำมะดันซัลเฟต} = \frac{13.735 (A^* - B^*)}{C^*}$$

โดยที่ A^* = น้ำหนักของตะกอน BaSO_4 ในตัวอย่าง (กรัม)

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

C^* = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (กรัม)

4.2) การหาปริมาณกำมะถันไพไรต์ (Pyritic Sulfur)

วิธีทดลอง

- ตะกอนที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันซัลเฟตนำมาย่อยด้วย HNO_3 (1:7) 50 มิลลิลิตร ประมาณ 30 นาที หรือทิ้งค้างคืน
- กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำเย็น
- เติม H_2O_2 2 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือด 5 นาที เพื่อออกซิไดซ์กำมะถันอินทรีย์ที่อาจหลงเหลืออยู่
- นำมาตกตะกอน $Fe(OH)_3$ โดยเติม NH_4OH ให้มากเกินพอ 5 มิลลิลิตร
- กรองตะกอน $Fe(OH)_3$ ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วย NH_4OH (1:10) ที่ร้อนหลาย ๆ ครั้ง แล้วล้างตามด้วยน้ำกลั่น
- ละลายตะกอนบนกระดาษกรองด้วย HCl (2:3) ที่ร้อนประมาณ 25 มิลลิลิตร แล้วล้างกระดาษกรองด้วยน้ำร้อนจนหมดตะกอน
- นำสารละลายที่ได้จากการละลายตะกอนมาต้มให้เดือด เติมสารละลาย $SnCl_2$ ที่ละลายจนสีเหลืองของไอออนเหล็ก Fe^{3+} หายไป จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำที่เย็นจัด
- เติมสารละลาย $HgCl_2$ 10 มิลลิลิตร ลงไปอย่างรวดเร็ว แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที
- เติม $H_2SO_4 \cdot H_3PO_4$ 20 มิลลิลิตร แล้วตามด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรประมาณ 200 มิลลิลิตร จากนั้นหยด diphenylamine sulfonate indicator ลงไป 2-3 หยด
- นำไปไตเตรทกับสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ จุดยุติจะเป็นสีม่วง (violet) ซึ่งสีจะซีดลงภายใน 20 วินาที บันทึกมิลลิลิตรของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ไป
- blank correction ทำการทดลองเหมือนข้างต้นทุกประการ เพียงแต่ไม่ใช้ตัวอย่างดำเนินหานั้น เพื่อตรวจสอบว่าสารเคมีที่ใช้ทดลองมีปริมาณกำมะถันไพไรต์อยู่มากน้อยเพียงใด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของกำมะถันไฟไรต์} = \left[\frac{(E - F) N \times 5.585}{W} \right] \times 1.148$$

โดยที่ E = มิลลิกรัมของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ไตเตรทกับสารละลายตัวอย่าง

F = มิลลิกรัมของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ไตเตรทกับ blank

N = ความเข้มข้นเป็น normality ของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ไตเตรท

W = น้ำหนักของตัวอย่างด้านหินที่ใช้วิเคราะห์ (กรัม)

4.3) การหาปริมาณกำมะถันอินทรีย์ (Organic Sulfur)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์} = \text{ร้อยละของกำมะถันรวม} - \text{ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต} - \text{ร้อยละของกำมะถันไฟไรต์}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลของเตาอังโล่ และหม้ออลูมิเนียม

- 1) รายละเอียดของเตาอังโล่ที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

ลักษณะของเตา	ขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก, ซม.	27
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน, ซม.	21
เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นรังผึ้ง, ซม.	16
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของช่องรังผึ้ง, ซม.	1.5
จำนวนช่องรังผึ้ง	17
ขนาดช่องลมเข้า, ตร.ซม.	13 × 7.2
ความสูงของเชิงเทิน, ซม.	1
ความสูงจากแผ่นรังผึ้งถึงปากเตา, ซม.	9.5
ความสูงจากฐานถึงช่องลม, ซม.	4.4
ความสูงทั้งหมดของเตา, ซม.	22
น้ำหนักเตา, กิโลกรัม	9.5

- 2) รายละเอียดของหม้ออลูมิเนียมที่ใช้ทดลอง มีดังนี้

ลักษณะของเตา	ขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลางของปากหม้อ, ซม.	26
เส้นผ่านศูนย์กลางของก้นหม้อ, ซม.	20
เส้นผ่านศูนย์กลางของฝาปิด, ซม.	27.2
ความสูงของหม้อ	15
น้ำหนักหม้อ, กรัม	480

ภาคผนวก ก

การคำนวณส่วนผสมในการอัดก้อน

ส่วนผสมต่าง ๆ ในด้านหินอัดก้อน คือ ด้านหิน, ดินเหนียว และปูนขาว

ตัวอย่าง : การอัดก้อนด้านหินแหล่งแม่เมาะ (MM) ที่อัตราส่วน $\text{CaO/S} = 2$ และร้อยละ
ดินเหนียว = 10

ในการอัดก้อนด้านหินชุดหนึ่ง จะใช้ด้านหินที่ผ่านการอบจนไม่มีความชื้นอยู่ (ด้านหินแห้ง)
เป็นปริมาณ 2000 กรัม

ก) การหาปริมาณดินเหนียว

$$\begin{aligned} \text{ดินเหนียวที่ใช้} &= 10\% \text{ เทียบกับน้ำหนักด้านหินแห้ง} \\ &= (0.1)(2000) = 200 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ข) การหาปริมาณปูนขาว

$$\text{อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล)} = 2$$

ในด้านหิน MM มีปริมาณกำมะถันทั้งหมด = 5.66% เทียบกับน้ำหนักด้านหินแห้ง

สมมติให้ใช้ CaO = x% เทียบกับน้ำหนักด้านหินแห้ง

$$\frac{\text{CaO}}{\text{S}} = \left(\frac{x}{56} \right) \left(\frac{32}{5.66} \right) = 2$$

$$\therefore x = 19.81\%$$

จากการวิเคราะห์ปูนขาว มี CaO = 69.39%

$$\therefore \text{ปริมาณปูนขาวที่ใช้} = \frac{19.81 \times 100 \%}{6.39}$$

= 28.55% เทียบกับน้ำหนักด้านหินแห้ง

$$\therefore \text{ปริมาณปูนขาวที่ใช้} = (0.2855)(2000)$$

= 571 กรัม



ภาคผนวก ง

ข้อมูลในการจุดด้านหินอั๊กก้อนในเตาอังโล่

ตัวอย่าง : ด้านหินอั๊กก้อนแหล่งป่าคา (PK) ที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 1.25 และ
ร้อยละดินเหนียว = 20

น้ำหนักน้ำเริ่มต้น	= 2500 กรัม
อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น	= 28 °C
น้ำหนักด้านหินอั๊กก้อน	= 740.48 กรัม
ความชื้นของด้านหินอั๊กก้อน	= 9.84 %
ค่าความร้อนของด้านหินอั๊กก้อน	= 4,296 แคลอรีต่อกรัม
น้ำหนักฟืน	= 20 กรัม
ระยะหักกลมห่างจากเตา	= 60 เซนติเมตร
เวลาที่ใช้ในการจุดติด	= 5 นาที
เวลาที่ควันทวม	= 12 นาที
เวลาที่ใช้ทำให้น้ำเดือด	= 8 นาที
เวลาทั้งหมดจนไฟรา	= 84 นาที
น้ำหนักน้ำที่เหลือทั้งหมด	= 1373.29 กรัม
ประสิทธิภาพการใช้งาน	= 27.49 %

ข้อมูลในการจุดด้านหินอั๊กก้อนชุดอื่น ๆ เก็บไว้ที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างการคำนวณ

1) การคำนวณหาค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อน

ตัวอย่าง : ถ่านหินอัดก้อนแหล่งป่าคา (PK) ที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 1.25
และ ร้อยละ คินเหนียว = 20

ถ่านหิน PK มีค่าความร้อนแบบไม่รวมความชื้น = 5412 แคลอรีต่อกรัม
ในถ่านหินอัดก้อน PK มีคินเหนียว = 20% เทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง
ที่อัตราส่วน CaO/S = 1.25 ดังนั้นมีปูนขาวในถ่านหินอัดก้อน = $(1.25)(56) \frac{(1.90)(100)}{32 \cdot 69.39}$
= 5.99% เทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง

$$\therefore \% \text{ ถ่านหินแห้งในถ่านหินอัดก้อน} = \frac{100}{100+20+5.99} \times 100 = 79.37\%$$

$$\therefore \text{ค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อนแบบไม่รวมความชื้น} = (0.7937)(5412) \\ = 4296 \text{ แคลอรีต่อกรัม}$$

2) การคำนวณหาประสิทธิภาพในการใช้ถ่านหินอัดก้อนเป็นเชื้อเพลิงในเตาอังโล่

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับทั้งหมด}}{\text{ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง}} \times 100$$

$$\text{หรือ } \eta = \frac{mS(T_2 - T_1) + (m - m_1)\lambda}{wq} \times 100$$

โดยที่ η = ประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน, ร้อยละ

m = น้ำหนักเริ่มต้นของน้ำที่ทดสอบ, กรัม

S = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, แคลอรีต่อกรัมต่อองศาเซลเซียส

T_2 = อุณหภูมิของน้ำเดือด, °C

T_1 = อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น, °C

m_1 = น้ำหนักน้ำที่เหลือหลังการเผาไหม้, กรัม

λ = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, แคลอรีต่อกรัม

w = น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้, กรัม

q = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, แคลอรีต่อกรัม

ตัวอย่าง : ถ่านหินอัดก้อนแหล่งป่าค่า (PK) ที่อัตราส่วน CaO/S = 1.25 และ
ร้อยละดินเหนียว = 20

$$m = 2500 \text{ กรัม}$$

$$m = 1373.29 \text{ กรัม}$$

$$S = 1 \text{ แคลอรีต่อกรัมต่อองศาเซลเซียส}$$

$$\lambda = 540 \text{ แคลอรีต่อกรัม}$$

$$T_2 = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$w = 740.48 \text{ กรัม}$$

$$T_1 = 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$q = 4296 \text{ แคลอรีต่อกรัม}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ประสิทธิภาพการใช้งาน } (\eta) &= \frac{(2500)(1)(100-28) + (2500-1373.29)(540)}{(740.48)(4296)(1-0.0984)} \\ &= 27.49 \% \end{aligned}$$

3) การคำนวณหาปริมาณกำมะถันรวมในถ่านหิน

ตัวอย่าง : ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ (MM)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

โดยที่ A = น้ำหนักตะกอน BaSO₄ ที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตะกอน BaSO₄ ที่ได้จาก blank (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

ผลการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 : A = 0.3033 กรัม

B = 0.0056 กรัม

C = 1.0141 กรัม

ความชื้นของถ่านหิน = 28.74%

$$\begin{aligned} \therefore \text{ร้อยละของกำมะถันรวม} &= \frac{13.738(0.3033-0.0056)}{1.0141(1-0.2874)} \\ &= 5.66 \text{ เทียบกับถ่านหินแห้ง} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ร้อยละของกำมะถันรวมในเต้า} &= \frac{13.738(0.2797-0.0082)}{0.8235(1-0.0020)} \\ &= 4.54 \text{ เทียบกับด้านหินเริ่มต้น} \end{aligned}$$

ผลการวิเคราะห์ครั้งที่ 2 : ร้อยละของกำมะถันรวมในเต้า = 4.48 เทียบกับด้านหินเริ่มต้น

$$\therefore \text{ค่าเฉลี่ยร้อยละของกำมะถันรวมในเต้า} = \underline{4.51} \text{ เทียบกับด้านหินเริ่มต้น}$$

5) การคำนวณรูปแบบกำมะถันในด้านหิน

ก) กำมะถันซัลเฟต

ตัวอย่าง : ด้านหิน MM

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

โดยที่ A^* = น้ำหนักของตะกอน $BaSO_4$ ในตัวอย่างทดสอบ (กรัม)

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

C^* = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

ผลการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 : $A^* = 0.0829$

$$B^* = 0.00075$$

$$C^* = 1.9837$$

$$\text{ความชื้นของด้านหิน} = 28.74\%$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต} &= \frac{13.735(0.0829-0.00075)}{1.9837(1-0.2874)} \\ &= 0.80 \text{ เทียบกับด้านหินแห้ง} \end{aligned}$$

ผลการวิเคราะห์ครั้งที่ 2 : ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต = 0.79 เทียบกับด้านหินแห้ง

$$\therefore \text{ค่าเฉลี่ยร้อยละของกำมะถันซัลเฟต} = \underline{0.80} \text{ เทียบกับด้านหินแห้ง}$$

หมายเหตุ : ค่าความแตกต่างของกำมะถันซัลเฟตในการวิเคราะห์ต่างครั้งที่ยอมรับได้

คือ (40)

สำหรับด้านหินทุกชนิด ค่าการวิเคราะห์ต่างกันได้ไม่เกิน 0.02%

น้ำหนักเด้าที่ใช้วิเคราะห์ = 1.0386 กรัม ซึ่งได้จากการเผาไหม้ด้านหินอัคกอนที่มีด้านหินเริ่มต้น

$$= 1.5004 \text{ กรัม}$$

ความชื้นของเด้า = 0.20 %

$$\therefore \text{ร้อยละของกำมะถันไฟไรต์} = \frac{(0.2-0.2)(0.005)(0.585)}{(1.5004)(1-0.0020)} \times 1.149$$

$$= 0.00 \text{ เทียบกับด้านหินเริ่มต้น}$$

ผลการวิเคราะห์ครั้งที่ 2 : ร้อยละของกำมะถันไฟไรต์ = 0.00 เทียบกับด้านหินเริ่มต้น

\therefore ค่าเฉลี่ยกำมะถันไฟไรต์ในเด้า = 0.00 เทียบกับด้านหินเริ่มต้น

ค) กำมะถันอินทรีย์

ตัวอย่าง : เด้าของด้านหินอัคกอน MM-2

ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ในเด้า = 4.51-4.48-0.00

$$= \underline{0.03} \text{ เทียบกับด้านหินเริ่มต้น}$$

7) การคำนวณค่า P (ร้อยละกำมะถันรวมในเด้าที่เพิ่มขึ้นจากเด้าของด้านหินอัคกอนที่ไม่มีปูนขาว)

ตัวอย่าง ก) ด้านหินอัคกอน MM-2

ร้อยละกำมะถันรวมในเด้าของด้านหินอัคกอน MM-2 = 79.68

" " " MM-0 = 16.61

$$\therefore P = 79.68 - 16.61 = 63.07$$

ข) ร้อยละกำมะถันอัคกอน KV-3

ร้อยละกำมะถันรวมในเด้าด้านหินอัคกอน KV-3 = 89.34

" " " KV-0 = 30.33

$$\therefore P = 89.34 - 30.33 = 59.01$$

ประวัติผู้เขียน

นางสาว ดวงพร ธีรภาพไพสิฐ เกิดวันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ. 2507 ที่กรุงเทพมหานคร ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2527



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย