

วิธีดำเนินการทดลองและผลการทดลอง

3.1 สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้

3.1.1 สารเคมี สารเคมีที่ใช้ในการทดลองเป็น Laboratory grade มุ่งงัน

1. Ammonia solution, $\text{NH}_3(\text{Sol}^n)$
ผลิตโดยบริษัท BDH Chemicals Ltd., Poole, England
2. Barium chloride, BaCl_2
ผลิตโดยบริษัท Fluka, Switzerland
3. Barium sulfate, BaSO_4
ผลิตโดยบริษัท May & Baker Ltd., Dagenham, England
4. Congo red paper
ผลิตโดยบริษัท Fluka, Switzerland
5. Hydrochloric acid, HCl
ผลิตโดยบริษัท BDH Chemicals Ltd., Poole, England
6. Hydroxylamine hydrochloride, $\text{NH}_2.\text{OH}.\text{HCl}$
ผลิตโดยบริษัท May & Baker Ltd., Dagenham, England
7. Hydrogen peroxide, H_2O_2
ผลิตโดยบริษัท Fluka, Switzerland
8. Iron wire, Fe
ผลิตโดยบริษัท May & Baker Ltd., Dagenham, England

9. Liquid paraffin
ผลิตโดยบริษัท BDH Chemicals Ltd., Poole, England
10. Methyl red
ผลิตโดยบริษัท BDH Chemicals Ltd., Poole, England
11. Nitric acid, HNO_3
ผลิตโดยบริษัท BDH Chemicals Ltd., Poole, England
12. Phenanthroline, $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
ผลิตโดยบริษัท Fluka, Switzerland
13. Potassium sulfate, K_2SO_4
ผลิตโดยบริษัท BDH Chemicals Ltd., Poole, England
14. Liquid Bromine
ผลิตโดยบริษัท BDH Chemicals Ltd., Poole, England
15. Sodium acetate anhydrous, CH_3COONa
ผลิตโดยบริษัท E. Merck, Darmstadt, Germany
16. Sodium carbonate, Na_2CO_3
ผลิตโดยบริษัท Fluka, Switzerland
17. Sulfuric acid, H_2SO_4
ผลิตโดยบริษัท May & Baker Ltd., Dagenham, England
18. Toluene
ผลิตโดยบริษัท BDH Chemicals Ltd., Poole, England

3.1.2 เครื่องมือ

1. C.H.N analyzer Model 185 B.
ผลิตโดยบริษัท Hewlett Packard, U.S.A.
2. Electric muffle furnace
ผลิตโดยบริษัท W.C. Heraeur Hanan
3. Electro thermal power regulator
ผลิตโดยบริษัท Electro thermal Power Regulator., London,
England
4. Oven
ผลิตโดยบริษัท Arthur H. Thomas Co., U.S.A.
5. Oxygen bomb calorimeter
ผลิตโดยบริษัท PARR Instrument Company, Maline, Illinois,
U.S.A.
6. Pellet press
ผลิตโดยบริษัท PARR Instrument Company, Maline, Illinois,
U.S.A.
7. Reactor
ผลิตโดยบริษัท Griffin & George Ltd., U.S.A.
8. Scanning electron microscope., s-405
ผลิตโดยบริษัท Hitachi, Japan
9. Spectronic 21
ผลิตโดยบริษัท Bausch & Lomb., U.S.A.

การดำเนินการทดลอง

สถานที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นสถานที่แหล่งบ้านปู บ้านป่าคา อำเภอสิรินธร จังหวัดลำพูน

การบดและการแยกขนาด

นำดินที่บดแล้วมาบดด้วยเครื่องบด Jaw crusher และร่อนผ่านตะแกรง แยกออกเป็น 4 ขนาด คือ ขนาด 0 - 0.50 มม., 0.50 - 1.00 มม., 1.00 - 2.00 มม., และ 2.00 - 4.75 มม.

3.2 วิธีการกำจัดฟิสิกส์เพื่อโดยโซลสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนตที่ร่อน และมีออกซิเจนละลายอยู่ (11)

การเตรียมสารละลาย

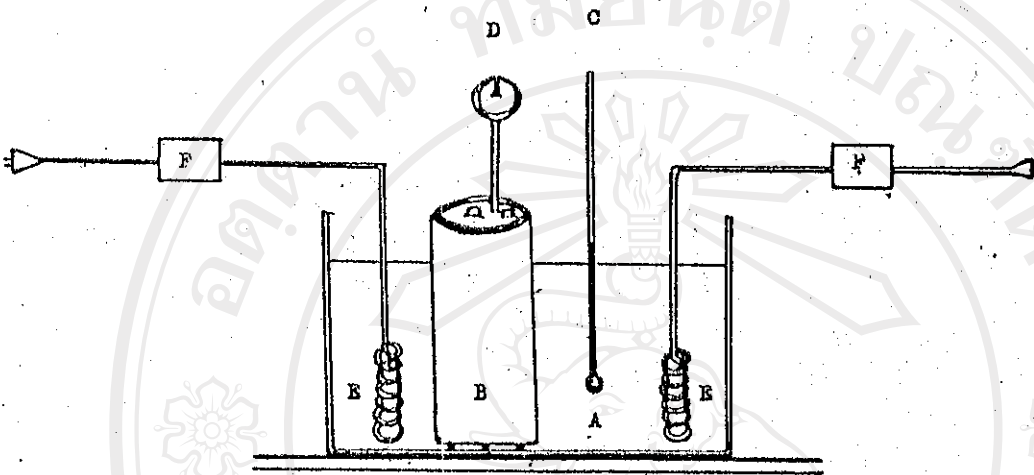
เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนัก

วิธีทำ

1. จัดเตรียมมือทรงรูป 3.1 ไทยโซฟาราฟีนเหลว (liquid paraffin) ใน Oil bath พร้อมเครื่องทำความร้อนขนาด 2.3 กิโลวัตต์ และเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ปรับให้อุณหภูมิคงที่ 150 °C และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการทดลอง

2. นำดินที่แยกขนาดแล้ว 50 กรัม ใส่ลงใน reactor เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 50 มล. เขย่าหรือคนให้เข้ากัน ปิดฝา แล้วอัดกาซออกซิเจนลงไป 25 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว

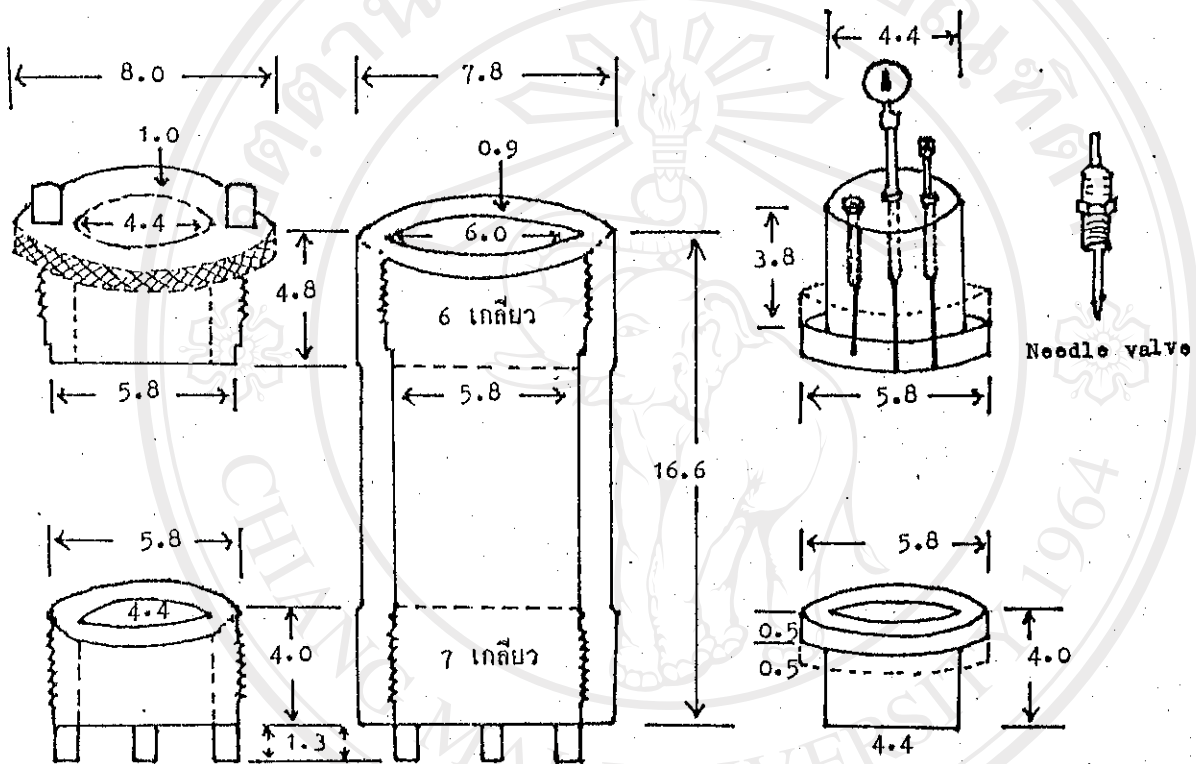
3. นำ reactor ใส่ในอ่างพาราฟีน ดังรูป 3.1 ให้ reactor จมอยู่ในพาราฟีน ประมาณ 8 ใน 10 ส่วน



รูป 3.1 ลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการกำจัดกำมะถันจากถ่านหิน

- A = liquid paraffin oil bath
- B = reactor
- C = thermometer
- D = pressure gauge
- E = heater
- F = controller

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved



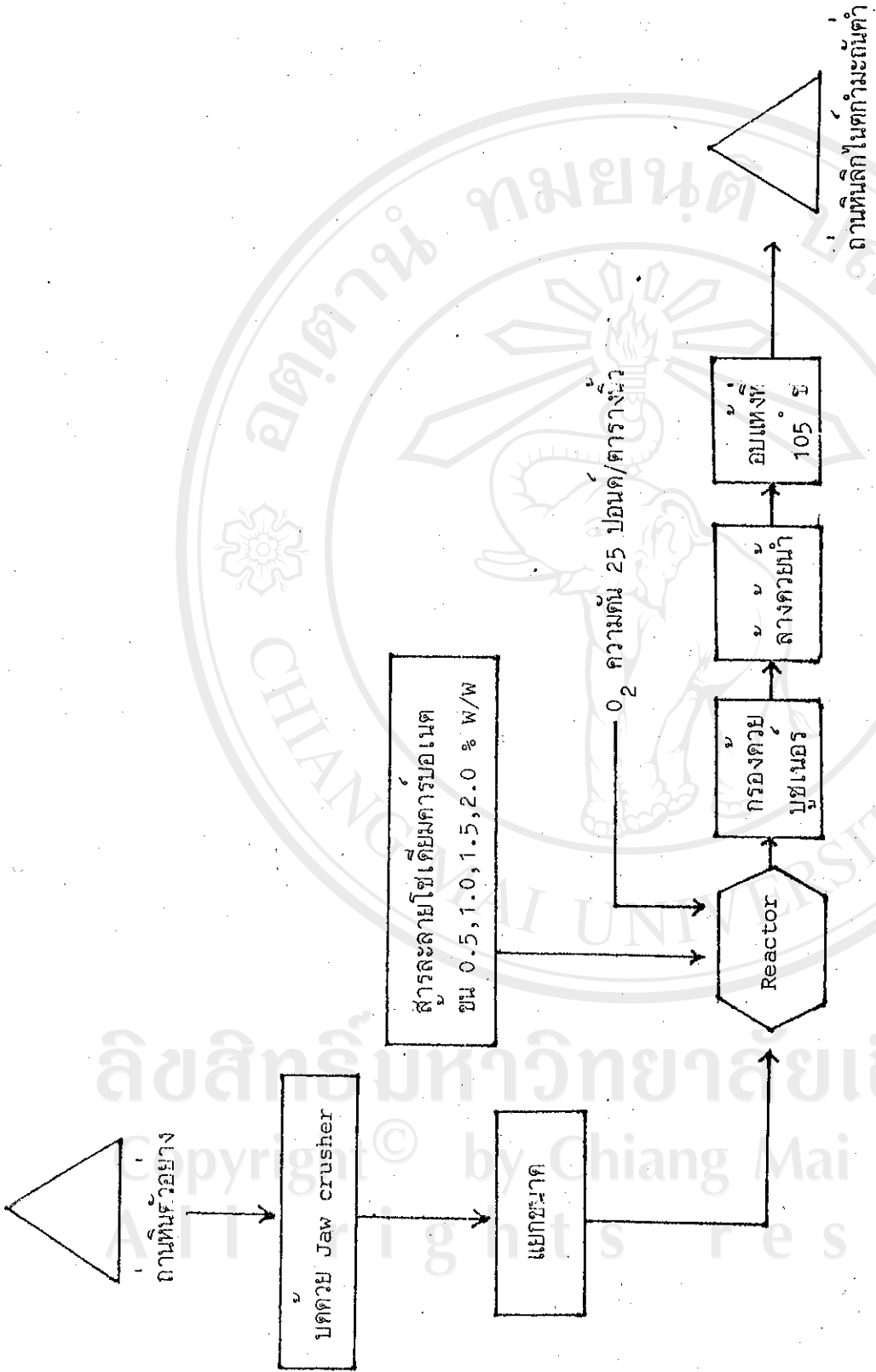
รูป 3.2 ลักษณะของ Reactor ที่ใช้กำจัดกำมะถันจากถ่านหิน

หมายเหตุ หน่วยเป็นเซนติเมตร

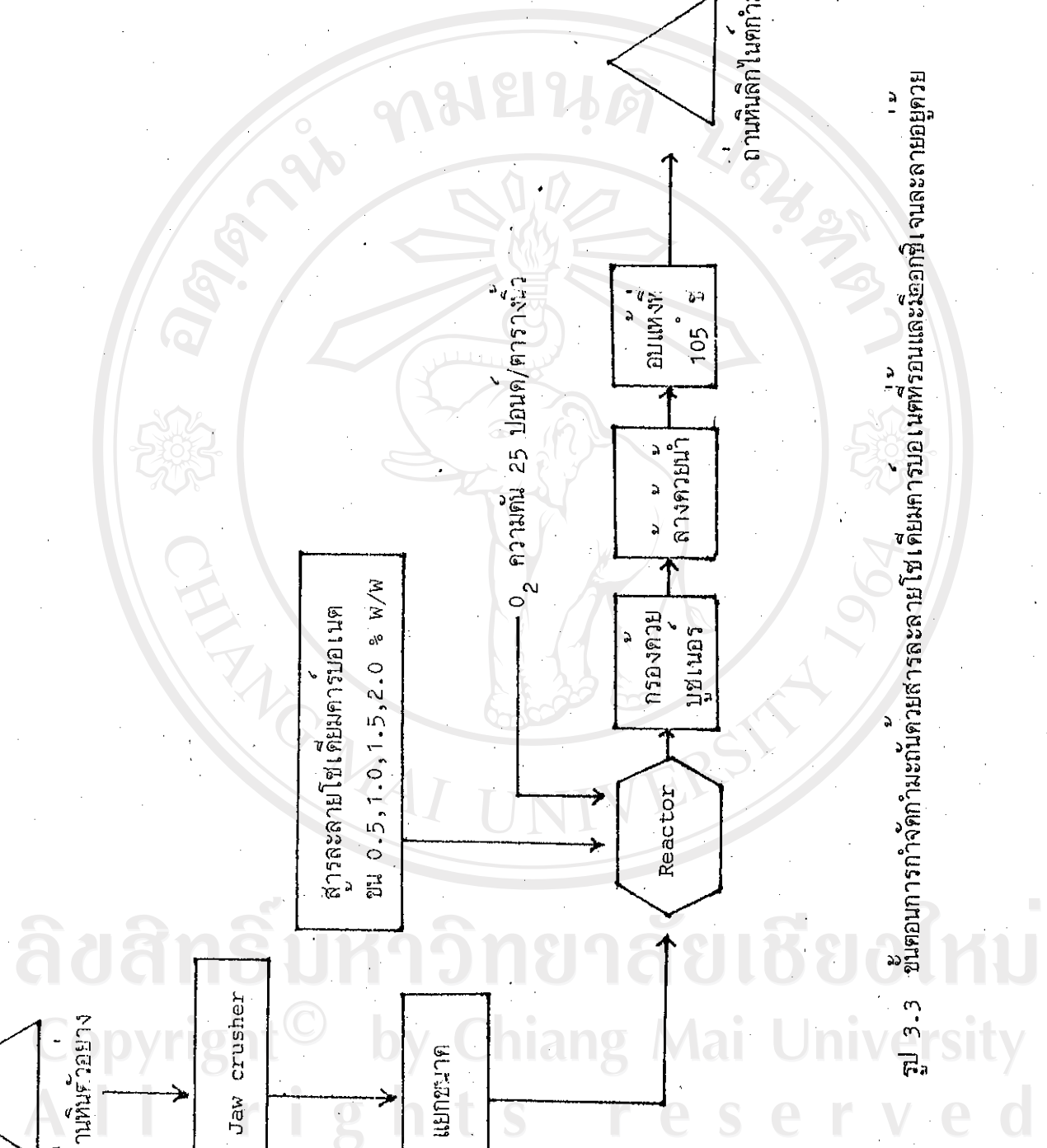
Reactor ได้ตัดแปลงจาก Parr calorimeter ทำด้วยเหล็กโรสนิมรูป

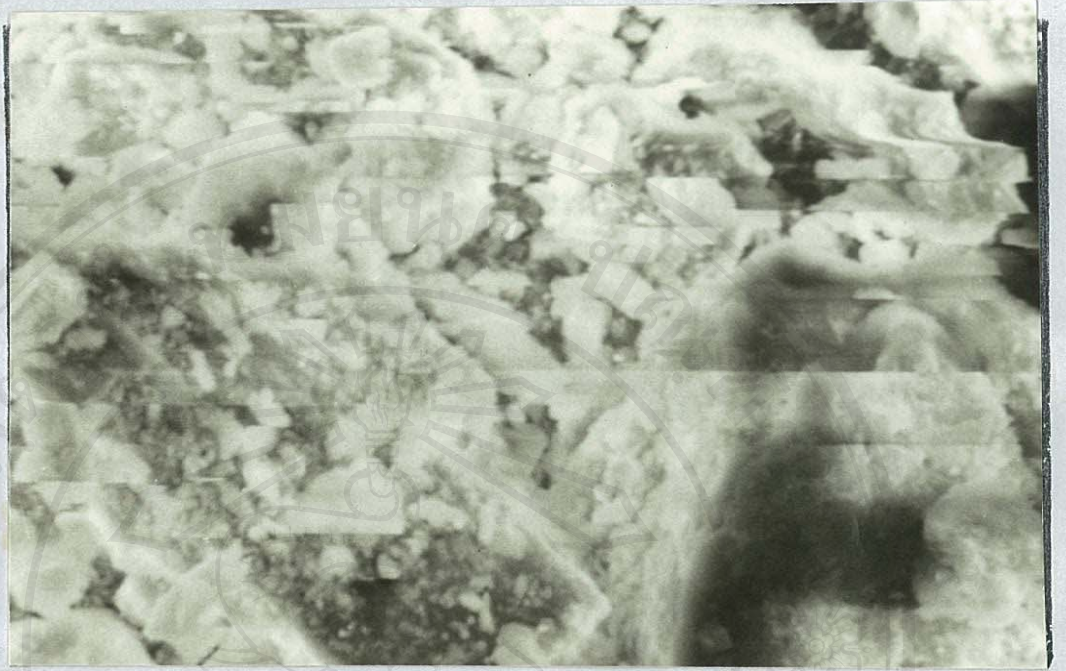
ทรงกระบอก

4. เชย reactor ทุก 5 นาที เนื่องจากไม่สามารถกวนสารละลายและถ่านหินภายใน reactor ได้ ความดันจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และจะสูงสุดที่ 160 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
5. เมื่อสิ้นสุดการทดลองปิด heater ยกเอา reactor ออกไปแช่น้ำให้เย็นจนกระทั่งความดันภายใน reactor ลดลงเกือบถึงความดันบรรยากาศ
6. เปิดวาล์ว ให้ความดันภายในลดลงเท่ากับความดันบรรยากาศจึงเปิดฝา reactor เทสารละลายและถ่านหินที่ผ่านขบวนการดีซัลเฟอไรเซชันออกกรอง โดยใช้ขวดบูชเนอร์ เพื่อแยกถ่านหินออกจากสารละลาย
7. ล้างถ่านหินด้วยน้ำ 5 ครั้ง ๆ ละ 500 ลบ.ซม. แล้วนำถ่านหินที่ล้างมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105° ซ 24 ชม. จะได่ถ่านหินที่มีกำมะถันต่ำนำไปซึ่ง แล้วเก็บเป็นสารตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

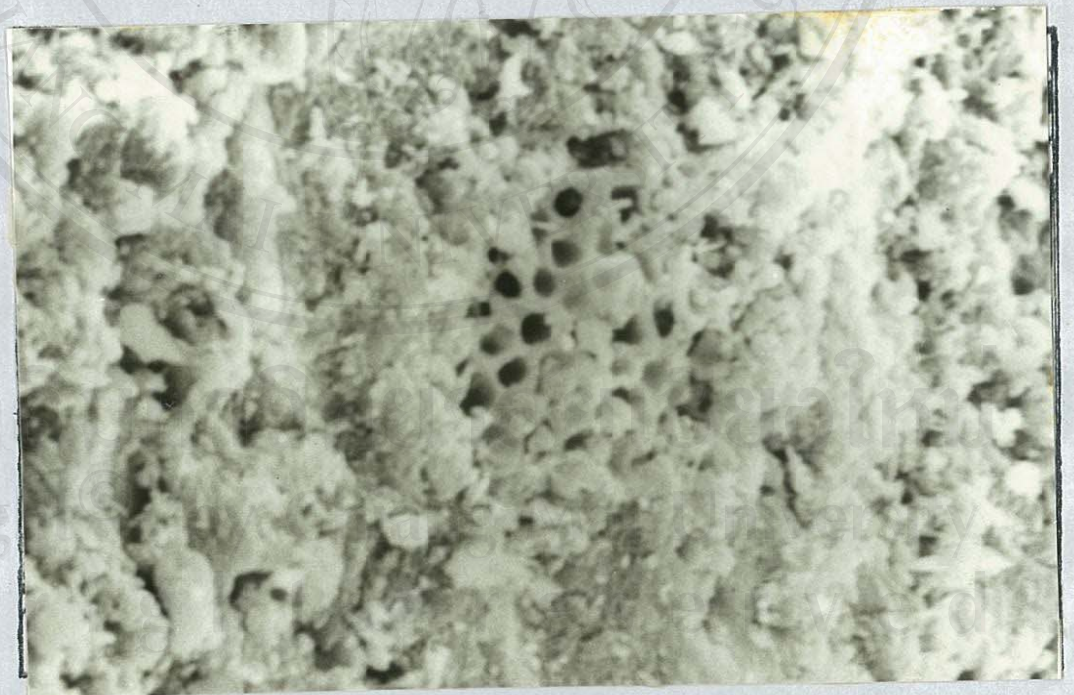


รูป 3.3 ขั้นตอนการกำจัดกำมะถันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และละลายด้วย





รูป 3.4 แสดงลักษณะของถ้ำหินที่มีไฟรติกซิลเฟอร์ ยังไม่ผ่านขบวนการดีซิลเฟอร์ไรเซชัน
แหล่งบ้านปู



รูป 3.5 แสดงลักษณะของถ้ำหินที่ผ่านขบวนการดีซิลเฟอร์ไรเซชันแล้ว แหล่งบ้านปู



รูป 3.6 แสดงลักษณะของถาดหินที่มีไฟรติกซิลเฟอร์ ยังไม่ผ่านขบวนการดีซัลเฟอร์ไรเซชัน
แหล่งบ้านป่าคา



รูป 3.7 แสดงลักษณะถาดหินที่ผ่านขบวนการดีซัลเฟอร์ไรเซชันแล้ว แหล่งบ้านป่าคา

หมายเหตุ รูป 3.4, 3.5, 3.6 และ 3.7 ถ่ายด้วยกล้อง Scanning electron micro-
scope., s-405 ขนาดขยาย 1,000 เท่า

วิธีการวิเคราะห์

1. วิเคราะห์หาค่าความร้อนทั้งหมด และค่าความร้อนโดยใช้ Bomb calorimeter
2. วิเคราะห์หาไฟรีติกซ์เลอร์ โดยใช้ Spectronic 21
3. วิเคราะห์หาล์ฟเฟคซ์เลอร์ โดยใช้วิธี Gravimetric
4. วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น เถา สารระเหย และค่าถ่านคงตัว แบบ Proximate analysis
5. วิเคราะห์หา คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน โดยใช้ C.H.N. analyzer.

3.3 วิธีวิเคราะห์หาค่าความร้อนและปริมาณของกำมะถันทั้งหมด ด้วยเครื่องมือ Bomb calorimeter⁽¹³⁾

หลักการ

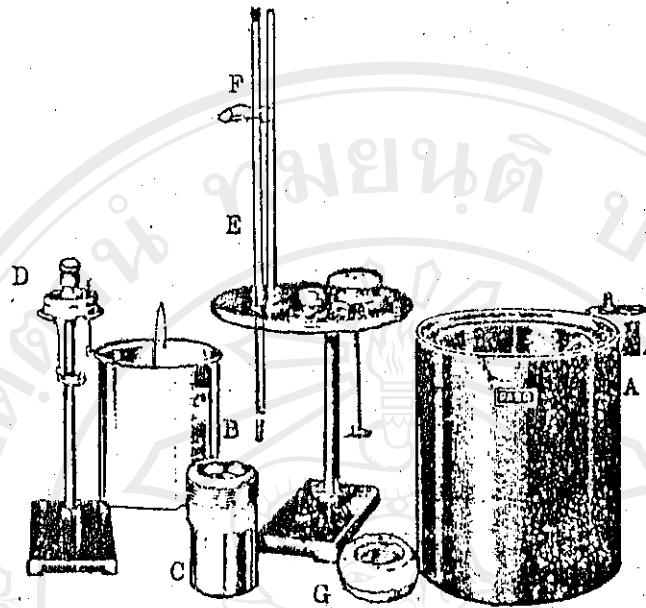
แคลอรีมิเตอร์ บอมบ เป็นเครื่องมือวัดหาปริมาณความร้อนโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จากการอัดออกซิเจนเข้าไปในภาชนะที่ปิด ปฏิกริยาสันดาปจะเกิดขึ้นภายในเมื่อจุดระเบิด ความร้อนที่เกิดขึ้น จะทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ ซึ่งบรรจุโดยรอบแคลอรีมิเตอร์ กำมะถันทั้งหมดในสารที่ถูกเผาไหม้จะกลายเป็นออกไซด์ของกำมะถันที่ละลายอยู่ในน้ำที่ควบแน่น เมื่อถูกออกซิไดซ์จะเปลี่ยนเป็นซัลเฟต ซึ่งจะตกตะกอนเป็นแบเรียมซัลเฟตได้ด้วยแบเรียมออกไซด์ เป็นที่ยอมรับว่า การหาปริมาณกำมะถันโดยวิธีนี้ เนื่องจากใช้สารตัวอย่างน้อย และมีความคลาดเคลื่อนเพียงร้อยละ 0.1 เท่านั้น

วิธีทำ

1. ชั่งตัวอย่างถ่านหินที่บดหนัก 1.0000 กรัม ใส่ถ้วย (pan) แล้วประกอบ Oxygen bomb ให้เรียบร้อย ส่วนประกอบของ Bomb Calorimeter แสดงไว้ดังรูป 3.8

2. - อัดก๊าซออกซิเจนลงใน Bomb ด้วยความดัน 25 ปอนด์/ตารางนิ้ว
 - วาง Oxygen bomb ลงในอ่างน้ำ (B) ที่บรรจุน้ำ 2 ลิตร
 - ต่อดวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการ ignite สังเกตจนอุณหภูมิคงที่ แล้วจึงกดปุ่ม ignite บนที่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ นาที จนกระทั่งอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง
 - เปิดวาล์วปล่อยออกซิเจนที่เหลือใน Bomb ออกกลางภายในด้วยน้ำกลั่น
3. วัดความยาวของลวดที่ใช้ในการเผาไหม้
4. ถ่ายน้ำที่ล้างภายใน Bomb ลงในขวดคอนิกอลขนาด 250 มล. กรองแล้วทิ้งตะกอน เติมเมธิลเรด 1 มล. แล้วนำไปไตเตรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.0785 นอร์มอล จนเป็นกลาง แล้วจึงเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 1 มล. ต้มให้เดือด
5. กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน ฟิลเตรตนำมาเติมน้ำจนมีปริมาตร 250 มล. ทำให้เป็นกลางด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น และเติมลงไปอีกประมาณ 2 มล. จนมากเกินไปพอ
6. เติมน้ำโบรมีนที่อิ่มตัว 10 มล. แล้วนำไปตั้งบน hot plate จนมีปริมาตรเหลือประมาณ 200 มล.
7. เติมแมริยมคลอไรด์เข้มข้น 10 % 10 มล. ตั้งบน hot plate ต่อไปอีก 2 นาที ปิดด้วยกระจกนาฬิกา จนมีปริมาตรเหลือประมาณ 75 มล.
8. ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้ตะกอนนอนก้น นำมากรองและล้างตะกอนด้วยน้ำอุ่นจนหมดคลอรีน
9. นำกระดาษกรองและตะกอนของแมริยมซัลเฟตใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนัก แล้วเผาใน Electric muffle furnace ที่อุณหภูมิ 925 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
10. ปล่อยให้เย็นใน desiccator นำไปชั่งและคำนวณน้ำหนักของกำมะถันและค่าความร้อนในสารตัวอย่าง

ผลการทดลองพบว่า ด้านหินขนาด 0 - 0.50 มม. มีปริมาณกำมะถันทั้งหมดมากกว่า ด้านหิน ขนาด 2.00 - 4.75 มม. ส่วนค่าความร้อน มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังแสดงไว้ใน ตาราง 3.1, 3.2, 3.3, 3.15, 3.16 และ 3.17



รูป 3.8 เครื่องมือ Bomb Calorimeter (13)

- A = Isothermal Jacket
- B = Water Bath For Oxygen Bomb
- C = Oxygen Bomb
- D = Oxygen Bomb Head
- E = Calorimetric Thermometer
- F = Thermometer Reading Lens

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved

การคำนวณ

- a = เวลาที่ใช้ในการเผา (นาที)
- b = เวลาที่อุณหภูมิถึง 60 % ของอุณหภูมิที่เริ่มทั้งหมด (~ 0.1 นาที)
- c = เวลาที่เริ่มต้นเป็นอัตราของการเปลี่ยนอุณหภูมิ จนกระทั่งคงที่
(หลังจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น)
- t_a = อุณหภูมิที่เวลา a ($^{\circ}\text{C}$)
- t_c = อุณหภูมิที่เวลา c ($^{\circ}\text{C}$)
- r_1 = อัตราที่อุณหภูมิจากเริ่มต้นถึง 5 นาที
- r_2 = อัตราที่อุณหภูมิจาก 5 นาที ถึงคงที่
- C_1 = จำนวนมิลลิลิตรของ Standard alkaline solution ที่ใช้ในการ titrate
- C_2 = เปอร์เซนต์ของกำมะถันในสารตัวอย่าง

$$= \frac{\text{น้ำหนักของเบเรียมซัลเฟต} \times 13.734}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง}}$$
- C_3 = ความยาวของหลอดที่ใช้ในการเผาไหม้ (cm.)
- e_1 = heat of formation ของ HNO_3
 (= c_1 ถ้าใช้ค่าเชิงเคมี 0.0725 N)
- e_2 = heat of formation ของ H_2SO_4
 = $(14)(c_2)(m)$
- e_3 = heat of combustion ของหลอดที่ใช้ (1 cm = 2.3 cal.)
- m = มวลของสารตัวอย่างที่ใช้เป็นกรัม
- Hg = Gross heating value (Cal/g or B.tu./lb)
- W = พลังงานสมดุลของ Calorimeter จาก Standard benzoic acid
 เป็น Cal/C or Cal/F
- H = Heat of combustion ของ Standard benzoic acid
 = 6,318 Cal/g

สูตรที่ใช้

$$t = t_c - t_a - r_1(b-a) + r_2(c-b) \quad (1)$$

$$W = \frac{H_m + e_1 + e_3}{t} \quad (2)$$

$$Hg = \frac{t \cdot W - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (3)$$

$$W = 2,316.61 \text{ cal/g}$$

หมายเหตุ การหาค่า W แสดงตัวอย่างการคำนวณไว้ในภาคผนวก หน้า 89 การหาค่า Hg
แสดงตัวอย่างการคำนวณไว้ในภาคผนวก หน้า 90

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ตาราง 3.1 การคำนวณหาปริมาณ Total sulphur และค่าความร้อนของถ่านหินแหล่งบานบู
ก่อนและหลังการกำจัดกำมะถัน โดยใช้ Bomb calorimeter

Size (mm)	t	c ₁	wt. of BaSO ₄ (g)	c ₂	c ₃	e ₁	e ₂	e ₃	H.V (Cal/g)
0-0.50									
:Non	2.10	29	0.1999	2.7454	5.0	29	38.34	11.39	4786.26
:De-S	2.05	30	0.1069	1.4682	4.9	30	20.55	11.27	4687.33
0.50-1.00									
:Non	2.15	26	0.1482	2.0354	6.6	26	28.50	15.18	4911.14
:De-S	2.10	29	0.1160	1.5931	5.9	29	22.31	13.57	4800.11
1.00-2.00									
:Non	2.19	25	0.1466	2.0134	6.1	25	28.19	14.03	5006.27
:De-S	2.13	28	0.1217	1.6714	5.9	28	23.40	13.57	4869.52
2.00-4.75									
:Non	2.19	25	0.1457	2.0007	5.4	25	28.01	12.42	5007.56
:De-S	2.13	30	0.1360	1.8678	5.1	30	26.17	11.73	4866.59

หมายเหตุ ใช้ตัวอย่างถ่านหินในการทดลองหนัก 1.0000 กรัม

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า c₂ (Total sulfur) สำหรับ

ถ่านหินขนาด 0-0.50 มม. หลังจากกำจัดกำมะถัน

$$c_2 = \frac{\text{น.น. BaSO}_4 \times 13.734}{\text{น.น. สารตัวอย่าง}}$$

น.น. สารตัวอย่าง

$$= 0.1069 \times 13.734$$

$$= 1.4682$$

ตาราง 3.2 การคำนวณหาปริมาณ Total sulphur และค่าความร้อนของถ่านหิน แผลงบาน
 ปากา ก่อนและหลังกำจัดกำมะถัน โดยใช้ Bomb calorimeter

Size (mm)	t	c ₁	wt. of BaSO ₄ (g)	c ₂	c ₃	e ₁	e ₂	e ₃	H.V (Cal/g)
0-0.50									
:Non	1.80	26	0.1532	2.1041	6.6	26	29.46	15.18	4099.35
:De-S	1.76	30	0.0903	1.2402	6.0	30	17.36	13.80	4016.16
0.50 - 1.00									
:Non	1.83	25	0.1510	2.0738	5.5	25	29.03	12.65	4172.81
:De-S	1.79	28	0.1161	1.5943	5.2	28	22.32	11.96	4084.54
1.00 - 2.00									
:Non	1.84	26	0.1482	2.0354	6.1	26	28.50	14.03	4174.79
:De-S	1.79	29	0.1210	1.6618	5.5	29	23.27	12.65	4081.90
2.00 - 4.75									
:Non	1.84	25	0.1409	1.9351	6.0	25	27.09	13.80	4250.43
:De-S	1.81	30	0.1300	1.7854	5.3	30	24.99	12.19	4125.97

ตาราง 3.3 การหาปริมาณ Total sulphur ของถ่านหิน ก่อนและหลังการกำจัดกำมะถัน

ขนาดถ่านหิน (ม.ม.)	ระดับ กรังท	Total sulphur			
		บ้านปู		บ้านป่าคา	
		Non % W/W	De-S % W/W	Non % W/W	De-S % W/W
0-0.50	1	2.50	1.38	2.14	1.34
	2	3.00	1.56	2.05	1.14
	เฉลี่ย	2.75	1.47	2.10	1.24
0.50-1.00	1	2.10	1.48	1.89	1.62
	2	1.98	1.70	2.25	1.56
	เฉลี่ย	2.04	1.59	2.07	1.59
1.00-2.00	1	1.90	1.66	2.07	1.67
	2	2.12	1.68	2.01	1.65
	เฉลี่ย	2.01	1.67	2.04	1.66
2.00-4.75	1	1.96	1.77	1.92	1.96
	2	2.04	1.95	1.96	1.62
	เฉลี่ย	2.00	1.86	1.94	1.79

หมายเหตุ Total sulphur = Pyritic sulphur + Sulphate sulphur
+ Organic sulphur

3.4 การวิเคราะห์หาไพริติกซัลเฟอร์โดยใช้ spectrophotometry⁽⁹⁾

หลักการ

สกัดถ่านหินตัวอย่างด้วยกรดเกลือเจือจาง เพื่อแยกเอา non-pyritic iron ออก นำกากถ่านหินมาสกัด pyritic iron โดยใช้กรดไนตริกเจือจาง จะได้ Fe(III) ก่อนที่จะนำไปทำปฏิกิริยากับฟีแนมโทโรลีน จะต้องรีดิวซ์ Fe(III) ให้เป็น Fe(II) โดยใช้ไฮดรอกซีแอมโมเนียมคลอไรด์ Fe(II) จะทำปฏิกิริยากับ 1,10-phenanthroline จะได้สารประกอบเชิงซ้อนสีแดง ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ 510 nm. หาปริมาณ pyritic iron จาก calibration graph แล้วคำนวณเป็น pyritic sulphur.

การเตรียมสารละลาย

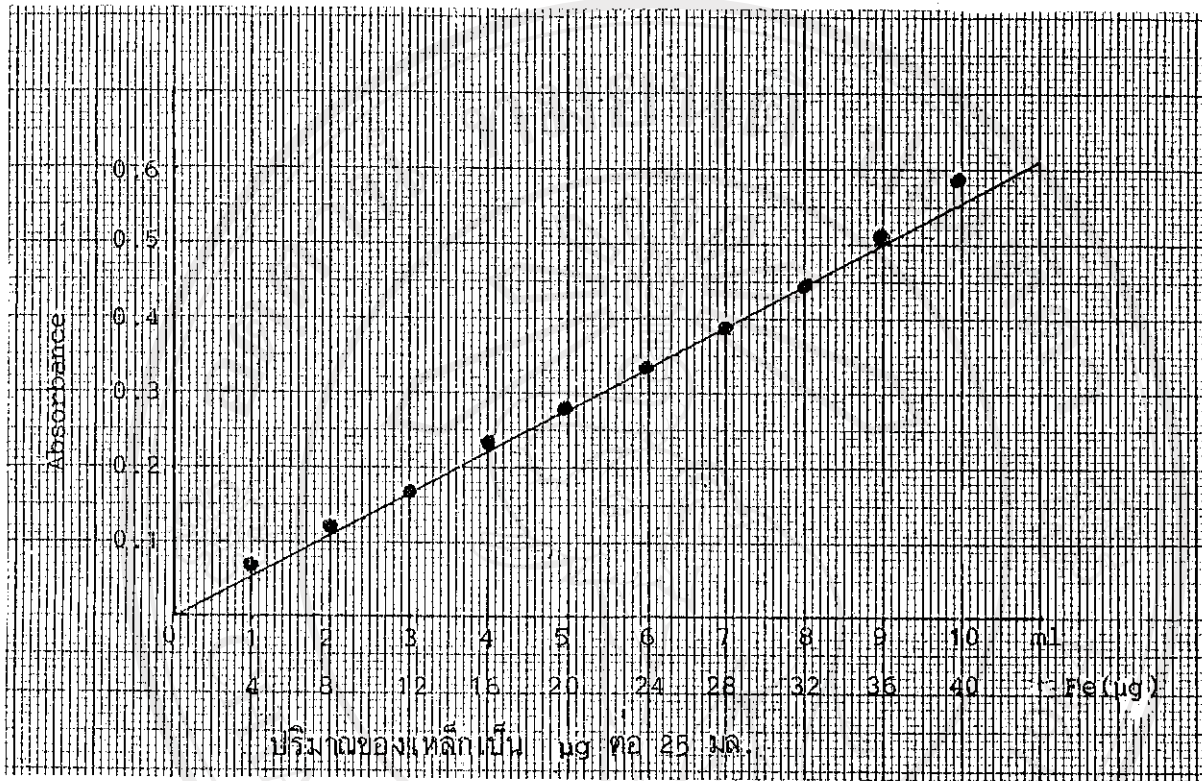
1. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 นอร์มอล
2. กรดไนตริกเข้มข้น 2 นอร์มอล
3. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35 เปอร์เซนต์
4. น้ำแอมโมเนียเข้มข้น 5 นอร์มอล
5. สารละลายไฮดรอกซีแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น รอยละ 10
6. สารละลายโซเดียมอะซิเตต ละลายโซเดียมอะซิเตตที่ปราศจากน้ำ 32.8 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มล.
7. สารละลายฟีแนมโทโรลีน ซึ่ง 1,10-phenanthroline monohydrate หนัก 0.625 กรัม ละลายกับน้ำกลั่น 250 มล. เก็บไว้ในขวดทึบแสง จะได้สารละลายไม่มีสี ถ้าสารละลายฟีแนมโทโรลีนเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลก็ใช้ไม่ได้ ต้องเตรียมใหม่
8. Stock iron solution ซึ่งลวดเหล็กบริสุทธิ์ 0.1 กรัม ใส่กรดไนตริกเข้มข้น 2.5 มล. ผสมน้ำกลั่น 7.5 มล. ต้มให้เดือด จนเนื้อลวดเหล็กละลายหมด เติมน้ำให้เป็น 1 ลิตร จะเป็นสารละลาย 1 มล. ประกอบด้วยเหล็ก 100 ไมโครกรัม

การเตรียม Calibration graph

นำสารละลายของเหล็กจากข้อ 8. มา 20 มล. ใส่ลงในขวด 500 มล. แล้วเติมน้ำให้เป็น 500 มล. ($1 \text{ ml} \equiv 4 \mu\text{gFe}$) ปิเปตมา 0, 1, 2, 3, 10 มล. ตามส่วนของสารละลาย แยกไว้ในขวดขนาด 50 มล. เติมน้ำกลั่นให้เป็น 25 มล. ทุกครั้งจะได้สารละลายเหล็ก 0, 4, 8, 12, 40 μg ต่อ 25 มล. ตามลำดับ นำไปเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนของ Fe(II)-1,10-phenanthroline ตามข้อ 3 หน้า 56 วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm. แล้วนำไปสร้าง calibration curve ดังแสดงในรูป 3.9

ตาราง 3.4 ค่าการดูดกลืนแสงมาตรฐานของสารละลายเหล็ก

จำนวนสารละลายเหล็ก (มล.)	ปริมาณเหล็กในสารละลาย μg ต่อ 25 มล.	Absorbance		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	4	0.07	0.07	0.07
2	8	0.11	0.13	0.12
3	12	0.16	0.18	0.17
4	16	0.23	0.23	0.23
5	20	0.27	0.29	0.28
6	24	0.34	0.35	0.34
7	28	0.40	0.38	0.39
8	32	0.45	0.46	0.45
9	36	0.50	0.52	0.51
10	40	0.60	0.59	0.59



รูป 3.9 Calibration curve ของสารละลายเหล็ก

ตาราง 3.4.1 การหาค่า absorbance ของแผ่นหินแหล่งบ้านปูและบ้านป่าคา ก่อนและหลัง
การกำจัดกำมะถันทั้ง 4 ขนาด

ขนาดแผ่นหิน (มม.)	absorbance		จำนวน μg ของ Fe		μg ของ Fe ที่ลดลง
	Non	De-S	Non	De-S	
บ้านปู:					
0-0.50	0.37	0.26	26.80	18.80	8.00
0.50-1.00	0.31	0.25	22.40	18.00	4.40
1.00-2.00	0.28	0.23	20.40	16.80	3.60
2.00-4.75	0.26	0.21	18.80	15.20	3.60
บ้านป่าคา:					
0-0.50	0.33	0.24	24.00	17.60	6.40
0.50-1.00	0.32	0.26	23.20	18.80	4.40
1.00-2.00	0.29	0.26	21.20	18.80	2.40
2.00-4.75	0.28	0.25	20.40	18.00	2.40

วิธีทำ

1. ชั่งถ่านหินบดละเอียด 1.0000 กรัม ใส่ลงในขวดคอนิคอล ขนาด 250 มล. เติมกรดไฮโดรคลอริก 50 มล. ปิดด้วย cold finger condenser ต้มบน hot plate เป็นเวลา 15 นาที เขย่าเป็นครั้งคราว เสร็จแล้วกรองและล้างตะกอน 6 ครั้ง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 20 มล. และน้ำกลั่นปริมาณครั้งละ 10 มล. ทิ้งส่วนที่เป็นน้ำ
2. ตะกอนถ่านหินที่ได้ ถ่ายลงในขวดคอนิคอล ขนาด 250 มล. แล้วเติมกรดไนตริก 50 มล. ต้มบน hot plate นาน 30 นาที เขย่าเป็นครั้งคราว กรองและล้างตะกอน 6 ครั้ง ด้วยกรดไนตริก 20 มล. ตะกอนทิ้ง ฟิลเตรต ถามีสีแดง เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2 มล. ต้มจนไม่มีสี ทำให้เย็น แล้วเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อีก 4 มล. ทิ้งไว้ค้างคืน
3. นำสารละลายที่เก็บไว้ มาเติมน้ำให้มีปริมาตรเป็น 250 มล. บีบออกมา 5 มล. ใส่ขวดคอนิคอล ขนาด 250 มล. เติมน้ำ 20 มล. และไฮดรอกซีแอมโมเนียมคลอไรด์ 5 มล. ใส่กระดาษกรองโกเรดเป็นอินดิเคเตอร์ นำไปไตเตรตกับสารละลายโซเดียมอะซิเตต จนอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี แล้วเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 4 มล. ทำให้เจือจางด้วยน้ำ จนมีปริมาตรเป็น 50 มล. ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

ผลการทดลอง พบว่าถ่านหินที่มีขนาดเล็กจะถูกกำจัดกำมะถันได้ดีกว่าถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ ดังแสดงในตาราง 3.5, 3.6, 3.7, 3.15, 3.16 และ 3.17

ผลการทดลอง ข้อมูลของการอ่านค่า absorbance ของถ่านหิน ก่อนและหลังการกำจัดกำมะถันทั้ง 4 ขนาด แสดงไว้ในตาราง 3.4.1 หน้า 56

ตาราง 3.5 การคำนวณหาปริมาณ Pyritic sulphur ของถ่านหินแหล่งบ้านปู
ก่อนและหลังการกำจัดกำมะถัน

ขนาดถ่านหิน (มม.)	จำนวน µg ของ Fe (มก.)	S_p (5 ml) % W/W	S_p (50 ml) % W/W
0-0.50			
: Non	26.80	$5.75 \times 10^{-3} \times 26.80 = 0.1541$	1.541
: De-S	18.80	$5.75 \times 10^{-3} \times 18.80 = 0.1081$	1.081
ปริมาณที่ถูกสกัด	8.00	$5.75 \times 10^{-3} \times 8.00 = 0.0460$	0.460
0.50-1.00			
: Non	22.40	$5.75 \times 10^{-3} \times 22.40 = 0.1288$	1.288
: De-S	18.00	$5.75 \times 10^{-3} \times 18.00 = 0.1035$	1.035
ปริมาณที่ถูกสกัด	4.40	$5.75 \times 10^{-3} \times 4.40 = 0.0253$	0.253
1.00-2.00			
: Non	20.40	$5.75 \times 10^{-3} \times 20.40 = 0.1173$	1.173
: De-S	16.80	$5.75 \times 10^{-3} \times 16.80 = 0.0966$	0.966
ปริมาณที่ถูกสกัด	3.60	$5.75 \times 10^{-3} \times 3.60 = 0.0207$	0.207
2.00-4.75			
: Non	18.80	$5.75 \times 10^{-3} \times 18.80 = 0.1081$	1.081
: De-S	15.20	$5.75 \times 10^{-3} \times 15.20 = 0.0874$	0.874
ปริมาณที่ถูกสกัด	3.60	$5.75 \times 10^{-3} \times 3.60 = 0.0207$	0.207

หมายเหตุ การคำนวณหาค่า S_p แสดงไว้ในภาคผนวก หน้า 91

ตาราง 3.6 การคำนวณหาปริมาณ Pyritic sulphur ของถ่านหินแหล่งบ้านป่าคา
ก่อนและหลังการกำจัดกำมะถัน

ขนาดถ่านหิน (มม.)	จำนวน µg ของ Fe (mg)	S _p (5 ml) % W/W	S _p (50 ml) % W/W
0-0.50			
: Non	24.00	$5.75 \times 10^{-3} \times 24.00 = 0.1380$	1.380
: De-S	17.60	$5.75 \times 10^{-3} \times 17.60 = 0.1012$	1.012
ปริมาณที่ถูกสกัด	6.40	$5.75 \times 10^{-3} \times 6.40 = 0.0368$	0.368
0.50-1.00			
: Non	23.20	$5.75 \times 10^{-3} \times 23.20 = 0.1334$	1.334
: De-S	18.80	$5.75 \times 10^{-3} \times 18.80 = 0.1081$	1.081
ปริมาณที่ถูกสกัด	4.40	$5.75 \times 10^{-3} \times 4.40 = 0.0253$	0.253
1.00-2.00			
: Non	21.20	$5.75 \times 10^{-3} \times 21.20 = 0.1219$	1.219
: De-S	18.80	$5.75 \times 10^{-3} \times 18.80 = 0.1081$	1.081
ปริมาณที่ถูกสกัด	2.40	$5.75 \times 10^{-3} \times 2.40 = 0.0138$	0.138
2.00-4.75			
: Non	20.40	$5.75 \times 10^{-3} \times 20.40 = 0.1173$	1.173
: De-S	18.00	$5.75 \times 10^{-3} \times 18.00 = 0.1035$	1.035
ปริมาณที่ถูกสกัด	2.40	$5.75 \times 10^{-3} \times 2.40 = 0.0138$	0.138

ตาราง 3.7 การหาปริมาณ pyritic sulphur ของถ่านหินก่อนและหลังกำจัดกำมะถัน

ขนาดถ่านหิน (มม.)	ปริมาณ Pyritic sulphur					
	บ้านปู			บ้านป่าคา		
	Non % W/W	De-S % W/W	ปริมาณที่ถูก สกัด % W/W	Non % W/W	De-S % W/W	ปริมาณที่ถูก สกัด % W/W
0-0.50	1.54	1.08	0.46	1.38	1.01	0.37
0.50-1.00	1.29	1.04	0.25	1.33	1.08	0.25
1.00-2.00	1.17	0.97	0.21	1.22	1.08	0.14
2.00-4.75	1.08	0.87	0.21	1.17	1.04	0.14

3.5 วิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตซัลเฟอร์ โดยวิธีกราวิเมตริก (9)

3.5.1 การเตรียมสารละลาย

- 1) กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 5 นอร์มอล
- 2) น้ำแอมโมเนีย เข้มข้น 5 นอร์มอล
- 3) สารละลายโปแตสเซียมซัลเฟต เข้มข้น รอยละ .2
- 4) สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ เข้มข้น รอยละ 10

3.5.2 วิธีทำ

1. ชั่งตัวอย่างถ่านหินหนัก 5.0000 กรัม ใส่ขวดคอนิคอลขนาด 250 มล. แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริก 50 มล. ปิดด้วย cold finger condenser ต้มบน hot plate นาน 30 นาที แล้วกรองของผสมลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มล. ล้างตะกอน 6 ครั้ง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 30 มล. แล้วทิ้งตะกอน

2. ฟิลเตรตนำมาต้มต่อนาน 10 นาที ทำให้เย็นอย่างช้า ๆ เติมน้ำแอมโมเนีย 20 มล. และเมธิลเรด 2 - 3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ เติมน้ำแอมโมเนียจนเป็นด่าง ต้มต่อไปอีก 2 - 3 นาที แล้วกรอง ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน ทั้งตะกอน

3. นำสารละลายที่ได้ เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 นอร์มอล จนเป็นกรดแล้วเติมสารละลายโปแตสเซียมซัลเฟต 25 มล. ทำให้เจือจางด้วยน้ำ 200 มล. เติมสารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ 5 มล. ทำให้เดือดแล้วเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ 10 มล. เขย่า ทั้งไวคางคืน

4. นำสารละลายที่มีตะกอนนั้นมากรอง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น และอบให้แห้ง นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 815 °C นาน 15 นาที⁽⁹⁾ ทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก

ผลการทดลอง เมื่อใช้ถาดหินขนาดต่าง ๆ กัน พบว่าถาดหินขนาดเล็กจะถูกกำจัดซัลเฟตซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มากกว่าถาดหินที่มีขนาดใหญ่ ดังแสดงไว้ในตาราง 3.8, 3.9, 3.15 และ 3.17

และผลการทดลองที่แล้ว ๆ มา สามารถหาปริมาณของกำมะถันแบบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในถาดหินได้ ดังแสดงในตาราง 3.9

ส่วนตะกอนของ BaSO_4 ได้แสดงไว้ในตาราง 3.8

ตาราง 3.8 การหาตะกอนของ BaSO_4 แหล่งบ้านปูและบ้านป่าคา ก่อนและหลังการกำจัดตะกอน (Non และ De-S)

โดยใช้ถ่านหินตัวอย่าง $\text{M}_1 = 5.0000 \text{ g}$.

ขนาดถ่านหิน (mm.)	บ้านปู			บ้านป่าคา		
	น.น.ตะกอน BaSO_4 ทั้งหมด (g)	น.น. BaSO_4 ที่เกิดจาก SO_4^{2-} ในถ่าน หิน (g)	ปริมาณ S S ที่ถูกลัก % W/W	น.น.ตะกอน- BaSO_4 ทั้งหมด (g)	น.น. BaSO_4 ที่เกิดจาก SO_4^{2-} ใน ถ่านหิน (g)	ปริมาณ S S ที่ถูกลัก % W/W
0-0.50	0.2188	0.1389	0.3820	0.3162	0.2363	0.6498
: Non						
: De-S	0.1169	0.0370	0.1018	0.1538	0.0739	0.2032
0.50-1.00	0.1949	0.1150	0.3162	0.2730	0.1931	0.5310
: Non						
: De-S	0.1251	0.0452	0.1243	0.1549	0.0750	0.2063
1.00-2.00	0.2128	0.1329	0.3655	0.2815	0.2016	0.5544
: Non						
: De-S	0.1287	0.0488	0.1342	0.1617	0.0818	0.2250
2.00-4.75	0.1913	0.1114	0.3064	0.2866	0.2067	0.5684
: Non						
: De-S	0.1334	0.0535	0.1471	0.1712	0.0913	0.2511

หมายเหตุ a = น.น. ตะกอนของ BaSO_4 ที่เกิดขึ้นทั้งหมด b = น.น. ของ BaSO_4 ที่เกิดจาก SO_4^{2-} ที่เติมลงไป = 0.0669 g
c = ค่าของกระดาษกรอง = 0.013 g, $\text{M}_2 = \text{a-b-c}$ คืออย่างการคำนวณหา S ได้แสดงไว้ในภาคผนวกหน้า 91

ตาราง 3.9 แบบต่าง ๆ ของกำมะถันในถ่านหิน ก่อนและหลังการกำจัดกำมะถัน

ขนาดถ่านหิน (มม.)	บ้านปู				บ้านป่าหยา			
	S _T % W/W	S _p % W/W	S _s % W/W	S _o % W/W	S _T % W/W	S _p % W/W	S _s % W/W	S _o % W/W
0.00-0.50								
: Non	2.75	1.54	0.38	0.83	2.10	1.38	0.65	0.07
: De-S	1.47	1.08	0.10	0.29	1.24	1.01	0.20	0.03
0.50-1.00								
: Non	2.04	1.29	0.32	0.43	2.07	1.33	0.53	0.21
: De-S	1.59	1.04	0.12	0.43	1.59	1.08	0.21	0.30
1.00-2.00								
: Non	2.01	1.17	0.37	0.47	2.04	1.22	0.55	0.27
: De-S	1.67	0.97	0.13	0.57	1.66	1.08	0.23	0.35
2.00-4.75								
: Non	2.00	1.08	0.31	0.61	1.94	1.17	0.57	0.20
: De-S	1.86	0.87	0.15	0.84	1.79	1.04	0.25	0.50

หมายเหตุ Organic sulphur = Total sulphur - (pyritic sulphur + Sulphate sulphur)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.6 การวิเคราะห์คุณภาพของถ่านหินแบบ Proximate⁽¹⁴⁾

ถ่านหินที่ผ่านกระบวนการที่ไล่เฟลวไรเซชันแล้วจะให้แก๊สถ่านหินตัวอย่างในการวิเคราะห์คุณภาพต่อไป โดยนำถ่านหินดังกล่าวมาบดละเอียดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 14 mesh นำมาศึกษาคุณสมบัติดังนี้

3.6.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture) โดยวิธี Air dry basis

เป็นการหาปริมาณความชื้นที่สัมพันธ์กับความชื้นในอากาศ โดยนำตัวอย่างผงถ่านหิน มาใส่ภาชนะแบบ ๆ เช่น กระชกนาฬิกา แล้วตั้งทิ้งไว้ในอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของถ่านหินในกระชกนาฬิกา อบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 - 110° ซ นาน 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักหลังอบ คำนวณความชื้นเป็นร้อยละ

เปอร์เซ็นต์ของความชื้น

$$= \frac{(\text{น.น. ของถ่านหิน} - \text{น.น. ของถ่านหินหลังจากอบที่ } 105^{\circ} \text{ ซ}) \times 100}{\text{น.น. ของถ่านหิน}}$$

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของถ่านหินก่อนและหลังการกำจัดกำมะถัน มีรายละเอียดอยู่ในตาราง 3.10

3.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาณของสารระเหย (Volatile matter)

ชั่งตัวอย่างผงถ่านหิน 1.0000 กรัม ใส่ใน Porcelain crucible พร้อมหึ่งปิดฝา นำไปเผาใน Electric muffle furnace ที่อุณหภูมิ 950° ซ ± 20° ซ เป็นเวลา 7 นาที นำออกมาทำให้เย็นใน desiccator ชั่งหาน้ำหนักที่หายไป คำนวณหาสารระเหยเป็นร้อยละ

ก. เปอร์เซนต์ของสารระเหย

$$= \frac{(\text{น.น. ของถ่านหิน} - \text{น.น. ของถ่านหินหลังจากอบที่ } 950^{\circ} \text{ ซ}) \times 100}{\text{น.น. ของถ่านหิน}}$$

ข. เปอร์เซนต์สารระเหย (m.a.f.basis) = $\frac{\text{เปอร์เซนต์สารระเหยตามข้อ ก.} \times 100}{100 - (\text{เปอร์เซนต์ความชื้น} + \text{เปอร์เซนต์เถ้า})}$

ผลการวิเคราะห์หาเปอร์เซนต์สารระเหยของถ่านหินก่อนและหลังการกำจัด
กำมะถัน มีรายละเอียดแสดงไว้ในตาราง 3.11

3.6.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (Ash)

ซึ่งตัวอย่างผลถ่านหิน 1.0000 กรัม ใส่ใน Porcelain crucible พร้อมทั้ง
ปิดฝา นำไปเผาใน Electric muffle furnace ที่อุณหภูมิ 600° ซ นาน 30 นาที แล้ว
เผาต่อที่อุณหภูมิ 900° ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นใน desiccator ซึ่งน้ำหนัก
เถ้าแล้วคำนวณหาเถ้าเป็นร้อยละ

$$\text{เปอร์เซนต์ของเถ้า} = \frac{(\text{น.น. ของเถ้า}) \times 100}{\text{น.น. ของถ่านหิน}}$$

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าของถ่านหินก่อนและหลังการกำจัดกำมะถัน ดัง
แสดงผลไว้ในตาราง 3.12

3.6.4 การหาค่าถ่านคงตัว (Fixed carbon)

ค่าผลต่างของร้อยละ ลบด้วยผลบวกของความชื้น เถ้า และสารระเหย คิด
เป็นร้อยละ

ก. เปอร์เซนต์ของถ่านคองตัว

$$= 100 - (\text{เปอร์เซนต์ความชื้น} + \text{เปอร์เซนต์สารระเหย} + \text{เปอร์เซนต์เถ้า})$$

ข. เปอร์เซนต์ถ่านคองตัว (m.a.f. basis)

$$= \frac{\text{เปอร์เซนต์ถ่านคองตัวตามข้อ ก.} \times 100}{100 - (\text{เปอร์เซนต์ความชื้น} + \text{เปอร์เซนต์เถ้า})}$$

ผลการวิเคราะห์แบบ proximate ได้แสดงในตาราง 3.13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 3.10 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินก่อนและหลังการกำจัดกำมะถัน

แหล่งดินหิน	ครั้งที่	น.น. ก่อนอบ (g)	น.น. หลังอบ (g)	ความชื้น (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	
บ้านปู	: Non	1	1.0000	0.6964	30.36	29.37
		2	1.0000	0.7162	28.38	
	: De-S	1	1.0000	0.8305	16.95	17.96
		2	1.0000	0.8103	18.97	
บ้านป่าคา	: Non	1	1.0000	0.8529	14.71	17.70
		2	1.0000	0.7931	20.69	
	: De-S	1	1.0000	0.9094	9.06	12.05
		2	1.0000	0.8496	15.04	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 3.11 การหาเปอร์เซ็นต์สารระเหยของถ่านหินก่อนและหลังการกำจัดกำมะถัน

แหล่งถ่านหิน	ครั้งที่	น.น.ก่อนอบ (g)	น.น.หลังอบ (g)	สารระเหย (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	
บ้านกล้วย	: Non	1	1.0000	0.6234	37.66	38.65
		2	1.0000	0.6036	39.64	
	: De-S	1	1.0000	0.5957	40.43	39.44
		2	1.0000	0.6155	38.45	
บ้านป่าคา	: Non	1	1.0000	0.5753	42.47	41.48
		2	1.0000	0.5951	40.49	
	: De-S	1	1.0000	0.5887	41.13	42.12
		2	1.0000	0.5689	43.11	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 3.12 การหาเปอร์เซ็นต์เดาของถ่านหิน ก่อนและหลังการกำจัดกำมะถัน

แหล่งถ่านหิน	ครั้งที่	น.น.ก่อนเผา (g)	น.น.หลังเผา (g)	เดา (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	
บ้านปู	: Non	1	1.0000	0.1008	10.08	9.99
		2	1.0000	0.0990	9.90	
	: De-S	1	1.0000	0.0960	9.60	10.58
		2	1.0000	0.1156	11.56	
บ้านป่าคา	: Non	1	1.0000	0.2538	25.38	23.40
		2	1.0000	0.2142	21.42	
	: De-S	1	1.0000	0.2571	25.71	24.77
		2	1.0000	0.2382	23.82	

ตาราง 3.13 การวิเคราะห์แบบ Proximate ของถ่านหินแหล่งบานปูและบานป่าคา

ขนาดของถ่านหิน 0 - 0.50 มม.

Source	% Moisture	% Volatile matter	% Ash	% Fixed Carbon	m.a.f. basis	
					Volatile matter (%)	Fixed carbon (%)
Ban Pu						
: Non	29.37	38.65	9.99	21.99	63.74	36.26
: De-S	17.96	39.44	10.58	32.02	55.19	44.80
Ban Pa-ka						
: Non	17.70	41.48	23.40	17.42	70.43	29.57
: De-S	12.50	42.12	24.77	20.61	66.67	32.86

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

3.7 การวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน โดยใช้ C.H.N. analyzer⁽¹⁵⁾

หลักการ

สารอินทรีย์ที่มีคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบ เมื่อนำมาเผาพร้อมกับ oxidizing agent ที่อุณหภูมิสูง จะสลายตัวได้ก๊าซไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ เมื่อผ่านผงทองแดงที่ร้อน ไอน้ำจะถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซผสมที่ได้เมื่อมาวิเคราะห์โดยใช้วิธี โครมาโตกราฟี โดยใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นตัวพา (carrier) และ detector เป็นแบบ four-filament thermal conductivity คอลัมน์เป็นชนิด Parapack Q 80-100 Mesh จะสามารถวิเคราะห์หาปริมาณของ คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนได้

โดยใช้ภาวะการทำงานของเครื่องมือ ดังนี้:-

Oxidation furnace	1,000 °C
Reduction furnace	560 °C
Column oven temperature	95 °C
Bridge current	150 mA
Combustion cycle	50 วินาที
Flow rate ก๊าซ Helium	85 มล. ต่อ นาที

วิธีทำ ทาคาคงที่จากสารมาตรฐาน L-Cystine จากสูตร

$$K_C = \frac{29.99 \times \text{sample weight}}{\text{peak area of carbon}} = 0.000156$$

$$K_H = \frac{5.03 \times \text{sample weight}}{\text{peak area of hydrogen}} = 0.0000304$$

$$K_N = \frac{11.66 \times \text{sample weight}}{\text{peak area of nitrogen}} = 0.0004221$$

จากค่าคงที่ทั้งสามนำไปคำนวณหาการร้อยละของคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน คูตัวอย่างการคำนวณดังแสดงไว้ในภาคผนวกหน้า 92

ผลการวิเคราะห์แบบ Ultimate ของถ่านหิน ก่อนและหลังกำจัดกำมะถัน แสดงในตาราง 3.14

ตาราง 3.14 Ultimate analysis ของถ่านหินลิกไนต์ จากแหล่งบ้านปูและบ้านป่าคา ขนาด 0 - 0.50 มม. ก่อนและหลังการกำจัดกำมะถัน

Analysis	Ban Pu		Ban pa-ka	
	Non	De-S	Non	De-S
Ultimate analysis (dry basis, wt %)				
Carbon	74.25	69.98	67.74	69.03
Hydrogen	4.26	6.21	4.63	6.23
Nitrogen	0.76	0.86	0.72	0.92
Oxygen	-	-	-	-
Sulphur	2.75	1.47	2.10	1.24
C:H (by wt.)	17:1	11:1	15:1	11:1
Ash	9.99	10.58	23.40	24.77

ตาราง 3.15 การกำจัดกำมะถันของถ่านหินแหล่งบ้านปูและบ้านป่าคา ตามขนาดอนุภาค
ในสภาวะที่

Extraction temperature 150 °C
 Pressure 160 psi
 Concentration Na_2CO_3 solⁿ 1 % by weight
 Time 1 hour

Source & Size	S _T & W/W	S _p % W/W	S _s % W/W	S _o % W/W	% Ash	H.V. (Cal/g)
<u>Ban Pu</u>						
0.00-0.50 : Non	2.75	1.54	0.38	0.83	9.99	4786.26
: De-S	1.47	1.08	0.10	0.29	10.58	4687.33
0.50-1.00 : Non	2.04	1.29	0.32	0.43	7.01	4911.14
: De-S	1.59	1.04	0.12	0.43	7.44	4800.11
1.00-2.00 : Non	2.01	1.17	0.37	0.47	6.88	5006.27
: De-S	1.67	0.97	0.13	0.57	7.33	4869.52
2.00-4.75 : Non	2.00	1.08	0.31	0.61	6.53	5007.56
: De-S	1.86	0.87	0.15	0.84	6.97	4866.59
<u>Ban Pa-Ka</u>						
0.00-0.50 : Non	2.10	1.38	0.65	0.07	23.40	4099.35
: De-S	1.24	1.01	0.20	0.03	24.77	4016.16
0.50-1.00 : Non	2.07	1.33	0.53	0.21	17.06	4172.81
: De-S	1.59	1.08	0.21	0.30	18.08	4084.54
1.00-2.00 : Non	2.04	1.22	0.55	0.27	16.28	4174.79
: De-S	1.66	1.08	0.23	0.35	17.35	4081.90
2.00-4.75 : Non	1.94	1.17	0.57	0.20	16.07	4250.43
: De-S	1.79	1.04	0.25	0.50	17.16	4125.97

ตาราง 3.16 ผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณสารอินทรีย์, เถ้า และค่าความร้อนของถ่านหิน แหล่งบ้านปู โดยใช้สารละลายไฮเดรียมคาร์บอเนต

Source	S _T		S _P		S _S		S _O		Ash		H.V. (Cal/g)	% S _T ลด	% S _P ลด	% S _S ลด	% S _O	% Ash เพิ่ม	% H.V.
	% W/W	% W/W	% W/W	% W/W	% W/W	% W/W	% W/W	% W/W									
Ban Pu																	
Size 0.0-0.50 mm.																	
: Non	2.75	1.54	0.38	0.83	9.99	4786.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
: De-S	1.47	1.08	0.10	0.29	10.58	4687.33	46.55	29.87	73.35	65.06*	5.90	2.07					
Size 0.50-1.00 mm.																	
: Non	2.04	1.29	0.32	0.43	7.01	4911.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
: De-S	1.59	1.04	0.12	0.43	7.44	4800.11	22.09	19.38	60.69	0.00	6.10	2.26					
Size 1.00-2.00 mm.																	
: Non	2.01	1.17	0.37	0.47	6.88	5006.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
: De-S	1.67	0.97	0.13	0.57	7.33	4869.52	16.92	17.09	63.28	21.28*	6.50	2.73					
Size 2.00-4.75 mm.																	
: Non	2.00	1.08	0.31	0.61	6.53	5007.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
: De-S	1.86	0.87	0.15	0.84	6.97	4866.59	7.00	19.44	51.99	37.70*	6.70	2.80					

หมายเหตุ * % ที่เพิ่มขึ้น

** % ที่ลดลง

ตาราง 3.17 ผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณกำมะถัน, เถ้า และค่าความร้อนของถ่านหิน แห่ลงบ้านป่าคา โดยใช้สารละลายไฮเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 1.0 % ในเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 150° ซ ความดัน 160 ปอนด์/ตารางนิ้ว

Source	S _T % W/W	S _P % W/W	S _S % W/W	S _O % W/W	Ash % W/W	H.V. (Cal/g)	% S _T ลด	% S _P ลด	% S _S ลด	% S _O เพิ่ม	Ash เพิ่ม	% H.V. ลด
Size 0.0-0.50 mm.												
: Non	2.10	1.38	0.65	0.07	23.40	4099.35	-	-	-	-	-	-
: De-S	1.24	1.01	0.20	0.03	24.77	4016.16	40.95	26.81	68.73	57.14*	5.85	2.02
Size 0.50-1.00 mm.												
: Non	2.07	1.33	0.53	0.21	17.06	4172.81	-	-	-	-	-	-
: De-S	1.59	1.08	0.21	0.30	18.08	4084.54	23.19	18.80	61.15	42.86*	6.00	2.11
Size 1.00-2.00 mm.												
: Non	2.04	1.22	0.55	0.27	16.28	4174.79	-	-	-	-	-	-
: De-S	1.66	1.08	0.23	0.35	17.35	4081.90	18.63	11.48	59.42	29.63*	6.60	2.23
Size 2.00-4.75 mm.												
: Non	1.94	1.17	0.57	0.20	16.07	4250.43	-	-	-	-	-	-
: De-S	1.79	1.04	0.25	0.50	17.16	4125.97	7.73	11.11	55.82	150*	6.80	2.93

ตาราง 3.18 การเปรียบเทียบการกำจัดกำมะถันของถ่านหินแหล่งบ้านปู กับบ้านป่าคา
ขนาด 0.50-1.00 มม. อุณหภูมิ 150° ซ ความดัน 160 ปอนด์/ตารางนิ้ว

Source	Sulphur form (% W/W)				Heating value	
	S _T	S _P	S _S	S _O	Cal/g	B.T.U./lb
<u>Ban Pu</u>						
: Non	2.04	1.29	0.32	0.43	4,911.14	8,840.05
: De-S	1.59	1.04	0.12	0.43	4,800.11	8,640.20
% Reduction	22.09	19.38	60.69	0.00	2.26	2.26
<u>Ban Pa-Ka</u>						
: Non	2.07	1.33	0.53	0.21	4,172.81	7,511.06
: De-S	1.59	1.08	0.21	0.30	4,084.54	7,352.17
% Reduction	23.19	18.80	61.15	42.86	2.12	2.12

ผลการเปรียบเทียบ การกำจัดกำมะถัน ขนาด 0.50-1.00 มม. ค่า Total sulphur ของถ่านหินแหล่งบ้านปู ลดลงใกล้เคียง บ้านป่าคาและค่าความร้อนก่อนและหลังการกำจัดกำมะถันทั้งสองแหล่งผลดงไม่มากนัก