การกำจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยสารละลายด่าง

COAL DESULFURIZATION USING ALKALINE SOLUTIONS

สุรชัย วรธรรมทองดี
SURACHAI WORATHAMTHONGDEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2546
ISBN 974-324-823-4

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยสารละลายด่าง

COAL DESULFURIZATION USING ALKALINE SOLUTIONS

สุรชัย วรธรรมทองดี

SURACHAI WORATHAMTHONGDEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-823-4

ลขหมู่.....
ลขทะเบียน 48916
วัน, เดือน, ปี 12 ส.ค. 2547

.b.....
.i.....

COAL DESULFURIZATION USING ALKALINE SOLUTIONS

SURACHAI WORATHAMTHONGDEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN PETROCHEMICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

ISBN 974-324-823-4

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยสารละลายด่าง

COAL DESULFURIZATION USING ALKALINE SOLUTIONS

ชื่อนักศึกษา นายสุรชัย วรธรรมทองดี

รหัสประจำตัว 42061205

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมปิโตรเคมี

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ประกอบ	กิจไชยา	
ดร.พรสวรรค์	กาญจนวนิชย์กุล	
อาจารย์สุธาสินี	เนรมิตรตกพงศ์	
อาจารย์บุญชัย	โชติวิริยวาณิชย์	
รศ.ดร.อัญชลีพร	วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 23 กรกฎาคม 2546 เวลา 13.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....16.....**เดือน**....กรกฎาคม.....**พ.ศ.**..2546...

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยสารละลายด่าง
นักศึกษา	นายสุรชัย วรธรรมทองดี
รหัสประจำตัว	42061205
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมปิโตรเคมี
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ

บทคัดย่อ

กำมะถันในถ่านหินก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมและการกัดกร่อนอุปกรณ์ เช่น เตาเผาไหม้ งานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดกำมะถันในถ่านหินที่มาจากแอ่งงาว จ.ลำปาง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนขนาด 1 ลิตร ที่มีการให้ความร้อนและปั่นกวนที่ความดัน 1 บรรยากาศ ตัวแปรที่ศึกษา คือ ชนิดของสารละลายด่าง คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ลิเทียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายด่างผสมในอัตราส่วน NaOH/KOH/LiOH:1/1/1 โดยปริมาตร ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายด่างที่ใช้ 50/300, 30/200, 30/300, 30/400 และ 8/400 กรัมต่อมิลลิลิตร ขนาดของถ่านหินเล็กกว่า 250, 250-850 และ ใหญ่กว่า 850 ไมครอน ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมลาร์ ที่อัตราการกวน 200, 500 และ 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 50, 80 และ 100 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 2 และ 4 ชั่วโมง พบว่าการกำจัดกำมะถันรวมจะเพิ่มขึ้นที่เวลา 2 ชั่วโมง เมื่อขนาดถ่านหินลดลง และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราการกวนไม่ค่อยมีผล สภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดกำมะถันในงานวิจัยนี้ คือ ใช้สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย 30/400 กรัมต่อมิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน ความเข้มข้นของสารละลาย 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ กำมะถันซัลเฟต และกำมะถันอินทรีย์ ซึ่งคิดเป็นปริมาณกำมะถันรวมที่ลดลงจาก 6.24 เหลือ 3.07 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คิดเป็น 51 เปอร์เซ็นต์ ลดปริมาณเถ้า 19 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มค่าความร้อนของถ่านหิน 18 เปอร์เซ็นต์

Thesis Title	Coal Desulfurization Using Alkaline Solutions
Student	Mr. Surachai Worathamthongdee
Student ID.	42061205
Degree	Master of Engineering
Programme	Petrochemical Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Anchaleeporn W. Lothongkum

ABSTRACT

Sulfur is an undesirable constituent in coals causing environmental and corrosion problems. In this work coal from Ngao Basin in Lampang was desulfurized in a one-liter stirred reactor at pressure of 1 atm. The effects of types of the alkali solutions (NaOH, KOH, LiOH and NaOH/KOH/LiOH:1/1/1 vol%), amounts of coal and solution (50/300, 30/200, 30/300, 30/400 and 8/400 g/ml), particle sizes of coal (< 250, 250-850 and >850 μm), alkaline solution concentrations (0.1, 0.2, 0.5 and 1.0 M), agitation rates (200, 500 and 800 rpm), reaction temperatures (50, 80 and 100°C) and reaction times (1, 2 and 4 hours) were studied. The removal of total sulfur was found to increase with the decrease in particle sizes, the increase in temperature as well as the reaction time to 2 hours, but no change with the agitation rate. The best result of desulfurization in this work was obtained by using LiOH solution at coal to alkaline solution of 30/400 g/ml, particle sizes < 250 μm, LiOH concentration of 0.2 M, agitation rate of 800 rpm, reaction temperature at 100°C, and reaction time of 2 h. Total sulfur in terms of pyritic sulfur, sulfate sulfur and organic sulfur decreased from 6.24 wt% to 3.07 wt% which was 51 %. The reduction of ash content was decreased by 19 % but the heating value increased by 18 %.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่านและความอนุเคราะห์จากหน่วยงานต่างๆ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัยและตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง อาจารย์อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล และ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ ในระหว่างการทำวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ฝ่ายกองเชื้อเพลิงธรรมชาติ กรมทรัพยากรธรณี ที่อนุเคราะห์ตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ในงานวิจัย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่กรุณาวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านหินก่อนการกำจัดกำมะถันเพื่อใช้เปรียบเทียบผลกับการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัย อาจารย์ และ เจ้าหน้าที่ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ กราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจและการสนับสนุนมาโดยตลอด

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โครงการวิจัยร่วมภาครัฐ-เอกชนของศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนุภาคจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2545 โครงการเมธีวิจัยอาวุโส สกว. - ศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ปีงบประมาณ 2545 และศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สนับสนุนทุนวิจัยบางส่วน

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับ ณ ที่นี้

สุรชัย วรธรรมทองดี

9 มิถุนายน 2546

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป XI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3

1.4 ขั้นตอนและการดำเนินการ 3

1.5 ความสำคัญและประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ถ่านหิน 5

2.1.1 การจำแนกประเภทของถ่านหิน 6

2.1.2 สารประกอบในถ่านหิน 7

2.2 กำมะถันในถ่านหิน 8

2.2.1 กำมะถันไพไรต์ 8

2.2.2 กำมะถันซัลเฟต 9

2.2.3 กำมะถันอินทรีย์ 9

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพถ่านหิน 9

2.3.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ 9

2.3.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ 10

2.3.3 การวิเคราะห์เกี่ยวกับการเผาไหม้ 13

2.3.4 การวิเคราะห์อื่นๆ 13

2.4 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 มาตรฐานการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 16
2.6 การกำจัดกำมะถันในถ่านหิน 16
2.6.1 วิธีทางกายภาพ 17
2.6.2 วิธีทางชีวภาพ 17
2.6.3 วิธีทางเคมี 17
2.7 ผลการทดลองและงานวิจัยทั้งภายในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง 21

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย 26
3.1 สารเคมี 26
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 26
3.3 การทดลอง 27
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน 27
3.3.2 การทำปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชัน 28
3.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหิน 28
3.3.4 การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ในรูปต่างๆ 40

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 41
4.1 สมบัติของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน 41
4.2 ผลการทดลองของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสมบัติของถ่านหิน 42
4.2.1 ผลของปริมาณถ่านหินและสารละลายด่าง 42
4.2.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายด่าง 43
4.2.3 ผลของขนาดของถ่านหินและชนิดของสารละลายด่าง 45
4.2.4 ผลของอัตราการกวนและชนิดของสารละลายด่าง 49
4.2.5 ผลของอุณหภูมิและชนิดของสารละลายด่าง 52
4.2.6 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและชนิดของสารละลายด่าง 57
4.3 วิจารณ์ผลและเปรียบเทียบผลที่ได้ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น 61

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 67

เอกสารอ้างอิง 69

ภาคผนวก 72

ภาคผนวก ก. มาตรฐานอากาศเสียจากโรงงานไฟฟ้า (ใหม่) ภายในประเทศ 73

ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลอง 75

ภาคผนวก ค. การคำนวณเปอร์เซ็นต์ในรูปต่างๆ 180

ประวัติผู้เขียน 219

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบตัวแปรที่ศึกษาและผลการทดลองของงานวิจัยอื่นกับตัวแปรของงานวิจัยนี้ 24

4.1 คุณสมบัติของถ่านหินแอ่งงาวก่อนการกำจัดกำมะถัน 41

4.2 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหินต่อปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 42

4.3 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหินต่อปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 43

4.4 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 44

4.5 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 44

4.6 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 45

4.7 ปริมาณกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือเมื่อใช้ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 45

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.8 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 47

4.9 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 48

4.10 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 49

4.11 ปริมาณกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือเมื่อใช้อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 49

4.12 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 51

4.13 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 51

4.14 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง 52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.15 ปริมาณกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือเมื่อใช้อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง 53

4.16 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง 55

4.17 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง 56

4.18 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 57

4.19 ปริมาณกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือเมื่อใช้เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 58

4.20 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 60

4.21 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.22 เปรียบเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น 65

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กระบวนการเกิดถ่านหิน 5

2.2 ตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ในถ่านหิน 8

4.1 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง 47

4.2 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง 55

4.3 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 59

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ถ่านหินเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญจากธรรมชาติที่เกิดจากการสะสมทับถมของซากพืชต่างๆ เป็นเวลาหลายสิบล้านปี แบ่งออกเป็น พีต (Peat) ลิกไนต์ (Lignite) ซับบิทูมินัส (Subbituminous) บิทูมินัส (Bituminous) และแอนทราไซต์ (Anthracite) ตามลำดับของระยะเวลาที่ใช้สะสมตัว

ถ่านหินที่พบในประเทศไทย คือ ถ่านหินประเภทลิกไนต์และซับบิทูมินัส ส่วนใหญ่จะเป็นพวกลิกไนต์ ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูง มีปริมาณความชื้นสูงถึง 30-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเป็นถ่านหินที่มีค่าปริมาณความร้อนต่ำ [1] ซึ่งเป็นผลมาจากมีสิ่งเจือปน เช่น กำมะถัน ฯลฯ จากการขาดแคลนพลังงานของโลกที่เกิดจากการขึ้นราคาน้ำมันของกลุ่มประเทศโอเปคหรือประเทศผู้ผลิตน้ำมัน ทำให้มีการเร่งพัฒนาการนำถ่านหินที่มีจำนวนมากในประเทศมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันในการผลิตไฟฟ้าและใช้แทนน้ำมันเตาในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมกระดาษ โรงบ่มใบยาสูบ เป็นต้น [2]

ปัญหาที่สำคัญในการนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิง คือ ปริมาณกำมะถันประมาณ 0.5-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในถ่านหิน [3] ซึ่งทำให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมและสามารถกัดกร่อนอุปกรณ์ที่ใช้ในการเผาไหม้ เพราะเมื่อเผาไหม้ถ่านหินกำมะถันที่อยู่ในถ่านหินจะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศกลายเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และเมื่อรวมตัวกับน้ำในอากาศจะกลายเป็นกรดซัลฟิวรัส (H_2SO_3) และกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนอุปกรณ์ที่ใช้ในการเผาไหม้ จากสาเหตุนี้จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินโดยกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการคือกำมะถันออกไป

กำมะถันในถ่านหินแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ กำมะถันอนินทรีย์ (Inorganic sulfur) และกำมะถันอินทรีย์ (Organic sulfur) [3-6] กำมะถันอนินทรีย์จะอยู่ในรูปของกำมะถันไพไรต์ (Pyritic sulfur) และกำมะถันซัลเฟต (Sulfate sulfur) สำหรับกำมะถันอินทรีย์พบในถ่านหินในปริมาณที่มากที่สุดและกำจัดได้ยาก เพราะกำมะถันอินทรีย์อยู่ในโครงสร้างภายในของถ่านหินจึงมีเสถียรภาพสูง วิธีการกำจัดกำมะถันในถ่านหินแบ่งตามช่วงเวลาที่กำจัดได้ 3 วิธี คือ การกำจัดกำมะถันก่อนการเผาไหม้ การกำจัดกำมะถันระหว่างการเผาไหม้ด้วยการควบคุมตัวแปรในระหว่างการเผาไหม้ เช่น ควบคุมปริมาณถ่านหินและอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ และการกำจัดกำมะถันหลังการเผาไหม้ด้วยน้ำหรือสารเคมี เช่น แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) เพื่อจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ออกมากับฟลูก๊าซหลังการเผาไหม้ [3] การกำจัดกำมะถันก่อนการเผาไหม้เป็น

วิธีที่ดีกว่าวิธีอื่นเพราะเป็นการจัดการต้นทางและยังได้ถ่านหินที่มีคุณภาพคือมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น

การกำจัดกำมะถันก่อนการเผาไหม้แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ วิธีทางกายภาพ เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินโดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ใช้ความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะของถ่านหินในการกำจัดกำมะถันไพไรต์และเถ้าออกจากถ่านหิน วิธีทางชีวภาพ เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินโดยใช้วิธีทางชีวภาพ เช่น การเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับย่อยสลายกำมะถันรูปแบบต่างๆ ในถ่านหิน ส่วน วิธีทางเคมี เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินโดยนำสารเคมีมาทำปฏิกิริยากับถ่านหินภายใต้สภาวะที่เหมาะสม วิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพสามารถกำจัดกำมะถันได้ทุกชนิด วิธีทางชีวภาพมีค่าใช้จ่ายต่ำแต่ต้องใช้เวลานานและขนาดของถ่านหินต้องมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับวิธีทางเคมี [7] ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญในการกำจัดกำมะถันได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน [8-9] ปฏิกิริยาคลอริเนชัน [10] ปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันกับสารละลายด่าง [11-14] และปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันกับด่างผสมหลอมเหลว (Molten alkali method) [15-17] เป็นต้น การกำจัดกำมะถันโดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันมีความซับซ้อนกว่าการกำจัดกำมะถันด้วยปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันกับสารละลายด่าง ส่วนการกำจัดกำมะถันด้วยปฏิกิริยาคลอริเนชันมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการกำจัดกำมะถันด้วยปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันกับสารละลายด่าง แม้ว่าจะมีงานวิจัยต่างๆ ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดกำมะถันในถ่านหินโดยใช้สารละลายด่าง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เพราะมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพในการกำจัดกำมะถันสูงพอสมควร แต่การศึกษาการใช้สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ (LiOH) และสารละลายผสมของด่างในการกำจัดกำมะถันในถ่านหินยังมีผู้ศึกษาน้อยมาก

งานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดกำมะถันด้วยปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันกับสารละลายด่าง ตัวอย่างถ่านหินที่ใช้จากแอ่งงาว จังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นถ่านหินประเภทลิกไนต์ที่ยังไม่มีการพัฒนาใช้งานเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินจากแหล่งนี้ต่อไป ตัวแปรที่ศึกษา คือ ชนิดของสารละลายด่าง คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ลิเทียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายด่างผสมในอัตราส่วน NaOH/KOH/LiOH:1/1/1 โดยปริมาตร ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายด่างที่ใช้ คือ 50/300, 30/200, 30/300, 30/400 และ 8/400 กรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมลาร์ ขนาดของถ่านหินเล็กกว่า 250, 250-850 และ ใหญ่กว่า 850 ไมครอน อัตราการกวน 200, 500 และ 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 50, 80 และ 100 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 2 และ 4 ชั่วโมง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินโดยการกำจัดกำมะถันในถ่านหิน

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ต่อการกำจัดกำมะถันออกจากถ่านหิน คือ ชนิดของสารละลายด่าง ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายด่างที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายด่าง ขนาดของถ่านหิน อัตราการกวน อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา

1.2.3 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกำมะถันออกจากถ่านหิน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เปรียบเทียบการใช้สารละลายด่างชนิดต่างๆ (NaOH, KOH และ LiOH เพียงอย่างเดียว และสารละลายด่างผสมในอัตราส่วน1/1/1 โดยปริมาตร ในการกำจัดกำมะถันในถ่านหิน และอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ คือ ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายด่างที่ใช้ (50/300, 30/200, 30/300, 30/400 และ 8/400 กรัมต่อมิลลิลิตร) ความเข้มข้นของสารละลายด่าง (0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมลาร์) ขนาดของถ่านหิน (เล็กกว่า 250, 250-850 และ ใหญ่กว่า 850 ไมครอน) ที่อัตราการกวน (200, 500 และ 800 รอบต่อนาที) อุณหภูมิ (50, 80 และ 100 องศาเซลเซียส) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (1, 2 และ 4 ชั่วโมง)

1.4 ขั้นตอนและการดำเนินการ

1.4.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบการทดลองและกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่จะศึกษา เตรียมอุปกรณ์และสารเคมี

1.4.3 ทดลองใช้สารละลายด่างชนิดต่างๆ ภายใต้ตัวแปรต่างๆ ที่ต้องการศึกษา

1.4.4 วิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของตัวอย่างถ่านหินก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชัน ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณกำมะถันรวม ปริมาณกำมะถันไพไรต์ ปริมาณกำมะถันซัลเฟต ปริมาณกำมะถันอินทรีย์ และค่าความร้อน

1.4.5 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับงานวิจัยอื่น

1.4.6 สรุปและรายงานผลงานวิจัย

1.5 ความสำคัญและประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

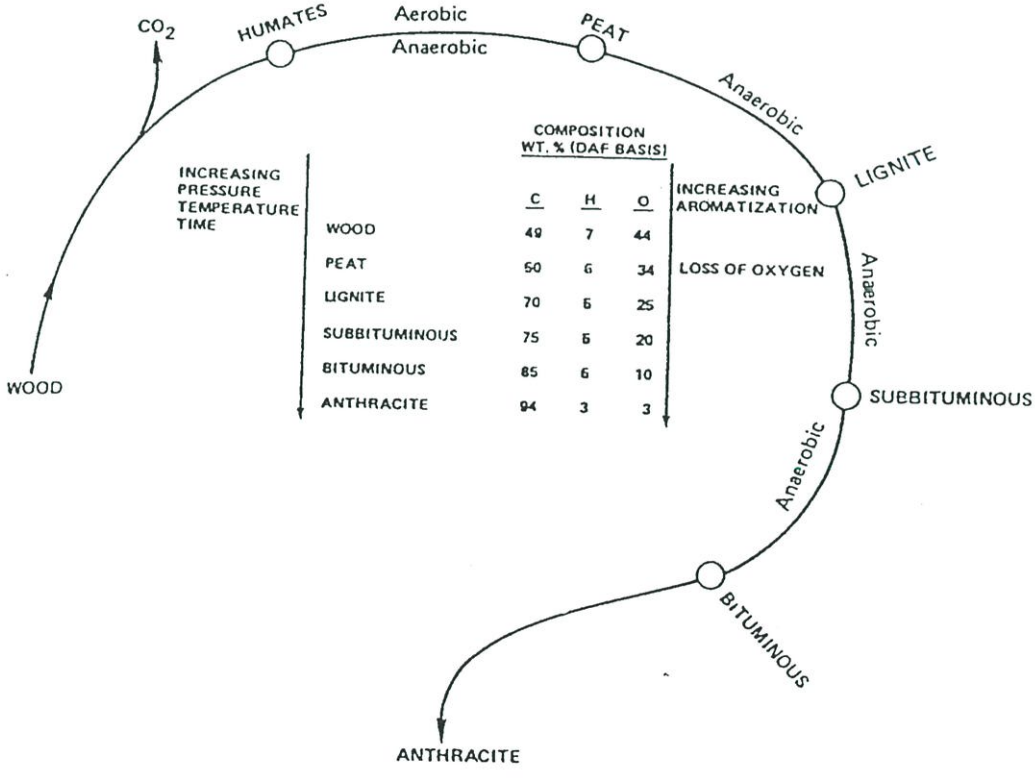
1.5.1 สามารถปรับปรุงคุณภาพของถ่านหิน เพื่อลดปัญหาการกัดกร่อนอุปกรณ์ต่างๆ และลดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อมที่เกิดจากปริมาณกำมะถันในถ่านหิน

1.5.2 ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกำมะถันออกจากถ่านหินแอ่งงาวที่จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการใช้งานถ่านหินจากแหล่งนี้ต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านหิน [1-2, 18]

ถ่านหินมีสถานะเป็นของแข็ง ไม่มีรูปผลึกที่แน่นอน โดยทั่วไปมีสีเข้มตั้งแต่สีน้ำตาลถึงสีดำสนิท ประกอบด้วย คาร์บอน สารระเหย ความชื้น และแร่ธาตุต่างๆ ในปริมาณน้อย ถ่านหินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่ามากเพราะเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ ถ่านหินเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของซากพืชที่ใช้เวลาหลายล้านปีภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงจนกลายมาเป็น พีต ลิกไนต์ ซับบิทูมินัส บิทูมินัส และแอนทราไซต์ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ถ่านหินตามแหล่งต่างๆ มีคุณสมบัติต่างกันขึ้นกับชนิดของซากพืช เวลาการเปลี่ยนแปลง และสภาพแวดล้อมของแหล่งที่เกิด



รูปที่ 2.1 กระบวนการเกิดถ่านหิน [3]

ถ่านหินมักพบอยู่กับหินชั้นอื่นๆ เช่น หินดินดาน หินทนไฟ หินกรวดมน และหินทราย หินชุดเหล่านี้เรียกกันว่า "ชุดถ่านหิน" (Coal measures) แม้ว่าส่วนใหญ่จะพบว่าชั้นถ่านหินเกิดอยู่ร่วมกับหินที่มีกำเนิดในน้ำจืดแต่บางครั้งก็พบว่ามีการเกิดอยู่ร่วมกับหินปูนซึ่งกำเนิดอยู่ในน้ำทะเล

"ชุดถ่านหิน" ดังกล่าวนี้ มักจะมีกำเนิดในบริเวณพื้นที่ซึ่งค่อยๆ จมลงใต้น้ำ และก่อตัวขึ้นเป็นชั้นถ่านหินอาจเกิดขึ้นจากวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังต่อไปนี้

1. เกิดจากพันธุ์ไม้ที่เจริญเติบโตอยู่ตามหนองน้ำตื้นๆ และสะสมตัวภายในแอ่งน้ำแห่งนั้น กลายเป็นชั้นถ่านหิน เรียกว่า Authochtonous coal deposit

2. พันธุ์ไม้เจริญเติบโตอยู่ในท้องถิ่นแห่งหนึ่งแล้วถูกพัดพาไปสะสมตัวทับถมกันอยู่ในแอ่งน้ำอื่นโดยน้ำหรือธารน้ำแข็งพัดพาไป และก่อตัวขึ้นเป็นชั้นถ่านหินห่างไกลจากต้นกำเนิดของพันธุ์ไม้ เรียกว่า Allochtonous coal deposit

ขนาดของแหล่งถ่านหินและการกำเนิดจะแตกต่างกันตามแต่ละท้องที่ แต่มีปัจจัยสำคัญที่ทำให้พันธุ์ไม้เกิดการสะสมตัวคล้ายๆ กัน คือ

1. ต้องมีสภาพอากาศที่เหมาะกับการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพันธุ์ไม้ต่างๆ ซึ่งมีทั้งพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น พืชในตระกูลเฟิร์น และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น พืชจำพวกสน เป็นต้น

2. บริเวณสะสมตัวต้องเป็นสภาพน้ำนิ่งไม่มีน้ำไหลเข้าออก และมีสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนจำกัด (Reducing environment) เพื่อไม่ให้เกิดการเน่าสลายของซากพืชที่จะกลายเป็นถ่านหิน

3. ต้องมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่ทำให้เกิดการผุพังของซากพืชจนกลายเป็นตะกอนของแร่ธาตุต่างๆ โดยแบคทีเรียอย่างต่อเนื่องและเหมาะสม

4. มีการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาที่ทำให้เกิดความกดดันและความร้อนที่จะทำให้ซากพืชแปรสภาพเป็นถ่านหินลำดับชั้นต่างๆ

2.1.1 การจำแนกประเภทของถ่านหิน

การจำแนกประเภทของถ่านหินมีหลายระบบ แต่ระบบที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การจำแนกประเภทของถ่านหินตามอายุหรือศักดิ์ (Rank) ซึ่งบ่งชี้ความสมบูรณ์ในการเปลี่ยนสภาพจากซากพืชกลายเป็นถ่านหิน ถ่านหินที่อาศัยเวลาการเปลี่ยนแปลงยาวนานเป็นถ่านหินที่มีศักดิ์สูง และถ่านหินที่อาศัยเวลาการเปลี่ยนแปลงน้อยเป็นถ่านหินที่มีศักดิ์ต่ำ เช่น ถ่านหินพีตเป็นถ่านหินที่มีอายุน้อยที่สุดประมาณ 20 ล้านปี ถ่านหินแอนทราไซต์ มีอายุมากที่สุดประมาณ 250 ล้านปี

การจำแนกประเภทของถ่านหินในระบบของ American Society for Testing and Materials (ASTM) ซึ่งใช้ในทวีปอเมริกาเหนือนั้น เป็นกระบวนการจำแนกประเภทของถ่านหินตามศักดิ์ ซึ่งมีความชัดเจนและง่ายแก่การใช้งาน จึงเป็นที่นิยมใช้มากในหลายประเทศ ระบบนี้จำแนกประเภทของถ่านหินออกเป็น พีต ลิกไนต์ ซับบิทูมินัส บิทูมินัส และแอนทราไซต์ ลักษณะทั่วไปของประเภทถ่านหินดังกล่าว คือ [1]

<u>พีต</u> ประกอบด้วยซากพืชบางส่วนที่ได้สลายตัวไปแล้ว มีปริมาณออกซิเจนและความชื้นสูง พีตนับได้ว่าเป็นผลิตผลขั้นแรกในกระบวนการเกิดถ่านหิน

ลิกไนต์ มีซากพืชเหลืออยู่ปรากฏเล็กน้อย ปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูงและมีปริมาณความชื้นสูงถึง 30-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานปูนซีเมนต์ โรงบ่มใบยาสูบ เป็นต้น [2]

ซับบิทูมินัส มีลักษณะสีดำคล้ายขี้ผึ้ง มีปริมาณความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ถ่านหินประเภทนี้มีคุณค่ามากใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

บิทูมินัส เป็นถ่านหินเนื้อแน่น มีลักษณะแข็ง ประกอบด้วยชั้นถ่านหินสีดำสนิทที่มีลักษณะเป็นมันวาว มีปริมาณคาร์บอน 69-86 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีความชื้น 1.5-7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้ในการถลุงโลหะ

แอนทราไซต์ เป็นถ่านหินที่มีลักษณะดำเป็นเงามัน มีความวาวสูง มีปริมาณคาร์บอนสูงถึง 86 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขึ้นไป มีปริมาณความชื้นต่ำมากและมีค่าความร้อนสูง แต่จุดไฟติดยาก

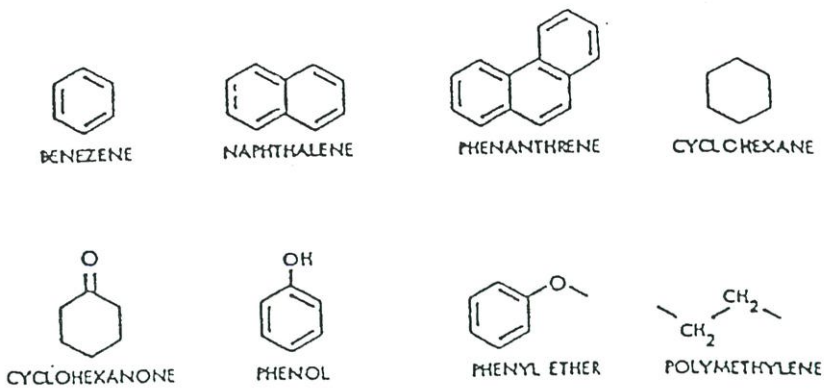
2.1.2 สารประกอบในถ่านหิน [19]

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของถ่านหิน คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ธาตุที่มีปริมาณน้อย คือ กำมะถัน ไนโตรเจน ซิลิกอน อะลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และไททาเนียม ส่วนธาตุอื่นๆ ที่เหลือจะเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในดิน ปริมาณธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในถ่านหินขึ้นอยู่กับกระบวนการเกิดถ่านหิน (Coalification) ซึ่งถ่านหินแต่ละประเภทจะมีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และกำมะถันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าเมื่อศักดิ์ของถ่านหินสูงขึ้นถ่านหินจะมีปริมาณคาร์บอนมากขึ้น เพราะในกระบวนการเกิดถ่านหินจะมีการกำจัดไฮโดรเจนและออกซิเจนออกไปเป็นปริมาณมากในรูปของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถ่านหินที่มีศักดิ์สูงจะมีค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนสูง แต่ค่าสารระเหยได้ต่ำ ซึ่งสมบัติทั้งสามนี้เป็นพื้นฐานของการแบ่งประเภทของถ่านหิน

เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีพบว่าสารประกอบในถ่านหินสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของสารประกอบอินทรีย์และส่วนของสารประกอบแร่ธาตุดังนี้

2.1.2.1 สารประกอบอินทรีย์

สารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่พบในถ่านหิน เช่น เบนซีน ไซโคลเฮกเซน ไซโคลเฮกซะโนน เมทิลีน แนพทาลีน ฟีนอล ฟีนิลอีเทอร์ โพลีเมทิลีน ฟีแนพทาลีน และสารประกอบพวกไดไฮโดรอะโรมาติก (Dihydroaromatic) เช่น คาร์โบโซล (Carbozole) เบนซาไธโอฟีน (Benzathiophene) และพิริดีน (Pyridine) ส่วนหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่มี คือ หมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิล หมู่อะมิโน และหมู่ไธออล ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ในถ่านหิน [19]

โครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ จะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมีเป็นโครงสร้างพอลิเมอร์และมีบางส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ พบว่าเมื่อศักดิ์ของถ่านหินสูงขึ้นจะทำให้มีจำนวนวงอะโรมาติกเชื่อมต่อกันมากขึ้นเป็นผลึกที่มีลักษณะคล้ายแกรไฟต์

2.1.2.2 สารประกอบแร่ธาตุ

ส่วนที่เป็นแร่ธาตุในถ่านหินจะพบธาตุซิลิกอนปริมาณมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีอะลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม ธาตุเหล่านี้รวมตัวกันเป็นสารประกอบหรือรวมกับอะตอมของธาตุอื่นๆ ให้สารประกอบต่างๆ เช่น กลุ่มอะลูมิโนซิลิเกต มีสูตรตัวอย่าง คือ $(OH)_4K_2(Si_6Al_2)Al_4O_{20}$ กลุ่มซัลไฟด์ มีสูตรตัวอย่าง คือ FeS_2 กลุ่มคาร์บอเนต มีสูตรตัวอย่าง คือ $CaCO_3MgCO_3$ กลุ่มซิลิกา มีสูตรตัวอย่าง คือ SiO_2 เป็นต้น

2.2 กำมะถันในถ่านหิน [19]

กำมะถันในถ่านหินแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กำมะถันอนินทรีย์และกำมะถันอินทรีย์ กำมะถันอนินทรีย์จะอยู่ในรูปของกำมะถันไพไรต์และกำมะถันซัลเฟต

2.2.1 กำมะถันไพไรต์

กำมะถันไพไรต์ในถ่านหินพบในลักษณะของสารประกอบโลหะซัลไฟต์ แร่ที่พบมากที่สุด คือ แร่ไพไรต์ (Pyrite) และแร่มาร์คาไซต์ (Marcasite) มีสูตรทางเคมี คือ FeS_2 แร่ไพไรต์มีรูปร่างผลึกแบบลูกบาศก์ ส่วนแร่มาร์คาไซต์มีรูปร่างผลึกแบบรอมบิค (Rhombic) การกำจัดกำมะถันไพไรต์ให้น้อยลงสามารถทำได้โดยวิธีทางกายภาพ (Physical cleaning) คือ นำถ่านหินมาบดให้ละเอียดเพื่อให้กำมะถันไพไรต์ที่ประกอบอยู่แยกตัวออกมา หรือ วิธีทางเคมี (Chemical cleaning) ที่อาศัยปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารเคมีกับกำมะถันไพไรต์ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะต้องไม่ทำลายโครงสร้างของถ่านหิน

2.2.2 กำมะถันซัลเฟต

กำมะถันซัลเฟตในถ่านหินพบในลักษณะของสารประกอบโลหะซัลเฟต เช่น สารประกอบแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) สารประกอบซัลเฟตของเหล็ก ($FeSO_4$) สารประกอบซัลเฟตของทองแดง สารประกอบซัลเฟตของแมกนีเซียม เป็นต้น หรืออาจพบในลักษณะแร่ เช่น ยิปซัม ปกติพบว่ากำมะถันซัลเฟตมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับกำมะถันไพไรต์และกำมะถันอินทรีย์

2.2.3 กำมะถันอินทรีย์

กำมะถันอินทรีย์พบในถ่านหินในลักษณะที่เป็นโครงสร้างพันธะเคมีหลายรูปแบบที่สลับซับซ้อน กำมะถันอะตอมที่อยู่ในโครงสร้างของถ่านหินจะมีการจัดเรียงตัวเป็นสารประกอบชนิดต่างๆ ได้แก่ สารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (Heterocyclic, =CH-S-CH=) สารประกอบไธโออีเธอร์ (Thioether, R-S-R′) สารประกอบเมอร์แคปแทน (Mercaptan, R-S-H) และสารประกอบไธโอฟีนอล (Thiophenol, C-S-H) เป็นต้น กำมะถันอินทรีย์จะพบมากกว่ากำมะถันประเภทอื่นและพบในลักษณะเป็นสารประกอบจึงมีพันธะที่เสถียรมากทำให้ยากในการกำจัดต้องใช้ปฏิกิริยาเคมีที่รุนแรงในการกำจัด

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพถ่านหิน [1-2, 18]

การวิเคราะห์คุณภาพถ่านหินเป็นงานที่สำคัญในกระบวนการศึกษา สำรวจ และพัฒนาแหล่งถ่านหิน ข้อมูลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำมีความจำเป็นอย่างมากต่อการตัดสินใจนำถ่านหินมาใช้ให้เหมาะสมและคุ้มค่า เนื่องจากถ่านหินจากแหล่งต่างๆ จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ

วิธีวิเคราะห์ถ่านหินแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) และ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ในการวิเคราะห์แบบแรกแบ่งกลุ่มของสารประกอบในถ่านหินออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ความชื้น (Moisture) เถ้า (Ash) สารระเหยได้ (Volatile matter) และคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ส่วนการวิเคราะห์แบบหลังเป็นการวิเคราะห์โดยละเอียด โดยวิเคราะห์ธาตุสำคัญแต่ละธาตุที่มีอยู่ในถ่านหิน คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน เถ้า และน้ำในรูปส่วนประกอบของสารอนินทรีย์และในรูปความชื้น

2.3.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ [18]

ค่าที่วิเคราะห์ได้จากวิธีนี้ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปและในการซื้อขายถ่านหินเพื่อดูคุณภาพของถ่านหิน ซึ่งต้องวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานที่ระบุไว้ในหนังสือวิธีวิเคราะห์มาตรฐานของประเทศต่างๆ เช่น มาตรฐาน ASTM ของสหรัฐอเมริกา มาตรฐาน IP ของอังกฤษ

เป็นต้น โดยใช้หลักการสูญเสียน้ำหนักของถ่านหินหลังการเผาที่อุณหภูมิคงที่ในระดับต่างๆ กัน ดังนี้

ความชื้น เป็นน้ำหนักที่สูญเสียไปหลังจากการอบถ่านหินบดละเอียดที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะที่กำหนดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง น้ำที่เป็นความชื้นจะระเหยออกมา ส่วนน้ำที่เป็นส่วนประกอบของสารอนินทรีย์ยังคงอยู่ในถ่านหิน

เถ้า เป็นน้ำหนักที่คงอยู่หลังจากการเผาถ่านหินบดละเอียดที่อุณหภูมิ 725 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเหลืออยู่แต่สารอนินทรีย์ที่ถูกออกซิไดส์สมบูรณ์แล้ว ดังนั้นน้ำหนักเป็นร้อยละของเถ้านี้จึงน้อยกว่าน้ำหนักของแร่ธาตุที่มีอยู่ในถ่านหินเดิม เพราะแร่ธาตุประเภทคาร์บอเนต ซัลไฟด์ และอื่นๆ จะถูกออกซิไดส์ไปเป็นสารออกไซด์จนหมด ความสัมพันธ์ของร้อยละของแร่ธาตุกับร้อยละของเถ้าโดยประมาณ คือ ร้อยละของแร่ธาตุ (% Mineral matter) ประมาณเท่ากับ 1.1 คูณกับร้อยละของเถ้า

สารระเหยได้ เป็นน้ำหนักที่สูญเสียไป (หักค่าความชื้นออกแล้ว) หลังจากการเผาถ่านหินบดละเอียดที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที โดยไม่ให้สัมผัสกับอากาศ เพื่อกลั่นสลายสารที่ระเหยได้ในเนื้อถ่านหินออกมา

คาร์บอนคงตัว เป็นผลต่างจากการคำนวณคือ

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = 100 – (ร้อยละของความชื้น + ร้อยละของเถ้า + ร้อยละของสารระเหยได้) ...(2.1)

ผลการวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณจะช่วยบอกถึงคุณภาพและคุณสมบัติของถ่านหินในการเผาไหม้ ดังนี้

สารระเหยได้ + คาร์บอนคงตัว	=	ปริมาณถ่านหิน “บริสุทธิ์” หรือส่วนที่เผาไหม้ได้
เถ้า	=	ส่วนที่เหลือหลังการเผาไหม้ ถ่านหินที่มีเถ้าน้อยจะมีคุณภาพดีกว่าถ่านหินที่มีเถ้ามาก
สารระเหยได้	=	การวัดการเกิดควัน ยิ่งค่าสารระเหยได้สูงโอกาสเกิดควันก็ยิ่งมาก

2.3.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ [1-2]

เป็นการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในถ่านหิน คือ คาร์บอนทั้งหมด ไฮโดรเจน ไนโตรเจน กำมะถัน เถ้า ความชื้น ส่วนออกซิเจนเป็นผลต่างระหว่าง 100 กับผลรวมของปริมาณของธาตุองค์ประกอบทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจน ทำได้ด้วยการเผาถ่านหินให้คาร์บอนถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนถูกเปลี่ยนเป็นน้ำภายใต้การควบคุมสภาวะที่เหมาะสม โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกดูดซับด้วยสารที่เหมาะสม เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ถูกดูดซับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนน้ำถูกดูดซับด้วยแอนไฮดรัสแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต $Mg(ClO_4)_2$ แล้วนำมาคำนวณปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจนด้วยการชั่งน้ำหนักของตัวดูดซับนั้นๆ คาร์บอนและไฮโดรเจนจะใช้เป็นปัจจัยในการแยกประเภทของถ่านหินและใช้ในการคำนวณค่าความร้อน (Calorific value) ของถ่านหิน

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน โดยทั่วไปใช้วิธี Kjeldahl macromethod ซึ่งไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต $(NH_4)_2SO_4$ โดยกระบวนการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น หรืออาจวิเคราะห์โดยการไล่ไนโตรเจนออกจากสารประกอบอินทรีย์ก่อน แล้วจึงเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียหรือก๊าซไนโตรเจน

สามารถหาปริมาณออกซิเจนได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณออกซิเจน} = 100 - [C + H + N + S + A] \quad \ldots(2.2)$$

เมื่อ
- C = เปอร์เซ็นต์คาร์บอนในถ่านหิน
- H = เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนในถ่านหิน
- N = เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในถ่านหิน
- S = เปอร์เซ็นต์กำมะถันรวมในถ่านหิน
- A = เปอร์เซ็นต์เถ้าในถ่านหิน

ในการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน แยกออกได้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวมและการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในรูปแบบต่างๆ

<u>การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวม</u> [2] มีหลายวิธี เช่น

1. Bomb washing method (ASTM D-3177) เป็นวิธีหาปริมาณกำมะถันรวมด้วยการล้างภายในของตัวบอมบ์หลังการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของถ่านหินแล้วนำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.0725 N ปรับค่าความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์เข้มข้นให้ได้ประมาณ 5.5-7 นำสารละลายที่ปรับความเป็นกรด-เบสแล้วไปต้มจนเดือดแล้วกรอง จากนั้นล้างด้วยน้ำร้อนต่อ 5-6 ครั้ง ปรับปริมาตรด้วยน้ำร้อนให้ได้ 250 มิลลิลิตร หยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตรลงไปในสารละลายแล้วนำไปต้มให้เดือดและเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ลงไป 10 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือดนาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้

ไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองตะกอนแบเรียมซัลเฟตและล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดคลอไรด์ แล้วนำไปเผานาน 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต ซึ่งก็คือปริมาณกำมะถันรวม

2. Eschka fusion method (ASTM D-3177) เป็นวิธีหาปริมาณกำมะถันรวมด้วยการผสมถ่านหินกับ Eschka mixture (คือ สารผสมของแอนไฮดรัสโซเดียมคาร์บอเนตต่อแมกนีเซียมออกไซด์ในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก) และเผาที่อุณหภูมิ 800 ± 25 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ในที่ๆ มีอากาศ นำสารมาละลายในน้ำร้อนนาน 1-1.5 ชั่วโมง แล้วนำมากรอง จากนั้นล้างด้วยน้ำร้อนต่อ 5-6 ครั้ง ปรับปริมาตรด้วยน้ำร้อนให้ได้ 250 มิลลิลิตร ปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมคาร์บอเนต หยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตรลงไปในสารละลายแล้วนำไปต้มให้เดือดและเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ลงไป 10 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือดนาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองตะกอนแบเรียมซัลเฟตและล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดคลอไรด์ แล้วนำไปเผานาน 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต ซึ่งก็คือปริมาณกำมะถันรวม

3. High temperature combustion method (ASTM D-4239) เป็นวิธีหาปริมาณกำมะถันรวมด้วยการเผาตัวอย่างถ่านหินที่อุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส และดูดซับผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ๆ จะออกซิไดส์กำมะถันให้อยู่ในรูปของสารประกอบซัลเฟตแล้วหาปริมาณกำมะถันรวมที่ได้

4. Infrared method (ASTM D-4239) เป็นวิธีหาปริมาณกำมะถันรวมด้วยการเผาตัวอย่างถ่านหินที่อุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส และตรวจวัดไอของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้ออกมาด้วยตัวตรวจจับ ซึ่งจะคำนวณและแปลงค่ารายงานออกมาเป็นค่ากำมะถันรวม

<u>การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในรูปแบบต่างๆ</u> คือ

1. กำมะถันไพไรต์ วิเคราะห์ด้วยการสกัดกำมะถันออกจากถ่านหินโดยใช้กรดไนตริกเจือจาง และนำไปกรอง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เพื่อนำไปหาปริมาณเหล็กด้วยเครื่อง Atomic absorption เมื่อทราบปริมาณเหล็กจะสามารถคำนวณปริมาณกำมะถันไพไรต์ได้

2. กำมะถันซัลเฟต สกัดกำมะถันซัลเฟตออกจากถ่านหินโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง แล้วตกตะกอนด้วยสารละลายแบเรียมคลอไรด์ จากนั้นกรองตะกอนแบเรียมซัลเฟตและล้างด้วยน้ำร้อน นำไปเผา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้หลังการเผาคือปริมาณกำมะถันซัลเฟต

3. กำมะถันอินทรีย์ คำนวณได้จากการหักค่ากำมะถันไพไรต์และกำมะถันซัลเฟตออกจากค่ากำมะถันรวม ดังสมการ

กำมะถันอินทรีย์ = กำมะถันรวม- (กำมะถันไพไรต์+กำมะถันซัลเฟต) ...(2.3)

2.3.3 การวิเคราะห์เกี่ยวกับการเผาไหม้

2.3.3.1 ค่าความร้อน (Specific energy หรือ Calorific value) [1-2]

เป็นปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านหินที่ถูกนำไปเผาไหม้ สามารถวิเคราะห์โดยนำถ่านหินไปเผาในเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว) และแคลอริมิเตอร์แบบที่มีการไหล (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ) และบันทึกอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นเพื่อนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหิน ถ่านหินที่มีค่าความร้อนสูงจะมีปริมาณเถ้าต่ำและถือว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดี ค่าความร้อนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ค่าความร้อนขั้นสูง (High heating value หรือ Gross calorific value) หมายถึง ค่าความร้อนที่ได้ทั้งหมดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นผลรวมของค่าความร้อนสุทธิกับค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ

ค่าความร้อนสุทธิ (Net calorific value หรือ Low heating value) หมายถึง ค่าความร้อนที่ได้ทั้งหมดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงลบด้วยค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ

สำหรับถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำความแตกต่างระหว่างค่าความร้อนขั้นสูงและค่าความร้อนสุทธิจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและปริมาณไฮโดรเจนที่เกิดจากสารอินทรีย์ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ

2.3.3.2 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของเถ้า (Ash composition analysis) [2]

เป็นการวิเคราะห์ทางเคมีหาส่วนประกอบต่างๆ ของเถ้าในรูปออกไซด์ เช่น ซิลิกอนไดออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ไทเทเนียมไดออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์ และโซเดียมออกไซด์ ส่วนประกอบของเถ้าสามารถแบ่งตามคุณสมบัติทางเคมีเป็น 2 ส่วน คือ

Acidic oxides ประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

Basic oxides ประกอบด้วยเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์ และโซเดียมออกไซด์

โดยทั่วไป Acidic oxides ในเถ้าจะเป็นตัวที่ทำให้อุณหภูมิหลอมตัวของเถ้าสูง และอุณหภูมิหลอมตัวของเถ้าจะลดลงตามปริมาณของ Basic oxides ที่เพิ่มขึ้น

2.3.4 การวิเคราะห์อื่นๆ [2]

2.3.4.1 ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density)

เป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของถ่านหินต่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ของตัวอย่างถ่านหินทั้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุ่มเก็บ

ด้วยมือ (Hand specimens) และจากแท่งตัวอย่าง (Core samples) โดยการแทนที่น้ำเพื่อหาปริมาตรของถ่านหินแล้วนำไปหารกับน้ำหนักของถ่านหินก็จะได้ความหนาแน่นของถ่านหิน ซึ่งจะอยู่ในรูปความหนาแน่นสัมพัทธ์ปรากฏ หรือบางทีอาจใช้ตัวอย่างที่บดละเอียดเพื่อหาความหนาแน่นสัมพัทธ์จริงก็ได้

ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับปริมาณเถ้า คือ ถ้าถ่านหินมีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงก็จะมีปริมาณเถ้ามาก ซึ่งสามารถนำไปใช้ประเมินคุณภาพของถ่านหินในภาคสนาม

2.3.4.2 ความหนืดของเถ้า (Ash viscosity)

ความหนืดของเถ้าขึ้นกับส่วนประกอบของเถ้าและอุณหภูมิที่ใช้หลอมเหลว สำหรับเถ้าที่หลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงความหนืดจะลดลง เมื่อเถ้าที่หลอมเหลวเย็นตัวลงจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น สามารถวิเคราะห์ความหนืดของเถ้าโดยนำถ่านหินไปเผาไหม้ในเครื่องวิเคราะห์ในการออกแบบเตาเผาต้องทราบค่าความหนืดของเถ้าของถ่านหิน เพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับการระบายเถ้าออกจากเตาเผา

2.3.4.3 Coal petrography

เป็นการศึกษาองค์ประกอบภายในของถ่านหินโดยนำตัวอย่างถ่านหินมาขัดมัน (Polished section) หรือตัดเป็นแผ่นบางๆ (Thin section) แล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน การตรวจสอบมี 2 วิธี คือ

ก. วัด Vitrinite reflectance นำตัวอย่างถ่านหินมาตัดเป็นแผ่นบางๆ แล้วนำไปผ่านการสะท้อนแสงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อดูความเข้มของการสะท้อนแสง ทำให้ทราบองค์ประกอบภายในของถ่านหิน

ข. Petrographic analysis นำตัวอย่างถ่านหินมาขัดมัน เพื่อศึกษาจำนวนมาซิรอล (คือ ส่วนประกอบของถ่านหินซึ่งเปลี่ยนแปลงมาจากส่วนต่างๆ ของพืช) ในหนึ่งตารางมิลลิเมตรของถ่านหินตัวอย่างทีละจุด และรายงานผลเป็นร้อยละของมาซิรอลทั้ง 3 กลุ่ม คือ วิทริไนท์ (มี Vitrinite สูง แปลว่ามีปริมาณออกซิเจนสูง) เอกซิไนท์ (มี Exinite สูง แปลว่ามีปริมาณไฮโดรเจนสูง) อินเนอร์ทิไนท์ (มี Inertinite สูง แปลว่ามีปริมาณคาร์บอนสูง)

ประโยชน์ของการศึกษา Coal petrography คือ

1. ใช้ในการแบ่งศักดิ์ของถ่านหินโดยอาศัย Vitrinite reflectance ถ้าความเข้มของการสะท้อนแสงมาก แสดงว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดี

2. ใช้ในการศึกษาสภาวะแวดล้อมที่ถ่านหินสะสมตัว ซึ่งในแต่ละสิ่งแวดล้อมถ่านหินจะมีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดยดูจากอัตราส่วนของมาซิรอลต่างๆ ก็จะทำให้ทราบว่ามีส่วนใดของพืชที่เกิดการสะสมตัวกลายเป็นถ่านหิน

3. ใช้บอกคุณสมบัติของถ่านหินว่ามีความเหมาะสมในการทำเป็นถ่านโค้กหรือไม่

2.4 ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ [20]

เมื่อนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ กำมะถันที่อยู่ภายในถ่านหินจะรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นออกไซด์ของกำมะถัน คือ ก๊าซซัลเฟอร์มอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ พร้อมกับให้ความร้อนออกมา ก๊าซซัลเฟอร์มอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้มีสภาวะไม่เสถียรและจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอย่างรวดเร็วกลายเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ส่วนก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ก็เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้เช่นกัน ดังนั้นจะพบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากที่สุดจากการเผาไหม้ถ่านหิน ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีดังนี้

2.4.1 ผลกระทบต่อสุขภาพ

เมื่อได้รับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการหายใจเข้าไปที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 20 พีพีเอ็มขึ้นไป จะทำให้เกิดการระคายเคือง หายใจไม่ออก และอาเจียน แต่ถ้าได้สัมผัสแบบเฉียบพลันที่ความเข้มข้นประมาณ 50 พีพีเอ็ม ผู้ได้รับจะสามารถทนได้ไม่เกิน 15 นาที และก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ ตั้งแต่อาการไอเรื้อรังไปจนถึงการทำลายปอดอย่างถาวร

2.4.2 ผลกระทบต่อทัศนวิสัยในการมอง

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อทำปฏิกิริยากับไอน้ำในอากาศจะเกิดเป็นละอองฝอย (Aerosols) ของกรดซัลฟิวริกลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งละอองฝอยนี้จะมีผลกระทบต่อทัศนวิสัยในการมองเห็น

2.4.3 ผลกระทบต่อวัสดุ

สิ่งก่อสร้างที่เป็นหินปูนและหินอ่อนเมื่อดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าไป ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะแทนที่คาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) ในแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดเป็นแคลเซียมซัลเฟตซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต จึงเกิดการขยายตัวในโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตขึ้น ทำให้โครงสร้างของสิ่งก่อสร้างเกิดรอยรั่วและสึกกร่อนในที่สุด

2.4.4 ฝนกรด

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศเมื่อละลายผสมกับน้ำฝนจะกลายเป็นฝนกรดซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ พืช สัตว์ และสิ่งก่อสร้างต่างๆ

2.5 มาตรฐานการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ [21]

สำหรับประเทศไทยกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดค่ามาตรฐานในการปล่อยสารเจือปนของโรงไฟฟ้าดังตารางที่ ก.1 ภาคผนวก ก. เช่น โรงไฟฟ้าแม่เมาะซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าขนาดมากกว่า 500 เมกกะวัตต์ ถ้าใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงต้องไม่เกินกว่า 320 ส่วนในล้านส่วน

นอกจากการกำหนดมาตรฐานในการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ดังกล่าวแล้วประเทศต่างๆ ได้เพิ่มความเข้มงวดเกี่ยวกับการตรวจสอบมลภาวะของโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงและได้วางมาตรการต่างๆ ดังนี้ [22]

1. โรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจะปล่อยกำมะถันในรูปของก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ออกมาได้เป็นปริมาณไม่เกินที่มาตรฐานกำหนดไว้ ทั้งนี้โดยการคัดเลือกใช้ถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันต่ำ
2. โรงงานต้องติดตั้งเครื่องดักจับก๊าซพิษ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ออกไซด์ก่อนปล่อยออกทางปล่อง
3. โรงงานต้องหาวิธีการเปลี่ยนไปใช้พลังงานอื่นที่มีปริมาณกำมะถันและไนโตรเจนต่ำ
4. ถ้าจะใช้ถ่านหินควรใช้เทคโนโลยีที่ได้พัฒนาแล้วและสามารถลดปริมาณก๊าซพิษ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์และซัลเฟอร์ออกไซด์ได้ดี
5. หากไม่สามารถทำได้จะต้องปิดโรงงาน

การควบคุมการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ถ่านหินมีหลายวิธี ได้แก่ [23]

1. การใช้ถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันต่ำ
2. การแยกกำมะถันออกจากถ่านหินก่อนการเผาไหม้
3. การกำจัดกำมะถันระหว่างการเผาไหม้ในเตาเผา
4. การกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หลังการเผาไหม้ แบ่งเป็น 2 วิธี คือ
   - ระบบแห้ง
   - ระบบเปียก
5. การเปลี่ยนการใช้พลังงานจากถ่านหินเป็นพลังงานจากก๊าซเชื้อเพลิงหรือพลังงานจากน้ำมัน

2.6 การกำจัดกำมะถันในถ่านหิน [3-4]

วิธีการกำจัดกำมะถันในถ่านหินแบ่งตามช่วงเวลาที่กำจัดได้ 3 วิธี [3] คือ การกำจัดกำมะถันก่อนการเผาไหม้ การกำจัดกำมะถันระหว่างการเผาไหม้ด้วยการควบคุมตัวแปรในระหว่างการเผาไหม้ เช่น ควบคุมปริมาณถ่านหินและอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ และการกำจัดกำมะถันหลังการ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เผาไหม้ด้วยน้ำหรือสารเคมี การกำจัดกำมะถันก่อนการเผาไหม้เป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีอื่นเพราะเป็นการจัดการต้นทางและยังได้ถ่านหินที่มีคุณภาพคือมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น การกำจัดกำมะถันก่อนการเผาไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ

2.6.1 วิธีทางกายภาพ (Physical method)

วิธีการกำจัดกำมะถันทางกายภาพเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน ในกระบวนการกำจัดกำมะถันออกจากถ่านหินนั้นต้องบดถ่านหินให้ละเอียดแล้วนำไปแยกกำมะถันไพไรต์และแร่ธาตุอื่นๆ ที่ประกอบอยู่ในถ่านหินออกโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ คือ ปกติถ่านหินมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.3 ส่วนกำมะถันไพไรต์มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 5 วิธีการนี้มีข้อดี คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ ข้อเสีย คือ กำจัดได้เฉพาะกำมะถันไพไรต์เท่านั้น

2.6.2 วิธีทางชีวภาพ (Biological method)

การกำจัดกำมะถันโดยกระบวนการทางชีวภาพเป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินโดยอาศัยการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ เชื้อรา หรือเอนไซม์ เช่น การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในจานเพาะเลี้ยงหลังจากนั้นนำมาย่อยสลายกำมะถันรูปแบบต่างๆ ในถ่านหินที่ได้บดแยกขนาดไว้ วิธีนี้มีข้อดี คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ ประสิทธิภาพในการกำจัดกำมะถันสูง และกำจัดกำมะถันได้ทุกชนิด แต่ต้องใช้เวลานานและถ่านหินต้องมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับวิธีทางเคมี

2.6.3 วิธีทางเคมี (Chemical method)

การกำจัดกำมะถันโดยอาศัยกระบวนการทางเคมี คือ ใช้สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยากับกำมะถันในถ่านหินภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ปฏิกิริยาที่ใช้ต้องเลือกทำปฏิกิริยากับกำมะถันเท่านั้น และความร้อนที่ใช้ในกระบวนการต้องไม่ทำลายโครงสร้างของถ่านหิน สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ ตัวทำปฏิกิริยาจะแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยากับกำมะถันในถ่านหินและแพร่ออกมาหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว ซึ่งอัตราเร็วของการแพร่ช้ามาก ปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นแบบ Diffusion control สามารถลดเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาได้โดยใช้ถ่านหินขนาดเล็ก และอัตราเร็วในการกวนสูง ปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในการกำจัดกำมะถันสามารถแบ่งได้ตามการกำจัดกำมะถัน คือ การกำจัดกำมะถันไพไรต์ การกำจัดกำมะถันซัลเฟต (กำมะถันซัลเฟตมีปริมาณน้อยมากจึงไม่ค่อยมีความสำคัญในเชิงการวิเคราะห์เมื่อเทียบกับกำมะถันชนิดอื่น) และการกำจัดกำมะถันอินทรีย์ ดังนี้

2.6.3.1 การกำจัดกำมะถันไพไรต์ [4]

กำมะถันไพไรต์สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันกับสารละลายด่าง

48916

1. <u>ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน</u> เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับกำมะถันไพไรต์ในถ่านหิน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารประกอบซัลไฟด์ของเหล็กกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังสมการ

$$FeS_2\,(s) + H_2\,(g) \longrightarrow FeS\,(s) + H_2S\,(g) \qquad \ldots(2.4)$$

2. <u>ปฏิกิริยาออกซิเดชัน</u> เป็นปฏิกิริยาที่ใช้สารเคมีที่มีสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ เช่น สารประกอบพวกเฟอริกซัลเฟต สารละลายเฟอริกคลอไรด์ หรือก๊าซออกซิเจน ทำปฏิกิริยากับกำมะถันไพไรต์ในถ่านหิน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นธาตุกำมะถันอิสระหรือซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) กับเฟอรัสไอออน (Fe^{2+})

กรณีใช้เฟอริกซัลเฟตในการกำจัดกำมะถันไพไรต์ ปฏิกิริยาที่เกิด คือ

$$FeS_2\,(s) + Fe_2(SO_4)_3\,(l) \longrightarrow 3FeSO_4\,(l) + 2S\,(s) \qquad \ldots(2.5)$$

กรณีใช้เฟอริกซัลเฟตและน้ำในการกำจัดกำมะถันไพไรต์ ปฏิกิริยาที่เกิด คือ

$$FeS_2\,(s) + 7\,Fe_2(SO_4)_3\,(l) + 8H_2O\,(l) \longrightarrow 15FeSO_4\,(l) + 8H_2SO_4\,(l) \qquad \ldots(2.6)$$

กรณีใช้ก๊าซออกซิเจนในการกำจัดกำมะถันไพไรต์ ปฏิกิริยาที่เกิด คือ

$$FeS_2\,(s) + 3O_2\,(g) \longrightarrow FeSO_4\,(l) + SO_2\,(g) \qquad \ldots(2.7)$$

กรณีใช้ก๊าซออกซิเจนและน้ำในการกำจัดกำมะถันไพไรต์ ปฏิกิริยาที่เกิด คือ

$$FeS_2\,(s) + 3.5O_2\,(g) + H_2O\,(l) \longrightarrow FeSO_4\,(l) + H_2SO_4\,(l) \qquad \ldots(2.8)$$

การเติมก๊าซออกซิเจนเข้าร่วมทำปฏิกิริยากับสารละลายเฟอริกซัลเฟตและน้ำในสมการ 2.9 จะทำให้สามารถนำสารละลายเฟอริกซัลเฟตกลับมาใช้ใหม่ โดยก๊าซออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับสารละลายของเกลือเฟอรัสที่เกิดขึ้นได้สารละลายเฟอริกซัลเฟตดังสมการ 2.10

$$2FeS_2\,(s) + 14Fe_2(SO_4)_3\,(l) + 16H_2O\,(l) + 7.5O_2\,(g) \longrightarrow 15Fe_2(SO_4)_3\,(l) + 15H_2O\,(l) + H_2SO_4\,(l) \qquad \ldots(2.9)$$

$$2FeSO_4\,(l) + H_2SO_4\,(l) + 0.5O_2\,(g) \rightarrow Fe_2(SO_4)_3\,(l) + H_2O\,(l) \quad \ldots(2.10)$$

3. <u>ปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันกับสารละลายด่าง</u> เป็นการใช้สารละลายด่าง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกำมะถันไพไรต์ในถ่านหินแล้วแยกกำมะถันออกมาในรูปผลิตภัณฑ์เกลือซัลไฟด์

$$8FeS_2\,(s) + 30NaOH\,(l) \rightarrow 4Fe_2O_3\,(s) + 14Na_2S\,(s) + Na_2S_2O_3\,(s) + 15H_2O\,(l) \quad \ldots(2.11)$$

2.6.3.2 การกำจัดกำมะถันอินทรีย์ [4]

กำมะถันอินทรีย์สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาดีคอมโพซิชัน ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันกับสารละลายด่าง

1. <u>ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน</u> เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับกำมะถันอินทรีย์ในรูปต่างๆ แล้วให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังตัวอย่าง

<u>อีเทนไธออล</u>

$$CH_3CH_2SH\,(s) + H_2\,(g) \rightarrow CH_3CH_3\,(s) + H_2S\,(g) \quad \ldots(2.12)$$

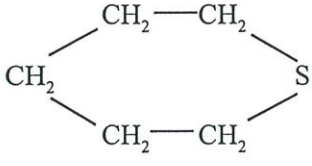
<u>2-โพรเพนไธออล</u>

$$(CH_3)_2CHSH\,(s) + H_2\,(g) \rightarrow CH_3CH_2CH_3\,(s) + H_2S\,(g) \quad \ldots(2.13)$$

<u>3-ไธอะเพนเทน</u>

$$CH_3CH_2SCH_2CH_3\,(s) + 2H_2\,(g) \rightarrow 2CH_3CH_3\,(s) + H_2S\,(g) \quad \ldots(2.14)$$

<u>ไธอะไซโคลเฮกเซน</u>



$$S\,(s) + 2H_2\,(g) \rightarrow C_5H_{12}\,(s) + H_2S\,(g) \quad \ldots(2.15)$$

2. ปฏิกิริยาดีคอมโพซิชัน เป็นปฏิกิริยาการสลายตัวของกำมะถันอินทรีย์โดยอาศัยความร้อนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 300 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ประเภทสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเนื่องจากกำมะถันอินทรีย์เป็นสารประกอบพวกเฮเทอโรไซคลิกซึ่งมีพันธะที่เสถียรมาก ปฏิกิริยาดีคอมโพซิชันของสารประกอบพวกนี้จึงเกิดยากกว่าพวกพันธะ C-S ซึ่งสลายตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิไม่สูงนัก ดังตัวอย่าง

อีเทนไธออล

$$CH_3CH_2SH\ (s) \longrightarrow CH_2{=}CH_2\ (s) + H_2S\ (g) \qquad \ldots(2.16)$$

2-โพรเพนไธออล

$$(CH_3)_2CHSH\ (s) \longrightarrow CH_3CH{=}CH_2\ (s) + H_2S\ (g) \qquad \ldots(2.17)$$

3-ไธอะเพนเทน

$$CH_3CH_2SCH_2CH_3\ (s) \longrightarrow 2CH_2{=}CH_2\ (s) + H_2S\ (g) \qquad \ldots(2.18)$$

ไธอะไซโคลเฮกเซน

$$(CH_2)_5S\ (s) \longrightarrow CH_2{=}CHCH_2CH{=}CH_2\ (s) + H_2S\ (g) \qquad \ldots(2.19)$$

3,4-ไดไธอะเฮกเซน

$$CH_3CH_2SSCH_2CH_3\ (s) \longrightarrow CH_2{=}CH_2\ (s) + CH{\equiv}CH\ (s) + 2H_2S\ (g) \qquad \ldots(2.20)$$

3. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาที่ใช้สารออกซิไดส์ เช่น ก๊าซออกซิเจนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับกำมะถันอินทรีย์ในรูปต่างๆ แล้วให้ผลิตภัณฑ์ประเภทสารประกอบพวกกรดซัลโฟนิก ตัวอย่างเช่น สารประกอบพวกเมอร์แคปแทนกับก๊าซออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิด คือ

$$RSH\ (s) + 1.5O_2\ (g) \longrightarrow RSO_2OH\ (s) \qquad \ldots(2.21)$$

กรณีสารประกอบพวกอัลคิลซัลไฟด์กับก๊าซออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิด คือ

$$2RSSR\ (s) + 2H_2O\ (l) + 5O_2\ (g) \longrightarrow 4RSO_3H\ (s) \qquad \ldots(2.22)$$

นอกจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกำมะถันอินทรีย์ในรูปสารประกอบที่กล่าวมาแล้ว ยังมีกำมะถันอินทรีย์ในรูปของสารประกอบไธออล สารประกอบไดซัลไฟด์ สารประกอบที่มีพันธะ C-S และสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นแบบวงแหวน เมื่อทำปฏิกิริยาแล้วจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดซัลโฟนิกเช่นกัน

4. <u>ปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันกับสารละลายด่าง</u> เป็นการใช้สารละลายด่าง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกำมะถันอินทรีย์ในถ่านหินแล้วแยกกำมะถันออกมาในรูปผลิตภัณฑ์เกลือซัลไฟด์ ดังตัวอย่าง สารประกอบเมอร์แคปแทนในถ่านหินกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปฏิกิริยาที่เกิดคือ

$$RSH\ (s) + 2NaOH\ (l) \longrightarrow Na_2S\ (s) + 2H_2O\ (l) + R'CH{=}CH_2\ (s) \qquad \ldots(2.23)$$

R คือ $R'CH{=}CH_2$

กรณีสารประกอบซัลไฟด์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปฏิกิริยาที่เกิด คือ

$$RCH_2CH_2SCH_2CH_2R'\ (s) + 2NaOH\ (l) \longrightarrow RCH{=}CH_2\ (s) + R'CH{=}CH_2\ (s) + Na_2S\ (s) + 2H_2O\ (l) \qquad \ldots(2.24)$$

2.7 ผลการทดลองและงานวิจัยทั้งภายในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง

P. Prasassarakich และ V. Punsuvon [9] ศึกษาการกำจัดกำมะถันในถ่านหินโดยใช้สารละลายเฟอริกซัลเฟตเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาและหาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ คือ ปริมาณถ่านหิน ความเข้มข้นของสารละลาย อัตราการกวน อุณหภูมิ เวลา และความดันของออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยา และศึกษาการรีเจนเนอเรชันสารละลายเฟอริกซัลเฟตโดยใช้ก๊าซออกซิเจน พบว่าการลดปริมาณกำมะถันจะเพิ่มขึ้น เมื่อลดปริมาณถ่านหิน เพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิ และเวลา แต่อัตราการกวนไม่ค่อยมีผล และการใช้ก๊าซออกซิเจนร่วมกับสารละลายเฟอริกซัลเฟตในปฏิกิริยาออกซิเจนสามารถลดปริมาณกำมะถันได้มากกว่าการใช้สารละลายเฟอริกซัลเฟตเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ก๊าซออกซิเจนยังมีอิทธิพลต่อการรีเจนเนอเรชันของสารละลายเฟอริกซัลเฟตโดยทำให้สามารถนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ได้ตลอดเวลา สภาวะที่

เหมาะสม คือ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัมต่อปริมาณสารละลาย 500 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหิน 100-250 ไมครอน ความเข้มข้นของสารละลาย 1 โมลาร์ ที่อัตราการกวน 1,000-1,400 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และความดันของก๊าซออกซิเจน 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 29 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันรวมทั้งหมด ลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ได้ 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันไพไรต์ทั้งหมด และลดปริมาณเถ้าได้ 37 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเถ้าทั้งหมด

P.E. Araya และคณะ [11] ศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของถ่านหินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตัวแปรที่ศึกษา คือ ขนาดถ่านหิน ความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิ และเวลา พบว่าการลดปริมาณเถ้าและปริมาณกำมะถันรวมจะเพิ่มขึ้น เมื่อลดขนาดถ่านหิน เพิ่มอุณหภูมิ และเวลา สภาวะที่เหมาะสม คือ ขนาดถ่านหิน 125-177 ไมครอน ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันรวมทั้งหมด และลดปริมาณเถ้าได้ 29 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเถ้าทั้งหมด

P. Prasassarakich และ G. Sirijeerachai [13] ศึกษาการกำจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต สภาวะที่เหมาะสม คือ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อปริมาณสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 500 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ความเข้มข้นของสารละลาย 0.2 โมลาร์ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 46 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันรวมทั้งหมด ลดกำมะถันไพไรต์ได้ 71 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันไพไรต์ทั้งหมด และลดกำมะถันซัลเฟตได้ 92 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันซัลเฟตทั้งหมด

S. Mukherjee และ P.C. Borthakur [14] ศึกษาการกำจัดกำมะถันและปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ในถ่านหินซับบิทูมินัสที่มีปริมาณกำมะถันสูง ประมาณ 4.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 95 และ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง พบว่าผลของการใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 16-30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันรวมทั้งหมด และลดปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ได้ 2-19 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแร่ธาตุทั้งหมด และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 26-43 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันรวมทั้งหมด และลดปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ได้ 1-11 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแร่ธาตุทั้งหมด ส่วนผลของการใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์แล้วกรองด้วยสารละลายกรดอ่อน 10 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 22-35 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันรวมทั้งหมด และลดปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ได้ 28-45 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแร่ธาตุทั้งหมด และที่อุณหภูมิ

150 องศาเซลเซียส ลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 34-53 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันรวมทั้งหมด และลดปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ได้ 39-68 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแร่ธาตุทั้งหมด

H. Kara และ R. Ceylan [15] ศึกษาการกำจัดกำมะถันจากถ่านหินลิกไนต์ 4 แห่ง โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ และ Molten caustic ของ NaOH/Coal:1/1 โดยน้ำหนัก พบว่าชนิดของถ่านหินในแต่ละแห่งมีผลต่อการกำจัดกำมะถัน สภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ ปริมาณถ่านหิน 8 กรัมต่อปริมาณสารละลาย 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลาย 5 โมลาร์ ขนาดถ่านหิน 74-149 ไมครอน อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 63 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันรวมทั้งหมด และลดปริมาณเถ้าได้ 65 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเถ้าทั้งหมด สภาวะที่เหมาะสมของการใช้ Molten Caustic (NaOH/Coal:1/1 โดยน้ำหนัก) คือ ขนาดถ่านหิน 74-149 ไมครอน อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที สามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 84 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันรวมทั้งหมด และลดปริมาณเถ้าได้ 91 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเถ้าทั้งหมด

สำหรับงานวิจัยนี้นำเสนอการกำจัดกำมะถันด้วยปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันด้วยสารละลายด่าง คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายด่างผสมในอัตราการส่วนโดยปริมาตร 1/1/1 และเนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายด่างแก่อื่นๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นในงานนี้จะศึกษาปริมาณถ่านหินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 50/300, 30/200, 30/300, 30/400 และ 8/400 กรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมลาร์ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทดลองกับสารละลายด่างชนิดอื่นๆ ต่อไป ขนาดของถ่านหินที่ศึกษาเล็กกว่า 250, 250-850 และใหญ่กว่า 850 ไมครอน อัตราการกวนที่ 200, 500 และ 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 50, 80 และ 100 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 2 และ 4 ชั่วโมง ค่าความเข้มข้นของสารละลาย ขนาดของถ่านหิน อุณหภูมิ และเวลาที่เลือกศึกษามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆ เพื่อการเปรียบเทียบผลของการกำจัดกำมะถัน สำหรับค่าอัตราการกวนที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำเนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของอุปกรณ์

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบตัวแปรที่ศึกษาและผลการทดลองของงานวิจัยอื่นกับตัวแปรของงานวิจัยนี้

งานวิจัย	ตัวแปรที่ทำการศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม	ผลที่ได้รับ
Prasassarakich และ Punsuvon [9] กำจัดกำมะถันด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้สารละลาย $Fe_2(SO_4)_3$	ปริมาณถ่านหิน (25, 50, 100 และ 150 กรัม) ความเข้มข้นของสารละลาย (0.5, 1.0 และ 1.5 โมลาร์) อัตราการกวน (700, 1,400 และ 1,800 รอบต่อนาที) อุณหภูมิ (80, 100 และ 125 °ซ) เวลา (2, 3 และ 4 ชั่วโมง)	ปริมาณถ่านหิน 50 กรัมต่อสารละลาย 500 มิลลิลิตร (1:10) ความเข้มข้นของสารละลาย 1.0 โมลาร์ ขนาดถ่านหิน 100-250 ไมครอน อัตราการกวน 1,000-1,400 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 °ซ เวลา 4 ชั่วโมง	% De-ash = 37 % % De-S = 29 %
Araya และ คณะ [11] กำจัดกำมะถันด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้สารละลาย NaOH	ความเข้มข้นของสารละลาย (0.125, 0.25, 0.5, 1.25, 2.0, 2.5 และ 3.0 โมลาร์) ขนาดถ่านหิน (125-177, 250-355 และ 850-1,400 ไมครอน) อุณหภูมิ (50 และ 80 °ซ) เวลา (0.5, 2, 8 และ 16 ชั่วโมง)	ปริมาณถ่านหิน 4 กรัมต่อสารละลาย 200 มิลลิลิตร (1:50) ความเข้มข้นของสารละลาย 0.25 โมลาร์ ขนาดถ่านหิน 125-177 ไมครอน อุณหภูมิ 80 °ซ เวลา 16 ชั่วโมง	% De-ash = 29 % % De-S = 30 %
Prasassarakich และ Sirijeerachai [13] กำจัดกำมะถันด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้สารละลาย Na_2CO_3	ปริมาณถ่านหิน (50, 100 และ 500 กรัม) ความเข้มข้นของสารละลาย (0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมลาร์) ขนาดถ่านหิน (เล็กกว่า 150, 150-250, 250-500, 500-850, 850-1,000 และ 1,000-2,000 ไมครอน) อุณหภูมิ (80, 100 และ 120 °ซ) เวลา (0.5, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง)	ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มิลลิลิตร (1:5) ความเข้มข้นของสารละลาย 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อัตราการกวน 1,000-1,400 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 °ซ เวลา 1 ชั่วโมง	% De-S = 46 %

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบตัวแปรที่ศึกษาและผลการทดลองของงานวิจัยอื่นกับตัวแปรของงานวิจัยนี้ (ต่อ)

งานวิจัย	ตัวแปรที่ทำการศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม	ผลที่ได้รับ
Mukherjee และ Borthakur [14] กำจัดกำมะถันโดยใช้สารละลาย KOH	อุณหภูมิ (95 และ 150 °ซ)	ปริมาณถ่านหิน 10 กรัมต่อสารละลาย 50 มิลลิลิตร (1:5) ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 212 ไมครอน อุณหภูมิ 150 °ซ เวลา 8 ชั่วโมง	% De-S = 26-43 %
Kara และ Ceylan [15] กำจัดกำมะถันโดยใช้สารละลาย NaOH และ Molten caustic (NaOH/Coal:1/1 โดยน้ำหนัก)	การใช้ NaOH ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (1.25, 2.5, 3.75 และ 5 โมลาร์) อุณหภูมิ (60, 65, 70 และ 75 °ซ) เวลา (4, 8 และ 16 ชั่วโมง) การใช้ Molten caustic (NaOH/Coal:1/1 โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิ (300 และ 450 °ซ) เวลา (15, 30, 45 และ 60 นาที)	การใช้ NaOH ปริมาณถ่านหิน 8 กรัมต่อสารละลาย 400 มิลลิลิตร (1:50) ขนาดถ่านหิน 74-149 ไมครอน ความเข้มข้นของสารละลาย 5 โมลาร์ อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 8 ชั่วโมง การใช้ Molten caustic (NaOH/Coal:1/1 โดยน้ำหนัก) ขนาดถ่านหิน 74-149 ไมครอน อุณหภูมิ 450 °ซ เวลา 30 นาที	การใช้ NaOH % De-ash = 65 % % De-S = 63 % การใช้ Molten caustic % De-ash = 91 % % De-S = 84 %
งานวิจัยนี้	ชนิดของสารละลายด่าง (NaOH, KOH , LiOH และผสม) ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (50/300, 30/200, 30/300, 30/400 และ 8/400 กรัมต่อมิลลิลิตร) ความเข้มข้นของสารละลาย (0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมลาร์) ขนาดถ่านหิน (เล็กกว่า 250, 250-850 และใหญ่กว่า 850 ไมครอน) อัตราการกวน (200, 500 และ 800 รอบต่อนาที) อุณหภูมิ (50, 80 และ 100 °ซ) เวลา (1, 2 และ 4 ชั่วโมง)		

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

3.1.1 ถ่านหินจากแอ่งงาว จ.ลำปาง จัดเป็นถ่านหินลิกไนต์ ที่มีสารระเหยสูง มีลักษณะสีดำเป็นมัน น้ำหนักเบา รอยแตกเป็นรูปคล้ายฝาหอย เนื้อถ่านหินแน่น

3.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์

3.1.3 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์

3.1.4 ลิเทียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์

3.1.5 กรดเบนโซอิกบริสุทธิ์ สำหรับปรับความถูกต้องของเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์

3.1.6 น้ำกลั่น

3.1.7 น้ำประปา

3.1.8 เมทิลออเรนจ์

3.1.9 โซเดียมคาร์บอเนต เกรดวิเคราะห์

3.1.10 สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์

3.1.11 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เกรดวิเคราะห์

3.1.12 แบเรียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์

3.1.13 ซิลเวอร์ไนเตรต เกรดวิเคราะห์

3.1.14 สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % โดยปริมาตร

3.1.15 น้ำโบรมีนอิ่มตัว เกรดวิเคราะห์

3.1.16 สารละลายกรดไนตริก เกรดวิเคราะห์

3.1.17 แลนทานัมคลอไรด์ ($LaCl_3 7H_2O$) เกรดวิเคราะห์

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 Atomic absorption / Flame emission spectrophotometer รุ่น AA-680

3.2.2 Automatic bomb calorimeter

3.2.3 เตาเผา รุ่น 6000 Furnace

3.2.4 ตู้อบ

3.2.5 ขวด 3 คอ ขนาด 1 ลิตร

3.2.6 ชุดปั่นกวนเชิงกล

3.2.7 Heating mantle

3.2.8 ชุดควบแน่น

3.2.9 เครื่องวัดอุณหภูมิของน้ำรอบชุดบอมบ์ในเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์

3.2.10 ถังบรรจุก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ และสายท่อสำหรับบรรจุก๊าซออกซิเจน

3.2.11 อุปกรณ์สำหรับอัดเม็ด

3.2.12 ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน

3.2.13 Hot plate

3.2.14 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.2.15 เดซิกเคเตอร์

3.2.16 ตะเกียงบุนเสนพร้อมขาตั้ง

3.2.17 อุปกรณ์สำหรับบดถ่านหิน

3.2.18 ตะแกรงร่อน เบอร์ 20 และ 60

3.2.19 เทอร์โมมิเตอร์ 100 องศาเซลเซียส

3.2.20 นาฬิกาจับเวลา

3.2.21 ครูซิเบิลแบบ Porcelain

3.2.22 ครูซิเบิลแบบโลหะ

3.2.23 บีกเกอร์ขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร

3.2.24 ขวดวัดปริมาตรขนาด 10, 100 และ 250 มิลลิลิตร

3.2.25 ปิเปตขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร

3.2.26 กระดาษกรองเบอร์ 1 และ เบอร์ 42

3.2.27 กระดาษทดสอบความเป็นกรด-เบส

3.2.28 กระจกนาฬิกา

3.2.29 เส้นลวดให้ความร้อน (Firing wire)

3.2.30 เส้นด้าย

3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน

นำตัวอย่างถ่านหินจากแอ่งงาว จังหวัดลำปาง มาผึ่งให้สมดุลกับอากาศเป็นเวลา 1 วัน หลังจากนั้นนำไปบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงร่อน เบอร์ 60 (ขนาดเมช 250 ไมครอน) และ เบอร์ 20 (ขนาดเมช 850 ไมครอน) ได้ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน ระหว่าง 250 ถึง 850 ไมครอน และใหญ่กว่า 850 ไมครอน

3.3.2 การทำปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชัน

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินใส่ในขวด 3 คอ

2. เติมสารละลายด่าง จากนั้นนำวางใน Heating mantle แล้วปรับอุณหภูมิตามที่ต้องการศึกษา

3. เมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการ เปิดเครื่องปั่นกวนและปรับอัตราการกวนตามที่ต้องการศึกษา

4. ตั้งทิ้งไว้ตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา จากนั้นนำออกจาก Heating mantle และกรองถ่านหินออกจากสารละลายด่าง ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดสารละลายด่าง

5. นำถ่านหินไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

6. นำออกมาผึ่งให้สมดุลกับอากาศเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำถ่านหินที่ได้ไปบดให้มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมครอน แล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถัน

3.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหิน

วิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินก่อนและหลังทำปฏิกิริยา คือ ค่าร้อยละของเถ้า (ASTM D-3174) [24] ค่าความร้อนของถ่านหิน (ASTM D-2015) [25] ค่าร้อยละของกำมะถันรวม (ASTM D-3177) [26] ค่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟต (ASTM D-2492) [27] ค่าร้อยละกำมะถันของไพไรต์ (ASTM D-2492) [27] และคำนวณค่าร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ ดังนี้

3.3.3.1 ค่าร้อยละของเถ้า [24]

<u>อุปกรณ์และเครื่องมือ</u>

1. เตาเผา รุ่น 6000 Furnace
2. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. เดซิกเคเตอร์
4. ตะเกียงบุนเสนพร้อมขาตั้ง
5. ครูซิเบิลแบบ Porcelain

<u>สารเคมี</u>

ถ่านหินจากแอ่งงาว

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. เผาครูซิเบิลแบบ Porcelain พร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักครูซิเบิลพร้อมฝา

2. ชั่งตัวอย่างถ่านหินใส่ครูซิเบิลประมาณ 1 กรัม บันทึกน้ำหนักถ่านหินที่ใช้จริง

3. เผาครูซิเบิลด้วยตะเกียงบุนเสนโดยใช้ไฟอ่อนๆ เมื่อควันหมดแล้ว เผาต่อจนกระทั่งถ่านหินร้อนแดงจากนั้นนำตะเกียงออกแล้วปิดฝา

4. นำครูซิเบิลเข้าเตาเผาโดยเปิดฝาออก เผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5. นำครูซิเบิลมาทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลพร้อมฝาและเถ้าและบันทึกผล

6. คำนวณหาค่าร้อยละของเถ้า ดังสมการ 3.1

<u>สูตรคำนวณ</u>

$$A = [(W_1 - W_2) / W] \times 100 \quad \ldots(3.1)$$

เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า

W_1 = น้ำหนักของเถ้าและครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

3.3.3.2 ค่าความร้อนของถ่านหิน [25]

<u>อุปกรณ์และเครื่องมือ</u>

1. Automatic bomb calorimeter
2. เครื่องวัดอุณหภูมิของน้ำรอบชุดบอมบ์ในเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์
3. ถังบรรจุก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ และสายท่อสำหรับบรรจุก๊าซออกซิเจน
4. อุปกรณ์สำหรับอัดเม็ด
5. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. ครูซิเบิลโลหะ
7. บีกเกอร์ขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร
8. ปิเปตขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
9. เส้นลวดให้ความร้อน
10. เส้นด้าย

<u>สารเคมี</u>

1. ถ่านหินจากแอ่งงาว

2. กรดเบนโซอิกบริสุทธิ์ สำหรับปรับความถูกต้องของเครื่อง

3. น้ำกลั่น

4. น้ำประปา

5. Wash solution เตรียมโดยเติมสารละลายเมทิลออเรนจ์ 1 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.0725 N

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1.2 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิลโลหะ จากนั้นนำไปอัดเม็ดด้วยอุปกรณ์สำหรับอัดเม็ด โดยใส่เส้นด้ายยาวประมาณ 12 เซนติเมตร ลงไปในอุปกรณ์อัดเม็ดด้วยเพื่อเป็นตัวนำความร้อนมายังถ่านหินอัดแท่ง เมื่ออัดเม็ดเสร็จแล้วชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของถ่านหินอีกครั้ง

2. นำครูซิเบิลใส่ลงในวงยึด (Ring support) จากนั้นขึงเส้นลวดให้ความร้อนที่มีความยาว 6 เซนติเมตร ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ข้างให้ตึง แล้วนำปลายด้ายที่เหลือจากการอัดตัวอย่างผูกที่กึ่งกลางของลวดให้ความร้อน

3. ปิเปตน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวบอมบ์เพื่อดูดกลืนไอน้ำจากการสันดาป แล้วประกอบชุดบอมบ์ ปิดฝาให้สนิท

4. ค่อยๆ อัดก๊าซออกซิเจนลงในชุดบอมบ์ผ่านทางท่อบรรจุก๊าซ (Filling tube) อย่างช้าๆ ให้ได้ความดันประมาณ 30 บาร์

5. ใส่น้ำประปา 2,100 กรัม ในภาชนะบรรจุชุดบอมบ์ (Calorimeter vessel) จากนั้นใส่ชุดบอมบ์ลงไป

6. เปิดเครื่องวิเคราะห์และเครื่องวัดอุณหภูมิ จากนั้นปรับอุณหภูมิของน้ำรอบชุดบอมบ์และอุณหภูมิของน้ำรอบภาชนะบรรจุชุดบอมบ์ (Water Jacket) ให้แตกต่างกันไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส เมื่อสัญญาณไฟขึ้นที่ปุ่ม “READY” แสดงว่าเครื่องพร้อมจะทำงาน วัดและบันทึกอุณหภูมิตอนเริ่มต้น (T_2)

7. กดปุ่ม “FIRE” เพื่อเผาไหม้ตัวอย่าง อ่านค่าและบันทึกอุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ (T_1)

8. นำชุดบอมบ์ออกจากภาชนะบรรจุชุดบอมบ์ ปล่อยก๊าซออกซิเจนที่เหลือออกก่อนจากนั้นเปิดแหวนล็อคตัวบอมบ์แล้วใช้สารละลาย Wash solution ล้างข้างในชุดบอมบ์และตัวครูซิเบิลโลหะ (จนกระทั่งหมดความเป็นกรด สังเกตได้จากสารละลายที่ล้างออกมาไม่เป็นสีชมพู) เก็บสารละลายที่ล้างไว้ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

9. วัดความยาวของเส้นลวดให้ความร้อนและเส้นด้ายที่เหลือหลังการเผาไหม้ และบันทึกค่า

10. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 8 มาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.0725 N จนได้จุดยุติเป็นสีเหลือง บันทึกค่าปริมาตรสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไป

11. นำสารละลายจากข้อ 10 มาวิเคราะห์หาค่าร้อยละของกำมะถันรวม ดังแสดงในหัวข้อ 3.3.3.3

12. เมื่อได้ค่าร้อยละของกำมะถันรวมแล้ว นำมาคำนวณหาค่าความร้อนของถ่านหิน ดังสมการ 3.3

13. สำหรับการปรับความถูกต้องของเครื่อง (เปลี่ยนตัวอย่างถ่านหินเป็นกรดเบนโซอิกโดยชั่งตัวอย่างประมาณ 1.3 กรัม) ให้ทำเหมือนข้อ 1 ถึง ข้อ 11 และนำมาคำนวณหาค่า Energy equivalent of calorimeter ดังสมการ 3.2

<u>ข้อมูลเพิ่มเติม</u> [28]

- ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเกิดกรดไนตริก = 1.40 แคลอรีต่อปริมาตรของการเกิดกรดไนตริก
- ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเกิดกรดซัลฟิวริก = 22.6 แคลอรีต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของซัลเฟอร์
- ปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาของเส้นลวดให้ความร้อน = 335 แคลอรีต่อกรัม
- ปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาของเส้นด้าย = 4,180 แคลอรีต่อกรัม
- ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเส้นลวดต่อความยาวของเส้นลวด = 2.479×10^{-2} กรัมต่อเซนติเมตร
- ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเส้นด้ายต่อความยาวของเส้นด้าย = 7.205×10^{-3} กรัมต่อเซนติเมตร

<u>หมายเหตุ</u> เมื่อเกิดการเผาไหม้ก๊าซไนโตรเจนที่อยู่ในชุดบอมบ์จะถูกออกซิไดส์เกิดเป็นไนตริกออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถรวมตัวกับละอองน้ำเกิดเป็นกรดไนตริก ดังสมการ

$$N_2 (g) + O_2 (g) \rightarrow 2NO (g)$$

$$2NO (g) + O_2 (g) \rightarrow 2NO_2 (g)$$

$$3NO_2 (g) + H_2O (l) \rightarrow 2HNO_3 (l) + NO (g)$$

สำหรับกำมะถันที่อยู่ภายในถ่านหินจะถูกออกซิไดส์เกิดเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ซึ่งสามารถรวมตัวกับละอองน้ำเกิดเป็นกรดซัลฟิวริก ดังสมการ

$$S\,(s) + O_2\,(g) \rightarrow SO_2\,(g)$$

$$2SO_2\,(g) + O_2\,(g) \rightarrow 2SO_3\,(l)$$

$$SO_3\,(l) + H_2O\,(l) \rightarrow H_2SO_4\,(l)$$

สูตรคำนวณ

- สำหรับหาค่า Energy equivalent of calorimeter จากการปรับความถูกต้องของเครื่องด้วยกรดเบนโซอิก ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อนของถ่านหิน

$$\text{Energy equivalent of calorimeter (E)} = [(HV_{benzoic} \times g) + e_1 + e_2 + e_3 + e_4] / \Delta T \quad \ldots(3.2)$$

- สำหรับหาค่าความร้อนของถ่านหิน

$$\text{ค่าความร้อนของถ่านหิน (HV)} = [(\Delta T \times E) - e_1 - e_2 - e_3 - e_4] / g \quad \ldots(3.3)$$

เมื่อ $HV_{benzoic}$ = ค่าความร้อนของกรดเบนโซอิก (แคลอรีต่อกรัม)

HV = ค่าความร้อนของถ่านหิน (แคลอรีต่อกรัม)

E = ค่า Energy equivalent of calorimeter (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)

W_3 = น้ำหนักของถ่านหินหลังอัดแท่ง (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของถ่านหินก่อนอัดแท่ง (กรัม)

g = น้ำหนักของถ่านหินที่ใช้ (กรัม) = $W_3 - W_4$

C_1 = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต และครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

C_2 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

P = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต (กรัม) = $C_1 - C_2$

T_1 = อุณหภูมิของน้ำรอบชุดบอมบ์หลังเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)

T_2 = อุณหภูมิของน้ำรอบชุดบอมบ์ก่อนเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)

ΔT = อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส) = $T_1 - T_2$

V = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.0725 N ที่ใช้ไปในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก (แคลอรี) = (1.4) x (V)

$\%S$ = ร้อยละของกำมะถันรวม (คำนวณจากสมการ 3.4)

= $(P / g) \times 13.738$

e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดซัลฟิวริก (แคลอรี) = $(22.6) \times (\%S)$

$L_{ลวด}$ = ความยาวเส้นลวดที่ถูกเผาไหม้ (เซนติเมตร)

e_3 = การแก้ค่าความร้อนที่เกิดจากเส้นลวดเผาไหม้ (แคลอรี)

= $(335) \times (2.479 \times 10^{-2}) \times (L_{ลวด})$

$L_{ด้าย}$ = ความยาวเส้นด้ายที่ถูกเผาไหม้ (เซนติเมตร)

e_4 = การแก้ค่าความร้อนที่เกิดจากเส้นด้ายเผาไหม้ (แคลอรี)

= $(4,180) \times (7.205 \times 10^{-3}) \times (L_{ด้าย})$

3.3.3.3 ค่าร้อยละของกำมะถันรวม [26]

<u>อุปกรณ์และเครื่องมือ</u>

1. เตาเผา รุ่น 6000 Furnace
2. ตู้อบ
3. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
4. Hot plate
5. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. เดซิกเคเตอร์
7. ตะเกียงบุนเสนพร้อมขาตั้ง
8. ครูซิเบิลแบบ Porcelain
9. กระดาษกรองเบอร์ 1 และ 42
10. กระดาษทดสอบความเป็นกรด-เบส

<u>สารเคมี</u>

1. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ความถ่วงจำเพาะ 0.90
2. น้ำกลั่น
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (1+9) เตรียมโดยผสมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ความถ่วงจำเพาะ 1.19 กับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1/9 โดยปริมาตร
4. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ เตรียมโดยละลายแบเรียมคลอไรด์ 100 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
5. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต เตรียมโดยละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.43 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 10 ในหัวข้อ 3.3.3.2 มาปรับค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นให้ได้ประมาณ 5.5-7

2. ต้มสารละลายที่ปรับค่าความเป็นกรด-เบสแล้วจนเดือด จากนั้นนำมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 และล้างด้วยน้ำร้อนต่อ 5-6 ครั้ง ปรับปริมาตรด้วยน้ำร้อนให้ได้ 250 มิลลิลิตร

3. หยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (1+9) จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงไป นำสารละลายที่ได้ไปต้มให้เดือดและเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ ลงไป 10 มิลลิลิตร ด้วยปิเปตอย่างช้าๆ พร้อมกับคนไปด้วยตลอดเวลา

4. นำไปต้มให้เดือดนาน 15 นาที แล้วนำมาตั้งทิ้งไว้ไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ที่เป็น Fine ashless paper แล้วล้างตะกอนแบเรียมซัลเฟตด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้งจนหมดคลอไรด์ ซึ่งทดสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต

5. อบครูซิเบิลแบบ Porcelain พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักแล้ว บันทึกผล

6. นำกระดาษกรองที่กรองตะกอนของแบเรียมซัลเฟต มาใส่ในครูซิเบิล แล้วเผากระดาษกรองจนไหม้หมดโดยใช้ตะเกียงบุนเสน จากนั้นนำครูซิเบิลเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

7. นำครูซิเบิลมาทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ บันทึกน้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมตะกอนของแบเรียมซัลเฟต

8. คำนวณหาค่าร้อยละของกำมะถันรวม

สูตรคำนวณ

$$\text{ร้อยละของกำมะถันรวม (\% S)} = 13.738 \times (P / g) \quad \ldots(3.4)$$

เมื่อ

$\%S$ = ร้อยละของกำมะถันรวม

W_3 = น้ำหนักของถ่านหินหลังอัดแท่ง (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของถ่านหินก่อนอัดแท่ง (กรัม)

g = น้ำหนักของถ่านหินที่ใช้ (กรัม) = $W_3 - W_4$

C_1 = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต และครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

C_2 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

P = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต (กรัม) = $C_1 - C_2$

หมายเหตุ แสดงที่มาของสูตร

ปริมาณตะกอนแบเรียมซัลเฟต	233.392	กรัม จะเป็นซัลเฟอร์	=	32.064	กรัม
ปริมาณตะกอนแบเรียมซัลเฟต	P	กรัม จะเป็นซัลเฟอร์	=	(32.064 / 233.392) x P	กรัม
			=	0.137383 x P	กรัม

ตัวอย่างถ่านหิน	g	กรัม จะมีซัลเฟอร์	=	0.137383 x P	กรัม
ตัวอย่างถ่านหิน	100	กรัม จะมีซัลเฟอร์	=	(0.137383 x P) x (100 / g)	กรัม
			=	13.738 x (P / g)	กรัม
ดังนั้นร้อยละของกำมะถันรวม			=	13.738 x (P / g)	ดังสมการ 3.4

3.3.3.4 ค่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟต [27]

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เตาเผา รุ่น 6000 Furnace
2. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
3. Hot plate
4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. เดซิกเคเตอร์
6. ครูซิเบิลแบบ Porcelain
7. บีกเกอร์ขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร
8. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
9. กระดาษกรองเบอร์ 1 และ 42
10. กระจกนาฬิกา

สารเคมี

1. ถ่านหินจากแอ่งงาว
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4.8 N (2+3) เตรียมโดยผสมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ความถ่วงจำเพาะ 1.19 กับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 2/3 โดยปริมาตร
3. สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 โดยปริมาตร
4. น้ำกลั่น
5. น้ำโบรมีนอิ่มตัว
6. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 14.9 N ความถ่วงจำเพาะ 0.90

7. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1.5 N (1+10) เตรียมโดยผสมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ความถ่วงจำเพาะ 0.90 กับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1/10 โดยปริมาตร

8. เมทิลออเรนจ์ เตรียมโดยละลาย เมทิลออเรนจ์ 0.02 กรัม ในน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร

9. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 N ความถ่วงจำเพาะ 1.19

10. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ เตรียมโดยละลายแบเรียมคลอไรด์ 100 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

11. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต เตรียมโดยละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.43 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. ชั่งตัวอย่างถ่านหินที่จะวิเคราะห์ประมาณ 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์แล้วเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 4.8 N 50 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายเอทิลแอลกฮอล์ 2 หยด นำขึ้นต้มบน Hot plate พร้อมปิดด้วยกระจกนาฬิกาเป็นเวลานาน 30 นาที

3. กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น นำตะกอนและกระดาษกรองที่ได้เก็บไว้วิเคราะห์หาร้อยละของกำมะถันไพไรต์ ส่วนสารละลายเติมน้ำโบรมีน 5 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดอย่างน้อย 5 นาที

4. เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 14.9 N จนกระทั่งสารละลายเป็นด่างเล็กน้อยแล้วเติมให้เกินพอ 5 มิลลิลิตร

5. กรองตะกอนที่ได้ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 1.5 N

6. นำสารละลายมาเติมเมทิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วเติมสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 12 N ลงไปจนสารละลายเป็นกรด

7. ต้มให้เดือดบน Hot plate แล้วค่อยๆ เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์อย่างช้าๆ 10 มิลลิลิตร ต้มสารละลายให้เดือดต่ออีกประมาณ 15 นาที ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง

8. กรองสารละลายผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ที่เป็น Fine ashless paper แล้วล้างตะกอนแบเรียมซัลเฟตด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้งจนหมดคลอไรด์ ซึ่งทดสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต

9. นำตะกอนที่ได้ใส่ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแล้ว (นำไปเผาที่ 800 ± 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) นำเข้าเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 800 ± 25 องศาเซลเซียส ประมาณ 1

ชั่วโมง จึงนำออกจากเตาเผาทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ บันทึกน้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมตะกอนของแบเรียมซัลเฟต

10. ทำ Blank test เหมือนข้อ 1 ถึง ข้อ 9 โดยไม่ใส่ตัวอย่างถ่านหินในการวิเคราะห์

<u>สูตรคำนวณ</u>

ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต (% Sulfate) = 13.735 x [(P – B) / g] ...(3.5)

เมื่อ % Sulfate = ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต

P = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต (กรัม) = C_1- C_2

B = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟตใน Blank (กรัม)

g = น้ำหนักของถ่านหินที่ใช้ (กรัม)

C_1 = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต และครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

C_2 = น้ำหนักครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

3.3.3.5 ค่าร้อยละของกำมะถันไพไรต์ [27]

<u>อุปกรณ์และเครื่องมือ</u>

1. Atomic absorption / Flame emission spectrophotometer รุ่น AA 680
2. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
3. บีกเกอร์ขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร
4. ขวดวัดปริมาตรขนาด 10, 100 และ 250 มิลลิลิตร
5. ปิเปตขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
6. กระดาษกรองเบอร์ 1

<u>สารเคมี</u>

1. สารละลายกรดไนตริก เข้มข้น 2 N (1+7) เตรียมโดยผสมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น ความถ่วงจำเพาะ 1.42 กับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1/7 โดยปริมาตร
2. น้ำกลั่น
3. สารละลายแลนทานัมคลอไรด์ เตรียมโดยละลายแลนทานัมคลอไรด์ 265 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตะกอนและกระดาษกรองจากข้อ 3. ในหัวข้อ 3.3.3.4 มาย่อยด้วยสารละลาย 2 N ของสารละลายกรดไนตริกจำนวน 50 มิลลิลิตร ประมาณ 30 นาที

2. กรองสารละลายและล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายมีปริมาตรประมาณ 200 มิลลิลิตร

3. ทำสารละลายให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร แล้วปิเปตสารละลายมา 1 มิลลิลิตรใส่ในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร พร้อมเติมสารละลายแลนธานัมคลอไรด์ ลงไป 1 มิลลิลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 10 มิลลิลิตร

4. นำไปวัดหาปริมาณเหล็กด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 372 นาโนเมตร จะได้ปริมาณเหล็กในหน่วยพีพีเอ็มหรือมิลลิกรัมต่อลิตร

การเตรียม Standard curve ของเหล็ก

1. นำสารละลายมาตรฐานของเหล็กที่ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มา 2.5 มิลลิลิตร ทำให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะทำให้ได้ความเข้มข้นของเหล็ก 25 พีพีเอ็ม

2. ปิเปตสารละลายในข้อ 1 มา 1 มิลลิลิตร ทำให้เป็น 10 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้น 2.5 พีพีเอ็ม

3. ปิเปตสารละลายในข้อ 1 มา 2 มิลลิลิตร ทำให้เป็น 10 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้น 5.0 พีพีเอ็ม

4. ปิเปตสารละลายในข้อ 1 มา 3 มิลลิลิตร ทำให้เป็น 10 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้น 7.5 พีพีเอ็ม

5. ปิเปตสารละลายในข้อ 1 มา 4 มิลลิลิตร ทำให้เป็น 10 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม

6. นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้คือ 2.5, 5.0, 7.5, 10 พีพีเอ็ม มาวัดค่า Absorbance โดย เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

7. สร้าง Standard curve ระหว่างค่า Absorbance กับความเข้มข้นของเหล็ก

8. จากค่า Absorbance ของสารละลายที่วิเคราะห์สามารถหาปริมาณของเหล็กได้

สูตรคำนวณ

$$\text{ร้อยละของเหล็ก (\% Fe)} = (1/4) \times (X/g) \quad \ldots(3.6)$$

เมื่อ % Fe = ร้อยละของเหล็ก

X = ความเข้มข้นของเหล็กที่อ่านจาก Standard curve (พีพีเอ็มหรือมิลลิกรัมต่อลิตร)

g = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ (% Pyrite) = 1.148 x (% Fe) ...(3.7)

<u>หมายเหตุ</u> แสดงที่มาของสูตร

หน่วยพีพีเอ็ม = มิลลิกรัมต่อลิตร

สมมติว่าได้ปริมาณเหล็ก X มิลลิกรัมต่อลิตร ในสารละลายตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร

ดังนั้นสารละลายตัวอย่างจริง 1 มิลลิลิตร มีปริมาณเหล็ก = 10(X) / (1000) มิลลิกรัม

สารละลายตัวอย่าง 250 มิลลิลิตร มีปริมาณเหล็ก = 10(X)(250) / (1000) มิลลิกรัม

ถ่านหิน g กรัม มีปริมาณเหล็ก = 10(X)(250) / (1000) มิลลิกรัม

= 10(X)(250) / (1000)(1000) กรัม

= (X)(5) / (2000) กรัม

ถ่านหิน 100 กรัม มีปริมาณเหล็ก = (X)(5)(100) / (2000)(g) กรัม

= (1 / 4) x (X / g) กรัม

ดังนั้นร้อยละของเหล็ก = (1 / 4) x (X / g) ดังสมการ 3.6

ในสารประกอบ FeS_2 มีเหล็ก 1 โมล และซัลเฟอร์ 2 โมล

ตรวจพบเหล็ก 55.847 กรัม จะมีซัลเฟอร์ = 32.064 x 2 กรัม

ตรวจพบเหล็ก (1/4) x (X/g) กรัม จะมีซัลเฟอร์ = [(32.064 x 2) / 55.847] x [(1/4) x (X/g)] กรัม

ดังนั้นร้อยละของกำมะถันไพไรต์ = 1.148 x ร้อยละของเหล็ก ดังสมการ 3.7

<u>หมายเหตุ</u> ผลการทดลองต่างๆ ได้จากการทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง และในการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ปริมาณการสุ่มตัวอย่างขึ้นอยู่กับข้อกำหนดในมาตรฐานของ ASTM นั้นๆ

3.3.3.6 ค่าร้อยละของกำมะถันอินทรีย์

<u>สูตรคำนวณ</u>

ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ = ร้อยละของกำมะถันรวม – (ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ + ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต) ...(3.8)

3.3.4 การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ในรูปต่างๆ

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า (% De-ash) เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน (% Heating value recovery หรือ % HVR) เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวม (% De-S) เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์ (% De-pyrite) เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟต (% De-sulfate) และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ (% De-organic)

$$\%\ \text{De-ash} = [(A_{\text{เริ่มต้น}} - A_{\text{หลังปฏิกิริยา}}) / A_{\text{เริ่มต้น}}] \times 100 \quad \ldots(3.9)$$

$$\%\ \text{HVR} = [(HV_{\text{หลังปฏิกิริยา}} - HV_{\text{เริ่มต้น}}) / HV_{\text{เริ่มต้น}}] \times 100 \quad \ldots(3.10)$$

$$\%\ \text{De-S} = [(\%\ S_{\text{เริ่มต้น}} - \%\ S_{\text{หลังปฏิกิริยา}}) / \%\ S_{\text{เริ่มต้น}}] \times 100 \quad \ldots(3.11)$$

$$\%\ \text{De-Pyrite} = [(\%\ \text{Pyrite}_{\text{เริ่มต้น}} - \%\ \text{Pyrite}_{\text{หลังปฏิกิริยา}}) / \%\ \text{Pyrite}_{\text{เริ่มต้น}}] \times 100 \quad \ldots(3.12)$$

$$\%\ \text{De-Sulfate} = [(\%\ \text{Sulfate}_{\text{เริ่มต้น}} - \%\ \text{Sulfate}_{\text{หลังปฏิกิริยา}}) / \%\ \text{Sulfate}_{\text{เริ่มต้น}}] \times 100 \quad \ldots(3.13)$$

$$\%\ \text{De-Organic} = [(\%\ \text{Organic}_{\text{เริ่มต้น}} - \%\ \text{Organic}_{\text{หลังปฏิกิริยา}}) / \%\ \text{Organic}_{\text{เริ่มต้น}}] \times 100 \quad \ldots(3.14)$$

เมื่อ

$A_{\text{เริ่มต้น}}$	=	ร้อยละของเถ้าเริ่มต้น
$A_{\text{หลังปฏิกิริยา}}$	=	ร้อยละของเถ้าหลังปฏิกิริยา
$HV_{\text{เริ่มต้น}}$	=	ค่าความร้อนของถ่านหินเริ่มต้น
$HV_{\text{หลังปฏิกิริยา}}$	=	ค่าความร้อนของถ่านหินหลังปฏิกิริยา
$\%\ S_{\text{เริ่มต้น}}$	=	ร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้น
$\%\ S_{\text{หลังปฏิกิริยา}}$	=	ร้อยละของกำมะถันรวมหลังปฏิกิริยา
$\%\ \text{Pyrite}_{\text{เริ่มต้น}}$	=	ร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้น
$\%\ \text{Pyrite}_{\text{หลังปฏิกิริยา}}$	=	ร้อยละของกำมะถันไพไรต์หลังปฏิกิริยา
$\%\ \text{Sulfate}_{\text{เริ่มต้น}}$	=	ร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้น
$\%\ \text{Sulfate}_{\text{หลังปฏิกิริยา}}$	=	ร้อยละของกำมะถันซัลเฟตหลังปฏิกิริยา
$\%\ \text{Organic}_{\text{เริ่มต้น}}$	=	ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์เริ่มต้น
$\%\ \text{Organic}_{\text{หลังปฏิกิริยา}}$	=	ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์หลังปฏิกิริยา

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการศึกษาสมบัติของถ่านหินก่อนการกำจัดกำมะถัน ส่วนที่สองเป็นผลการทดลองของตัวแปรต่างๆ และส่วนสุดท้ายวิจารณ์ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสมบัติของถ่านหินและเปรียบเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น

4.1 สมบัติของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ถ่านหินที่ใช้ในงานวิจัยนี้นำมาจากแอ่งงาว จังหวัดลำปาง จัดเป็นถ่านหินลิกไนต์โดยถ่านหินจะถูกนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดให้มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมครอน จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆ ก่อนการกำจัดกำมะถัน แสดงดังตารางที่ 4.1 และได้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลที่วิเคราะห์โดย กฟผ. ซึ่งผลที่วิเคราะห์จากงานวิจัยนี้อยู่ในเกณฑ์ที่เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานของ ASTM [24-27, 29-32]

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของถ่านหินแอ่งงาวก่อนการกำจัดกำมะถัน

รายการที่ทำการวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์จาก กฟผ.	ผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้
การวิเคราะห์แบบประมาณ (wt%)		
ความชื้น	35.39	35.23
เถ้า	25.47	25.18
สารระเหยได้	24.83	25.17
คาร์บอนคงตัว	14.31	14.42
รูปแบบกำมะถัน (wt%)		
กำมะถันรวม	6.23	6.24
กำมะถันไพไรต์	1.71	1.65
กำมะถันซัลเฟต	0.64	0.63
กำมะถันอินทรีย์	3.88	3.96
ค่าความร้อน (kcal/kg)	3,327	3,290

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าคาร์บอนคงตัวมีค่า 14.42 wt% ซึ่งน้อยกว่าค่าของถ่านหินลิกไนต์ที่พบในประเทศ คือ 16-32 wt% สำหรับค่าความชื้นมีค่า 35.23 wt% ถือว่าไม่สูงมากถ้าเทียบกับ

ถ่านหินลิกไนต์ซึ่งปกติมีค่าความชื้นประมาณ 30-70 wt% สำหรับค่ากำมะถันรวมมีค่า 6.24 wt% ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง ถ่านหินส่วนมากที่พบในประเทศมีค่ากำมะถันรวมประมาณ 0.5-5 wt% ค่าความร้อนมีค่า 3,290 kcal/kg ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำเมื่อเทียบกับค่าจากถ่านหินที่พบในประเทศซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 3,800-5,100 kcal/kg

4.2 ผลการทดลองของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสมบัติของถ่านหิน

ตัวแปรที่ศึกษา คือ

1.2.1 ปริมาณถ่านหินและสารละลายด่าง

1.2.2 ความเข้มข้นของสารละลายด่าง

1.2.3 ขนาดถ่านหินและชนิดของสารละลายด่าง

1.2.4 อัตราการกวนและชนิดของสารละลายด่าง

1.2.5 อุณหภูมิและชนิดของสารละลายด่าง

1.2.6 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและชนิดของสารละลายด่าง

4.2.1 ผลของปริมาณถ่านหินและสารละลายด่าง

ตารางที่ 4.2 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหินต่อปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณถ่านหินต่อปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัมต่อมิลลิลิตร)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	กำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
50/300 (1:6)	22.24	3,645	4.25
30/200 (1:6.67)	22.28	3,635	4.10
30/300 (1:10)	20.97	3,798	3.29
30/400 (1:13.33)	20.18	3,904	3.25
8/400 (1:50)	20.16	3,915	3.17

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหินต่อปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณถ่านหินต่อปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัมต่อมิลลิลิตร)	การลดลงของเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์)
50/300 (1:6)	11.68	10.79	31.89
30/200 (1:6.67)	11.52	10.49	34.29
30/300 (1:10)	16.72	15.44	47.28
30/400 (1:13.33)	19.86	18.66	47.92
8/400 (1:50)	19.94	19.00	49.20

เนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้การศึกษาผลของปริมาณถ่านหินและสารละลายจะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นต้นแบบ จากตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณถ่านหินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม คือ 30 กรัมต่อ 400 มิลลิลิตร เพราะมีค่าร้อยละของเถ้าและกำมะถันรวมเหลือน้อยที่สุดเทียบกับปริมาณเริ่มต้น ในขณะที่ค่าความร้อนสูงที่สุด ในกรณีที่ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 8 กรัม ต่อ 400 มิลลิลิตร (1:50) แม้ว่าการลดลงของกำมะถันรวมและการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนจะมากกว่าแต่ถือว่าน้อยมาก และยังต้องใช้ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มากกว่าประมาณ 5 เท่า ดังนั้นจึงเลือกปริมาณถ่านหินต่อสารละลายด่าง 30 กรัมต่อ 400 มิลลิลิตร และเนื่องจากชนิดของสารละลายด่างอื่นๆ ที่ศึกษาเป็นสารละลายของด่างแก่ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นจึงจะใช้ค่านี้กับสารละลายของด่างชนิดอื่นในงานวิจัยด้วย

4.2.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายด่าง

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 0.1 เป็น 0.2 โมลาร์ ค่าร้อยละของเถ้าและกำมะถันรวมที่เหลือจะลดลง ส่วนค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้น แต่ที่ค่าความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 โมลาร์ จะพบว่าค่าร้อยละของเถ้าและกำมะถันรวมที่เหลือจะเพิ่มขึ้น สำหรับค่าความร้อนจะลดลง คาดว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากขึ้นอาจทำให้สารประกอบซัลไฟด์ที่เกิดจากปฏิกริยาแพร่ออกจากถ่านหินได้ยากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยา

ดีซัลเฟอร์ไรเซชันจึงช้าลง ดังนั้นค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 0.2 โมลาร์ และจะใช้ค่านี้กับสารละลายของด่างชนิดอื่นในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.4 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	กำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
0.1	21.78	3,611	4.49
0.2	20.18	3,904	3.25
0.5	21.56	3,691	3.87
1.0	23.42	3,577	4.61

ค่าที่ได้จากตารางที่ 4.4 คำนวณในรูปของเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)	การลดลงของเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์)
0.1	13.50	9.76	28.04
0.2	19.86	18.66	47.92
0.5	14.38	12.19	37.98
1.0	6.99	8.72	26.12

4.2.3 ผลของขนาดถ่านหินและชนิดของสารละลายด่าง

ตารางที่ 4.6 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

สารละลายที่ใช้	ขนาดถ่านหินที่ใช้ (ไมครอน)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	กำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
NaOH	< 250	20.18	3,904	3.25
	250-850	21.17	3,753	3.31
	> 850	21.91	3,674	3.56
KOH	< 250	20.58	3,722	3.66
	250-850	20.80	3,648	3.80
	> 850	21.92	3,535	4.07
LiOH	< 250	20.37	3,876	3.07
	250-850	21.29	3,760	3.19
	> 850	22.41	3,682	3.37
1/1/1	< 250	20.16	3,918	3.18
	250-850	20.52	3,793	3.31
	> 850	21.50	3,697	3.43

ตารางที่ 4.7 ปริมาณกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือเมื่อใช้ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

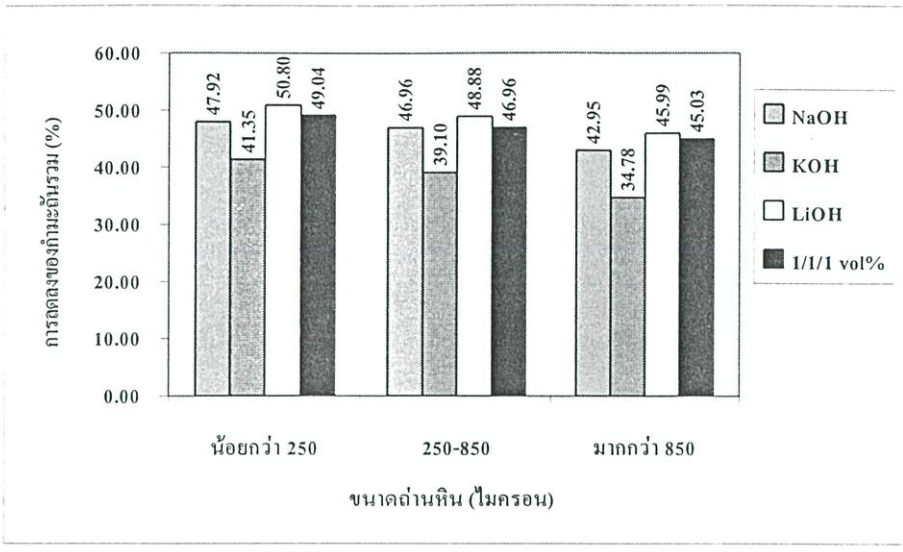
สารละลายที่ใช้	ขนาดถ่านหินที่ใช้ (ไมครอน)	กำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
NaOH	< 250	0.14	0.15	2.96
	250-850	0.19	0.24	2.88
	> 850	0.29	0.27	3.00

ตารางที่ 4.7 ปริมาณกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือเมื่อใช้ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง (ต่อ)

สารละลายที่ใช้	ขนาดถ่านหินที่ใช้ (ไมครอน)	กำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
KOH	< 250	0.20	0.18	3.28
	250-850	0.26	0.21	3.33
	> 850	0.33	0.32	3.42
LiOH	< 250	0.14	0.15	2.78
	250-850	0.21	0.20	2.78
	> 850	0.28	0.26	2.83
1/1/1	< 250	0.13	0.16	2.89
	250-850	0.21	0.20	2.90
	> 850	0.28	0.24	2.91

จากตารางที่ 4.6-4.7 เมื่อขนาดถ่านหินที่ใช้มีขนาดเล็กลง ค่าร้อยละของเถ้า กำมะถันรวม กำมะถันไพไรต์ และกำมะถันซัลเฟตที่เหลือมีค่าลดลง ส่วนค่าความร้อนของถ่านหินจะเพิ่มขึ้น เพราะถ่านหินที่มีขนาดเล็กลงจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นและสารละลายด่างสามารถแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยากับกำมะถันในถ่านหินที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่าถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ ผลที่ได้จากการใช้สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์และสารละลายด่างผสมมีค่าใกล้เคียงกันและดีกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เล็กน้อย ขนาดถ่านหินที่เหมาะสมของงานวิจัยนี้ คือ ขนาดเล็กกว่า 250 ไมครอน

จากตารางที่ 4.6 คำนวณในรูปของเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมได้แสดงผลดังรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.8 สำหรับตารางที่ 4.9 คำนวณในรูปของเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

สารละลายที่ใช้	ขนาดถ่านหินที่ใช้ (ไมครอน)	การลดลงของเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์)
NaOH	< 250	19.86	18.66	47.92
	250-850	15.93	14.07	46.96
	> 850	12.99	11.67	42.95
KOH	< 250	18.27	13.13	41.35
	250-850	17.39	10.88	39.10
	> 850	12.95	7.45	34.78
LiOH	< 250	19.10	17.81	50.80
	250-850	15.45	14.29	48.88
	> 850	11.00	11.91	45.99

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง (ต่อ)

สารละลายที่ใช้	ขนาดถ่านหินที่ใช้ (ไมครอน)	การลดลงของเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์)
1/1/1	< 250	19.94	19.09	49.04
	250-850	18.51	15.29	46.96
	> 850	14.61	12.37	45.03

ตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเวลา 2 ชั่วโมง

สารละลายที่ใช้	ขนาดถ่านหินที่ใช้ (ไมครอน)	การลดลงของกำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์)
NaOH	< 250	91.52	76.19	25.25
	250-850	88.48	61.90	27.27
	> 850	82.42	57.14	24.24
KOH	< 250	87.88	71.43	17.17
	250-850	84.24	66.67	15.91
	> 850	80.00	49.21	13.64
LiOH	< 250	91.52	76.19	29.80
	250-850	87.27	68.25	29.80
	> 850	83.03	58.73	28.54
1/1/1	< 250	92.12	74.60	27.02
	250-850	87.27	68.25	26.77
	> 850	83.03	61.90	26.52

4.2.4 ผลของอัตราการกวนและชนิดของสารละลายด่าง

ตารางที่ 4.10 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

สารละลายที่ใช้	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	กำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
NaOH	200	20.32	3,815	3.28
	500	20.20	3,862	3.30
	800	20.18	3,904	3.25
KOH	200	20.67	3,678	3.70
	500	20.64	3,666	3.72
	800	20.58	3,722	3.66
LiOH	200	20.39	3,676	3.09
	500	20.46	3,739	3.12
	800	20.37	3,876	3.07
1/1/1	200	20.45	3,827	3.22
	500	20.37	3,858	3.21
	800	20.16	3,918	3.18

ตารางที่ 4.11 ปริมาณกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือเมื่อใช้อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

สารละลายที่ใช้	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	กำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
NaOH	200	0.15	0.21	2.92
	500	0.16	0.18	2.96
	800	0.14	0.15	2.96

ตารางที่ 4.11 ปริมาณกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือเมื่อใช้อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง (ต่อ)

สารละลายที่ใช้	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	กำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
KOH	200	0.21	0.20	3.29
	500	0.21	0.20	3.31
	800	0.20	0.18	3.28
LiOH	200	0.16	0.18	2.75
	500	0.16	0.17	2.79
	800	0.14	0.15	2.78
1/1/1	200	0.15	0.19	2.88
	500	0.15	0.20	2.86
	800	0.13	0.16	2.89

จากตารางที่ 4.10-4.11 พบว่าอัตราการกวน 200-800 รอบต่อนาที ไม่ค่อยมีผลต่อการลดลงของเถ้าและกำมะถันชนิดต่างๆ และการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน ผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันสำหรับสารละลายด่างทุกชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อาจเป็นเพราะความเร็วรอบที่ใช้สูงสุดนี้ไม่เพียงพอที่จะกำจัดผลเนื่องจากการถ่ายเทมวลภายนอกผ่านฟิล์ม งานวิจัยนี้ใช้อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เพราะมีข้อจำกัดเรื่องอุปกรณ์ ควรมีการศึกษาต่อโดยใช้อัตราการกวนมากกว่า 1,000 ถึง 2,000 รอบต่อนาที เพื่อลดผลการถ่ายเทมวลภายนอกผ่านฟิล์มและเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Prasassarakich และ Punsuvon [9]

ตารางที่ 4.12 คำนวณในรูปของเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวม ตารางที่ 4.13 คำนวณในรูปของเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

สารละลายที่ใช้	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	การลดลงของเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์)
NaOH	200	19.30	15.96	47.44
	500	19.78	17.39	47.12
	800	19.86	18.66	47.92
KOH	200	17.91	11.79	40.71
	500	18.03	11.43	40.38
	800	18.27	13.13	41.35
LiOH	200	19.02	11.73	50.48
	500	18.75	13.65	50.00
	800	19.10	17.81	50.80
1/1/1	200	18.78	16.32	48.40
	500	19.10	17.26	48.56
	800	19.94	19.09	49.04

ตารางที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

สารละลายที่ใช้	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	การลดลงของกำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์)
NaOH	200	90.91	66.67	26.26
	500	90.30	71.43	25.25
	800	91.52	76.19	25.25

ตารางที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง (ต่อ)

สารละลายที่ใช้	อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	การลดลงของกำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์)
KOH	200	87.27	68.25	16.92
	500	87.27	68.25	16.41
	800	87.88	71.43	17.17
LiOH	200	90.30	71.43	30.56
	500	90.30	73.02	29.55
	800	91.52	76.19	29.80
1/1/1	200	90.91	69.84	27.27
	500	90.91	68.25	27.78
	800	92.12	74.60	27.02

4.2.5 ผลของอุณหภูมิและชนิดของสารละลายด่าง

ตารางที่ 4.14 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

สารละลายที่ใช้	อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	กำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
NaOH	50	21.52	3,688	3.47
	80	21.00	3,773	3.41
	100	20.18	3,904	3.25

ตารางที่ 4.14 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง (ต่อ)

สารละลายที่ใช้	อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	กำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
KOH	50	21.49	3,538	3.97
	80	21.03	3,621	3.81
	100	20.58	3,722	3.66
LiOH	50	21.81	3,687	3.27
	80	21.46	3,768	3.16
	100	20.37	3,876	3.07
1/1/1	50	21.52	3,685	3.41
	80	20.95	3,749	3.25
	100	20.16	3,918	3.18

ตารางที่ 4.15 ปริมาณกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือเมื่อใช้อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

สารละลายที่ใช้	อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)	กำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
NaOH	50	0.29	0.20	2.98
	80	0.20	0.18	3.03
	100	0.14	0.15	2.96
KOH	50	0.33	0.29	3.35
	80	0.28	0.23	3.30
	100	0.20	0.18	3.28

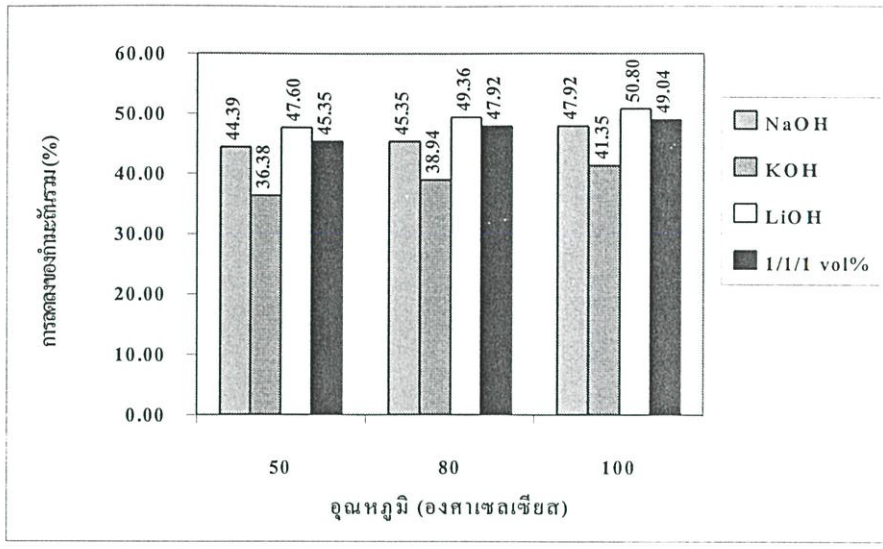
ตารางที่ 4.15 ปริมาณกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือเมื่อใช้อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง (ต่อ)

สารละลายที่ใช้	อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)	กำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
LiOH	50	0.28	0.24	2.75
	80	0.21	0.20	2.75
	100	0.14	0.15	2.78
1/1/1	50	0.29	0.25	2.87
	80	0.17	0.20	2.88
	100	0.13	0.16	2.89

จากตารางที่ 4.14-4.15 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความสามารถในการกำจัดเถ้าและกำมะถันชนิดต่างๆ และค่าความร้อนของถ่านหินมีค่าเพิ่มขึ้น ผลการทดลองให้ผลในทำนองเดียวกันกับสารละลายด่างทุกชนิดที่ใช้ ทั้งนี้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันจะเพิ่มขึ้นทำให้การกำจัดกำมะถันเกิดได้ดีขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prasassarakich และ Punsuvon [9]

อุณหภูมิที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ คือ 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากสามารถลดปริมาณเถ้าและกำมะถันชนิดต่างๆ ได้มาก และมีค่าความร้อนสูงกว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 50 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.14 คำนวณในรูปของเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมแสดงผลดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.16 สำหรับตารางที่ 4.17 คำนวณในรูปของเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

สารละลายที่ใช้	อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)	การลดลงของเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์)
NaOH	50	14.54	12.10	44.39
	80	16.60	14.68	45.35
	100	19.86	18.66	47.92
KOH	50	14.65	7.54	36.38
	80	16.48	10.06	38.94
	100	18.27	13.13	41.35

ตารางที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง (ต่อ)

สารละลายที่ใช้	อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)	การลดลงของเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์)
LiOH	50	13.38	12.07	47.60
	80	14.77	14.53	49.36
	100	19.10	17.81	50.80
1/1/1	50	14.54	12.01	45.35
	80	16.80	13.95	47.92
	100	19.94	19.09	49.04

ตารางที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

สารละลายที่ใช้	อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)	การลดลงของกำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์)
NaOH	50	82.42	68.25	24.75
	80	87.88	71.43	23.48
	100	91.52	76.19	25.25
KOH	50	80.00	53.97	15.40
	80	83.03	63.49	16.67
	100	87.88	71.43	17.17
LiOH	50	83.03	61.90	30.56
	80	87.27	68.25	30.56
	100	91.52	76.19	29.80

ตารางที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง (ต่อ)

สารละลายที่ใช้	อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)	การลดลงของกำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์)
1/1/1	50	82.42	60.32	27.53
	80	89.70	68.25	27.27
	100	92.12	74.60	27.02

4.2.6 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและชนิดของสารละลายด่าง

ตารางที่ 4.18 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

สารละลายที่ใช้	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	กำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
NaOH	1	21.74	3,677	3.80
	2	20.18	3,904	3.25
	4	20.22	3,831	3.47
KOH	1	21.60	3,587	3.85
	2	20.58	3,722	3.66
	4	20.70	3,699	3.74
LiOH	1	21.78	3,641	3.29
	2	20.37	3,876	3.07
	4	20.31	3,797	3.18

ตารางที่ 4.18 เถ้า ค่าความร้อน และกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ต่อ)

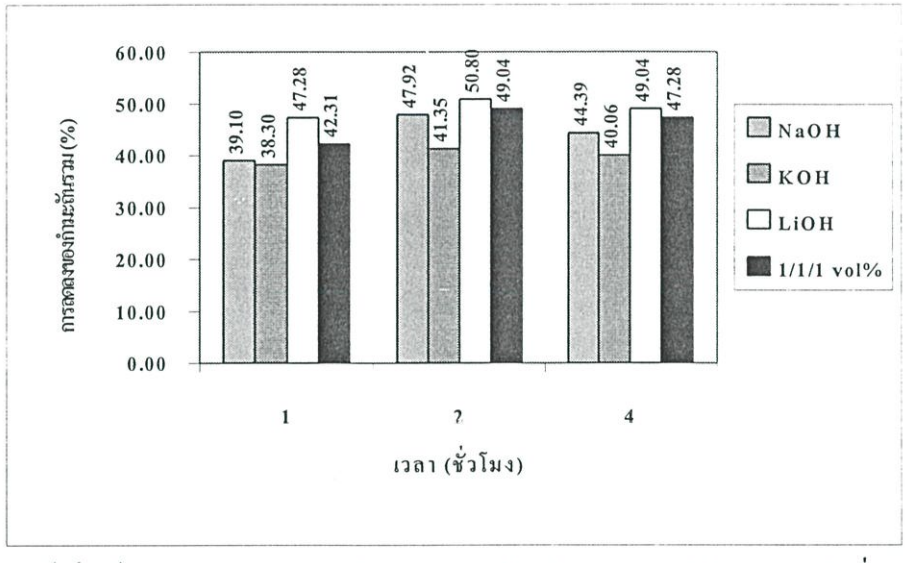
สารละลายที่ใช้	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	กำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
1/1/1	1	21.46	3,693	3.60
	2	20.16	3,918	3.18
	4	20.55	3,807	3.29

ตารางที่ 4.19 ปริมาณกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือเมื่อใช้เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

สารละลายที่ใช้	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	กำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	กำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
NaOH	1	0.32	0.21	3.27
	2	0.14	0.15	2.96
	4	0.14	0.16	3.17
KOH	1	0.29	0.23	3.33
	2	0.20	0.18	3.28
	4	0.21	0.20	3.33
LiOH	1	0.26	0.21	2.82
	2	0.14	0.15	2.78
	4	0.19	0.17	2.82
1/1/1	1	0.26	0.26	3.08
	2	0.13	0.16	2.89
	4	0.20	0.18	2.91

จากตารางที่ 4.18-4.19 เมื่อเวลาที่ใช้เพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมง เป็น 2 ชั่วโมง ค่าร้อยละของเถ้าและกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือมีค่าลดลง ส่วนค่าความร้อนของถ่านหินจะเพิ่มขึ้น แต่ที่เวลา 4 ชั่วโมง จะพบว่าค่าร้อยละของเถ้าและกำมะถันชนิดต่างๆ ที่เหลือจะเพิ่มขึ้น สำหรับค่าความร้อนจะลดลง ผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันสำหรับสารละลายด่างทุกชนิดที่ใช้ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Kara และ Ceylan [15] ที่อธิบายว่าเป็นผลของปฏิกิริยาระหว่างถ่านหินและสารประกอบซัลไฟด์เกิดเป็นสารประกอบของกำมะถันอินทรีย์ขึ้นในโครงสร้างของถ่านหิน เช่น สารประกอบไธโอฟีนซึ่งมีความเสถียรมากและยากต่อการกำจัด

จากตารางที่ 4.18 คำนวณในรูปของเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมแสดงผลดังรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.20 ตารางที่ 4.21 คำนวณในรูปของเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.20 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

สารละลายที่ใช้	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	การลดลงของเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันรวม (เปอร์เซ็นต์)
NaOH	1	13.66	11.76	39.10
	2	19.86	18.66	47.92
	4	19.70	16.44	44.39
KOH	1	14.22	9.03	38.30
	2	18.27	13.13	41.35
	4	17.79	12.43	40.06
LiOH	1	13.50	10.67	47.28
	2	19.10	17.81	50.80
	4	19.34	15.41	49.04
1/1/1	1	14.77	12.25	42.31
	2	19.94	19.09	49.04
	4	18.39	15.71	47.28

ตารางที่ 4.21 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันชนิดต่างๆ ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่าง 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

สารละลายที่ใช้	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	การลดลงของกำมะถันไพไรต์ (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์)	การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์)
NaOH	1	80.61	66.67	17.42
	2	91.52	76.19	25.25
	4	91.52	74.60	19.95
KOH	1	82.42	63.49	15.91
	2	87.88	71.43	17.17
	4	87.27	68.25	15.91
LiOH	1	84.24	66.67	28.79
	2	91.52	76.19	29.80
	4	88.48	73.02	28.79
1/1/1	1	84.24	58.73	22.22
	2	92.12	74.60	27.02
	4	87.88	71.43	26.52

4.3 วิจารณ์ผลและเปรียบเทียบผลที่ได้ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น

จากผลการทดลองการใช้สารละลายด่าง คือ สารละลาย LiOH, NaOH, KOH และสารละลายด่างผสม NaOH/KOH/LiOH:1/1/1 โดยปริมาตร ทำปฏิกิริยากับกำมะถันในถ่านหิน พบว่าสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ให้ผลการกำจัดกำมะถันดีที่สุด รองลงมาคือสารละลายด่างผสม NaOH/KOH/LiOH:1/1/1 โดยปริมาตร สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ โดยสามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 51 %, 49 %, 48 % และ 41 % ของปริมาณกำมะถันรวมทั้งหมดตามลำดับ และลดปริมาณเถ้าได้ 19 %, 20 %, 20 % และ 18 % ของปริมาณเถ้าทั้งหมด และเพิ่มค่าความร้อนได้ 18 %, 19 %, 19 % และ 13 % ของค่าความร้อนเริ่มต้น

การใช้สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายด่างผสมของ NaOH/KOH/LiOH:1/1/1 โดยปริมาตร ทำปฏิกิริยากับกำมะถันใน

ถ่านหินจะช่วยเพิ่มคุณภาพของถ่านหิน คือ สามารถลดปริมาณกำมะถันรวม กำมะถันไพไรต์ กำมะถันซัลเฟต กำมะถันอินทรีย์ และปริมาณเถ้า ส่วนค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้น โดยมีสมการของการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายด่างกับกำมะถันไพไรต์ ดังนี้ [4]

$$8FeS_2\ (s) + 30MOH \longrightarrow 4Fe_2O_3\ (s) + 14M_2S\ (s) + M_2S_2O_3\ (s) + 15H_2O\ (l) \ldots (4.1)$$

(M คือ อะตอมของ Li, Na หรือ K)

ถ้าพิจารณาปริมาณกำมะถันที่ลดลงน่าจะเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายด่างกับกำมะถันไพไรต์ในถ่านหินและเกิดเป็นสารประกอบของเกลือ M_2S ซึ่งเกลือ M_2S มีความสามารถในการละลายได้ในน้ำทำให้ปริมาณกำมะถันที่วิเคราะห์ได้หลังจากการทำปฏิกิริยามีค่าลดลง

เนื่องจากในถ่านหินประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบแร่ธาตุ เมื่อนำถ่านหินไปเผาไหม้กับก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาเซลเซียส สารประกอบอินทรีย์จะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนสารประกอบแร่ธาตุในถ่านหินได้แก่ แร่กลุ่มอะลูมิโนซิลิเกต แร่กลุ่มคาร์บอเนต แร่กลุ่มซัลไฟด์ และแร่กลุ่มซัลเฟต เป็นต้น หลังการเผาไหม้แล้วจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารประกอบออกไซด์ เช่น แคลเซียมออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ [19] สำหรับกำมะถันในรูปของแร่ไพไรต์ (FeS_2) ซึ่งอยู่ในกลุ่มแร่ซัลไฟด์จะเปลี่ยนเป็นเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) โดยมีการสูญเสียกำมะถันออกไปสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ดังนั้นถ้าปริมาณสารประกอบแร่ธาตุต่างๆ เหล่านี้มีอยู่ในถ่านหินในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดเถ้ามาก ซึ่งจะส่งผลเสียเมื่อนำถ่านหินไปใช้งาน ดังนั้นการลดปริมาณเถ้าของถ่านหิน คือ หาวิธีลดปริมาณกำมะถันไพไรต์และแร่ธาตุเหล่านี้ลง ในปฏิกิริยาการกำจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยสารละลายด่าง กำมะถันไพไรต์จะทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างได้เหล็กออกไซด์และเกลือของสารประกอบซัลไฟด์ (M_2S) ซึ่งจะละลายเข้าไปในสารละลาย แร่ธาตุบางชนิดที่มีกำมะถันหรือไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบจะมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ค่อนข้างดี เช่น ยิปซัม หรือ แคลไซต์ ก็สามารถถูกชะออกจากถ่านหินให้เข้าไปอยู่ในสารละลายด่างได้เช่นกัน

ดังนั้นเถ้าที่ลดลงย่อมเป็นผลมาจากปริมาณกำมะถันที่ลดลง เพราะเถ้าของถ่านหิน คือ ปริมาณของแร่ธาตุต่างๆ ที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ แร่ธาตุที่สำคัญคือไพไรต์ ซึ่งเมื่อถูกกำจัดออกจากถ่านหินไปในรูปของเกลือของสารประกอบซัลไฟด์ M_2S ก็จะทำให้ปริมาณของเถ้าลดลงไปด้วย

สำหรับค่าความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านหินที่ถูกนำไปเผาไหม้ ธาตุหลักในถ่านหินที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ ได้แก่ คาร์บอน และไฮโดรเจน

ซึ่งค่าความร้อนส่วนใหญ่ได้มาจากการเผาไหม้ธาตุหลักทั้งสองชนิดนี้กับออกซิเจนในอากาศ แต่ก็ยังมีค่าความร้อนอีกส่วนหนึ่งที่ต้องใช้ไปกับการแตกพันธะของสารประกอบในถ่านหินระหว่างการเผาไหม้ จะพบว่าถ้าปริมาณเถ้าที่เหลือหลังการเผาไหม้มีปริมาณมาก ค่าความร้อนที่ตรวจพบมีค่าน้อย แต่ถ้าปริมาณเถ้าที่เหลือหลังการเผาไหม้มีปริมาณน้อย ค่าความร้อนที่ตรวจพบมีค่ามาก [2] ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองจากงานวิจัยนี้โดยค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นน่าจะเป็นผลมาจากมีการใช้พลังงานไปในการแตกพันธะของสารประกอบแร่ธาตุต่างๆ นั้นน้อยลง ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณเถ้าที่ลดลง

เมื่อพิจารณาปริมาณกำมะถันรวมที่เหลืออยู่พบว่าการใช้สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ ทำปฏิกิริยากับกำมะถันในถ่านหินสามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ดีกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ปริมาณถ่านหินต่อปริมาณสารละลายด่าง 30 กรัมต่อ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเวลา 2 ชั่วโมง คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากขนาดของลิเทียมไอออนมีขนาดเล็ก จึงแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าโซเดียมไอออน และโพแทสเซียมไอออน ตามลำดับ นอกจากนี้คุณสมบัติของเกลือ M_2S ของด่างต่างชนิดกัน ที่มีต่อความสามารถในการละลายในน้ำน่าจะเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่ง โดยเกลือของ Li_2S จะสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าเกลือของ Na_2S และ K_2S ตามลำดับ ค่าพลังงานที่ใช้ในการละลายของของแข็งไอออนิกในน้ำของเกลือ Li_2S มีค่าน้อยกว่าของ Na_2S และ K_2S ตามลำดับ [33]

การใช้สารละลายด่างผสมของ NaOH/KOH/LiOH:1/1/1 โดยปริมาตร สามารถกำจัดกำมะถันรวมได้น้อยกว่าการใช้สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ แต่มากกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากองค์ประกอบในส่วนของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์เข้าทำปฏิกิริยาได้ดีและเร็วกว่าส่วนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และส่วนของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพราะผลของขนาดไอออนและคุณสมบัติในการละลายในน้ำของเกลือดังที่กล่าวมาแล้ว ทำให้สารละลายผสมสามารถกำจัดกำมะถันรวมได้มากกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว

เป็นที่น่าสังเกตว่าจากผลของการทดลองทั้งหมด รวมทั้งจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุด กำมะถันที่ถูกกำจัดออกไปเป็นส่วนใหญ่ คือ กำมะถันไพไรต์ และกำมะถันซัลเฟต ส่วนกำมะถันอินทรีย์จะถูกกำจัดออกไปไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันอินทรีย์ที่มีเริ่มต้น ทั้งนี้เพราะสารประกอบของกำมะถันอินทรีย์ภายในโครงสร้างของถ่านหินมีเสถียรภาพสูงและกำจัดได้ยาก ประเด็นที่น่าใจศึกษาต่อคือจะหาวิธีการหรือปฏิกิริยาเคมีใดที่เหมาะสมต่อการกำจัดกำมะถันอินทรีย์ เพราะจะสามารถลดปริมาณกำมะถันในถ่านหินลงได้อีกมาก การใช้ Molten caustic ในการกำจัดกำมะถัน [15] อาจเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ แต่ในการทำต้องใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูง

(มากกว่า 300 องศาเซลเซียสขึ้นไป) จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีจำเพาะและความทนทานต่อความร้อน

ตารางที่ 4.22 สรุปสภาวะที่เหมาะสมและผลการทดลองในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น สภาวะที่ดีที่สุดดังได้กล่าวมาแล้วสามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 51 % และลดปริมาณเถ้า 19 %

ตารางที่ 4.22 เปรียบเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น

งานวิจัย	ตัวแปรที่ทำการศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม	ผลที่ได้รับ
Prasassarakich และ Punsuvon [9] กำจัดกำมะถันด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้สารละลาย $Fe_2(SO_4)_3$	ปริมาณถ่านหิน (25, 50, 100 และ 150 กรัม) ความเข้มข้นของสารละลาย (0.5, 1.0 และ 1.5 โมลาร์) อัตราการกวน (700, 1,400 และ 1,800 รอบต่อนาที) อุณหภูมิ (80, 100 และ 125 °ซ) เวลา (2, 3 และ 4 ชั่วโมง)	ปริมาณถ่านหิน 50 กรัมต่อสารละลาย 500 มิลลิลิตร (1:10) ความเข้มข้นของสารละลาย 1.0 โมลาร์ ขนาดถ่านหิน 100-250 ไมครอน อัตราการกวน 1,000-1,400 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 °ซ เวลา 4 ชั่วโมง	% De-ash = 37 % % De-S = 29 %
Araya และ คณะ [11] กำจัดกำมะถันด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้สารละลาย NaOH	ความเข้มข้นของสารละลาย (0.125, 0.25, 0.5, 1.25, 2.0, 2.5 และ 3.0 โมลาร์) ขนาดถ่านหิน (125-177, 250-355 และ 850-1,400 ไมครอน) อุณหภูมิ (50 และ 80 °ซ) เวลา (0.5, 2, 8 และ 16 ชั่วโมง)	ปริมาณถ่านหิน 4 กรัมต่อสารละลาย 200 มิลลิลิตร (1:50) ความเข้มข้นของสารละลาย 0.25 โมลาร์ ขนาดถ่านหิน 125-177 ไมครอน อุณหภูมิ 80 °ซ เวลา 16 ชั่วโมง	% De-ash = 29 % % De-S = 30 %
Prasassarakich และ Sirijeerachai [13] กำจัดกำมะถันด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้สารละลาย Na_2CO_3	ปริมาณถ่านหิน (50, 100 และ 500 กรัม) ความเข้มข้นของสารละลาย (0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมลาร์) ขนาดถ่านหิน (เล็กกว่า 150, 150-250, 250-500, 500-850, 850-1,000 และ 1,000-2,000 ไมครอน) อุณหภูมิ (80, 100 และ 120 °ซ) เวลา (0.5, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง)	ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มิลลิลิตร (1:5) ความเข้มข้นของสารละลาย 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อัตราการกวน 1,000-1,400 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 120 °ซ เวลา 1 ชั่วโมง	% De-S = 46 %

ตารางที่ 4.22 เปรียบเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น (ต่อ)

งานวิจัย	ตัวแปรที่ทำการศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม	ผลที่ได้รับ
Mukherjee และ Borthakur [14] กำจัดกำมะถันโดยใช้สารละลาย KOH	อุณหภูมิ (95 และ 150 °ซ)	ปริมาณถ่านหิน 10 กรัมต่อสารละลาย 50 มิลลิลิตร (1:5) ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 212 ไมครอน อุณหภูมิ 150 °ซ เวลา 8 ชั่วโมง	% De-S = 26-43 %
Kara และ Ceylan [15] กำจัดกำมะถันโดยใช้สารละลาย NaOH และ Molten caustic (NaOH/Coal:1/1 โดยน้ำหนัก)	การใช้ NaOH ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (1.25, 2.5, 3.75 และ 5 โมลาร์) อุณหภูมิ (60, 65, 70 และ 75 °ซ) เวลา (4, 8 และ 16 ชั่วโมง) การใช้ Molten caustic (NaOH/Coal:1/1 โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิ (300 และ 450 °ซ) เวลา (15, 30, 45 และ 60 นาที)	การใช้ NaOH ปริมาณถ่านหิน 8 กรัมต่อสารละลาย 400 มิลลิลิตร (1:50) ขนาดถ่านหิน 74-149 ไมครอน ความเข้มข้นของสารละลาย 5 โมลาร์ อุณหภูมิ 70 °ซ เวลา 8 ชั่วโมง การใช้ Molten caustic (NaOH/Coal:1/1 โดยน้ำหนัก) ขนาดถ่านหิน 74-149 ไมครอน อุณหภูมิ 450 °ซ เวลา 30 นาที	การใช้ NaOH % De-ash = 65 % % De-S = 63 % การใช้ Molten caustic % De-ash = 91 % % De-S = 84 %
งานวิจัยนี้	ชนิดของสารละลายด่าง (NaOH, KOH , LiOH และผสม) ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (50/300, 30/200, 30/300, 30/400 และ 8/400 กรัมต่อมิลลิลิตร) ความเข้มข้นของสารละลาย (0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมลาร์) ขนาดถ่านหิน (เล็กกว่า 250, 250-850 และใหญ่กว่า 850 ไมครอน) อัตราการกวน (200, 500 และ 800 รอบต่อนาที) อุณหภูมิ (50, 80 และ 100 °ซ) เวลา (1, 2 และ 4 ชั่วโมง)	สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลาย 400 มิลลิลิตร (1:13.33) ความเข้มข้นของสารละลาย 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 °ซ เวลา 2 ชั่วโมง	% De-ash = 19 % % De-S = 51 %

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายด่างผสมในอัตราส่วน NaOH/KOH/LiOH:1/1/1 โดยปริมาตร ทำปฏิกิริยากับกำมะถันในถ่านหิน พบว่าสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ให้ผลในการกำจัดกำมะถันดีที่สุด รองลงมา คือ สารละลายด่างผสม NaOH/KOH/LiOH:1/1/1 โดยปริมาตร สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ โดยสามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ 51 %, 49 %, 48 % และ 41 % ของปริมาณกำมะถันรวมทั้งหมด ตามลำดับ

2. การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของถ่านหินที่ใช้ต่อสารละลายด่างค่อนข้างมีผลต่อการกำจัดกำมะถัน แต่ในการปฏิบัติจะต้องพิจารณาตามความจำเป็นรวมทั้งในด้านความคุ้มค่าของการลงทุนด้วย

3. การเพิ่มค่าความเข้มข้นของสารละลายด่างจะทำให้ปริมาณกำมะถันรวมลดลง แต่ที่ค่า 0.5 และ 1.0 โมลาร์ ปริมาณกำมะถันรวมกลับเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ เนื่องจากเมื่อถึงสภาวะที่ปฏิกิริยาเกิดได้ดีที่สุดแล้วการกำจัดกำมะถันก็จะไม่เพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้เพราะความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากขึ้นอาจทำให้สารประกอบซัลไฟด์ที่เกิดจากปฏิกริยาแพร่ออกจากถ่านหินได้ยากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันจึงช้าลง

4. เมื่อขนาดถ่านหินที่ใช้มีขนาดเล็กลง ค่าร้อยละของเถ้าและกำมะถันรวมที่เหลือมีค่าลดลง ส่วนค่าความร้อนของถ่านหินจะเพิ่มขึ้น เพราะถ่านหินที่มีขนาดเล็กลงจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นและสารละลายด่างสามารถแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยากับกำมะถันในถ่านหินที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่าถ่านหินที่มีขนาดใหญ่

5. ในงานวิจัยนี้อัตราการกวน (200-800 รอบต่อนาที) ไม่ค่อยมีผลต่อการกำจัดกำมะถัน อาจเพราะความเร็วรอบที่ใช้สูงสุดนี้ไม่เพียงพอที่จะกำจัดผลเนื่องจากการถ่ายเทมวลภายนอกผ่านฟิล์ม

6. การเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาจะช่วยลดปริมาณกำมะถันรวมและปริมาณเถ้า ส่วนค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้น เพราะเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีซัลเฟอร์ไรเซชันจะเพิ่มขึ้น

7. การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะช่วยให้การกำจัดกำมะถันเกิดได้ดีขึ้น แต่ถ้าใช้เวลานานเกินไปจะเกิดผลของปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบซัลไฟด์กับถ่านหินเกิดเป็นสารประกอบของกำมะถันอินทรีย์ขึ้นในโครงสร้างของถ่านหิน

8. สภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดกำมะถันออกจากถ่านหินโดยใช้สารละลายด่างชนิดต่างๆ ในงานวิจัยนี้ คือ ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายด่าง 30/400 กรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 0.2 โมลาร์ ขนาดของถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่างานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินจากแอ่งงาวโดยการกำจัดกำมะถันออกและศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกำมะถันแล้วก็ตาม ผู้วิจัยเสนอแนะการศึกษาเพิ่มเติมทางด้านจลนพลศาสตร์ของการกำจัดกำมะถันด้วยสารละลายด่างโดยกำหนดค่าอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการศึกษาให้ละเอียดขึ้น นำผลของการกำจัดกำมะถันที่ได้ไปเขียนกราฟเทียบกับค่าที่ได้จากโมเดลเพื่อใช้อธิบายทิศทางการเกิดของปฏิกิริยา

เอกสารอ้างอิง

[1] เกริกชัย สุกาญจนัจที. **ไอน้ำและพลังงานจากถ่านหิน.** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2529.

[2] ประเสริฐ ชุมรุม และคณะ. **เทคโนโลยีการทำเหมืองถ่านหิน.** กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2538.

[3] Speight J.G. **The Chemistry and Technology of Coal.** 2nd ed. New York : Marcel Dekker. 1994.

[4] Eliot R.C. **Coal Desulfurization Prior to Combustion.** New Jersey : Park Ridge. 1978. pp. 33-51.

[5] Calkins W.H. "The Chemical forms of sulfur in coal : a review." Fuel., vol. 73, no. 4, 1994. pp. 475-484.

[6] Prasassarakich P., Thaweesri T. "Kinetics of coal desulfurization with sodium benzoxide." Fuel., vol. 75, no. 7, 1996. pp. 816-820.

[7] Celik M.S., Yildirim I. "A new physical process for desulfurization of low-rank coals." Fuel., vol. 79, January 2000. pp. 1665-1669.

[8] Yaman S., Kucukbayrak S. "Sulfur removal from lignite by oxydesulfurization using fly ash." Fuel. vol. 76, no. 1, 1997. pp. 73-77.

[9] Prasassarakich P., Punsuvon V. "Coal desulfurization by oxidation." J. Sci. Res. Chula. Univ., vol. 11, no. 1, 1986. pp. 59-67.

[10] Jagtap S.B., Wheelock T.D. "Coal desulfurization by ferric chloride." Fuel Processing Technology., vol. 43, March 1995. pp. 227-242.

[11] Araya P.E., Badilla-Ohlbaum R. and Droguett S.E. "Study of the treatment of subbituminous coals by NaOH solutions." Fuel., vol. 60, December 1981. pp. 1127-1130.

[12] Yang R.T., Das S.K. and Tsai B.M.C. "Coal demineralization using sodium hydroxide and acid solutions." Fuel., vol. 64, June 1985. pp. 735-742.

[13] Prasassarakich P., Sirijeerachai G. "Coal oxydesulfurization in alkaline solution." J. Sci. Res. Chula. Univ., vol. 11, no. 2, 1986. pp. 123-130.

[14] Mukherjee S., Borthakur P.C. "Effect of leaching high sulphur subbituminuos coal by potassium hydroxide and acid on removal of mineral matter and sulphur." Fuel., vol. 82, no. 7, October 2003. pp. 783-788.

[15] Kara H., Ceylan R. "Removal of sulphur from four Central Anatolian lignites by NaOH." Fuel., vol. 67, February 1988. pp. 170-172.

[16] Kusakabe K., Orita M., Kato K., Morooka S., Kato Y. and Kusunoki K. "Simultaneous desulphurization and demineralization of coal." Fuel., vol. 68, March 1989. pp. 396-399.

[17] Lee S.H., Shon E.K. "Effect of molten caustic leaching on the combustion characteristics of anthracite." Fuel., Vol. 76, no.3, 1997. pp. 241-246.

[18] กัญจนา บุณยเกียรติ. **การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2536.

[19] Meyer R.A. **Coal Handbook Volumn I.** 1st ed. NewYork : Marcel Dekker. 1981.

[20] ปัญญา แดงวิไลลักษณ์. "แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเกิดออกไซด์ของกำมะถันจากการเผาไหม้ของถ่านหินผง." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.

[21] กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) "มาตรฐานคุณภาพอากาศ." [Online]. Avalible : http://www.pcd.go.th

[22] สุวพันธ์ นิลายน. "สภาพอากาศกับปัญหามลภาวะโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ." วารสาร กฟผ, ปีที่ 1, เล่มที่ 4, 2533. หน้า 32-39.

[23] IEA Coal Research, "Review in Coal Science" : The Problem of Sulfur. London : Johnson H.R. and Littler D.J. Eds., Butterworths Scientific Publications. 1989. pp. 1-52.

[24] ASTM D-3174, **Annual Book of ASTM Standards, section 5 Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels.** Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke From Coal. vol. 05.05 Gaseous Fuels; Coals and Coke, 1992. pp. 318-320.

[25] ASTM D-2015, **Ibid.** Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter. pp. 256-263.

[26] ASTM D-3177, **Ibid.** Standard Test Method for Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke. pp. 327-330.

[27] ASTM D-2492, **Ibid.** Standard Test Method for Forms of Sulfur in Coal. pp. 279-284.

[28] **คู่มือการใช้เครื่อง Automatic Bomb Calorimeter** ของบริษัท SANYO GALLENKAMP PLC. pp. 20-21.

[29] ASTM D-3172, **Ibid.** Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. pp. 315.

[30] ASTM D-3176, **Ibid.** Standard Practice for Ultimate Analysis of Coal and Coke. pp. 324-326.

[31] ASTM D-3173, **Ibid.** Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. pp. 316-317.

[32] ASTM D-3175, **Ibid.** Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. pp. 321-323.

[33] กฤษณา ชุติมา, **หลักเคมีทั่วไป** : เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 11 กรุงเทพ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

มาตรฐานอากาศเสียจากโรงงานไฟฟ้า (ใหม่) ภายในประเทศ

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานอากาศเสียจากโรงงานไฟฟ้า (ใหม่) ภายในประเทศ [21]

สารมลพิษ		ค่าปริมาณของสารเจือปนที่ระบายออกจากโรงงานที่ใช้			วิธีการตรวจวัด
		ถ่านหิน	น้ำมัน	ก๊าซธรรมชาติ	
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)					USEPA วิธีที่ 6 หรือ 8
โรงไฟฟ้าขนาด	> 500 เมกกะวัตต์	320	320	20	
	300-500 เมกกะวัตต์	450	450	20	
	< 300 เมกกะวัตต์	640	640	20	
NO_x as NO_2 จากโรงไฟฟ้าทุกขนาด (ส่วนในล้านส่วน)		350	180	120	USEPA วิธีที่ 7
ฝุ่นละอองจากโรงไฟฟ้าทุกขนาด (มก./ลบ.ม.)		120	120	60	USEPA วิธีที่ 5

หมายเหตุ :

1. มาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงไฟฟ้าซึ่งมีผลบังคับกับโรงไฟฟ้าที่ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานหรือใบอนุญาตขยายโรงงานหลังจากวันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษานี้เท่านั้น

2. การวัดค่าก๊าซ หรือสารเจือปนในอากาศแต่ละชนิดให้คำนวณผลที่ความดัน 1 บรรยากาศ หรืออุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสที่สภาวะแห้ง (Dry basis) โดยมีปริมาตรอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้ (Excess air) ร้อยละ 50 หรือที่ปริมาณออกซิเจนร้อยละ 7

USEPA คือ วิธีการตรวจวัดที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency) กำหนดไว้

USEPA วิธี 5: วิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดฝุ่นละอองภายในปล่องของโรงงานอุตสาหกรรม (Determination of Particulate Emissions from Stationary Sources)

USEPA วิธี 6: วิธีการตรวจวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม (Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources)

USEPA วิธี 7: วิธีการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม (Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources)

USEPA วิธี 8: วิธีการตรวจวัดก๊าซไอกรดซัลฟิวริก และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม (Determination of Sulfuric Acid Mist and Dioxide Emissions from Stationary Sources)

แหล่งที่มา : พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 โดยออกเป็นประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงไฟฟ้า และเรื่องกำหนดให้โรงไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม เมื่อวันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2538

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลผลการทดลอง

ข.1 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของเถ้า (ASTM D-3174)

- ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของเถ้าของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ตารางที่ ข.1 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
1	44.4117	44.1573	1.0090	25.21	25.18
2	45.8627	45.6065	1.0185	25.15	

เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า

W_1 = น้ำหนักของเถ้าและครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

W = น้ำหนักของถ่านหินที่ใช้ (กรัม)

ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินก่อนการกำจัดกำมะถัน

จากสมการที่ 3.1 **ร้อยละของเถ้า (A)** = $\mathbf{[(W_1 - W_2) / W] \times 100}$

ร้อยละของเถ้า ครั้งที่ 1 = $[(W_1 - W_2) / W] \times 100$

= $[(44.4117-44.1573) / 1.0090] \times 100$

= 25.21

ร้อยละของเถ้า ครั้งที่ 2 = $[(W_1 - W_2) / W] \times 100$

= $[(45.8627-45.6065) / 1.0185] \times 100$

= 25.15

ค่าเฉลี่ย = 25.18

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.2 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
50/300	1	46.7259	46.5033	1.0021	22.21	22.24
(1:6)	2	45.9485	45.7239	1.0084	22.27	
30/200	1	46.7918	46.5669	1.0097	22.27	22.28
(1:6.67)	2	46.4561	46.2314	1.0082	22.29	
30/300	1	46.2765	46.0668	1.0007	20.96	20.97
(1:10)	2	46.8145	46.6043	1.0019	20.98	
30/400	1	46.7402	46.5381	1.0023	20.16	20.18
(1:13.33)	2	43.4040	43.2009	1.0052	20.20	
8/400	1	47.9946	47.7928	1.0020	20.14	20.16
(1:50)	2	48.1764	47.9745	1.0009	20.17	

ตารางที่ ข.3 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (โมลาร์)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
0.1	1	46.3128	46.0945	1.0017	21.79	21.78
	2	43.4605	43.2415	1.0064	21.76	
0.2	1	46.7402	46.5381	1.0023	20.16	20.18
	2	43.4040	43.2009	1.0052	20.20	
0.5	1	46.1273	45.9100	1.0076	21.57	21.56
	2	44.6718	44.4541	1.0102	21.55	

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

ความเข้มข้น (โมลาร์)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
1.0	1	46.7235	46.4888	1.0015	23.43	23.42
	2	46.3721	46.1378	1.0009	23.41	

ตารางที่ ข.4 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	46.7402	46.5381	1.0023	20.16	20.18
	2	43.4040	43.2009	1.0052	20.20	
250-850	1	44.4770	44.2622	1.0128	21.21	21.17
	2	47.1851	46.9735	1.0012	21.13	
ใหญ่กว่า 850	1	47.4626	47.2419	1.0061	21.94	21.91
	2	45.4050	45.1851	1.0048	21.88	

ตารางที่ ข.5 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
200	1	46.7948	46.5903	1.0058	20.33	20.32
	2	46.8145	46.6089	1.0123	20.31	
500	1	46.3696	46.1642	1.0189	20.16	20.20
	2	46.4784	46.2752	1.0045	20.23	
800	1	46.7402	46.5381	1.0023	20.16	20.18
	2	43.4040	43.2009	1.0052	20.20	

ตารางที่ ข.6 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
50	1	46.4959	46.2800	1.0008	21.57	21.52
	2	44.7543	44.5369	1.0124	21.47	
80	1	45.4878	45.2774	1.0007	21.03	21.00
	2	44.3612	44.1488	1.0127	20.97	
100	1	46.7402	46.5381	1.0023	20.16	20.18
	2	43.4040	43.2009	1.0052	20.20	

ตารางที่ ข.7 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
1	1	44.8016	44.5817	1.0128	21.71	21.74
	2	44.0692	43.8499	1.0075	21.77	
2	1	46.7402	46.5381	1.0023	20.16	20.18
	2	43.4040	43.2009	1.0052	20.20	
4	1	45.9684	45.7662	1.0012	20.20	20.22
	2	43.4105	43.2072	1.0045	20.24	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.8 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	41.5038	41.2956	1.0105	20.60	20.58
	2	42.1823	41.9752	1.0073	20.56	
250-850	1	44.9561	44.7455	1.0148	20.75	20.80
	2	44.1253	43.9165	1.0013	20.85	
ใหญ่กว่า 850	1	44.9568	44.7348	1.0148	21.88	21.92
	2	47.1824	46.9610	1.0084	21.96	

ตารางที่ ข.9 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
200	1	47.1313	46.9232	1.0073	20.66	20.67
	2	44.5794	44.3721	1.0024	20.68	
500	1	44.8265	44.6175	1.0146	20.60	20.64
	2	47.1320	46.9251	1.0004	20.68	
800	1	41.5038	41.2956	1.0105	20.60	20.58
	2	42.1823	41.9752	1.0073	20.56	

ตารางที่ ข.10 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
50	1	41.5950	41.3768	1.0174	21.45	21.49
	2	44.7651	44.5486	1.0058	21.53	
80	1	44.8394	44.6285	1.0041	21.00	21.03
	2	44.1235	43.9115	1.0072	21.05	
100	1	41.5038	41.2956	1.0105	20.60	20.58
	2	42.1823	41.9752	1.0073	20.56	

ตารางที่ ข.11 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
1	1	44.1658	43.9495	1.0006	21.62	21.60
	2	41.8526	41.6358	1.0047	21.58	
2	1	41.5038	41.2956	1.0105	20.60	20.58
	2	42.1823	41.9752	1.0073	20.56	
4	1	46.5822	46.3726	1.0145	20.66	20.70
	2	44.1685	43.9603	1.0042	20.73	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.12 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	45.9877	45.7824	1.0059	20.41	20.37
	2	46.0278	45.8224	1.0104	20.33	
250-850	1	46.8633	46.6495	1.0033	21.31	21.29
	2	42.8167	42.6039	1.0007	21.27	
ใหญ่กว่า 850	1	43.7186	43.4932	1.0046	22.44	22.41
	2	44.7183	44.4928	1.0076	22.38	

ตารางที่ ข.13 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
200	1	47.0636	46.8542	1.0278	20.37	20.39
	2	45.0147	44.8092	1.0068	20.41	
500	1	44.4012	44.1937	1.0137	20.47	20.46
	2	44.8723	44.6677	1.0008	20.44	
800	1	45.9877	45.7824	1.0059	20.41	20.37
	2	46.0278	45.8224	1.0104	20.33	

ตารางที่ ข.14 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
50	1	46.8528	46.6335	1.0068	21.78	21.81
	2	46.8074	46.5821	1.0315	21.84	
80	1	44.4312	44.2128	1.0163	21.49	21.46
	2	44.0084	43.7931	1.0049	21.43	
100	1	45.9877	45.7824	1.0059	20.41	20.37
	2	46.0278	45.8224	1.0104	20.33	

ตารางที่ ข.15 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
1	1	42.6220	42.4005	1.0175	21.77	21.78
	2	45.9652	45.7441	1.0146	21.79	
2	1	45.9877	45.7824	1.0059	20.41	20.37
	2	46.0278	45.8224	1.0104	20.33	
4	1	46.2753	46.0704	1.0106	20.28	20.31
	2	46.7241	46.5205	1.0014	20.33	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม**

ตารางที่ ข.16 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	44.4651	44.2614	1.0114	20.14	20.16
	2	44.1658	43.9629	1.0059	20.17	
250-850	1	47.0984	46.8897	1.0156	20.55	20.52
	2	44.5628	44.3570	1.0049	20.48	
ใหญ่กว่า 850	1	46.8175	46.6018	1.0021	21.52	21.50
	2	44.7216	44.5051	1.0086	21.47	

ตารางที่ ข.17 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
200	1	45.7712	45.5667	1.0017	20.42	20.45
	2	44.6482	44.4428	1.0034	20.47	
500	1	44.4581	44.2538	1.0008	20.41	20.37
	2	47.0561	46.8519	1.0046	20.33	
800	1	44.4651	44.2614	1.0114	20.14	20.16
	2	44.1658	43.9629	1.0059	20.17	

ตารางที่ ข.18 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
50	1	45.2573	45.0416	1.0019	21.53	21.52
	2	43.7156	43.4967	1.0175	21.51	
80	1	44.3781	44.1678	1.0030	20.97	20.95
	2	44.8195	44.6074	1.0135	20.93	
100	1	44.4651	44.2614	1.0114	20.14	20.16
	2	44.1658	43.9629	1.0059	20.17	

ตารางที่ ข.19 ปริมาณร้อยละของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	W_1	W_2	W	A	เฉลี่ย
1	1	47.6815	47.4658	1.0034	21.50	21.46
	2	44.6482	44.4310	1.0142	21.42	
2	1	44.4651	44.2614	1.0114	20.14	20.16
	2	44.1658	43.9629	1.0059	20.17	
4	1	41.8462	41.6355	1.0245	20.57	20.55
	2	43.8954	43.6899	1.0012	20.53	

ข.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านหิน (ASTM D-2015)

- ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ตารางที่ ข.20 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหิน

ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT	V	e_1
1	6,324.82	8.6539	7.4528	1.2011	0	0	0	33.08	30.04	3.04	1.7	2.38
2	6,324.82	8.7345	7.5935	1.1410	0	0	0	32.85	29.85	3.00	1.6	2.24
ครั้งที่	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E					
1	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,619					
2	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,527					

ตารางที่ ข.21 ค่าความร้อนของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT	V	e_1
1	2,619	8.6143	7.6174	0.9969	45.8715	45.4196	0.4519	32.90	31.45	1.45	10.0	14.00
2	2,527	8.4216	7.4105	1.0111	46.0643	45.6025	0.4618	32.55	31.03	1.52	9.8	13.72
ครั้งที่	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย				
1	6.23	140.74	0.10	0.83	12.00	361.40	3,291	3,290				
2	6.27	141.81	0	0	12.00	361.40	3,288					

เมื่อ $HV_{benzoic}$ = ค่าความร้อนของกรดเบนโซอิก (แคลอรีต่อกรัม)

HV = ค่าความร้อนของถ่านหิน (แคลอรีต่อกรัม)

E = ค่า Energy equivalent of calorimeter (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)

W_3 = น้ำหนักของถ่านหินหลังอัดแท่ง (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของถ่านหินก่อนอัดแท่ง (กรัม)

g = น้ำหนักของถ่านหินที่ใช้ (กรัม) = $W_3 - W_4$

C_1 = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต และครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

C_2 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

P = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต (กรัม) = $C_1 - C_2$

T_1 = อุณหภูมิของน้ำรอบชุดบอมบ์หลังเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)

T_2 = อุณหภูมิของน้ำรอบชุดบอมบ์ก่อนเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)

ΔT = อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส) = $T_1 - T_2$

V = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.0725 N ที่ใช้ไปในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก (แคลอรี) = (1.4) x (V)

% S = ร้อยละของกำมะถันรวม (คำนวณจากสมการ 3.4)

= (P / g) x 13.738

e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิดกรดซัลฟิวริก (แคลอรี) = (22.6) x (% S)

$L_{ลวด}$ = ความยาวเส้นลวดที่ถูกเผาไหม้ (เซนติเมตร)

e_3 = การแก้ค่าความร้อนที่เกิดจากเส้นลวดเผาไหม้ (แคลอรี)

= $(335) \times (2.479 \times 10^{-2}) \times (L_{ลวด})$

$L_{ด้าย}$ = ความยาวเส้นด้ายที่ถูกเผาไหม้ (เซนติเมตร)

e_4 = การแก้ค่าความร้อนที่เกิดจากเส้นด้ายเผาไหม้ (แคลอรี)

= $(4{,}180) \times (7.205 \times 10^{-3}) \times (L_{ด้าย})$

<u>ข้อมูลเพิ่มเติม</u> [28]

- ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเกิดกรดไนตริก = 1.40 แคลอรีต่อปริมาตรของการเกิดกรดไนตริก
- ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเกิดกรดซัลฟิวริก = 22.6 แคลอรีต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของซัลเฟอร์
- ปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาของเส้นลวดให้ความร้อน = 335 แคลอรีต่อกรัม
- ปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาของเส้นด้าย = 4,180 แคลอรีต่อกรัม

- ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเส้นลวดต่อความยาวของเส้นลวด = 2.479×10^{-2} กรัมต่อเซนติเมตร
- ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเส้นด้ายต่อความยาวของเส้นด้าย = 7.205×10^{-3} กรัมต่อเซนติเมตร

ตัวอย่างวิธีการคำนวณค่า Energy equivalent of calorimeter ของตัวอย่างถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน จากสมการที่ 3.2

Energy equivalent of calorimeter (E) = $[(HV_{benzoic} \times g) + e_1 + e_2 + e_3 + e_4] / \Delta T$

ครั้งที่ 1 ได้ E = $[(HV_{benzoic} \times g) + e_1 + e_2 + e_3 + e_4] / \Delta T$

= $[(6,324.82 \times 1.2011) + 2.38 + 0 + 0.83 + 361.40] / 3.04$

= 2,619 แคลอรีต่อองศาเซลเซียส

ครั้งที่ 2 ได้ E = $[(HV_{benzoic} \times g) + e_1 + e_2 + e_3 + e_4] / \Delta T$

= $[(6,324.82 \times 1.1410) + 2.24 + 0 + 0.83 + 361.40] / 3.00$

= 2,527 แคลอรีต่อองศาเซลเซียส

ตัวอย่างวิธีการคำนวณค่าความร้อนของตัวอย่างถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน จากสมการที่ 3.3

ค่าความร้อนของถ่านหิน (HV) = $[(\Delta T \times E) - e_1 - e_2 - e_3 - e_4] / g$

ครั้งที่ 1 ได้ HV = $[(\Delta T \times E) - e_1 - e_2 - e_3 - e_4] / g$

= $[(1.45 \times 2,619) + 14.00 + 140.74 + 0.83 + 361.40] / 0.9969$

= 3,291 แคลอรีต่อกรัม

ครั้งที่ 2 ได้ HV = $[(\Delta T \times E) - e_1 - e_2 - e_3 - e_4] / g$

= $[(1.52 \times 2,527) + 13.72 + 141.81 + 0 + 361.40] / 1.0111$

= 3,288 แคลอรีต่อกรัม

ค่าเฉลี่ย = 3,290 แคลอรีต่อกรัม

- **ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.22 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
50/300 (1:6)	1	6,324.82	8.7825	7.6155	1.1670	0	0	0	35.36	32.36	3.00
	2	6,324.82	8.7825	7.6155	1.1670	0	0	0	35.36	32.36	3.00
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	0.5	0.70	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,581	
	2	0.5	0.70	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,581	
30/200 (1:6.67)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.7664	7.6151	1.1513	0	0	0	35.38	32.46	2.92
	2	6,324.82	8.7664	7.6151	1.1513	0	0	0	35.38	32.46	2.92
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.3	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,618	
	2	1.3	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,618	

ตารางที่ ข.22 (ต่อ)

ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
30/300 (1:10)	1	6,324.82	8.7825	7.6155	1.1670	0	0	0	35.36	32.36	3.00
	2	6,324.82	8.7825	7.6155	1.1670	0	0	0	35.36	32.36	3.00
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	0.5	0.70	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,581	
	2	0.5	0.70	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,581	
30/400 (1:13.33)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.7664	7.6151	1.1513	0	0	0	35.38	32.46	2.92
	2	6,324.82	8.7827	7.6135	1.1692	0	0	0	30.79	27.84	2.95
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.3	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,618	
	2	0.5	0.70	0	0	0	0	12.00	361.40	2,630	

ตารางที่ ข.22 (ต่อ)

ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
8/400 (1:50)	1	6,324.82	8.5921	7.4396	1.1525	0	0	0	32.81	29.84	2.97
	2	6,324.82	8.5921	7.4396	1.1525	0	0	0	32.81	29.84	2.97
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.5	2.10	0	0	0	0	12.00	361.40	2,577	
	2	1.5	2.10	0	0	0	0	12.00	361.40	2,577	

ตารางที่ ข.23 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
50/300 (1:6)	1	2,581	8.6475	7.6348	1.0127	46.1814	45.8675	0.3139	33.74	32.13	1.61
	2	2,581	8.5531	7.5498	1.0033	45.8716	45.5627	0.3089	34.91	33.31	1.60
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	8.10	11.34	4.26	96.24	0.10	0.83	12.00	361.40	3,639	3,645
	2	7.90	11.06	4.23	95.59	0	0	12.00	361.40	3,650	

ตารางที่ ข.23 (ต่อ)

ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
30/200 (1:6.67)	1	2,618	8.6455	7.6576	0.9879	47.1948	46.9004	0.2944	32.53	30.98	1.55
	2	2,618	8.5327	7.5438	0.9889	45.1132	44.8176	0.2956	34.95	33.40	1.55
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	7.60	10.64	4.09	92.52	0.10	0.83	12.00	361.40	3,637	3,635
	2	7.50	10.50	4.11	92.81	0.10	0.83	12.00	361.40	3,633	
30/300 (1:10)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,581	8.7257	7.6524	1.0733	47.2788	47.0212	0.2576	34.80	33.05	1.75
	2	2,581	8.0085	6.9451	1.0634	46.8352	46.5817	0.2535	33.75	32.01	1.74
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	7.50	10.50	3.30	74.52	0.10	0.83	12.00	361.40	3,792	3,798
	2	7.60	10.64	3.27	74.01	0	0	12.00	361.40	3,804	

ตารางที่ ข.23 (ต่อ)

ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
30/400 (1:13.33)	1	2,618	8.6408	7.6327	1.0081	45.3471	45.1048	0.2423	34.42	32.75	1.67
	2	2,630	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	30.68	28.94	1.74
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.60	7.84	3.30	74.62	0	0	12.00	361.40	3,897	3,904
	2	6.40	8.96	3.25	73.45	0	0	12.00	361.40	3,911	
8/400 (1:50)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,577	8.5906	7.6040	0.9866	46.7286	46.5023	0.2263	34.13	32.46	1.67
	2	2,577	12.6922	11.6924	0.9998	45.8465	45.6153	0.2312	34.65	32.96	1.69
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.6	7.84	3.15	71.22	0.1	0.83	12.00	361.40	3,915	3,915
	2	5.8	8.12	3.18	71.80	0	0	12.00	361.40	3,915	

ตารางที่ ข.24 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (โมลาร์)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
0.1	1	6,324.82	8.7825	7.6155	1.1670	0	0	0	35.36	32.36	3.00
	2	6,324.82	8.7825	7.6155	1.1670	0	0	0	35.36	32.36	3.00
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	0.5	0.70	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,581	
	2	0.5	0.70	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,581	
0.2	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.7664	7.6151	1.1513	0	0	0	35.38	32.46	2.92
	2	6,324.82	8.7827	7.6135	1.1692	0	0	0	30.79	27.84	2.95
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.3	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,618	
	2	0.5	0.70	0	0	0	0	12.00	361.40	2,630	

ตารางที่ ข.24 (ต่อ)

ความเข้มข้น (โมลาร์)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
0.5	1	6,324.82	8.7825	7.6155	1.1670	0	0	0	35.36	32.36	3.00
	2	6,324.82	8.7825	7.6155	1.1670	0	0	0	35.36	32.36	3.00
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	0.5	0.70	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,581	
	2	0.5	0.70	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,581	
1.0	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.7825	7.6155	1.1670	0	0	0	35.36	32.36	3.00
	2	6,324.82	8.7664	7.6151	1.1513	0	0	0	35.38	32.46	2.92
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	0.5	0.70	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,581	
	2	1.3	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,618	

ตารางที่ ข.25 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (โมลาร์)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
0.1	1	2,581	8.6579	7.6160	1.0419	45.8698	45.5287	0.3411	33.60	31.96	1.64
	2	2,581	7.9847	6.9518	1.0329	44.7350	44.3985	0.3365	32.95	31.32	1.63
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	8.65	12.11	4.50	101.65	0	0	12.00	361.40	3,607	3,611
	2	8.50	11.90	4.48	101.15	0	0	12.00	361.40	3,614	
0.2	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,618	8.6408	7.6327	1.0081	45.3471	45.1048	0.2423	34.42	32.75	1.67
	2	2,630	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	30.68	28.94	1.74
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.60	7.84	3.30	74.62	0	0	12.00	361.40	3,897	3,904
	2	6.40	8.96	3.25	73.45	0	0	12.00	361.40	3,911	

ตารางที่ ข.25 (ต่อ)

ความเข้มข้น (โมลาร์)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
0.5	1	2,581	8.6733	7.5527	1.1206	46.3688	46.0518	0.3170	33.10	31.32	1.78
	2	2,581	8.0406	6.9489	1.0917	47.1420	46.8359	0.3061	32.57	30.83	1.74
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	7.70	10.78	3.89	87.83	0.10	0.83	12.00	361.40	3,689	3,691
	2	7.80	10.92	3.85	87.05	0	0	12.00	361.40	3,693	
1.0	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,581	8.5638	7.6151	0.9487	46.0243	45.7070	0.3173	32.81	31.31	1.50
	2	2,618	8.4595	7.4576	1.0019	45.8460	45.5082	0.3378	33.59	32.04	1.55
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	7.40	10.36	4.59	103.84	0	0	12.00	361.40	3,580	3,577
	2	7.40	10.36	4.63	104.68	0.10	0.83	12.00	361.40	3,574	

ตารางที่ ข.26 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
เล็กกว่า 250	1	6,324.82	8.7664	7.6151	1.1513	0	0	0	35.38	32.46	2.92
	2	6,324.82	8.7827	7.6135	1.1692	0	0	0	30.79	27.84	2.95
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.30	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,618	
	2	0.50	0.70	0	0	0	0	12.00	361.40	2,630	
250-850	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.6603	7.5472	1.1131	0	0	0	32.05	29.18	2.87
	2	6,324.82	8.6842	7.5284	1.1558	0	0	0	33.51	30.58	2.93
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.35	1.89	0	0	2.10	17.44	12.00	361.40	2,586	
	2	1.30	1.82	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,619	

ตารางที่ ข.26 (ต่อ)

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
ใหญ่กว่า 850	1	6,324.82	8.6603	7.5472	1.1131	0	0	0	32.05	29.18	2.87
	2	6,324.82	8.6842	7.5284	1.1558	0	0	0	33.51	30.58	2.93
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.35	1.89	0	0	2.10	17.44	12.00	361.40	2,586	
	2	1.30	1.82	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,619	

ตารางที่ ข.27 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
เล็กกว่า 250	1	2,618	8.6408	7.6327	1.0081	45.3471	45.1048	0.2423	34.42	32.75	1.67
	2	2,630	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	30.68	28.94	1.74
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.60	7.84	3.30	74.62	0	0	12.00	361.40	3,897	3,904
	2	6.40	8.96	3.25	73.45	0	0	12.00	361.40	3,911	

ตารางที่ ข.27 (ต่อ)

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
250-850	1	2,586	8.5288	7.5343	0.9945	44.4531	44.2145	0.2386	30.37	28.76	1.61
	2	2,619	8.6047	7.6031	1.0016	46.7642	46.5218	0.2424	33.75	32.14	1.61
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	4.80	6.72	3.30	74.49	0	0	12.00	361.40	3,741	3,753
	2	6.70	9.38	3.32	75.14	0.10	0.83	12.00	361.40	3,764	
ใหญ่กว่า 850	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,586	8.6322	7.6277	1.0045	46.2478	45.9901	0.2577	31.05	29.45	1.60
	2	2,619	7.8364	6.8412	0.9952	45.7274	45.4672	0.2602	32.84	31.27	1.57
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.30	8.82	3.52	79.65	0	0	12.00	361.40	3,671	3,674
	2	6.80	9.52	3.59	81.18	0	0	12.00	361.40	3,677	

ตารางที่ ข.28 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
200	1	6,324.82	8.7450	7.6090	1.1360	0	0	0	32.92	30.01	2.91
	2	6,324.82	8.5412	7.3824	1.1588	0	0	0	33.42	30.46	2.96
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.40	1.96	0	0	0	0	12.00	361.40	2,594	
	2	1.40	1.96	0	0	0.1	0.83	12.00	361.40	2,599	
500	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.7664	7.6151	1.1513	0	0	0	35.38	32.46	2.92
	2	6,324.82	8.7450	7.6090	1.1360	0	0	0	32.92	30.01	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.30	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,618	
	2	1.40	1.96	0	0	0	0	12.00	361.40	2,594	

ตารางที่ ข.28 (ต่อ)

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
800	1	6,324.82	8.7664	7.6151	1.1513	0	0	0	35.38	32.46	2.92
	2	6,324.82	8.7827	7.6135	1.1692	0	0	0	30.79	27.84	2.95
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.3	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,618	
	2	0.5	0.70	0	0	0	0	12.00	361.40	2,630	

ตารางที่ ข.29 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
200	1	2,594	7.9898	6.9910	0.9988	46.7025	46.4655	0.2370	33.60	31.96	1.64
	2	2,599	7.4587	6.4584	1.0003	46.4581	46.2175	0.2406	33.48	31.84	1.64
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.60	9.24	3.26	73.67	0	0	12.00	361.40	3,814	3,815
	2	6.70	9.38	3.30	74.68	0	0	12.00	361.40	3,816	

ตารางที่ ข.29 (ต่อ)

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
500	1	2,618	8.6223	7.6120	1.0103	45.8345	45.5903	0.2442	32.37	30.71	1.66
	2	2,594	8.5530	7.6074	0.9456	46.7818	46.5561	0.2257	33.34	31.76	1.58
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.90	8.26	3.32	75.05	0.20	1.66	12.00	361.40	3,860	3,862
	2	6.50	9.10	3.28	74.11	0	0	12.00	361.40	3,864	
800	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,618	8.6408	7.6327	1.0081	45.3471	45.1048	0.2423	34.42	32.75	1.67
	2	2,630	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	30.68	28.94	1.74
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.60	7.84	3.30	74.62	0	0	12.00	361.40	3,897	3,904
	2	6.40	8.96	3.25	73.45	0	0	12.00	361.40	3,910	

ตารางที่ ข.30 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
50	1	6,324.82	8.6603	7.5472	1.1131	0	0	0	32.05	29.18	2.87
	2	6,324.82	8.5412	7.3824	1.1588	0	0	0	33.42	30.46	2.96
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.35	1.89	0	0	2.10	17.44	12.00	361.40	2,586	
	2	1.40	1.96	0	0	0.1	0.83	12.00	361.40	2,599	
80	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.6603	7.5472	1.1131	0	0	0	32.05	29.18	2.87
	2	6,324.82	8.6842	7.5284	1.1558	0	0	0	33.51	30.58	2.93
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.35	1.89	0	0	2.10	17.44	12.00	361.40	2,586	
	2	1.30	1.82	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,619	

ตารางที่ ข.30 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
100	1	6,324.82	8.7664	7.6151	1.1513	0	0	0	35.38	32.46	2.92
	2	6,324.82	8.7827	7.6135	1.1692	0	0	0	30.79	27.84	2.95
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.3	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,618	
	2	0.5	0.70	0	0	0	0	12.00	361.40	2,630	

ตารางที่ ข.31 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
50	1	2,586	8.6156	7.6085	1.0071	46.4983	46.2471	0.2512	31.40	29.79	1.61
	2	2,599	8.5413	7.5421	0.9992	44.4251	44.1719	0.2532	32.75	31.16	1.59
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.60	9.24	3.43	77.44	0	0	12.00	361.40	3,689	3,688
	2	6.50	9.10	3.48	78.68	0	0	12.00	361.40	3,686	

ตารางที่ ข.31 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
80	1	2,586	8.5456	7.5450	1.0006	45.8377	45.5911	0.2466	31.22	29.59	1.63
	2	2,619	8.4512	7.4542	0.9970	43.4324	43.1845	0.2479	32.46	30.85	1.61
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.60	9.24	3.39	76.52	0	0	12.00	361.40	3,766	3,773
	2	6.40	8.96	3.42	77.20	0	0	12.00	361.40	3,780	
100	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,618	8.6408	7.6327	1.0081	45.3471	45.1048	0.2423	34.42	32.75	1.67
	2	2,630	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	30.68	28.94	1.74
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.60	7.84	3.30	74.62	0	0	12.00	361.40	3,897	3,904
	2	6.40	8.96	3.25	73.45	0	0	12.00	361.40	3,911	

ตารางที่ ข.32 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
1	1	6,324.82	8.7827	7.6135	1.1692	0	0	0	30.79	27.84	2.95
	2	6,324.82	8.7450	7.6090	1.1360	0	0	0	32.92	30.01	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	0.5	0.70	0	0	0	0	12.00	361.40	2,630	
	2	1.40	1.96	0	0	0	0	12.00	361.40	2,594	
2	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.7664	7.6151	1.1513	0	0	0	35.38	32.46	2.92
	2	6,324.82	8.7827	7.6135	1.1692	0	0	0	30.79	27.84	2.95
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.3	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,618	
	2	0.5	0.70	0	0	0	0	12.00	361.40	2,630	

ตารางที่ ข.32 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
4	1	6,324.82	8.7827	7.6135	1.1692	0	0	0	30.79	27.84	2.95
	2	6,324.82	8.7450	7.6090	1.1360	0	0	0	32.92	30.01	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	0.5	0.70	0	0	0	0	12.00	361.40	2,630	
	2	1.40	1.96	0	0	0	0	12.00	361.40	2,594	

ตารางที่ ข.33 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
1	1	2,630	8.6055	7.6458	0.9597	46.5145	46.2471	0.2674	30.45	28.93	1.52
	2	2,594	8.6044	7.6403	0.9641	45.9746	45.7099	0.2647	33.14	31.60	1.54
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.30	8.82	3.83	86.51	0.50	4.15	12.00	361.40	3,685	3,677
	2	6.80	9.52	3.77	85.24	0.10	0.83	12.00	361.40	3,669	

ตารางที่ ข.33 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
2	1	2,618	8.6408	7.6327	1.0081	45.3471	45.1048	0.2423	34.42	32.75	1.67
	2	2,630	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	30.68	28.94	1.74
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.60	7.84	3.30	74.62	0	0	12.00	361.40	3,897	3,904
	2	6.40	8.96	3.25	73.45	0	0	12.00	361.40	3,911	
4	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,630	8.5973	7.6084	0.9889	44.9446	44.6951	0.2495	30.12	28.51	1.61
	2	2,594	8.1052	7.1732	0.9320	44.7688	44.5344	0.2344	32.22	30.67	1.55
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	, 1	6.70	9.38	3.47	78.33	0	0	12.00	361.40	3,828	3,831
	2	6.00	8.40	3.46	78.09	0	0	12.00	361.40	3,833	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.34 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
เล็กกว่า 250	1	6,324.82	9.1023	7.9711	1.1312	0	0	0	32.56	29.59	2.97
	2	6,324.82	8.7450	7.6090	1.1360	0	0	0	32.92	30.01	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.20	1.68	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,531	
	2	1.40	1.96	0	0	0	0	12.00	361.40	2,594	
250-850	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.2256	7.0721	1.1535	0	0	0	33.72	30.74	2.98
	2	6,324.82	8.7450	7.6090	1.1360	0	0	0	32.92	30.01	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.60	2.24	0	0	1.30	10.80	12.00	361.40	2,574	
	2	1.40	1.96	0	0	0	0	12.00	361.40	2,594	

ตารางที่ ข.34 (ต่อ)

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
ใหญ่กว่า 850	1	6,324.82	8.2256	7.0721	1.1535	0	0	0	33.72	30.74	2.98
	2	6,324.82	8.2256	7.0721	1.1535	0	0	0	33.72	30.74	2.98
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.60	2.24	0	0	1.30	10.80	12.00	361.40	2,574	
	2	1.60	2.24	0	0	1.30	10.80	12.00	361.40	2,574	

ตารางที่ ข.35 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
เล็กกว่า 250	1	2,531	13.0648	12.0912	0.9736	46.4804	46.2202	0.2602	32.04	30.43	1.61
	2	2,594	8.4979	7.4942	1.0037	42.8567	42.5521	0.3046	33.36	31.74	1.62
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.70	9.38	3.67	82.98	0	0	12.00	361.40	3,719	3,722
	2	6.40	8.96	4.17	94.22	0	0	12.00	361.40	3,724	

ตารางที่ ข.35 (ต่อ)

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
250-850	1	2,574	8.6041	7.6037	1.0004	46.7815	46.5187	0.2628	33.75	32.16	1.59
	2	2,594	13.0472	12.0581	0.9891	42.7158	42.4434	0.2724	34.12	32.55	1.57
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.20	8.68	3.61	81.56	0	0	12.00	361.40	3,640	3,648
	2	6.40	8.96	3.78	85.51	0.10	0.83	12.00	361.40	3,656	
ใหญ่กว่า 850	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,574	8.1257	7.0750	1.0507	47.2322	46.9245	0.3077	34.12	32.49	1.63
	2	2,574	7.8125	6.8174	0.9951	45.7274	45.4298	0.2976	32.87	31.32	1.55
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.10	8.54	4.02	90.92	3.60	29.90	12.00	361.40	3,526	3,535
	2	5.80	8.12	4.11	92.85	0.10	0.83	12.00	361.40	3,544	

ตารางที่ ข.36 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
200	1	6,324.82	8.6603	7.5472	1.1131	0	0	0	32.05	29.18	2.87
	2	6,324.82	8.7450	7.6090	1.1360	0	0	0	32.92	30.01	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.35	1.89	0	0	2.10	17.44	12.00	361.40	2,586	
	2	1.40	1.96	0	0	0	0	12.00	361.40	2,594	
500	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.6603	7.5472	1.1131	0	0	0	32.05	29.18	2.87
	2	6,324.82	8.7450	7.6090	1.1360	0	0	0	32.92	30.01	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.35	1.89	0	0	2.10	17.44	12.00	361.40	2,586	
	2	1.40	1.96	0	0	0	0	12.00	361.40	2,594	

ตารางที่ ข.36 (ต่อ)

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
800	1	6,324.82	9.1023	7.9711	1.1312	0	0	0	32.56	29.59	2.97
	2	6,324.82	8.7450	7.6090	1.1360	0	0	0	32.92	30.01	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.20	1.68	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,531	
	2	1.40	1.96	0	0	0	0	12.00	361.40	2,594	

ตารางที่ ข.37 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
200	1	2,586	8.7836	7.7988	0.9848	44.9116	44.6486	0.2630	29.33	27.75	1.58
	2	2,594	8.6200	7.6055	1.0145	44.7173	44.4415	0.2758	33.50	31.89	1.61
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.50	9.10	3.67	82.92	0.10	0.83	12.00	361.40	3,688	3,678
	2	6.50	9.10	3.73	84.41	0	0	12.00	361.40	3,668	

ตารางที่ ข.37 (ต่อ)

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
500	1	2,586	13.1050	12.0963	1.0087	46.3931	46.1245	0.2686	30.36	28.76	1.60
	2	2,594	13.0063	11.9880	1.0183	44.3989	44.1186	0.2803	33.57	31.95	1.62
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.40	8.96	3.66	82.68	0	0	12.00	361.40	3,653	3,666
	2	6.40	8.96	3.78	85.46	0	0	12.00	361.40	3,679	
800	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,531	13.0648	12.0912	0.9736	46.4804	46.2202	0.2602	32.04	30.43	1.61
	2	2,594	8.4979	7.4942	1.0037	42.8567	42.5521	0.3046	33.36	31.74	1.62
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.70	9.38	3.67	82.98	0	0	12.00	361.40	3,719	3,722
	2	6.40	8.96	4.17	94.22	0	0	12.00	361.40	3,724	

ตารางที่ ข.38 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
50	1	6,324.82	8.2863	7.1466	1.1397	0	0	0	31.54	28.59	2.95
	2	6,324.82	8.8008	7.6653	1.1355	0	0	0	34.35	31.44	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ค้าย}$	e_4	E	
	1	1.80	2.52	0	0	4.30	35.71	12.00	361.40	2,579	
	2	1.60	2.24	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,596	
80	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.6790	7.5237	1.1553	0	0	0	31.61	28.61	3.00
	2	6,324.82	8.8008	7.6653	1.1355	0	0	0	34.35	31.44	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ค้าย}$	e_4	E	
	1	1.30	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,557	
	2	1.60	2.24	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,596	

ตารางที่ ข.38 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
100	1	6,324.82	9.1023	7.9711	1.1312	0	0	0	32.56	29.59	2.97
	2	6,324.82	8.7450	7.6090	1.1360	0	0	0	32.92	30.01	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.20	1.68	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,531	
	2	1.40	1.96	0	0	0	0	12.00	361.40	2,594	

ตารางที่ ข.39 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที และเวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
50	, 1	2,579	8.6019	7.6153	0.9866	45.6501	45.3612	0.2889	32.20	30.67	1.53
	2	2,596	7.9471	6.9849	0.9622	44.0643	43.7894	0.2749	32.75	31.26	1.49
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.70	9.38	4.02	90.92	0	0	12.00	361.40	3,531	3,538
	2	5.80	8.12	3.92	88.70	0	0	12.00	361.40	3,544	

ตารางที่ ข.39 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
80	1	2,557	8.6098	7.6170	0.9928	44.0811	43.8338	0.2473	31.99	30.41	1.58
	2	2,596	8.5252	7.5906	0.9346	47.0728	46.8160	0.2568	33.01	31.53	1.48
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.60	9.24	3.42	77.34	0.10	0.83	12.00	361.40	3,617	3,621
	2	5.80	8.12	3.77	85.31	0	0	12.00	361.40	3,624	
100	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,531	13.0648	12.0912	0.9736	46.4804	46.2202	0.2602	32.04	30.43	1.61
	2	2,594	8.4979	7.4942	1.0037	42.8567	42.5521	0.3046	33.36	31.74	1.62
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.70	9.38	3.67	82.98	0	0	12.00	361.40	3,720	3,722
	2	6.40	8.96	4.17	94.22	0	0	12.00	361.40	3,724	

ตารางที่ ข.40 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
1	1	6,324.82	8.2863	7.1466	1.1397	0	0	0	31.54	28.59	2.95
	2	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.80	2.52	0	0	4.30	35.71	12.00	361.40	2,579	
	2	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	
2	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	9.1023	7.9711	1.1312	0	0	0	32.56	29.59	2.97
	2	6,324.82	8.7450	7.6090	1.1360	0	0	0	32.92	30.01	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.20	1.68	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,531	
	2	1.40	1.96	0	0	0	0	12.00	361.40	2,594	

ตารางที่ ข.40 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
4	1	6,324.82	9.1023	7.9711	1.1312	0	0	0	32.56	29.59	2.97
	2	6,324.82	8.2863	7.1466	1.1397	0	0	0	31.54	28.59	2.95
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.20	1.68	0	0	0.10	0.83	12.00	361.40	2,531	
	2	1.80	2.52	0	0	4.30	35.71	12.00	361.40	2,579	

ตารางที่ ข.41 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
1	1	2,579	8.2141	7.2647	0.9494	46.7321	46.4680	0.2641	32.18	30.68	1.50
	2	2,575	8.5159	7.5794	0.9365	47.0526	46.7889	0.2637	34.29	32.81	1.48
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	7.00	9.73	3.82	86.37	0	0	12.00	361.40	3,593	3,587
	2	6.30	8.82	3.87	87.42	0	0	12.00	361.40	3,581	

ตารางที่ ข.41 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
2	1	2,531	13.0648	12.0912	0.9736	46.4804	46.2202	0.2602	32.04	30.43	1.61
	2	2,594	8.4979	7.4942	1.0037	42.8567	42.5521	0.3046	33.36	31.74	1.62
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.70	9.38	3.67	82.98	0	0	12.00	361.40	3,720	3,722
	2	6.40	8.96	4.17	94.22	0	0	12.00	361.40	3,724	
4	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,531	8.7483	7.7967	0.9516	46.0381	45.8554	0.1827	33.07	31.51	1.56
	2	2,579	8.4259	7.4692	0.9567	46.8009	46.5390	0.2619	31.45	29.90	1.55
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.30	8.82	2.64	59.61	0.10	0.83	12.00	361.40	3,697	3,699
	2	7.20	10.08	3.76	84.99	0	0	12.00	361.40	3,701	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.42 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
เล็กกว่า 250	1	6,324.82	8.2863	7.1466	1.1397	0	0	0	31.54	28.59	2.95
	2	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.80	2.52	0	0	4.30	35.71	12.00	361.40	2,579	
	2	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	
250-850	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.2354	7.0745	1.1609	0	0	0	34.55	31.56	2.99
	2	6,324.82	8.7154	7.5238	1.1916	0	0	0	33.45	30.40	3.05
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.50	2.10	0	0	3.50	29.07	12.00	361.40	2,587	
	2	1.40	1.96	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2 ,593	

ตารางที่ ข.42 (ต่อ)

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
ใหญ่กว่า 850	1	6,324.82	8.2354	7.0745	1.1609	0	0	0	34.55	31.56	2.99
	2	6,324.82	12.6813	11.4827	1.1986	0	0	0	34.48	31.37	3.11
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.50	2.10	0	0	3.50	29.07	12.00	361.40	2,587	
	2	1.50	2.10	0	0	3.00	24.91	12.00	361.40	2,562	

ตารางที่ ข.43 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
เล็กกว่า 250	1	2,579	8.4470	7.4684	0.9786	44.7532	44.5340	0.2192	31.67	30.03	1.64
	2	2,575	8.3228	7.3759	0.9469	44.9837	44.7468	0.2369	33.90	32.30	1.60
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.85	9.59	3.08	69.55	0	0	12.00	361.40	3,872	3,876
	2	5.90	8.26	3.44	77.68	0	0	12.00	361.40	3,879	

ตารางที่ ข.43 (ต่อ)

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
250-850	1	2,587	12.9549	11.9051	1.0498	42.4244	42.1824	0.2420	33.76	32.06	1.70
	2	2 ,593	8.6041	7.6037	1.0004	46.7815	46.5481	0.2334	33.75	32.13	1.62
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.00	8.40	3.17	71.57	0.80	6.64	12.00	361.40	3,763	3,760
	2	6.20	8.68	3.21	72.44	0	0	12.00	361.40	3,757	
ใหญ่กว่า 850	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,587	7.6166	6.5925	1.0241	46.5283	46.2845	0.2438	33.83	32.20	1.63
	2	2,562	8.4970	7.5184	0.9786	44.8461	44.6072	0.2389	33.34	31.76	1.58
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.20	8.68	3.27	73.91	0.10	0.83	12.00	361.40	3,683	3,682
	2	6.10	8.54	3.35	75.80	0	0	12.00	361.40	3,681	

ตารางที่ ข.44 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.2863	7.1466	1.1397	0	0	0	31.54	28.59	2.95
	2	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
200	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.80	2.52	0	0	4.30	35.71	12.00	361.40	2,579	
	2	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	
	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.2863	7.1466	1.1397	0	0	0	31.54	28.59	2.95
500	2	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.80	2.52	0	0	4.30	35.71	12.00	361.40	2,579	
	2	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	

ตารางที่ ข.44 (ต่อ)

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
800	1	6,324.82	8.2863	7.1466	1.1397	0	0	0	31.54	28.59	2.95
	2	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.80	2.52	0	0	4.30	35.71	12.00	361.40	2,579	
	2	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	

ตารางที่ ข.45 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
200	1	2,579	8.1594	7.1490	1.0104	46.0926	45.8572	0.2354	32.35	30.74	1.61
	2	2,575	8.3353	7.3358	0.9995	42.6220	42.3957	0.2263	33.97	32.37	1.60
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	7.20	10.08	3.20	72.33	0	0	12.00	361.40	3,670	3,676
	2	6.30	8.82	3.11	70.30	0	0	12.00	361.40	3,681	

ตารางที่ ข.45 (ต่อ)

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
500	1	2,579	8.4496	7.4639	0.9857	46.8670	46.6454	0.2216	29.68	28.08	1.60
	2	2,575	7.9940	7.0103	0.9837	47.1494	46.9245	0.2249	33.70	32.10	1.60
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.70	9.38	3.09	69.80	0.10	0.83	12.00	361.40	3,738	3,739
	2	6.60	9.24	3.14	70.98	0	0	12.00	361.40	3,739	
800	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,579	8.4470	7.4684	0.9786	44.7532	44.5340	0.2192	31.67	30.03	1.64
	2	2,575	8.3228	7.3759	0.9469	44.9837	44.7468	0.2369	33.90	32.30	1.60
	ครั้งที่	V	c_1	% S	c_2	$L_{ถวด}$	c_3	$L_{ด้าย}$	c_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.85	9.59	3.08	69.55	0	0	12.00	361.40	3,872	3,876
	2	5.90	8.26	3.44	77.68	0	0	12.00	361.40	3,879	

ตารางที่ ข.46 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
50	1	6,324.82	8.2354	7.0745	1.1609	0	0	0	34.55	31.56	2.99
	2	6,324.82	8.7154	7.5238	1.1916	0	0	0	33.45	30.40	3.05
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.50	2.10	0	0	3.50	29.07	12.00	361.40	2,587	
	2	1.40	1.96	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2 ,593	
80	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.2354	7.0745	1.1609	0	0	0	34.55	31.56	2.99
	2	6,324.82	8.7154	7.5238	1.1916	0	0	0	33.45	30.40	3.05
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.50	2.10	0	0	3.50	29.07	12.00	361.40	2,587	
	2	1.40	1.96	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2 ,593	

ตารางที่ ข.46 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
100	1	6,324.82	8.2863	7.1466	1.1397	0	0	0	31.54	28.59	2.95
	2	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ค้าย}$	e_4	E	
	1	1.80	2.52	0	0	4.30	35.71	12.00	361.40	2,579	
	2	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	

ตารางที่ ข.47 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
50	1	2,587	8.0074	7.0679	0.9395	47.0574	46.8305	0.2269	33.75	32.24	1.51
	2	2 ,593	8.6120	7.6143	0.9977	45.6501	45.4164	0.2337	32.20	30.61	1.59
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ค้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.80	8.12	3.32	74.98	0	0	12.00	361.40	3,685	3,687
	2	6.00	8.40	3.22	72.73	0	0	12.00	361.40	3,689	

ตารางที่ ข.47 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
80	1	2,587	7.9448	6.9797	0.9651	47.9463	47.7267	0.2196	33.01	31.43	1.58
	2	2 ,593	8.4917	7.5124	0.9793	42.6537	42.4265	0.2272	32.10	30.51	1.59
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.90	8.26	3.13	70.65	0.10	0.83	12.00	361.40	3,778	3,768
	2	6.20	8.68	3.19	72.03	0.10	0.83	12.00	361.40	3,758	
100	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,579	8.4470	7.4684	0.9786	44.7532	44.5340	0.2192	31.67	30.03	1.64
	2	2,575	8.3228	7.3759	0.9469	44.9837	44.7468	0.2369	33.90	32.30	1.60
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.85	9.59	3.08	69.55	0	0	12.00	361.40	3,872	3,876
	2	5.90	8.26	3.44	77.68	0	0	12.00	361.40	3,879	

ตารางที่ ข.48 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.2863	7.1466	1.1397	0	0	0	31.54	28.59	2.95
	2	6,324.82	8.8008	7.6653	1.1355	0	0	0	34.35	31.44	2.91
1	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.80	2.52	0	0	4.30	35.71	12.00	361.40	2,579	
	2	1.60	2.24	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,596	
	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.2863	7.1466	1.1397	0	0	0	31.54	28.59	2.95
2	2	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.80	2.52	0	0	4.30	35.71	12.00	361.40	2,579	
	2	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	

ตารางที่ ข.48 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
4	1	6,324.82	8.6790	7.5237	1.1553	0	0	0	31.61	28.61	3.00
	2	6,324.82	8.2863	7.1466	1.1397	0	0	0	31.54	28.59	2.95
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.30	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,557	
	2	1.80	2.52	0	0	4.30	35.71	12.00	361.40	2,579	

ตารางที่ ข.49 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
1	1	2,579	8.5987	7.4748	1.1239	44.8440	44.5907	0.2533	32.04	30.28	1.76
	2	2,596	8.3110	7.3482	0.9628	47.0014	46.7739	0.2275	33.00	31.48	1.52
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	7.80	10.92	3.10	69.97	0.10	0.83	12.00	361.40	3,644	3,641
	2	6.40	8.96	3.25	73.36	0.10	0.83	12.00	361.40	3,637	

ตารางที่ ข.49 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
2	1	2,579	8.4470	7.4684	0.9786	44.7532	44.5340	0.2192	31.67	30.03	1.64
	2	2,575	8.3228	7.3759	0.9469	44.9837	44.7468	0.2369	33.90	32.30	1.60
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ค้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.85	9.59	3.08	69.55	0	0	12.00	361.40	3,872	3,876
	2	5.90	8.26	3.44	77.68	0	0	12.00	361.40	3,879	
4	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,557	8.5764	7.5872	0.9892	47.0155	46.7834	0.2321	31.30	29.66	1.64
	2	2,579	8.5711	7.6102	0.9609	44.1259	43.8892	0.2367	31.51	29.92	1.59
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ค้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.10	8.54	3.22	72.85	0	0	12.00	361.40	3,792	3,797
	2	6.50	9.10	3.38	76.48	0.10	0.83	12.00	361.40	3,801	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม**

ตารางที่ ข.50 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
เล็กกว่า 250	1	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
	2	6,324.82	8.7154	7.5238	1.1916	0	0	0	33.45	30.40	3.05
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	
	2	1.40	1.96	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,593	
250-850	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.2451	7.0845	1.1606	0	0	0	33.84	30.86	2.98
	2	6,324.82	12.6813	11.4827	1.1986	0	0	0	34.48	31.37	3.11
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.60	2.24	0	0	1.40	11.63	12.00	361.40	2,589	
	2	1.50	2.10	0	0	3.0	24.91	12.00	361.40	2,562	

ตารางที่ ข.50 (ต่อ)

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
ใหญ่กว่า 850	1	6,324.82	8.7154	7.5238	1.1916	0	0	0	33.45	30.40	3.05
	2	6,324.82	12.6813	11.4827	1.1986	0	0	0	34.48	31.37	3.11
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.40	1.96	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,593	
	2	1.50	2.10	0	0	3.0	24.91	12.00	361.40	2,562	

ตารางที่ ข.51 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
เล็กกว่า 250	1	2,575	7.9391	6.9884	0.9507	44.0394	43.8197	0.2197	33.50	31.88	1.62
	2	2,593	8.1832	7.2095	0.9737	47.8462	47.6201	0.2261	33.32	31.68	1.64
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.90	8.26	3.17	71.75	0.10	0.83	12.00	361.40	3,923	3,918
	2	6.10	8.54	3.19	72.10	0	0	12.00	361.40	3,913	

ตารางที่ ข.51 (ต่อ)

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
250-850	1	2,589	8.5515	7.5380	1.0135	46.8564	46.6140	0.2424	32.99	31.33	1.66
	2	2,562	8.5274	7.5482	0.9792	49.1820	48.9446	0.2374	32.85	31.23	1.62
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.30	8.82	3.29	74.26	0	0	12.00	361.40	3,802	3,793
	2	6.00	8.40	3.33	75.27	0.10	0.83	12.00	361.40	3,783	
ใหญ่กว่า 850	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,593	7.9846	6.9971	0.9875	44.5289	44.3215	0.2074	33.04	31.46	1.58
	2	2,562	12.3925	11.4082	0.9843	47.6930	47.4498	0.2432	32.06	30.47	1.59
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.80	8.12	2.89	65.21	0	0	12.00	361.40	3,709	3,697
	2	5.70	7.98	3.39	76.71	0	0	12.00	361.40	3,685	

ตารางที่ ข.52 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.7372	7.5948	1.1424	0	0	0	31.27	28.32	2.95
	2	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
200	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.30	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,572	
	2	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	
	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
500	2	6,324.82	8.7154	7.5238	1.1916	0	0	0	33.45	30.40	3.05
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	
	2	1.40	1.96	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,593	

ตารางที่ ข.52 (ต่อ)

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
800	1	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
	2	6,324.82	8.7154	7.5238	1.1916	0	0	0	33.45	30.40	3.05
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	
	2	1.40	1.96	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,593	

ตารางที่ ข.53 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 25C ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
200	1	2,572	8.5960	7.6385	0.9575	40.1752	39.9528	0.2224	31.33	29.73	1.60
	2	2,575	8.1312	7.1552	0.9760	44.3539	44.1235	0.2304	32.49	30.87	1.62
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.90	8.26	3.19	72.12	0	0	12.00	361.40	3,836	3,827
	2	6.90	9.66	3.24	73.29	0.10	0.83	12.00	361.40	3,818	

ตารางที่ ข.53 (ต่อ)

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
500	1	2,575	7.6190	6.6399	0.9791	47.0683	46.8416	0.2267	33.48	31.84	1.64
	2	2,593	7.7986	6.8172	0.9814	49.1825	48.9518	0.2307	31.86	30.23	1.63
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.30	8.82	3.18	71.89	0.10	0.83	12.00	361.40	3,861	3,858
	2	6.00	8.40	3.23	72.98	0.10	0.83	12.00	361.40	3,855	
800	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,575	7.9391	6.9884	0.9507	44.0394	43.8197	0.2197	33.50	31.88	1.62
	2	2,593	8.1832	7.2095	0.9737	47.8462	47.6201	0.2261	33.32	31.68	1.64
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.90	8.26	3.17	71.75	0.10	0.83	12.00	361.40	3,923	3,918
	2	6.10	8.54	3.19	72.10	0	0	12.00	361.40	3,913	

ตารางที่ ข.54 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
50	1	6,324.82	8.7154	7.5238	1.1916	0	0	0	33.45	30.40	3.05
	2	6,324.82	12.6813	11.4827	1.1986	0	0	0	34.48	31.37	3.11
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ค้าย}$	e_4	E	
	1	1.40	1.96	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,593	
	2	1.50	2.10	0	0	3.0	24.91	12.00	361.40	2,562	
80	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	8.2451	7.0845	1.1606	0	0	0	33.84	30.86	2.98
	2	6,324.82	8.7154	7.5238	1.1916	0	0	0	33.45	30.40	3.05
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ค้าย}$	e_4	E	
	1	1.60	2.24	0	0	1.40	11.63	12.00	361.40	2,589	
	2	1.40	1.96	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,593	

ตารางที่ ข.54 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
100	1	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
	2	6,324.82	8.7154	7.5238	1.1916	0	0	0	33.45	30.40	3.05
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	
	2	1.40	1.96	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,593	

ตารางที่ ข.55 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
50	1	2,593	8.9172	7.9348	0.9824	47.9537	47.7128	0.2409	32.50	30.93	1.57
	2	2,562	7.6456	6.7094	0.9362	45.0867	44.8513	0.2354	32.58	31.06	1.52
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.80	8.12	3.37	76.13	0	0	12.00	361.40	3,690	3,685
	2	6.00	8.40	3.45	78.07	0.10	0.83	12.00	361.40	3,680	

ตารางที่ ข.55 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
80	1	2,589	8.5207	7.5658	0.9549	45.6131	45.3842	0.2289	32.26	30.71	1.55
	2	2,593	7.6984	6.7058	0.9926	49.1825	48.9511	0.2314	31.87	30.26	1.61
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.40	7.56	3.29	74.43	0.10	0.83	12.00	361.40	3,737	3,749
	2	5.50	7.70	3.20	72.38	0	0	12.00	361.40	3,761	
100	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,575	7.9391	6.9884	0.9507	44.0394	43.8197	0.2197	33.50	31.88	1.62
	2	2,593	8.1832	7.2095	0.9737	47.8462	47.6201	0.2261	33.32	31.68	1.64
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.90	8.26	3.17	71.75	0.10	0.83	12.00	361.40	3,923	3,918
	2	6.10	8.54	3.19	72.10	0	0	12.00	361.40	3,913	

ตารางที่ ข.56 ค่า Energy equivalent of calorimeter ที่ได้จากการ calibrate เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ด้วยกรดเบนโซอิกซึ่งนำไปคำนวณค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
1	1	6,324.82	8.6790	7.5237	1.1553	0	0	0	31.61	28.61	3.00
	2	6,324.82	8.8008	7.6653	1.1355	0	0	0	34.35	31.44	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.30	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,557	
	2	1.60	2.24	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,596	
2	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	6,324.82	13.1616	11.9620	1.1996	0	0	0	34.93	31.83	3.10
	2	6,324.82	8.7154	7.5238	1.1916	0	0	0	33.45	30.40	3.05
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.70	2.38	0	0	3.70	30.73	12.00	361.40	2,575	
	2	1.40	1.96	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,593	

ตารางที่ ข.56 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	$HV_{benzoic}$	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
4	1	6,324.82	8.6790	7.5237	1.1553	0	0	0	31.61	28.61	3.00
	2	6,324.82	8.8008	7.6653	1.1355	0	0	0	34.35	31.44	2.91
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	E	
	1	1.30	1.82	0	0	0	0	12.00	361.40	2,557	
	2	1.60	2.24	0	0	1.20	9.97	12.00	361.40	2,596	

ตารางที่ ข.57 ค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
1	1	2,557	8.2586	7.2988	0.9598	47.0910	46.8365	0.2545	31.99	30.43	1.56
	2	2,596	8.2692	7.2970	0.9722	47.1288	46.8767	0.2521	33.80	32.24	1.56
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ถวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	6.10	8.54	3.64	82.33	0.10	0.83	12.00	361.40	3,684	3,693
	2	6.00	8.40	3.56	80.51	0.10	0.83	12.00	361.40	3,702	

ตารางที่ ข.57 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
2	1	2,575	7.9391	6.9884	0.9507	44.0394	43.8197	0.2197	33.50	31.88	1.62
	2	2,593	8.1832	7.2095	0.9737	47.8462	47.6201	0.2261	33.32	31.68	1.64
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.90	8.26	3.17	71.75	0.10	0.83	12.00	361.40	3,923	3,918
	2	6.10	8.54	3.19	72.10	0	0	12.00	361.40	3,913	
4	ครั้งที่	E	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	T_1	T_2	ΔT
	1	2,557	8.3861	7.4708	0.9153	48.2170	47.9989	0.2181	32.11	30.57	1.54
	2	2,596	7.9038	6.8787	1.0251	44.4791	44.2327	0.2464	34.19	32.52	1.67
	ครั้งที่	V	e_1	% S	e_2	$L_{ลวด}$	e_3	$L_{ด้าย}$	e_4	HV	เฉลี่ย
	1	5.20	7.28	3.27	73.98	0.10	0.83	12.00	361.40	3,818	3,807
	2	6.20	8.68	3.30	74.63	0	0	12.00	361.40	3,795	

ข.3 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันรวม (ASTM D-3177)

- ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ตารางที่ ข.58 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
1	8.6143	7.6174	0.9969	45.8715	45.4196	0.4519	6.23	6.24
2	8.6145	7.6315	0.9830	44.7518	44.3054	0.4464	6.24	

เมื่อ % S = ร้อยละของกำมะถันรวม

W_3 = น้ำหนักของถ่านหินหลังอัดแท่ง (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของถ่านหินก่อนอัดแท่ง (กรัม)

g = น้ำหนักของถ่านหินที่ใช้ (กรัม) = $W_3 - W_4$

C_1 = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต และครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

C_2 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

P = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต (กรัม) = $C_1 - C_2$

ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินก่อนการกำจัดกำมะถัน

จากสมการที่ 3.4 **ร้อยละของกำมะถันรวม (% S) = 13.738 x (P / g)**

ร้อยละของกำมะถันรวม ครั้งที่ 1 = 13.738 x (P / g)

= 13.738 x (0.4519 / 0.9969)

= 6.23

ร้อยละของกำมะถันรวม ครั้งที่ 2 = 13.738 x (P / g)

= 13.738 x (0.4464 / 0.9830)

= 6.24

ค่าเฉลี่ย = 6.24

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.59 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
50/300	1	8.6475	7.6348	1.0127	46.1814	45.8675	0.3139	4.26	4.25
(1:6)	2	8.5531	7.5498	1.0033	45.8716	45.5627	0.3089	4.23	
30/200	1	8.6455	7.6576	0.9879	47.1948	46.9004	0.2944	4.09	4.10
(1:6.67)	2	8.5327	7.5438	0.9889	45.1132	44.8176	0.2956	4.11	
30/300	1	8.7257	7.6524	1.0733	47.2788	47.0212	0.2576	3.30	3.29
(1:10)	2	8.0085	6.9451	1.0634	46.8352	46.5817	0.2535	3.27	
30/400	1	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	3.25	3.25
(1:13.33)	2	8.5906	7.6038	0.9868	44.9292	44.6967	0.2325	3.24	
8/400	1	8.5906	7.6040	0.9866	46.7286	46.5023	0.2263	3.15	3.17
(1:50)	2	12.6922	11.6924	0.9998	45.8465	45.6153	0.2312	3.18	

ตารางที่ ข.60 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (โมลาร์)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
0.1	1	8.6579	7.6160	1.0419	45.8698	45.5287	0.3411	4.50	4.49
	2	7.9847	6.9518	1.0329	44.7350	44.3985	0.3365	4.48	
0.2	1	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	3.25	3.25
	2	8.5906	7.6038	0.9868	44.9292	44.6967	0.2325	3.24	

ตารางที่ ข.60 (ต่อ)

ความเข้มข้น (โมลาร์)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
0.5	1	8.6733	7.5527	1.1206	46.3688	46.0518	0.3170	3.89	3.87
	2	8.0406	6.9489	1.0917	47.1420	46.8359	0.3061	3.85	
1.0	1	8.5638	7.6151	0.9487	46.0243	45.7070	0.3173	4.59	4.61
	2	8.4595	7.4576	1.0019	45.8460	45.5082	0.3378	4.63	

ตารางที่ ข.61 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	3.25	3.25
	2	8.5906	7.6038	0.9868	44.9292	44.6967	0.2325	3.24	
250-850	1	8.5288	7.5343	0.9945	44.4531	44.2145	0.2386	3.30	3.31
	2	8.6047	7.6031	1.0016	46.7642	46.5218	0.2424	3.32	
ใหญ่กว่า 850	1	8.6322	7.6277	1.0045	46.2478	45.9901	0.2577	3.52	3.56
	2	7.8364	6.8412	0.9952	45.7274	45.4672	0.2602	3.59	

ตารางที่ ข.62 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
200	1	7.9898	6.9910	0.9988	46.7025	46.4655	0.2370	3.26	3.28
	2	7.4587	6.4584	1.0003	46.4581	46.2175	0.2406	3.30	
500	1	8.6223	7.6120	1.0103	45.8345	45.5903	0.2442	3.32	3.30
	2	8.5530	7.6074	0.9456	46.7818	46.5561	0.2257	3.28	

ตารางที่ ข.62 (ต่อ)

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
800	1	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	3.25	3.25
	2	8.5906	7.6038	0.9868	44.9292	44.6967	0.2325	3.24	

ตารางที่ ข.63 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ: ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
50	1	7.8465	6.8378	1.0087	46.4885	46.2348	0.2537	3.46	3.47
	2	8.5413	7.5421	0.9992	44.4251	44.1719	0.2532	3.48	
80	1	8.5456	7.5450	1.0006	45.8377	45.5911	0.2466	3.39	3.41
	2	8.4512	7.4542	0.9970	43.4324	43.1845	0.2479	3.42	
100	1	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	3.25	3.25
	2	8.5906	7.6038	0.9868	44.9292	44.6967	0.2325	3.24	

ตารางที่ ข.64 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
1	1	8.6055	7.6458	0.9597	46.5145	46.2471	0.2674	3.83	3.80
	2	8.6044	7.6403	0.9641	45.9746	45.7099	0.2647	3.77	
2	1	8.7028	7.6461	1.0567	45.8402	45.5902	0.2500	3.25	3.25
	2	8.5906	7.6038	0.9868	44.9292	44.6967	0.2325	3.24	
4	1	8.5973	7.6084	0.9889	44.9446	44.6951	0.2495	3.47	3.47
	2	8.1052	7.1732	0.9320	44.7688	44.5344	0.2344	3.46	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.65 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	8.4107	7.4452	0.9655	45.4850	45.2283	0.2567	3.65	3.66
	2	13.0648	12.0912	0.9736	46.4804	46.2202	0.2602	3.67	
250-850	1	9.5551	8.5694	0.9857	44.2513	43.9781	0.2732	3.81	3.80
	2	13.0472	12.0581	0.9891	42.7158	42.4434	0.2724	3.78	
ใหญ่กว่า 850	1	8.1257	7.0750	1.0507	47.2322	46.9245	0.3077	4.02	4.07
	2	7.8125	6.8174	0.9951	45.7274	45.4298	0.2976	4.11	

ตารางที่ ข.66 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
200	1	8.7836	7.7988	0.9848	44.9116	44.6486	0.2630	3.67	3.70
	2	8.6200	7.6055	1.0145	44.7173	44.4415	0.2758	3.73	
500	1	13.1050	12.0963	1.0087	46.3931	46.1245	0.2686	3.68	3.72
	2	13.0063	11.9880	1.0183	44.3989	44.1186	0.2803	3.76	
800	1	8.4107	7.4452	0.9655	45.4850	45.2283	0.2567	3.65	3.66
	2	13.0648	12.0912	0.9736	46.4804	46.2202	0.2602	3.67	

ตารางที่ ข.67 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ: ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
50	1	8.6019	7.6153	0.9866	45.6501	45.3612	0.2889	4.02	3.97
	2	7.9471	6.9849	0.9622	44.0643	43.7894	0.2749	3.92	
80	1	8.4459	7.4677	0.9782	42.6537	42.3794	0.2743	3.85	3.81
	2	8.5252	7.5906	0.9346	47.0728	46.8160	0.2568	3.77	
100	1	8.4107	7.4452	0.9655	45.4850	45.2283	0.2567	3.65	3.66
	2	13.0648	12.0912	0.9736	46.4804	46.2202	0.2602	3.67	

ตารางที่ ข.68 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
1	1	8.2141	7.2647	0.9494	46.7321	46.4680	0.2641	3.82	3.85
	2	8.5159	7.5794	0.9365	47.0526	46.7889	0.2637	3.87	
2	1	8.4107	7.4452	0.9655	45.4850	45.2283	0.2567	3.65	3.66
	2	13.0648	12.0912	0.9736	46.4804	46.2202	0.2602	3.67	
4	1	8.4259	7.4692	0.9567	46.8009	46.5390	0.2619	3.76	3.74
	2	8.9088	7.8997	1.0091	46.5036	46.2300	0.2736	3.72	

- ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ข.69 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	8.4605	7.4437	1.0168	47.1811	46.9553	0.2258	3.05	3.07
	2	8.4470	7.4684	0.9786	44.7532	44.5340	0.2192	3.08	
250-850	1	12.9549	11.9051	1.0498	42.4244	42.1824	0.2420	3.17	3.19
	2	8.6041	7.6037	1.0004	46.7815	46.5481	0.2334	3.21	
ใหญ่กว่า 850	1	7.8125	6.8174	0.9951	45.7274	45.4816	0.2458	3.39	3.37
	2	8.4970	7.5184	0.9786	44.8461	44.6072	0.2389	3.35	

ตารางที่ ข.70 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
200	1	8.4106	7.4402	0.9704	46.9978	46.7806	0.2172	3.07	3.09
	2	8.3353	7.3358	0.9995	42.6220	42.3957	0.2263	3.11	
500	1	8.4496	7.4639	0.9857	46.8670	46.6454	0.2216	3.09	3.12
	2	7.9940	7.0103	0.9837	47.1494	46.9245	0.2249	3.14	
800	1	8.4605	7.4437	1.0168	47.1811	46.9553	0.2258	3.05	3.07
	2	8.4470	7.4684	0.9786	44.7532	44.5340	0.2192	3.08	

ตารางที่ ข.71 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ: ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
50	1	8.0074	7.0679	0.9395	47.0574	46.8305	0.2269	3.32	3.27
	2	8.6120	7.6143	0.9977	45.6501	45.4164	0.2337	3.22	
80	1	7.9448	6.9797	0.9651	47.9463	47.7267	0.2196	3.13	3.16
	2	8.4917	7.5124	0.9793	42.6537	42.4265	0.2272	3.19	
100	1	8.4605	7.4437	1.0168	47.1811	46.9553	0.2258	3.05	3.07
	2	8.4470	7.4684	0.9786	44.7532	44.5340	0.2192	3.08	

ตารางที่ ข.72 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
1	1	8.4960	7.5225	0.9735	44.9439	44.7084	0.2355	3.32	3.29
	2	8.3110	7.3482	0.9628	47.0014	46.7739	0.2275	3.25	
2	1	8.4605	7.4437	1.0168	47.1811	46.9553	0.2258	3.05	3.07
	2	8.4470	7.4684	0.9786	44.7532	44.5340	0.2192	3.08	
4	1	8.5764	7.5872	0.9892	47.0155	46.7834	0.2321	3.22	3.18
	2	8.2750	7.2899	0.9851	46.5464	46.3215	0.2249	3.14	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม**

ตารางที่ ข.73 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	7.9391	6.9884	0.9507	44.0394	43.8197	0.2197	3.17	3.18
	2	8.1832	7.2095	0.9737	47.8462	47.6201	0.2261	3.19	
250-850	1	8.5515	7.5380	1.0135	46.8564	46.6140	0.2424	3.29	3.31
	2	8.5274	7.5482	0.9792	49.1820	48.9446	0.2374	3.33	
ใหญ่กว่า 850	1	8.2288	7.2370	0.9918	41.4109	41.1612	0.2497	3.46	3.43
	2	12.3925	11.4082	0.9843	47.6930	47.4498	0.2432	3.39	

ตารางที่ ข.74 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
200	1	8.5960	7.6385	0.9575	40.1752	39.9528	0.2224	3.19	3.22
	2	8.1312	7.1552	0.9760	44.3539	44.1235	0.2304	3.24	
500	1	7.6190	6.6399	0.9791	47.0683	46.8416	0.2267	3.18	3.21
	2	7.7986	6.8172	0.9814	49.1825	48.9518	0.2307	3.23	
800	1	7.9391	6.9884	0.9507	44.0394	43.8197	0.2197	3.17	3.18
	2	8.1832	7.2095	0.9737	47.8462	47.6201	0.2261	3.19	

ตารางที่ ข.75 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ: ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
50	1	8.9172	7.9348	0.9824	47.9537	47.7128	0.2409	3.37	3.41
	2	7.6456	6.7094	0.9362	45.0867	44.8513	0.2354	3.45	
80	1	8.5207	7.5658	0.9549	45.6131	45.3842	0.2289	3.29	3.25
	2	7.6984	6.7058	0.9926	49.1825	48.9511	0.2314	3.20	
100	1	7.9391	6.9884	0.9507	44.0394	43.8197	0.2197	3.17	3.18
	2	8.1832	7.2095	0.9737	47.8462	47.6201	0.2261	3.19	

ตารางที่ ข.76 ปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	W_3	W_4	g	C_1	C_2	P	% S	เฉลี่ย
1	1	8.2586	7.2988	0.9598	47.0910	46.8365	0.2545	3.64	3.60
	2	8.2692	7.2970	0.9722	47.1288	46.8767	0.2521	3.56	
2	1	7.9391	6.9884	0.9507	44.0394	43.8197	0.2197	3.17	3.18
	2	8.1832	7.2095	0.9737	47.8462	47.6201	0.2261	3.19	
4	1	8.3861	7.4708	0.9153	48.2170	47.9989	0.2181	3.27	3.29
	2	7.9038	6.8787	1.0251	44.4791	44.2327	0.2464	3.30	

ข.4 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟต (ASTM D-2492)

- ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ตารางที่ ข.77 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
1	46.6587	46.5600	0.0987	0.0068	1.9990	0.63	0.63
2	46.1752	46.0783	0.0969	0.0064	2.0158	0.62	

เมื่อ % Sulfate = ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต

P = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต (กรัม) = $C_1 - C_2$

B = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต ใน Blank (กรัม)

g = น้ำหนักของถ่านหินที่ใช้ (กรัม)

C_1 = น้ำหนักของตะกอนแบเรียมซัลเฟต และครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

C_2 = น้ำหนักครูซิเบิลพร้อมฝาปิด (กรัม)

ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินก่อนการกำจัดกำมะถัน

จากสมการที่ 3.5 **ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต (% Sulfate) = 13.735 x [(P – B) / g]**

ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต ครั้งที่ 1 = 13.735 x [(P – B) / g]

= 13.735 x [(0.0987 – 0.0068) / 1.9990]

= 0.63

ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต ครั้งที่ 2 = 13.735 x [(P – B) / g]

= 13.735 x [(0.0969 – 0.0064) / 2.0158]

= 0.62

ค่าเฉลี่ย = 0.63

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.78 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	45.5012	45.4731	0.0281	0.0068	2.0138	0.15	0.15
	2	46.1533	46.1251	0.0282	0.0064	2.0137	0.15	
250-850	1	44.1351	44.0951	0.0400	0.0068	2.0041	0.23	0.24
	2	44.1621	44.1203	0.0418	0.0064	2.0135	0.24	
ใหญ่กว่า 850	1	45.5616	45.5174	0.0442	0.0068	2.0050	0.26	0.27
	2	48.2186	48.1725	0.0461	0.0064	2.0142	0.27	

ตารางที่ ข.79 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
200	1	42.4192	42.3830	0.0362	0.0068	2.0057	0.20	0.21
	2	41.0616	41.0246	0.0370	0.0064	2.0084	0.21	
500	1	40.8536	40.8219	0.0317	0.0068	2.0050	0.17	0.18
	2	45.1528	45.1202	0.0326	0.0064	2.0214	0.18	
800	1	45.5012	45.4731	0.0281	0.0068	2.0138	0.15	0.15
	2	46.1533	46.1251	0.0282	0.0064	2.0137	0.15	

ตารางที่ ข.80 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
50	1	42.7004	42.6652	0.0352	0.0068	2.0018	0.19	0.20
	2	49.2954	49.2581	0.0373	0.0064	2.0015	0.21	
80	1	46.9490	46.9171	0.0319	0.0068	2.0045	0.17	0.18
	2	45.7490	45.7163	0.0327	0.0064	2.0136	0.18	
100	1	45.5012	45.4731	0.0281	0.0068	2.0138	0.15	0.15
	2	46.1533	46.1251	0.0282	0.0064	2.0137	0.15	

ตารางที่ ข.81 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
1	1	45.2399	45.2021	0.0378	0.0068	2.0005	0.21	0.21
	2	45.9099	45.8731	0.0368	0.0064	2.0075	0.21	
2	1	45.5012	45.4731	0.0281	0.0068	2.0138	0.15	0.15
	2	46.1533	46.1251	0.0282	0.0064	2.0137	0.15	
4	1	47.7453	47.7149	0.0304	0.0068	2.0160	0.16	0.16
	2	43.2453	43.2165	0.0288	0.0064	2.0134	0.15	

- ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ข.82 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	44.9649	44.9331	0.0318	0.0068	2.0085	0.17	0.18
	2	43.1539	43.1205	0.0334	0.0064	2.0095	0.18	
250-850	1	45.0452	45.0080	0.0372	0.0068	2.0151	0.21	0.21
	2	45.8552	45.8173	0.0379	0.0064	2.0163	0.21	
ใหญ่กว่า 850	1	45.8753	45.8217	0.0536	0.0068	2.0282	0.32	0.32
	2	45.3495	45.2965	0.0530	0.0064	2.0274	0.32	

ตารางที่ ข.83 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
200	1	46.1072	46.0725	0.0347	0.0068	2.0120	0.19	0.20
	2	42.0892	42.0517	0.0375	0.0064	2.0136	0.21	
500	1	46.7305	46.6955	0.0350	0.0068	2.0040	0.19	0.20
	2	46.2185	46.1827	0.0358	0.0064	2.0142	0.20	
800	1	44.9649	44.9331	0.0318	0.0068	2.0085	0.17	0.18
	2	43.1539	43.1205	0.0334	0.0064	2.0095	0.18	

ตารางที่ ข.84 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
50	1	45.7268	45.6791	0.0477	0.0068	2.0060	0.28	0.29
	2	47.3068	47.2586	0.0482	0.0064	2.0031	0.29	
80	1	42.4162	42.3761	0.0401	0.0068	2.0049	0.23	0.23
	2	46.2502	46.2108	0.0394	0.0064	2.0018	0.23	
100	1	44.9649	44.9331	0.0318	0.0068	2.0085	0.17	0.18
	2	43.1539	43.1205	0.0334	0.0064	2.0095	0.18	

ตารางที่ ข.85 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
1	1	46.9837	46.9433	0.0404	0.0068	2.0155	0.23	0.23
	2	45.9577	45.9182	0.0395	0.0064	2.0013	0.23	
2	1	44.9649	44.9331	0.0318	0.0068	2.0085	0.17	0.18
	2	43.1539	43.1205	0.0334	0.0064	2.0095	0.18	
4	1	42.3894	42.3541	0.0353	0.0068	2.0040	0.20	0.20
	2	45.1384	45.1023	0.0361	0.0064	2.0142	0.20	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.86 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	41.9947	41.9659	0.0288	0.0068	2.0156	0.15	0.15
	2	41.7785	41.7518	0.0267	0.0064	2.0143	0.14	
250-850	1	46.8512	46.8139	0.0373	0.0068	2.0080	0.21	0.20
	2	42.1912	42.1576	0.0336	0.0064	2.0064	0.19	
ใหญ่กว่า 850	1	42.4021	42.3568	0.0453	0.0068	2.0209	0.26	0.26
	2	46.2271	46.1835	0.0436	0.0064	2.0134	0.25	

ตารางที่ ข.87 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
200	1	45.0367	45.0053	0.0314	0.0068	2.0086	0.17	0.18
	2	45.0397	45.0067	0.0330	0.0064	2.0076	0.18	
500	1	46.7319	46.7004	0.0315	0.0068	2.0014	0.17	0.17
	2	43.1559	43.1250	0.0309	0.0064	2.0008	0.17	
800	1	41.9947	41.9659	0.0288	0.0068	2.0156	0.15	0.15
	2	41.7785	41.7518	0.0267	0.0064	2.0143	0.14	

ตารางที่ ข.88 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
50	1	45.5348	45.4939	0.0409	0.0068	2.0107	0.23	0.24
	2	49.2248	49.1825	0.0423	0.0064	2.0194	0.24	
80	1	41.1172	41.0814	0.0358	0.0068	2.0033	0.20	0.20
	2	40.1602	40.1254	0.0348	0.0064	2.0087	0.19	
100	1	41.9947	41.9659	0.0288	0.0068	2.0156	0.15	0.15
	2	41.7785	41.7518	0.0267	0.0064	2.0143	0.14	

ตารางที่ ข.89 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
1	1	45.9007	45.8648	0.0359	0.0068	2.0166	0.20	0.21
	2	46.2197	46.1824	0.0373	0.0064	2.0187	0.21	
2	1	41.9947	41.9659	0.0288	0.0068	2.0156	0.15	0.15
	2	41.7785	41.7518	0.0267	0.0064	2.0143	0.14	
4	1	46.1092	46.0774	0.0318	0.0068	2.0229	0.17	0.17
	2	46.4882	46.4578	0.0304	0.0064	2.0213	0.16	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม**

ตารางที่ ข.90 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	43.1083	43.0770	0.0313	0.0068	2.0440	0.16	0.16
	2	44.0003	43.9718	0.0285	0.0064	2.0431	0.15	
250-850	1	45.9783	45.9424	0.0359	0.0068	2.0471	0.20	0.20
	2	46.2913	46.2573	0.0340	0.0064	2.0043	0.19	
ใหญ่กว่า 850	1	45.0968	45.0534	0.0434	0.0068	2.0521	0.24	0.24
	2	45.4128	45.3718	0.0410	0.0064	2.0174	0.24	

ตารางที่ ข.91 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
200	1	46.8796	46.8457	0.0339	0.0068	2.0041	0.19	0.19
	2	45.2216	45.1876	0.0340	0.0064	2.0143	0.19	
500	1	42.4769	42.4393	0.0376	0.0068	2.0073	0.21	0.20
	2	49.3079	49.2740	0.0339	0.0064	2.0034	0.19	
800	1	43.1083	43.0770	0.0313	0.0068	2.0440	0.16	0.16
	2	44.0003	43.9718	0.0285	0.0064	2.0431	0.15	

ตารางที่ ข.92 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
50	1	47.0995	47.0573	0.0422	0.0068	2.0037	0.24	0.25
	2	47.6245	47.5812	0.0433	0.0064	2.0187	0.25	
80	1	42.5122	42.4779	0.0343	0.0068	2.0282	0.19	0.20
	2	43.0072	42.9716	0.0356	0.0064	2.0045	0.20	
100	1	43.1083	43.0770	0.0313	0.0068	2.0440	0.16	0.16
	2	44.0003	43.9718	0.0285	0.0064	2.0431	0.15	

ตารางที่ ข.93 ปริมาณร้อยละของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	C_1	C_2	P	B	g	% Sulfate	เฉลี่ย
1	1	43.9089	43.8640	0.0449	0.0068	2.0198	0.26	0.26
	2	45.9159	45.8726	0.0433	0.0064	2.0142	0.25	
2	1	43.1083	43.0770	0.0313	0.0068	2.0440	0.16	0.16
	2	44.0003	43.9718	0.0285	0.0064	2.0431	0.15	
4	1	45.1373	45.1040	0.0333	0.0068	2.0090	0.18	0.18
	2	46.7593	46.7281	0.0312	0.0064	2.0049	0.17	

ข.5 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันไพไรต์ (ASTM D-2492)

- ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ตารางที่ ข.94 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
1	11.5381	1.9990	1.44	1.66	1.65
2	11.4913	2.0158	1.43	1.64	

เมื่อ % Pyrite = ร้อยละของกำมะถันไพไรต์

% Fe = ร้อยละของปริมาณเหล็ก = (1 / 4) x (X / g)

X = ความเข้มข้นของเหล็กที่อ่านจาก Standard curve (พีพีเอ็ม หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร)

g = น้ำหนักของถ่านหินที่ใช้ (กรัม)

ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินก่อนการกำจัดกำมะถัน

จากสมการที่ 3.7 **ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ (% Pyrite) = 1.148 x [(1 / 4) x (X / g)]**

= 1.148 x (% Fe)

ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ ครั้งที่ 1 = 1.148 x [(1/4) x(X / g)]

= 1.148 x [(0.25) x (11.5381 / 1.9990)]

= 1.148 x 1.44

= 1.66

ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ ครั้งที่ 2 = 1.148 x [(1/4) x(X / g)]

= 1.148 x [(0.25) x (11.4913 / 2.0158

= 1.148 x 1.43

= 1.64

ค่าเฉลี่ย = 1.65

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.95 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	1.0085	2.0138	0.13	0.14	0.14
	2	0.9913	2.0137	0.12	0.14	
250-850	1	1.2203	2.0041	0.15	0.17	0.19
	2	1.4913	2.0135	0.19	0.21	
ใหญ่กว่า 850	1	2.0466	2.0050	0.26	0.29	0.29
	2	1.9696	2.0142	0.24	0.28	

ตารางที่ ข.96 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
200	1	1.0508	2.0057	0.13	0.15	0.15
	2	0.9913	2.0084	0.12	0.14	
500	1	1.1356	2.0050	0.14	0.16	0.16
	2	1.1435	2.0214	0.14	0.16	
800	1	1.0085	2.0138	0.13	0.14	0.14
	2	0.9913	2.0137	0.12	0.14	

ตารางที่ ข.97 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
50	1	2.0890	2.0018	0.26	0.30	0.29
	2	1.9696	2.0015	0.25	0.28	
80	1	1.4958	2.0045	0.19	0.21	0.20
	2	1.3391	2.0136	0.17	0.19	
100	1	1.0085	2.0138	0.13	0.14	0.14
	2	0.9913	2.0137	0.12	0.14	

ตารางที่ ข.98 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
1	1	2.2373	2.0005	0.28	0.32	0.32
	2	2.1652	2.0075	0.27	0.31	
2	1	1.0085	2.0138	0.13	0.14	0.14
	2	0.9913	2.0137	0.12	0.14	
4	1	1.0085	2.0160	0.13	0.14	0.14
	2	1.0130	2.0134	0.13	0.14	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.99 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	1.4322	2.0085	0.18	0.20	0.20
	2	1.4261	2.0095	0.18	0.20	
250-850	1	1.7924	2.0151	0.22	0.26	0.26
	2	1.7957	2.0163	0.22	0.26	
ใหญ่กว่า 850	1	2.4492	2.0282	0.30	0.35	0.33
	2	2.1870	2.0274	0.27	0.31	

ตารางที่ ข.100 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
200	1	1.5169	2.0120	0.19	0.22	0.21
	2	1.4043	2.0136	0.17	0.20	
500	1	1.4958	2.0040	0.19	0.21	0.21
	2	1.4696	2.0142	0.18	0.21	
800	1	1.4322	2.0085	0.18	0.20	0.20
	2	1.4261	2.0095	0.18	0.20	

ตารางที่ ข.101 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
50	1	2.3644	2.0060	0.29	0.34	0.33
	2	2.2087	2.0031	0.28	0.32	
80	1	1.8559	2.0049	0.23	0.27	0.28
	2	1.9913	2.0018	0.25	0.29	
100	1	1.4322	2.0085	0.18	0.20	0.20
	2	1.4261	2.0095	0.18	0.20	

ตารางที่ ข.102 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
1	1	2.1314	2.0155	0.26	0.30	0.29
	2	1.9696	2.0013	0.25	0.28	
2	1	1.4322	2.0085	0.18	0.20	0.20
	2	1.4261	2.0095	0.18	0.20	
4	1	1.4110	2.0040	0.18	0.20	0.21
	2	1.5348	2.0142	0.19	0.22	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.103 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	0.9661	2.0156	0.12	0.14	0.14
	2	0.9913	2.0143	0.12	0.14	
250-850	1	1.5381	2.0080	0.19	0.22	0.21
	2	1.4043	2.0064	0.17	0.20	
ใหญ่กว่า 850	1	1.9195	2.0209	0.24	0.27	0.28
	2	1.9913	2.0134	0.25	0.28	

ตารางที่ ข.104 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
200	1	1.1144	2.0086	0.14	0.16	0.16
	2	1.0565	2.0076	0.13	0.15	
500	1	1.2415	2.0014	0.16	0.18	0.16
	2	0.9913	2.0008	0.12	0.14	
800	1	0.9661	2.0156	0.12	0.14	0.14
	2	0.9913	2.0143	0.12	0.14	

ตารางที่ ข.105 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
50	1	1.9619	2.0107	0.24	0.28	0.28
	2	1.9261	2.0194	0.24	0.27	
80	1	1.4958	2.0033	0.19	0.21	0.21
	2	1.4261	2.0087	0.18	0.20	
100	1	0.9661	2.0156	0.12	0.14	0.14
	2	0.9913	2.0143	0.12	0.14	

ตารางที่ ข.106 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
1	1	1.8771	2.0166	0.23	0.27	0.26
	2	1.7304	2.0187	0.21	0.25	
2	1	0.9661	2.0156	0.12	0.14	0.14
	2	0.9913	2.0143	0.12	0.14	
4	1	1.4110	2.0229	0.17	0.20	0.19
	2	1.2087	2.0213	0.15	0.17	

- **ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม**

ตารางที่ ข.107 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
เล็กกว่า 250	1	0.9661	2.0440	0.12	0.14	0.13
	2	0.8391	2.0431	0.10	0.12	
250-850	1	1.4534	2.0471	0.18	0.20	0.21
	2	1.4913	2.0043	0.19	0.21	
ใหญ่กว่า 850	1	2.1102	2.0521	0.26	0.30	0.28
	2	1.8174	2.0174	0.23	0.26	

ตารางที่ ข.108 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
200	1	1.1568	2.0041	0.14	0.17	0.15
	2	0.8826	2.0143	0.11	0.13	
500	1	1.0085	2.0073	0.13	0.14	0.15
	2	1.0565	2.0034	0.13	0.15	
800	1	0.9661	2.0440	0.12	0.14	0.13
	2	0.8391	2.0431	0.10	0.12	

ตารางที่ ข.109 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
50	1	2.0890	2.0037	0.26	0.30	0.29
	2	1.9261	2.0187	0.24	0.27	
80	1	1.3686	2.0282	0.17	0.19	0.17
	2	1.0783	2.0045	0.13	0.15	
100	1	0.9661	2.0440	0.12	0.14	0.13
	2	0.8391	2.0431	0.10	0.12	

ตารางที่ ข.110 ปริมาณร้อยละของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	X	g	% Fe	% Pyrite	เฉลี่ย
1	1	1.8347	2.0198	0.23	0.26	0.26
	2	1.8391	2.0142	0.23	0.26	
2	1	0.9661	2.0440	0.12	0.14	0.13
	2	0.8391	2.0431	0.10	0.12	
4	1	1.4958	2.0090	0.19	0.21	0.20
	2	1.3609	2.0049	0.17	0.19	

ข.6 ผลการคำนวณค่าร้อยละของกำมะถันอินทรีย์

- ผลการคำนวณค่าร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ตารางที่ ข.111 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินก่อนกำจัดกำมะถัน

ร้อยละของกำมะถันรวม	ร้อยละของกำมะถันไพไรต์	ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์
6.24	1.65	0.63	3.96

ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินก่อนการกำจัดกำมะถัน

จากสมการที่ 3.8 ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ = ร้อยละของกำมะถันรวม – (ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ + ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต)

ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ = 6.24 – (1.65 + 0.63)

= 6.24 – 2.28

= 3.96

- ผลการคำนวณค่าร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ข.112 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ร้อยละของกำมะถันรวม	ร้อยละของกำมะถันไพไรต์	ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์
เล็กกว่า 250	3.25	0.14	0.15	2.96
250-850	3.31	0.19	0.24	2.88
ใหญ่กว่า 850	3.56	0.29	0.27	3.00

ตารางที่ ข.113 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
200	3.28	0.15	0.21	2.92
500	3.30	0.16	0.18	2.96
800	3.25	0.14	0.15	2.96

ตารางที่ ข.114 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
50	3.47	0.29	0.20	2.98
80	3.41	0.20	0.18	3.03
100	3.25	0.14	0.15	2.96

ตารางที่ ข.115 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
1	3.80	0.32	0.21	3.27
2	3.25	0.14	0.15	2.96
4	3.47	0.14	0.16	3.17

- **ผลการคำนวณค่าร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ข.116 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
เล็กกว่า 250	3.66	0.20	0.18	3.28
250-850	3.80	0.26	0.21	3.33
ใหญ่กว่า 850	4.07	0.33	0.32	3.42

ตารางที่ ข.117 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
200	3.70	0.21	0.20	3.29
500	3.72	0.21	0.20	3.31
800	3.66	0.20	0.18	3.28

ตารางที่ ข.118 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที และเวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
50	3.97	0.33	0.29	3.35
80	3.81	0.28	0.23	3.30
100	3.66	0.20	0.18	3.28

ตารางที่ ข.119 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
1	3.85	0.29	0.23	3.33
2	3.66	0.20	0.18	3.28
4	3.74	0.21	0.20	3.33

- ผลการคำนวณค่าร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ข.120 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
เล็กกว่า 250	3.07	0.14	0.15	2.78
250-850	3.19	0.21	0.20	2.78
ใหญ่กว่า 850	3.37	0.28	0.26	2.83

ตารางที่ ข.121 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
200	3.09	0.16	0.18	2.75
500	3.12	0.16	0.17	2.79

ตารางที่ ข.121 (ต่อ)

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
800	3.07	0.14	0.15	2.78

ตารางที่ ข.122 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
50	3.27	0.28	0.24	2.75
80	3.16	0.21	0.20	2.75
100	3.07	0.14	0.15	2.78

ตารางที่ ข.123 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
1	3.29	0.26	0.21	2.82
2	3.07	0.14	0.15	2.78
4	3.18	0.19	0.17	2.82

- **ผลการคำนวณค่าร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม**

ตารางที่ ข.124 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
เล็กกว่า 250	3.18	0.13	0.16	2.89
250-850	3.31	0.21	0.20	2.90
ใหญ่กว่า 850	3.43	0.28	0.24	2.91

ตารางที่ ข.125 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
200	3.22	0.15	0.19	2.88
500	3.21	0.15	0.20	2.86
800	3.18	0.13	0.16	2.89

ตารางที่ ข.126 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละของ กำมะถันรวม	ร้อยละของ กำมะถันไพไรต์	ร้อยละของ กำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของ กำมะถันอินทรีย์
50	3.41	0.29	0.25	2.87
80	3.25	0.17	0.20	2.88
100	3.18	0.13	0.16	2.89

ตารางที่ ข.127 ปริมาณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละของกำมะถันรวม	ร้อยละของกำมะถันไพไรต์	ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์
1	3.60	0.26	0.26	3.08
2	3.18	0.13	0.16	2.89
4	3.29	0.20	0.18	2.91

ภาคผนวก ค.

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ในรูปต่างๆ

ค.1 ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.1 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (กรัมต่อมิลลิลิตร)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
50/300 (1:6)	25.18	22.24	11.68
30/200 (1:6.67)	25.18	22.28	11.52
30/300 (1:10)	25.18	20.97	16.72
30/400 (1:13.33)	25.18	20.18	19.86
8/400 (1:50)	25.18	20.16	19.94

เมื่อ $\%\ De\text{-}ash$ = เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า

$A_{เริ่มต้น}$ = ร้อยละของเถ้าเริ่มต้น

$A_{หลังปฏิกิริยา}$ = ร้อยละของเถ้าหลังปฏิกิริยา

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร (1:13.33)

จากสมการที่ 3.9

$$\textbf{เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า} = [(A_{เริ่มต้น} - A_{หลังปฏิกิริยา}) / A_{เริ่มต้น}] \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้า} = [(A_{เริ่มต้น} - A_{หลังปฏิกิริยา}) / A_{เริ่มต้น}] \times 100$$

$$= [(25.18 - 20.18) / 25.18] \times 100$$

$$= 19.86 \quad \text{เปอร์เซ็นต์}$$

ตารางที่ ค.2 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (โมลาร์)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
0.1	25.18	21.78	13.50
0.2	25.18	20.18	19.86
0.5	25.18	21.56	14.38
1.0	25.18	23.42	6.99

ตารางที่ ค.3 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
เล็กกว่า 250	25.18	20.18	19.86
250-850	25.18	21.17	15.93
ใหญ่กว่า 850	25.18	21.91	12.99

ตารางที่ ค.4 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
200	25.18	20.32	19.30
500	25.18	20.20	19.78
800	25.18	20.18	19.86

ตารางที่ ค.5 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
50	25.18	21.52	14.54
80	25.18	21.00	16.60
100	25.18	20.18	19.86

ตารางที่ ค.6 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
1	25.18	21.74	13.66
2	25.18	20.18	19.86
4	25.18	20.22	19.70

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.7 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
เล็กกว่า 250	25.18	20.58	18.27
250-850	25.18	20.80	17.39
ใหญ่กว่า 850	25.18	21.92	12.95

ตารางที่ ค.8 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
200	25.18	20.67	17.91
500	25.18	20.64	18.03
800	25.18	20.58	18.27

ตารางที่ ค.9 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
50	25.18	21.49	14.65
80	25.18	21.03	16.48
100	25.18	20.58	18.27

ตารางที่ ค.10 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
1	25.18	21.60	14.22
2	25.18	20.58	18.27
4	25.18	20.70	17.79

- **ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ค.11 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
เล็กกว่า 250	25.18	20.37	19.10
250-850	25.18	21.29	15.45
ใหญ่กว่า 850	25.18	22.41	11.00

ตารางที่ ค.12 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
200	25.18	20.39	19.02
500	25.18	20.46	18.75
800	25.18	20.37	19.10

ตารางที่ ค.13 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
50	25.18	21.81	13.38
80	25.18	21.46	14.77
100	25.18	20.37	19.10

ตารางที่ ค.14 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
1	25.18	21.78	13.50
2	25.18	20.37	19.10
4	25.18	20.31	19.34

- **ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม**

ตารางที่ ค.15 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
เล็กกว่า 250	25.18	20.16	19.94
250-850	25.18	20.52	18.51
ใหญ่กว่า 850	25.18	21.50	14.61

ตารางที่ ค.16 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
200	25.18	20.45	18.78
500	25.18	20.37	19.10
800	25.18	20.16	19.94

ตารางที่ ค.17 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
50	25.18	21.52	14.54
80	25.18	20.95	16.80
100	25.18	20.16	19.94

ตารางที่ ค.18 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเถ้าหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	$A_{เริ่มต้น}$	$A_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-ash
1	25.18	21.46	14.77
2	25.18	20.16	19.94
4	25.18	20.55	18.39

ค.2 ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของถ่านหิน

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.19 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (กรัมต่อมิลลิลิตร)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
50/300 (1:6)	3,290	3,645	10.79
30/200 (1:6.67)	3,290	3,635	10.49
30/300 (1:10)	3,290	3,798	15.44
30/400 (1:13.33)	3,290	3,904	18.66
8/400 (1:50)	3,290	3,915	19.00

เมื่อ % HVR = เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของถ่านหิน

$HV_{เริ่มต้น}$ = ค่าความร้อนของถ่านหินเริ่มต้น

$HV_{หลังปฏิกิริยา}$ = ค่าความร้อนของถ่านหินหลังปฏิกิริยา

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร (1:13.33)

จากสมการที่ 3.10

เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน = $\mathbf{[(HV_{หลังปฏิกิริยา} - HV_{เริ่มต้น}) / HV_{เริ่มต้น}] \times 100}$

เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน = $[(HV_{หลังปฏิกิริยา} - HV_{เริ่มต้น}) / HV_{เริ่มต้น}] \times 100$

= $[(3,904 - 3,290) / 3,290] \times 100$

= 18.66 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ค.20 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (โมลาร์)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
0.1	3,290	3,611	9.76
0.2	3,290	3,904	18.66
0.5	3,290	3,691	12.19
1.0	3,290	3,577	8.72

ตารางที่ ค.21 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ: ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
เล็กกว่า 250	3,290	3,904	18.66
250-850	3,290	3,753	14.07
ใหญ่กว่า 850	3,290	3,674	11.67

ตารางที่ ค.22 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ: ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
200	3,290	3,815	15.96
500	3,290	3,862	17.39
800	3,290	3,904	18.66

ตารางที่ ค.23 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
50	3,290	3,688	12.10
80	3,290	3,773	14.68
100	3,290	3,904	18.66

ตารางที่ ค.24 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
1	3,290	3,677	11.76
2	3,290	3,904	18.66
4	3,290	3,831	16.44

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.25 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
เล็กกว่า 250	3,290	3,722	13.13
250-850	3,290	3,648	10.88
ใหญ่กว่า 850	3,290	3,535	7.45

ตารางที่ ค.26 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
200	3,290	3,678	11.79
500	3,290	3,666	11.43
800	3,290	3,722	13.13

ตารางที่ ค.27 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
50	3,290	3,538	7.54
80	3,290	3,621	10.06
100	3,290	3,722	13.13

ตารางที่ ค.28 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
1	3,290	3,587	9.03
2	3,290	3,722	13.13
4	3,290	3,699	12.43

- **ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ค.29 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
เล็กกว่า 250	3,290	3,876	17.81
250-850	3,290	3,760	14.29
ใหญ่กว่า 850	3,290	3,682	11.91

ตารางที่ ค.30 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
200	3,290	3,676	11.73
500	3,290	3,739	13.65
800	3,290	3,876	17.81

ตารางที่ ค.31 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
50	3,290	3,687	12.07
80	3,290	3,768	14.53
100	3,290	3,876	17.81

ตารางที่ ค.32 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
1	3,290	3,641	10.67
2	3,290	3,876	17.81
4	3,290	3,797	15.41

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม

ตารางที่ ค.33 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
เล็กกว่า 250	3,290	3,918	19.09
250-850	3,290	3,793	15.29
ใหญ่กว่า 850	3,290	3,697	12.37

ตารางที่ ค.34 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
200	3,290	3,827	16.32
500	3,290	3,858	17.26
800	3,290	3,918	19.09

ตารางที่ ค.35 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
50	3,290	3,685	12.01
80	3,290	3,749	13.95
100	3,290	3,918	19.09

ตารางที่ ค.36 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	$HV_{เริ่มต้น}$	$HV_{หลังปฏิกิริยา}$	% HVR
1	3,290	3,693	12.25
2	3,290	3,918	19.09
4	3,290	3,807	15.71

ค.3 ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวม

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.37 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย (กรัมต่อมิลลิลิตร)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
50/300 (1:6)	6.24	4.25	31.89
30/200 (1:6.67)	6.24	4.10	34.29
30/300 (1:10)	6.24	3.29	47.28
30/400 (1:13.33)	6.24	3.25	47.92
8/400 (1:50)	6.24	3.17	49.20

เมื่อ % De-S = เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวม

% $S_{เริ่มต้น}$ = ร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้น

% $S_{หลังปฏิกิริยา}$ = ร้อยละของกำมะถันรวมหลังปฏิกิริยา

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ปริมาณถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร (1:13.33) จากสมการที่ 3.11

เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวม = $[(\%\ S_{เริ่มต้น} - \%\ S_{หลังปฏิกิริยา}) / \%\ S_{เริ่มต้น}] \times 100$

เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวม = $[(\%\ S_{เริ่มต้น} - \%\ S_{หลังปฏิกิริยา}) / \%\ S_{เริ่มต้น}] \times 100$

= $[(6.24 - 3.25) / 6.24] \times 100$

= 47.92 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ค.38 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (โมลาร์)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
0.1	6.24	4.49	28.04
0.2	6.24	3.25	47.92
0.5	6.24	3.87	37.98
1.0	6.24	4.61	26.12

ตารางที่ ค.39 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
เล็กกว่า 250	6.24	3.25	47.92
250-850	6.24	3.31	46.96
ใหญ่กว่า 850	6.24	3.56	42.95

ตารางที่ ค.40 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
200	6.24	3.28	47.44
500	6.24	3.30	47.12
800	6.24	3.25	47.92

ตารางที่ ค.41 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
50	6.24	3.47	44.39
80	6.24	3.41	45.35
100	6.24	3.25	47.92

ตารางที่ ค.42 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
1	6.24	3.80	39.10
2	6.24	3.25	47.92
4	6.24	3.47	44.39

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.43 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
เล็กกว่า 250	6.24	3.66	41.35
250-850	6.24	3.80	39.10
ใหญ่กว่า 850	6.24	4.07	34.78

ตารางที่ ค.44 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
200	6.24	3.70	40.71
500	6.24	3.72	40.38
800	6.24	3.66	41.35

ตารางที่ ค.45 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
50	6.24	3.97	36.38
80	6.24	3.81	38.94
100	6.24	3.66	41.35

ตารางที่ ค.46 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
1	6.24	3.85	38.30
2	6.24	3.66	41.35
4	6.24	3.74	40.06

- **ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ค.47 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
เล็กกว่า 250	6.24	3.07	50.80
250-850	6.24	3.19	48.88
ใหญ่กว่า 850	6.24	3.37	45.99

ตารางที่ ค.48 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
200	6.24	3.09	50.48
500	6.24	3.12	50.00
800	6.24	3.07	50.80

ตารางที่ ค.49 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
50	6.24	3.27	47.60
80	6.24	3.16	49.36
100	6.24	3.07	50.80

ตารางที่ ค.50 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
1	6.24	3.29	47.28
2	6.24	3.07	50.80
4	6.24	3.18	49.04

- **ผลการคำนวณแปอร์เซ็นต์การของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม**

ตารางที่ ค.51 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
เล็กกว่า 250	6.24	3.18	49.04
250-850	6.24	3.31	46.96
ใหญ่กว่า 850	6.24	3.43	45.03

ตารางที่ ค.52 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
200	6.24	3.22	48.40
500	6.24	3.21	48.56
800	6.24	3.18	49.04

ตารางที่ ค.53 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
50	6.24	3.41	45.35
80	6.24	3.25	47.92
100	6.24	3.18	49.04

ตารางที่ ค.54 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันรวมหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $S_{เริ่มต้น}$	% $S_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-S
1	6.24	3.60	42.31
2	6.24	3.18	49.04

ค.4 ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟต

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.55 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
เล็กกว่า 250	0.63	0.15	76.19
250-850	0.63	0.24	61.90
ใหญ่กว่า 850	0.63	0.27	57.14

เมื่อ % De-Sulfate = เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟต

% $Sulfate_{เริ่มต้น}$ = ร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้น

% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$ = ร้อยละของกำมะถันซัลเฟตหลังปฏิกิริยา

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน

จากสมการที่ 3.12

เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟต = **[(% $Sulfate_{เริ่มต้น}$ – % $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$) / % $Sulfate_{เริ่มต้น}$] x 100**

เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟต = [(% $Sulfate_{เริ่มต้น}$ – % $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$) / % $Sulfate_{เริ่มต้น}$] x 100

= [(0.63 – 0.15) / 0.63] x 100

= 76.19 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ค.56 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
200	0.63	0.21	66.67
500	0.63	0.18	71.43
800	0.63	0.15	76.19

ตารางที่ ค.57 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
50	0.63	0.20	68.25
80	0.63	0.18	71.43
100	0.63	0.15	76.19

ตารางที่ ค.58 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
1	0.63	0.21	66.67
2	0.63	0.15	76.19
4	0.63	0.16	74.60

- **ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ค.59 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
เล็กกว่า 250	0.63	0.18	71.43
250-850	0.63	0.21	66.67
ใหญ่กว่า 850	0.63	0.32	49.21

ตารางที่ ค.60 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
200	0.63	0.20	68.25
500	0.63	0.20	68.25
800	0.63	0.18	71.43

ตารางที่ ค.61 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
50	0.63	0.29	53.97
80	0.63	0.23	63.49
100	0.63	0.18	71.43

ตารางที่ ค.62 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
1	0.63	0.23	63.49
2	0.63	0.18	71.43
4	0.63	0.20	68.25

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.63 เปอร์เซ็นต์การหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
เล็กกว่า 250	0.63	0.15	76.19
250-850	0.63	0.20	68.25
ใหญ่กว่า 850	0.63	0.26	58.73

ตารางที่ ค.64 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
200	0.63	0.18	71.43
500	0.63	0.17	73.02
800	0.63	0.15	76.19

ตารางที่ ค.65 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
50	0.63	0.24	61.90
80	0.63	0.20	68.25
100	0.63	0.15	76.19

ตารางที่ ค.66 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
1	0.63	0.21	66.67
2	0.63	0.15	76.19
4	0.63	0.17	73.02

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม

ตารางที่ ค.67 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
เล็กกว่า 250	0.63	0.16	74.60
250-850	0.63	0.20	68.25
ใหญ่กว่า 850	0.63	0.24	61.90

ตารางที่ ค.68 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
200	0.63	0.19	69.84
500	0.63	0.20	68.25
800	0.63	0.16	74.60

ตารางที่ ค.69 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
50	0.63	0.25	60.32
80	0.63	0.20	68.25
100	0.63	0.16	74.60

ตารางที่ ค.70 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันซัลเฟตหลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Sulfate_{เริ่มต้น}$	% $Sulfate_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Sulfate
1	0.63	0.26	58.73
2	0.63	0.16	74.60
4	0.63	0.18	71.43

ค.5 ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.71 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
เล็กกว่า 250	1.65	0.14	91.52
250-850	1.65	0.19	88.48
ใหญ่กว่า 850	1.65	0.29	82.42

เมื่อ % De-Pyrite = เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์

$\%\ Pyrite_{เริ่มต้น}$ = ร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้น

$\%\ Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$ = ร้อยละของกำมะถันไพไรต์หลังปฏิกิริยา

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน

จากสมการที่ 3.13

เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์ = $\mathbf{[(\%\ Pyrite_{เริ่มต้น} - \%\ Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}) / \%\ Pyrite_{เริ่มต้น}] \times 100}$

เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์ = $[(\%\ Pyrite_{เริ่มต้น} - \%\ Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}) / \%\ Pyrite_{เริ่มต้น}] \times 100$

= $[(1.65 - 0.14) / 1.65] \times 100$

= 91.52 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ค.72 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
200	1.65	0.15	90.91
500	1.65	0.16	90.30
800	1.65	0.14	91.52

ตารางที่ ค.73 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
50	1.65	0.29	82.42
80	1.65	0.20	87.88
100	1.65	0.14	91.52

ตารางที่ ค.74 เปอร์เซ็นต์การหลังการลดลงของกำมะถันไพไรต์กำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
1	1.65	0.32	80.61
2	1.65	0.14	91.52
4	1.65	0.14	91.52

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.75 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
เล็กกว่า 250	1.65	0.20	87.88
250-850	1.65	0.26	84.24
ใหญ่กว่า 850	1.65	0.33	80.00

ตารางที่ ค.76 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
200	1.65	0.21	87.27
500	1.65	0.21	87.27
800	1.65	0.20	87.88

ตารางที่ ค.77 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
50	1.65	0.33	80.00
80	1.65	0.28	83.03
100	1.65	0.20	87.88

ตารางที่ ค.78 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
1	1.65	0.29	82.42
2	1.65	0.20	87.88
4	1.65	0.21	87.27

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.79 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
เล็กกว่า 250	1.65	0.14	91.52
250-850	1.65	0.21	87.27
ใหญ่กว่า 850	1.65	0.28	83.03

ตารางที่ ค.80 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
200	1.65	0.16	90.30
500	1.65	0.16	90.30
800	1.65	0.14	91.52

ตารางที่ ค.81 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
50	1.65	0.28	83.03
80	1.65	0.21	87.27
100	1.65	0.14	91.52

ตารางที่ ค.82 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
1	1.65	0.26	84.24
2	1.65	0.14	91.52
4	1.65	0.19	88.48

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม

ตารางที่ ค.83 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
เล็กกว่า 250	1.65	0.13	92.12
250-850	1.65	0.21	87.27
ใหญ่กว่า 850	1.65	0.28	83.03

ตารางที่ ค.84 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
200	1.65	0.15	90.91
500	1.65	0.15	90.91
800	1.65	0.13	92.12

ตารางที่ ค.85 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
50	1.65	0.29	82.42
80	1.65	0.17	89.70
100	1.65	0.13	92.12

ตารางที่ ค.86 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันไพไรต์หลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Pyrite_{เริ่มต้น}$	% $Pyrite_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Pyrite
1	1.65	0.26	84.24
2	1.65	0.13	92.12
4	1.65	0.20	87.88

ค.6 ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.87 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
เล็กกว่า 250	3.96	2.96	25.25
250-850	3.96	2.88	27.27
ใหญ่กว่า 850	3.96	3.00	24.24

เมื่อ % De-Organic = เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์

% $Organic_{เริ่มต้น}$ = ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์เริ่มต้น

% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$ = ร้อยละของกำมะถันอินทรีย์หลังปฏิกิริยา

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน

จากสมการที่ 3.14

เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ = **[(% $Organic_{เริ่มต้น}$ – % $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$) / % $Organic_{เริ่มต้น}$] x 100**

เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ = [(% $Organic_{เริ่มต้น}$ – % $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$) / % $Organic_{เริ่มต้น}$] x 100

= [(3.96 – 2.96) / 3.96] x 100

= 25.25 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ค.88 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
200	3.96	2.92	26.26
500	3.96	2.96	25.25
800	3.96	2.96	25.25

ตารางที่ ค.89 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
50	3.96	2.98	24.75
80	3.96	3.03	23.48
100	3.96	2.96	25.25

ตารางที่ ค.90 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
1	3.96	3.27	17.42
2	3.96	2.96	25.25
4	3.96	3.17	19.95

- **ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์**

ตารางที่ ค.91 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
เล็กกว่า 250	3.96	3.28	17.17
250-850	3.96	3.33	15.91
ใหญ่กว่า 850	3.96	3.42	13.64

ตารางที่ ค.92 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ: ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
200	3.96	3.29	16.92
500	3.96	3.31	16.41
800	3.96	3.28	17.17

ตารางที่ ค.93 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
50	3.96	3.35	15.40
80	3.96	3.30	16.67
100	3.96	3.28	17.17

ตารางที่ ค.94 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
1	3.96	3.33	15.91
2	3.96	3.28	17.17
4	3.96	3.33	15.91

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.95 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
เล็กกว่า 250	3.96	2.78	29.80
250-850	3.96	2.78	29.80
ใหญ่กว่า 850	3.96	2.83	28.54

ตารางที่ ค.96 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
200	3.96	2.75	30.56
500	3.96	2.79	29.55
800	3.96	2.78	29.80

ตารางที่ ค.97 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
50	3.96	2.75	30.56
80	3.96	2.75	30.56
100	3.96	2.78	29.80

ตารางที่ ค.98 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
1	3.96	2.82	28.79
2	3.96	2.78	29.80
4	3.96	2.82	28.79

- ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างผสม

ตารางที่ ค.99 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่ขนาดถ่านหินต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาดถ่านหิน (ไมครอน)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
เล็กกว่า 250	3.96	2.89	27.02
250-850	3.96	2.90	26.77
ใหญ่กว่า 850	3.96	2.91	26.52

ตารางที่ ค.100 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่อัตราการกวนต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

อัตราการกวน (รอบต่อนาที)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
200	3.96	2.88	27.27
500	3.96	2.86	27.78
800	3.96	2.89	27.02

ตารางที่ ค.101 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่อุณหภูมิต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
50	3.96	2.87	27.53
80	3.96	2.88	27.27
100	3.96	2.89	27.02

ตารางที่ ค.102 เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำมะถันอินทรีย์หลังการกำจัดกำมะถันที่เวลาต่างๆ : ถ่านหิน 30 กรัมต่อสารละลายด่างผสม 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายด่างผสม 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% $Organic_{เริ่มต้น}$	% $Organic_{หลังปฏิกิริยา}$	% De-Organic
1	3.96	3.08	22.22
2	3.96	2.89	27.02
4	3.96	2.91	26.52

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายสุรชัย วรธรรมทองดี
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 21 ตุลาคม 2518
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2541
ประสบการณ์ฝึกงาน	บริษัท ไทย เคเค อุตสาหกรรม จำกัด เมษายน-พฤษภาคม 2541
ผลงานทางวิชาการ	1) "การศึกษาหาส่วนประกอบทางเคมีในสมุนไพรธรรมชาติ" โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541. 2) "การกำจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยสารละลายด่าง" วิศวกรรมสารมก., ฉบับที่ 51 , ธันวาคม 2546-มีนาคม 2547.