



รายงานการวิจัย

การลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินแม่เมาะผสมกับ
โซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้รังสีไมโครเวฟ
(Desulphurization of Mae Moh Coal Mixing with
Sodium Hydroxide using Microwave Radiation)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินแม่เมาะผสมกับ
โซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้รังสีไมโครเวฟ
(Desulphurization of Mae Moh Coal Mixing with
Sodium Hydroxide using Microwave Radiation)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิตา อีระกุลสถิตย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2559

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2559 คณะผู้ทำวิจัยต้องขอขอบคุณ กองธรณีวิทยาเหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นอย่างสูง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างถ่านหินในเหมืองแม่เมาะ การวิเคราะห์ทั้งหมดจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้หากขาดบุคลากรฝ่ายวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้ความรู้และการฝึกอบรมในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ เป็นอย่างดี และขอขอบคุณ คุณบรรพต เต็งกิ่ง คุณวันมาดา สุขจรณ์ และคุณวรชิต นาคพงษ์ ที่ช่วยในการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง และบุคคลอื่นๆที่เกี่ยวข้องที่ยังไม่ได้กล่าวถึง ทางผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

กันยายน 2559

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณกำมะถันจากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน โดยการใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟ เป็นวิธีหนึ่งของกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการเผาไหม้ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ (1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และคุณภาพของถ่านหินในเชิงคุณภาพและปริมาณ ทั้งก่อนและหลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของรังสีไมโครเวฟที่ระดับกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และ (3) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และรังสีไมโครเวฟระดับกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ที่มีผลต่อกับปริมาณกำมะถันและคุณภาพของถ่านหิน ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบกับตัวอย่างถ่านหินชั้น K และ Q จากเหมืองถ่านหินแม่เมาะ ปริมาณ 500 กรัมต่อตัวอย่าง โดยทำการทดสอบออกได้เป็น (1) ตัวอย่างถ่านหินแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ (2) ตัวอย่างถ่านหินแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 24 ชั่วโมง และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กัลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ตามลำดับ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณกำมะถันได้ดีกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และรังสีไมโครเวฟที่กัลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที เป็นช่วงที่มีความเหมาะสมในการลดปริมาณกำมะถันได้ โดยถ่านหินชั้น K มีการลดปริมาณกำมะถันได้ดีกว่าถ่านหินชั้น Q ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณของแร่ไพไรต์ ยิปซัม แคลไซต์ และซิงค์ไครต์ นอกจากนี้สารละลายเบสทั้งสองชนิดนี้ ยังช่วยทำให้ค่าความร้อนรวมของถ่านหินเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มของปริมาณคาร์บอนและคาร์บอนคงที่ แต่อาจส่งผลทำให้คุณภาพถ่านหินมีความชื้นและปริมาณเถ้าเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งถ่านหินที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดปัญหาฟาวลิงและตะกรันในเตาเผาในโรงไฟฟ้าได้ สรุปได้ว่าการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินโดยการผ่านรังสีไมโครเวฟ และการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ยังไม่มี

ความเหมาะสมที่จะนำวิธีการนี้มาใช้ในปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินในโรงไฟฟ้าถ่านหิน อีกทั้งราคา
ของกระบวนการยังไม่มีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์



Abstract

The study on the efficiency of desulfurization from coal combustion by using sodium hydroxide and potassium hydroxide treatment and microwave radiation is one of the pretreatment processes of coal before combustion. The objective of this study is to (1) study chemical, and quality and quantitative properties of coal before and after treatment by hydroxide and potassium hydroxide, (2) to study various electrical energy of microwave radiation efficiency before and after pretreatment by sodium hydroxide and potassium hydroxide, and (3) study efficiency of hydroxide and potassium hydroxide, and various electrical energy of microwave radiation that effect to sulfur content and coal quality. In this study, the coal analysis was conducted on 500 grams of each K and Q seams coal samples from Mae Moh coalfield. The investigation was divided as followed (1) 24 hours of soaking time in 1M sodium hydroxide and potassium hydroxide concentration, and (2) 24 hours of soaking time in sodium hydroxide and potassium hydroxide, and pass 5 and 10 minutes of microwave radiation at 300 and 600 watts, respectively. The result of this study represented that sodium hydroxide is a higher efficiency for reducing the sulfur content in coal than potassium hydroxide. The 10 minutes of microwave radiation at 600 watts is the suitability of sulfur content reducing. The sulfur-reducing of K coal seam is higher performance than Q coal seam, correlating with the difference of pyrite, gypsum, calcite, and siderite contents. Moreover, the efficiency of sodium hydroxide and potassium hydroxide also usage the increasing of calorific value causing the increase of carbon and fixed carbon. However, it could be made the low quality of coal due to the moisture and ash content increase. In addition, coal washed with potassium hydroxide is likely to cause the fouling and slagging problems in power plants. It can be concluded that the coal quality improved with microwave radiation and washed with sodium hydroxide and potassium hydroxide representing this method could be inappropriate for coal quality approval in power plants. Also, the price of the process is not economically worthwhile.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย.....	3
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิด.....	4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การจำแนกประเภทของถ่านหิน.....	11
2.2 ธรณีทั่วไปของเหมืองถ่านหินแม่เมาะ.....	13
2.3 ลำดับชั้นหินของตะกอนเทอร์เชียรีในแอ่งแม่เมาะ.....	14
2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหิน.....	17
2.4.1 การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis).....	17
2.4.2 การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate Analysis).....	18
2.4.3 การวิเคราะห์ค่าความร้อนรวม (Gross calorific values).....	20
2.5 การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน.....	22
2.6 คุณสมบัติของรังสีไมโครเวฟ.....	33
2.7 การประยุกต์ใช้ความร้อนจากรังสีไมโครเวฟกับการขจัดกำมะถันในถ่านหิน.....	36
บทที่ 3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์	
3.1 การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน.....	39
3.1.1 การเก็บตัวอย่าง.....	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 การบดตัวอย่าง.....	40
3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	42
3.1.4 การแช่สารเคมี.....	42
3.2 เครื่องมือและการวิเคราะห์.....	43
3.2.1 เครื่องวิเคราะห์เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF).....	43
3.2.2 เครื่องวิเคราะห์เอกซเรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ (XRD).....	44
3.2.3 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นและเถ้า.....	45
3.2.4 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน.....	47
3.3 การหาปริมาณค่าความร้อน (Calorific value).....	48
3.4 การแปลงค่ากำลังไฟฟ้า (Watts) เป็นค่าความร้อน (Celsius Heat Unit).....	48
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล	
4.1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์.....	50
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K	
1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วยสารเคมี.....	50
2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้นถ่านหิน K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	51
3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	52
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q	
1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี.....	55
2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้นถ่านหิน Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	56
3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	58
4.2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบน.....	65
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วยสารเคมี.....	65
2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้นถ่านหิน K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	65
3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	66
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q	
1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	70
2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้นถ่านหิน Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	70
3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	71
4.3 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณ.....	74
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K	
1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	74
2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้นถ่านหิน K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	74
3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	75
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q	
1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	77
2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้นถ่านหิน Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	77
3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	78
4.4 ผลการวิเคราะห์โดยละเอียด.....	78
4.4.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K	
1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น k ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	79

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2) ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้นถ่านหิน K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	80
3) ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	80
4.4.2 ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้น Q	
1) ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	83
2) ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้นถ่านหิน Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	84
3) ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	84
4.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณค่าความร้อนรวม	86
4.5.1 ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้น K	
1) ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	88
2) ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้นถ่านหิน K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	88
3) ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	88
4.5.2 ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้น Q	
1) ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	89
2) ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้นถ่านหิน Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	90
3) ผลการวิเคราะห์ห้ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์.....	90
4.6 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	91
4.6.1 การศึกษาปริมาณการใช้ถ่านหินในการเผาไหม้เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า.....	91

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6.2 ปริมาณและค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมี และรังสีไมโครเวฟ.....	92
บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษาคุณภาพของถ่านหิน	
5.1.1 คุณภาพของถ่านหินก่อนปรับปรุงคุณภาพ และหลังผ่านรังสีไมโครเวฟ.....	95
1) คุณภาพของถ่านหินชั้น K.....	95
2) คุณภาพของถ่านหินชั้น Q.....	96
5.1.2 คุณภาพของถ่านหินหลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และหลังการผ่านรังสี ไมโครเวฟ.....	97
1) คุณภาพของถ่านหินชั้น K.....	97
2) คุณภาพของถ่านหินชั้น Q.....	98
5.1.3 คุณภาพของถ่านหินหลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสี ไมโครเวฟ.....	98
1) คุณภาพของถ่านหินชั้น K.....	98
2) คุณภาพของถ่านหินชั้น Q.....	99
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	101
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	104
บรรณานุกรม.....	105
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟก โตรมิเตอร์.....	110
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์โดยประมาณด้วยเครื่อง LECO TGA-701.....	128
ประวัตินักวิจัย.....	134

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทของถ่านหินด้วยวิธีการทดสอบวัสดุของสมาคมอเมริกัน.....	12
ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทของถ่านหินตามมาตรฐานระบบระหว่างประเทศ.....	13
ตารางที่ 2.3 การจำแนกประเภทของถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM D388-12.....	21
ตารางที่ 2.4 การกำหนดคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ.....	22
ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์เชิงปริมาณของความร้อนของไมโครเวฟของแร่ชนิดต่าง ๆ.....	26
ตารางที่ 2.6 ความร้อนจากรังสีไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงของชนิดแร่ในสินแร่ชนิดต่าง ๆ.....	26
ตารางที่ 2.7 ดัชนีเชื้อเพลิงและระดับความรุนแรงของการฟาวลิงและการเกิดตะกรัน.....	33
ตารางที่ 3.1 ชั้นถ่านหิน คุณสมบัติและคุณภาพ ปริมาณ และตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง ถ่านหินมาทำการทดสอบ.....	40
ตารางที่ 3.2 ค่าพลังงานที่คายออกมาในหน่วยของกิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) โดยแต่ละธาตุ ของเครื่องมือ XRF.....	44
ตารางที่ 3.3 ค่าอุณหภูมิของความร้อนในหน่วยของแคลเซียมในแต่ละกำลังไฟฟ้า ของไมโครเวฟ ที่ระยะเวลาต่างกัน.....	49
ตารางที่ 4.1 ปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหินชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	53
ตารางที่ 4.2 ปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหินชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	61
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ผลของการหลอมตัวของถ่านหิน โดยการการคำนวณดัชนีเชื้อเพลิง Base-acid ratio (B/A) และ Fouling index (FI) ในถ่านหินชั้น K และ Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.4 ชนิดและปริมาณร้อยละของแร่ที่อยู่ในถ่านหินชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	69
ตารางที่ 4.5 ชนิดและปริมาณร้อยละของแร่ที่อยู่ในถ่านหินชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	73
ตารางที่ 4.6 ปริมาณร้อยละของความชื้น จี๊ถั่ว สารระเหย และคาร์บอนคงที่ ในถ่านหินชั้น K และ Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	76
ตารางที่ 4.7 ปริมาณร้อยละธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถันในถ่านหินชั้น K และ Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	82
ตารางที่ 4.8 ค่าความร้อนรวมของถ่านหินชั้น K และ Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	87
ตารางที่ 4.9 ปริมาณถ่านหินที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแต่ละเครื่องในเหมืองแม่เมาะ.....	92
ตารางที่ 4.10 แสดงราคาของสารเคมีที่ใช้ต่อลิตร ของความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร.....	93
ตารางที่ 4.11 ราคาของสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน 1 ปี.....	93
ตารางที่ 4.12 การคำนวณกำลังไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟต่อตัวอย่างที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินคุณภาพถ่านหิน ระยะเวลา 30 วัน และ 1 ปี.....	87
ตารางที่ 5.1 สรุปคุณสมบัติของถ่านหิน คุณภาพและการเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	102
ตารางที่ 5.2 สรุปคุณสมบัติของถ่านหิน คุณภาพและการเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ข_1 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น K (ตัวอย่าง K, K 300W 5 min, K 300W 10 min, K 600W 5 min และ K 600W 10 min)	128
ตารางที่ ข_2 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น K หลังปรับปรุงคุณภาพ ด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ตัวอย่าง K NaOH, K NaOH 300W 5 min, K NaOH 300W 10 min, K NaOH 600W 5 min และ K NaOH 600W 10 min)	129
ตารางที่ ข_3 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น K หลังปรับปรุงคุณภาพ ด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ตัวอย่าง K KOH, K KOH 300W 5 min, K KOH 300W 10 min, K KOH 600W 5 min และ K KOH 600W 10 min)	130
ตารางที่ ข_4 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น Q (ตัวอย่าง Q, Q 300W 5 min, Q 300W 10 min, Q 600W 5 min และ Q 600W 10 min)	131
ตารางที่ ข_5 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น Q หลังปรับปรุงคุณภาพ ด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ตัวอย่าง Q NaOH, Q NaOH 300W 5 min, Q NaOH 300W 10 min, Q NaOH 600W 5 min และ Q NaOH 600W 10 min)	132
ตารางที่ ข_6 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น Q หลังปรับปรุงคุณภาพ ด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ตัวอย่าง Q KOH, Q KOH 300W 5 min, Q KOH 300W 10 min, Q KOH 600W 5 min และ Q KOH 600W 10 min)	133

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	กระบวนการทำความสะอาดโดยวิธีการล้าง เพื่อลดสารมลทินในถ่านหิน	8
รูปที่ 2.1	ลำดับชั้นหินของแอ่งแม่เมาะ	16
รูปที่ 2.2	แสดง Ternary Phase Diagram ของตัวอย่างถ่านหิน Q2, Q4 และ K3	32
รูปที่ 2.3	ชนิดของรังสีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ	34
รูปที่ 2.4	คุณสมบัติของไมโครเวฟที่สัมพันธ์กับชนิดของวัตถุต่าง ๆ	35
รูปที่ 3.1	ลำดับชั้นหินของแอ่งแม่เมาะและตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	41
รูปที่ 3.2	เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย X-ray Fluorescence (ED) Horiba	43
รูปที่ 3.3	เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการหักเหแสง Bruker (รุ่น D2 Phaser)	45
รูปที่ 3.4	เครื่องวิเคราะห์ความชื้นและเถ้า Leco (รุ่น TGA 701) Moisture and Ash Analyzer	46
รูปที่ 3.5	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน (CHN 628 S Add-on Module)	47
รูปที่ 4.1	ร้อยละของปริมาณสารประกอบออกไซด์ของถ่านหินชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์	54
รูปที่ 4.2	ร้อยละของปริมาณสารประกอบออกไซด์ของถ่านหินชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์	62
รูปที่ 4.3	ร้อยละของปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์และ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์	83
รูปที่ 4.4	ร้อยละของปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์และ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์	86

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนรวมของถ่านหินชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุง คุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	89
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนรวมของถ่านหินชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุง คุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	91
รูปที่ ก_1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วย สารเคมี	110
รูปที่ ก_2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วย สารเคมี และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที.....	111
รูปที่ ก_3 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วย สารเคมี และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที.....	112
รูปที่ ก_4 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮ ดรอกไซด์.....	113
รูปที่ ก_5 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮ ดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที.....	114
รูปที่ ก_6 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮ ดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที	115
รูปที่ ก_7 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	116
รูปที่ ก_8 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที.....	117
รูปที่ ก_9 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที.....	118

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก_10 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วย สารเคมี.....	119
รูปที่ ก_11 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วย สารเคมี และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที.....	120
รูปที่ ก_12 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วย สารเคมี และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที.....	121
รูปที่ ก_13 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์.....	122
รูปที่ ก_14 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียม ไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที.....	123
รูปที่ ก_15 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียม ไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที.....	124
รูปที่ ก_16 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	125
รูปที่ ก_17 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที.....	126
รูปที่ ก_18 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที.....	127

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เนื่องจากปัจจุบัน สภาวะการใช้พลังงานของประเทศเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลจากการเพิ่มจำนวนประชากรของโลก รวมถึงการพัฒนาและการขยายตัวในภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรม ในขณะที่น้ำมันและก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นทรัพยากรทางพลังงานหลักนั้น มีปริมาณสำรองลดลง อีกทั้งยังมีราคาสูงขึ้นตามความต้องการใช้พลังงาน การผลิตถ่านหินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม และการผลิตไฟฟ้าจึงมีความสำคัญ เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินมีต้นทุนที่ต่ำกว่า และปริมาณสำรองของถ่านหินยังมีอยู่เป็นจำนวนมาก จึงทำให้ถ่านหินกลายเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน อุตสาหกรรมถ่านหินซึ่งรวมทั้งการสำรวจการผลิต และการใช้นั้น ได้มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะประเทศที่เป็นผู้นำทางด้านเศรษฐกิจอุตสาหกรรม เช่น สหรัฐอเมริกา จีน ญี่ปุ่น และกลุ่มประเทศยุโรป

สำหรับภายในประเทศไทยนั้นถึงแม้จะมีปริมาณสำรองถ่านหินอยู่มากกว่า 2,000 ล้านตัน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2018) แต่ส่วนใหญ่เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำ ตั้งแต่ลิกไนต์ (Lignite) จนถึง ซับบิทูมินัส (Sub-bituminous) อีกทั้งภาพลักษณ์ที่ไม่ดีด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอดีตทำให้การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจึงมีปริมาณไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่น ๆ อย่างไรก็ตามในอนาคตคาดว่าจะมีการใช้ถ่านหินเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาถูกและปริมาณสำรองมากเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น แต่ทั้งนี้การนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นยังไม่ได้รับการยอมรับจากชุมชน เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหินจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นการกำจัดน้ำเสีย การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ฟูละออง และขี้เถ้าเป็นต้น ปัญหาและอุปสรรคของการใช้พลังงานถ่านหิน นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ประชาชนยังต่อต้านการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง เช่น การต่อต้านการก่อสร้างโรงไฟฟ้าใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่บ่อนอก หินกรูด หรือที่อื่น ๆ สืบเนื่องมาจาก

- 1) โรงงานอุตสาหกรรมยังขาดความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด
- 2) ในระดับประเทศ ยังไม่มีศูนย์ข้อมูลด้านเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด ข้อมูลเกี่ยวกับถ่านหิน การใช้ถ่านหินกระจุกกระจายในหลายหน่วยงาน
- 3) ไม่มีงบประมาณสนับสนุนงานวิจัยเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดในประเทศ ซึ่งขณะนี้จะต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ
- 4) ยังไม่มีมาตรการหรือนโยบายที่ชัดเจนในการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด ให้กับผู้ประกอบการ
- 5) ราคาขนส่งสูง อีกทั้งคุณภาพถ่านหินในประเทศมีค่าความร้อนต่ำ มีปริมาณกำมะถันและ จี๊เส้าสูง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาและใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการหาเทคโนโลยีที่ช่วยทำให้มลพิษต่าง ๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้ ถ่านหินลดลง ซึ่งเทคโนโลยีใหม่ที่น่าสนใจในการลดมลภาวะต่าง ๆ และเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ถ่านหิน เรียกว่า เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด (Clean Coal Technology; CCT) ซึ่งเทคโนโลยีแต่ละชนิดอาจมีความเหมาะสมต่อคุณสมบัติของถ่านหินที่แตกต่างกันไป ซึ่งเชื้อเพลิงถ่านหินสะอาด (Clean Coal) นี้ ปัจจุบันยังไม่มีนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศ ยกเว้นการนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแต่ในต่างประเทศเทคโนโลยีดังกล่าวนี้ค่อนข้างแพร่หลาย ดังนั้นการนำเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะประเภทที่มีการใช้พลังงานมาก ๆ จะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมอีกทางหนึ่งสำหรับผู้ประกอบการ ซึ่งการนำเอาเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดมาพัฒนาประยุกต์ใช้กับถ่านหิน โดยการล้างถ่านหินด้วยสารเคมีต่าง ๆ หรือการเติมสารเคมีในถ่านหินก่อนกระบวนการเผาไหม้ (Pre-combustion) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด เพื่อช่วยลดปริมาณจี๊เส้า กำมะถัน และสารมลพิษอื่น ๆ ในการเผาไหม้ ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และ โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการนำถ่านหินมาเปลี่ยนเป็นพลังงานที่สูงขึ้น ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และรวมถึงการลดปัญหาการขัดแย้งระหว่างชุมชนและสถานประกอบการเพื่อให้ประเทศมีความมั่นคงทางด้านพลังงานควบคู่กับการพัฒนาทางด้านชุมชนและสิ่งแวดล้อมสืบไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และคุณภาพของถ่านหินในเชิงคุณภาพและปริมาณ ทั้งก่อนและหลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของรังสีไมโครเวฟที่ระดับกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และรังสีไมโครเวฟระดับกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ที่มีผลต่อกับปริมาณกำมะถัน และคุณภาพของถ่านหิน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและประมวลข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงเกี่ยวกับการทดสอบการเผาไหม้ เทคโนโลยีการเผาไหม้ และการลดมลภาวะต่าง ๆ จากการเผาไหม้โดยใช้สารเคมีของถ่านหิน หิน น้ำมัน และตะกอนอื่น ๆ

1.3.2 ในการทดสอบจะนำตัวอย่างถ่านหินลิกไนต์ชั้น K และชั้น Q จากเหมืองแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

1.3.3 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบทางเคมีตัวอย่างถ่านหินลิกไนต์ในห้องปฏิบัติการทดลอง ที่สภาวะอุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ

1.3.4 สารเคมีต่าง ๆ ที่จะนำมาทดสอบ ได้แก่ น้ำกลั่น (Distilled Water) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; NaOH) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH)

1.3.5 ทำการทดสอบถ่านหิน โดยผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที (เนื่องจากการผ่านรังสีไมโครเวฟที่ระดับกำลังไฟฟ้า เกิน 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ถ่านหินมีการติดไฟขึ้น)

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ถ่านหิน (coal) เป็นส่วนประกอบคาร์บอน ซึ่งเกิดจากการสะสมตัวของซากพืชตามธรรมชาติเมื่อมีปฏิกิริยาทางชีววิทยา ทางเคมี และภายใต้ความกดดันสูง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบคาร์บอน การแบ่งชนิดและคุณภาพของถ่านหิน โดยทั่วไปขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอน ค่าความร้อนเมื่อเผา และลำดับการแปรสภาพ (กรมทรัพยากรธรณี, 2018) สามารถจำแนกชนิดของถ่านหินได้ดังนี้

- 1) พีต (peat) เป็นลำดับเริ่มต้นของกระบวนการเกิดถ่านหิน เกิดจากการที่ซากพืชจำพวก ต้นไม้ มอส และพืชอื่น ๆ ที่ยังไม่แข็งตัวสะสมตัวในลุ่มหรือที่ลุ่มชื้นแฉะ ภายหลังถูกแบคทีเรียและเชื้อราแปรสภาพเป็นอินทรีย์วัตถุและก๊าซมีเทน มีคาร์บอนประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 60 ออกซิเจนประมาณร้อยละ 30 มีความชื้นสูง แต่เมื่อแห้งจะติดไฟได้ดี
- 2) ลิกไนต์ (lignite) เป็นถ่านหินที่คุณภาพต่ำ สีน้ำตาลเข้มถึงดำ เนื้อแข็ง มีความชื้นต่ำ ไม่ค่อยมีโครงสร้างของพืชเหลืออยู่ มีคาร์บอนประกอบอยู่ร้อยละ 55 - 65 เมื่อเผาจะให้ค่าความร้อนน้อยกว่า 8,300 บีทียูต่อปอนด์ แหล่งที่มีการผลิต เช่น เขมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เขมืองคลองขนาน อำเภอเมืองกระบี่ จังหวัดกระบี่
- 3) ถ่านหินซับบิทูมินัส (sub-bituminous coal) เป็นถ่านหินที่มีลำดับการแปรสภาพสูงกว่าลิกไนต์ แต่ต่ำกว่าชนิดบิทูมินัส มีคาร์บอนประกอบร้อยละ 65- 80 มีความชื้นต่ำ เมื่อเผาจะให้ค่าความร้อนระหว่าง 8,300 - 13,000 บีทียูต่อปอนด์ แหล่งที่มีการผลิต เช่น แหล่งแม่ตึบ อำเภองาว จังหวัดลำปาง แหล่งลิ้และดงคำ อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน
- 4) ถ่านหินบิทูมินัส (bituminous coal) เป็นถ่านหินที่มีลำดับการแปรสภาพสูงกว่าชนิดซับบิทูมินัส สีน้ำตาลถึงดำ มีคาร์บอนประกอบร้อยละ 80-90 มีความชื้นต่ำ แต่มีสารระเหิด (volatile matter) ประกอบอยู่ด้วย ทำให้เมื่อเผาจะให้ควันมาก แต่จะให้ค่าความร้อนสูง ตั้งแต่ 10,500 บีทียูต่อปอนด์ขึ้นไป แหล่งที่มีการผลิต เช่น แหล่งดงคำ อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน และแหล่งแม่ตึน อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก

5) แอนทราไซต์ (antracite) เป็นถ่านหินที่มีการแปรสภาพสูงสุด สีดำ เนื้อแข็ง มีความวาวแบบกึ่งโลหะ ประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ร้อยละ 86 ขึ้นไป คัดไฟยาก เมื่อไหม้ให้เปลวไฟสีน้ำเงิน ไม่มีควัน ให้ค่าความร้อนสูงสุดในบรรดาถ่านหินทั้งหมดถึง 15,500 บีทียูต่อปอนด์ แหล่งที่มีการผลิต เช่น แหล่งนาด้วง กิ่งอำเภอนาด้วง จังหวัดเลย ซึ่งเป็นชนิดเซมิแอนทราไซต์ (semi - antracite)

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้ทดแทนน้ำมันในภาคอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า อุตสาหกรรมซีเมนต์และอุตสาหกรรมอื่น ๆ สำหรับประเทศไทยถึงแม้จะมีแหล่งถ่านหินไม่มากนักแต่ก็มีการใช้ประโยชน์จากถ่านหินมานานไม่น้อยกว่า 50 ปี โดยมุ่งเน้นไปที่การใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก รองลงมาได้แก่การใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ ส่วนอุตสาหกรรมอื่น ๆ มีการใช้ถ่านหินบ้างเล็กน้อยเนื่องจากมีขีดจำกัดบางประการ

ถ่านหินส่วนใหญ่ประกอบด้วย สารอนินทรีย์วัตถุและสารอินทรีย์วัตถุ ซึ่งสารอนินทรีย์วัตถุ ได้แก่ แร่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกลุ่มแร่ซิลิกา (แร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ ดินเหนียว) กลุ่มคาร์บอเนต (แร่แคลไซต์ และแร่โดโลไมต์) และกลุ่มแร่อื่น ๆ ส่วนสารอินทรีย์วัตถุที่เป็นส่วนประกอบของถ่านหิน ซากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น เปลือกหอย ก้างปลา ใบไม้ ละอองเกสร เป็นต้น จากส่วนประกอบของถ่านหินเมื่อถูกเผาผลาญเพื่อสร้างความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้า จะมีกากของเสียปริมาณมาก ซึ่งกากบางอย่างถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศจากปล่องควัน และก่อผลกระทบต่อดินและน้ำได้ กากอื่น ๆ จะสะสมในอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้า และถูกนำไปทิ้งในแหล่งทิ้งกากต่อไป ซึ่งกากที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินมีดังต่อไปนี้คือ

1) ขี้เถ้า (Ash) ในถ่านหิน เป็นกากที่เหลือจากการเผาไหม้ (Non-combustion Residue) ขี้เถ้านี้ได้มาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์วัตถุ ส่วนใหญ่เกิดจากปริมาณของสารอนินทรีย์วัตถุมากกว่าสารอินทรีย์วัตถุ ซึ่งชนิดของขี้เถ้าสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- จีเถ้าที่เกิดจากภายนอกเนื้อถ่านหิน (Extraneous Ash) หรือ Adventitious Mineral Matter ประกอบด้วยสารพวกดินเหนียว หินดินดาน แคลไซต์ ไพไรต์ หรือส่วนประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ซัลเฟต คลอไรด์ และฟลูออไรด์

- จีเถ้าที่เกิดภายในเนื้อถ่านหิน (Inherent Ash) จีเถ้าที่ประกอบด้วยสารอนินทรีย์ ที่รวมตัวอยู่กับสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบของถ่านหิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของพีช

ประเภทของจีเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ แบ่งตามมวลและอนุภาคได้ดังต่อไปนี้

เถ้าลอย (Fly Ash) คือ ฝุ่นจีเถ้าที่ถูกปล่อยออกมาทางปล่องควัน จีเถ้าที่ฟุ้งกระจายนี้จะประกอบไปด้วยมวลอนุภาคที่มีขนาดโดยเฉลี่ยหนึ่งในร้อยของหนึ่งมิลลิเมตร จีเถ้าที่ฟุ้งกระจายนี้จะมีลักษณะเหมือนแป้งฝุ่นและลอยฟุ้งไปในอากาศ โรงงานถ่านหินได้พยายามที่จะดักจับฝุ่นจีเถ้านี้ด้วยเครื่องมือควบคุม ยกตัวอย่างเช่น โดยเครื่องดักจับไฟฟ้าสถิต หรือเครื่องกรอง แล้วก็จะนำไปทิ้งในที่ทิ้งกาก หรือนำไปใช้ประโยชน์กับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ฝุ่นจีเถ้าที่ไม่ได้ถูกดักจับในปล่องควันพิษก็จะถูกปล่อยออกมาในอากาศ

เถ้าหนัก (Bottom Ash) คือ ฝุ่นจีเถ้าอันหนัก เป็นกากตกค้างจากการเผาไหม้ที่เหลืออยู่ในหม้อต้มน้ำ สารดังกล่าวประกอบไปด้วยสารที่ละเอียดและหยาบ และมักเป็นองค์ประกอบที่ผสมระหว่างจีเถ้าและจีโหลหะ อันเป็นสารที่มีลักษณะคล้ายแก้ว ฝุ่นจีเถ้าอันหนักจะถูกเก็บรวบรวมนำไปทิ้งในที่ทิ้งกาก

2) กากจากการดักจับสารซัลเฟอร์และกากที่อันหนักในเครื่องต้มน้ำ อันเป็นผลมาจากการเติมหินปูน และ หรือ หินแมกนีเซียม ทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ อันเป็นผลมาจากการแยกสารพิษออกมา กากเหล่านี้มีส่วนผสมของจีเถ้า แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน และจะถูกนำไปในที่ทิ้งกาก

3) สารพิษในกาก และจีเถ้า เช่น สารหนู ตะกั่ว แคลเซียม เซลีเนียม สารปรอท และฟลูออรีน จะถูกทิ้งในพื้นที่ทิ้งกาก จะซึมลงสู่ดินและน้ำใต้ดิน มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของพีช สารพิษเหล่านี้จะถูกส่งผ่านไปตามห่วงโซ่อาหารและทวีความเข้มข้นมากขึ้นตามลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหาร การรับสารพิษเหล่านี้ในมนุษย์จะก่อให้เกิดผลกระทบ และขัดขวางการเจริญเติบโตของเด็กในครรภ์

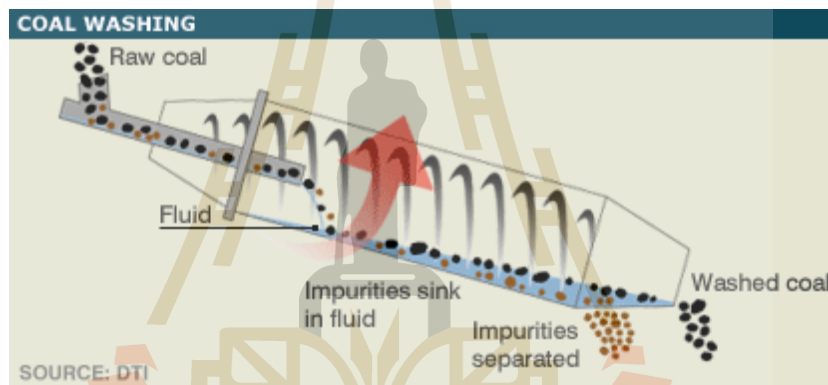
4.) น้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูง อันเป็นผลจากการใช้น้ำจำนวนมากในกระบวนการสร้างไอน้ำ และการหล่อเย็นน้ำทิ้งอุณหภูมิสูงเหล่านี้จะถูกปล่อยทิ้งในทะเลสาบหรือทะเลซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์น้ำและระบบนิเวศทางทะเล

การใช้อ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เช่นการใช้ที่ดินในการกำจัดกาก ซึ่งมีผลต่อสิ่งแวดล้อม การกำจัดน้ำเสีย การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และมลพิษทางอากาศอื่น ๆ เช่นหมอกควัน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซประกอบไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นสารมลพิษหลักที่ถูกควบคุมด้วยกฎหมาย โดยเฉพาะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นี้จะส่งผลกระทบต่อทั้งเป็นมลพิษทางอากาศแล้วยังทำให้เกิดฝนกรดทำให้เกิดความเสียหายจากการกัดกร่อนอุปกรณ์โลหะต่าง ๆ จากผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ส่งผลให้แหล่งเชื้อเพลิงจากถ่านหินไม่เป็นที่ยอมรับจากประชาชน และมีปัญหาความขัดแย้งต่อต้านของชุมชนต่อผู้ประกอบการเกี่ยวกับถ่านหินที่ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นการนำเอาเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำให้การเผาไหม้ถ่านหินที่สะอาดมากขึ้นน่าจะเป็นวิธีการที่ดีที่จะช่วยลดข้อขัดแย้งและเพิ่มการยอมรับการใช้อ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในประเทศไทยมากขึ้น เพื่อให้ประเทศได้มีการพัฒนาทางด้านพลังงานอย่างมั่นคง ลดการนำเข้าพลังงานรูปแบบอื่นจากต่างประเทศ

การลดปริมาณขี้เถ้าและกำมะถันของถ่านหิน สามารถทำได้โดยใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดก่อนการเผาไหม้ (Pre-combustion) ซึ่งเป็นการทำความสะอาดถ่านหินในขั้นตอนก่อนการเผาไหม้ เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกจากถ่านหิน เช่นฝุ่นละออง เศษหิน เศษดิน และสารประกอบอินทรีย์ เพื่อลดปริมาณขี้เถ้าและกำมะถันที่ปนอยู่ในเนื้อถ่านหิน ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่าความร้อนของถ่านหินก่อนการนำไปเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงโดยอาจเรียกขั้นตอนนี้ว่า การปรับระดับถ่านหิน (Coal Upgrading) เพื่อลดปริมาณขี้เถ้าและกำมะถันที่ปะปนอยู่ในถ่านหิน ซึ่งการทำความสะอาดถ่านหินก่อนการเผาไหม้มีด้วยกัน 3 วิธี กรมทรัพยากรธรณี (2018) และ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2018) ได้แก่

วิธีที่ 1 การทำความสะอาดด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Cleaning) เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนประเภท ฝุ่นละออง ดิน หิน และสารประกอบจำพวกกำมะถัน อินทรีย์ ซึ่งมีเหล็กเป็น

ส่วนประกอบ เช่น ไพไรติกซัลเฟอร์ (Pyritic Sulfur) เป็นต้น โดยมีวิธีการคือนำถ่านหินมาบดให้มีขนาดเล็กกว่าฝุ่นผงแล้วล้างผ่านน้ำโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความหนาแน่นของถ่านหินกับสารเหล่านี้จะทำให้สิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการจะถูกแยกออกจากเนื้อถ่านหิน ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ไพไรติกซัลเฟอร์ถูกกำจัดออกได้ประมาณร้อยละ 90 แสดงดังรูปที่ 1.1 กระบวนการนี้อาศัยกระบวนการการผ่านถ่านหินโดย air bubble ไปใน Coal Slurry เนื่องจากถ่านหินมีคุณสมบัติเป็น hydrophobic ดังนั้นอนุภาคถ่านหินจะจับตัวกับ air bubble แล้วลอยตัวขึ้นมาบนผิวหน้าของ slurry ซึ่งจะถูกแยกออกไป ในขณะที่พวกแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็น hydrophilic จะจับกับน้ำจมนตัวลงสู่ด้านล่างของภาชนะ ช่วยให้การแยกกำมะถันไพไรต์ เถ้า ออกจากถ่านหินได้ดีขึ้น



รูปที่ 1.1 กระบวนการทำความสะอาดโดยวิธีการล้าง เพื่อลดสารมลทินในถ่านหิน
(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2018)

วิธีที่ 2 การทำความสะอาดโดยวิธีทางเคมี (Chemical Cleaning) เป็นการใส่สารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับผงถ่านหินซึ่งสารเคมีดังกล่าวมีคุณสมบัติการกำจัดพวกสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีทางกายภาพ ในการทำปฏิกิริยากับผงถ่านหินเพื่อกำจัดกำมะถันและขี้เถ้า ซึ่งวิธีการลดปริมาณขี้เถ้าและกำมะถันโดยการใช้สารเคมีในก่อนการเผาไหม้มีอยู่หลายวิธี เช่น

- การลดปริมาณเถ้าโดยการล้างด้วยน้ำ โดยอาศัยหลักความแตกต่างของความหนาแน่นของถ่านหินกับสารเหล่านี้ จะทำให้สิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการจะถูกแยกออกจากเนื้อถ่านหิน โดยเฉพาะอนินทรีย์ซัลเฟอร์ ได้แก่ ไพไรติกซัลเฟอร์จะถูกกำจัดออกได้ปริมาณมาก

- การลดปริมาณเถ้าโดยวิธีการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นการนำถ่านหินแฉะในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อสกัด สารอินทรีย์และสารอินทรีย์ เช่น แคลไซต์ โดโลไมต์ และซิงค์ไธโอไรต์บางชนิดออกจากถ่านหินช่วย ลดปริมาณเถ้าจากการเผาไหม้

- การลดปริมาณเถ้าโดยวิธีการแยกอนุภาคในตัวกลางของเหลว เป็นการใช้ความแตกต่าง ของความถ่วงจำเพาะของถ่านหินซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.23 ถึง 1.70 ซึ่งขึ้นอยู่กับสัณฐาน ปริมาณความชื้น และ ปริมาณเถ้า การลดปริมาณเถ้าทำได้โดยการนำถ่านหินผสมกับสารละลายที่ใช้เป็นตัวกลาง ที่ความถ่วงจำเพาะต่าง ๆ อนุภาคถ่านหินที่มีปริมาณเถ้าน้อยจะอยู่ส่วนบนของสารละลาย สารละลายที่ใช้เป็นตัวกลางที่นิยมใช้โดยทั่วไปเช่น แคลเซียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ โพแทสเซียม คาร์บอเนต และคาร์บอเนตตระคลอไรด์ เป็นต้น

- เทคโนโลยีการเผาไหม้ถ่านหินแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustion; FBC) คือการเผาไหม้ที่มีการแยกเอาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งมักจะเกิดในการเผาไหม้ทั่วไป และเกิดเป็น ก๊าซพิษออกได้ เป็นเทคโนโลยีการขจัด หรือการลดมลพิษออกจากระบบระหว่างการใช้ประโยชน์ ถ่านหิน โดยถ่านหินที่บดจนมีขนาดเล็กมากผสมเข้ากับหินปูนถูกพ่นเข้าไปในหม้อไอน้ำพร้อม อากาศร้อน ถ่านหินและหินปูนที่พ่นเข้าไปจะแขวนลอยอยู่ในคลื่นอากาศร้อน โดยมีลักษณะคล้าย ของเหลวเดือด ขณะที่ถ่านหินเผาไหม้หินปูนจะทำหน้าที่คล้ายฟองน้ำทำหน้าที่ดักจับกำมะถันที่ เกิดขึ้นกระบวนการนี้สามารถลดปริมาณกำมะถันที่จะถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ได้ร้อยละ 90 นอกจากนี้อุณหภูมิของหม้อไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการนี้ยังต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในวิธีการเดิม ประโยชน์ของการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำ คือ ทำให้สามารถใช้โลหะที่มีราคาถูกกว่าเป็นอุปกรณ์ได้ และมี NO_x ที่เกิดจากการเผาไหม้น้อย

วิธีที่ 3 การทำความสะอาดโดยใช้วิธีทางชีวภาพ (Biological Cleaning) วิธีนี้เป็น เทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่ โดยใช้สิ่งมีชีวิตเล็กจำพวกแบคทีเรียและ เชื้อราบางชนิด ที่ใช้กำมะถัน เป็นอาหารเข้าไปช่วยในการกำจัดกำมะถันในถ่านหินและสามารถนำสิ่งมีชีวิตเหล่านี้มาทำการ เผาเลี้ยงเพื่อสกัดเอาเอนไซม์ที่ใช้สำหรับการย่อยสลายกำมะถันมาใช้ เพื่อเร่งกระบวนการกำจัด กำมะถันในถ่านหิน

ชนิดและคุณสมบัติของสารเคมีที่จะใช้ในการทดสอบ

น้ำกลั่น (Distilled Water) เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนประเภท ฟุนละออง ดิน หิน และ สารประกอบจำพวก กำมะถัน อนินทรีย์ ซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบ เช่น ไพไรติกซัลเฟอร์ (Pyritic Sulfur) เป็นต้น โดยมีวิธีการ คือนำถ่านหินมาคดให้มีขนาดเล็กกว่าขนาดของฟุนผงแล้วล้างผ่านน้ำ

โซดาไฟ (Caustic Soda) หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; NaOH) มีคุณสมบัติเป็นสารไอออนิก ประกอบด้วย Na^+ (Sodium Cation) และ OH^- (Hydroxide Anion) โซเดียมไฮดรอกไซด์ยังทำปฏิกิริยากับออกไซด์ที่เป็นกรด เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจนไดซัลไฟด์ (H_2S) ในการเผาไหม้ถ่านหินและทำให้ป้องกันการปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดย OH^- จะทำให้มีคุณสมบัติเป็นเบสแก่ เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกลือ และน้ำ ดังสมการ



โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH) มีผลทำให้ได้รูปพรุน และพื้นที่ผิวสูงมากขึ้น โดยการทำลายโครงสร้างถ่านหินบางส่วน และลดสารอนินทรีย์ในถ่านหินในขั้นตอนการแ่สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และการคาร์บอนไนซ์ ที่อุณหภูมิสูงโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกิดการสลายตัวให้น้ำ ซึ่งเป็นสารทำให้คาร์บอนในถ่านหินเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน และโพแทสเซียมเป็นโลหะที่อ่อนตัวจึงทำให้แทรกเข้าไปในชั้นของอะตอมคาร์บอน ทำให้เกิดรูปพรุนได้มากขึ้นซึ่งมีผลต่อการลดปริมาณขี้เถ้าในการเผาไหม้ถ่านหินได้

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ค้นคว้าและศึกษาวารสาร รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินด้วยสารเคมีที่หลากหลาย รวมถึงประเภทของถ่านหิน การวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านหินด้วยเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ชนิดของชั้นถ่านหินแม่เมาะที่นำมาศึกษา เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด การลดปริมาณกำมะถันด้วยวิธีการต่าง ๆ และคุณสมบัติของไมโครเวฟ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.1 การจำแนกประเภทของถ่านหิน

กรมทรัพยากรธรณี (2018) ได้ทำการจำแนกประเภทของถ่านหิน ตามลำดับขั้นตอนของกระบวนการเกิดถ่านหิน ซึ่งทำให้ถ่านหินแต่ละประเภทมีช่วงเวลาการเกิดและคุณภาพที่แตกต่างกัน การกำหนดคุณสมบัติที่ใช้ในการจำแนกประเภทของถ่านหินนั้นพิจารณาได้จากปริมาณหรือค่าความร้อน (Calorific value) ความชื้น (Moisture) เถ้า (Ash) สารระเหย (Volatile matter) และค่าคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) ตามมาตรฐานของ ASTM D 388 มีรายละเอียดดังนี้

- 1) พีต (Peat) เป็นถ่านหินที่เกิดขึ้นในกระบวนการแรกของการเกิดถ่านหิน ซึ่งเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำที่สุด ประกอบด้วยซากพืชและซากสัตว์ซึ่งมีการสลายตัวไปแล้วบางส่วน มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล มีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ มีปริมาณออกซิเจนและน้ำค่อนข้างสูง และใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ แต่ให้ค่าความร้อนต่ำ เมื่อเกิดการเผาไหม้ (Combustion) แล้วจะทำให้เกิดควันมากจึงมักใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับครัวเรือนในบางประเทศ
- 2) ลิกไนต์ เป็นถ่านหินที่มีวิวัฒนาการมาจากพีต จึงทำให้ลิกไนต์ยังคงพบซากพืชและสัตว์หลงเหลืออยู่เล็กน้อย และอาจมีร่องรอยของเนื้อไม้เหลืออยู่บ้าง ลิกไนต์จึงจัดเป็นถ่านหินคุณภาพต่ำ มีปริมาณออกซิเจนและความชื้นค่อนข้างสูง ให้ค่าความร้อนต่ำ แต่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดีกว่าพีต สามารถเก็บไว้ได้นาน และสามารถเกิดการเผาไหม้และติดไฟได้เอง (Spontaneous combustion) จึงนิยมใช้ในโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม

- 3) ชับบิทูมินัส เป็นถ่านหินที่มีลักษณะสีดำคล้ายขี้ผึ้ง ให้ค่าความร้อนสูงกว่าลิกไนต์ สามารถที่จะแปรรูปไปเป็นเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซได้ และเกิดการเผาไหม้และติดไฟได้เอง จึงนิยมใช้ในโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมเช่นเดียวกับลิกไนต์
 - 4) บิทูมินัส เป็นถ่านหินที่คุณภาพสูง ที่มีการใช้เวลาในการแปรสภาพค่อนข้างนาน มีเนื้อแน่นและสีดำสนิท เป็นมันวาว ไม่มีร่องรอยของเนื้อไม้ มีเถ้าดำ เมื่อเกิดการเผาไหม้มีควันน้อย แต่ให้ค่าความร้อนสูง จึงเหมาะสมสำหรับนำไปผลิตเป็นถ่านโค้ก และใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก
 - 5) แอนทราไซต์ เป็นถ่านหินที่มีสีดำ เป็นมันวาว มีความแข็งมาก มีรอยแตกเว้าแบบก้นหอย มีค่าคาร์บอนคงที่สูง ความชื้นต่ำ เกิดการเผาไหม้และติดไฟได้ยาก แต่ให้ค่าความร้อนสูงสุด ให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ยาวนาน และเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วมีควันน้อยจึงเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดีที่สุดในโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม
- การจำแนกประเภทของถ่านหินตามลักษณะดังกล่าวข้างต้นนั้นพิจารณาได้จากชั้นของถ่านหิน ด้วยวิธีการทดสอบวัสดุของสมาคมอเมริกัน (American Society for Testing and Materials: ASTM, 2018) ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทของถ่านหินด้วยวิธีการทดสอบวัสดุของสมาคมอเมริกัน (ASTM International, 2018)

ประเภทของถ่านหิน	ขีดจำกัดของค่าคาร์บอนคงที่ (%)	สารระเหย (%)	ขีดจำกัดของค่าความร้อน (Btu/lb)
แอนทราไซต์	86-98	2-14	-
บิทูมินัส	69-86	22-31	10,500-14,000
ซับบิทูมินัส	น้อยกว่า 69	มากกว่า 31	8,300-10,500
ลิกไนต์	น้อยกว่า 69	มากกว่า 31	6,300-8,300
พีต	ต่ำ	สูง	ต่ำ

นอกจากนี้ยังมีการจำแนกประเภทของถ่านหินตามมาตรฐานระบบระหว่างประเทศ (International system) โดยพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพของถ่านหิน (สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และส่งเสริมเทคโนโลยี, 2018) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทของถ่านหินตามมาตรฐานระบบระหว่างประเทศ (สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และส่งเสริมเทคโนโลยี, 2018)

ประเภทของถ่านหิน	ความชื้น (%)	ค่าความร้อน (Kcal/kg)	สารระเหย (%)	ปริมาณธาตุ (%) โดยน้ำหนักจากฐานที่ไม่คิดค่าความชื้น (dry basis)		
				คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ออกซิเจน
แอนทราไซต์	2-5	7,200-8,300	5-7	90-95	2-3	2-3
บิทูมินัส	5-10	5,830-8,300	20-40	80-90	10-15	4-5
ซับบิทูมินัส	28-30	5,500-6,500	40-45	75-80	15-20	5-6
ลิกไนต์	50-70	2,200-4,600	45-55	60-75	20-30	5-6

2.2 ธรณีทั่วไปของเหมืองถ่านหินแม่เมาะ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นหน่วยงานที่ดำเนินการพัฒนาแหล่งถ่านหินลิกไนต์ของประเทศไทย ซึ่งเหมืองถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย คือ เหมืองถ่านหินแม่เมาะ โดยเหมืองถ่านหินแม่เมาะมีพื้นที่ประมาณ 20,000 ไร่ โดยพื้นที่ทั้งหมดเป็นของกรมป่าไม้ เหมืองแม่เมาะผลิตถ่านหินอยู่ในแอ่งแม่เมาะ ซึ่งเป็นแอ่งที่อยู่ระหว่างหุบเขาในเขตตำบลแม่เมาะและบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง แอ่งมีรูปร่างคล้ายวงรีที่มีแกนยาว 16 กิโลเมตร วางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีบริเวณกว้างสุดประมาณ 9 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 135 ตารางกิโลเมตร (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2019) จัดเป็นแอ่งสะสมตัวของตะกอนที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นแอ่งที่มีปริมาณสำรองถ่านหินที่ประเมินแล้วมากที่สุดของประเทศ

2.3 ลำดับชั้นหินของตะกอนเทอร์เชียรีในแอ่งแม่เมาะ

ชั้นหินที่พบบริเวณแอ่งแม่เมาะประกอบด้วยหินยุคต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

หินตะกอน ที่พบในแอ่งแม่เมาะเป็นแอ่งของหินตะกอนยุคเทอร์เชียรี (Tertiary period) ที่อยู่ในช่วงสมัยไมโอซีน (Miocene epoch) ซึ่งมีอายุประมาณ 23.0-5.3 ล้านปีที่ผ่านมา เป็นกลุ่มหินตะกอนกึ่งแข็งตัว มีความหนาของชั้นตะกอนรวมกันประมาณ 1,100 เมตร เรียกว่า “กลุ่มหินแม่เมาะ” ซึ่งหินชนิดหลักที่พบประกอบด้วย หินดินดาน (Shale) หินโคลน (Mudstone) หินทรายแป้ง (Siltstone) หินทราย (Sandstone) และหินกรวดมน (Conglomerate) โดยมีชั้นถ่านหินที่สำคัญ มีความหนาแต่ละชั้นประมาณ 20 เมตร ที่แทรกสลับบริเวณส่วนกลางของกลุ่มหินแม่เมาะ

ชั้นหินตะกอนกึ่งแข็งตัวของกลุ่มแม่เมาะ (Mae Moh group) สามารถแบ่งออกได้ 3 หมวดหิน (รูปที่ 2.1) จากล่างขึ้นบน คือ หมวดหินห้วยคิง หมวดหินนาแวม และหมวดหินห้วยหลวง ส่วนใหญ่พบชั้นถ่านหินและซากหอยขม อยู่ในหมวดหินนาแวม

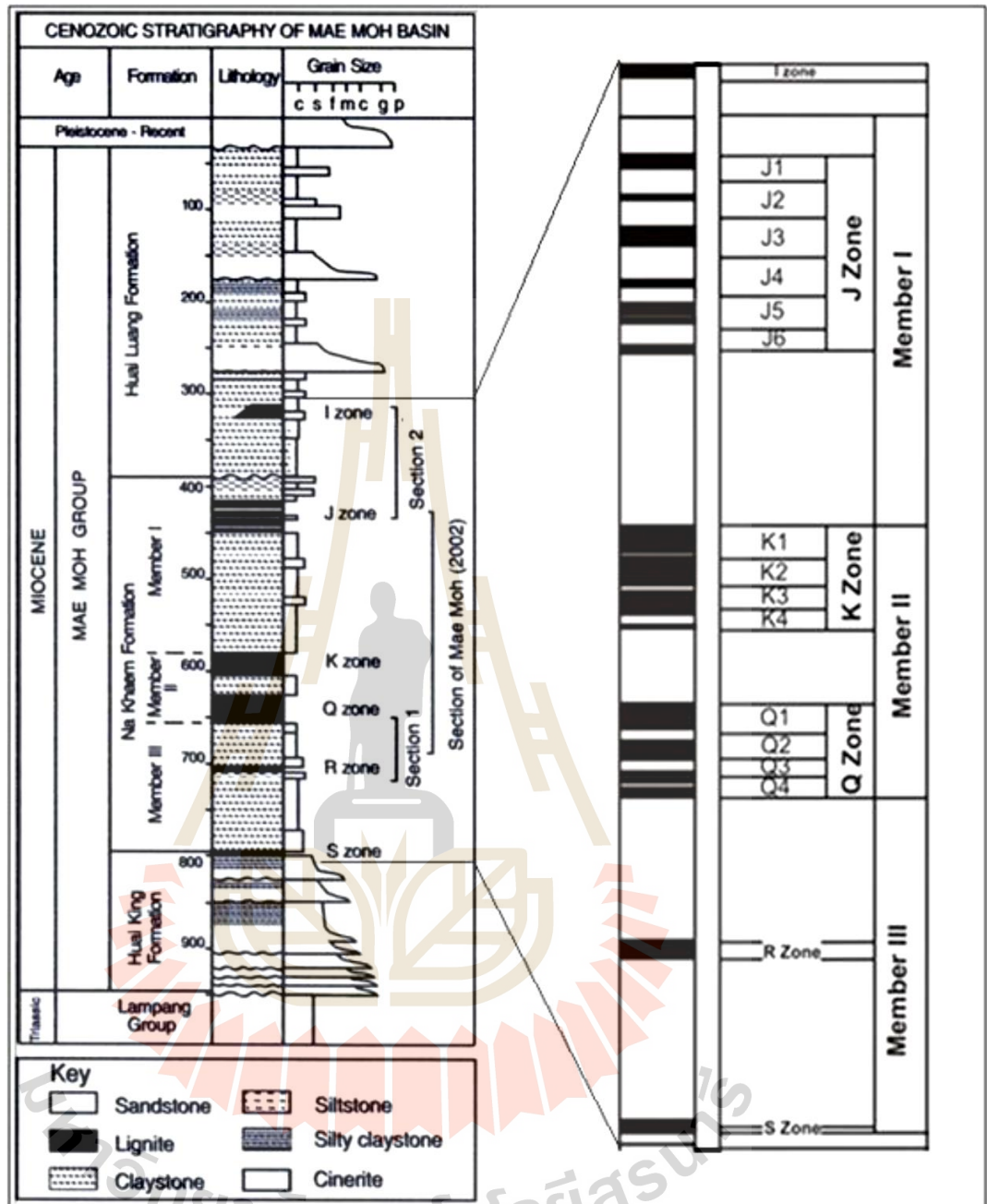
ลำดับชั้นหินของหมวดหินนาแวม

หมวดหินนาแวมเป็นหมวดหินที่อยู่ในส่วนกลางของกลุ่มหินแม่เมาะ ซึ่งเป็นหน่วยหินที่ตกตะกอนในสภาวะที่ขาดออกซิเจน (Reducing environment) ทะเลสาบน้ำจืด (Lacustrine) สลับกับพื้นที่น้ำขังและพื้นที่ชื้นแฉะ (Swamp) ในสภาพอากาศโบราณแบบร้อนชื้น มีชั้นตะกอนที่หนาประกอบด้วย

- 1) **ชั้นถ่านหิน Q** มีความหนาประมาณ 5-6 เมตร เป็นหน่วยหินที่อายุแก่ที่สุดในพื้นที่ พบโผล่ตามขอบบ่อเหมืองทางตะวันตกสุดของพื้นที่ประทานบัตร ประกอบด้วยชั้นถ่านหินชั้นหนา 4-5 เมตร แบ่งได้เป็น 4 ชั้นถ่านหินย่อยจากล่างขึ้นบน ได้แก่ Q4, Q3, Q2, และ Q1 โดยพบชั้นหินโคลนเนื้อคาร์บอนเซียสและหิน Ligneous claystone แทรกสลับบาง ๆ ส่วนบนของชั้นถ่านหินประมาณ 30-50 เซนติเมตร ตอนล่างของชั้นถ่านหินนี้พบว่าประกอบด้วยชั้นหินดินดานเนื้อคาร์บอนเซียส สีน้ำตาลเข้มหนาประมาณ 1 เมตรรองรับอยู่ แนวการวางตัวของชั้นหินอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ถึงตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เอียงเทไปทางทิศตะวันออก
- 2) **ชั้นหิน Interburden (IB)** มีความหนาเฉลี่ยประมาณ 15 เมตร พบการวางตัวอย่างต่อเนื่องบนชั้นถ่านหิน Q พบโผล่ตามแนว Bench ทางตะวันตกและตะวันตกเฉียง

เหนือของแหล่งซากดึกดำบรรพ์ ประกอบด้วยหินโคลน หินดินดาน สีเทา เทาเขียว มีชั้นหนา ตอนบนแสดงลักษณะชั้นบางและมีชั้นหินดินดานคาร์บอนีเชียสและหิน Ligneous claystone แทรกสลับ ภายในเนื้อหินพบซากดึกดำบรรพ์หลายประเภท เช่น กุ้ง ปลา กระจงเต่า ปีกแมลง ใบไม้ และเศษหอยขม แนวการวางตัวของชั้นหินอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ถึงตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เอียงเทไปทางทิศตะวันออก

- 3) **ชั้นถ่านหิน K** เป็นชั้นถ่านหินที่วางตัวอยู่บนชั้นหินเคลย์ IB หนาประมาณ 20-30 เมตร ประกอบด้วย ชั้นถ่านหินย่อยจำนวน 4 ชั้น คือ K4, K3, K2 และ K1 จากด้านล่างสู่ด้านบน โดยมีชั้นหอยขมแทรกอยู่ระหว่างชั้นถ่านหินย่อย K3 และ K4 มีลักษณะเป็นเลนส์มีความหนาสูงสุด 12 เมตร บางส่วนของชั้นถ่านหิน K เช่นทางตอนใต้และทางตอนเหนือสุดของพื้นที่ พบว่าวางตัวสัมผัสต่อเนื่องอยู่บนชั้น IB และทางตอนกลางก่อนไปทางตะวันออก พบว่าหินนี้วางตัวสัมผัสแบบมีรอยเลื่อนกับชั้นถ่านหิน J โดยชั้นถ่านหิน K นี้ประกอบด้วยถ่านหินสีดำ น้ำตาลดำ สลับเล็กน้อยด้วยหินคาร์บอนีเชียสและหินเคลย์สีเหลืองอ่อน เทาถึงเทาเข้มมักพบซากปลา หอย ใบไม้และอื่น ๆ
- 4) **ชั้นหิน Overburden (OB)** ประกอบด้วยหินโคลนสีเทา ซึ่งวางตัวอยู่บนชั้นถ่านหินย่อย K1
- 5) **ชั้นถ่านหิน J** ประกอบด้วยชั้นถ่านหินย่อยบาง ๆ หนาไม่เกิน 2 เมตร มีจำนวน 6 ชั้น ได้แก่ J6, J5, J4, J3, J2 และ J1 จากด้านล่างสู่ด้านบน โดยมีการแทรกสลับด้วยหินเคลย์ ชั้นถ่านหินนี้มีควมหนารวมประมาณ 55 เมตร
- 6) **ชั้นถ่านหิน I** เป็นชั้นถ่านที่วางตัวอยู่บนสุด ซึ่งอยู่ในรอยต่อระหว่างสภาวะที่ขาดออกซิเจน (reduction) และมีออกซิเจน (oxidation) มีความหนาประมาณ 15-20 เมตร ประกอบไปด้วยหินเคลย์ หินทรายแป้ง และหินเคลย์เนื้อทรายแป้ง



รูปที่ 2.1 ลำดับชั้นหินของแอ่งแม่เมาะ (Sompong et al., 1996; Chaodumrong, 1985; Corsiri and Crouch, 1985; Benammi et al., 2002)

2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหิน

กรมทรัพยากรธรณี (2018) ได้ทำการสรุปวิธีการการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหิน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ตามมาตรฐานของ ASTM ดังต่อไปนี้

2.4.1 การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis)

เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงปริมาณความชื้น (Moisture) ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) และธาตุคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon)

1) ความชื้น (Moisture) ในถ่านหิน เกิดได้ 3 ลักษณะ คือ

- ความชื้นอิสระ (Free or Adherent moisture) คือ น้ำที่มีอยู่ที่ผิว (Surface water)
- น้ำที่ถูกยึดเหนี่ยวทางกายภาพหรือความชื้นภายใน (Inherent moisture) ซึ่งเป็นน้ำที่ขังอยู่ในช่องว่างในถ่านหินด้วยความดันไอและกระบวนการทางฟิสิกส์อื่นๆ
- น้ำที่ถูกยึดเหนี่ยวทางเคมี (Chemical bound water) เป็นความชื้นที่เกิดจากน้ำที่เป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุ (water of hydration) หรือเป็นน้ำที่เกิดรวมอยู่ในโครงสร้างของถ่านหิน

ความชื้นรวม (Total moisture) คือความชื้นที่คิดจากน้ำหนักที่หายไปในบรรยากาศภายใต้ภาวะกำหนด เช่น อุณหภูมิ เวลา และการไหลของอากาศ เป็นการหาปริมาณน้ำทั้งหมด ยกเว้นน้ำที่เกิดจากรวมตัวทางเคมี

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ใช้เป็นตัวกำหนดราคาในการซื้อขายถ่านหินและใช้ในการคำนวณผลการวิเคราะห์อื่น ๆ ให้อยู่ในรูปที่ต้องการ เช่น ความชื้นรวม ใช้คำนวณผลการวิเคราะห์อื่น ๆ ให้เป็น As-received basis

2) เถ้า (Ash) หมายถึงส่วนที่เหลืออยู่หลังจากที่ถ่านหินถูกเผาไหม้ในบรรยากาศที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้วิธีนี้มีองค์ประกอบแตกต่างจากองค์ประกอบอนินทรีย์ที่มีอยู่ในถ่านหินที่นำมาเผา การเผาไหม้นี้ น้ำจะถูกไล่ออกมาจากดิน (Clay) และแคลเซียมซัลเฟต (Calcium sulfate) และ Iron pyrite จะถูกเปลี่ยนเป็น Iron oxide ซึ่งในแต่ละปฏิกิริยานี้เกี่ยวกับน้ำหนักที่หายไปจากถ่านหิน

ผลจากการวิเคราะห์หาปริมาณให้นำไปใช้ในการประเมินวิธีการในการชักตัวอย่าง และเป็นค่ากำหนดไว้ในสัญญาการซื้อขาย และใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ หม้อน้ำร้อนและกำหนดช่วงของปริมาณเถ้าช่วยให้หม้อน้ำร้อน สามารถทำงานได้ อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังใช้เพื่อกำหนดหาปริมาณสารระเหย และธาตุ คาร์บอนคงที่ให้อยู่ในรูปของ Dry mineral matter free basis เพื่อจัดลำดับคุณภาพ ถ่านหิน (rank classification)

- 3) สารระเหย (Volatile matter) คือ ผลิตภัณฑ์ก๊าซที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่กำหนดตาม มาตรฐาน (ASTM D 3175) แต่ทั้งนี้ไม่รวมปริมาณของความชื้น ผลิตภัณฑ์ก๊าซที่ เกิดขึ้นและเป็นพวกที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน และสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน อื่น ๆ ส่วนก๊าซที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และคลอไรด์บางตัว ปริมาณสารระเหยจากการวิเคราะห์นี้ใช้พิจารณาจัดแบ่งชั้นคุณภาพถ่านหินเป็นตัว ชี้ถึงถ่านโค้กที่ได้หลังจากที่ได้คาร์บอนไนซ์แล้ว และยังใช้ในการพิจารณาสมบัติใน การเผาไหม้
- 4) ธาตุคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) หมายถึง ส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid residue) ที่ เหลืออยู่หลังจากที่ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยแล้ว ปริมาณธาตุคาร์บอน คงที่นี้ได้จากการคำนวณ (ASTM D 3172) ดังนี้

$$\text{Fixed Carbon (\%)} = 100 - (\% \text{ Moisture} + \% \text{ Volatile matter} + \% \text{ Ash})$$

ปริมาณธาตุคาร์บอนคงที่เมื่ออยู่ในรูปของ Dry mineral free basis ใช้ในการ จัดลำดับคุณภาพถ่านหิน และใช้ในการพิจารณาถึงปริมาณถ่านโค้กที่ผลิตได้จาก กระบวนการทำถ่านโค้ก

2.4.2 การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate Analysis)

เป็นการนำเอาถ่านหินมาวิเคราะห์หาธาตุประกอบหลัก ซึ่งธาตุเหล่านี้สามารถใช้ เป็นตัวแทนองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในถ่านหิน ซึ่งจะมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีในการเผา ไหม้หรือการแปรรูปถ่านหิน (Conversion)

- 1) คาร์บอน (Carbon) ปริมาณคาร์บอนในถ่านหินสามารถใช้คาดการณ์ถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ การแปรรูปถ่านหิน และจากการใช้เทคโนโลยีอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นพลังงาน ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนที่มีโซ่สั้นและยาว และไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างอื่น ๆ
- 2) ไฮโดรเจน (Hydrogen) พบอยู่ในสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ และเป็นส่วนหนึ่งของความชื้นในถ่านหิน เมื่อเกิดการเผาไหม้ ไฮโดรเจนจะเกิดเป็นไอน้ำ และบางกรณีอาจรวมกับคลอรีนหรือธาตุอื่น ๆ ในถ่านหิน เกิดเป็นสารประกอบต่าง ๆ เช่น กรดเกลือ (Hydrochloric acid) หรือก๊าซไข่เน่า (Hydrogen sulfide) ในกระบวนการแปรรูปถ่านหินและการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ปริมาณไฮโดรเจนมีความสำคัญต่อการพิจารณาถึงสารตั้งต้นที่ต้องการ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ ตามปกติทั้งคาร์บอนและไฮโดรเจนจะรวมตัวเป็นองค์ประกอบอินทรีย์ในถ่านหิน และจากการคำนวณหา H/C atomic ratio ทำให้สามารถคาดการณ์ได้ถึงความเป็นไปได้ในการนำถ่านหินนั้น ๆ มาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงเหลว
- 3) ไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นธาตุในถ่านหินชนิดเดียวเท่านั้นที่พบในรูปของสารอินทรีย์ที่เสถียรภาพมาก และไม่สามารถแยกออกจากถ่านหินได้ ไนโตรเจนในถ่านหินเป็นตัวทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศ จึงมีการพิจารณาถึงเทคนิคที่ใช้ในการเผาไหม้ เพื่อลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์
- 4) กำมะถัน (Sulfur) กำมะถันที่พบในถ่านหินมีทั้งที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ ในรูปของไพไรต์หรือมาร์คาร์ไซต์ และในรูปอนินทรีย์ซัลเฟต ปริมาณกำมะถันใช้คาดการณ์ได้ถึงการผลิตซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศออกมามากน้อยเพียงใด ใช้คาดการณ์ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ และคาดการณ์ความเป็นไปได้ที่จะเกิดสารประกอบเกลือซัลเฟตในถ่านหิน นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรดก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาและเกิดการกัดกร่อนในหม้อน้ำ จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เพื่อควบคุมการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ได

ออกไซด์เมื่อนำถ่านหินมาเผาไหม้ และยังเป็นข้อมูลการเลือกกรรมวิธีในการจัด
กัมมะถันเพื่อปรับปรุงคุณภาพของถ่านหิน

- 5) ออกซิเจน (Oxygen) ออกซิเจนที่พบในถ่านหินจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์และอนินท
รีย์ โดยทั่วไปแล้วพบอยู่ในรูปของน้ำ ซิลิเกต คาร์บอเนต และกลุ่มของสารคาร์บอนิล
(Carbonyl group)

2.4.3 การวิเคราะห์ค่าความร้อนรวม (Gross calorific values)

ค่าความร้อนของถ่านหินและเชื้อเพลิงแข็งอื่น ๆ มักแสดงในหน่วยความร้อนต่อ
หน่วยน้ำหนัก เช่น กิโลจูล (kJ) หรือ เมกกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ในระบบ SI หรือ
แคลอรีต่อกรัม (cal/g) ในระบบหน่วยเมตริก เป็นต้น นอกจากนี้ยังแสดงอยู่ในหน่วย บี
ทียูต่อปอนด์ (Btu/lb) ในระบบ American Engineering

การระบุค่าความร้อนของถ่านหินและเชื้อเพลิงแข็ง ต้องระบุหลักอ้างอิง (Basis)
ด้วยว่าเป็นมวลของเชื้อเพลิงแข็งแบบใด เช่น แบบรวมความชื้นและรวมเถ้า (Air-dried
basis หรือ as-received basis) หรือแบบไม่รวมความชื้นและไม่รวมเถ้า (Dry and ash-
free (DAF) basis) หรือแบบอื่น ๆ เพราะหลักอ้างอิงมีผลต่อค่าความร้อนและการนำค่า
ความร้อนไปใช้เป็นอย่างมาก เช่น การหาค่าความร้อนของถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM D388
ต้องใช้หลักอ้างอิงเป็นแบบรวมความชื้นแต่ไม่รวมเถ้า (Moist, ash-free basis)

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านหิน ปริมาณคาร์บอนคงที่และสารระเหย สามารถ
นำมาทำการจำแนกประเภทของถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM D388-12 (American Society for
Testing Materials, 2018) ซึ่งแสดงรายละเอียดการจำแนกในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การจำแนกประเภทของถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM D388-12 (American Society for Testing Materials, 2018)

Classification of Coal by Rank (ASTM D388-12)						
Coal Rank		Fix Carbon Limits	Volatile Content	Gross Calorific Value Limits		Agglomerating Characteristics
		%	%	Btu/lb	MJ/kg	
		dmmf	dmmf	Moisture mmf	moisture mmf	
Antracite Class	Meta- Anthracite	≥98%	<2%			Non-agglomerating
	Anthracite	92 to 98%	2 to 8%			
	Semi-Anthracite (Lean Coal)	86 to 92%	8 to 14%			
Bituminous	Low Volatile Bituminous	78 to 86%	14 to 22%			Commonly agglomerating
	Medium Volatile Bituminous	69 to 78%	22 to 31%			
	High Volatile A Bituminous	<69%	>31%	≥ 14,000	≥32.557	
	High Volatile B Bituminous	<69%	>31%	13,000 to 14,000	30.232 to 32.557	
	High Volatile C Bituminous	<69%	>31%	11,500 to 13,000	26.743 to 30.232	
	High Volatile C Bituminous		>31%	10,500 to 11,500	24.418 to 26.743	Agglomerating
Subbituminous	Subbituminous A coal			10,500 to 11,500	24.418 to 26.743	Non-agglomerating
	Subbituminous B coal			9,500 to 10,500	22.09 to 24.418	
	Subbituminous C coal			8,300 to 9,500	19.30 to 22.09	
Lignite	Lignite A			6,300 to 8,300	14.65 to 19.30	Non-agglomerating
	Lignite B			<6,300	<14.65	

กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ (2018) ได้สรุปคุณสมบัติของชั้นถ่านหินแม่เมาะ ดังต่อไปนี้

การสำรวจปริมาณถ่านหินทั้งหมดในพื้นที่แอ่งแม่เมาะพบว่าปริมาณสำรองทางธรณีวิทยาประมาณ 1,130.88 ล้านตันในจำนวนนี้ประเมินว่าปริมาณที่คุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจ มีประมาณ 890 ล้านตัน สิ่งที่สำคัญที่สุดในการผลิต ถ่านหินลิกไนต์คือปริมาณและคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ที่ส่งเข้าโรงไฟฟ้าแม่เมาะจะต้องได้คุณภาพตามที่โรงไฟฟ้ากำหนดซึ่งคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะกำหนดไว้ ดังแสดงตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การกำหนดคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ
(กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ, 2018)

คุณภาพถ่านหิน	โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	
	Unit 4-7	Unit 8-13
ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	2,011-3,299	2,000-3,100
ความชื้น (ร้อยละ)	25.0-38.9	25.0-36.0
เถ้า (ร้อยละ)	6.9-35.0	11.0-36.0
กำมะถัน (ร้อยละ)	1.32-4.00	0.94-3.35

2.5 การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน

Jorjani et al. (2004) ได้ทำการศึกษาการลดปริมาณกำมะถันในถ่านหินจากแหล่งทาบาส (Tabas) ในประเทศอิหร่านโดยวิธีการรังสีไมโครเวฟร่วมกับการล้างถ่านหินด้วยกรดเพอโรกซีอะซีติก (Peroxyacetic acid) ในเตาเผา เพื่อจะทดสอบผลของกำลังและเวลาในการแผ่รังสีไมโครเวฟและความร้อน และศึกษาเวลาในการเกิดปฏิกิริยาและขนาดของถ่านหินด้วยวิธีการสกัดด้วยกรดเพอโรกซีอะซีติก และรวมถึงผลของการลดปริมาณกำมะถันในรูปแบบกำมะถันที่เกิดจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยการทดสอบได้เตรียมตัวอย่างถ่านหินหนักตัวอย่างละ 30 กรัม แล้วบดให้มีขนาดน้อยกว่า 1,400 ไมครอน (μm) โดยทำการกระจายตัวอย่างให้หนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ทดสอบในเรื่องไมโครเวฟ ที่มีความถี่ 2.45 จิกะเฮิร์ตซ (GHz) ช่วงของกำลังระหว่าง 0 ถึง 1,000 วัตต์ ในการทดสอบครั้งนี้ ได้ใช้อัตราพลังงาน 3 ระดับ คือ 600 800 และ 1,000 วัตต์ ในช่วงเวลา 50 80 และ 100 นาที ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า ปริมาณไพไรต์ลดลง ร้อยละ 26 ถึง 96 กำมะถันที่เกิดจาก

อินทรีย์ (Organic sulfur) ลดลง ร้อยละ 2.6 ถึง 38.4 และกำมะถันที่เกิดจากสารอนินทรีย์ (Inorganic sulfur) ลดลงร้อยละ 17 ถึง 65 และได้สรุปผลการทดสอบว่า การใช้รังสีไมโครเวฟในการลดปริมาณกำมะถันและไฟโรต์ในถ่านหินได้มีประสิทธิภาพ และสามารถลดปริมาณกำมะถันได้มากขึ้น เมื่อใช้วิธีการล้างด้วยกรดเพอรอกซิอะซิดิก อีกทั้งวิธีการนี้ไม่ได้เปลี่ยนคุณสมบัติของค่าความร้อนและไม่ได้ทำลายเนื้อของถ่านหินไปจากเดิม

Mohamed (2008) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการลดปริมาณกำมะถันในถ่านหินประเทศแอฟริกาใต้ โดยการใช้รังสีไมโครเวฟ โดยได้วัดขนาดของถ่านหินให้มีขนาด +600, +212 และ -74 ไมครอน และใช้เครื่องไมโครเวฟที่ ความถี่ 2.45 จิกะเฮิร์ตซ (GHz) ในระดับกำลังต่าง ๆ ได้แก่ 100, 200, 400, 650 และ 900 วัตต์ โดยวิธีการทดสอบการใช้ความร้อนจากรังสีไมโครเวฟสำหรับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูง ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการหาจุดสูงสุดในการลดปริมาณกำมะถันโดยรังสีไมโครเวฟ และในขั้นตอนที่ 2 เป็นการหาการลดปริมาณกำมะถันที่ดีที่สุด จากการทดสอบบนจุดสูงสุดในการลดปริมาณกำมะถันที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 โดยการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งจากทั้งสองขั้นตอนจะนำไปสู่การวัดพฤติกรรมและการตอบสนองเพื่อการปรับปรุงถ่านหินคุณภาพต่ำ จากผลการทดสอบพบว่า ถ่านหินช่วงขนาด +212 ถึง -74 ไมครอน มีการลดลงของปริมาณกำมะถันถึง ร้อยละ 40 โดยการใช้ระดับกำลังของไมโครเวฟ ที่กำลัง 650 วัตต์ ในเวลา 10 นาที ขนาดอนุภาพสำหรับ 212 ไมครอน และ กำลัง 650 วัตต์ ในเวลา 8 นาที ขนาดอนุภาพสำหรับ ต่ำกว่า 75 ไมครอน ซึ่งการลดลงของกำมะถันมีผลมาจากการลดลงของแร่ไฟโรต์ในถ่านหิน ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างและชนิดของแร่ โดยการวิเคราะห์ XRD และ Raman นอกจากนี้การใช้ไมโครเวฟยังช่วยลดความชื้นในถ่านหิน แต่มีผลทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินลดลงเล็กน้อย และจากการปรับปรุงคุณภาพถ่านโดยการผสมถ่านหิน 15 กรัม กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วน 25% ของแข็ง ต่อ 75% ของเหลว และให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ ที่กำลัง 650 วัตต์ ในเวลา 4 นาที ทำให้ปริมาณกำมะถันในถ่านหินลดลง 51% (ขนาด +212 ไมครอน) และ 43% (ขนาด -74 ไมครอน)

Ge et al. (2013) ได้ทำการศึกษาผลของการแผ่รังสีไมโครเวฟเพื่อการปรับปรุงส่วนประกอบถ่านหินของประเทศจีน โดยการทดสอบได้วิเคราะห์กับตัวอย่างถ่านหินต่างอายุและ

คุณสมบัติ ได้แก่ ถ่านหินลิกไนต์ เป็นถ่านหินคุณภาพต่ำ (Low-rank coals: LRCs) และถ่านหินบิทูมินัส ซึ่งเป็นถ่านหินคุณภาพสูง (High-rank coals; HRCs) จากผลการทดสอบพบว่า การแผ่รังสีไมโครเวฟทำให้ความชื้นในถ่านหินลดลง มีผลทำให้ถ่านหินมีค่าคาร์บอนคงที่สูงขึ้น (วิเคราะห์โดยวิธี Proximate และ Ultimate) และค่าความร้อนในการเผาไหม้มากขึ้น (วิเคราะห์โดยวิธี Bomb calorimetric และ Thermogravimetric analysis; TGA) วิธีการแผ่รังสีไมโครเวฟนี้เหมาะสมกับถ่านหินคุณภาพต่ำ เพราะช่วยให้คุณภาพของถ่านหินดีขึ้นจนกลายเป็นถ่านหินคุณภาพสูงได้ ถือเป็นวิธีการปรับปรุงถ่านหิน (Upgrading process) แต่จากผลการทดสอบกับถ่านหินคุณภาพสูงพบว่าการใช้ไมโครเวฟไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของถ่านหินแต่อย่างไร กลับมีผลทำให้มีคุณภาพคล้ายกับถ่านหินคุณภาพต่ำ

Marland et al. (2000) ได้ศึกษาผลของรังสีไมโครเวฟต่อการบดของถ่านหิน โดยการทดสอบได้ทำการบดถ่านหิน เพื่อใช้ในการเผาไหม้ในโรงไฟฟ้าถ่านหิน แบบ Pulverised fuel (PF) จะต้องมีถ่านหินที่ร้อยละ 80 ที่ขนาดต่ำกว่า 75 ไมครอน ในการทดสอบครั้งนี้ได้ใช้เวลาในการบดถ่านหินให้มีขนาดต่าง ๆ ได้แก่ 5, 20, 45 และ 90 นาที แยกตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ ถ่านหินที่บดแล้วที่ไม่ต้องผ่านรังสีไมโครเวฟ และถ่านหินที่บดแล้วนำไปทดสอบด้วยรังสีไมโครเวฟ วิธีการทดสอบใช้เครื่องไมโครเวฟ กำลัง 0.65 กิโลวัตต์ (kW) และ ความถี่ 2.45 จิกะเฮิร์ตซ (GHz) โดยใช้เวลาในการแผ่รังสี 1, 3, 5 และ 8 นาที จากการทดสอบพบว่า การแผ่รังสีไมโครเวฟกับการบดของถ่านหิน จะมีประสิทธิภาพในการลดลงของการบดถ่านหินได้ถึงร้อยละ 50 ซึ่งจะใช้ได้ดีในการแผ่รังสีไมโครเวฟที่ 5 นาทีเป็นต้นไป นอกจากการเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้ถ่านหินแล้ว รังสีไมโครเวฟยังช่วยลดปริมาณของแร่ต่าง ๆ เช่น แร่ควอตซ์ โดยทั่วไปมีค่าอัตราความร้อนเท่ากับ 1.89 องศาเซลเซียสต่อวินาทีและไพไรต์ มีค่าอัตราความร้อน เท่ากับ 1.89 องศาเซลเซียสต่อวินาที โดยการแผ่รังสีของไมโครเวฟ 0.65 kW และความถี่ 2.45 GHz ธรรมชาติการเกิดของไพไรต์ในบรรยากาศ จะอยู่ในรูป ไพไรต์ (FeS_2) ซึ่งเกิดจาก FeS รวมกับ $\frac{1}{2} \text{S}_2$ ถ้าเกิดสภาวะที่มีออกซิเจน เหล็กรวมกับออกซิเจน กลายเป็น FeO หรือ Fe_2O_3 ในช่วงแรกๆ ของสภาวะที่เกิดออกซิเดชัน จะเกิด FeS ขึ้น ซึ่งแร่นี้สามารถกำจัดออกได้โดยคลื่นแม่เหล็ก (Intensity magnetic) ระดับต่ำ ๆ ได้ ซึ่งทำได้โดยกระบวนการนี้สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์กับการเผาไหม้ในโรงไฟฟ้าถ่านหินได้

Lester and Kingman (2004) ได้ทำการศึกษาถึงขนาดของการบดถ่านหินต่อการเผาไหม้ถ่านหิน โดยการนำถ่านหินมาปรับปรุงด้วยการให้ความร้อนโดยไม่โครเวฟ พบว่า ถ่านหินที่มีขนาดตั้งแต่ 1.18 ถึง 3 มิลลิเมตร แบ่งเป็น 4 ขนาด คือ 3.35-4.7, 6.7-9.5, 9.5-19 และ 19-22.4 มิลลิเมตร นำตัวอย่างมาปรับปรุงโดยสนามแม่เหล็กจากพลังงานไมโครเวฟที่ 8 วัตต์ในเวลา 0.1 วินาที สามารถทำให้เกิดคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น การแตก และการลอกเป็นแผ่นได้ ซึ่งจากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าการบดถ่านหินที่มีขนาดเล็กลง ทำให้การปรับปรุงคุณภาพถ่านหินด้วยการเพิ่มอัตราการแตกเพิ่มมากขึ้นโดยเฉลี่ยเกือบร้อยละสี่

Jones et al. (2002) ได้อธิบายถึงข้อดีของการใช้รังสีไมโครเวฟในกระบวนการทางแร่ ไว้ว่า รังสีไมโครเวฟการวิเคราะห์วัตถุไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับความร้อน เพราะเป็นการถ่ายโอนพลังงานแต่ไม่ถ่ายโอนความร้อน โคนการถ่ายเทความร้อนจะเริ่มจากด้านในของวัตถุแล้วค่อยๆออกมาด้านนอก วัตถุจะร้อนได้มากและอย่างรวดเร็ว โดยง่ายต่อการเริ่มต้นและสิ้นสุดการให้ความร้อนได้ สามารถเลือกวัตถุหรือตำแหน่งของให้ความร้อนตามต้องการได้ ลดขนาดของเครื่องมือและกากของเสียได้ และมีความสะดวกและปลอดภัยในระดับสูง

Uslu and Ataley (2003) ได้ทำการทดสอบการการแยกแม่เหล็กและแร่ธาตุในถ่านหิน โดยการเติมแร่แมกนีไทต์ในถ่านหินแล้วนำตัวอย่างมาให้ความร้อนจากรังสีไมโครเวฟเป็นเวลา 300 วินาที พบว่า ความเป็นแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิปานกลางถึงสูงในไพไรต์ ค่าไพริติกซัลเฟอร์ในถ่านหินลดลงร้อยละ 55.1 จีถ้ำลดลงร้อยละ 21.5 ขณะที่ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.4 ส่วนการทดสอบปริมาณไพไรต์และจีถ้ำในถ่านหิน ลดลงร้อยละ 22.3 และ 15.8 ตามลำดับ โดยวิธีการเผาไหม้แบบดั้งเดิมที่ใช้ในโรงไฟฟ้าถ่านหิน

Chen et al. (2002) ได้ทำการศึกษาการกำจัดแร่ชนิดต่าง ๆ ตามการเลือกใช้กำลังของรังสีไมโครเวฟ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

Kingman et al., (2000) ได้สรุปถึงอัตราความร้อนของรังสีไมโครเวฟสำหรับชนิดของแร่ในสินแร่ต่าง ๆ ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเวลาต่าง ๆ ในการให้ความร้อนจากรังสีไมโครเวฟ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์เชิงปริมาณของความร้อนของไมโครเวฟของแร่ชนิดต่าง ๆ

(Chen et al., 2002)

ชนิดแร่	กำลัง (วัตต์)	การตอบสนองกับความร้อน
Arsenopyrite	80	ร้อน บางส่วนไฟลุกติด
Barite	20	ร้อน
Chalcopyrite	15	ร้อน มีกลิ่นกำมะถัน
Covellite	100	ร้อนยาก
Galena	30	ร้อน เมื่อแตะดู
Pyrite	30	ร้อน มีกลิ่นกำมะถันพุ่ง
Pyrrhotite	50	ร้อน
Cassiterite	40	ร้อน
Hematite	50	ร้อน
Magnetite	30	ร้อน
Monazite	>150	ไม่ร้อน

ตารางที่ 2.6 ความร้อนจากรังสีไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงของชนิดแร่ในสินแร่ชนิดต่าง ๆ

(Kingman et al., (2000)

ชนิดของแร่ในสินแร่ต่างๆ	เวลา (วินาที)					
	10	30	60	90	100	120
Ilmenite Ore						
- Ilmenite (FeTiO_3)	32	46	64	77	81	90
- Magnetite (Fe_3O_4)	200	324	351	403	452	463
- Plagioclase ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)	21	24	25	28	32	34
Refractory Gold Ore						
- K Feldspar (KAlSi_3O_8)	18	21	24	25	27	31
- Pyrite (FeS_2)	75	134	177	189	197	202
- Quartz (SiO_2)	18	21	236	26	28	28
Massive Sulfide Ore						
- Chalcopyrite (CuFeS_2)	61	98	124	146	148	165
- Pyrite (FeS_2)	75	134	177	189	197	202
- Galena (PbS)	211	177	422	436	441	453
Carbonatite Ore						
- Magnetite (Fe_3O_4)	200	324	351	403	452	463
- Dolomite ($\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$)	21	23	25	29	30	33
- Chalcopyrite (Cu_2S)	68	126	153	194	211	245
- Phlogopite ($\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{FOH})_2$)	19	21	22	23	25	26

อุณหภูมิในการให้ความร้อนจากรังสีไมโครเวฟ (องศาเซลเซียส)

การศึกษาการลดสารมลทินในด้านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะโดยวิธีการทำความสะอาดด้วยสารเคมี จากผลจากการศึกษาพบว่าสารละลายเบส ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีประสิทธิภาพมากที่สุด เฉลี่ยประมาณร้อยละ 80 การลดปริมาณกำมะถัน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มเพิ่มปริมาณของคาร์บอนในด้านหินด้วย ส่วนสารละลายกรด ได้แก่ กรดไนตริกและไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 40 ถึง 60 ในการลดปริมาณกำมะถัน แต่ทำให้ปริมาณคาร์บอนและซัลเฟอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Khamhom and Terakulsatit, 2014. ; Khamhom, 2013) นอกจากนี้ ปริมาณของแร่ไพไรต์สามารถลดลงได้ ร้อยละ 60.5 โดยการล้างด้านหินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และลดลงร้อยละ 48.2 โดยการล้างด้านหินด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Terakulsatit, 2017)

Jiang et al. (2006) ได้กล่าวถึงกระบวนการลดกำมะถัน โดยการเติมสารเคมีในการเผาไหม้ ได้แก่ CaCO_3 หรือเปลือกหอย, NaCl , CaCl_2 , NaOH , NaCl , KCl , MnO_2 และ CuO ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการดูดซับกำมะถันจากด้านหินได้ดี แต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพของการเผาไหม้ลดลง ทำให้ต้องสูญเสียพลังงานในการเผาไหม้มากขึ้น มีผลทำให้ต้นทุนสูงขึ้นด้วย

กรมควบคุมมลพิษ (2018) ได้กล่าวถึงวิธีการและมาตรการควบคุมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ด้านหินดังต่อไปนี้

1) การใช้ด่างแบบคืนสภาพ (Regenerative Alkaline) ทำโดยการใช้ตัวกลางสารละลายที่มีสภาพเป็นด่างจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามด้วยการคืนสภาพซึ่งจะให้สารละลายสามารถนำกลับมาใช้ได้ อีก ส่วนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะกลายเป็นของเหลวเนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำในสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) สารละลายที่นิยมใช้ เช่น Magnesium Oxide, Magnesium Dioxide และ Sodium Sulfite เป็นต้น

2) การใช้ด่างแบบไม่คืนสภาพ (Non Regenerative Alkaline) ใช้เมื่อสามารถหาตัวกลางที่มีราคาถูกมากได้ง่ายและมีความคุ้มทุนมากกว่าการใช้ด่างแบบคืนสภาพ ตัวกลางที่ใช้ เช่น ปูนขาวหรือหินปูน เป็นต้น เมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซแล้วจะไม่คืนสภาพ ต้องนำไปกำจัดต่อไป

3) การฉีดเข้าเตาเผา (Furnace Injection) เป็นการฉีดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายในเตาเผาให้อยู่ในรูปของซัลเฟตและใช้น้ำดูดจับซัลเฟตที่เกิดขึ้น

4) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysis) ทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในรูปของ SO_3 และได้อกรดซัลฟูริกใช้ได้ดีกว่าก๊าซที่มีอุณหภูมิสูง

5) การดูดซับด้วยของแข็งแบบคืนสภาพ (Regenerative Solid Adsorption) ใช้ของแข็งในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้วนำของแข็งดังกล่าวไปฟื้นฟูสภาพกลับมาใช้ใหม่และได้อกรดซัลฟูริกจากการฟื้นฟูสภาพ

6) การเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized-Bed Combustion) เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงขณะลอยตัวและหมุนเวียนโดยจะมีการแยกเอากำมะถันออกระหว่างการเผาไหม้และการเผาไหม้

Li-Yeh (2000); Lolja (1999); Ottawa (1993) ได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ถ่านหินบิทูมินัส กากปิโตรเลียม และกะลามะพร้าว ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารกระตุ้นมีพื้นที่ผิวมาก เนื่องจากขั้นตอนการแช่โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะเข้าไปทำลายโครงสร้างและลดปริมาณสารอนินทรีย์ในถ่านหินด้วย และในขั้นตอนคาร์บอนไนซ์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะเกิดการสลายตัวให้อิออนน้ำ และโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) ออกมา ซึ่งอิออนน้ำเป็นสารทำให้คาร์บอนในถ่านหินเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันขึ้นมีผลทำให้เกิดการหายไปของเนื้อคาร์บอนเกิดเป็นรูพรุนขึ้น ส่วนโพแทสเซียมออกไซด์จะถูกรีดิวส์ด้วยไฮโดรเจน หรือคาร์บอนอะตอมจะกลายเป็นโลหะโพแทสเซียม (K) ซึ่งที่อุณหภูมิสูงโลหะโพแทสเซียมเป็นโลหะที่อ่อนตัว จึงสามารถแทรกเข้าไปในชั้นอะตอมของคาร์บอนได้ทำให้เกิดรูพรุนได้มากขึ้นซึ่งมีผลต่อการลดปริมาณของซัลฟอนได้

Steel และ Patrick (2001) ได้ทำการศึกษาว่ากรดไฮโดรคลอริกสามารถลดปริมาณแคลเซียมแมกนีเซียม เหล็กที่อยู่ในรูปของคาร์บอนเนต ซัลเฟต ฟอสเฟต และโซเดียมได้ดี ส่วนอะลูมิเนียมโพแทสเซียม และไทเทเนียมถูกลดได้บ้างเล็กน้อย แต่ไม่สามารถลดปริมาณของซัลฟอนได้

Mukherjee และ Borthakur (2002) ได้ทำการศึกษาระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเคมีในกระบวนการ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณเถ้าลงร้อยละ 2 ถึง 19 และสารประกอบซัลเฟอร์ร้อยละ 16 ถึง 30 และ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นที่ 150 องศาเซลเซียส ร้อยละการลดเถ้าจะลดลงเหลือเพียง ร้อยละ 1 ถึง 11 ส่วน ความสามารถในการลดสารประกอบซัลเฟอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 26 ถึง 43

Jiwalak (2002) ได้ทำการศึกษาการลดขี้เถ้าของถ่านหินด้วยกรดไฮโดรคลอริกสามารถลดปริมาณของแมกนีเซียม ฟอสเฟต ซัลเฟต แคลเซียม และเหล็ก ได้ทำการศึกษาวิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยการเผาตัวอย่างถ่านหินที่ผสมกับสารเคมีใช้เป็นตัวกระตุ้น ที่อุณหภูมิ 500 ถึง 900 องศาเซลเซียส ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้น โดยทั่วไปเป็นสารประเภทอัลคาไลน์ โลหะอัลคาไลน์ สารประกอบคาร์บอเนต สารประเภทเบสและกรดบางชนิด เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น

Sur (2010) ได้ทำการศึกษาการสกัดกลุ่มแร่ซัลไฟด์ในหินคาร์บอเนตโดย การทดลองได้ทำการสกัดกลุ่มแร่คาร์บอเนต ได้แก่ แร่แคลไซต์ และโดโลไมต์ ออกจากตัวอย่างก่อนการนำตะกอนไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มแร่ซัลไฟด์ โดยแช่ในกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (2N HCl)

Bolat et al. (1998) ทำการศึกษาการลดปริมาณเถ้าโดยวิธีการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก โดยการนำถ่านหินแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อสกัดสารอินทรีย์บางชนิดออกจากถ่านหิน ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของถ่านหินมากกว่าการล้างด้วยน้ำ

Jiang (2006) ได้กล่าวถึงกระบวนการลดกำมะถัน โดยการเติมสารเคมีในการเผาไหม้ ได้แก่ $CaCO_3$ หรือเปลือกหอย NaCl, $CaCl_2$, NaOH, KCl, MnO_2 , และ CuO ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการดูดซับกำมะถันจากถ่านหินได้ดี แต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพของการเผาไหม้ลดลง ทำให้ต้องสูญเสียพลังงานในการเผาไหม้มากขึ้น มีผลทำให้ต้นทุนสูงขึ้นด้วย

กรมทรัพยากรธรณี (2018) ได้กล่าวถึงกระบวนการเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด (Clean Coal Technology, CCT) สามารถทำได้ทั้ง 3 ขั้นตอนคือ การเผาไหม้ ขณะเผา และหลังการเผา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เทคโนโลยีก่อนการเผาไหม้ มีวัตถุประสงค์ในการกำจัดเถ้าและกำมะถันออกจากถ่านหินก่อนการนำไปใช้งาน เช่น การล้างถ่านหิน หรือการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน

2) เทคโนโลยีระหว่างการเผาไหม้ เป็นวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ถ่านหินในขณะเดียวกันก็สามารถลดมลภาวะที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ เช่น

- เทคโนโลยีการเผาเชื้อเพลิงที่เป็นผง (Pulverised Coal Combustion; PCC) ที่มีการใช้ low NOx burner เพื่อลดปริมาณ NOx นอกจากนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้ความร้อนและลดมลพิษในขณะเดียวกัน โดยนาระบบ Supercritical หรือ Ultra-Supercritical มาใช้ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 50

- เทคโนโลยีการเผาสภาพของไหล (Fluid Bed Combustion; FBC) ถ่านหินในเตาเผาจะถูกทำให้มีลักษณะคล้ายของไหลสามารถเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าระบบ PCC ทำให้ปริมาณ NOx เกิดขึ้นต่ำกว่าระบบ PCC ประมาณ 2 เท่า และสามารถเติมหินปูนเข้าไปในเตาเผาพร้อมถ่านหินเพื่อลดปริมาณ SOx ดังนั้นปริมาณ NOx และ SOx ที่เกิดขึ้นจึงอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดโดยไม่จำเป็นต้องมีระบบกำจัดมลพิษ

- Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) เป็นเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วมจากถ่านหิน โดยใช้ถ่านหินทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและไอน้ำ ได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ก๊าซที่ได้ต้องผ่านการกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกก่อน แล้วนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องกังหันก๊าซในการผลิตไฟฟ้า ความร้อนของก๊าซทิ้งที่ออกจากเครื่องกังหันก๊าซใช้ผลิตไอน้ำสำหรับหมุนกังหันไอน้ำ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีก

- Oxyfuel Combustion เทคโนโลยีนี้คล้ายกับ PCC แต่ใช้ก๊าซออกซิเจนเกือบบริสุทธิ์แทนอากาศสำหรับการเผาไหม้ถ่านหินในหม้อน้ำ เพื่อให้ได้ก๊าซทิ้งที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้มข้น ทำให้ง่ายต่อการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3) เทคโนโลยีหลังการเผาไหม้ เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อกำจัดมลภาวะที่เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้ ได้แก่

- เทคโนโลยีการเผาสภาพของไหล (Fuel Gas Desulfurization; FGD) เป็นระบบที่ใช้ในการกำจัด SOx ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ สามารถกำจัด SOx ได้มากกว่าร้อยละ 95

- Denitrification Technology เป็นการกำจัด NOx ที่ออกมาในก๊าซทิ้ง โดยผ่านไปในระบบ Selective Catalytic Reduction หรือ Selective Non-catalytic Reduction ซึ่ง NOx จะสลายตัวเป็นไนโตรเจนและน้ำ ระบบนี้สามารถลด NOx ได้ประมาณร้อยละ 60 ถึง 90

- Dust Collection Technology เป็นระบบการกำจัดฝุ่นละอองโดยใช้ Electrostatic Precipitator ไซโคลน หรืออาจใช้อุปกรณ์ดักจับฝุ่นแบบถุงกรอง

4) เทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปถ่านหิน เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ความร้อนและความดันเปลี่ยนถ่านหินให้เป็นก๊าซหรือของเหลว

กรมควบคุมมลพิษ (2011) ได้กล่าวถึงวิธีการและมาตรการควบคุมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ถ่านหิน ดังต่อไปนี้

1) การใช้ด่างคืนสภาพ (Degenerative Alkaline) ทำโดยการใช้ตัวกลางสารละลาย ที่มีสภาพเป็นด่างจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามด้วยการคืนสภาพซึ่งจะให้สารละลายสามารถนำกลับมาใช้ได้ อีก ส่วนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะกลายเป็นของเหลวเนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำในสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) สารละลายที่นิยมใช้เช่น Magnesium Oxide, Magnesium Dioxide และ Sodium Sulfite เป็นต้น

2) การใช้ด่างแบบไม่คืนสภาพ (Non Regenerative Alkaline) ใช้เมื่อสามารถหาตัวกลางที่มีราคาถูกมากได้ง่ายและมีความคุ้มค่ามากกว่าการใช้ด่างแบบคืนสภาพ ตัวกลางที่ใช้เช่น ปูนขาวหรือ หินปูน เป็นต้น เมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซแล้วจะไม่คืนสภาพ ต้องนำไปกำจัดต่อไป

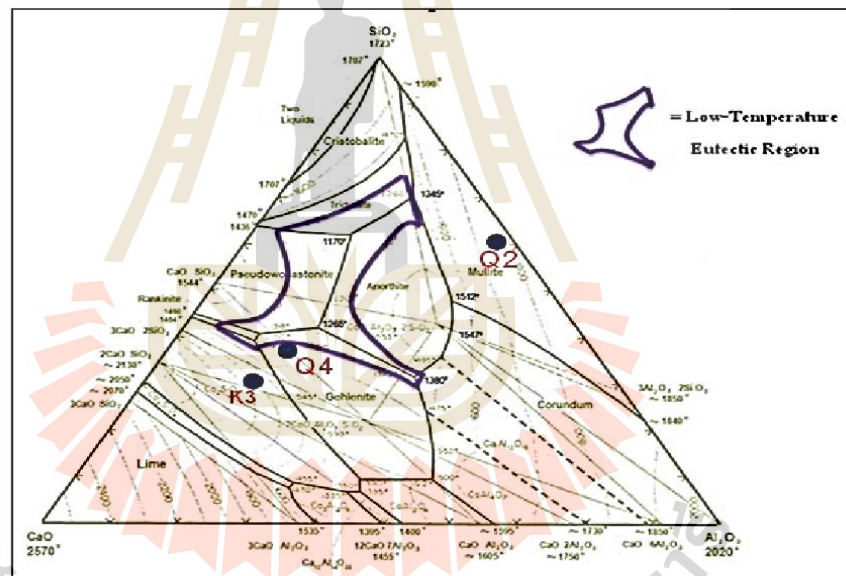
3) การฉีดเข้าเตาเผา (Furnace Injection) เป็นการฉีดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายในเตาเผาให้อยู่ในรูปของซัลเฟตและใช้น้ำดูดจับซัลเฟตที่เกิดขึ้น

4) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysis) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในรูปของ SO_3 และได้กรดซัลฟูริกใช้ได้ดีกับก๊าซที่มีอุณหภูมิสูง

5) การดูดซับด้วยของแข็งแบบคืนสภาพ (Regenerative Solid Adsorption) ใช้ของแข็งในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้วนำของแข็งดังกล่าวไปฟื้นฟูสภาพกลับมาใช้ใหม่ และได้กรดซัลฟูริกจากการฟื้นฟูสภาพ

6) การเผาไหม้แบบฟลูอิดเบด (Fluidized-Bed Combustion) เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงขณะลอยตัวและหมุนเวียน โดยจะมีการแยกเอากำมะถันออกกระหว่างการเผาไหม้และการเผาไหม้ถ่านหิน

พิชา ศรีบุศดิษฐ์ และภิญโญ มีชำนะ (2011) ได้ทำการศึกษาสาเหตุของการเกิดตะกรันในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ประสบปัญหาการถ่ายเทความร้อนระหว่างห้องเผาไหม้ไปยัง Water Tube ของหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพลดลงทำให้เกิดการสูญเสียกำลังการผลิตไฟฟ้า ซึ่งการเกิดตะกรันสัมพันธ์กับปริมาณของ CaO ซึ่งปริมาณร้อยละของ CaO อยู่ในช่วง 23-35% ซึ่งได้ทดสอบตัวอย่างถ่านหิน Q2 (2.24% CaO) ตัวอย่าง Q4 (27.34% CaO) และตัวอย่าง K3 (31.81% CaO) โดยนำตัวอย่างทั้งสามมาหาค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการหลอม (Initial Deforming Temperature: IT) พบว่าตัวอย่าง Q4 มีค่า IT ต่ำกว่าอุณหภูมิในเตาของหม้อไอน้ำ ซึ่งทำให้เกิดตะกรันได้มาก หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาเผาที่อุณหภูมิ 800 - 1,200 °C แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี X-Ray Diffraction (XRD) เพื่อหาชนิดของแร่ในแต่ละอุณหภูมิ ซึ่งนำผลการศึกษาไปหาความสัมพันธ์ของปัจจัยการเกิดตะกรันโดยนำมาเทียบกับสามเหลี่ยมโคอะแกรม (Ternary Phase Diagram) แสดงในรูปที่ 2.2 พบว่า แร่ในตัวอย่าง Q4 และแร่ในตัวอย่างถ่านหินผสมระหว่าง Q2 20% กับ Q4 80% ที่น่าจะเป็นสาเหตุให้มีค่า IT ต่ำ คือประกอบด้วยแร่เกท์เลไนต์



รูปที่ 2.2 แสดง Ternary Phase Diagram ของตัวอย่างถ่านหิน Q2, Q4 และ K3 (พิชา ศรีบุศดิษฐ์ และภิญโญ มีชำนะ, 2011)

ชรรมนูญ อุคมนตรี และคณะ (2019) ได้ทำการวิเคราะห์เชื้อเพลิงจากการไหม้เชื้อเพลิงได้แก่ ฟางข้าว แกลบ และแอนทราไซต์ โดยใช้ดัชนีเชื้อเพลิง ซึ่งได้นำองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF โดยนำร้อยละโดยน้ำหนักของออกไซด์ของธาตุแต่ละชนิดมาคำนวณดัชนีเชื้อเพลิง ได้แก่ Base-acid ratio (B/A) และ Fouling index (FI) ดังแสดงใน

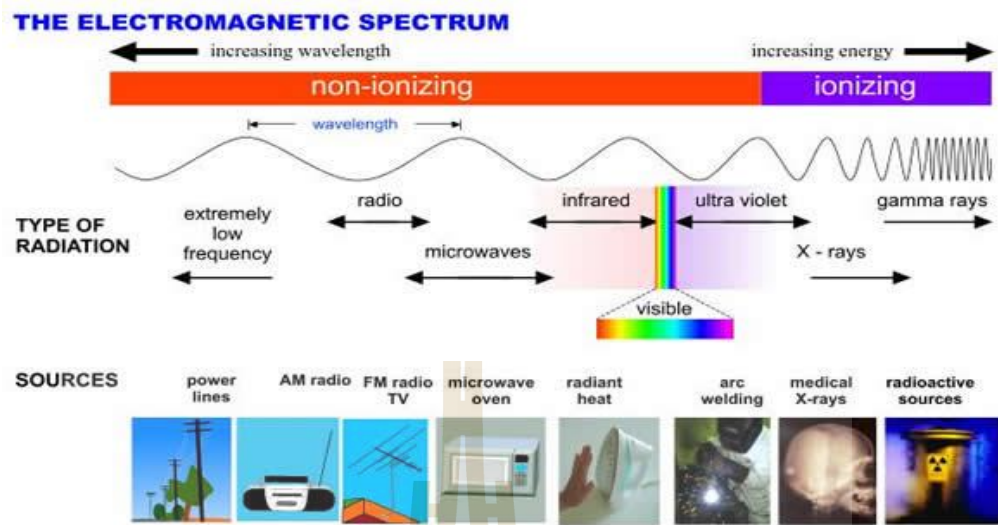
ตารางที่ 2.7 ซึ่งประกอบด้วยสูตรการคำนวณดัชนีเชื้อเพลิง และแนวโน้ม ของการเกิดปัญหาฟาวลิง หรือระดับความรุนแรง กรณีที่เฝ้าเชื้อเพลิงที่มีค่า B/A และ FI มาก หรือมีส่วนของออกไซด์ที่เป็นเบสสูง โดยเฉพาะ K_2O และ Na_2O จะมีแนวโน้มการเกิดฟาวลิงและสแลกกิ้ง (Fouling and slagging) ได้ง่าย โดยค่า FI แสดงถึงอิทธิพลของ K_2O และ Na_2O เนื่องจากโลหะอัลคาไลน์ (K และ Na) เป็นธาตุสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดทั้งฟาวลิงและสแลกกิ้งโดยตรง

ตารางที่ 2.7 ดัชนีเชื้อเพลิงและระดับความรุนแรงของการฟาวลิงและการเกิดตะกรัน (ธรรมบุญ อุคมมัน และคณะ, 2019)

ดัชนีเชื้อเพลิง		ระดับความรุนแรง		
		ต่ำ	ปานกลาง	สูง
Base-acid ratio (B/A)	$(Fe_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O) / (SiO_2+TiO_2+Al_2O_3)$	<0.5	0.5-1.0	>1.0
Fouling index (FI)	$(B/A) \times (K_2O+Na_2O)$	<0.6	0.6-40	>40

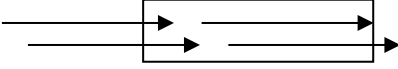
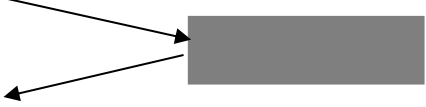
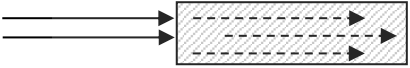
2.6 คุณสมบัติของรังสีไมโครเวฟ

รังสีไมโครเวฟ (Microwave radiation) เป็นรังสีชนิดที่ไม่ก่อไอออน (Non-ionizing Radiation) คือ มีการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางโดยจะไม่ทำให้ตัวกลางเกิดการแตกตัวเป็นไอออน เหมือนกับ คลื่นวิทยุ รังสีอินฟราเรด แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นต้น ดังนั้นคลื่นไมโครเวฟ จัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 300 เมกะเฮิร์ตซ (MHz) ถึง 300 จิกะเฮิร์ตซ (GHz) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 รังสีไมโครเวฟจะมีคุณสมบัติในการส่งผ่าน (Transmission) การดูดซับ (Absorbtion) หรือการสะท้อนกลับ (Reflection) นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 ชนิดของรังสีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ

รังสีไมโครเวฟไม่ใช่ความร้อน (Heat) แต่อยู่ในรูปของพลังงาน (Energy) ที่เรียกว่า พลังงานไดอิเล็กทริก (Dielectric energy) เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างหนึ่ง ซึ่งจะส่งผ่านในรูปของคลื่น (Wave) และแทรก (Penetrate) เข้าไปในวัตถุ และพลังงานนี้จะถูกดูดซับ (Absorb) พลังงานเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อนในวัตถุได้ทั้งโดยทางตรง (Direct method) ซึ่งความร้อนจะเกิดขึ้นภายในตัวของวัตถุ ซึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนของอนุภาคที่มีประจุและ/หรือการหมุนตัวโมเลกุลที่มีขั้ว ทำให้เกิดการชนกับอนุภาคหรือโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงซึ่งเกิดขึ้นหลังจากที่วัตถุได้รับคลื่นและมีการดูดซับพลังงานดังกล่าว เป็นผลทำให้เกิดความร้อนขึ้น ส่วนการเกิดความร้อนโดยทางอ้อม (Indirect method) เป็นการทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายนอก และส่งผ่านพื้นผิวหน้าของวัตถุไปยังด้านใน โดยเกิดจากการแผ่รังสี (Radiation) การพาความร้อน (Convection) หรือการนำความร้อน (Conduction) การเกิดความร้อนภายในตัววัตถุมากน้อยถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของค่าความแข็งแรงของสนามไฟฟ้า ความถี่และไดอิเล็กทริกของแต่ละวัตถุ โดยคุณสมบัติของไมโครเวฟที่สัมพันธ์กับชนิดของวัตถุต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 2.4

	Material type	Penetration
	Transparent (no heat)	Total transmission
	Conductor (no heat)	None
	Absorber (material are heat)	Partial to total absorption

รูปที่ 2.4 คุณสมบัติของไมโครเวฟที่สัมพันธ์กับชนิดของวัสดุต่าง ๆ

คุณสมบัติไดอิเล็กทริก (dielectric properties) ของวัสดุ เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สำคัญ และแสดงเป็นค่าตัวเลข ได้แก่

1. Relative dielectric constant (ϵ') เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัสดุในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้เมื่อนำวางในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าเก็บพลังงานได้มาก แต่ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ และความชื้นของวัสดุ

2. Relative dielectric loss (ϵ'') เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัสดุ ที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนสูง คำว่า “loss” หรือสูญเสีย หมายถึงการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ค่าเหล่านี้จะทำให้ทราบเกี่ยวกับความสามารถในการเป็นฉนวนไฟฟ้า (Electrical insulating ability) ของวัสดุ

โดยค่า Dielectric loss และ Dielectric constant มีความสัมพันธ์กัน ดังต่อไปนี้

$$\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta \quad (2.1)$$

จากสมการ ค่า loss tangent ($\tan \delta$) แสดงให้เห็นถึงระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้า และระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่าเหล่านี้มีค่าสูงแสดงว่าวัตถุจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น

ระบบของเตาไมโครเวฟโดยทั่วไป จะประกอบไปด้วยแมกนีตรอนที่ทำหน้าที่สร้างคลื่นไมโครเวฟ แมกนีตรอนที่ใช้โดยทั่วไป จะมีความต่างศักย์ประมาณ 4,000 โวลต์ และใช้หม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) เพื่อเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ให้ได้ตามที่ต้องการ แมกนีตรอนส่วนใหญ่จะถูกผลิตเพื่อให้ใช้กับความต่างศักย์ที่คงที่ (Constant voltage) ดังนั้นจึงต้องมีวงจรของไดโอด (Diode) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพื่อใช้ในการเปลี่ยนความต่างศักย์กลับมาเป็นความต่างศักย์คงที่ หลักการทำงานของเตาไมโครเวฟนั้น ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสั่นสะเทือนด้วยความถี่สูง 2,450 MHz ต่อวินาที ทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในวัตถุนั้นมีการเสียดสี การชนกันด้วยความเร็วสูงหลายล้านครั้งภายในหนึ่งวินาที จนเกิดความร้อนหรือไอน้ำภายในเวลารวดเร็ว นอกเหนือจากน้ำหรือความชื้นแล้วยังพบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ายังมีผลต่อน้ำตาลและไขมันอีกด้วย (สมาคมนิเวศสิทธิ์แห่งประเทศไทย, 2018)

2.7 การประยุกต์ใช้ความร้อนจากรังสีไมโครเวฟกับการขจัดกัมมันต์ในถ่านหิน

แม้ว่ากัมมันต์ในถ่านหินแม่เกาะจะพบได้ในปริมาณน้อยเฉลี่ยร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับปริมาณของคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และสารมลทินอื่น ๆ ที่เป็นสารประกอบหลักในถ่านหิน การใช้ความร้อนจากรังสีไมโครเวฟเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน จะทำให้ค่าคาร์บอน ความร้อนสูงขึ้น ส่วนความชื้น ไข่เถ้า และสารมลทินต่าง ๆ จะลดลง โดยใช้การแผ่รังสีของไมโครเวฟ กำลัง 0.65 kW และความถี่ 2.45 จิกะเฮิร์ตซ (GHz) ใช้ในการเหนี่ยวนำเพื่อปรับปรุงตัวอย่างถ่านหิน โดยใช้อัตราความร้อนและระดับพลังงานต่าง ๆ

Bykov et al. (2000) และ Jones et al. (2003) ได้สรุปข้อดีหลักของการประยุกต์ใช้ความร้อนจากไมโครเวฟกับการเผาไหม้ถ่านหินและการลดปริมาณสารมลทิน มีดังต่อไปนี้ คือ

- 1) ช่วยลดการใช้พลังงานและเวลาในการทำงาน ทำให้มีค่าใช้จ่ายลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินวิธีอื่น เพราะการสูญเสียความร้อนจะเกิดกับการกระบวนกรที่มีการให้ความร้อนสูงๆ

- 2) ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากกระบวนการเพิ่มคุณภาพถ่านหินด้วยกระบวนการไมโครเวฟ นำไปสู่ความคุ้มค่าทางการลงทุนมากกว่าการใช้วิธีการแบบดั้งเดิม
- 3) อัตราความรวดเร็วและการให้ความร้อนของไมโครเวฟสามารถควบคุมได้ เพราะการเพิ่มความร้อนสูงจะช่วยลดเวลาในกระบวนการเผาไหม้ เสมือนกับการลดพลังงานลงด้วย
- 4) สามารถเลือกระดับความร้อนที่ต้องการ โดยเลือกเพิ่มระดับกำลังของไมโครเวฟซึ่งกระทำได้ง่าย โดยคงการกระจายแหล่งของพลังงานและควบคุมระดับกำลังนั้น ๆ ไว้
- 5) การให้ความร้อนจากไมโครเวฟยังสามารถใช้วิธีการอื่น ๆ ที่ได้จากการปรับปรุงพื้นผิวของวัตถุเพื่อทำให้การไหลของพลังงานจากแหล่งไมโครเวฟเพิ่มสูงขึ้นและสามารถแทรกเข้าไปสู่วัตถุึกมากขึ้น

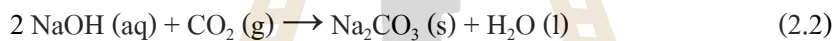
ส่วนใหญ่กำมะถันที่เกิดในถ่านหินอยู่ในรูปแบบของ ไพริติกซัลเฟอร์ (pyritic sulfur) กำมะถันอินทรีย์ (organic sulfur) และซัลฟาติกซัลเฟอร์ (sulphatic sulfurs) โดยไพริติกซัลเฟอร์มาจากแร่ไพไรต์และมาร์คาไซต์ และสามารถที่จะกำจัดได้ง่าย แร่ไพไรต์ในถ่านหินสามารถเกิดเป็นผลิตภัณฑ์เล็ก ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับแร่อินทรีย์ของถ่านหิน (coal macerals) โดยแทรกอยู่ในชั้นบาง ๆ ในรอยแตกและระนาบชั้นหิน อาจมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ถึงครึ่งเมตร ส่วน organic sulfur อยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพีชและมาจากเศษของพีชระหว่ากระบวนการเกิดถ่านหิน ส่วนซัลฟาติกซัลเฟอร์ส่วนใหญ่เกิดมาจากซัลเฟตของแคลเซียมและเหล็ก และเกิดได้ปริมาณน้อยในถ่านหินที่ไม่มีการสุก โดยทั้ง organic และ sulphatic sulfur ยากและไม่สามารถที่จะทำการกำจัดออกจากถ่านหินได้

ดังนั้นในกระบวนการลดปริมาณกำมะถันในถ่านหินจะเกี่ยวข้องกับการกำจัดแร่ไพไรต์และมาร์คาไซต์ที่อยู่ในถ่านหินเป็นหลัก โดยแร่ทั้งสองชนิดนี้เกิดร่วมกัน และส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกัน มีความแตกต่างกันเพียงโครงสร้างของผลึก แร่ซัลไฟด์พบว่ามีคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานไมโครเวฟและความร้อนได้ดีมาก ในขณะที่คุณสมบัติทั้งสายแร่หรือแร่ที่มีมูลค่าอื่น ๆ รังสีไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านไปได้ จากการเผาไหม้ของแร่ไพไรต์และมาร์คาไซต์โดยใช้ความร้อนของรังสีไมโครเวฟในระดับพลังงานที่แตกต่างกันไป อัตราการให้ความร้อนและการสลายของแร่จะมากขึ้นเมื่อระดับพลังงานเพิ่มขึ้น โดยแร่มาร์คาไซต์จะใช้อัตราการให้ความร้อนและการสลายตัว

ที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับแร่ไพไรต์ ซึ่งเกิดจากโครงสร้างผลึกมีผลต่อลักษณะของการรับความร้อน นอกจากโครงสร้างผลึกแล้วขนาดอนุภาคของตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ร้อนได้เร็วกว่าอนุภาคขนาดเล็ก เนื่องจากจะทำให้ลดการสูญเสียพลังงานจากพื้นผิวของตัวอย่างขนาดใหญ่ได้ จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและมาร์คาไรต์ มีการสลายตัวภายในช่องว่างคล้ายกับธาตุกำมะถัน เมื่อได้รับความร้อนจากรังสีไมโครเวฟในสถานะก๊าซในโตรเจน

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) หรือ โซดาไฟ (Caustic soda) มีคุณสมบัติเป็นสารไอออนิก ประกอบด้วย Na^+ (sodium cation) และ OH^- (hydroxide anion) โซเดียมไฮดรอกไซด์ยังทำปฏิกิริยากับออกไซด์ที่เป็นกรด เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2 และ H_2S) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการเผาไหม้ถ่านหิน ด้วยระบบ FGD จะช่วยทำให้ป้องกันการปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดย OH^- จะทำให้มีคุณสมบัติเป็นเบสแก่ เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกลือ และน้ำ ดังสมการ (2.2)



บทที่ 3

การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงขั้นตอน วิธีการ ข้อปฏิบัติ โดยมีขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง การจัดเตรียมตัวอย่างถ่านหิน วิธีการบด การคัดขนาดตัวอย่างโดยการร่อนผ่านตะแกรง การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ก่อนการเตรียมเข้าสู่การวิเคราะห์ต่าง ๆ ได้แก่ วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) และการหาปริมาณแร่ประกอบโดยใช้เครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบน (XRD) การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) และการหาค่าความร้อนรวมของถ่านหิน โดยทำการวิเคราะห์ในถ่านหินแต่ละชั้นทั้งก่อนและหลังปรับคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

3.1 การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน

3.1.1 การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างถ่านหินชั้น K และ ชั้น Q ซึ่งเป็นชั้นถ่านหินหลักในการนำมาใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างถ่านหินจากบ่อเหมืองด้านตะวันออกเฉียงใต้ของเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างแสดงในตารางที่ 3.1 และลักษณะตำแหน่งการวางตัวของชั้นถ่านหินแสดงในรูปที่ 3.1 วิธีการเก็บตัวอย่างทำได้โดยตัดหน้าถ่านหินเดิมออกเพื่อให้ได้ถ่านหินที่มีคุณภาพโดยจะทำการเลือกเก็บถ่านหินแต่ละชั้น ได้แก่ชั้น K1, K2, K3, Q1, Q2, Q3 และ Q4 โดยรายละเอียดของตัวอย่างถ่านหิน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 จากนั้นได้นำถ่านหินมาผึ่งแดดทิ้งไว้ 2 ถึง 3 วัน เพื่อระเหยน้ำอิสระออกจากผิวหน้าของถ่านหิน

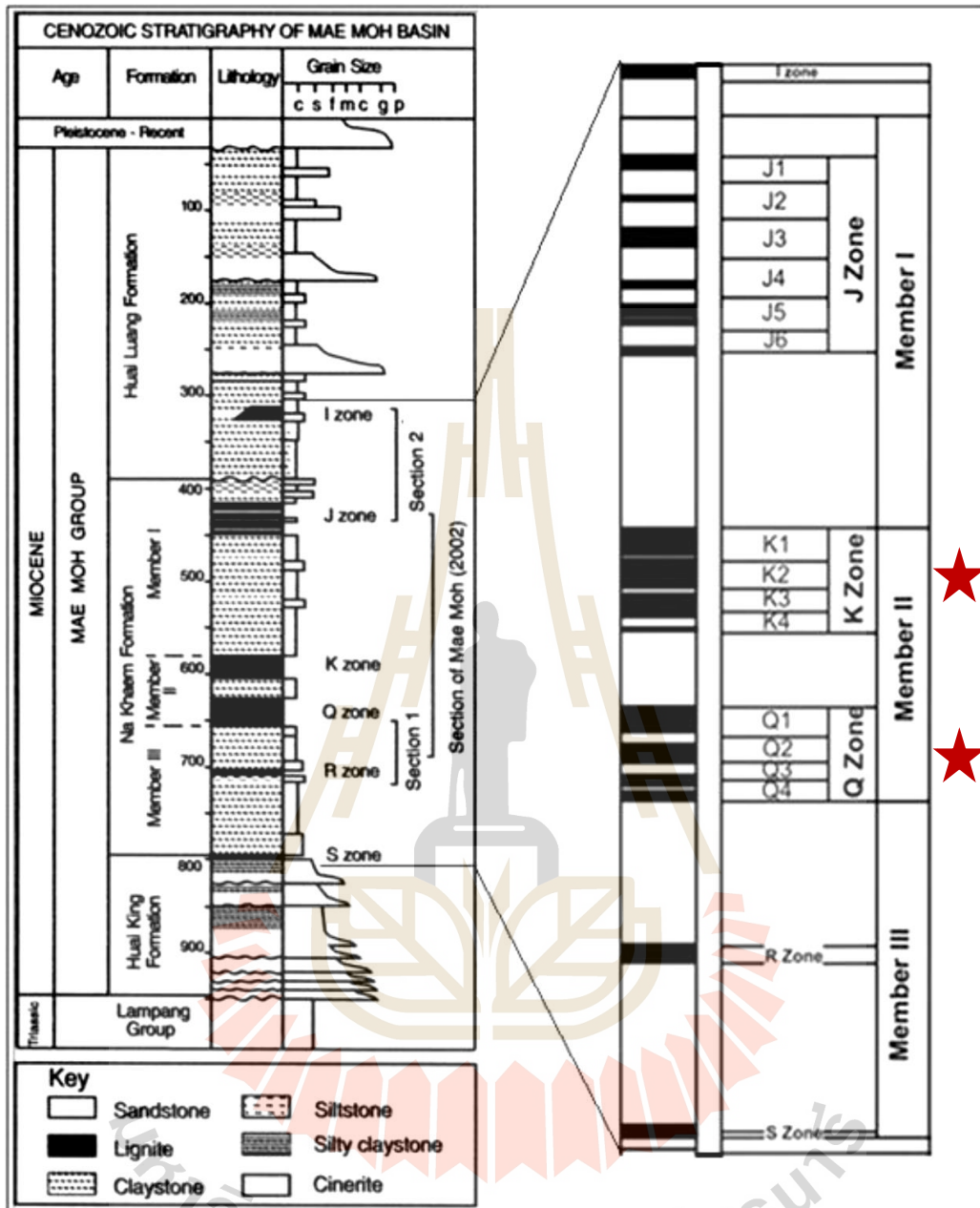
3.1.2 การบดตัวอย่าง

การบดตัวอย่างถ่านหินในการศึกษาจะถูกแบ่งออกเป็นสองวิธีการ คือ

1) การบดแบบละเอียด เป็นการบดถ่านหินให้มีขนาดที่ละเอียด เพื่อที่จะนำไปผ่านขั้นตอนการร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของถ่านหินเบื้องต้น ด้วยเครื่องมือหาธาตุประกอบโดยวิธีการเรืองแสง หาแร่ประกอบโดยใช้เครื่องมือหาองค์ประกอบแบบวิธีการหักเหแสงของผลึก

ตารางที่ 3.1 แสดงชั้นถ่านหิน คุณสมบัติและคุณภาพ ปริมาณ และตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างถ่านหินมาทำการทดสอบ

ลำดับ	ชั้นถ่านหิน	คุณสมบัติและคุณภาพทั่วไปของถ่านหิน	ตำแหน่ง UTM	น้ำหนักตัวอย่าง (กิโลกรัม)	ชื่อบ่อเหมือง
1	K	ถ่านหินสีดำ น้ำตาลดำ สลับเล็กน้อยด้วยหินคาร์บอนเนเชียส และหินเคลย์สีเหลืองอ่อน เทา ถึงเทาเข้มมักพบซากปลา หอย ใบไม้และอื่น ๆ ชั้นถ่านหินที่วางตัวอยู่บนชั้นหินเคลย์ IB หนาประมาณ 20-30 เมตร ประกอบด้วย ชั้นถ่านหินย่อย 4 ชั้น (K4, K3, K2 และ K1)	UTM: 47Q 575655m E 2023427m N	5	SE
			UTM: 47Q 575678m E 2023402m N	5	SE
			UTM: 47Q 575515m E 2023381m N	5	SE
2	Q	ถ่านหินเนื้อสีดำมีการจับตัวกันดี คุณภาพดี เนื้อแน่น มีชั้นถ่านหินชั้นหนา 4-5 เมตร แบ่งได้เป็น 4 ชั้นถ่านหินย่อย (Q4, Q3, Q2, และ Q1) พบชั้นหินโคลนเนื้อคาร์บอนเนเชียสและหิน Ligneous claystone แทรกสลับบาง ๆ ส่วนบนของชั้นถ่าน และ มีชั้นหินดินดานเนื้อคาร์บอนเนเชียส ร่องรับอยู่ด้านล่าง เอียงเทไปทางทิศตะวันออก	UTM: 47Q 576732m E 2027687m N	5	SE
			UTM: 47Q 575675m E 2023478m N	5	SE
			UTM: 47Q 575655m E 2023427m N	5	SE
			UTM: 47Q 575655m E 2023402m N	5	SE



หมายเหตุ ★ แสดงตำแหน่งชั้นถ่านหิน K และ Q ที่ทำการเก็บตัวอย่างมาศึกษา

รูปที่ 3.1 ลำดับชั้นหินของแอ่งแม่เมาะและตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (ปรับปรุงจาก Sompong et al., 1996; Chaodumrong, 1985; Corsiri and Crouch, 1985; Benammi et al., 2002)

3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองการลดปริมาณเถ้าและกำมะถันในถ่านหิน ได้แก่ น้ำกลั่น (Distilled water) โซดาไฟ (Sodium Hydroxide; NaOH) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH)

3.1.4 การแช่สารเคมี

การแช่สารเคมีจะทำการแช่ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยแบ่งเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

ชุดการทดลองที่ 1 แช่สารเคมี 24 ชั่วโมง

- 1) ชั่งตัวอย่างถ่านหินของชั้น K และ Q โดยชั่งตัวอย่าง 500 กรัมต่อตัวอย่าง แล้วใส่ลงในบีกเกอร์ที่เป็นแก้ว
- 2) เตรียมสารละลายเคมี โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร
- 3) นำตัวอย่างถ่านหินจากขั้นตอนที่ 1 มาใส่สารเคมี ในแต่ละชั้นมาแช่ในสารเคมี ทั้งสองชนิด ในระหว่างที่ทำการคนตัวอย่างกับสารละลายให้เข้ากันอย่างช้า ๆ แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
- 4) หลังจากครบ 24 ชั่วโมง ให้ค่อยรินสารละลายที่เหลือออกพร้อมทั้งตะกอนตัวอย่างถ่านหินผ่านลงบนกระดาษกรอง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นตามเพื่อล้างสารละลายที่เกาะอยู่บนถ่านหินออก ทิ้งไว้บนกระดาษกรองจนแห้งแล้วทำการอบให้แห้ง นำตัวอย่างถ่านหินที่ได้ไปบดเพื่อพร้อมทำการวิเคราะห์ต่อไป

ชุดการทดลองที่ 2 แช่สารเคมี 24 ชั่วโมง และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์

- 1) ชุดการทดลองที่ 2 ทำการแช่สารเคมี 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1
- 2) นำตัวอย่างถ่านหินที่ผ่านการแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง มาอบให้แห้งแล้ว นำมาผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ นาน 5 นาทีและ 10 นาที
- 3) นำตัวอย่างถ่านหินที่ได้ไปบดเพื่อพร้อมทำการวิเคราะห์ต่อไป

ชุดการทดลองที่ 3 แช่สารเคมี 24 ชั่วโมง และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์

- 1) ชุดการทดลองที่ 3 ทำการแช่สารเคมี 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1

- 2) นำตัวอย่างถ่านหินที่ผ่านการแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง มาอบให้แห้งแล้ว นำมาผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ นาน 5 นาทีและ 10 นาที
- 3) นำตัวอย่างถ่านหินที่ได้ไปบดเพื่อพร้อมทำการวิเคราะห์ต่อไป

3.2 เครื่องมือและการวิเคราะห์

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF)

ตัวอย่างผงถ่านหินจำนวน 30 ตัวอย่าง ที่ผ่านการบดการล้างด้วยสารเคมีและยังไม่ผ่านการล้างด้วยสารเคมีจะถูกนำมาหาส่วนประกอบทางเคมี โดยใส่ตัวอย่างปริมาณ 0.5 ถึง 1 กรัมของแต่ละตัวอย่างลงในพลาสติกวิเคราะห์ตัวอย่าง ก่อนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง WD-XRF (Axios-Max) (รูปที่ 3.2) โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ 16 นาทีต่อตัวอย่าง ภายใต้การใช้งานหลอดเอกซเรย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร ที่มีกระแส 1 มิลลิแอมแปร์ และกำลัง 30 กิโลวัตต์ โดยผลลัพธ์ของการวิเคราะห์จะถูกแสดงออกมาเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแสง (intensity) กับพลังงานที่คายออกมาในหน่วยของกิโลอิเล็กตรอน โวลต์ (keV) โดยแต่ละธาตุมีค่าแตกต่างกันไป ดังตารางที่ 3.3 หลังจากนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมในเครื่องเพื่อหาเป็นปริมาณสารประกอบในหน่วยร้อยละต่อไป



รูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย X-ray Fluorescence (ED) Horiba

ตารางที่ 3.2 ค่าพลังงานที่คายออกมาในหน่วยของกิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) โดยแต่ละธาตุ ของ เครื่องมือ XRF

Elements	K α 1 (KeV)	L α 1 (KeV)
Na	1.041	-
Mg	1.253	-
Al	1.486	-
Si	1.740	-
P	2.013	-
S	2.307	-
K	3.313	-
Ca	3.691	0.341
Ti	4.510	0.452
Mn	5.898	0.637
Fe	6.403	0.705
Ba	32.188	4.465
Zn	8.637	1.012

3.2.2 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณแร่ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)

ตัวอย่างผงถ่านหินจำนวน 30 ตัวอย่าง ทั้งที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยสารเคมีและยังไม่ผ่านการล้างด้วยสารเคมีจะถูกนำมาหาโครงสร้างผลึกในผงตัวอย่าง โดยตัวอย่างปริมาณ 1 ถึง 1.5 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาบีบอัดให้พอดีและผิวหน้าเรียบกับที่ใส่สารตัวอย่าง (holder) โดยกระจกบาง ก่อนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bruker (รุ่น D2 Phaser) X-ray Diffractometer (รูปที่

3.3) โดยจะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 10 นาทีต่อตัวอย่าง ภายใต้การใช้งานสภาวะดังต่อไปนี้ หลอดทองแดงขนาด 0.4x12 มิลลิเมตร ที่มีกระแส 10 มิลลิแอมแปร์ และกำลัง 30 กิโลวัตต์ มีความยาวคลื่น (λ) ในช่วง 0.1-2 Å และมีมุมในการวิเคราะห์ (2θ) เริ่มจาก 5 ถึง 60 องศา เวลาในการเปลี่ยน 0.2 วินาที โดยมุม (2θ) จะเพิ่มทีละ 0.02 องศา โดยผลลัพธ์ของการวิเคราะห์จะถูกแสดงออกมาเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของแสง (intensity) กับองศาที่วัดเปลี่ยนแปลงไป (2θ) หลังจากนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์หาชนิดของผลึกโดยโปรแกรมสำเร็จในเครื่องและทำการหาปริมาณโดยใช้โปรแกรม Topas โดยผลที่ออกมาจะแสดงในหน่วยร้อยละของปริมาณผลึกที่วัดได้



รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการหักเหแสง Bruker (รุ่น D2 Phaser)

3.2.3 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นและเถ้า (Moisture and Ash Analyzer)

ตัวอย่างผงถ่านหินจำนวน 30 ตัวอย่าง ทั้งที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยสารเคมีและยังไม่ผ่านการล้างด้วยสารเคมีทั้งผ่านคลื่นไมโครเวฟและไม่ผ่านคลื่นไมโครเวฟ ถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น สารระเหย เถ้า และปริมาณคาร์บอน โดยตัวอย่างปริมาณ 1.5 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูก

นำมาใส่ในถ้วยเซรามิก ของเครื่อง Leco (รุ่น TGA 701) Moisture and Ash Analyzer (รูปที่ 3.4) การวิเคราะห์จะใช้วิธีการหาค่าแบบ D7582 MVA in coal โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการหาค่าความชื้นโดยจะทำการอบตัวอย่างที่อุณหภูมิประมาณ 107 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน เครื่องจะทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างจนกว่าจะคงที่แล้วคิออกมาเป็นร้อยละความชื้น

ขั้นตอนที่ 2 ปิดฝาถ้วยตัวอย่างและจะถูกอบภายใต้ก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ ประมาณ 950 องศาเซลเซียส จนกระทั่งครบเวลาแล้วเครื่องจะทำการชั่งน้ำหนักแล้วแสดงผลออกมาเป็นร้อยละของสารระเหย

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากเปิดฝารอบด้วยตัวอย่างแล้วเครื่องจะทำการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ แล้วชั่งจนกระทั่งน้ำหนักคงที่แล้วคำนวณออกมาเป็นร้อยละของปริมาณเถ้า



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นและเถ้า Leco (รุ่น TGA 701) Moisture and Ash Analyzer

3.2.4 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) (CHNS Analyzer)

ตัวอย่างผงถ่านหินจำนวน 30 ตัวอย่าง ทั้งที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยสารเคมีและยังไม่ผ่านการล้างด้วยสารเคมี ทั้งผ่านคลื่นไมโครเวฟและไม่ผ่านคลื่นไมโครเวฟ ได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ C, H, N และ S ตัวอย่างปริมาณ 1.5 กรัม ของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ในถ้วยเซรามิกของเครื่อง Leco (รุ่น TGA 701) Moisture and Ash Analyzer การวิเคราะห์จะใช้วิธีการหาค่าแบบ D7582 MVA in coal โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการหาค่าความชื้น โดยจะใช้การอบตัวอย่างที่อุณหภูมิประมาณ 107 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน เครื่องจะทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างจนกว่าจะคงที่แล้วคัดออกมาเป็นร้อยละความชื้น

ขั้นตอนที่ 2 ปิดฝาถ้วยตัวอย่างและจะถูกอบภายใต้ก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ ประมาณ 950 องศาเซลเซียส จนกระทั่งครบเวลาแล้วเครื่องจะทำการชั่งน้ำหนักแล้วแสดงผลออกมาเป็นร้อยละของสารระเหย

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากเปิดฝากรอบด้วยตัวอย่างแล้วเครื่องจะทำการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ แล้วชั่งจนกระทั่งน้ำหนักคงที่แล้วคำนวณออกมาเป็นร้อยละของปริมาณแฉะ และปริมาณคาร์บอน ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S)
(CHN 628 S Add-on Module)

3.3 การหาปริมาณค่าความร้อน (Calorific value)

จากการศึกษาครั้งนี้จะทำการหาค่าความร้อนรวม (Gross calorific value) จากการคำนวณค่าอัตราส่วนของคาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบแบบละเอียด โดยใช้สมการที่ (3.1) ในหน่วยบีทียต่อปอนด์ (Btu/lb) และ (3.2) ในหน่วยแคลลอรี่ต่อกรัม (Cal/g) หรือสมการของ Dulong Formula ดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าพลังงานความร้อน (Q) (Btu/lb)} = 146C + 620(H - O/8) + 40S \quad (3.1)$$

$$\text{ค่าพลังงานความร้อน (Q) (Cal/g)} = 1/100 \{8020C + 34400 (H - O/8)\} \quad (3.2)$$

เมื่อ Q คือ ค่าความร้อน (gross calorific value) ของเชื้อเพลิง

C, H, O, S คือ ร้อยละของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และกำมะถันตามลำดับ

เมื่อ 1 Btu/lb = 0.002326 MJ/kg

และ ปริมาณออกซิเจนได้จากการคำนวณ ดังนี้

$$O (\%) = 100 - (\% C + \% H + \% S + \% \text{Ash}) \quad (3.3)$$

3.4 การแปลงค่ากำลังไฟฟ้า (Watts) เป็นค่าความร้อน (Celsius Heat Unit)

การแปลงหน่วยพลังงานในรูปของกำลังไฟฟ้า (Electric Power) ให้เป็นค่าความร้อน (Celsius Heat Unit) สามารถแปลงได้จากสูตร

$$\text{Power (CHU/Min)} = \text{Power (Watts)} \times 0.03159 \quad (3.4)$$

(www.conversion-website.com)

ตัวอย่างการแปลงค่ากำลังไฟฟ้า

1. ค่ากำลังไฟฟ้าที่เราใช้ในเครื่องไมโครเวฟ คือ 300 วัตต์ โดยให้ตัวอย่างถ่านหินผ่านคลื่นไมโครเวฟนาน 5 นาที และ 10 นาที แปลงให้อุณหภูมิของความร้อนในหน่วยองศาเซลเซียส ดังต่อไปนี้

$$\text{จากสมการ (3.4)} \quad \text{Power (CHU/min)} = \text{Power (Watts)} \times 0.03159$$

ดังนั้น $\text{Power (CHU/min)} = 300 \times 0.03159 = 9.477 \text{ (CHU/min)}$

ณ เวลาที่ 5 นาที จะมีอุณหภูมิเท่ากับ $9.477 \text{ (CHU/min)} \times 5 \text{ min} = 47.385 \text{ Celsius}$

ณ เวลาที่ 10 นาที จะมีอุณหภูมิเท่ากับ $9.477 \text{ (CHU/min)} \times 10 \text{ min} = 94.77 \text{ Celsius}$

2. ค่ากำลังไฟฟ้าที่เราใช้ในเครื่องไมโครเวฟ คือ 600 วัตต์ โดยให้ตัวอย่างถ่านหินผ่านคลื่นไมโครเวฟนาน 5 นาที และ 10 นาที แปลงให้อุณหภูมิของความร้อนในหน่วยองศาเซลเซียส ดังต่อไปนี้

จากสมการ (3.4) $\text{Power (CHU/Min)} = \text{Power (Watts)} \times 0.03159$

ดังนั้น $\text{Power (CHU/Min)} = 600 \times 0.03159 = 18.954 \text{ (CHU/Min)}$

ณ เวลาที่ 5 นาที จะมีอุณหภูมิเท่ากับ $18.954 \text{ (CHU/min)} \times 5 \text{ min} = 94.77 \text{ Celsius}$

ณ เวลาที่ 10 นาที จะมีอุณหภูมิเท่ากับ $18.954 \text{ (CHU/min)} \times 10 \text{ min} = 189.54 \text{ Celsius}$

จากตารางที่ 3.3 แสดงค่าอุณหภูมิของความร้อนในหน่วยองศาเซลเซียสในแต่ละกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ ในการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ระยะเวลา 5 10 และ 15 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 ค่าอุณหภูมิของความร้อนในหน่วยองศาเซลเซียสในแต่ละกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ ที่ระยะเวลาต่างกัน

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	อุณหภูมิของความร้อน (องศาเซลเซียส) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ		
	5 นาที	10 นาที	15 นาที
300 วัตต์	47.385	94.77	142.155
600 วัตต์	94.77	189.54	284.31
800 วัตต์	126.39	252.72	379.08

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบของถ่านหิน ซึ่งประกอบไปด้วย วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) และการหาปริมาณแร่ประกอบโดยใช้เครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบน (XRD) การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) และการหาค่าความร้อนรวมของถ่านหิน โดยทำการวิเคราะห์ในถ่านหินแต่ละชั้นทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF)

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K

1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

การเตรียมตัวอย่างถ่านหินโดยตัวอย่างถูกบดให้มีขนาดที่ละเอียดเล็กแล้วผ่านการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือหาธาตุประกอบโดยวิธีการเรืองแสง โดยเครื่อง WD-XRF ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุออกไซด์จากตัวอย่างถ่านหินชั้น K ประกอบด้วย Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , SO_3 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO_2 , Fe_2O_3 และ ZnO ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ XRF ของถ่านหินชั้น K โดยตัวอย่างถ่านหินชั้น K ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย SO_3 , CaO และ Fe_2O_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 30.62, 11.93 และ 53.03 ตามลำดับ และมีปริมาณของ SiO_2 , K_2O ในปริมาณร้อยละ 1.19 และ 1.67 ตามลำดับ

ตัวอย่างถ่านหินชั้น K เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย SO_3 , CaO , SiO_2 และ Fe_2O_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 30.40, 9.38, 11.88 และ

38.91 ตามลำดับ เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย SO_3 , CaO , SiO_2 และ Fe_2O_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 31.31, 9.17, 11.79 และ 38.53

ตามลำดับ

ตัวอย่างถ่านหินชั้น K เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย SO_3 , CaO , SiO_2 และ Fe_2O_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 40.37, 10.03, 9.55 และ 32.63 ตามลำดับ เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 W เป็นเวลา 10 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย SO_3 , CaO , SiO_2 และ Fe_2O_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 34.32, 11.08, 10.60 และ 35.86 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์พบว่าในถ่านหินชั้น K มีปริมาณของ SO_3 มากที่สุด และมีปริมาณของ Fe_2O_3 , CaO และ SiO_2 รองลงมา ตามลำดับ และยังพบ Al_2O_3 ซึ่งมีปริมาณเล็กน้อยอยู่ในถ่านหินชั้น K เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่ามีปริมาณ SO_3 เพิ่มขึ้น ดังนั้นการผ่านรังสีไมโครเวฟในระดับพลังงานต่างๆ ไม่สามารถลดปริมาณกำมะถันในถ่านหินได้ แต่รังสีไมโครเวฟมีผลต่อการลดปริมาณของ Fe_2O_3 และ CaO ซึ่งจะมีผลต่อการลดปริมาณซีเถ้าหลังจากการเผาไหม้ของถ่านหินชั้น K ได้

2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้นถ่านหิน K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน โดยตัวอย่างถูกบดให้มีขนาดที่ละเอียดเล็กแล้วผ่านการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) หลังจากนั้นนำตัวอย่างแช่ในสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์หาธาตุประกอบของถ่านหิน ด้วยเครื่องมือหาธาตุประกอบโดยวิธีการเรืองแสง (XRF) โดยใช้เครื่อง WD-XRF ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุประกอบออกไซด์จากตัวอย่าง ประกอบด้วย Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , SO_3 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO_2 , Fe_2O_3 และ ZnO ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ปริมาณ SO_3 ของชั้นถ่านหิน K หลังจากล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านหินที่ไม่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่าง แต่เมื่อนำ

ถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟในระดับพลังงานต่าง ๆ มีปริมาณซัลเฟต อยู่ระหว่างร้อยละ 18.66 ถึง 33.79 โดยมีแนวโน้มลดลงตามระดับพลังงานและเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยค่าร้อยละซัลเฟตที่ 600 วัตต์ มีค่าเท่ากับ 27.23 และ 18.66 และ ที่ 300 วัตต์ มีค่าเท่ากับ 33.79 และ 32.25 ที่ระยะเวลาการได้รับคลื่นไมโครเวฟ 5 และ 10 นาที ตามลำดับ

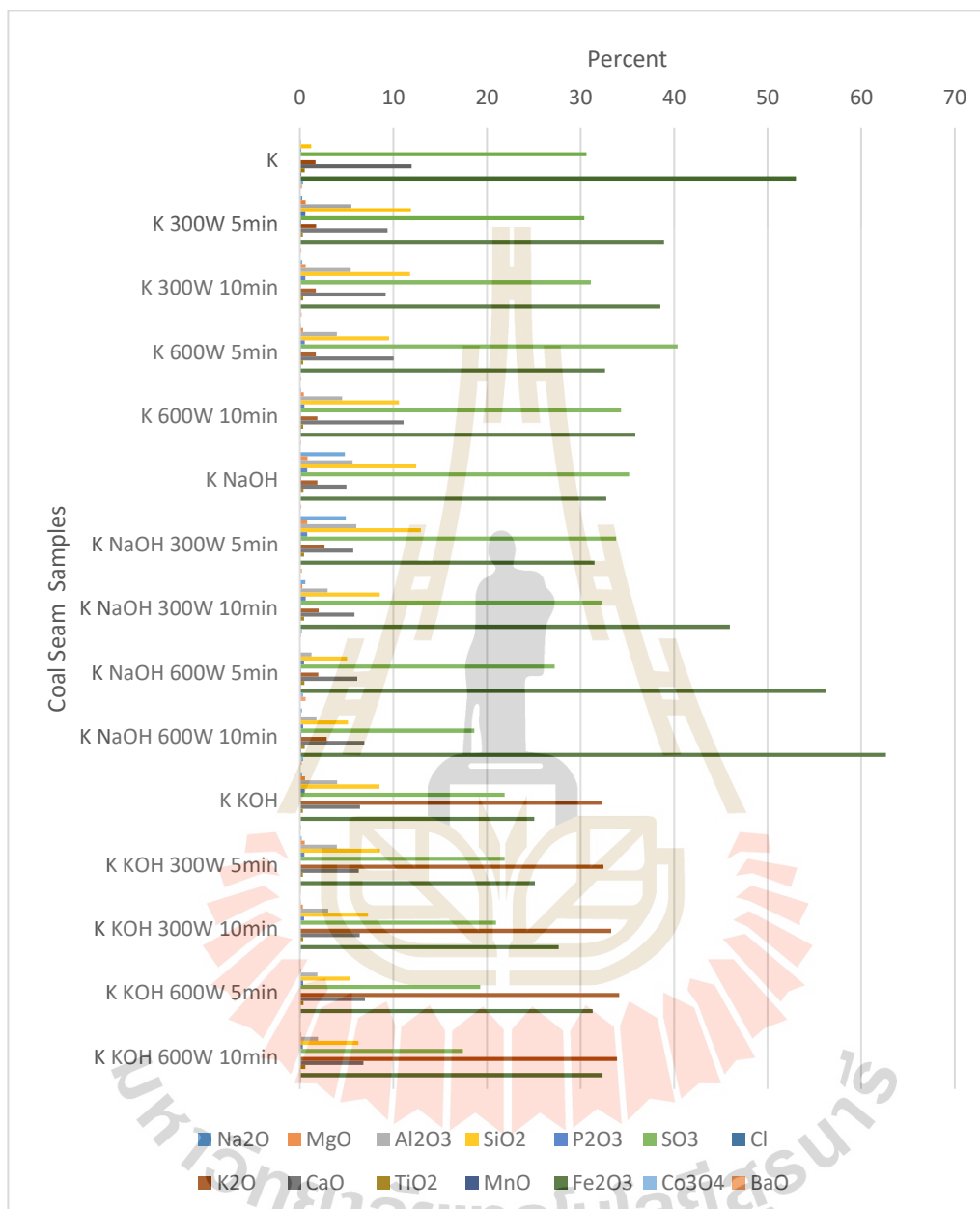
3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุประกอบออกไซด์ของตัวอย่างถ่านหินชั้น K หลังจากล้างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ประกอบด้วย Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , SO_3 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO_2 , Fe_2O_3 และ ZnO ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณซัลเฟต (SO_3) ของชั้นถ่านหิน K หลังจากล้างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีค่าเท่ากับร้อยละ 21.89 ซึ่งมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ไม่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่าง และเมื่อนำถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟในระดับพลังงานต่าง ๆ มีปริมาณซัลเฟต อยู่ระหว่างร้อยละ 17.42 ถึง 21.87 โดยมีแนวโน้มลดลงตามระดับพลังงานและเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยค่าร้อยละซัลเฟตที่ 600 วัตต์ มีค่าเท่ากับ 19.27 และ 17.42 และ ที่ 300 วัตต์ มีค่าเท่ากับ 21.87 และ 20.95 ที่ระยะเวลาการได้รับคลื่นไมโครเวฟ 5 และ 10 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหินชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₃	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Co ₃ O ₄	BaO	Total
K	0.00	0.00	0.14	1.20	0.16	30.62	0.00	1.67	11.93	0.52	0.15	53.03	0.37	0.22	100
K 300W 5min	0.27	0.63	5.51	11.88	0.58	30.40	0.12	1.74	9.38	0.32	0.07	38.91	0.03	0.16	100
K 300W 10min	0.24	0.61	5.44	11.79	0.57	31.10	0.08	1.72	9.17	0.36	0.07	38.53	0.13	0.18	100
K 600W 5min	0.09	0.37	3.97	9.55	0.53	40.37	0.10	1.71	10.03	0.35	0.08	32.63	0.07	0.17	100
K 600W 10min	0.12	0.43	4.52	10.60	0.48	34.32	0.09	1.87	11.08	0.37	0.09	35.86	0.04	0.14	100
K NaOH	4.80	0.81	5.63	12.43	0.79	35.19	0.11	1.88	4.99	0.40	0.06	32.74	0.04	0.16	100
K NaOH 300W 5min	4.90	0.80	6.04	12.94	0.80	33.79	0.10	2.65	5.71	0.45	0.06	31.50	0.05	0.21	100
K NaOH 300W 10min	0.58	0.24	2.97	8.56	0.63	32.25	0.09	2.02	5.85	0.45	0.07	45.95	0.21	0.12	100
K NaOH 600W 5min	0.00	0.05	1.26	5.05	0.46	27.23	0.13	1.97	6.14	0.48	0.09	56.19	0.34	0.61	100
K NaOH 600W 10min	0.22	0.12	1.79	5.13	0.36	18.66	0.16	2.86	6.88	0.51	0.12	62.64	0.34	0.20	100
K KOH	0.22	0.54	3.99	8.52	0.51	21.89	0.06	32.28	6.42	0.32	0.04	25.06	0.00	0.14	100
K KOH 300W 5min	0.19	0.52	3.94	8.56	0.48	21.87	0.05	32.44	6.29	0.33	0.05	25.11	0.08	0.10	100
K KOH 300W 10min	0.10	0.31	3.02	7.28	0.44	20.95	0.06	33.28	6.41	0.34	0.06	27.66	0.10	0.00	100
K KOH 600W 5min	0.00	0.15	1.87	5.42	0.36	19.27	0.06	34.12	6.95	0.39	0.06	31.28	0.09	0.00	100
K KOH 600W 10min	0.00	0.16	1.93	6.28	0.33	17.42	0.05	33.89	6.81	0.59	0.06	32.35	0.12	0.00	100



รูปที่ 4.1 ร้อยละของปริมาณสารประกอบออกไซด์ของถ่านหินชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q

1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุออกไซด์จากตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ส่วนใหญ่ประกอบด้วย MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , SO_3 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO_2 , Fe_2O_3 และ ZnO ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ XRF ของถ่านหินชั้น Q ดังต่อไปนี้

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 34.49, 32.08 และ 28.99 ตามลำดับ และมีปริมาณของ SiO_2 และ K_2O ในปริมาณร้อยละ 0.93 และ 0.81 ตามลำดับ

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 27.24, 29.83 และ 30.80 ตามลำดับ และมีปริมาณของ SiO_2 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 4.05 แต่ปริมาณ K_2O ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณ และปริมาณ BaO มีปริมาณลดลงเล็กน้อย

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 28.21, 29.81 และ 30.28 ตามลำดับ และมีปริมาณของ SiO_2 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 4.03 แต่ปริมาณ K_2O มีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณเล็กน้อย และปริมาณ BaO มีปริมาณลดลงเล็กน้อย

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 29.54, 31.43 และ 29.22 ตามลำดับ และมีปริมาณของ SiO_2 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3.26 แต่ปริมาณ K_2O มีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณเล็กน้อย และปริมาณ BaO มีปริมาณลดลงเล็กน้อย

ถ่านหินชั้น Q ผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 W เป็นเวลา 10 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 30.73, 31.27 และ 28.67 ตามลำดับ และมีปริมาณของ SiO_2 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3.26 แต่ปริมาณ K_2O มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเล็กน้อย และปริมาณ BaO มีปริมาณลดลงเล็กน้อย

จากผลการวิเคราะห์พบว่าในถ่านหินชั้น Q มีปริมาณของ Fe_2O_3 มากที่สุด และมีปริมาณของ CaO และ SO_3 รองลงมา ตามลำดับ และยังมี SiO_2 , K_2O และ BaO ซึ่งมีปริมาณเล็กน้อยอยู่ในถ่านหินชั้น Q

จากผลการวิเคราะห์พบว่าชั้นตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่ามีปริมาณ SO_3 เพิ่มขึ้น ดังนั้นการผ่านรังสีไมโครเวฟในระดับพลังงานต่างๆ ไม่สามารถลดปริมาณกำมะถันในถ่านหินได้ แต่รังสีไมโครเวฟมีผลต่อการลดปริมาณของ Fe_2O_3 และ CaO ซึ่งจะมีผลต่อการลดปริมาณนี้ถ้าหลังจากการเผาไหม้ของถ่านหินชั้น Q ได้

2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุประกอบออกไซด์จากตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ประกอบด้วย Na_2O , MgO, Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , SO_3 , K_2O , CaO, TiO_2 , MnO_2 , Fe_2O_3 และ ZnO ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 33.86, 30.72 และ 28.95 ตามลำดับ

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็น

ร้อยละ 32.85, 23.35 และ 27.47 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับตัวอย่าง ถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิด เป็นร้อยละ 31.40, 26.99 และ 27.85 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ แต่มีปริมาณ มากกว่าตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็น ร้อยละ 34.43, 26.11 และ 27.55 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ปริมาณ Fe_2O_3 มีค่า เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยไม่ผ่านรังสี ไมโครเวฟ และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสี ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่ามีปริมาณ Fe_2O_3 มากกว่า และ ปริมาณ CaO และ SO_3 ที่ใกล้เคียงกัน

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิด เป็นร้อยละ 33.11, 25.54 และ 27.25 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับ ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ แต่มีปริมาณ มากกว่าตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณ SO_3 ของชั้นถ่านหิน Q หลังจากล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านหินที่ไม่ผ่านการล้างด้วย สารละลายต่าง แต่เมื่อนำถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟใน ระดับพลังงานต่าง ๆ มีปริมาณซัลเฟต อยู่ระหว่างร้อยละ 27.25 ถึง 27.85 โดยมีแนวโน้มลดลง เพียงเล็กน้อยตามระดับกำลังไฟฟ้าและเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยค่าร้อยละของปริมาณ SO_3 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที มีค่าเท่ากับ 27.55 และ 27.25 และที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ มีค่า เท่ากับ 27.47 และ 27.85 เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ตามลำดับ

ส่วนปริมาณ Fe_2O_3 ของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผ่าน รังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที มีแนวโน้มปริมาณเพิ่มขึ้น เล็กน้อยตามระดับกำลังไฟฟ้า

3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุประกอบออกไซด์จากตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ประกอบด้วย Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , SO_3 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO_2 , Fe_2O_3 และ ZnO ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนใหญ่ประกอบ ไปด้วย K_2O , Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 66.16, 8.44, 11.84 และ 9.45 ตามลำดับ

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสี ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย K_2O , Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 64.13, 8.64, 12.66 และ 10.38 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณ K_2O และ SO_3 ลดลงเพียงเล็กน้อย แต่มีปริมาณ Fe_2O_3 และ CaO เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย K_2O , Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 64.48, 9.24, 13.30 และ 9.73 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณ K_2O และ SO_3 ลดลงเพียงเล็กน้อย แต่มีปริมาณ Fe_2O_3 และ CaO เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ทั้งที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย K_2O , Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 65.25, 9.39, 13.23 และ 9.33 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณ K_2O และ SO_3 ลดลงเพียงเล็กน้อย แต่มีปริมาณ Fe_2O_3 และ CaO เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ทั้งที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ และที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย K_2O , Fe_2O_3 , CaO และ SO_3 โดยคิดเป็นร้อยละ 67.51, 8.71, 10.95 และ 10.32 ตามลำดับ K_2O , CaO และ SO_3 ลดลงเพียงเล็กน้อย แต่มีปริมาณ Fe_2O_3 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ แต่มีปริมาณ SO_3 มากกว่าตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ทั้งที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

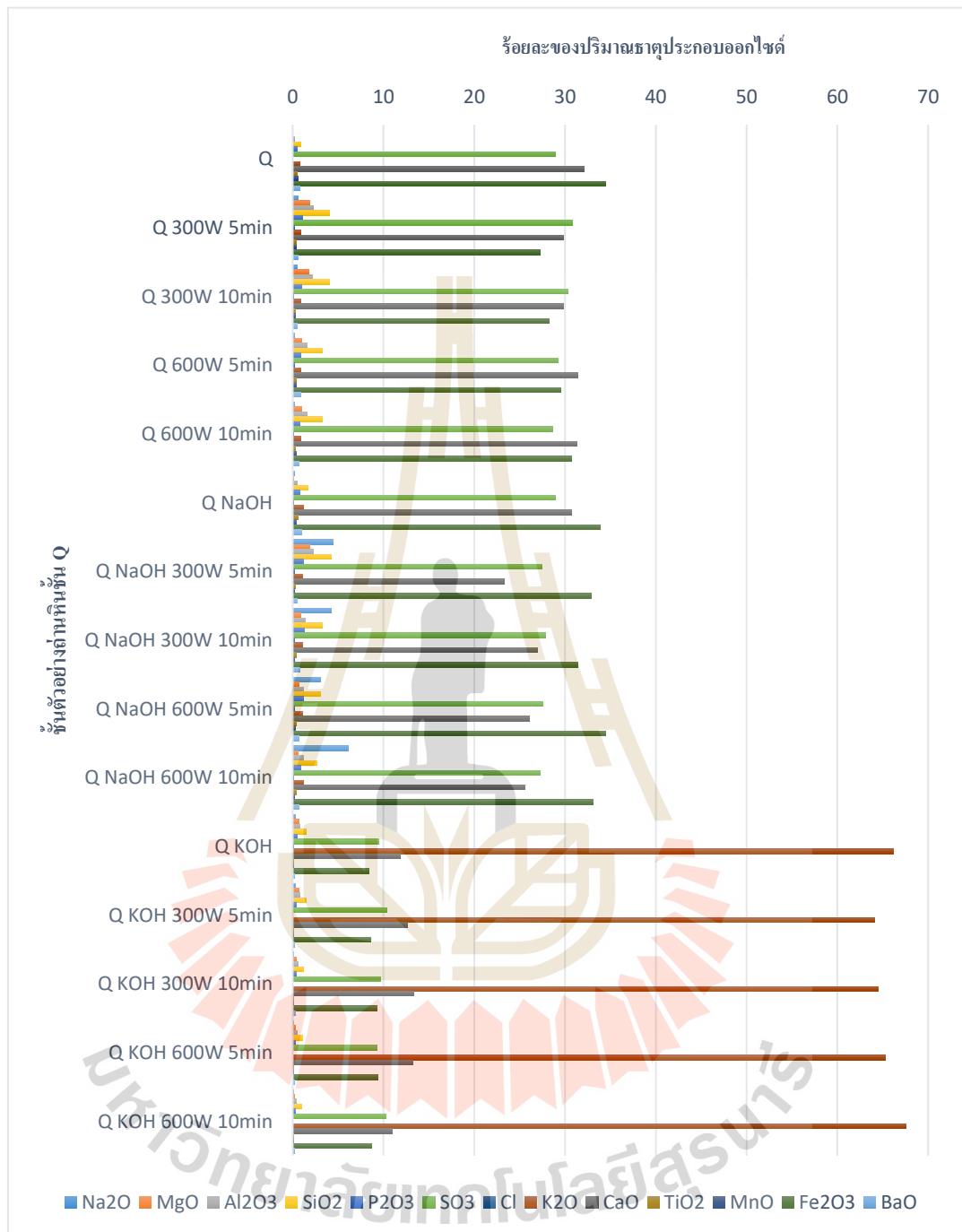
จากตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณ SO_3 ของชั้นถ่านหิน Q หลังจากล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณลดลง เมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านหินที่ไม่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่าง แต่เมื่อนำถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสี

ไมโครเวฟในระดับกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ มีปริมาณ SO_3 อยู่ระหว่างร้อยละ 9.33 ถึง 10.38 โดยมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยตามระดับกำลังไฟฟ้าและเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยค่าร้อยละของปริมาณ SO_3 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที มีค่าร้อยละเท่ากับ 9.33 และ 10.32 ตามลำดับ และที่ กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ มีค่าร้อยละเท่ากับ 10.38 และ 9.73 เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ตามลำดับ ดังนั้น ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที และ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที เป็นกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณกำมะถันในถ่านหินชั้น Q

ส่วนปริมาณ K_2O และ Fe_2O_3 ของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 เป็นเวลา 5 และ 10 นาที และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที มีแนวโน้มปริมาณลดลงเล็กน้อยตามระดับกำลังไฟฟ้า ยกเว้นที่ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที มีแนวโน้มปริมาณเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.2 ปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหินชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

Elements (%)	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₃	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	BaO	Total
Q	0.00	0.03	0.18	0.93	0.49	28.99	0.00	0.81	32.08	0.54	0.62	34.49	0.84	100
Q 300W 5min	0.55	1.92	2.24	4.05	1.06	30.80	0.16	0.90	29.83	0.35	0.35	27.24	0.56	100
Q 300W 10min	0.47	1.79	2.19	4.03	1.01	30.28	0.15	0.94	29.81	0.31	0.32	28.21	0.52	100
Q 600W 5min	0.23	1.04	1.61	3.28	0.93	29.22	0.17	0.90	31.43	0.36	0.39	29.54	0.92	100
Q 600W 10min	0.21	1.04	1.60	3.26	0.75	28.67	0.14	0.91	31.27	0.34	0.38	30.73	0.71	100
Q NaOH	0.16	0.12	0.47	1.70	0.81	28.95	0.14	1.15	30.72	0.56	0.36	33.86	1.00	100
Q NaOH 300W 5min	4.40	1.85	2.26	4.26	1.23	27.47	0.19	1.07	23.35	0.34	0.20	32.85	0.54	100
Q NaOH 300W 10min	4.24	0.87	1.43	3.23	1.25	27.85	0.23	1.11	26.99	0.38	0.25	31.40	0.78	100
Q NaOH 600W 5min	3.10	0.72	1.22	3.04	1.19	27.55	0.18	1.13	26.11	0.37	0.32	34.43	0.65	100
Q NaOH 600W 10min	6.12	0.64	1.14	2.63	0.92	27.25	0.14	1.18	25.54	0.37	0.25	33.11	0.72	100
Q KOH	0.29	0.67	0.76	1.45	0.51	9.45	0.06	66.16	11.84	0.11	0.08	8.44	0.19	100
Q KOH 300W 5min	0.30	0.67	0.80	1.49	0.43	10.38	0.05	64.13	12.66	0.13	0.09	8.64	0.24	100
Q KOH 300W 10min	0.10	0.38	0.57	1.21	0.38	9.73	0.05	64.48	13.30	0.13	0.10	9.24	0.34	100
Q KOH 600W 5min	0.08	0.30	0.48	1.10	0.34	9.33	0.05	65.25	13.23	0.13	0.11	9.39	0.22	100
Q KOH 600W 10min	0.09	0.24	0.41	1.02	0.31	10.32	0.04	67.51	10.95	0.10	0.07	8.71	0.23	100



รูปที่ 4.2 ร้อยละของปริมาณสารประกอบออกไซด์ของถ่านหินชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

จากผลของปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของออกไซด์ของธาตุแต่ละชนิด เมื่อนำมาคำนวณดัชนีเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ผลของการหลอมตัวของถ่านหินในโรงไฟฟ้า โดยการพิจารณาจากค่า ต่อไปนี้

$$(1) \text{ Base-acid ratio (B/A) } = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$$

เมื่อ B คือ ร้อยละของออกไซด์ของอัลคาไลน์ ซึ่งหาได้จากผลรวมของ Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O และ Na_2O

A คือ ร้อยละของออกไซด์ของกรด ซึ่งหาได้จากผลรวมของ SiO_2 , TiO_2 , และ Al_2O_3

$$(2) \text{ Fouling index (FI) } = (\text{B/A}) \times (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$$

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์การหลอมตัวของถ่านหินชั้น K และ Q ซึ่งแสดงแนวโน้มของการเกิดปัญหาฟาวลิงหรือระดับความรุนแรง (ตารางที่ 4.3) พบว่าตัวอย่างถ่านหินทั้งหมดแสดงแนวโน้มของการเกิดปัญหาฟาวลิงในระดับความรุนแรงสูง (B/A มากกว่า 1.0) โดยตัวอย่างถ่านหินที่ผ่านรังสีไมโครเวฟ และการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีค่า B/A ต่ำกว่าชั้นถ่านหินที่ยังไม่ปรับปรุง แต่ค่า FI แสดงแนวโน้มของการเกิดปัญหาฟาวลิงในระดับความรุนแรงปานกลาง (FI = 0.6-40) และสูง (FI มากกว่า 40) ซึ่งแสดงสัดส่วนของออกไซด์ที่เป็นเบสสูงโดยเฉพาะ K_2O และ Na_2O ซึ่งจะมีแนวโน้มการเกิดฟาวลิงและสแลกกิ้ง (Fouling and slagging) ได้ง่าย โดยค่า FI แสดงถึงอิทธิพลของ K_2O และ Na_2O เนื่องจากโลหะอัลคาไลน์ (K และ Na) เป็นธาตุสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดทั้งฟาวลิงและสแลกกิ้งโดยตรง (ธรรมบุญ อุคมั่น และคณะ, 2019) โดยเฉพาะตัวอย่างถ่านหินที่ผ่านรังสีไมโครเวฟ และล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้มีแนวโน้มการฟาวลิงและสแลกกิ้งระดับสูงเนื่องจากมีปริมาณของ K เพิ่มมากขึ้น แต่การล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้มีแนวโน้มการเกิดฟาวลิงและสแลกกิ้งระดับปานกลาง ดังนั้นสรุปได้ว่ารังสีไมโครเวฟ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลต่อการเกิดการหลอมของถ่านหิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ผลของการหลอมตัวของถ่านหินโดยการการคำนวณดัชนีเชื้อเพลิง Base-acid ratio (B/A) และ Fouling index (FI) ในถ่านหินชั้น K และ Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ชั้นถ่านหิน	ตัวอย่างถ่านหิน	Base-acid ratio (B/A)	การแปลผลระดับความรุนแรงโดยใช้ค่า B/A**	Fouling index (FI)	การแปลผลระดับความรุนแรง โดยใช้ค่า FI***	หมายเหตุ
ชั้นถ่านหิน K	K	35.82	สูง	59.82	สูง	** Base-acid ratio (B/A) $= \frac{(Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O)}{(SiO_2 + TiO_2 + Al_2O_3)}$ โดยแสดงค่าระดับความรุนแรงของการเกิดฟาวลิงและสแลกกิ้ง ระดับต่ำ (B/A < 0.5) ระดับปานกลาง (B/A = 0.5-1.0) และ ระดับสูง (B/A < 1.0) ***Fouling index (FI) $= (B/A) \times (K_2O + Na_2O)$ โดยแสดงค่าระดับความรุนแรงของการเกิดฟาวลิงและสแลกกิ้ง ระดับต่ำ (FI < 0.6) ระดับปานกลาง (FI = 0.6-40) และ ระดับสูง (FI < 40) (ธรรมนูญ อุคมนัน และคณะ, 2019)
	K 300W 5min	2.88	สูง	5.78	ปานกลาง	
	K 300W 10min	2.86	สูง	5.60	ปานกลาง	
	K 600W 5min	3.23	สูง	5.82	ปานกลาง	
	K 600W 10min	3.19	สูง	6.34	ปานกลาง	
	K NaOH	2.45	สูง	16.36	ปานกลาง	
	K NaOH 300W 5min	2.34	สูง	17.70	ปานกลาง	
	K NaOH 300W 10min	4.56	สูง	11.86	ปานกลาง	
	K NaOH 600W 5min	9.48	สูง	18.67	ปานกลาง	
	K NaOH 600W 10min	9.79	สูง	30.15	ปานกลาง	
	K KOH	5.03	สูง	163.44	สูง	
	K KOH 300W 5min	5.03	สูง	164.17	สูง	
	K KOH 300W 10min	6.37	สูง	212.58	สูง	
	K KOH 600W 5min	9.44	สูง	322.10	สูง	
K KOH 600W 10min	8.32	สูง	281.94	สูง		
ชั้นถ่านหิน Q	Q	40.85	สูง	33.09	ปานกลาง	
	Q 300W 5min	9.10	สูง	13.20	ปานกลาง	
	Q 300W 10min	9.38	สูง	13.22	ปานกลาง	
	Q 600W 5min	12.03	สูง	13.59	ปานกลาง	
	Q 600W 10min	12.34	สูง	13.82	ปานกลาง	
	Q NaOH	24.18	สูง	31.68	ปานกลาง	
	Q NaOH 300W 5min	9.26	สูง	50.65	สูง	
	Q NaOH 300W 10min	12.82	สูง	68.58	สูง	
	Q NaOH 600W 5min	14.14	สูง	59.83	สูง	
	Q NaOH 600W 10min	16.08	สูง	117.42	สูง	
	Q KOH	37.67	สูง	2503.33	สูง	
	Q KOH 300W 5min	35.70	สูง	2300.31	สูง	
	Q KOH 300W 10min	45.81	สูง	2958.51	สูง	
	Q KOH 600W 5min	51.61	สูง	3371.56	สูง	
Q KOH 600W 10min	57.19	สูง	3866.01	สูง		

4.2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบน

(X-Ray Diffraction, XRD)

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K

1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

จากตารางที่ 4.4 แสดงแร่ประกอบในชั้นถ่านหินชั้น K พบว่ามีปริมาณแร่ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และไพไรต์ (FeS_2) ปริมาณร้อยละ 23.28 และ 1.94 ตามลำดับ เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ พบว่าปริมาณของแร่ไพไรต์เพิ่มขึ้น ยกเว้นที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ปริมาณแร่ยิปซัมลดลงเฉพาะรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์เท่านั้น ซึ่งจะส่งผลให้มีการลดลงของปริมาณกำมะถันในถ่านหินได้ แต่ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์เป็นเวลา 5 นาที ไม่สามารถทำให้ปริมาณแร่ยิปซัมลดลงได้ เนื่องจากพลังงานร้อนต่ำ

ผลของรังสีไมโครเวฟต่อกลุ่มแร่ชนิดอื่น ๆ ช่วยลดปริมาณแร่เคโอลิไนต์ ทุกกำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ ส่วนแร่ควอร์ตซ์ เฟลด์สปาร์ และไมกา มีการลดลงเล็กน้อยที่ กำลังไฟฟ้า 300 เป็นเวลา 5 นาทีและ 600 วัตต์ 10 นาที และแร่ชนิดอื่น ๆ ที่แสดงในตารางที่ 4.4 มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารังสีไมโครเวฟไม่ทำให้ปริมาณแร่ประกอบของถ่านหินลดลง ซึ่งจะทำให้ถ่านหินชั้นนี้มีปริมาณจีเฝ้าสูงมากขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการเผาไหม้

2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

แร่ประกอบในชั้นถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าแร่ยิปซัมและไพไรต์ มีปริมาณร้อยละ 0.21 และ 1.76 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าปริมาณต่ำกว่าชั้นถ่านหินชั้น K ที่ไม่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ปริมาณแร่ควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ และคลอไรต์ มีปริมาณลดลง ส่วนปริมาณแร่แคลไซต์ เฟลด์สปาร์ และไมกา มีปริมาณเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.4) ซึ่ง

แสดงให้เห็นว่าการล้างถ่านหินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ลดปริมาณกำมะถัน แต่ปริมาณซัลเฟอร์ของถ่านหินจะเพิ่มขึ้นหลังการเผาไหม้ (ตารางที่ 4.4)

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ พบว่าแร่ประกอบในชั้นถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแร่ไพไรต์ ยกเว้นที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์เป็นเวลา 5 นาที ทำให้ค่าแร่ไพไรต์ มีค่าลดลงเล็กน้อย ส่วนปริมาณแร่ยิปซัมมีแนวโน้มสูงขึ้นจากเดิมก่อนการผ่านด้วยรังสีไมโครเวฟ ส่วนปริมาณแร่เฟลด์สปาร์ เคโอลิไนต์ คลอไรต์ มีปริมาณลดลง แต่แร่ควอร์ตซ์ แคลไซต์ เฟลด์สปาร์ และไมกา มีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณแร่ซีเดอไรต์ลดลงเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการล้างถ่านหินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ ทำให้ลดปริมาณกำมะถัน แต่ปริมาณซัลเฟอร์ของถ่านหินจะเพิ่มขึ้นหลังการเผาไหม้ (ตารางที่ 4.4)

3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

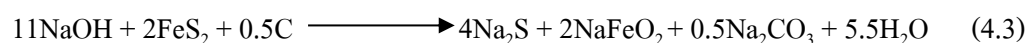
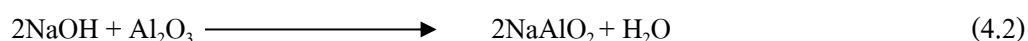
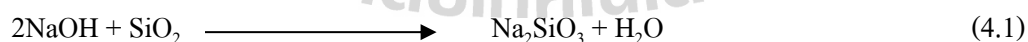
จากตารางที่ 4.4 แสดงแร่ประกอบในชั้นถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีปริมาณแร่ยิปซัม และไพไรต์ ปริมาณร้อยละ 1.39 และ 1.91 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าปริมาณต่ำกว่าชั้นถ่านหินชั้น K ที่ไม่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่มีปริมาณแร่ควอร์ตซ์และซีเดอไรต์ ต่ำกว่าถ่านหินชั้น K ส่วนแร่แคลไซต์ เคโอลิไนต์ คลอไรต์ เฟลด์สปาร์ และไมกา มีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณแร่แคลไซต์ เฟลด์สปาร์ และไมกา มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ช่วยลดปริมาณกำมะถัน

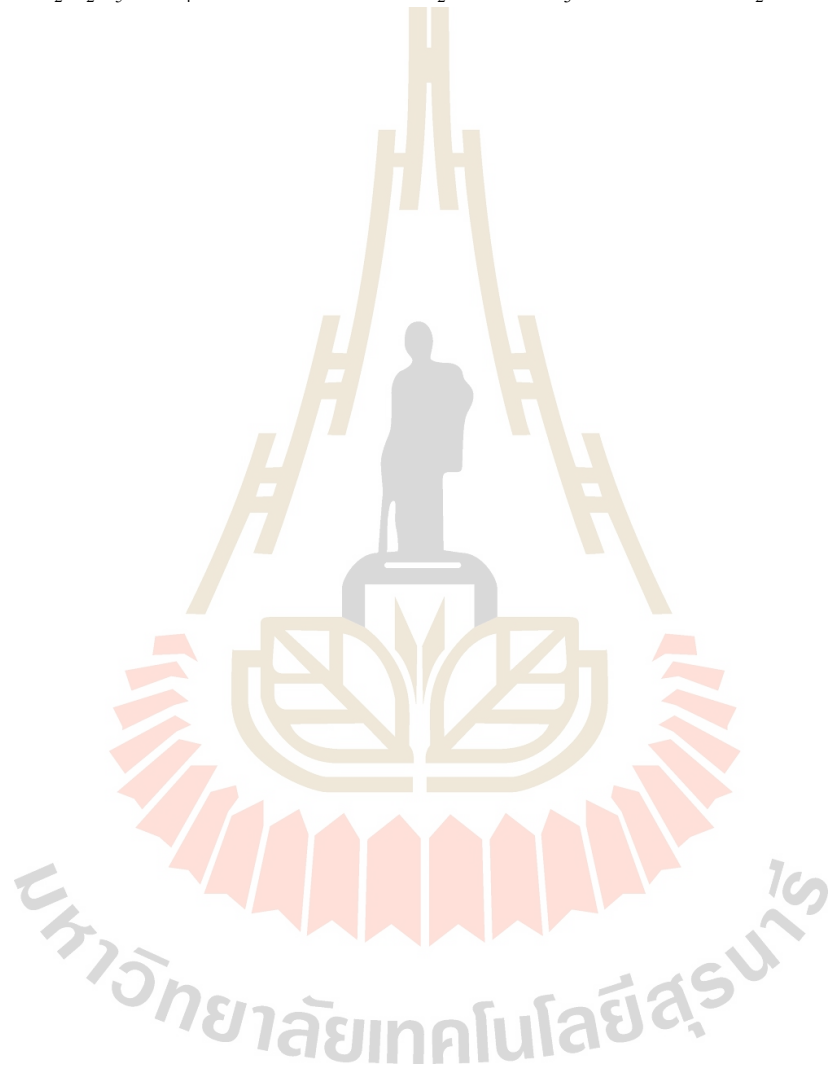
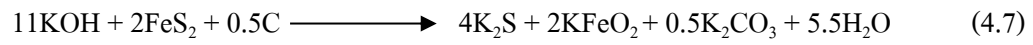
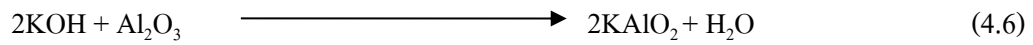
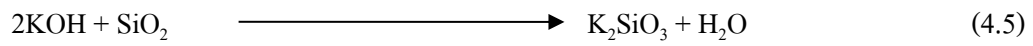
เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ (ตารางที่ 4.4) พบว่าแร่ประกอบในชั้นถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ปริมาณของแร่ยิปซัม และไพไรต์ลดลง ยกเว้นที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์เป็นเวลา 5 นาที ปริมาณของแร่ไพไรต์สูงขึ้นจาก

เดิมก่อนการผ่านด้วยรังสีไมโครเวฟ ส่วนปริมาณแร่เฟลด์สปาร์ เคโอลิไนต์ และคลอไรต์ มีปริมาณลดลง แต่แร่ควอร์ตซ์ แคลไซต์ ซิเดอไรต์ คลอไรต์ และเฟลด์สปาร์ มีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณแร่เคโอลิไนต์ และไมกาลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการล้างถ่านหินด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ ทำให้ลดปริมาณกำมะถัน แต่ปริมาณซัลเฟอร์ของถ่านหินจะเพิ่มขึ้นหลังการเผาไหม้ (ตารางที่ 4.4)

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ ต่อผลการลดปริมาณแร่ไพไรต์และยิปซัม พบว่าถ่านหินชั้น K เมื่อล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ปริมาณกำมะถันลดลง เพราะแร่ไพไรต์และยิปซัมลดลง แต่โซเดียมไฮดรอกไซด์จะส่งผลให้ปริมาณซัลเฟอร์สูง เนื่องจากมีปริมาณแร่ควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ ซิเดอไรต์ คลอไรต์ เฟลด์สปาร์ และไมกา อีกทั้งถ่านหินชั้น K เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ช่วยทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการลดปริมาณกำมะถันได้ดีมากขึ้น ส่วนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีผลทำให้ลดปริมาณกำมะถันจากแร่ไพไรต์และยิปซัม แต่มีประสิทธิภาพด้อยกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการเพิ่มขึ้นของปริมาณแร่ที่จะทำให้ปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มสูงขึ้นหลังการเผาไหม้ และมีแนวโน้มสูงกว่าถ่านหินที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากผลการเปลี่ยนแปลงของแร่ในถ่านหินทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณซัลเฟอร์และความชื้นของถ่านหินทั้งสองชั้นนั้น เกิดจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาเคมีกับแร่ต่าง ๆ เช่น ควอร์ตซ์ อลูมิเนียมออกไซด์ ไพไรต์ และเคโอลิไนต์ (Khamhom, 2013) แสดงดังสมการที่ (4.1) ถึง (4.8)





ตารางที่ 4.4 ชนิดและปริมาณร้อยละของแร่ที่อยู่ในถ่านหินชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ชั้นถ่านหิน	ร้อยละของแร่									
	Quartz	Calcite	Siderite	Kaolinite	Chlorite	Feldspar	Pyrite	Gypsum	Mica	รวม
K	10.99	3.56	0.91	8.62	1.76	19.57	2.21	20.70	31.68	100
K 300W 5min	10.98	3.98	0.07	12.57	0.26	17.20	2.05	23.46	29.43	100
K 300W 10min	12.07	4.94	1.04	13.32	0.82	17.71	1.81	11.38	36.91	100
K 600W 5min	11.81	6.80	2.59	13.94	1.99	18.11	2.10	7.38	35.28	100
K 600W 10min	11.40	5.57	2.91	14.89	1.87	17.25	1.34	15.22	29.55	100
K NaOH	17.62	4.09	3.60	17.07	2.25	14.16	1.05	14.16	26.00	100
K NaOH 300W 5min	15.62	5.05	4.09	15.64	2.61	15.14	0.34	15.52	25.99	100
K NaOH 300W 10min	15.41	4.05	5.06	13.79	3.11	16.35	0.37	13.00	28.86	100
K NaOH 600W 5min	16.69	3.11	3.00	16.69	3.70	15.97	0.55	14.79	25.00	100
K NaOH 600W 10min	20.19	5.08	3.05	14.27	4.14	14.39	1.07	1.46	36.01	100
K KOH	14.78	0.34	0.00	19.49	33.05	24.49	0.82	6.06	0.97	100
K KOH 300W 5min	9.65	3.27	1.31	8.32	8.81	28.28	1.47	1.98	36.91	100
K KOH 300W 10min	13.25	1.61	0.93	20.49	13.07	36.38	0.64	9.30	4.32	100
K KOH 600W 5min	12.12	2.72	0.95	11.53	7.49	26.53	1.36	2.13	35.17	100
K KOH 600W 10min	11.82	0.63	2.23	19.59	13.37	30.15	1.19	6.94	14.08	100

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q

1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

จากตารางที่ 4.5 แสดงแร่ประกอบในชั้นถ่านหินชั้น Q พบว่ามีปริมาณแร่ไพไรต์ และ ยิปซัม ร้อยละ 2.56 และ 0.37 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณยิปซัมมีค่าต่ำกว่าถ่านหินชั้น K แต่มีปริมาณไพไรต์สูงกว่าถ่านหินชั้น K เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ พบว่าปริมาณของแร่ไพไรต์และยิปซัลดลดลง ยกเว้นที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์เป็นเวลา 5 นาที ทำให้ปริมาณแร่ไพไรต์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารังสีไมโครเวฟช่วยลดปริมาณกำมะถันจากแร่ไพไรต์และยิปซัมให้มีปริมาณลดลงได้

ในชั้นถ่านหินชั้น Q มีปริมาณแร่ควอร์ตซ์ เฟลสปาร์ เคโอลิไนต์ และแคลไซต์สูงกว่าถ่านหินชั้น K เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ พบว่าปริมาณแร่ควอร์ตซ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และแร่แคลไซต์มีแนวโน้มลดลง ยกเว้นที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์เป็นเวลา 10 นาที แร่แคลไซต์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนแร่เคโอลิไนต์มีแนวโน้มลดลงที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์เป็นเวลา 5 นาที และแร่ชนิดอื่น ๆ ที่แสดงในตารางที่ 4.5 มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารังสีไมโครเวฟไม่ทำให้ปริมาณแร่ประกอบของถ่านหินลดลง ซึ่งจะทำให้ถ่านหินชั้นนี้มีปริมาณจี้เถ้าเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการเผาไหม้

2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

แร่ประกอบในถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีปริมาณแร่ไพไรต์และยิปซัม ร้อยละ 0.04 และ 0.11 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าปริมาณต่ำกว่าชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ไม่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปริมาณแร่ควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ และคลอไรต์ มีปริมาณลดลง ส่วนปริมาณแร่แคลไซต์ เฟลด์สปาร์ และไมกา มีปริมาณเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการล้าง

ถ่านหินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ลดปริมาณกำมะถัน แต่ปริมาณซัลเฟอร์ของถ่านหินเพิ่มขึ้นหลังการเผาไหม้ (ตารางที่ 4.5)

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ พบว่าแร่ประกอบในชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณของแร่ไพไรต์เพิ่มขึ้น ยกเว้นที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์เป็นเวลา 10 นาที ที่ปริมาณแร่ไพไรต์ลดลง ส่วนแร่ยิปซัมมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมก่อนการล้างด้วยรังสีไมโครเวฟ ยกเว้นที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์เป็นเวลา 10 นาที เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าทำให้ปริมาณแร่แคลไซต์ เคโอลิไนต์ และคลอไรต์ มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่แร่ควอร์ตซ์ เฟลด์สปาร์ และไมกา มีปริมาณลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการล้างถ่านหินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ ทำให้ไม่สามารถลดปริมาณกำมะถันลดได้ เนื่องจากปริมาณแร่ไพไรต์และยิปซัมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ไม่ผ่านถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ปริมาณซัลเฟอร์ของถ่านหินจะเพิ่มขึ้นหลังการเผาไหม้ (ตารางที่ 4.5)

3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

แร่ประกอบในชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีปริมาณแร่ยิปซัมและไพไรต์ ปริมาณร้อยละ 0.22 และ 0.10 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าปริมาณต่ำกว่าชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ไม่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่มีปริมาณสูงกว่าถ่านหินที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ช่วยทำให้ลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินได้ ส่วนปริมาณแร่เฟลด์สปาร์และไมกาสูงกว่าถ่านหินชั้น Q ส่วนแร่ควอร์ตซ์ แคลไซต์ ซิเดอไรต์ เคโอลิไนต์ และคลอไรต์ มีปริมาณต่ำกว่า (ตารางที่ 4.5)

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ (ตารางที่ 4.3) พบว่าแร่ประกอบในชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ปริมาณของแร่ยับยั้งลดลง แต่ปริมาณของแร่ไฟไรต์เพิ่มสูงขึ้นจากเดิมก่อนการผ่านด้วยรังสีไมโครเวฟ โดยเฉพาะที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์เป็นเวลา 5 และ 10 นาที นอกจากนี้รังสีไมโครเวฟทำให้เพิ่มปริมาณแร่แคลไซต์ เฟลด์สปาร์ ซิเดอไรต์ กลอไรต์ และเฟลด์สปาร์ ส่วนปริมาณแร่ควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ ไมกาและกลอไรต์มีแนวโน้มลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการล้างถ่านหินด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ ทำให้ลดปริมาณกำมะถัน แต่ปริมาณซัลเฟอร์ของถ่านหินจะเพิ่มขึ้นหลังการเผาไหม้ (ตารางที่ 4.5)

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ ต่อผลการลดปริมาณแร่ไฟไรต์และยับยั้ง พบว่าถ่านหินชั้น Q เมื่อล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ปริมาณกำมะถันลดลง เพราะแร่ไฟไรต์และยับยั้งลดลง อีกทั้งถ่านหินชั้น Q เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ช่วยทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการลดปริมาณกำมะถันได้ดีมากขึ้น ส่วนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีผลทำให้ลดปริมาณกำมะถันจากแร่ไฟไรต์และยับยั้ง แต่มีประสิทธิภาพด้อยกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการเพิ่มขึ้นของปริมาณแร่ที่จะทำให้ปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มสูงขึ้นหลังการเผาไหม้ และมีแนวโน้มสูงกว่าถ่านหินที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 ชนิดและปริมาณร้อยละของแร่ที่อยู่ในถ่านหินชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ชั้นถ่านหิน	ร้อยละของแร่									
	Quartz	Calcite	Siderite	Kaolinite	Chlorite	Feldspar	Pyrite	Gypsum	Mica	รวม
Q	17.78	3.51	0.92	20.42	12.67	37.70	2.10	4.78	0.12	100
Q 300W 5min	17.79	3.35	0.77	21.70	12.42	36.33	2.20	5.44	0.00	100
Q 300W 10min	18.99	3.50	0.76	22.17	11.63	35.62	2.31	5.02	0.00	100
Q 600W 5min	14.10	5.78	3.08	18.37	17.03	27.40	2.01	12.24	0.00	100
Q 600W 10min	11.06	4.10	2.49	18.09	24.62	31.11	1.69	6.48	0.36	100
Q NaOH	11.09	6.22	2.23	11.94	20.00	43.18	1.63	3.04	0.68	100
Q NaOH 300W 5min	10.34	13.18	2.13	14.62	19.90	34.81	0.60	4.13	0.28	100
Q NaOH 300W 10min	9.95	2.35	3.22	17.78	26.24	33.27	1.51	5.44	0.23	100
Q NaOH 600W 5min	11.20	12.02	1.68	14.22	20.53	34.66	1.96	3.73	0.00	100
Q NaOH 600W 10min	8.97	7.70	2.14	12.93	23.69	39.30	0.80	3.70	0.78	100
Q KOH	22.08	10.71	2.84	11.19	6.07	41.56	0.54	0.08	4.89	100
Q KOH 300W 5min	6.50	26.03	2.04	9.40	10.68	36.15	5.34	0.10	3.76	100
Q KOH 300W 10min	5.00	23.24	3.87	8.61	14.25	36.28	4.83	0.07	3.84	100
Q KOH 600W 5min	6.37	21.30	3.47	11.92	8.90	38.77	5.26	0.17	3.83	100
Q KOH 600W 10min	8.00	18.85	14.49	2.86	4.67	42.91	4.35	0.23	3.63	100

4.3 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis)

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K

1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

จากตารางที่ 4.6 แสดงแร่ประกอบในชั้นถ่านหินชั้น K พบว่ามีปริมาณความชื้น ร้อยละ 11.1 ปริมาณเถ้าร้อยละ 21.5 ปริมาณสารระเหย 39.7 และคาร์บอนคงที่ ร้อยละ 27.7

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ พบว่าปริมาณความชื้น ลดลงตามการเพิ่มกำลังไฟฟ้าของรังสีไมโครเวฟ แต่ปริมาณเถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงที่มี แนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยที่รังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 10 นาที มีการเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารังสีไมโครเวฟไม่สามารถช่วยทำให้คุณภาพของถ่านหินดีขึ้น

2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

ในชั้นถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า ปริมาณความชื้นและเถ้าเพิ่มขึ้นกว่าชั้นถ่านหินชั้น K ที่ไม่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ปริมาณสารระเหยและคาร์บอนคงที่มีปริมาณลดลงกว่าชั้นถ่านหินชั้น K ที่ไม่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ พบว่าปริมาณความชื้นเพิ่มมากกว่าชั้นถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่รังสีไมโครเวฟช่วยทำให้ปริมาณเถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงที่ลดลง

**3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์**

ในชั้นถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่า ปริมาณความชื้น สารระเหย และคาร์บอนคงที่มีปริมาณลดลงกว่าชั้นถ่านหินชั้น K ที่ไม่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่ปริมาณเถ้ามีเพิ่มขึ้นกว่าชั้นถ่านหินชั้น K ที่ไม่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ พบว่าปริมาณความชื้นเพิ่มมากกว่าชั้นถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนปริมาณเถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงที่มีค่าใกล้เคียงกับถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ยกเว้นที่รังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ปริมาณเถ้าและสารระเหยมีค่ามากกว่า แต่ปริมาณคาร์บอนคงที่น้อยกว่าถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.6 ปริมาณร้อยละของความชื้น น้ำเต้า สารระเหย และคาร์บอนคงที่ ในถ่านหินชั้น K และ Q
 ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วย
 โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ชั้นถ่านหิน		ปริมาณร้อยละของ (As-dry basis)				
		ความชื้น (Moisture)	เถ้า (Ash)	สารระเหย (Volatile matter)	คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon)	
ชั้นถ่านหิน K	K	11.1	21.5	39.7	27.7	
	K 300W 5min	10.5	21.5	40	28	
	K 300W 10min	9.8	21.4	40.8	28	
	K 600W 5min	9.5	21.6	40.8	28.1	
	K 600W 10min	8.1	29.9	34.6	27.4	
	K NaOH	11.8	27	37.3	23.9	
	K NaOH 300W 5min	12.5	26.9	37.1	23.5	
	K NaOH 300W 10min	12.5	26.7	37.1	23.7	
	K NaOH 600W 5min	12.3	26.7	37.4	23.6	
	K NaOH 600W 10min	12.7	26.4	37.6	23.3	
	K KOH	10.9	29.3	37.2	22.6	
	K KOH 300W 5min	11.2	29.3	37.2	22.3	
	K KOH 300W 10min	11.2	29.1	37.4	22.3	
	K KOH 600W 5min	11	29.3	37.1	22.6	
	K KOH 600W 10min	10.7	29.6	38	21.7	
	ชั้นถ่านหิน Q	Q	13.7	9.3	41.7	35.3
		Q 300W 5min	12.8	9.6	42.2	35.4
		Q 300W 10min	12.6	10.2	43.4	33.8
Q 600W 5min		12.4	9.8	43.6	34.2	
Q 600W 10min		10.9	14.2	38.7	36.2	
Q NaOH		15.6	20.6	38.9	24.9	
Q NaOH 300W 5min		16.7	20.1	38.7	24.5	
Q NaOH 300W 10min		17	20	37.9	25.1	
Q NaOH 600W 5min		16.1	20.5	38.8	24.6	
Q NaOH 600W 10min		12.8	26.3	32.5	28.4	
Q KOH		14.2	24.7	38.1	23	
Q KOH 300W 5min		14.7	24.4	37.3	23.6	
Q KOH 300W 10min		15	24.1	38.3	22.6	
Q KOH 600W 5min		14.6	24.6	37.6	23.2	
Q KOH 600W 10min		12.6	29.2	34.1	24.1	

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q

1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

จากตารางที่ 4.6 แสดงแร่ประกอบในชั้นถ่านหินชั้น Q พบว่ามีปริมาณความชื้น ร้อยละ 13.7 ปริมาณเถ้าร้อยละ 9.3 ปริมาณสารระเหย 41.7 และคาร์บอนคงที่ ร้อยละ 35.5 ซึ่งผลของการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านหินชั้น Q พบว่ามีคุณภาพดีกว่าถ่านหินชั้น K

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ พบว่าปริมาณความชื้นลดลงตามการเพิ่มกำลังไฟฟ้าของรังสีไมโครเวฟ แต่ปริมาณเถ้าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะที่รังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ ที่เวลา 10 นาที ส่วนปริมาณสารระเหยมีค่าเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่รังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 10 นาที มีค่าลดลง แต่ทำให้ปริมาณคาร์บอนคงที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารังสีไมโครเวฟไม่สามารถช่วยทำให้คุณภาพของถ่านหินดีขึ้น

2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

ในชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า ปริมาณความชื้นและเถ้าเพิ่มขึ้นกว่าชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ไม่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ปริมาณสารระเหยและคาร์บอนคงที่มีปริมาณลดลงกว่าชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ไม่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ พบว่าปริมาณความชื้นและเถ้าเพิ่มมากกว่าชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยที่รังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ปริมาณความชื้นและเถ้าสูงมากที่สุด แต่รังสีไมโครเวฟช่วยทำให้ปริมาณสารระเหย และคาร์บอนคงที่ลดลง ยกเว้นที่รังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที

3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

ในชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่า ปริมาณความชื้นและเถ้ามีปริมาณเพิ่มขึ้นกว่าชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ไม่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่ปริมาณสารระเหยและคาร์บอนคงที่มีค่าลดลงกว่าชั้นถ่านหินชั้น Q ที่ไม่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารังสีไมโครเวฟไม่สามารถช่วยทำให้คุณภาพของถ่านหินดีขึ้น

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ พบว่าปริมาณความชื้นและเถ้ามีค่าเพิ่มมากกว่าชั้นถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนปริมาณสารระเหยและคาร์บอนคงที่มีค่าลดลงจากถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ยกเว้นที่รังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ปริมาณเถ้ามี และคาร์บอนคงที่มีค่าสูงที่สุด และปริมาณความชื้นและสารระเหยมีค่าต่ำสุดของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าสารละลายเบสมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเถ้าต่ำ เนื่องจากหลังจากเกิดปฏิกิริยาเคมีกับกลุ่มโลหะหรือกลุ่มแร่ซลิเกตแล้ว กลุ่มสารประกอบที่เป็นของแข็งหรือตกตะกอน มีผลต่อการเกิดเถ้าในถ่านหินหลังจากการเผาไหม้มากที่สุด ตามปฏิกิริยาของแร่ประกอบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการที่ (4.1) ถึง (4.8)

4.4 ผลการวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis)

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K

1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลของร้อยละปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถันในถ่านหินชั้น K ก่อนการปรับคุณภาพโดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีปริมาณคาร์บอน ร้อยละ 40.56 ไฮโดรเจนร้อยละ 4.27 ไนโตรเจน ร้อยละ 1.40 และกำมะถัน ร้อยละ 6.22 ซึ่งการมีปริมาณกำมะถันที่สูง ทำให้คุณภาพของถ่านหินต่ำ

ตัวอย่างถ่านหินชั้น K ผ่านรังสีไมโครเวฟทั้งกำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็น เวลา 5 และ 10 นาที พบว่ามีปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน และกำมะถันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ปริมาณ ไฮโดรเจนลดลงเล็กน้อย จากตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่าง ถ่านหินชั้น K ที่ไม่ได้ล้างด้วยสารเคมี เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็น เวลา 5 และ 10 นาที ส่งผลให้คุณภาพของถ่านหินลดลง เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน และ กำมะถันเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะปริมาณกำมะถันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าและระยะเวลา (รูปที่ 4.3)

2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

และผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

จากตารางที่ 4.7 ปริมาณร้อยละธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน ในถ่านหินชั้น K หลังปรับปรุงคุณภาพโดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีปริมาณคาร์บอน ร้อย ละ 44.62 ไฮโดรเจน ร้อยละ 3.74 ไนโตรเจน ร้อยละ 1.50 และกำมะถัน ร้อยละ 4.41 เมื่อเทียบกับถ่าน หินชั้น K ก่อนการปรับปรุงคุณภาพโดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยมีปริมาณคาร์บอนและ ไนโตรเจน สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่มีปริมาณกำมะถันและไฮโดรเจนลดลง (รูปที่ 4.3) ดังนั้นตัวอย่าง ถ่านหินชั้น K เมื่อผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินดีขึ้น เนื่องจาก ปริมาณของคาร์บอน และการลดลงของปริมาณกำมะถัน

ตัวอย่างถ่านหินชั้น K โดยผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสี ไมโครเวฟทั้งกำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่ามีปริมาณคาร์บอนและ กำมะถันลดลง ปริมาณไฮโดรเจนและไนโตรเจนเพิ่มขึ้น จากตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ส่งผลให้

คุณภาพของถ่านหินเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น และปริมาณกำมะถันลดลงจากประมาณร้อยละ 7 เป็นร้อยละ 4 ซึ่งปริมาณกำมะถันมีแนวโน้มลดลงตามกำลังไฟฟ้าและระยะเวลา (รูปที่ 4.3) แต่คุณภาพของถ่านหินอาจลดลงจากปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ในการผ่านรังสีไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที พบว่าไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของคาร์บอน แต่มีการลดลงของปริมาณกำมะถันจากจากตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ (รูปที่ 4.3) โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น K ได้ร้อยละ 29.1 และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟมีปริมาณกำมะถันลดลงเหลือร้อยละ 43.8

3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

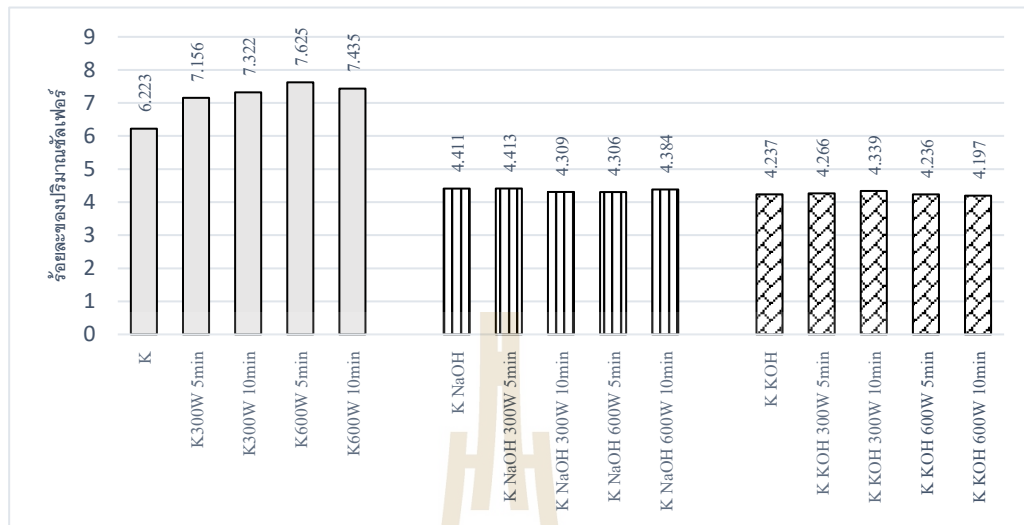
จากตารางที่ 4.7 ปริมาณร้อยละธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน ในถ่านหินชั้น K หลังปรับคุณภาพโดยการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีปริมาณคาร์บอน ร้อยละ 43.11 ไฮโดรเจน ร้อยละ 3.82 ไนโตรเจน ร้อยละ 1.44 และกำมะถัน ร้อยละ 4.24 เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น K ก่อนการปรับคุณภาพโดยการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจน สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่มีปริมาณกำมะถันและไฮโดรเจนลดลง (รูปที่ 4.3) ดังนั้นตัวอย่างถ่านหินชั้น K เมื่อผ่านการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ปรับคุณภาพของถ่านหินดีขึ้น เนื่องจากมีปริมาณของคาร์บอนเพิ่มขึ้น และการลดลงของปริมาณกำมะถัน เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น K โดยผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน และกำมะถัน แต่มีปริมาณไฮโดรเจนสูงกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น K แต่อาจส่งผลต่อการลดค่าความร้อนของถ่านหินลด เนื่องจากปริมาณของคาร์บอนที่ลดลงกว่าถ่านหินทั้งที่ไม่ผ่านการล้างด้วยสารเคมีและผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่างถ่านหินชั้น K โดยผ่านการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่ามีปริมาณคาร์บอนลดลง แต่ปริมาณไฮโดรเจน ในโตรเจน และกำมะถันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ และที่ล้างด้วยไฟฟ้า 600 เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่ามีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจนและในโตรเจนเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกำมะถันลดลงจากตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที (รูปที่ 4.3)

เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ล้างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กับที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่าปริมาณของคาร์บอน ในโตรเจนและกำมะถันต่ำกว่า แต่มีปริมาณไฮโดรเจนสูงกว่า ซึ่งสรุปได้ว่าถ่านหินชั้น K ที่ล้างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดน้อยลง แต่ช่วยลดปริมาณของกำมะถันและในโตรเจนได้ แต่ทำให้คุณภาพถ่านหินต่ำกว่าถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และมีประสิทธิภาพค่าความร้อนและคุณภาพดีกว่าตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ไม่ได้ล้างด้วยสารเคมี และไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น K ได้ร้อยละ 31.1 และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ ทำให้ปริมาณกำมะถันลดลงเฉลี่ยร้อยละ 31.5

ตารางที่ 4.7 ปริมาณร้อยละธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถันในถ่านหินชั้น K และ Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ชั้นถ่านหิน		ร้อยละของปริมาณธาตุ (As-dry basis)			
		คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	กำมะถัน
ถ่านหินชั้น K	K	40.56	4.27	1.40	6.22
	K300W 5min	41.50	4.22	1.41	7.16
	K300W 10min	40.82	4.11	1.41	7.32
	K600W 5min	40.13	3.99	1.40	7.62
	K600W 10min	41.18	2.78	1.54	7.44
	K NaOH	44.62	3.74	1.50	4.41
	K NaOH 300W 5min	43.50	4.06	1.47	4.41
	K NaOH 300W 10min	42.98	4.22	1.44	4.31
	K NaOH 600W 5min	44.15	4.26	1.50	4.31
	K NaOH 600W 10min	44.87	4.22	1.52	4.38
	K KOH	43.11	3.82	1.44	4.23
	K KOH 300W 5min	42.77	4.13	1.46	4.27
	K KOH 300W 10min	42.71	4.22	1.44	4.34
	K KOH 600W 5min	43.39	4.07	1.46	4.24
	K KOH 600W 10min	43.27	3.98	1.48	4.20
ถ่านหินชั้น Q	Q	52.14	5.06	1.86	2.10
	Q300W 5min	52.04	4.47	1.88	2.30
	Q300W 10min	53.06	4.76	1.92	2.49
	Q600W 5min	52.01	4.69	1.88	1.73
	Q600W 10min	55.41	3.91	2.19	2.88
	Q NaOH	43.52	4.40	1.35	2.10
	Q NaOH 300W 5min	39.76	4.59	1.47	2.09
	Q NaOH 300W 10min	38.52	4.76	1.44	2.08
	Q NaOH 600W 5min	35.75	4.35	1.50	2.06
	Q NaOH 600W 10min	40.66	2.48	1.52	2.05
	Q KOH	43.09	4.10	1.39	2.08
	Q KOH 300W 5min	41.57	4.12	1.46	2.05
	Q KOH 300W 10min	41.20	4.22	1.44	2.04
	Q KOH 600W 5min	38.17	4.07	1.46	1.99
	Q KOH 600W 10min	33.65	3.98	1.48	1.88



รูปที่ 4.3 ร้อยละของปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q

1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลของร้อยละปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถันในถ่านหินชั้น Q ก่อนการปรับปรุงคุณภาพโดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีปริมาณคาร์บอน ร้อยละ 52.14 ไฮโดรเจนร้อยละ 5.06 ไนโตรเจนร้อยละ 1.86 และกำมะถันร้อยละ 2.01 ทำให้เกรดคุณภาพของถ่านหินดีกว่าชั้นถ่านหิน K เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนสูงและกำมะถันที่ต่ำกว่าชั้นถ่านหิน K

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ผ่านรังสีไมโครเวฟทั้งกำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่ามีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและกำมะถันส่วนใหญ่ แต่ปริมาณของกำมะถันลดลง เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที เมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ไม่ได้ล้างด้วยสารเคมี ส่วนใหญ่จะมีคุณภาพของถ่านหินลดลง เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอน

ไนโตรเจน และกำมะถันเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะปริมาณกำมะถันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้า และระยะเวลา (รูปที่ 4.4)

2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

จากตารางที่ 4.7 ปริมาณร้อยละธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถันในถ่านหินชั้น Q หลังปรับคุณภาพโดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 43.52 ไฮโดรเจนร้อยละ 4.40 ไนโตรเจนร้อยละ 1.35 และกำมะถัน ร้อยละ 2.10 เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น Q ก่อนการปรับคุณภาพโดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยมีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนลดลง แต่มีปริมาณกำมะถันใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ได้ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (รูปที่ 4.4) ดังนั้นตัวอย่างถ่านหินชั้น Q เมื่อผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ปรับประสิทธิภาพของค่าความร้อนของถ่านหินลดลง เนื่องจากการลดลงของปริมาณของคาร์บอน และเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนอาจทำให้คุณภาพของถ่านหินลดลง

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q โดยผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟทั้งกำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่ามีปริมาณคาร์บอนลดลง และไฮโดรเจนและไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที มีปริมาณของไฮโดรเจนลดลง จากตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ ส่วนปริมาณกำมะถันมีการเปลี่ยนแปลงตามกำลังไฟฟ้าและเวลา (รูปที่ 4.4) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่ทำให้ปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น Q เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟมีปริมาณกำมะถันลดลงเฉลี่ยร้อยละ 1.5

3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

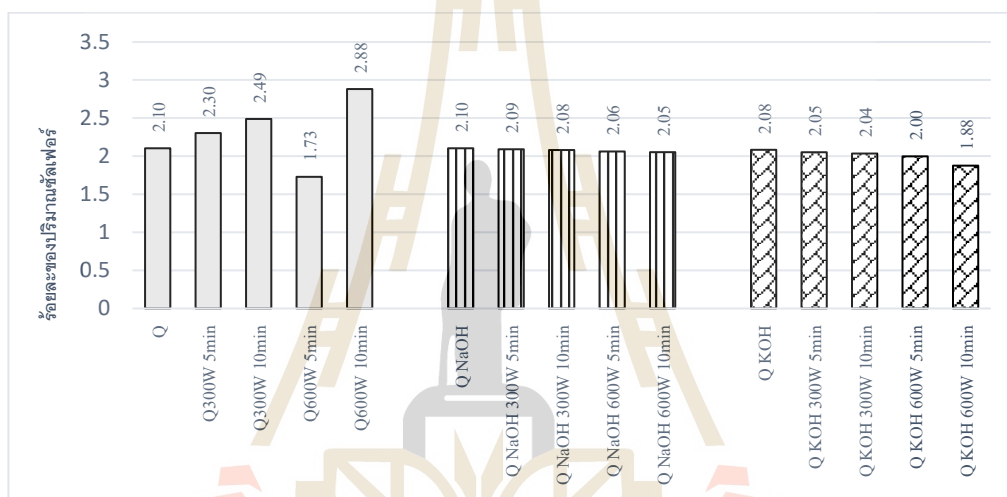
จากตารางที่ 4.7 ปริมาณร้อยละธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถันในถ่านหินชั้น Q หลังปรับคุณภาพโดยการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีปริมาณคาร์บอน ร้อยละ 43.09 ไฮโดรเจน ร้อยละ 4.10 ไนโตรเจน ร้อยละ 1.39 และกำมะถัน ร้อย

ละ 2.08 เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น Q ก่อนการปรับคุณภาพโดยการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถันลดลง (รูปที่ 4.4) ดังนั้นตัวอย่างถ่านหินชั้น Q เมื่อผ่านการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ถ่านหินลดลง เนื่องจากปริมาณของคาร์บอนและไฮโดรเจนลดลง แต่ทำให้คุณภาพของถ่านหินชั้น Q เพิ่มขึ้นเนื่องจากการลดลงของปริมาณกำมะถันและไนโตรเจน เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น Q โดยผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าถ่านหินที่ผ่านการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีคุณภาพถ่านหินใกล้เคียงกัน เพราะมีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน ไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น Q ได้ แต่อาจส่งผลกระทบต่อค่าความร้อนของถ่านหิน เนื่องจากปริมาณของคาร์บอนที่ลดลงกว่าถ่านหินชั้น Q ที่ไม่ผ่านการล้างด้วยสารเคมี

ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q เมื่อผ่านการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟทั้งกำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่ามีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถันลดลง แต่ที่ กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ปริมาณไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ ในส่วนของปริมาณกำมะถันมีแนวโน้มลดลงตามกำลังไฟฟ้าและระยะเวลา เมื่อเทียบกับตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที (รูปที่ 4.4) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้หรือค่าความร้อนจะลดลง เนื่องจากการลดลงของปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจน แต่คุณภาพของถ่านหินอาจลดลงจากปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกำมะถันของถ่านหินลดลง (รูปที่ 4.4)

เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่าปริมาณของไฮโดรเจน ไนโตรเจนและกำมะถันลดลง แต่มีปริมาณคาร์บอนของถ่านหินที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่ำกว่า ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที

โดยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น Q ได้ร้อยละ 0.95 และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟปริมาณกำมะถันลดลงร้อยละ 5.4 ซึ่งมีการลดลงของปริมาณกำมะถันได้เพียงเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่าถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลประสิทธิภาพค่าความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ช่วยลดปริมาณกำมะถันและไนโตรเจน ทำให้คุณภาพถ่านหินดีกว่าถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่มีประสิทธิภาพค่าความร้อนและคุณภาพต่ำกว่าตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ไม่ได้ล้างด้วยสารเคมี และไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ



รูปที่ 4.4 ร้อยละของปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณค่าความร้อนรวม (Gross calorific value)

จากการศึกษาครั้งนี้จะทำการหาค่าความร้อนทั้งปริมาณค่าความร้อนรวม (Gross calorific value) จากอัตราส่วนของคาร์บอน ไฮโดรเจน จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบแบบละเอียด (Ultimate analysis) แบบรวมความชื้นและรวมเถ้า (Air-dried basis หรือ as-received basis) โดยคำนวณด้วยสมการที่ (3.1), (3.2) และ (3.3) และตารางที่ 4.8 แสดงผลสรุปของค่าความร้อนรวมของถ่านหินชั้น K และ Q

ตารางที่ 4.8 ค่าความร้อนรวมโดยวิธีการคำนวณ ของถ่านหินชั้น K และ Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ชั้นถ่านหิน		ค่าพลังงานความร้อน (as-dry basis)			
		ความร้อนรวม หน่วย บีทียูต่อปอนด์ (Btu/lb)	ความร้อนรวม หน่วย แคลอรีต่อกรัม (cal/g)	ความร้อนรวม หน่วย เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg)	
ถ่านหินชั้น K	K	6797.71	3600.81	15.81	
	K300W 5min	7081.61	3736.87	16.47	
	K300W 10min	6864.34	3613.18	15.97	
	K600W 5min	6681.16	3505.37	15.54	
	K600W 10min	6701.32	3519.94	15.59	
	K NaOH	7558.04	4059.61	17.58	
	K NaOH 300W 5min	7517.79	4038.14	17.49	
	K NaOH 300W 10min	7485.61	4023.01	17.41	
	K NaOH 600W 5min	7781.43	4186.27	18.10	
	K NaOH 600W 10min	7898.71	4249.03	18.37	
	K KOH	7431.95	3994.73	17.29	
	K KOH 300W 5min	7571.67	4071.89	17.61	
	K KOH 300W 10min	7615.96	4094.89	17.71	
	K KOH 600W 5min	7670.28	4126.76	17.84	
	K KOH 600W 10min	7597.55	4087.37	17.67	
	ถ่านหินชั้น Q	Q	8545.88	4652.84	19.88
		Q300W 5min	8160.20	4434.49	18.98
		Q300W 10min	8659.34	4706.50	20.14
Q600W 5min		8250.17	4497.20	19.19	
Q600W 10min		8970.30	4868.42	20.86	
Q NaOH		6993.42	3798.43	16.27	
Q NaOH 300W 5min		6254.10	3391.55	14.55	
Q NaOH 300W 10min		6083.69	3298.22	14.15	
Q NaOH 600W 5min		5220.67	2822.04	12.14	
Q NaOH 600W 10min		5465.75	2954.25	12.71	
Q KOH		7012.44	3809.77	16.31	
Q KOH 300W 5min		6664.70	3618.76	15.50	
Q KOH 300W 10min		6619.81	3594.54	15.40	
Q KOH 600W 5min		5875.95	3185.08	13.67	
Q KOH 600W 10min		5142.20	2784.32	11.96	

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K

1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนรวม ดังตารางที่ 4.8 พบว่าถ่านหินชั้น K ให้พลังงานความร้อนประมาณ 15.81 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่อตัวอย่างถ่านหินชั้น K ผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่าทำให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น แต่ที่ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ทำให้ค่าความร้อนลดลง เมื่อเทียบกับชั้นถ่านหิน K ที่ไม่ผ่าน รังสีไมโครเวฟ (รูปที่ 4.5)

2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

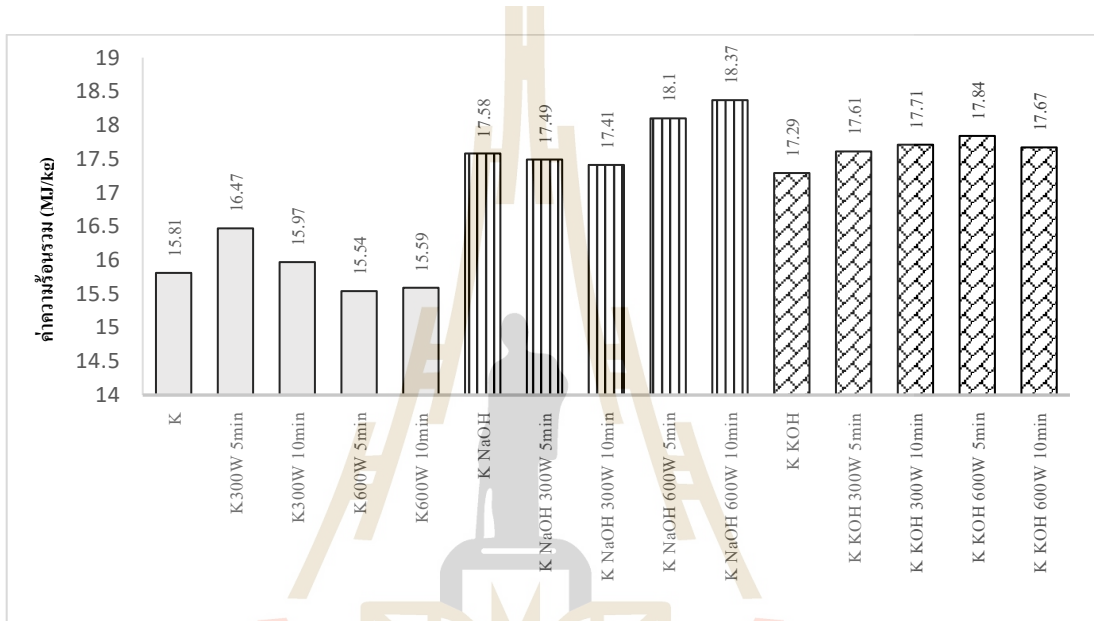
ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนรวม ดังตารางที่ 4.8 พบว่าถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้พลังงานความร้อนประมาณ 17.58 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าความ ร้อนสูงกว่าชั้นถ่านหิน K ที่ไม่ผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และล้างด้วยโพแทสเซียมไฮ ดรอกไซด์

เมื่อตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟทั้ง กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่าทำให้ค่าความร้อนลดลง แต่ที่รังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้น เมื่อเทียบกับชั้นถ่านหิน K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ (รูปที่ 4.5)

3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนรวม ดังตารางที่ 4.8 พบว่าถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ให้พลังงานความร้อนประมาณ 17.29 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่า ความร้อนสูงกว่าชั้นถ่านหิน K ที่ไม่ผ่านการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่มีค่าความร้อน น้อยกว่าชั้นถ่านหิน K ที่ผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อตัวอย่างถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผ่านรังสีไมโครเวฟทั้งกำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่าทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้น เมื่อเทียบกับชั้นถ่านหิน K ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนรวมของถ่านหินชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q

1) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนรวม ดังตารางที่ 4.8 พบว่าถ่านหินชั้น Q ให้พลังงานความร้อนประมาณ 19.88 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่อตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ผ่านรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่าทำให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น แต่ รังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ทำให้ค่าความร้อนลดลง เมื่อเทียบกับชั้น ถ่านหิน K ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ (รูปที่ 4.6)

2) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กําลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนรวม ดังตารางที่ 4.8 พบว่าถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้พลังงานความร้อนประมาณ 16.27 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าความร้อนลดลง เมื่อเทียบกับชั้นถ่านหิน Q ที่ไม่ผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

เมื่อตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟทั้งกําลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่าทำให้ค่าความร้อนลดลง เมื่อเทียบกับชั้นถ่านหิน Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ (รูปที่ 4.6)

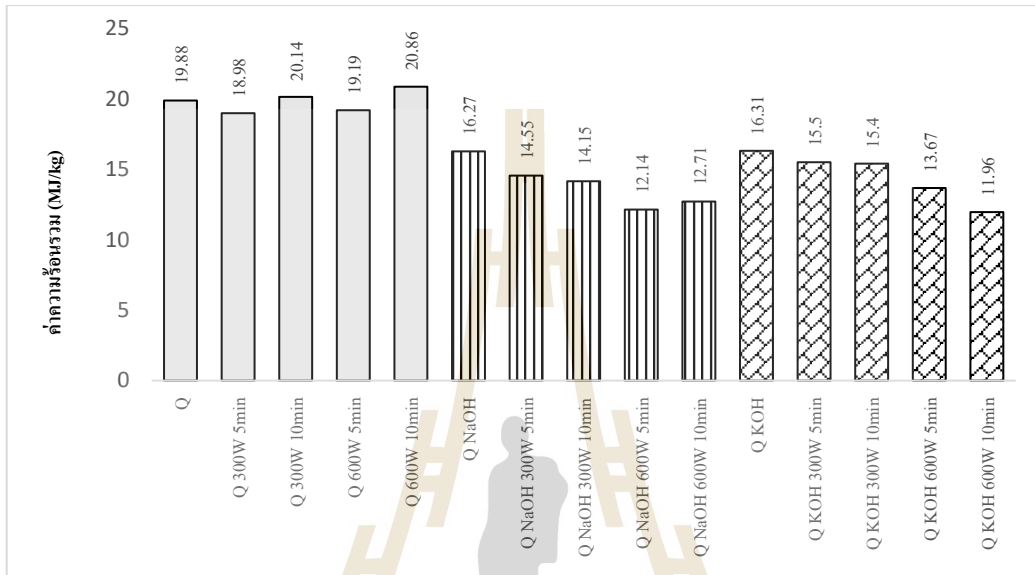
3) ผลการวิเคราะห์ถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กําลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนรวม ดังตารางที่ 4.8 พบว่าถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ให้พลังงานความร้อนประมาณ 16.31 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าความร้อนน้อยกว่าชั้นถ่านหิน Q ที่ไม่ผ่านการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่มีค่าความร้อนสูงกว่าชั้นถ่านหิน Q ที่ผ่านการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อตัวอย่างถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟทั้งกําลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที พบว่าทำให้ค่าความร้อนลดลง เมื่อเทียบกับชั้นถ่านหิน Q ที่ล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ไม่ผ่านรังสีไมโครเวฟ (รูปที่ 4.6) โดยเฉพาะที่รังสีไมโครเวฟทั้งกําลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ทำให้ค่าความร้อนลดลงมากที่สุด (ตารางที่ 4.8)

สรุปผลการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนอาจเกิดจากการเพิ่มของปริมาณคาร์บอน โดยเฉพาะสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ถ่านหินมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นและลดปริมาณกำมะถัน ส่งผลทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้นด้วย แต่ปริมาณไนโตรเจนและออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นของ

ถ่านหิน ส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณลดลง ตามสมการของ Dulong สมการที่ (3.1) ถึง สมการที่ (3.3)



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนรวมของถ่านหินชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพ ด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.6 การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการลงทุน และเพื่อใช้ประเมินความเป็นไปได้ของต้นทุนที่ใช้ในการลงทุนจริง

4.6.1 การศึกษาปริมาณการใช้ถ่านหินในการเผาไหม้เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าแม่เมาะมีการผลิต 13 หน่วยการผลิต โดยปริมาณถ่านหินที่ใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ทั้ง 13 หน่วยผลิต เป็นปริมาณ 17.5 ล้านตันต่อปี (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2019) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.9 ดังนี้

ตารางที่ 4.9 ปริมาณถ่านหินที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแต่ละเครื่องในเหมืองแม่เมาะ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2019)

หน่วยผลิตที่	ปริมาณถ่านหินที่ใช้ปีละ (ล้านตัน)
1	1.5
2	
3	
4	1.0
5	1.0
6	1.0
7	1.0
8	2.0
9	2.0
10	2.0
11	2.0
12	2.0
13	2.0
รวม	17.5

*ข้อมูล ณ วันที่ 2 พฤศจิกายน 2559 ปี

4.6.2 ปริมาณและค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมีและรังสีไมโครเวฟ

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ (Sodium Hydroxide; NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH) ซึ่งราคาของสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ต่อลิตร (ตาราง 4.10) และราคาของสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน 1 ปี (ตาราง 4.11) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.10 แสดงราคาของสารเคมีที่ใช้ต่อลิตร ของความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

สารเคมี	คุณภาพ	ปริมาณ	ราคา (บาท)	ราคา 1 โมล/ลิตร (บาท/ลิตร)
โซเดียมไฮดรอกไซด์	100%	350g	110	12.57
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	100%	350g	120	19.24

*ข้อมูลราคาสินค้า ณ ร้านวิโรฒวิทยภัณฑ์ 589 ถ.ยมราช อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 (2558)

ตารางที่ 4.11 ราคาของสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน 1 ปี

สารเคมี	ปริมาณถ่านหินใน 1 ปี (ล้านตัน)	ปริมาณสารเคมีที่ ต้องใช้ (ล้านลิตร)	ราคา (ล้านบาท)
โซเดียมไฮดรอกไซด์	17.5	17,500	219,975
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	17.5	17,500	336,700

วิธีคำนวณกำลังไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟ

การคำนวณกำลังไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ต้องสูญเสียจากกำลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องไมโครเวฟ (การไฟฟ้านครหลวง, 2019) สามารถคำนวณจาก สมการ 4.1 ดังต่อไปนี้

$$\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า} \div 1000 \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้ใน 1 วัน} = \text{จำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต)} \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.12 การคำนวณค่าไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟต่อตัวอย่างที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน ในระยะเวลา 30 วัน และ 1 ปี

กำลังไฟฟ้าและเวลา ในการใช้เครื่อง ไมโครเวฟ	จำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต) ที่ใช้ในการ ทดสอบต่อตัวอย่าง	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ ระยะเวลา 30 วัน*	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ ระยะเวลา 1 ปี *
300 วัตต์ 5 นาที	0.126	11.34	4,139.1
300 วัตต์ 10 นาที	0.18	16.2	5,913
600 วัตต์ 5 นาที	0.252	22.68	8,278.2
600 วัตต์ 10 นาที	0.36	32.4	11,826

*ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย คิดที่ราคา 3 บาทต่อจำนวนหน่วย

จากการคำนวณราคาตามราคาคงแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่าการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินด้วยสารเคมีข้างต้น ยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงอยู่ เมื่อเทียบกับเครื่องมือปัจจุบัน โดยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีราคาสูงกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่เนื่องจากการกำจัดของเสียและสารเคมีที่เหลือตกค้างอยู่ได้ยากและมีต้นทุนในการกำจัดสารละลายเหล่านี้เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งในการเผาไหม้ถ่านหินที่ผ่านกระบวนการทางเคมีนี้สารเคมีที่ตกค้างอยู่ในถ่านหิน อาจส่งผลต่อการเกิดการกัดกร่อนของอุปกรณ์ เนื่องจากสารเคมี นอกจากการพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในกระบวนการแล้ว การสูญเสียค่าพลังงานและเวลาในกระบวนการโดยการใช้สารเคมีและพลังงานรังสีไมโครเวฟยังมีมากกว่ากระบวนการกำจัดกำมะถันและจี้เถ้าในโรงไฟฟ้าถ่านหินที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน จากตารางที่ 4.12 แสดงค่าไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟต่อการใช้ไมโครเวฟในการลดปริมาณกำมะถันในตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน 1 ปี พบว่ามีการสูญเสียพลังงานและค่าไฟฟ้าในกระบวนการค่อนข้างสูงตามจำนวนวัตต์ของพลังงานไมโครเวฟและระยะเวลาการใช้ ส่งผลให้การใช้สารเคมีและรังสีไมโครเวฟในการทำความสะอาดถ่านหินก่อนการเผาไหม้จะมีราคาสูงและใช้ระยะเวลาในกระบวนการนาน ทำให้เกิดการสูญเสียทางด้านเศรษฐศาสตร์สูง ไม่คุ้มค่าที่จะนำวิธีการนี้มาใช้กับโรงไฟฟ้าถ่านหิน

บทที่ 5

สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์และสรุปผลรวมของข้อมูลและผลการวิเคราะห์ทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง และแนวทางในการศึกษาในอนาคต โดยทำการสรุปผลของคุณภาพของถ่านหินและการเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันของชั้นถ่านหิน K และ Q ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการศึกษาคูณภาพของถ่านหิน

5.1.1 คุณภาพของถ่านหินก่อนปรับปรุงคุณภาพ และหลังผ่านรังสีไมโครเวฟ

1) คุณภาพของถ่านหินชั้น K

คุณภาพของชั้นถ่านหิน K มีคุณภาพถ่านหินต่ำโดยมีปริมาณความชื้น เถ้า และสารระเหยสูง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณ SiO_2 อาจปรากฏอยู่ในรูปของกลุ่มแร่ควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ เฟลด์สปาร์ ไมกา และคลอไรต์ และปริมาณ CaO อาจปรากฏในรูปแคลไซต์และซิเดอไรต์ ส่วนปริมาณกำมะถันสูง เกิดจากมีปริมาณแร่ยิปซัมและไพไรต์สูง ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณ Fe_2O_3 อาจอยู่ในรูปของแร่ไพไรต์ ปริมาณ SO_3 อยู่ในรูปของแร่ไพไรต์และยิปซัม โดยปริมาณกำมะถันจะเพิ่มขึ้นตามรังสีไมโครเวฟทั้งกำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที แต่ปริมาณยิปซัมและไพไรต์ลดลงตามการเพิ่มรังสีไมโครเวฟ แต่ถ่านหินชั้น K มีปริมาณคาร์บอนคงที่และคาร์บอนสูง ทำให้มีการเผาไหม้ที่ดี ปริมาณคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่ 5 และ 10 นาที โดยถ่านหินชั้น K ให้ความร้อนรวม มีค่า 15.81 MJ/kg แต่เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ มีค่าอยู่ในช่วง 15.54 ถึง 16.47 MJ/kg โดยค่าความร้อนที่ดีที่สุดคือ 16.47 MJ/kg ด้วยรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

สรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกำมะถันในถ่านหินชั้น K มีปริมาณกำมะถันสูง ร้อยละ 6.22 มีแร่ไพไรต์และแร่ยิปซัมสูง ร้อยละ 2.21 และร้อยละ 20.7 ตามลำดับ และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ ทำให้ปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณ SO_3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ปริมาณแร่ไพไรต์และยิปซัลดลง แต่ปริมาณของแร่ยิปซัมเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 23.46 เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟ 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที (ตารางที่ 5.1) สรุปว่ารังสีไมโครเวฟทำให้ปริมาณกำมะถันในถ่านหินชั้น K ลดลงได้

2) คุณภาพของถ่านหินชั้น Q

คุณภาพของชั้นถ่านหิน Q มีคุณภาพถ่านหินปานกลางโดยมีปริมาณความชื้น แฉะ และสารระเหยไม่สูงมาก ซึ่งเป็นผลจากมีปริมาณแร่อนินทรีย์ เช่น เฟลด์สปาร์ ควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ ไมกา และแคลไซต์ ส่วนปริมาณกำมะถันต่ำ เกิดจากมีปริมาณแร่ยิปซัมและไพไรต์ต่ำ แต่ปริมาณกำมะถันจะเพิ่มขึ้นตามรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที แต่ถ่านหินชั้น Q มีปริมาณคาร์บอนคงที่และคาร์บอนสูง ทำให้มีการเผาไหม้ที่ดี โดยให้ความร้อนรวม เท่ากับ 19.88 MJ/kg เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ ที่ 10 นาที โดยมีความร้อนรวม เท่ากับ 20.14 และ 20.86 MJ/kg ตามลำดับ

สรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกำมะถันถ่านหินชั้น Q มีปริมาณกำมะถันต่ำ ร้อยละ 2.1 มีปริมาณแร่ไพไรต์และแร่ยิปซัมต่ำ ร้อยละ 2.1 และร้อยละ 4.78 ตามลำดับ และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ทำให้ปริมาณกำมะถันลดลงเหลือร้อยละ 1.73 แต่มีปริมาณแร่ยิปซัมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 12.24 แต่ปริมาณของแร่ไพไรต์ลดลงเหลือ ร้อยละ 1.69 เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที (ตารางที่ 5.2) สรุปว่ารังสีไมโครเวฟไม่ทำให้ปริมาณกำมะถันในถ่านหินชั้น Q ลดลงได้

5.2.2 คุณภาพของถ่านหินหลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และหลังการผ่านรังสีไมโครเวฟ

1) คุณภาพของถ่านหินชั้น K

คุณภาพถ่านหินชั้น K หลังจากทำการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีคุณภาพถ่านหินต่ำ โดยมีปริมาณเถ้าและความชื้นสูงกว่าถ่านหินชั้น K ซึ่งเป็นผลจากปริมาณธาตุที่พบ แต่มีปริมาณคาร์บอนคงที่และสารระเหยลดลง ส่งผลให้มีค่าความร้อนสูง เท่ากับ 17.58 MJ/kg ซึ่งค่าความร้อนสูงขึ้นกว่าชั้นถ่านหิน K ส่วนปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์ และยิปซัมลดลงเมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น K

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟส่งผลให้คุณภาพถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีการลดลงของปริมาณเถ้าและสารระเหย แต่ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์และยิปซัมมีปริมาณลดลง ส่วนปริมาณคาร์บอนคงที่ลดลงเล็กน้อย แต่ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งส่งผลต่อค่าความร้อน โดยเพิ่มเป็น 18.1 ถึง 18.37 MJ/kg เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่ 5 และ 10 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้านี้ช่วยปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้

สรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกำมะถันของถ่านหินชั้น K หลังจากทำการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์และยิปซัมลดลง เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น K และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟทำให้ปริมาณกำมะถันและแร่ไฟไรต์ลดลง แต่ปริมาณแร่ยิปซัมเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที แต่จะมีปริมาณลดลงเหลือร้อยละ 1.46 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น K ได้ร้อยละ 29.1 และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟมีปริมาณกำมะถันลดลงเหลือร้อยละ 43.8 (ตารางที่ 5.1)

2) คุณภาพของถ่านหินชั้น Q

คุณภาพถ่านหินชั้น Q หลังจากทำการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีคุณภาพถ่านหินต่ำ โดยมีปริมาณเถ้าและความชื้นสูงกว่าถ่านหินชั้น Q ซึ่งเป็นผลจากมีปริมาณแร่

ประกอบ แต่มีปริมาณค่าคาร์บอนคงที่และสารระเหยลดลง ส่งผลให้มีค่าความร้อนสูง เท่ากับ 16.27 MJ/kg แต่ค่าความร้อนลดลงกว่าชั้นถ่านหิน Q ส่วนปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์และยิปซัมลดลงเมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น Q

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟส่งผลให้คุณภาพถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีการลดลงของปริมาณเถ้าส่วนใหญ่ลดลงเล็กน้อย เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ปริมาณเถ้าและสารระเหยลดลงมากที่สุด แต่ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์และยิปซัมมีปริมาณลดลง ส่วนปริมาณคาร์บอนคงที่และคาร์บอนมีแนวโน้มลดลง ซึ่งส่งผลต่อการลดค่าความร้อนอยู่ในช่วง 12.14 ถึง 14.55 MJ/kg โดยค่าความร้อนจะลดลงตามรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งแสดงว่ารังสีไมโครเวฟนี้ไม่สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้

สรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกำมะถันของถ่านหินชั้น Q หลังจากทำการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์และยิปซัมลดลง เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น Q และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟทำให้ปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์และยิปซัมลดลง เนื่องจากมีปริมาณ SO_3 ลดลง โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่ทำให้ปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น Q เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟมีปริมาณกำมะถันลดลงเฉลี่ยร้อยละ 1.5 (ตารางที่ 5.2) ซึ่งสรุปว่าสารละลายนี้ไม่ช่วยลดปริมาณกำมะถันในชั้นถ่านหิน Q ส่วนรังสีไมโครเวฟช่วยในการลดปริมาณลดเล็กน้อย

5.1.3 คุณภาพของถ่านหินหลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และผ่านรังสีไมโครเวฟ

1) คุณภาพของถ่านหินชั้น K

คุณภาพถ่านหินชั้น K หลังจากทำการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีคุณภาพถ่านหินต่ำ โดยมีปริมาณเถ้าสูงกว่าถ่านหินชั้น K และถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นผลจากมีปริมาณ SiO_2 และ CaO แต่มีปริมาณค่าคาร์บอนคงที่ ความชื้น และสารระเหยลดลง ส่งผลให้มีค่าความร้อนสูง เท่ากับ 17.29 MJ/kg และ

ค่าความร้อนสูงขึ้นกว่าชั้นถ่านหิน K ส่วนปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์และยิปซัมลดลง เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น K และมีปริมาณต่ำกว่าถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟส่งผลให้คุณภาพถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีการลดลงของปริมาณเถ้าและสารระเหย แต่ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์และยิปซัมมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับชั้นถ่านหิน K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแสดงว่ารังสีไมโครเวฟทำให้กลุ่มแร่กำมะถันในชั้นถ่านหินนี้เกิดการแตกตัวได้ดีขึ้น ส่วนปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่ 5 และ 10 นาที โดยมีค่าความร้อนในช่วง 17.67 ถึง 17.84 MJ/kg ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้านี้ช่วยปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินชั้น K หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้

สรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกำมะถันของถ่านหินชั้น K หลังจากทำการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์และยิปซัมลดลง เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น K และชั้น K หลังจากทำการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟทำให้ปริมาณกำมะถันลดลง เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที แต่แร่ไฟไรต์และยิปซัมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ และที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้น แต่แร่ไฟไรต์ลดลง โดยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น K ได้ร้อยละ 31.1 และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ ปริมาณกำมะถันลดลงเฉลี่ยร้อยละ 31.5 (ตารางที่ 5.1)

2) คุณภาพของถ่านหินชั้น Q

คุณภาพถ่านหินชั้น Q หลังจากทำการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีคุณภาพถ่านหินต่ำ โดยมีปริมาณเถ้า ความชื้น และสารระเหย สูงกว่าถ่านหินชั้น Q และถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นผลจากมีปริมาณแร่ประกอบ แต่มีปริมาณค่าคาร์บอนคงที่และคาร์บอนลดลงสูงกว่าถ่านหินชั้น Q และถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลให้มีค่าความร้อนต่ำ เท่ากับ 16.31 MJ/kg แต่ค่าความร้อน

สูงเกินกว่าชั้นถ่านหิน Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์ และยิปซัมลดลง เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น Q และมีปริมาณต่ำกว่าถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟส่งผลให้คุณภาพถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีการเพิ่มขึ้นของความชื้น และปริมาณเถ้าและสารระเหยลดลง ส่วนปริมาณกำมะถันลดลง แต่แร่ไฟไรต์และยิปซัมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับชั้นถ่านหิน Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแสดงว่ารังสีไมโครเวฟทำให้กลุ่มแร่กำมะถันในชั้นถ่านหินนี้เกิดการแตกตัวได้ดีขึ้น ส่วนปริมาณคาร์บอนคงที่และคาร์บอนลดลง โดยมีค่าความร้อนในช่วง 11.96 ถึง 15.5 MJ/kg เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้านี้ไม่สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินชั้น Q หลังการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้ ซึ่งเป็นผลจากการลดลงของปริมาณคาร์บอน และปริมาณไนโตรเจนและออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นของถ่านหิน ที่ผ่านการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณมีค่าความร้อนลดลง

สรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกำมะถันของถ่านหินชั้น Q หลังจากทำการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณกำมะถัน แร่ไฟไรต์และยิปซัมลดลง เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น Q และชั้น Q หลังจากทำการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟทำให้ปริมาณกำมะถันลดลง เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที แต่แร่ไฟไรต์และยิปซัมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ และที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้น แต่แร่ไฟไรต์ลดลง โดยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินชั้น Q ได้ร้อยละ 0.95 และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟปริมาณกำมะถันลดลงร้อยละ 5.4 (ตารางที่ 5.2)

สรุปผลจากการศึกษาการลดปริมาณกำมะถันและคุณภาพถ่านหินในถ่านหินชั้น K และ Q ได้แสดงผลสรุปคุณภาพของถ่านหินชั้น K และ Q ในตารางที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีประสิทธิภาพมาก

ในการลดปริมาณกำมะถันได้ โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณกำมะถันได้ดีกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยถ่านหินชั้น K มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณกำมะถันได้ดีกว่าถ่านหินชั้น Q เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแร่ไพไรต์ ยิปซัม แคลไซต์ และซีเดอไรต์ โดยปริมาณการลดลงของกำมะถันยังขึ้นกับคุณสมบัติของถ่านหินแต่ละแหล่ง อีกทั้งการล้างด้วยสารละลายเบสทั้งสองชนิดนี้ยังช่วยทำให้ค่าความร้อนรวมของถ่านหินเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณคาร์บอน แต่อาจทำให้คุณภาพถ่านหินลดลงเนื่องจากมีความชื้นและปริมาณเถ้าเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อกรหลอมของถ่านหิน ซึ่งเกิดจากการเกิดฟาวลิงและตะกรันในโรงไฟฟ้ามากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าลดลง ส่วนผลของพลังงานรังสีไมโครเวฟไม่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณกำมะถันได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นการลดกำมะถันด้วยรังสีไมโครเวฟยังไม่มีความเหมาะสม

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การลดปริมาณกำมะถันในถ่านหินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และรังสีไมโครเวฟ มีค่าใช้จ่ายที่สูงและใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับเครื่องมือที่ใช้ในการลดปริมาณกำมะถันในโรงไฟฟ้าปัจจุบัน โดยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีราคาสูงกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่เนื่องจากการกำจัดของเสียและสารเคมีที่เหลืตกค้างอยู่ทำได้ยากและมีต้นทุนเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งมีการสูญเสียเวลาในกระบวนการ โดยการใช้สารเคมีเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกระบวนการกำจัดกำมะถันและซัลเฟอร์ในโรงไฟฟ้าถ่านหินที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 5.1 สรุปคุณสมบัติของถ่านหิน คุณภาพและการเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันชั้น K ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง ชั้นถ่านหิน	คุณสมบัติของถ่านหิน									คุณสมบัติทางเคมี					สรุปผลการวิเคราะห์	
	Proximate analysis (ร้อยละ)				Ultimate Analysis (ร้อยละ)				ค่าความร้อน (MJ/kg)	XRD			XRF		คุณภาพถ่านหิน	ปริมาณกำมะถัน
	ความชื้น	เถ้า	สารระเหย	คาร์บอนคงที่	C	H	N	S		ไพไรต์ (%)	อิปซิม (%)	แร่อื่น	SO ₃ (%)	ธาตุอื่น		
K	11.1	21.5	39.7	27.7	40.562	4.2674	1.3953	6.223	15.81	2.21	20.7	Mic	30.62	Fe2O3	- คุณภาพถ่านหินต่ำ มีปริมาณความชื้น เถ้า และสารระเหยสูง ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณ SiO ₂ , CaO, Fe ₂ O ₃ , -คาร์บอนคงที่และคาร์บอนสูง - ค่าความร้อน 15.8 MJ/kg เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ มีค่า 15.54-16.47 MJ/kg	ซัลเฟอร์ แร่ไพไรต์และอิปซิมสูง เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟทำให้ปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของไพไรต์และอิปซิมลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณ SO ₃
K300W 5min	10.5	21.5	40	28	41.499	4.2156	1.408	7.156	16.47	2.05	23.46	Fel	30.4	CaO		
K300W 10min	9.8	21.4	40.8	28	40.815	4.1062	1.41	7.322	15.97	1.81	11.38	Qtz	31.1	SiO ₂		
K600W 5min	9.5	21.6	40.8	28.1	40.133	3.9901	1.3987	7.625	15.54	2.1	7.38	Kao	40.37	K ₂ O		
K600W 10min	8.1	29.9	34.6	27.4	41.176	2.7787	1.5417	7.435	15.59	1.34	15.22	Cal Cl Sid	34.32	Al ₂ O ₃		
K NaOH	11.8	27	37.3	23.9	44.622	3.7395	1.4958	4.411	17.58	1.05	14.16	Mic	35.19	Fe2O3	- คุณภาพถ่านหินต่ำ มีปริมาณเถ้าและ ความชื้นสูงกว่า แต่คาร์บอนคงที่ต่ำกว่า ชั้นถ่านหิน K - ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นกว่าชั้นถ่านหิน K (17.58 MJ/kg) เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ มีค่า 17.41-18.37 MJ/kg	ซัลเฟอร์ แร่ไพไรต์และอิปซิมลดลง เมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น K และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟทำให้ปริมาณซัลเฟอร์และแร่ไพไรต์ลดลง แต่ปริมาณแร่อิปซิมลดลง ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที ซัลเฟอร์ลดลง 29.1% (NaOH) และ 43.8% (ไมโครเวฟ)
K NaOH 300W 5min	12.5	26.9	37.1	23.5	43.499	4.0557	1.4663	4.413	17.49	0.34	15.52	Qtz	33.79	SiO ₂		
K NaOH 300W 10min	12.5	26.7	37.1	23.7	42.981	4.2183	1.4391	4.309	17.41	0.37	13	Kao	32.25	Na ₂ O		
K NaOH 600W 5min	12.3	26.7	37.4	23.6	44.145	4.2628	1.5034	4.306	18.1	0.55	14.79	Fel	27.23	Al ₂ O ₃		
K NaOH 600W 10min	12.7	26.4	37.6	23.3	44.87	4.2168	1.5216	4.384	18.37	1.07	1.46	Cal Sid Cl	18.66	CaO K ₂ O		
K KOH	10.9	29.3	37.2	22.6	43.109	3.8231	1.4436	4.237	17.29	0.82	6.06	Cl	21.89	K ₂ O	- คุณภาพถ่านหินต่ำ ปริมาณเถ้าสูงกว่า และคาร์บอนคงที่ และสารระเหย ต่ำกว่าถ่านหินชั้น K และชั้น K ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ - ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นกว่าชั้นถ่านหิน K (17.29 MJ/kg) เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ มีค่า 17.61-17.84 MJ/kg	ซัลเฟอร์ แร่ไพไรต์และอิปซิมมีปริมาณต่ำ และรังสีไมโครเวฟทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ ไพไรต์และอิปซิมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชั้นถ่านหิน K และชั้น K หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ -ซัลเฟอร์ลดลง 13.9% (KOH) และ 31.6% (ไมโครเวฟ)
K KOH 300W 5min	11.2	29.3	37.2	22.3	42.767	4.1265	1.4582	4.266	17.61	1.47	1.98	Fel	21.87	Fe2O3		
K KOH 300W 10min	11.2	29.1	37.4	22.3	42.707	4.2208	1.4433	4.339	17.71	0.64	9.3	Kao	20.95	SiO ₂		
K KOH 600W 5min	11	29.3	37.1	22.6	43.388	4.0734	1.463	4.236	17.84	1.36	2.13	Qtz	19.27	CaO		
K KOH 600W 10min	10.7	29.6	38	21.7	43.273	3.9772	1.4812	4.197	17.67	1.19	6.94	Mic Cal Sid	17.42	Al ₂ O ₃		

หมายเหตุ: คือ ปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุด คือ ปริมาณที่ลดลงต่ำสุด และ ** คือ แร่และธาตุประกอบที่เรียงลำดับจากปริมาณมากไปหาน้อย

ตารางที่ 5.2 สรุปคุณสมบัติของถ่านหิน คุณภาพและการเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันชั้น Q ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง ชั้นถ่านหิน	คุณสมบัติของถ่านหิน									คุณสมบัติทางเคมี					สรุปผลการวิเคราะห์	
	Proximate analysis (ร้อยละ)				Ultimate Analysis (ร้อยละ)				ค่าความร้อน (MJ/kg)	XRD			XRF		คุณภาพถ่านหิน	ปริมาณกำมะถัน
	ความชื้น	เถ้า	สาร ระเหย	คาร์บอน คงที่	C	H	N	S		ไพไรต์ (%)	อิปซิม (%)	แร่ อื่น**	SO ₃ (%)	ธาตุ อื่น**		
Q	13.7	9.3	41.7	35.3	52.139	5.0621	1.8584	2.104	19.88	2.1	4.78	Fel	28.99	Fe2O3	- คุณภาพถ่านหินปานกลางโดยมีปริมาณความชื้น เถ้า และสารระเหยไม่สูงมาก - ค่าความร้อน 19.88 MJ/kg เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 18.98-20.86 MJ/kg	ซัลเฟอร์ แร่อิปซิมและไพไรต์ต่ำเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟทำให้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของซัลเฟอร์และไพไรต์ลดลง ในช่วงรังสีไมโครเวฟที่ถ้ำลึงไฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที
Q 300W 5min	12.8	9.6	42.2	35.4	52.042	4.4708	1.8801	2.304	18.98	2.2	5.44	Kao	30.8	CaO		
Q 300W 10min	12.6	10.2	43.4	33.8	53.062	4.7578	1.9156	2.489	20.14	2.31	5.02	Qtz	30.28	SiO2		
Q 600W 5min	12.4	9.8	43.6	34.2	52.008	4.6856	1.8776	1.729	19.19	2.01	12.24	Cl	29.22	Al2O3		
Q 600W 10min	10.9	14.2	38.7	36.2	55.405	3.9115	2.1919	2.882	20.86	1.69	6.48	Cal	28.67			
Q NaOH	15.6	20.6	38.9	24.9	43.519	4.3999	1.3454	2.104	16.27	1.63	3.04	Sid			- คุณภาพถ่านหินต่ำ มีปริมาณเถ้าและความชื้นสูงกว่า แต่คาร์บอนคงที่ต่ำกว่าชั้นถ่านหิน Q - ค่าความร้อนลดลงกว่าชั้นถ่านหิน Q (16.27 MJ/kg) เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ มีค่าลดลง (12.14-14.55 MJ/kg)	ซัลเฟอร์ แร่ไพไรต์และอิปซิมลดลงเมื่อเทียบกับถ่านหินชั้น Q และเมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟทำให้ปริมาณซัลเฟอร์และแร่ไพไรต์ลดลง แต่แร่อิปซิมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น -ซัลเฟอร์ไม่เปลี่ยนแปลง (NaOH) และลดลง 1.5% (ไมโครเวฟ)
Q NaOH 300W 5min	16.7	20.1	38.7	24.5	39.758	4.5894	1.4663	2.091	14.55	0.6	4.13	Fel	28.95	Fe2O3		
Q NaOH 300W 10min	17	20	37.9	25.1	38.515	4.7592	1.4391	2.081	14.15	1.51	5.44	Cl	27.47	CaO		
Q NaOH 600W 5min	16.1	20.5	38.8	24.6	35.749	4.3487	1.5034	2.062	12.14	1.96	3.73	Kao	27.85	SiO2		
Q NaOH 600W 10min	12.8	26.3	32.5	28.4	40.664	2.4802	1.5216	2.053	12.71	0.8	3.7	Qtz	27.55	Na2O		
Q KOH	14.2	24.7	38.1	23	43.087	4.1083	1.3914	2.084	16.31	0.54	0.08	Cal	27.25	Al2O3	- คุณภาพถ่านหินต่ำ ปริมาณเถ้าและความชื้นสูงกว่า และค่าคาร์บอนคงที่และสารระเหยต่ำกว่าถ่านหินชั้น Q และถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ - ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นกว่าชั้นถ่านหิน Q (16.31 MJ/kg) เมื่อผ่านรังสีไมโครเวฟ มีค่าลดลง 11.96-15.5 MJ/kg ตามการเพิ่มของกำลังไฟฟ้า	ซัลเฟอร์ แร่ไพไรต์และอิปซิมมีปริมาณต่ำ และรังสีไมโครเวฟทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ลดลง แต่แร่ไพไรต์และอิปซิมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับชั้นถ่านหิน Q หลังการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ -ซัลเฟอร์ลดลง 0.95% (KOH) และ 5.4% (ไมโครเวฟ)
Q KOH 300W 5min	14.7	24.4	37.3	23.6	41.572	4.1265	1.4582	2.052	15.5	5.34	0.1	Fel	9.45	K2O		
Q KOH 300W 10min	15	24.1	38.3	22.6	41.195	4.2208	1.4433	2.035	15.4	4.83	0.07	Cl	10.38	CaO		
Q KOH 600W 5min	14.6	24.6	37.6	23.2	38.166	4.0734	1.463	1.998	13.67	5.26	0.17	Cal	9.73	Fe2O3		
Q KOH 600W 10min	12.6	29.2	34.1	24.1	33.646	3.9772	1.4812	1.876	11.96	4.35	0.23	Qtz	9.33	SiO2		

หมายเหตุ: คือ ปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุด คือ ปริมาณที่ลดลงต่ำสุด และ ** คือ แร่และธาตุประกอบที่เรียงลำดับจากปริมาณมากไปหาน้อย

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้ทดลอง ได้มีข้อสังเกตและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการทำการทดลองครั้งต่อไปในอนาคต เพื่อความถูกต้องแม่นยำของการวิเคราะห์เพิ่มมากขึ้น ดังต่อไปนี้

- 1) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเคมี ควบคู่ไปกับการเพิ่มเวลาและอุณหภูมิในการทดลอง
- 2) ควรทำการทดสอบการผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้ามากกว่า 600 วัตต์ หรือทำการทดสอบที่เวลาต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น
- 3) ควรมีการศึกษาพฤติกรรมการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของสารประกอบแต่ละชนิดให้ละเอียดเพื่อให้ได้ผลการศึกษามีความแม่นยำ
- 4) ควรมีการศึกษาการใช้สารเคมีอื่น ๆ เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของถ่านหิน ได้แก่ การลดปริมาณเถ้า ควบคู่กับการลดปริมาณกำมะถัน
- 5) ควรมีการนำถ่านหินจากแหล่งอื่น ๆ มาวิเคราะห์เทียบเคียง เพื่อดูแนวโน้มว่ามีผลใกล้เคียงกันหรือไม่ เพื่อความถูกต้องและแม่นยำ เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์กับแหล่งถ่านหินแหล่งอื่น ๆ ได้อย่างถูกต้อง และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ถ่านหินภายในประเทศไทยต่อไป
- 6) ควรศึกษาผลกระทบของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากของเหลือทิ้งจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน ต่อผลกระทบของสิ่งแวดล้อม

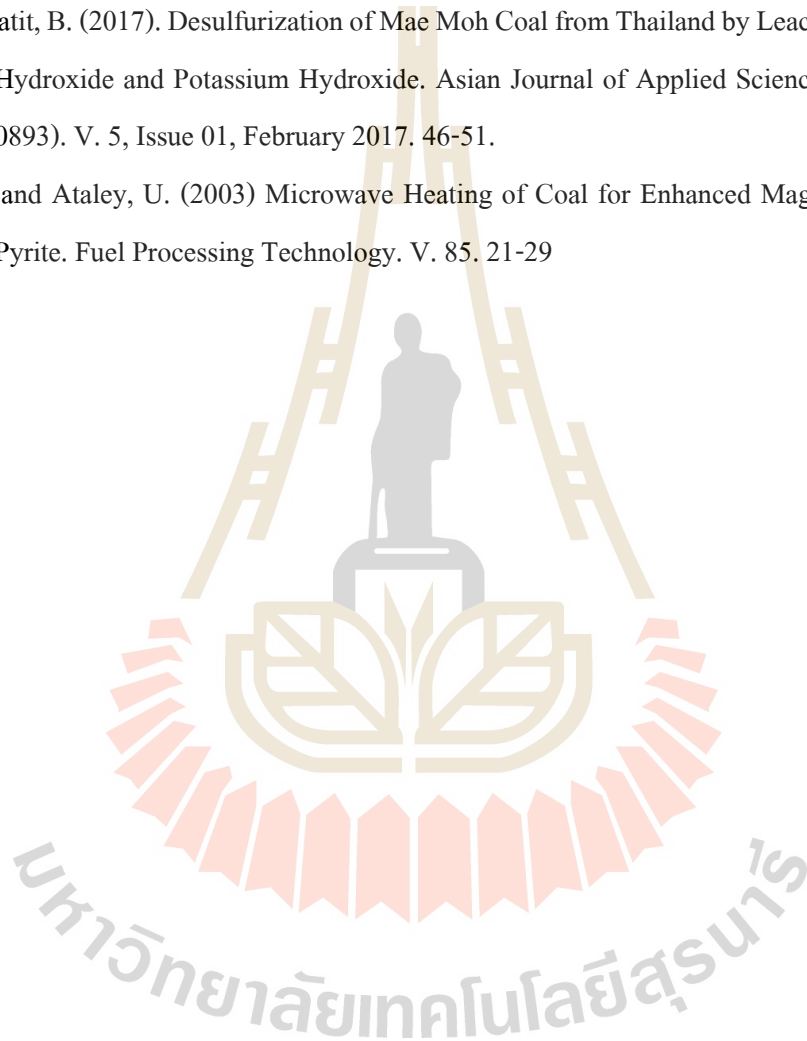
บรรณานุกรม

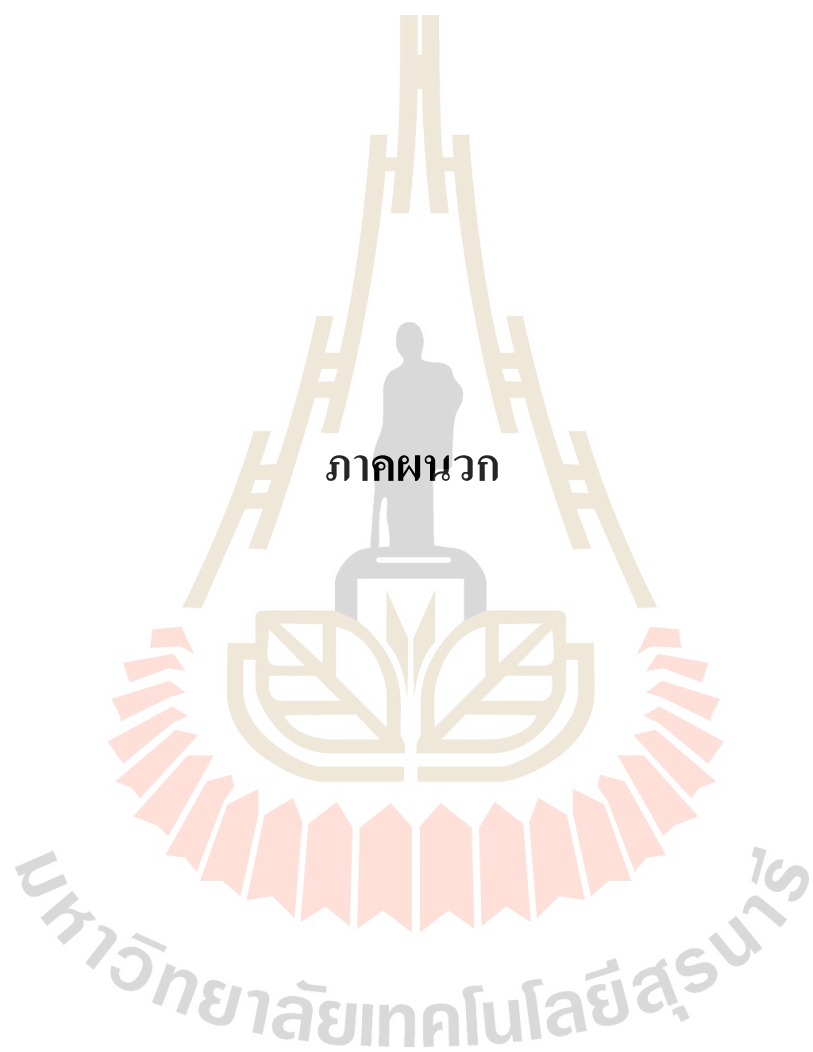
- การไฟฟ้านครหลวง (2019).วิธีคำนวณค่าไฟฟ้า ด้วยตนเองสามารถทำได้อย่างไร[ออนไลน์] ได้จาก: <https://www.mea.or.th/content/detail/3293/3317/3926>
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2018). โครงการโรงไฟฟ้าถ่านหิน [ออนไลน์] ได้จาก: http://projects-pdp2010.egat.co.th/projects1/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=8
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2019). เหมืองถ่านหินแม่เมาะ [ออนไลน์] ได้จาก: http://maemoh.egat.com/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=485
- กรมควบคุมมลพิษ (2018) ความสำเร็จของการแก้ปัญหา SO₂ ที่แม่เมาะ [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.pcd.go.th/info_serv/en_pol_suc_sulfur.html
- กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ (2018). ถ่านหิน [ออนไลน์] ได้จาก: <http://www.dmf.go.th>
- กรมทรัพยากรธรณี (2018). เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด [ออนไลน์] ได้จาก:<http://www.dmr.go.th/http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=12686§ion=9&rcount=Y>
- กรมทรัพยากรธรณี (2018). การกำเนิดของถ่านหิน [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.dmr.go.th/download/article/article_20170602140533.pdf
- ชนรมนูญ อุดมมัน และคณะ (2019). กลไกและการลดปัญหาการเกาะของอนุภาคบนท่อไอน้ำร้อน ชนิดขี้ผึ้งจากการเผาไหม้ฟางข้าวและแกลบร่วมกับถ่านหินแอนทราไซต์ในเตาเผาไหม้ตะกรับ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33 วันที่ 2-5 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 จังหวัดอุดรธานี.
- พิธา ศรีบุศดิษฐ์ และกัญญา มีชานะ (2011). การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 ฉบับที่ 2554/1. 79-86.
- สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และส่งเสริมเทคโนโลยี (2018). แหล่งเรียนรู้ เหมืองถ่านหินแม่เมาะ [ออนไลน์] ได้จาก http://fieldtrip.ipst.ac.th/intro_sub_content.php?content_id=2&content_folder_id=5
- สมาคมนิเวศliersแห่งประเทศไทย (2018). รังสีจากเตาไมโครเวฟ [ออนไลน์] ได้จาก: <http://www.nst.or.th/article/article494/article49401.html>

- American Society for Testing Materials (2018). Standard specifications of coals by rank ASTM D388-12. [ออนไลน์] ได้จาก: <https://compass.astm.org/download/D388-12.14252.pdf>
- Benammi, M., Urrutia-Fucugauchi, J., Alva-Valdivia, L.M., Chaimanee, Y., Triamwichanon, S., and Jaeger, J. J. (2002). Magnetostratigraphy of the middle Miocene continental sedimentary sequences of the Mae Moh Basin in northern Thailand: Evidence for counterclockwise block rotation: *Earth and Planetary Science Letters*, 204, p. 373–383.
- Bolat, E., Saglam, S. and Piskin, P. (1998). Chemical demineralization of Turkish high ash bituminous coal. *Fuel Processing Technology*. 57: 93-99.
- Bykov, Y.V., Rybakov, K.I., Semenov, V.E. (2000) High-temperature microwave processing of materials. *Journal of Physics D: Applied Physics*. V. 34, R55 – R75.
- Chaodumrong, P. (1985). Sedimentological studies of some Tertiary deposits of Mae Moh Basin, Changwat Lampang [M.S. thesis]: Thailand, Department of Geology, Chulalongkorn University.
- Chen, T.T., Dutrac, J.E., Haque, K.E., Wysloouzil, W., Kashyap, S. (1984) The Relative Transparency of Minerals to Microwave radiation. *Canadian Metallurgical Quarterly*. V. 123(3). 349-351.
- Corsiri, R., and Crouch, A. (1985). Mae Moh coal deposit: Geologic report, Volume 1: Thailand/Australia Lignite Mines Development Project, EGAT, 448 p.
- Ge, L., Zhang, Y., Wang, Z., and Cen, K. (2013) Effects of Microwave Irradiation Treatment on Physicochemical Characteristics of Chinese Low-Rank Coals. *Journal Energy Conversion and Management*, V. 71. 84-91.
- Jiang, X.M., Cui, Z.G., Han, X.X., and Yu, H.L (2006) Thermogravimetric Investigation on Combustion Characteristics Oil Shale and High Sulphur Coal Mixture. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. V. 85. 761-764.
- Jones, D.A., Lelyveld, T.P, Mavrofidis, S.D., Kingman, S.W. and Miles, N.J. (2002) Microwave Heating Applications in Environmental Engineering- A Review. *Resources Conservation and Recycling*. V. 34. 75-90
- Jiwalak, N. (2002). Preparation and Characterization of Activated Carbon from Lignite Coal by Physical and Chemical Activation. M. Eng Thesis, Master of Engineering in Chemical Engineering, Suranaree University of Technology.

- Jorjani, E., Rezai, B., Vossoughi, and Osanloo, M. (2004) Desulfurization of Tabas Coal with Microwave Irradiation/Peroxyacetic Acid Washing at /25, 55 and 85 °C. *Journal Fuel*. V. 83, 943-949.
- Khamhom, P. (2013) Reducing of Impurities in Lignite from Mae Moh Coal Field Using Chemical Cleaning. M.S. Thesis, Suranaree University of Technology, Thailand.
- Khamhom, P., and Terakulsatit, B. (2014). Investigation into the reduction of sulfur and heavy metal from the Mae Moh coal field by chemical treatment. Conference Proceedings of International Conference on Advances in Civil Engineering for Sustainable Development, 27-29 August 2014.
- Kingman, S.W., Vorster, W., and Rowson, N.A. (2000) The Influence of Mineralogy on Microwave Assisted Grinding. *Minerals Engineering*, V. 13, No. 3. 313-327
- Lester, E. and Kingman, S. (2004) The Effect of Microwave Pre-heating on Five Different Coals. *Journal of Fuel*. V. 83. 1941-1947
- Li-Yeh, H. and Teng, H. (2000). Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bituminous coal. *Fuel processing Technology*. 64, p. 155-166.
- Lolji, S. M. (1999). A model for alkaline removal of sulfur from a low-rank coal. *Fuel processing technology*. 60, 185-194
- Marland, S., Han, B., Merchant, A. and Rowson, N. (2000) The Effect of Microwave Radiation on Coal Grindability. *Fuel*. V. 79. 1283-1288
- Mohamed, W. (2008) Desulphurisation of South African Coal Using Low Power Microwave Energy. M. Eng. Thesis, University of Witwatersrand, Johannesburg.
- Otowa, T., Tanibata, R. and Itoh, M. (1993). Production and adsorption characteristics of maxsorb: high-surface-area active carbon. *Gas separation & purification*. 7(4). 241-245.
- Prien, C.H. (1974). *Current Oil Shale Technology: A Summary*. Guidebook to the Energy Resources of the Piceance Creek Basin, Colorado, 141-150.
- Sompong, W., Springbelt, G.M., and Evans, P.R. (1996). Lignitemine development project, Mae Moh coal deposit: Geological Report, prepared by the Australian Agency for International Development (AusAID)/ Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT)/ Landslide Mitigation Demonstration Project (LMDP) Phase III.

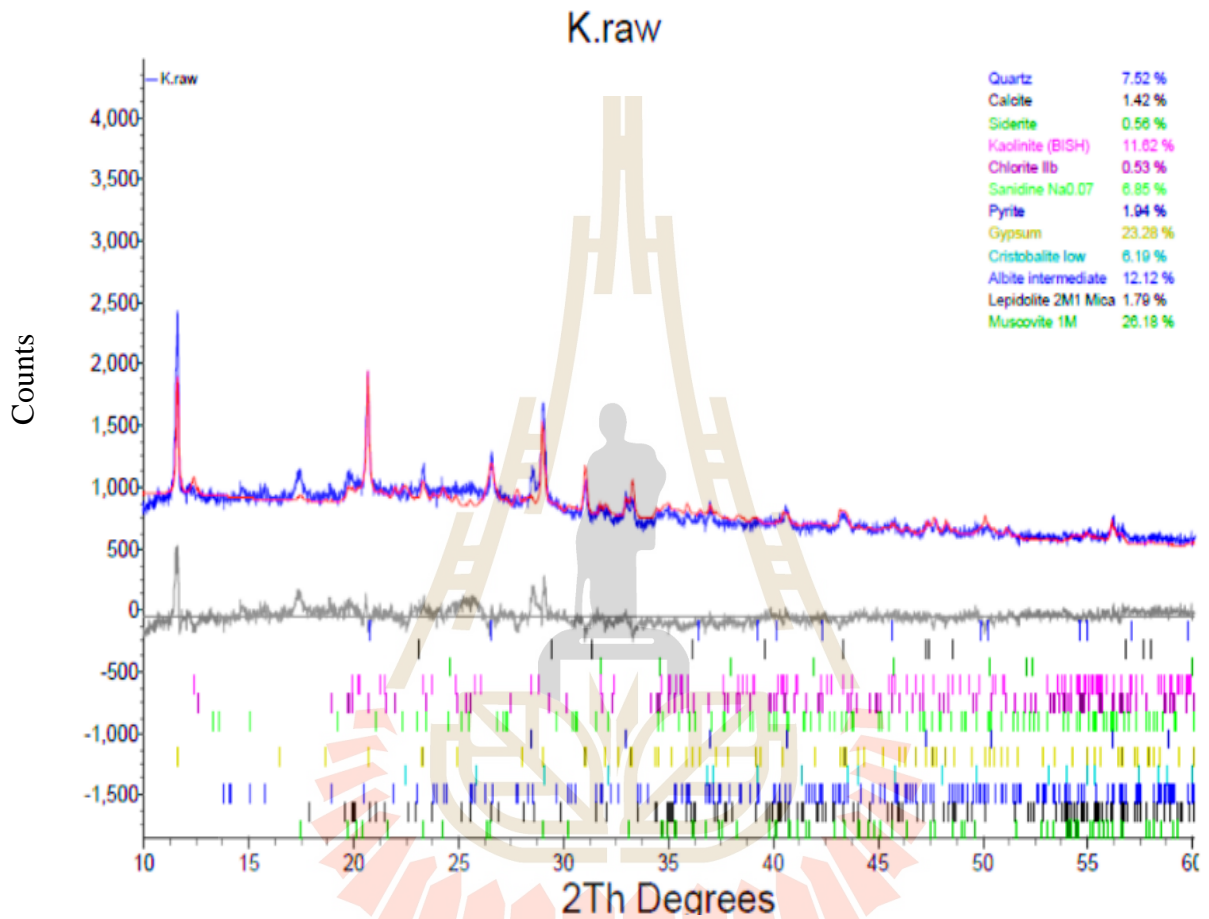
- Steel, K.M and Patrick, J.W. (2001). The production of ultra clean coal by chemical demineralization. Fuel Journal. V.80, Issue 14, November 2001, 2019-2023
- Sur, S., Soreghan, M., Soreghan, G., and Stagner, A. (2010). Extracting the silicate mineral fraction from ancient carbonate. Assessing the Geologic Record of Dust. Journal of Sedimentary Research, v. 80, 763-769
- Terakulsatit, B. (2017). Desulfurization of Mae Moh Coal from Thailand by Leaching with Sodium Hydroxide and Potassium Hydroxide. Asian Journal of Applied Sciences (ISSN: 2321 – 0893). V. 5, Issue 01, February 2017. 46-51.
- Usla, T. and Ataley, U. (2003) Microwave Heating of Coal for Enhanced Magnetic Removal of Pyrite. Fuel Processing Technology. V. 85. 21-29



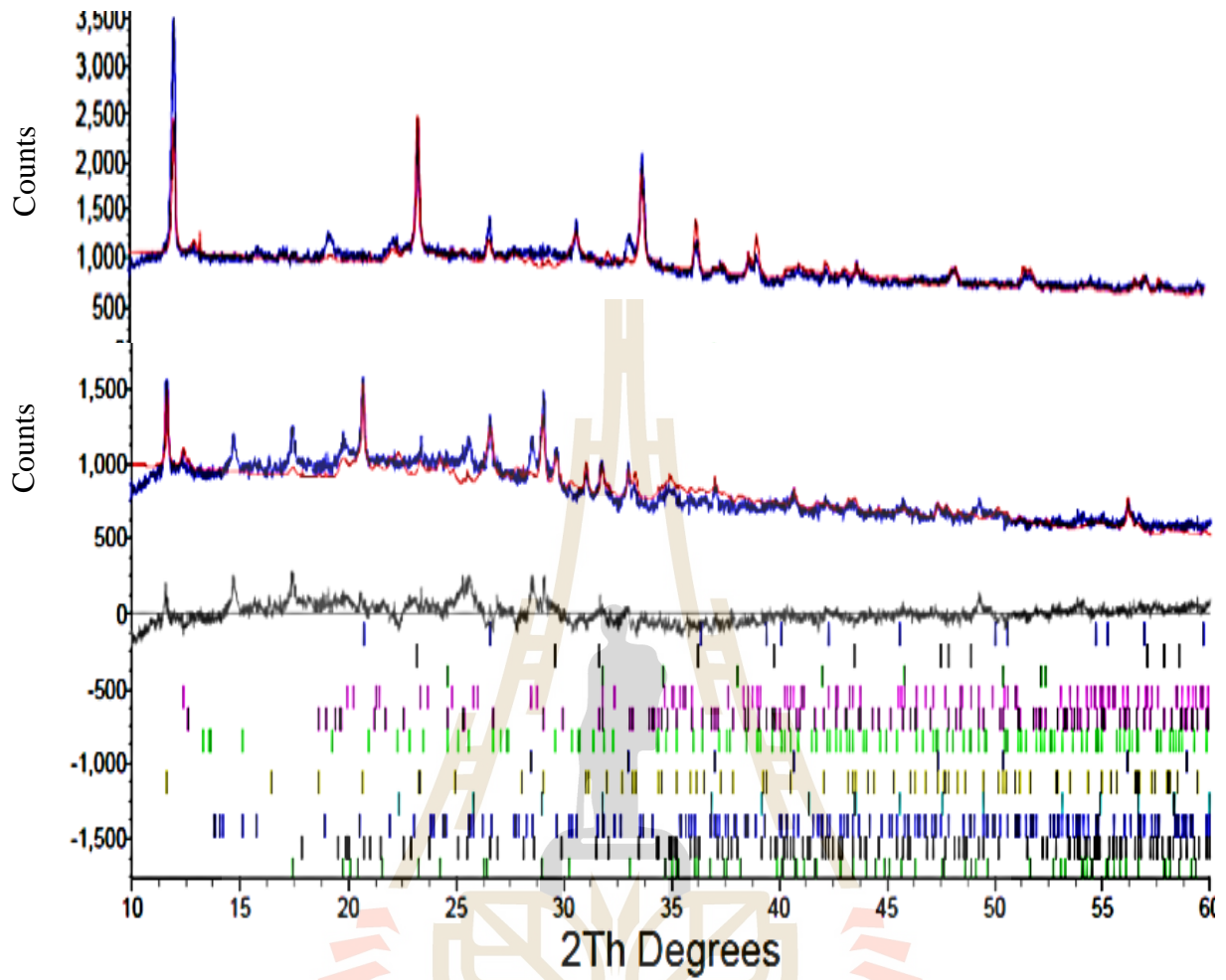


ภาคผนวก ก

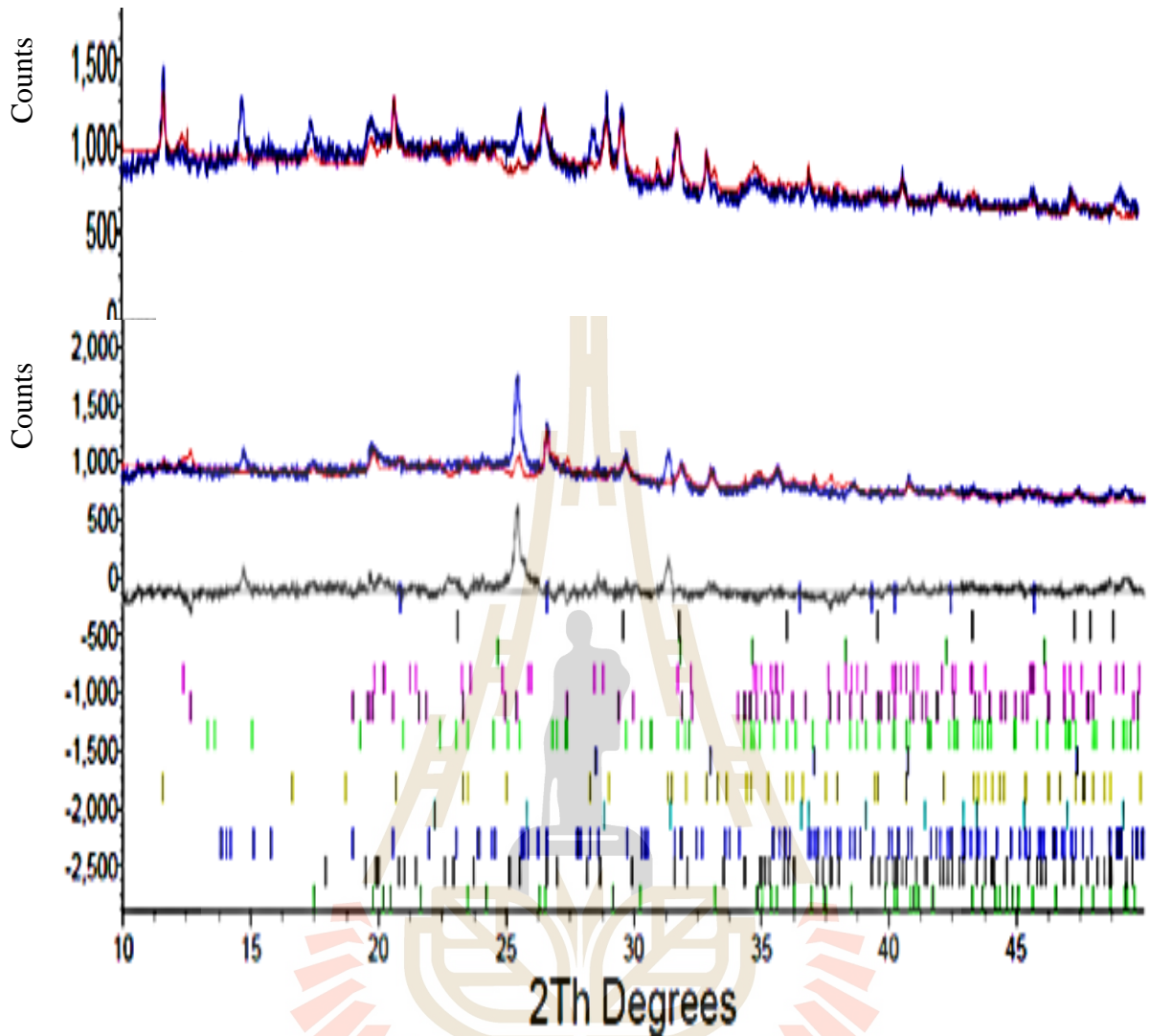
ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD)



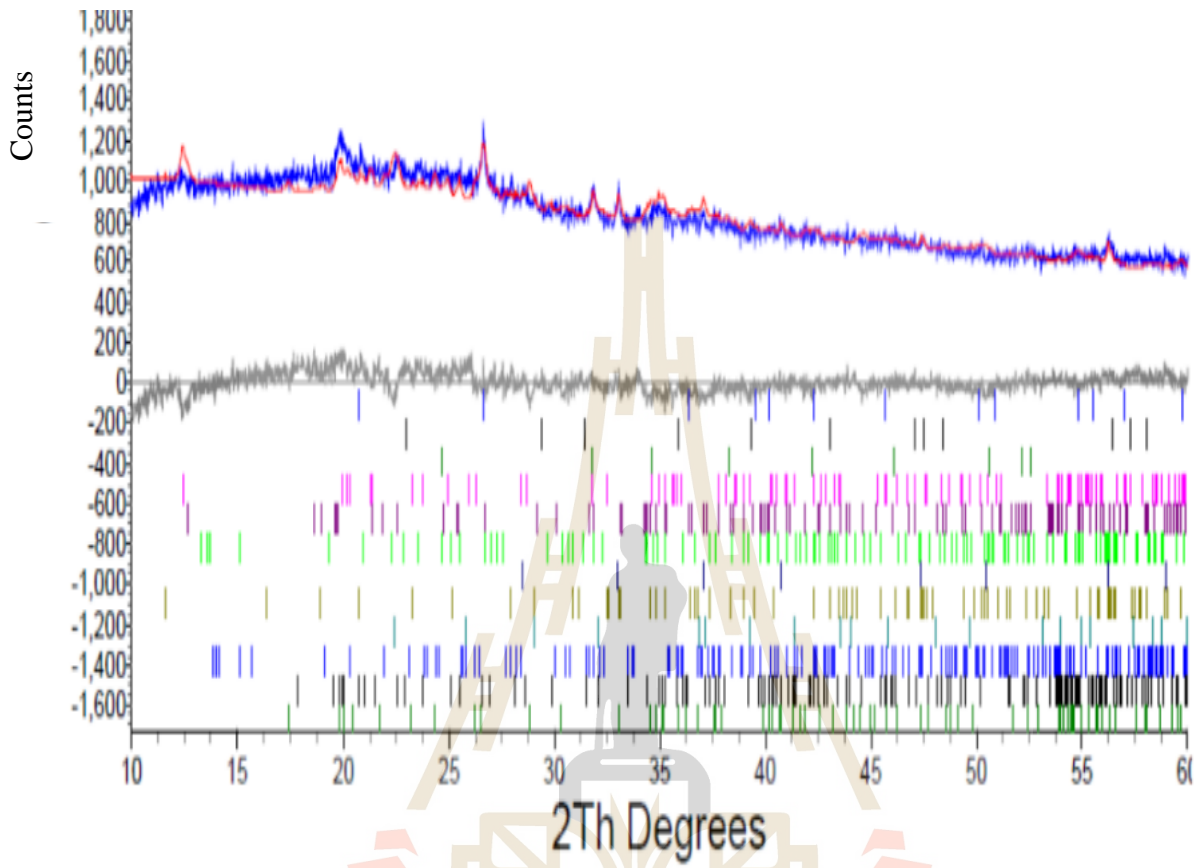
รูปที่ ก_1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วยสารเคมี



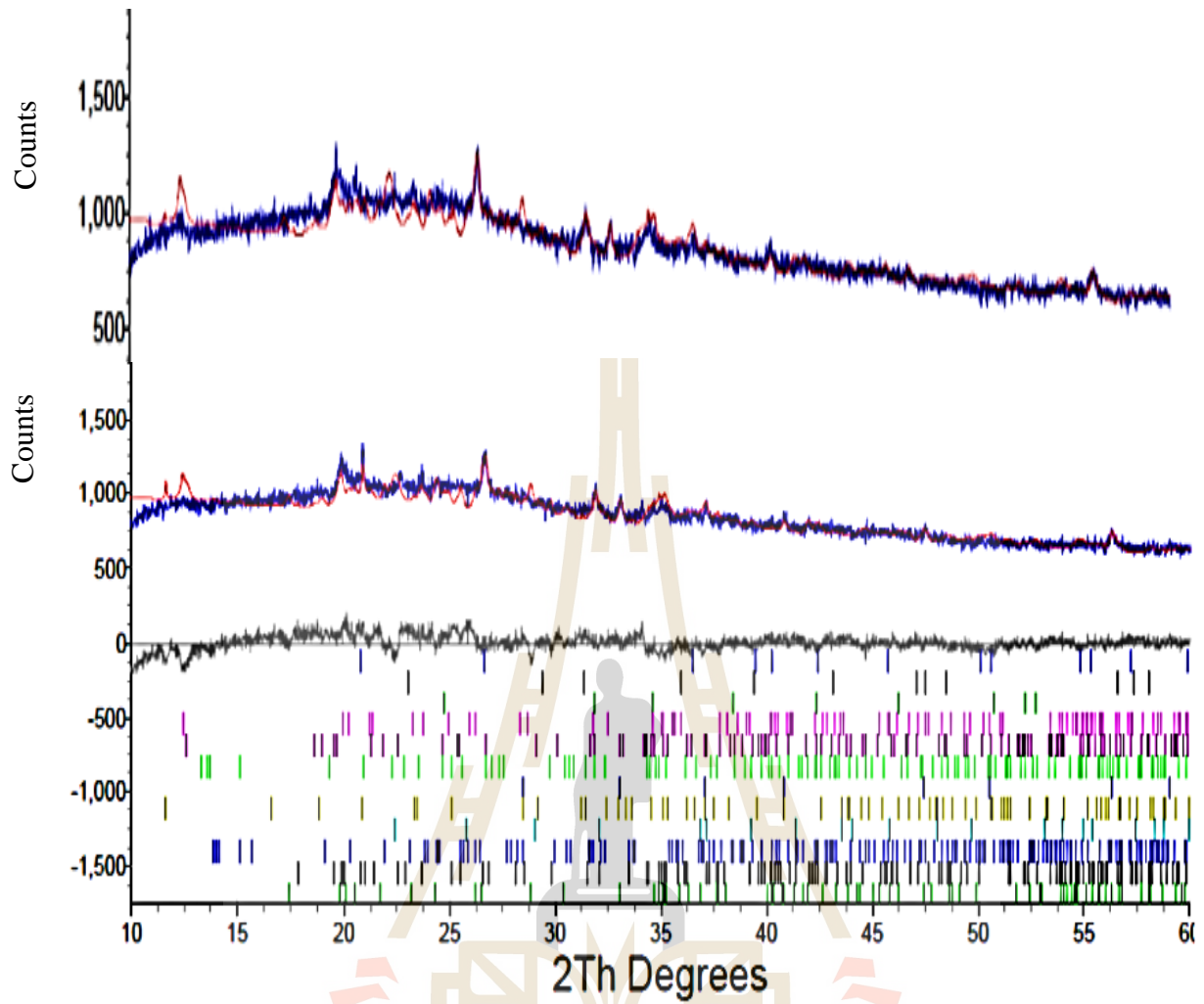
รูปที่ ก_2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วยสารเคมี และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที



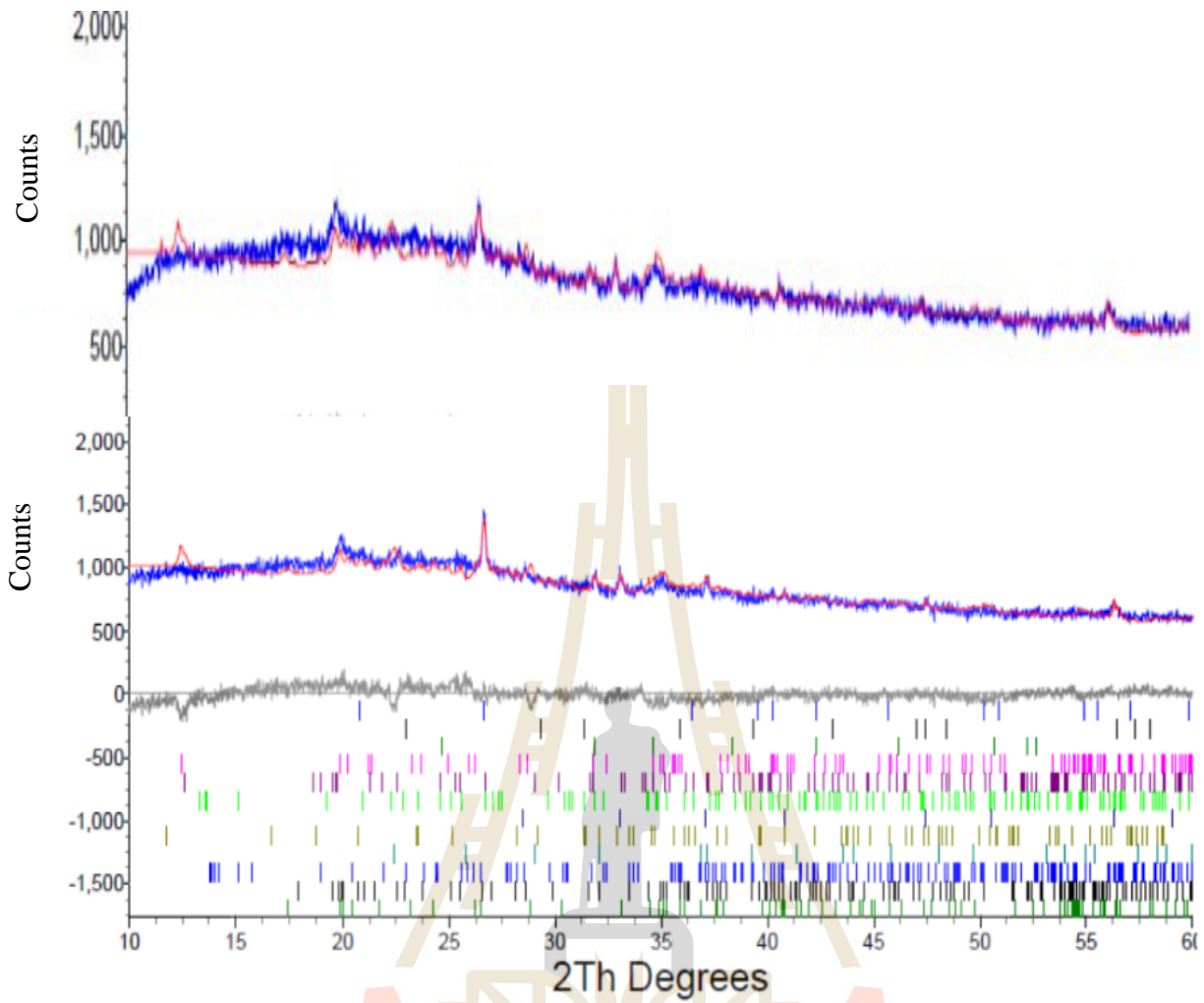
รูปที่ ก_3 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ก่อนการล้างด้วย สารเคมี และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที



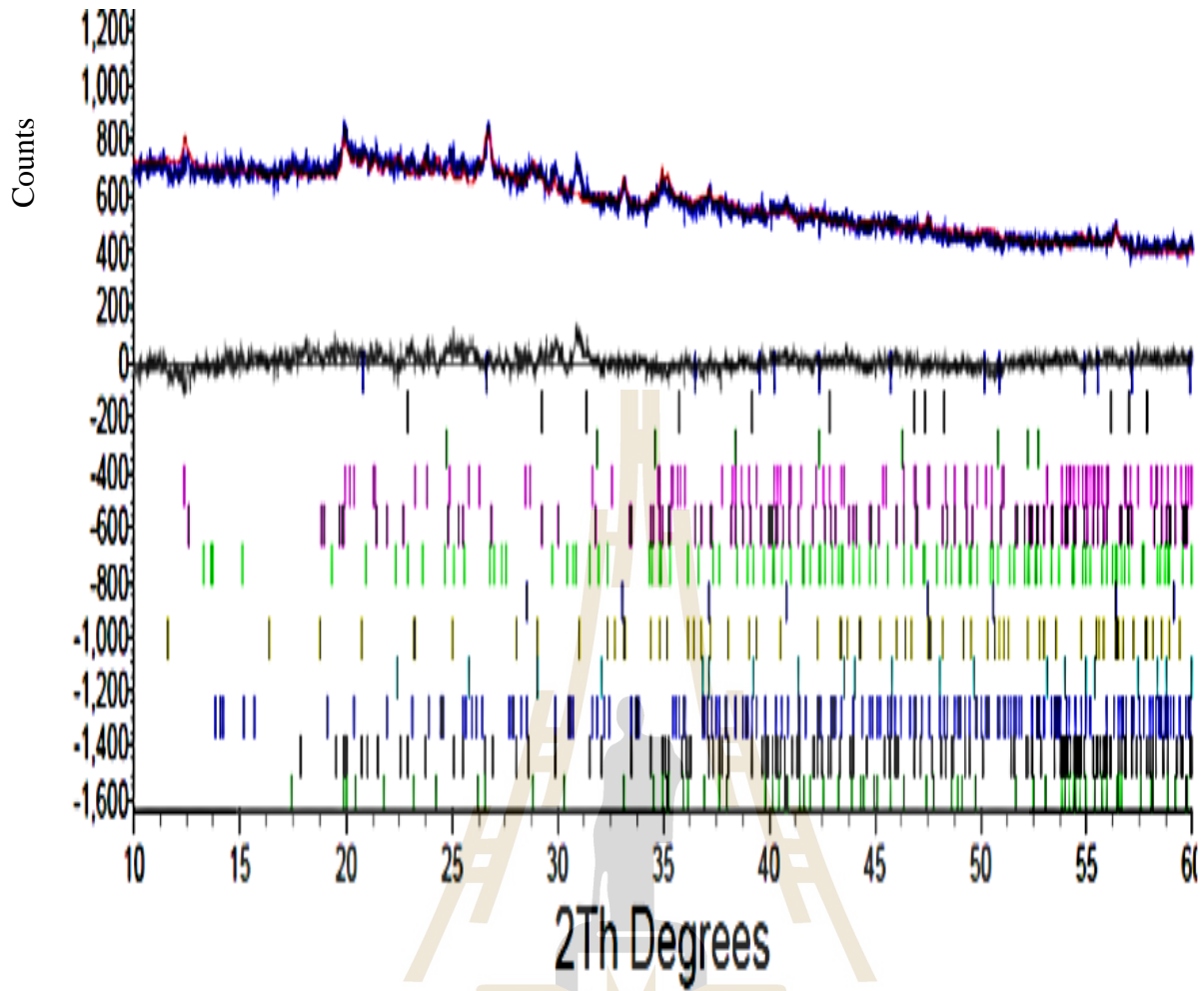
รูปที่ ก_4 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์



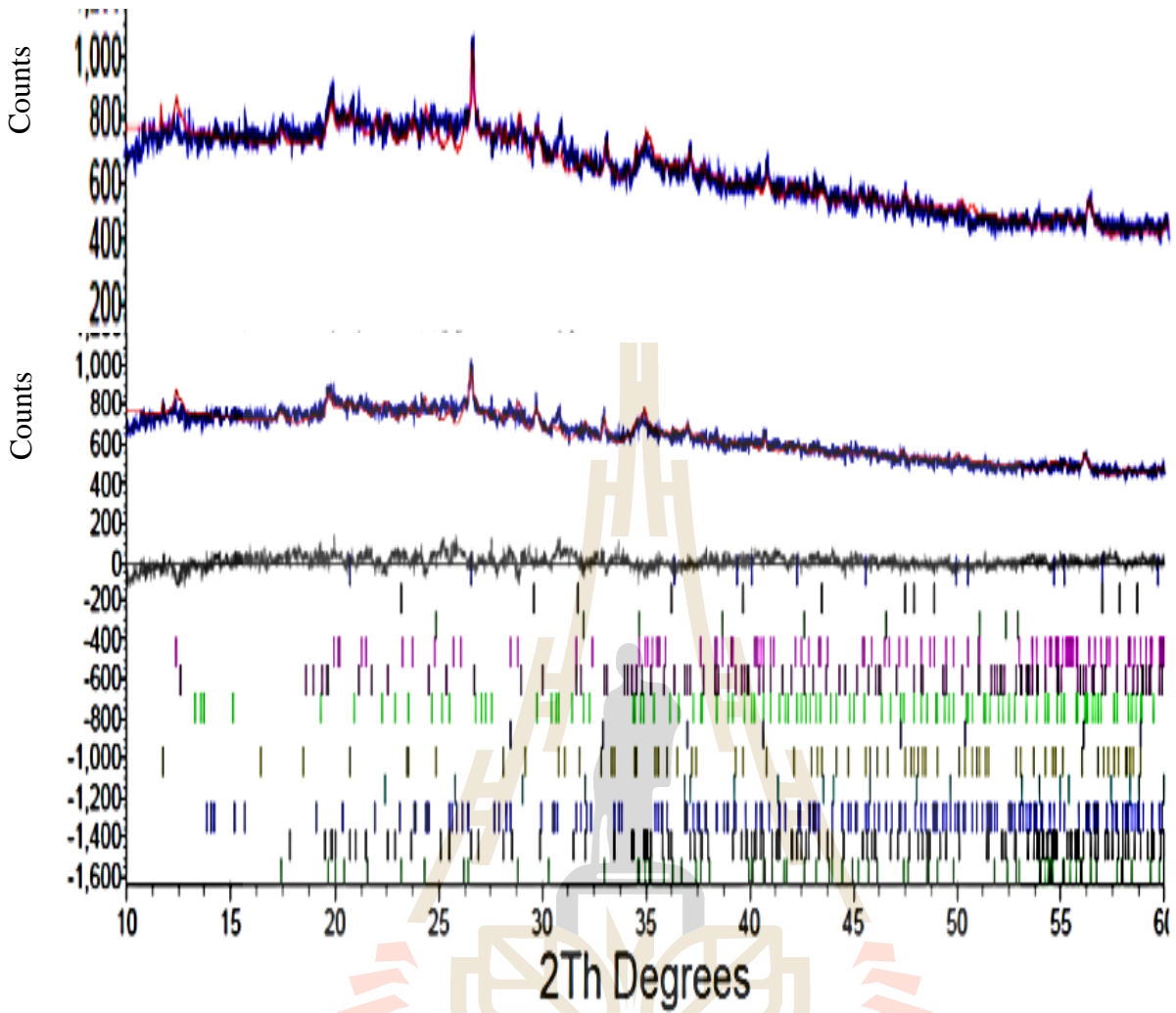
รูปที่ ก_5 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเดี่ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที



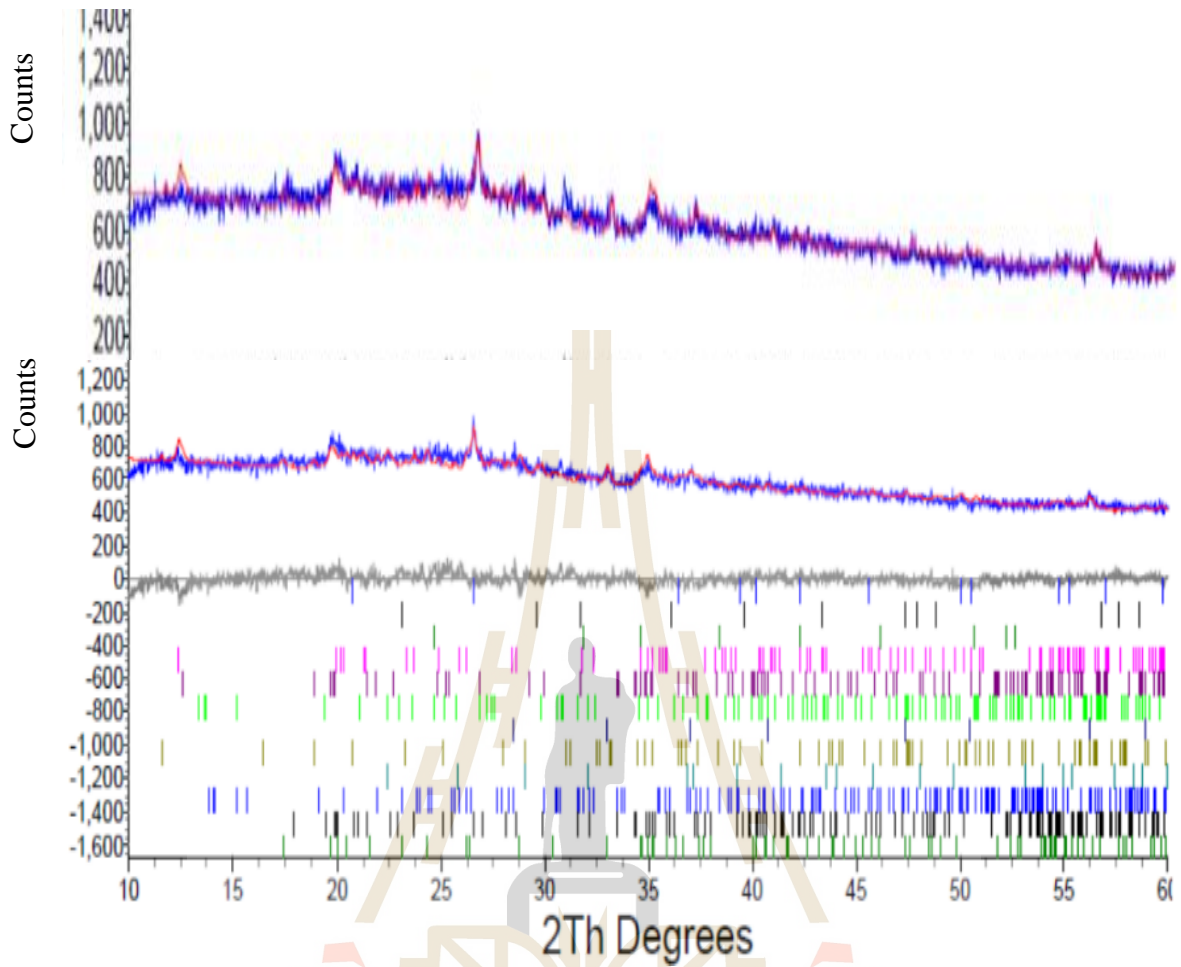
รูปที่ ก_6 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที



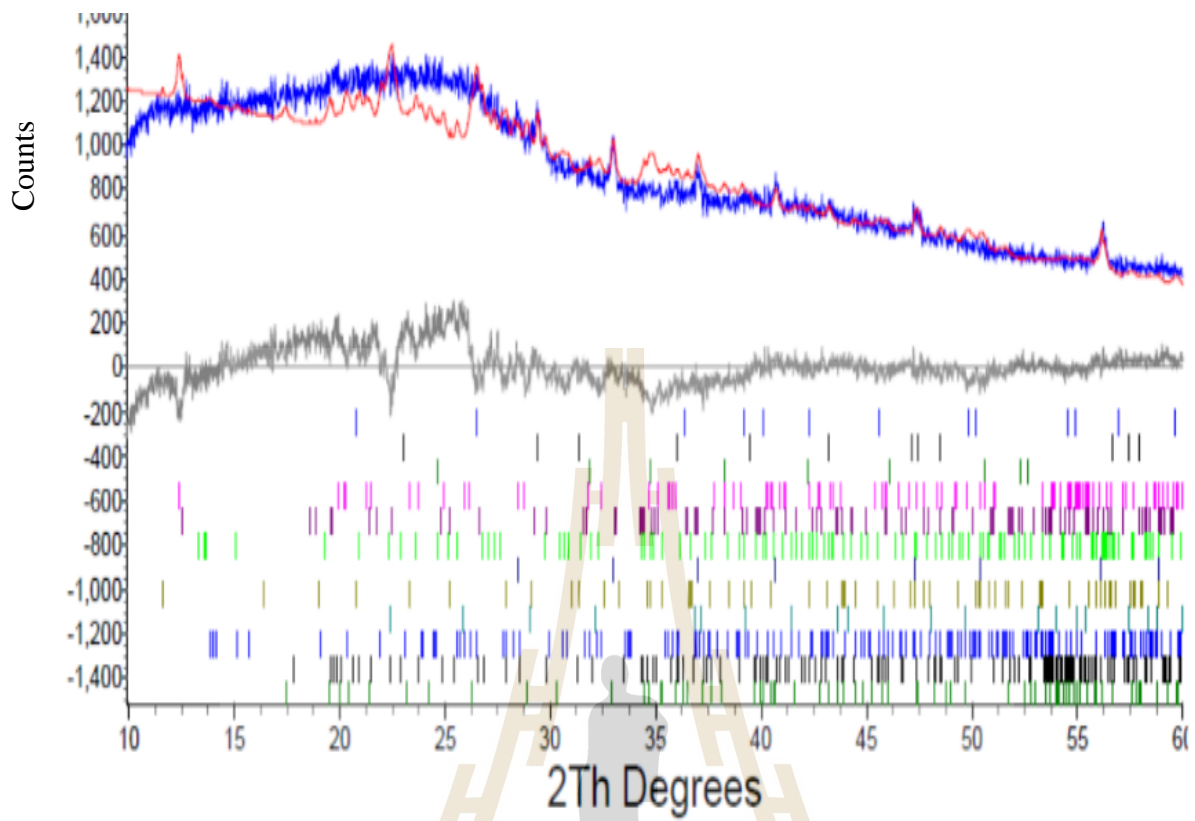
รูปที่ ก_7 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โพลีเอทิลีนไกลคอล



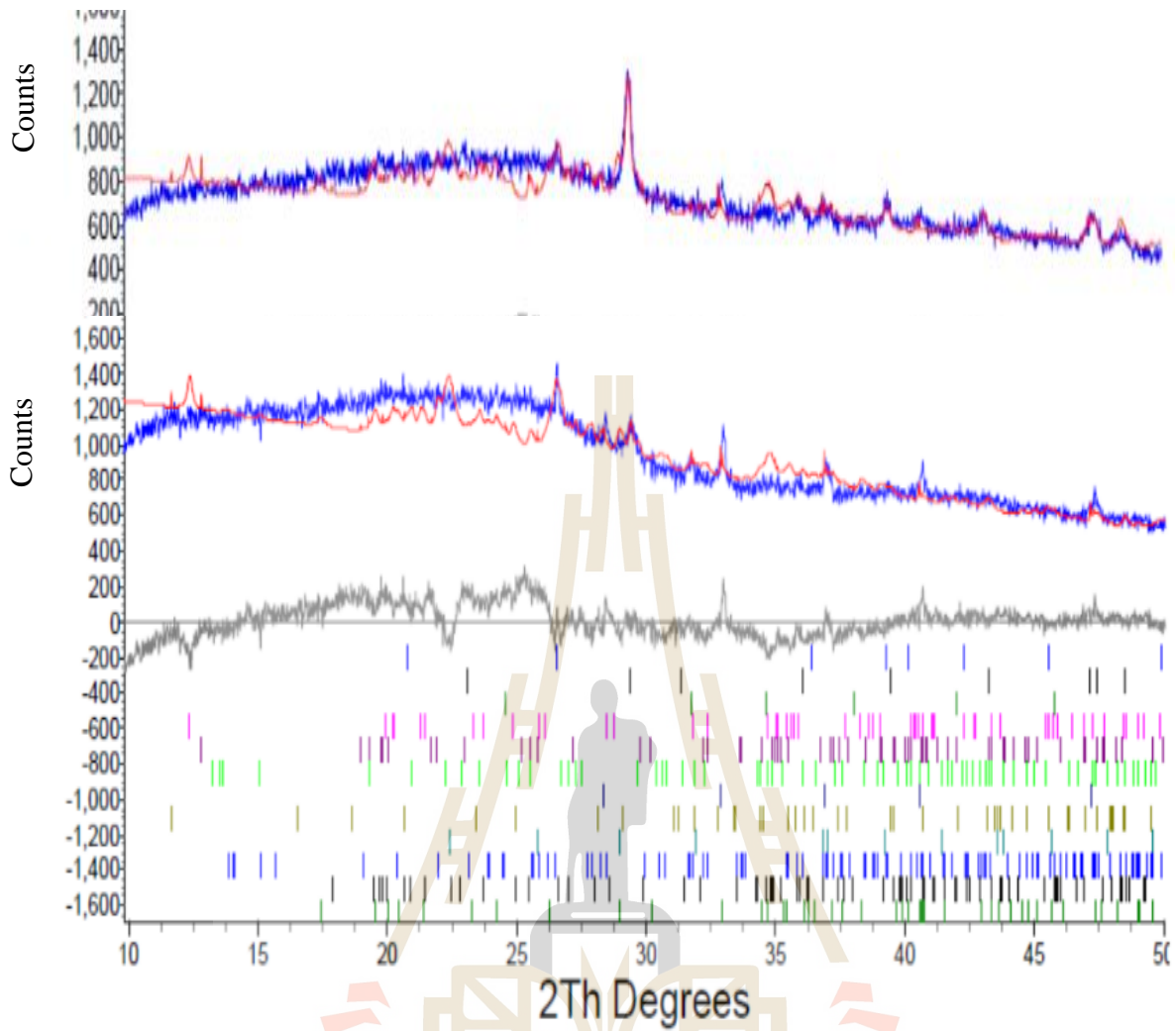
รูปที่ ก_8 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที



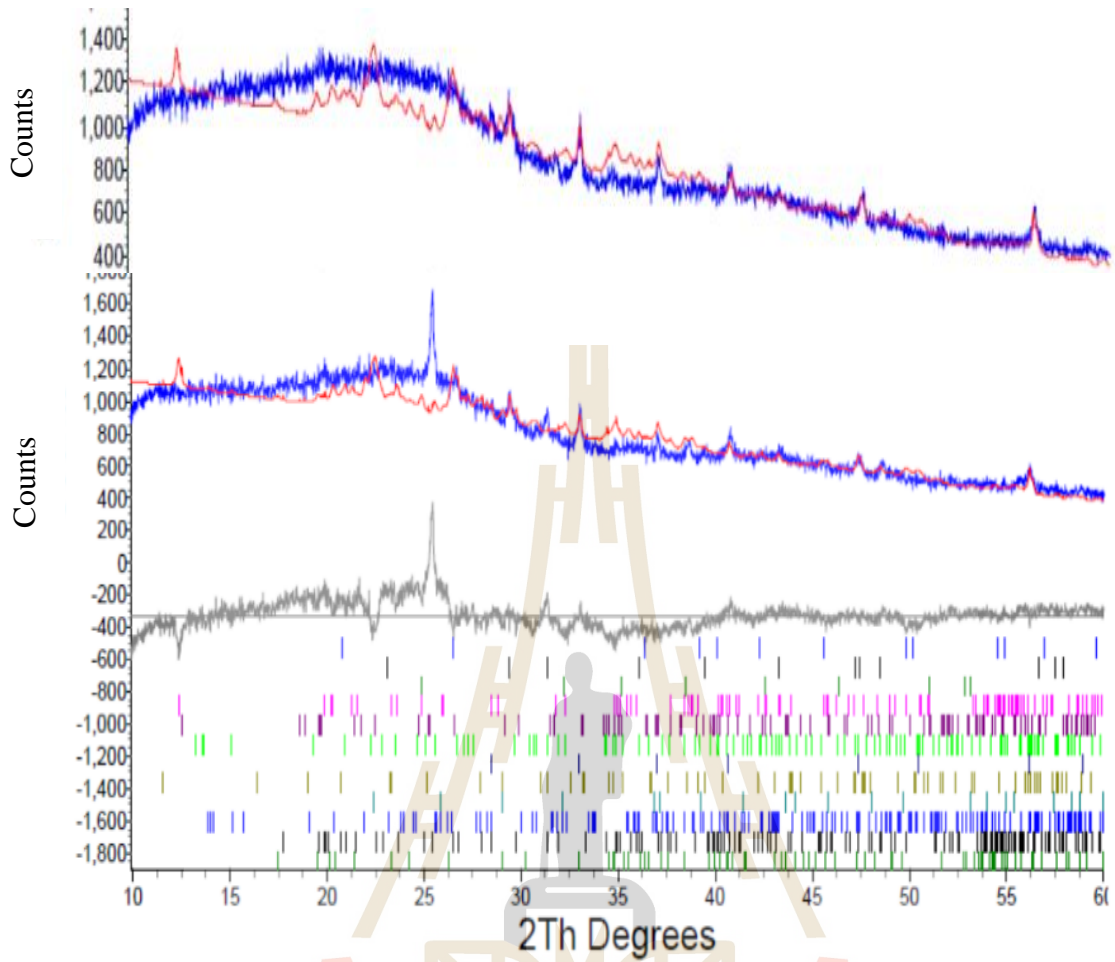
รูปที่ ก_9 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น K ที่ล้างด้วย โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที



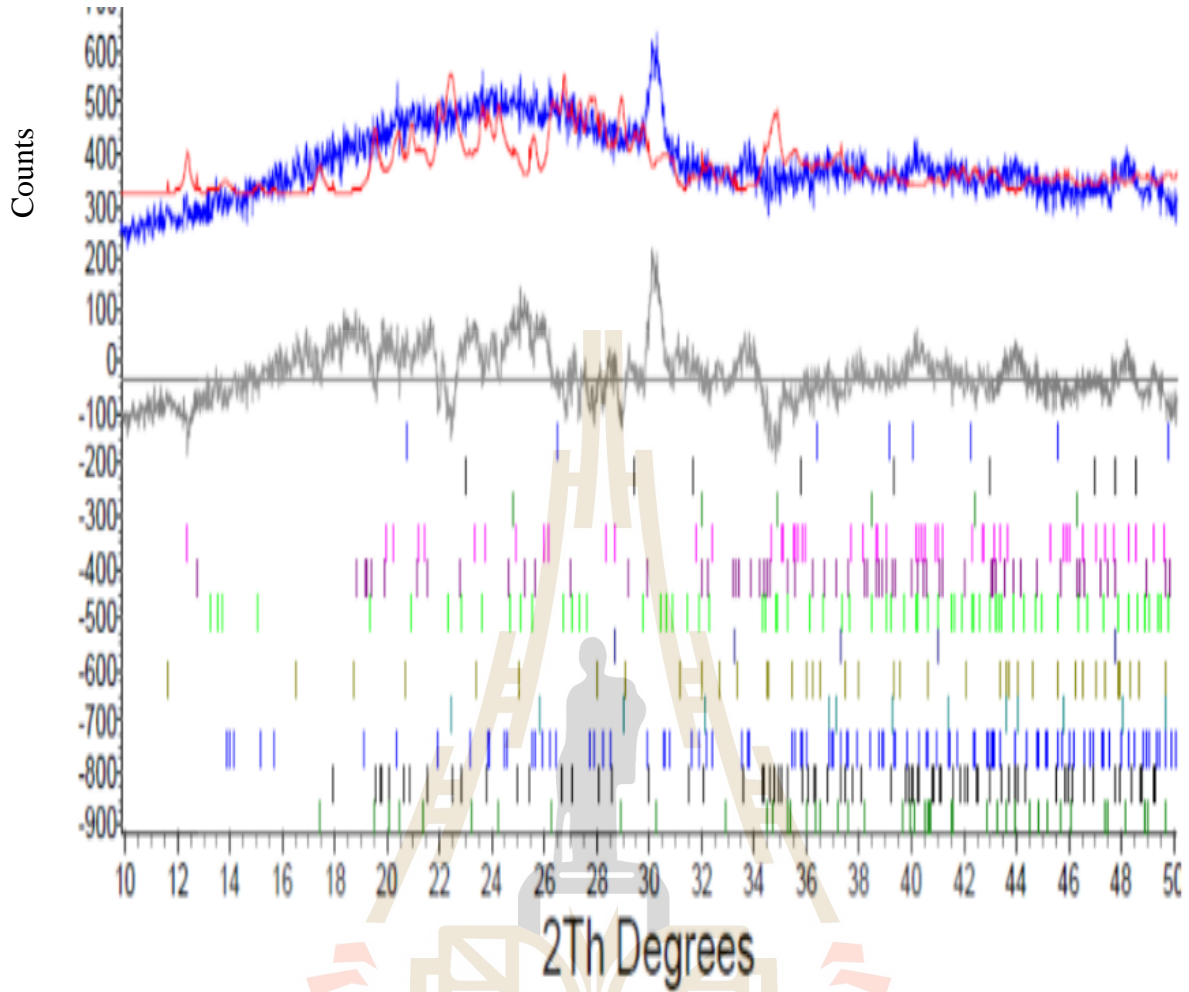
รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี



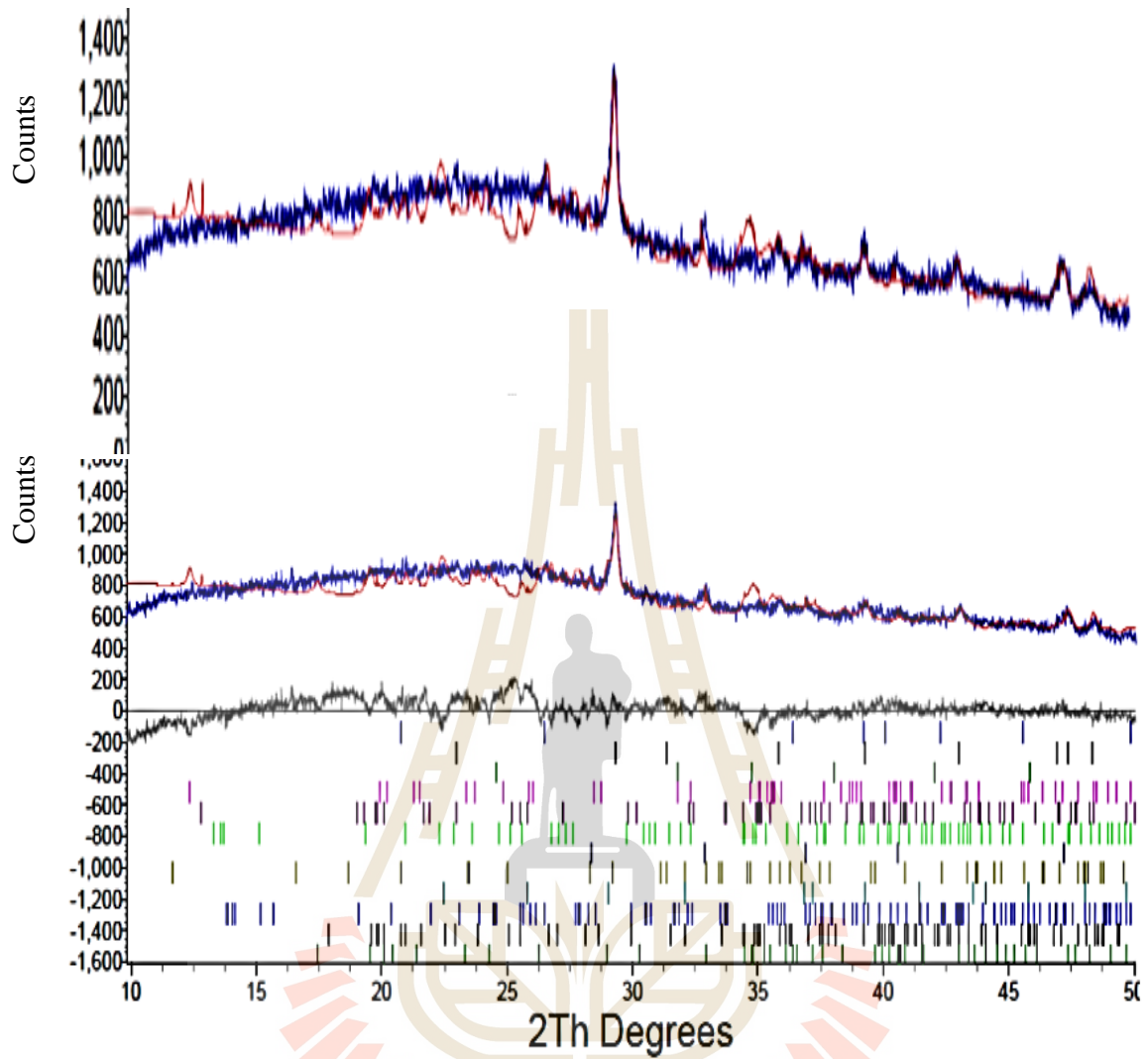
รูปที่ ก_11 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วย สารเคมี และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที



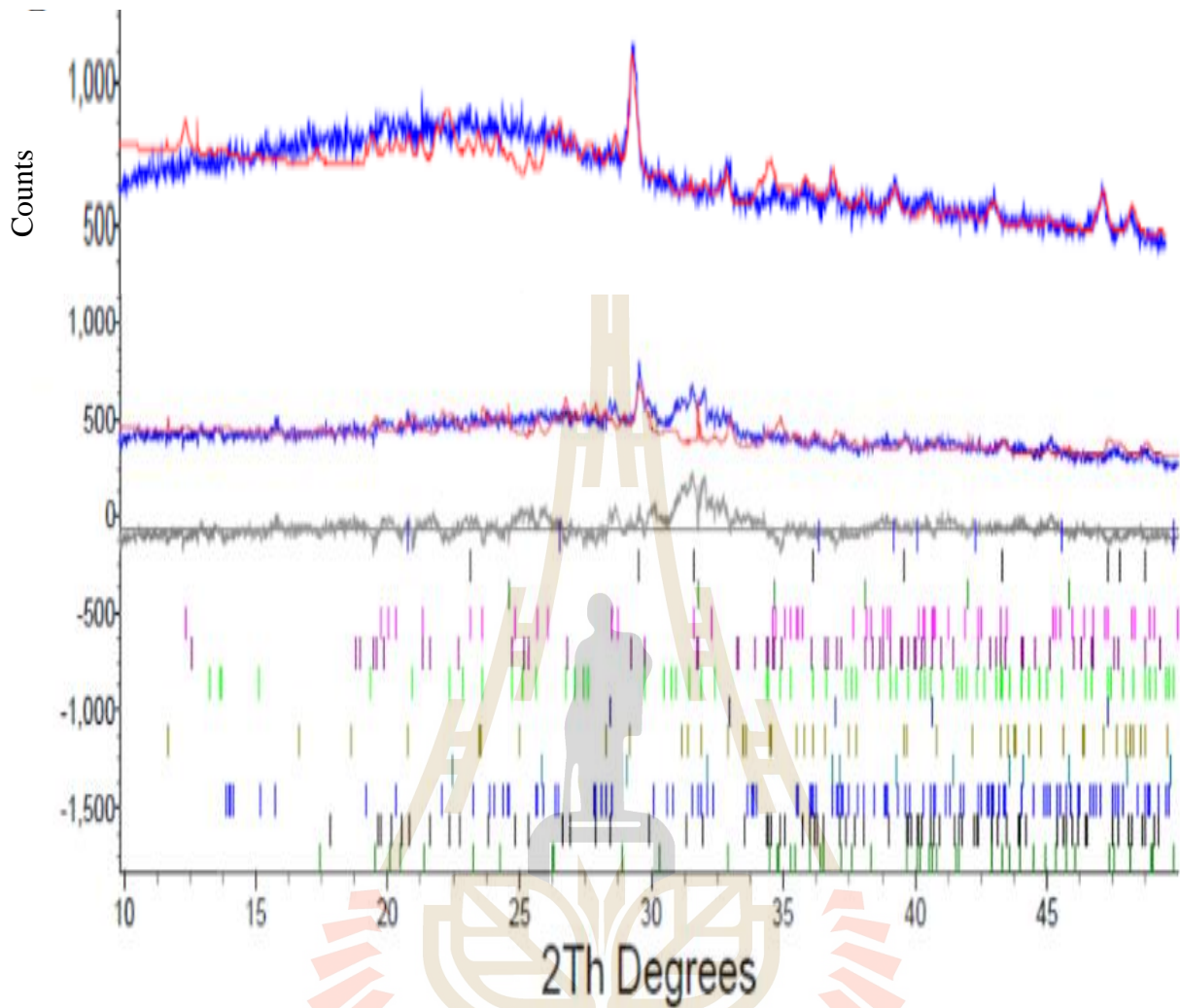
รูปที่ ก_12 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ก่อนการล้างด้วยสารเคมี และผ่านรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที



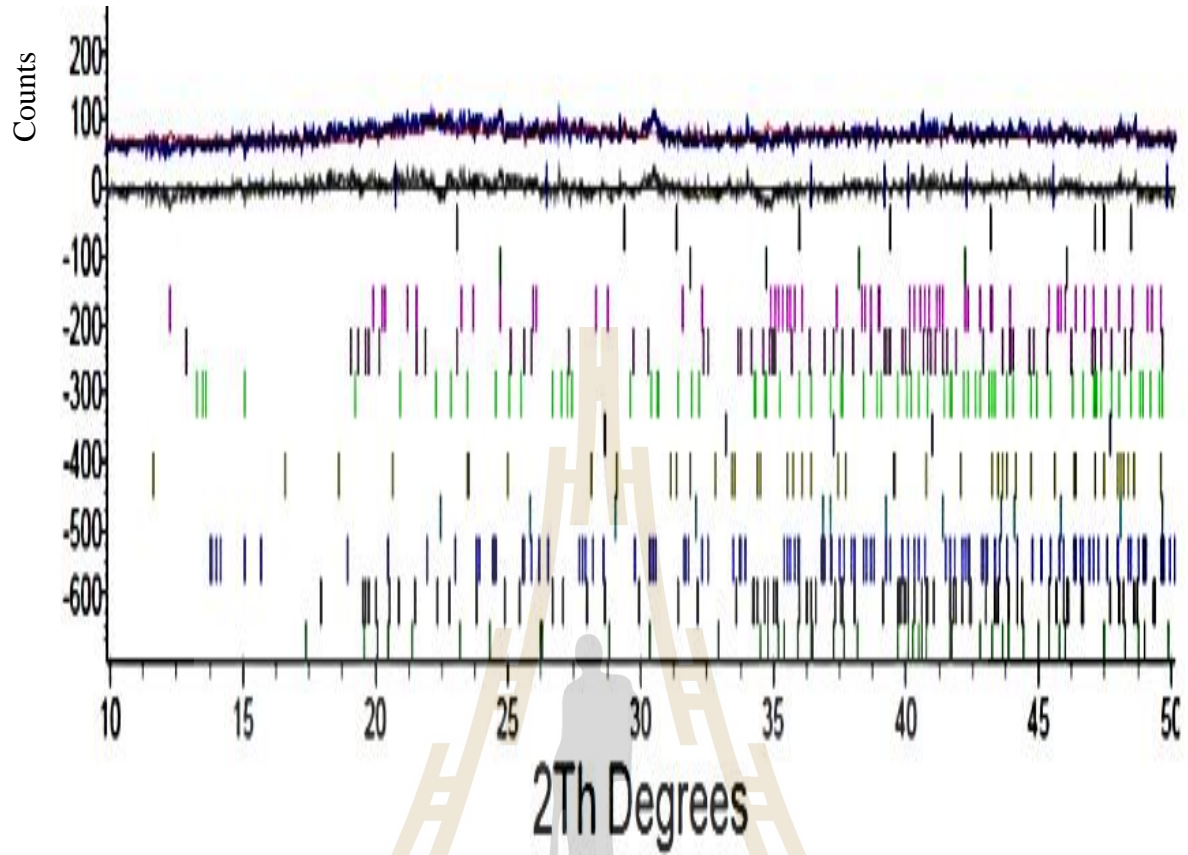
รูปที่ ก_13 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์



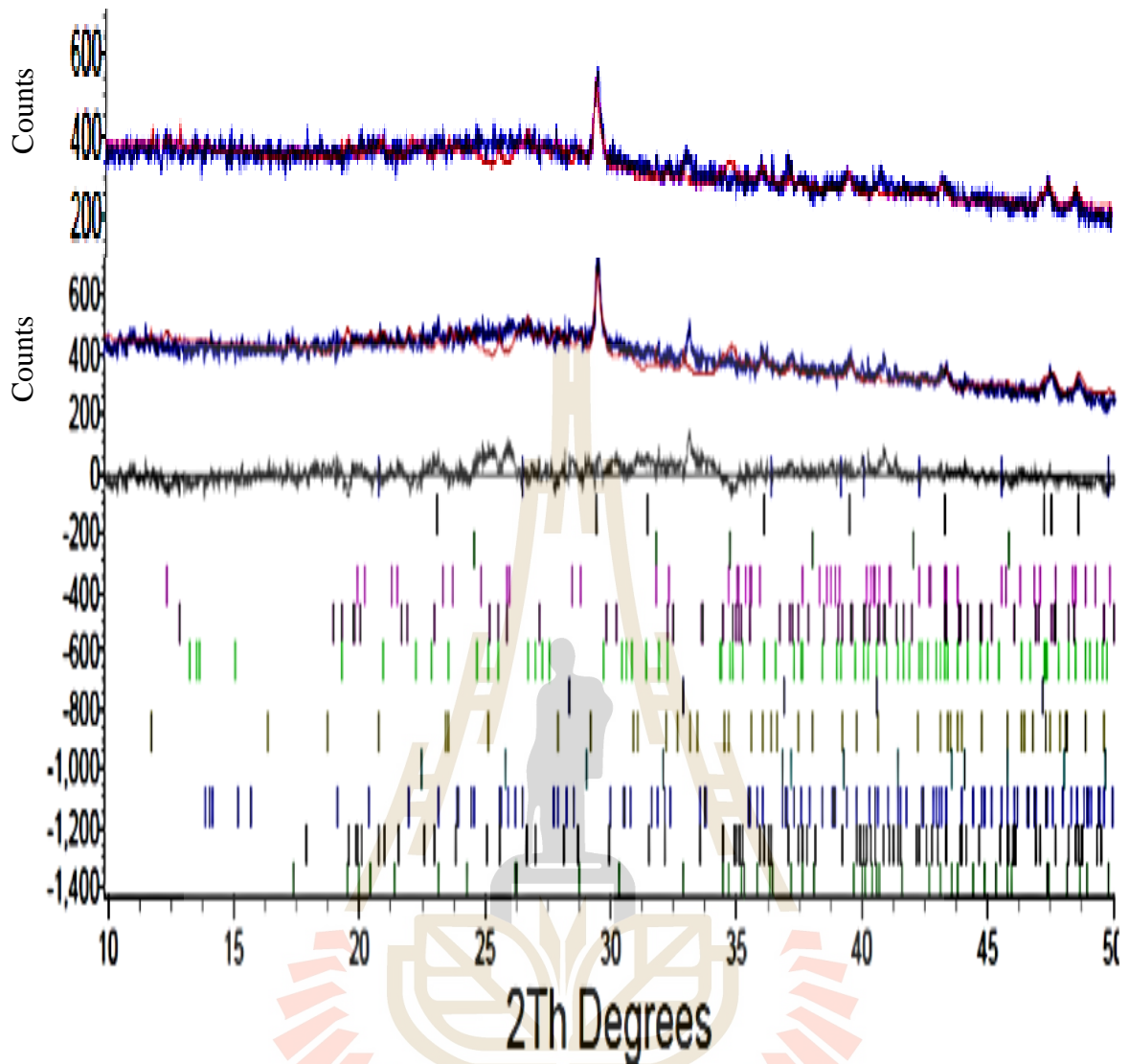
รูปที่ ก_14 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที



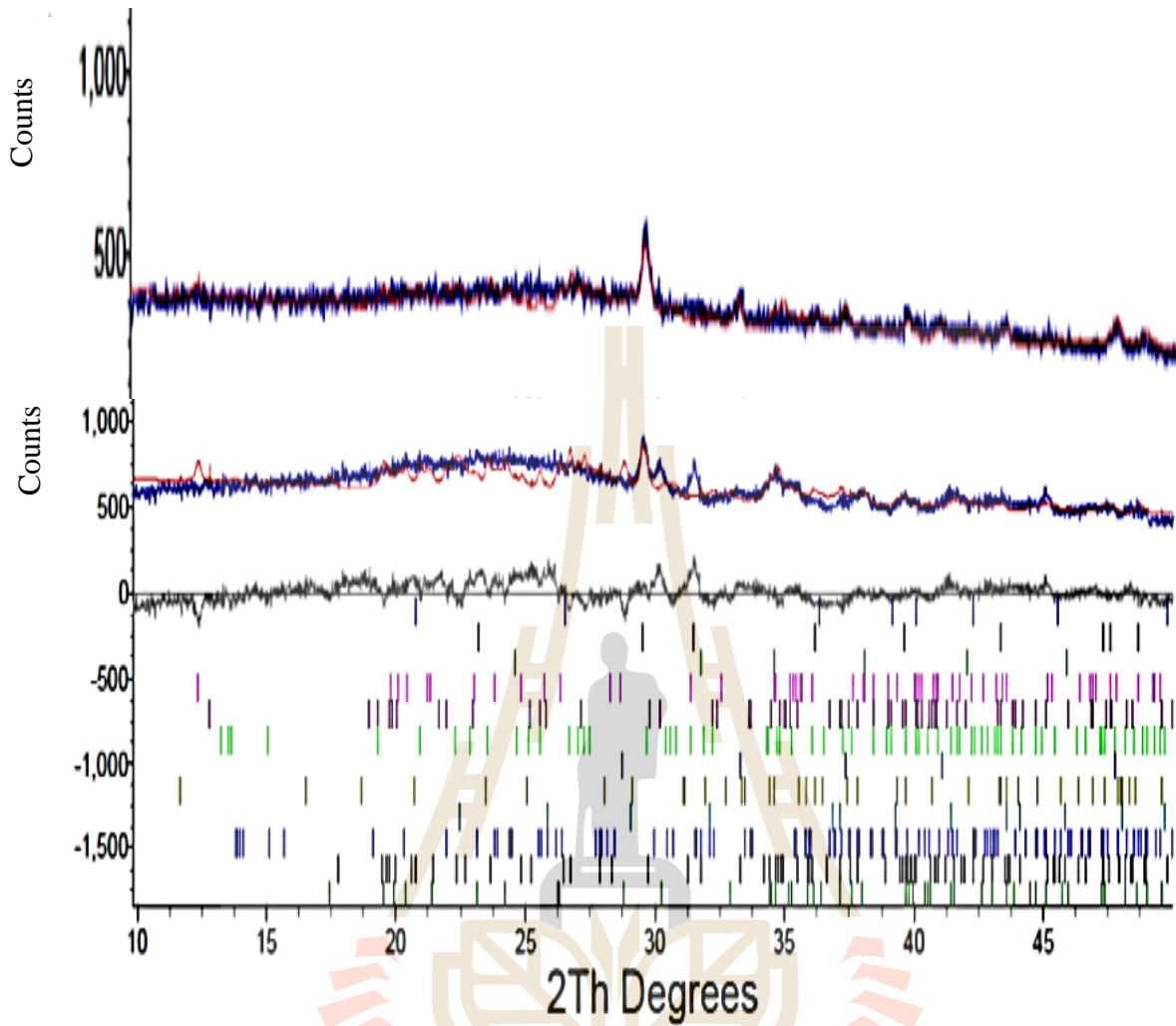
รูปที่ ๑๕ ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที



รูปที่ ก_16 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วย โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์



รูปที่ ก_17 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วย โฟโตนีเซียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที



รูปที่ ก_18 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบนของถ่านหินชั้น Q ที่ล้างด้วย โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์และผ่านรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 5 และ 10 นาที

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis) ด้วยเครื่อง LECO TGA-701

ตารางที่ ข_1 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น K (ตัวอย่าง K, K 300W 5 min, K 300W 10 min, K 600W 5 min และ K 600W 10 min)

NO.	รายการทดสอบ	วิธีการ/ เครื่องมือที่ใช้ ในการทดสอบ	ผลการทดสอบ				
			ชื่อตัวอย่าง: K	ชื่อตัวอย่าง: K 300W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: K 300W 10 min	ชื่อตัวอย่าง: K 600W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: K 600W 10 min
ลักษณะหรือสภาพตัวอย่าง: ผงละเอียดสีดำ							
1	Moisture (%)	Moisture at 105°C	11.1	10.5	9.8	9.5	8.1
2	Ash (%)	Ash at 750°C	21.5	21.5	21.4	21.6	29.9
3	Volatile matter (%)	Volatile matter at 950°C	37.9	40.0	40.8	40.8	34.6
4	Fixed Carbon (%)	Fixed Carbon	27.7	28.0	28.0	28.1	27.4

ตารางที่ ข_2 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น K หลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
(ตัวอย่าง K NaOH, K NaOH 300W 5 min, K NaOH 300W 10 min, K NaOH 600W 5 min และ K NaOH 600W 10 min)

NO.	รายการทดสอบ	วิธีการ/เครื่องมือ ที่ใช้ในการ ทดสอบ	ผลการทดสอบ				
			ชื่อตัวอย่าง: K NaOH	ชื่อตัวอย่าง: K NaOH 300W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: K NaOH 300W 10 min	ชื่อตัวอย่าง: K NaOH 600W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: K NaOH 600W 10 min
			ลักษณะหรือสภาพตัวอย่าง: ผงละเอียดสีดำ				
1	Moisture (%)	Moisture at 105°C	11.8	12.5	12.5	12.3	12.7
2	Ash (%)	Ash at 750°C	27	26.9	26.7	26.7	26.4
3	Volatile matter (%)	Volatile matter at 950°C	37.3	37.1	37.1	37.4	37.6
4	Fixed Carbon (%)	Fixed Carbon	23.9	23.5	23.7	23.6	23.3

ตารางที่ ข_3 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น K หลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ตัวอย่าง K KOH, K KOH 300W 5 min, K KOH 300W 10 min, K KOH 600W 5 min และ K KOH 600W 10 min)

NO.	รายการทดสอบ	วิธีการ/เครื่องมือ ที่ใช้ในการ ทดสอบ	ผลการทดสอบ				
			ชื่อตัวอย่าง: K KOH	ชื่อตัวอย่าง: K KOH 300W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: K KOH 300W 10 min	ชื่อตัวอย่าง: K KOH 600W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: K KOH 600W 10 min
			ลักษณะหรือสภาพตัวอย่าง: ผงละเอียดสีดำ				
1	Moisture (%)	Moisture at 105°C	10.9	11.2	11.2	11	10.7
2	Ash (%)	Ash at 750°C	29.3	29.3	29.1	29.3	29.6
3	Volatile matter (%)	Volatile matter at 950°C	37.2	37.2	37.4	37.1	38
4	Fixed Carbon (%)	Fixed Carbon	22.6	22.3	22.3	22.6	21.7

ตารางที่ ข_4 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น Q (ตัวอย่าง Q, Q 300W 5 min, Q 300W 10 min, Q 600W 5 min และ Q 600W 10 min)

NO.	รายการทดสอบ	วิธีการ/เครื่องมือ ที่ใช้ในการ ทดสอบ	ผลการทดสอบ				
			ชื่อตัวอย่าง: Q	ชื่อตัวอย่าง: Q 300W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: Q 300W 10 min	ชื่อตัวอย่าง: Q 600W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: Q 600W 10 min
			ลักษณะหรือสภาพตัวอย่าง: ผงละเอียดสีดำ				
1	Moisture (%)	Moisture at 105°C	13.7	12.8	12.6	12.4	10.9
2	Ash (%)	Ash at 750°C	9.3	9.6	10.2	9.8	14.2
3	Volatile matter (%)	Volatile matter at 950°C	41.7	42.2	43.4	43.6	38.7
4	Fixed Carbon (%)	Fixed Carbon	35.3	35.4	33.8	34.2	36.2

ตารางที่ ข_5 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น Q หลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
(ตัวอย่าง Q NaOH, Q NaOH 300W 5 min, Q NaOH 300W 10 min, Q NaOH 600W 5 min และ Q NaOH 600W 10 min)

NO.	รายการทดสอบ	วิธีการ/เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	ผลการทดสอบ				
			ชื่อตัวอย่าง: Q NaOH	ชื่อตัวอย่าง: Q NaOH 300W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: Q NaOH 300W 10 min	ชื่อตัวอย่าง: Q NaOH 600W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: Q NaOH 600W 10 min
			ลักษณะหรือสภาพตัวอย่าง:ผงละเอียดสีดำ				
1	Moisture (%)	Moisture at 105°C	15.6	16.7	17	16.1	12.8
2	Ash (%)	Ash at 750°C	20.6	20.1	20	20.5	26.3
3	Volatile matter (%)	Volatile matter at 950°C	38.9	38.7	37.9	38.8	32.5
4	Fixed Carbon (%)	Fixed Carbon	24.9	24.5	25.1	24.6	28.4

ตารางที่ ข_6 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านหินชั้น Q หลังปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านรังสีไมโครเวฟ โดยการล้างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
(ตัวอย่าง Q KOH, Q KOH 300W 5 min, Q KOH 300W 10 min, Q KOH 600W 5 min และ Q KOH 600W 10 min)

NO.	รายการทดสอบ	วิธีการ/เครื่องมือ ที่ใช้ในการ ทดสอบ	ผลการทดสอบ				
			ชื่อตัวอย่าง: Q KOH	ชื่อตัวอย่าง: Q KOH 300W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: Q KOH 300W 10 min	ชื่อตัวอย่าง: Q KOH 600W 5 min	ชื่อตัวอย่าง: Q KOH 600W 10 min
			ลักษณะหรือสภาพตัวอย่าง: ผงละเอียดสีดำ				
1	Moisture (%)	Moisture at 105°C	14.2	14.7	15	14.6	12.6
2	Ash (%)	Ash at 750°C	24.7	24.4	24.1	24.6	29.2
3	Volatile matter (%)	Volatile matter at 950°C	38.1	37.3	38.3	37.6	34.1
4	Fixed Carbon (%)	Fixed Carbon	23	23.6	22.6	23.2	24.1

ประวัตินักวิจัย

นางบัณฑิตา ชีระกุลสถิตย์ เกิดวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2518 ที่จังหวัดนครพนม ได้สำเร็จปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และได้สำเร็จปริญญาเอก สาขาวิชาธรณีวิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

