



รายงานการวิจัย

การทดสอบการลดปริมาณซัลเฟอร์และกำมะถันจากกระบวนการเผา

ไหม้ถ่านหินโดยการล้างด้วยสารเคมี

(Ash and Sulfur Reducing Investigation from Coal

Combustion using Chemical Washing)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความลับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การทดสอบการลดปริมาณซีเถ้าและกำมะถันจากกระบวนการเผา

ไหม้ถ่านหินโดยการล้างด้วยสารเคมี

(Ash and Sulfur Reducing Investigation from Coal

Combustion using Chemical Washing)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร.บัณฑิตา ชีระกุลสถิตย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัมพรศักดิ์ วรรณโกมล

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2557

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2556 คณะผู้ทำวิจัยต้องขอขอบคุณ กองธรณีวิทยาเหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นอย่างสูง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างถ่านหินและตะกอนในเหมืองแม่เมาะ การวิเคราะห์ทั้งหมดจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้หากขาดบุคลากรฝ่ายวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้ความรู้และการฝึกอบรมในการใช้เครื่องมือต่างๆ เป็นอย่างดี อันได้แก่ คุณคมสันต์ ต่ายทรัพย์ คุณจรรจรารุจิรวรรณ และคุณยูติกา สร้อยระย้า และขอขอบคุณ คุณจันทัก จันทร์บำรุง ที่คอยให้ความสะดวกในการเดินทางไปเก็บตัวอย่างที่เหมืองแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จังหวัดลำปาง และบุคคลอื่นๆที่เกี่ยวข้องที่ยังไม่ได้กล่าวถึง ทางผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

กันยายน 2557

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

ถ่านหินแม่เมาะเป็นถ่านหินประเภทลิกไนต์ที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งประกอบด้วยปริมาณความชื้น สารประกอบซัลเฟอร์ คอโรตซ์ และแร่ดินเหนียวสูง หลังผ่านกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินสารประกอบเหล่านี้ทำให้เกิดปริมาณของซีเถ้า ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซพิษอื่นๆ ซึ่งปนเปื้อนอยู่ในอากาศและดิน คุณภาพโดยทั่วไปของถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ ประกอบด้วยปริมาณความชื้น (ร้อยละ 12 ถึง 23) ซีเถ้า (ร้อยละ 9 ถึง 67) สารระเหย (ร้อยละ 16 ถึง 38) และคาร์บอนคงที่ (ร้อยละ 4.5 ถึง 20.3) มีพลังงานความร้อนขั้นต่ำอยู่ในช่วง 4.2 ถึง 13.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ปริมาณธาตุร่องรอย ได้แก่ สารหนู (38 ถึง 72 ส่วนในล้านส่วน) วาเนเดียม (21 ถึง 46 ส่วนในล้านส่วน) สังกะสี (16 ถึง 31 ส่วนในล้านส่วน) และทองแดง (11 ถึง 22 ส่วนในล้านส่วน) ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการเผาไหม้จึงเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สามารถเพิ่มคุณภาพถ่านหินและศักยภาพของการเผาไหม้ถ่านหินได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้ (1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและคุณภาพของถ่านหินในเชิงคุณภาพและปริมาณ ทั้งก่อนและหลังการล้างด้วยสารเคมีต่างๆ (2) เพื่อศึกษาศักยภาพของสารเคมีแต่ละชนิด ที่มีผลต่อกับปริมาณซีเถ้า กำมะถัน และธาตุต่างๆ รวมถึงคุณภาพของถ่านหิน (3) เพื่อพัฒนาการใช้สารเคมีที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงถ่านหินก่อนการเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งช่วยลดต้นทุนการผลิตและมลพิษหลังจากการเผาไหม้ถ่านหินได้ และ (4) เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้ไปพัฒนาประยุกต์ใช้กับการจัดการเกี่ยวกับมลพิษ และการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนต่อไป

ตัวอย่างถ่านหินได้รับการปรับปรุงด้วยน้ำกลั่น และความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ของกรด (ไฮโดรฟลูออริก ไฮโดรคลอริก และไนตริก) และของสารละลายต่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และปูนขาว) โดยแช่ตัวอย่างในสารเคมี ที่ 24 และ 48 ชั่วโมง ผลที่ได้จากการแช่ตัวอย่างถ่านหินที่ 24 ชั่วโมง พบว่ากรดไนตริกและไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพสูงสุด และมีความเหมาะสมในการลดปริมาณซีเถ้าถึง ร้อยละ 26 และ 25 ตามลำดับ และยังช่วยลดปริมาณกำมะถัน ร้อยละ 40 ถึง 60 เนื่องจากกรดเหล่านี้จะก่อตัวกับโลหะอื่นๆ หรือโลหะหนักในสารประกอบของไนเตรทและคลอไรด์ ซึ่งสามารถละลายได้ดีในน้ำ อีกทั้งปฏิกิริยาของกรดไนตริกกับสารประกอบคาร์บอนจะส่งผลต่อการลดลงของปริมาณคาร์บอนคงที่ ส่วนสารละลายโซเดียมและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ช่วยลด

ปริมาณกำมะถันได้ถึง 80% แต่ปริมาณจี้เถ้าได้เพิ่มขึ้น โดยเกิดขึ้นจากปริมาณออกไซด์ของโลหะ ส่วนผลของตัวอย่างถ่านหินที่ 48 ชั่วโมง พบว่าปริมาณจี้เถ้าและกำมะถันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาในการแ่สารตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าสารเคมีในถ่านหินอาจเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีเสร็จสิ้นแล้วภายในเวลา 24 ชั่วโมง

ค่าความร้อนของตัวอย่างถ่านหินหลังจากการแ่ในสารเคมีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าค่าความร้อนลดลงประมาณร้อยละ 3 ถึง 57 และลดลงได้ประมาณร้อยละ 20 หากทำการแ่ถ่านหินในสารเคมีเป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยจะลดลงได้น้อยที่สุดในสารละลายกรดไนตริก และลดลงได้มากที่สุดในสารละลายปูนขาว ดังนั้นสารเคมีต่างๆ มีผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพการให้ความร้อนของถ่านหิน ยกเว้นสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีผลต่อการเพิ่มของค่าความร้อนของถ่านหินมากที่สุดร้อยละ 28.7 ถึง 118.9

ผลของปริมาณโลหะหนักได้ลดลงทั้งการทดสอบที่ 24 และ 48 ชั่วโมง โดยปริมาณโลหะหนักที่มีการลดลงได้มากที่สุดในกรดไนตริก ได้แก่ สารหนู (ร้อยละ 40 ถึง 53) โครเมียม (ร้อยละ 7) โคบอลต์ (ร้อยละ 9 ถึง 41) สังกะสี (ร้อยละ 30) วาเนเดียม (ร้อยละ 12) และตะกั่ว (ร้อยละ 7 ถึง 12) ตามลำดับ ส่วนกรดไฮโดรคลอริก จะลดปริมาณสารหนู (ร้อยละ 40) โคบอลต์ (ร้อยละ 70 ถึง 90) และวาเนเดียม (ร้อยละ 30 ถึง 48) ตามลำดับ เนื่องจากกรดทั้ง 2 ชนิดนี้มีความสามารถในการละลายแร่ประกอบต่างๆ ได้ดี ทำให้เข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักได้อย่างทั่วถึง และเกิดเป็นสารละลายโลหะในเตรตหรือคลอไรด์ ซึ่งสามารถแยกออกจากถ่านหินได้ง่ายเพราะละลายในน้ำ จากกระบวนการนี้ทำให้ได้ถ่านหินที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น มีปริมาณจี้เถ้า กำมะถัน และโลหะหนักลดต่ำลง

ผลจากการประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่แท้จริงในการปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินด้วยสารเคมียังมีค่าใช้จ่ายที่สูงเมื่อเทียบกับการใช้เครื่องมือปรับปรุงคุณภาพถ่านหินในปัจจุบัน อีกทั้งสารเคมีบางชนิดมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการยากที่จะกำจัดกากของเสียและสารเคมีที่เหลือตกค้างจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมีเหล่านี้

Abstract

Mae Moh coal is a low rank lignite, consisting of a high moisture, sulfur compounds, quartz, and clay mineral contents. These are the reasons of a high ash, sulfur dioxide, carbon dioxide, and toxic contaminants in the air and soil after combustion. The general quality of Mae Moh lignite consisted of moisture (12-23%), ash (9-67%), volatile (16-38%), fixed carbon (4.5-20.3%), and the lower heating value (4.2 to 13.5 MJ/kg). Trace elements composed of arsenic (38-72 ppm), vanadium (21-46 ppm), Zinc (16-31 ppm), and copper (11-22 ppm). Therefore, the treatment process of pre-combustion coal is a significant process which can improve coal quality and efficiency of coal combustion.

The purposes of this research were (1) to study chemical and physical properties of coal before or after pretreatment process of coal by using a difference chemical; (2) to study efficiency of each chemical to the ash, sulfur and other element contents, including a quality of coal; (3) to develop the suitable chemical for more efficiency of pre-combustion coal, which reduce the production cost and pollution after combustion; and (4) to apply the result of this study for the sustainable development of the pollution management, resource and environment.

The coal samples were treated with distilled water, and the 1M of concentration of acids (hydrofluoric, nitric, hydrochloric) and base solutions (sodium hydroxide, potassium hydroxide, and calcium oxide) by soaking in various chemicals at 24 and 48 hours. The results of the coal samples soaked for 24 hours, nitric and hydrochloric acids were the most effective and appropriate reduction of ash content to 26 and 25%, respectively, and also reduces the sulfur content of 40 to 60%, due to these acids were formed with other metals or heavy metal compounds of nitrate and chloride, which are soluble in water. The reaction of the nitric acid with a carbon matrix had also the effect of reducing the carbon fixed content. Sodium and potassium hydroxide solutions reduced the sulfur content up to 80%, but the ash content was increased occurring from the metallic oxides. Results of coal samples at 48 hours did not affect the reduction of the amount of minerals and sulfur because the minerals in coal reacts with chemicals completely in 24 hours.

A heating value of the coal sample after soaked in chemicals for 24 hours shown the heating value reduced to 3 to 57% and reduced up to 20% after soaking in chemicals for 48 hours. The heating value decreased in the nitric acid and calcium oxide. Therefore, the chemicals can affect the reduction of the effective heating of coal. Exception of potassium hydroxide increased the heat value range from 28.7 to 118.9%.

The result of a heavy metal were reduced in both 24 and 48 hours. The most reduction was reduced by the nitric acid such as arsenic (40-53%), chromium (7%), cobalt (9-41%), zinc (30%), vanadium (12%), and lead (7-12%). The hydrochloric acid reduced the arsenic (40%), cobalt (70-90%), and vanadium (30-48%). Both these acids had the high ability to dissolve the mineral composition, which made to react with the heavy metals thoroughly. The heavy metals in coal samples will be formed in kind of metal nitrates and metal chlorides which can dissolve easily in water. From this process made the coal has improved performance with low ash, sulfur, and heavy metal contents.

The result of evaluating the real investment cost to improve the quality of coal with chemicals has a high cost when compared to current coal quality improvement tool. Also, some chemicals are harmful to the living organisms and environment, which is difficult to dispose of waste and chemical residues left over from the process of quality improvement with these chemicals.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย.....	3
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิด.....	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์	
3.1 การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน.....	14
3.1.1 การเก็บตัวอย่าง.....	14
3.1.2 การบดตัวอย่าง.....	14
3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.1.4 การแช่สารเคมี.....	16
3.2 เครื่องมือและการวิเคราะห์.....	17
3.2.1 เครื่องวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF).....	17
3.2.2 เครื่องวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกต์โรมิเตอร์ (XRD).....	18
3.2.3 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นและเถ้า.....	19
3.2.4 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์.....	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

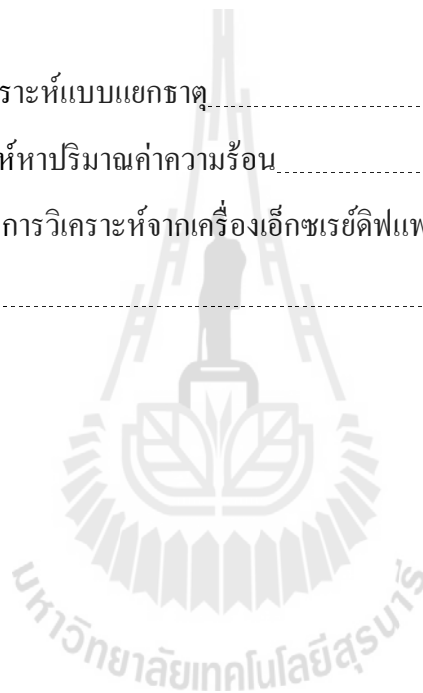
3.2.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ (ICP).....	21
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการทดลอง	
4.1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์.....	23
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	23
4.1.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง.....	26
4.1.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง.....	32
4.2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกต์โรมิเตอร์	37
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	37
4.2.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง.....	40
4.2.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง.....	48
4.3 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ.....	51
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	51
4.3.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง.....	54
4.3.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง.....	61
4.4 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ.....	63
4.4.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	63
4.4.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง.....	65
4.4.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง.....	71
4.5 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องอินดิคตอร์สเปกโตรสโกปี.....	72
4.5.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	72
4.5.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง.....	75
4.5.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง.....	78
4.6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณค่าความร้อน.....	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี	80
4.6.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง	80
4.6.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง	86
4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณและค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมี	87
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ	
5.1 ธาตุและส่วนประกอบหลักในถ่านหิน	91
5.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเถ้า	92
5.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซัลเฟอร์	94
5.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารระเหย	95
5.5 ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความร้อน	95
5.6 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณร้อยละของคาร์บอน	96
5.7 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุต่างๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น	96
5.8 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารพิษ หรือโลหะหนักต่างๆเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น	96
5.9 สรุปผลการใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน	97
5.10 การวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์	98
5.11 ข้อเสนอแนะในการทำการทดลอง	98
บรรณานุกรม	101
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ชั้นถ่านหิน และตัวอย่างถ่านหินที่ได้จากเหมืองแม่เมาะ	105
ก.1 ภาพชั้นตัวอย่างถ่านหิน และชั้นตะกอน ในแอ่งถ่านหินแม่เมาะ	105
ก.2 ภาพตัวอย่างถ่านหินในชั้นต่างๆของแอ่งถ่านหินแม่เมาะ	108

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง และวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่าง.....	114
ข.1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์.....	114
ข.2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟก โตรมิเตอร์.....	122
ข.3 ผลจากการวิเคราะห์แบบประมาณ.....	132
ข.4 ผลจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ.....	139
ข.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณค่าความร้อน.....	146
ภาคผนวก ค รูปแสดงการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟก โตรมิเตอร์.....	147
ประวัตินักวิจัย.....	149



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงชั้นถ่านหิน ปริมาณ และตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างถ่านหินมาทำการทดลอง.....	15
ตารางที่ 3.2 ค่าพลังงานที่คายออกมาในหน่วยของกิโลอิเล็กตรอน โวลต์ (keV) โดยแต่ละธาตุ ของเครื่องมือ XRF.....	18
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหิน ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ.....	24
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหิน ชั้น Q1 ทั้งก่อนและหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิด เป็นเวลา 48 ชั่วโมง.....	34
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบหลักในถ่านหิน ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ.....	38
ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบหลักที่อยู่ในถ่านหินหลังผ่าน การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง.....	49
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณร้อยละความชื้น จี๊ถั่ว และ คาร์บอน ที่อยู่ในถ่านหินก่อน การปรับปรุงคุณภาพ.....	52
ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณร้อยละความชื้น จี๊ถั่ว และ คาร์บอน ที่อยู่ในถ่านหินหลังผ่าน การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง.....	61
ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณร้อยละคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และ ซัลเฟอร์ ที่อยู่ในถ่านหิน ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ.....	63
ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหิน ชั้น Q1 หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	71
ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณของธาตุร่องรอยในถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อนและหลังการ ปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี.....	74
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความร้อนของถ่านหินทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง คุณภาพด้วยสารเคมีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.11 แสดงร้อยละการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าความร้อนในด้านหิน หลังการปรับคุณภาพด้วยสารเคมีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	82
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความร้อนและร้อยละการลดลงของความร้อน ของด้านหินชั้น Q1 หลังผ่านการปรับคุณภาพด้วยสารเคมีเป็นเวลา 48 ชั่วโมง.....	86
ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณด้านหินที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแต่ละเครื่อง ในเมืองแม่เมะ.....	88
ตารางที่ 4.14 แสดงราคาของสารเคมีที่ใช้ต่อลิตร ของความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร.....	89
ตารางที่ 4.15 แสดงราคาของสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพด้านหิน 1 ปี.....	89
ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของ SO ₃ ในด้านหินชั้น K1 ผ่านการ ปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	95
ตารางที่ 5.2 แสดงสารเคมีที่เหมาะสมในการลดซัลเฟอร์จากการวิเคราะห์ด้วย XRF และ การ วิเคราะห์แบบแยกธาตุ สารประกอบซิลิคอนจากการวิเคราะห์ด้วย XRF และ XRD ผลรวม ของธาตุหลักที่จะเกิดเถ้าจากเครื่อง XRF เถ้าจากการวิเคราะห์แบบประมาณค่า รวมถึง สารละลายที่ส่งผลให้ปริมาณ คาร์บอนเพิ่มขึ้น ในชั้นด้านหินของเมืองแม่เมะ.....	100
ตารางที่ ข.1.1 แสดงปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในด้านหิน หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	114
ตารางที่ ข.1.2 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในด้านหินชั้น I ผ่านการปรับคุณภาพเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	118
ตารางที่ ข.1.3 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในด้านหินชั้น J3 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	118
ตารางที่ ข.1.4 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในด้านหินชั้น J4 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	118

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.1.5 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น J5 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็น เวลา 24 ชั่วโมง.....	119
ตารางที่ ข.1.6 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น K1 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็น เวลา 24 ชั่วโมง.....	119
ตารางที่ ข.1.7 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น K2 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	119
ตารางที่ ข.1.8 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น K3 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	120
ตารางที่ ข.1.9 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น Q1 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	120
ตารางที่ ข.1.10 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น Q2 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	120
ตารางที่ ข.1.11 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น Q3 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	121
ตารางที่ ข.1.12 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น Q4 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	121
ตารางที่ ข.2.1 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบหลักที่อยู่ในถ่านหิน หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	122
ตารางที่ ข.2.2 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น I หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	128
ตารางที่ ข.2.3 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น J3 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	128
ตารางที่ ข.2.4 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น J4 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	128

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.2.5 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น J5 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	129
ตารางที่ ข.2.6 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น K1 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	129
ตารางที่ ข.2.7 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น K2 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	129
ตารางที่ ข.2.8 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น K3 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	130
ตารางที่ ข.2.9 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น Q1 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	130
ตารางที่ ข.2.10 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น Q2 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	130
ตารางที่ ข.2.11 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น Q3 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	131
ตารางที่ ข.2.12 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น Q4 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	131
ตารางที่ ข.3.1 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบในถ่านหินหลังการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	132
ตารางที่ ข.3.2 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น I หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	135
ตารางที่ ข.3.3 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น J3 หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	135
ตารางที่ ข.3.4 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น J4I หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	135

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.4.5 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในด้านหิน ชั้น J5 หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	143
ตารางที่ ข.4.6 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในด้านหิน ชั้น K1 หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	143
ตารางที่ ข.4.7 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในด้านหิน ชั้น K2 หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	143
ตารางที่ ข.4.8 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในด้านหิน ชั้น K3 หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	144
ตารางที่ ข.4.9 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในด้านหิน ชั้น Q1 หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	144
ตารางที่ ข.4.10 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในด้านหิน ชั้น Q2 หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	144
ตารางที่ ข.4.11 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในด้านหิน ชั้น Q3 หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	145
ตารางที่ ข.4.12 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในด้านหิน ชั้น Q4 หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	145
ตารางที่ ข.5.1 แสดงปริมาณค่าความร้อนในหน่วยเมกกะจูลต่อกิโลกรัม ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี 24 ชั่วโมง.....	146

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย	
X-ray Fluorescence (ED) Horiba.....	17
รูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการหักเหแสง	
Bruker (รุ่น D2 Phaser).....	18
รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นและเถ้า Leco (รุ่น TGA 701).....	19
รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H)	
ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) (รุ่น CHN 628 S Add-on Module).....	20
รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ Inductively Coupled Plasma-Optical	
Emission Spectrometers Perkin Elmer Optima 8000.....	21
รูปที่ 3.6 เครื่องย่อยตัวอย่างด้วยคลื่นไมโครเวฟ	
Microwave Digestion: ETHOS ONE.....	22
รูปที่ 4.1 ภาพแสดงปริมาณธาตุหลักเฉลี่ยในถ่านหินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ.....	25
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณซัลเฟอร์ หลังแ่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	28
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณอะลูมิเนียม หลังแ่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	29
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณซิลิกอน หลังแ่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	30
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณเหล็ก หลังแ่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	31
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของซัลเฟอร์ของถ่านหินชั้น Q1	
ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแ่ในสารเคมี.....	35
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของซิลิกอนของถ่านหินชั้น Q1	
ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแ่ในสารเคมี.....	35
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของเหล็กออกไซด์ของถ่านหินชั้น Q1	
ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแ่ในสารเคมี.....	36
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของอะลูมิเนียมออกไซด์ของถ่านหินชั้น Q1	

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของอะลูมิเนียมออกไซด์ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี.....	36
รูปที่ 4.10 ภาพแสดงปริมาณองค์ประกอบหลักเฉลี่ยในถ่านหินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ.....	39
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณควอร์ตซ์ หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	42
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณแคลไซต์ หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	43
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณไพไรต์หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	44
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณยิปซัม หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	45
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของควอตซ์ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี.....	50
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของแคลไซต์ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี.....	50
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของยิปซัมของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี.....	51
รูปที่ 4.18 ภาพแสดงปริมาณความชื้นในถ่านหินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ.....	53
รูปที่ 4.19 ภาพแสดงปริมาณ (ก). คาร์บอน (ข). สารระเหย ในถ่านหินก่อนการปรับคุณภาพ.....	53
รูปที่ 4.20 ภาพแสดงปริมาณ จี๊ไธ้ในถ่านหินก่อนการปรับคุณภาพ.....	54
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณความชื้น หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	55
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณสารระเหย หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	56
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณจี๊ไธ้ หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	57
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณคาร์บอน หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	58
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความชื้น สารระเหย จี๊ไธ้ และคาร์บอน ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.26 ภาพแสดงปริมาณร้อยละคาร์บอน ในโตรเจน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ ก่อนการปรับปรุงด้วยสารเคมี.....	64
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณคาร์บอน หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	67
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณไฮโดรเจน หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	68
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณไนโตรเจน หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	69
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณซัลเฟอร์ หลังแช่สารเคมี 24 ชั่วโมง.....	70
รูปที่ 4.31 ภาพแสดงปริมาณร้อยละ คาร์บอน ในโตรเจน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี.....	72
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงปริมาณของธาตุร่องรอยของถ่านหินชั้น J5 K2 และ Q1 ก่อนการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี.....	75
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงปริมาณของธาตุร่องรอย ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี.....	77
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงปริมาณค่าความร้อนต่ำสุด ของถ่านหิน ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมีแต่ละชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	83
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของค่าความร้อนชั้นต่ำ ของถ่านหิน หลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมีแต่ละชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	84
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงปริมาณค่าความร้อนของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี.....	87
รูปที่ ก.1.1 ภาพแสดงชั้นหินตะกอน (Overburden) ชั้นเหนือชั้น ถ่านหินหลักชั้น K และ Q ของเหมืองแม่เมาะ.....	104
รูปที่ ก.1.2 ภาพแสดงชั้นถ่านหิน K1 K2 และ K3 รวมถึงชั้นตะกอนที่แทรก อยู่ระหว่างชั้น K ได้แก่ ชั้นตะกอนย่อย ชั้นที่ 1 และ 2 (PT1 และ PT2) ของเหมืองแม่เมาะ.....	105

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.1.3 ภาพแสดงชั้นหินตะกอน (Interburden) ชั้นระหว่างชั้นถ่านหิน หลักชั้น K และ Q ของเหมืองแม่เมาะ.....	106
รูปที่ ก.1.4 ภาพแสดงชั้นถ่านหินชั้น Q1 Q2 และ Q3 ของเหมืองแม่เมาะ.....	106
รูปที่ ก.1.5 ภาพแสดงชั้นถ่านหินชั้น Q4 ของเหมืองแม่เมาะ.....	107
รูปที่ ก.1.6 ภาพแสดงชั้นหินตะกอน (Underburden) ชั้นล่างสุดซึ่งถัดจาก ชั้นถ่านหินชั้น Q ของเหมืองแม่เมาะ.....	107
รูปที่ ก.2.1 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น I ของเหมืองแม่เมาะ.....	108
รูปที่ ก.2.2 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น J3 ของเหมืองแม่เมาะ.....	108
รูปที่ ก.2.3 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น J4 ของเหมืองแม่เมาะ.....	109
รูปที่ ก.2.4 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น J5 ของเหมืองแม่เมาะ.....	109
รูปที่ ก.2.5 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น K1 ของเหมืองแม่เมาะ.....	110
รูปที่ ก.2.6 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น K2 ของเหมืองแม่เมาะ.....	110
รูปที่ ก.2.7 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น K3 ของเหมืองแม่เมาะ.....	111
รูปที่ ก.2.8 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น Q1 ของเหมืองแม่เมาะ.....	111
รูปที่ ก.2.9 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น Q2 ของเหมืองแม่เมาะ.....	112
รูปที่ ก.2.10 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น Q3 ของเหมืองแม่เมาะ.....	112
รูปที่ ก.2.11 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น Q4 ของเหมืองแม่เมาะ.....	113
รูปที่ ค.1 ภาพแสดงกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ ของตัวอย่างถ่านหินก่อนการล้างด้วยสารเคมี.....	147

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เนื่องจากปัจจุบัน สภาวะการใช้พลังงานของประเทศเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลจากการเพิ่มจำนวนประชากรของโลก รวมถึงการพัฒนาและการขยายตัวในภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรม ในขณะที่น้ำมันและก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นทรัพยากรทางพลังงานหลักนั้น มีปริมาณสำรองลดลง อีกทั้งยังมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ การผลิตถ่านหินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม และการผลิตไฟฟ้าจึงมีความสำคัญ เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินมีต้นทุนที่ต่ำกว่า และปริมาณสำรองของถ่านหินยังมีอยู่เป็นจำนวนมาก จึงทำให้ถ่านหินกลายเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน อุตสาหกรรมถ่านหินซึ่งรวมทั้งการสำรวจการผลิต และการใช้ถ่านหินได้มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะประเทศที่เป็นผู้นำทางด้านเศรษฐกิจอุตสาหกรรม เช่น สหรัฐอเมริกา จีน ญี่ปุ่น และกลุ่มประเทศยุโรป

สำหรับภายในประเทศไทยนั้นถึงแม้จะมีปริมาณสำรองถ่านหินอยู่มากกว่า 2,000 ล้านตัน แต่ส่วนใหญ่เป็นถ่านหินที่มีชั้นคุณภาพต่ำ ตั้งแต่ลิกไนต์ (Lignite) จนถึง ซับบิทูมินัส (Sub-bituminous) อีกทั้งภาพลักษณ์ที่ไม่ดีด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอดีตทำให้การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจึงมีปริมาณไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ อย่างไรก็ตามในอนาคตคาดว่าจะมีการใช้ถ่านหินเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาถูก และปริมาณสำรองมากเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น แต่ทั้งนี้การนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นยังไม่ได้รับการยอมรับจากชุมชน เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหินจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นการกำจัดน้ำเสีย การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ฟูละออง และขี้เถ้า เป็นต้น ปัญหาและอุปสรรคของการใช้พลังงานถ่านหิน นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ประชาชนยังต่อต้านการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง เช่น การต่อต้านการก่อสร้างโรงไฟฟ้าใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่บ่อนอก หินกรูด หรือที่อื่นๆ สืบเนื่องมาจาก

- 1) โรงงานอุตสาหกรรมยังขาดความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด
- 2) ในระดับประเทศ ยังไม่มีศูนย์ข้อมูลด้านเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด ข้อมูลเกี่ยวกับถ่านหิน การใช้ถ่านหินกระจุกกระจายในหลายหน่วยงาน

- 3) ไม่มีงบประมาณสนับสนุนงานวิจัยเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดในประเทศ ซึ่งขณะนี้จะต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ
- 4) ยังไม่มีมาตรการหรือนโยบายที่ชัดเจนในการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดให้กับผู้ประกอบการ
- 5) ราคาขนส่งสูง อีกทั้งคุณภาพถ่านหินในประเทศมีค่าความร้อนต่ำ มีปริมาณกำมะถันและซัลเฟอร์สูง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาและใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาเทคโนโลยีที่ช่วยทำให้มลพิษต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินลดลง ซึ่งเทคโนโลยีใหม่ที่น่าสนใจในการลดมลภาวะต่างๆ และเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ถ่านหิน เรียกว่า เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด (Clean Coal Technology; CCT) ซึ่งเทคโนโลยีแต่ละชนิดอาจมีความเหมาะสมต่อคุณสมบัติของถ่านหินที่แตกต่างกันไป ซึ่งเชื้อเพลิงถ่านหินสะอาด (Clean Coal) นี้ ปัจจุบันยังไม่มีการนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศ ยกเว้นการนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแต่ในต่างประเทศเทคโนโลยีดังกล่าวนี้ค่อนข้างแพร่หลาย ดังนั้นการนำเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะประเภทที่มีการใช้พลังงานมากๆ จะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมอีกทางหนึ่งสำหรับผู้ประกอบการ ซึ่งการนำเอาเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดมาพัฒนาประยุกต์ใช้กับถ่านหิน โดยการล้างถ่านหินด้วยสารเคมีต่างๆ หรือการเติมสารเคมีในถ่านหินก่อนกระบวนการเผาไหม้ (Pre-combustion) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด เพื่อช่วยลดปริมาณซัลเฟอร์ กำมะถัน และสารมลพิษอื่นๆ ในการเผาไหม้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการนำถ่านหินมาเปลี่ยนเป็นพลังงานที่สูงขึ้น ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และรวมถึงการลดปัญหาการขัดแย้งระหว่างชุมชนและสถานประกอบการเพื่อให้ประเทศมีความมั่นคงทางด้านพลังงานควบคู่กับการพัฒนาทางด้านชุมชนและสิ่งแวดล้อมสืบไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และคุณภาพของถ่านหินในเชิงคุณภาพและปริมาณ ทั้งก่อนและหลังการล้างด้วยสารเคมีต่างๆ

1.2.2 เพื่อศึกษาศักยภาพของสารเคมีต่างๆ ที่มีผลต่อกับปริมาณกำมะถัน ซัลเฟอร์ และคุณภาพของถ่านหิน

1.2.3 เพื่อพัฒนาการใช้สารเคมีที่เหมาะสมในการล้างถ่านหิน ก่อนการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ลดต้นทุนการผลิตและลดปัญหามลพิษจากการเผาไหม้ถ่านหินในประเทศไทย

1.2.4 เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้ไปพัฒนาประยุกต์ใช้กับการจัดการเกี่ยวกับมลพิษ และการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและประมวลข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงเกี่ยวกับการทดสอบการเผาไหม้ เทคโนโลยีการเผาไหม้ และการลดมลภาวะต่างๆ จากการเผาไหม้โดยใช้สารเคมีของถ่านหิน หินน้ำมัน และตะกอนอื่นๆ

1.3.2 ในการทดสอบจะนำตัวอย่างถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

1.3.3 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบทางเคมีตัวอย่างถ่านหินลิกไนต์ในห้องปฏิบัติการทดลอง

1.3.4 สารเคมีต่างๆที่จะนำมาทดสอบ ได้แก่ น้ำกลั่น (Distilled Water) กรดไฮโดรฟลูออริก (Fluoric Acid; HF) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid; HCl) กรดไนตริก (Nitric Acid; HNO₃) โซดาไฟ (Sodium Hydroxide; NaOH) ปูนขาว (Calcium Oxide; CaO) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH)

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

ถ่านหิน เป็นแร่เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็ง มีความเปราะมีสีต่างๆ เช่น สีดำ น้ำตาล น้ำตาลแกมดำ และน้ำเข้มน เกิดจากการทับถมและแปรสภาพจากพืช มี 4 ชนิด 1) พีท เป็นถ่านหินชั้นเริ่มแรก เนื้อยังไม่แข็ง มีความพรุน มีคาร์บอนอยู่ประมาณ 60 ใช้เป็นเชื้อเพลิงไม่ดีนัก 2) ลิกไนต์ หรือถ่านหินมีสีน้ำตาลไม่ค่อยแข็งเปราะแตกหักง่าย มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น ก๊าซและเขม่าควันมาก หากไม่รวมพีทซึ่งมักจะนำมาใช้ประโยชน์ไม่ค่อยได้แล้ว ลิกไนต์จะเป็นถ่านหินที่มีอายุน้อยที่สุด และมีคุณภาพต่ำที่สุด มีคาร์บอนน้อย คือประมาณ 65 ถึง 70% จึงให้ค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านหินชนิดอื่น เมื่อเผามีควันและเถ้า ปัจจุบันนำมาใช้มากในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้เป็นเชื้อเพลิงแทน

ถ่านไม้ ในการบ่มใบยาสูบ โรงงานกลั่นน้ำมันพบที่จังหวัดลำปาง สงขลา สุราษฎร์ธานี กระบี่ลำพูน การนำถ่านหินลิกไนต์มาใช้จะก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ในอากาศจะมีสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากขึ้น 3) บิทูมินัส เป็นถ่านหินที่มีสีน้ำตาลแกมดำ มีคาร์บอนอยู่ประมาณ 80% มีคุณภาพปานกลาง อยู่ระหว่างลิกไนต์และแอนทราไซต์ให้ความร้อนสูงแต่มีเขม่าควันมาก กลิ่นแรง เปลวไฟสีเหลือง เป็นถ่านหินที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น โรงงานอุตสาหกรรมถลุงเหล็กและเหล็กกล้า 4) แอนทราไซต์ เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดีมาก มีสีดำ มีความแววเป็นมัน มีคาร์บอนร้อยละ 85 ถึง 93% ให้ความร้อนสูงสุดแต่ติดไฟยากกว่าชนิดอื่นๆเกิดการลุกไหม้ช้าๆ และนานกว่าชนิดอื่น มีควันน้อย กลิ่นน้อย เปลวไฟสีอ่อน จึงนิยมนำมาใช้ในเตาผิงเพื่อให้ความร้อนและความอบอุ่นในบ้านเรือนของเขตอากาศหนาว

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้ทดแทนน้ำมันในภาคอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่นการผลิตกระแสไฟฟ้า อุตสาหกรรมซีเมนต์และอุตสาหกรรมอื่นๆ สำหรับประเทศไทยถึงแม้จะมีแหล่งถ่านหินไม่มากนักแต่ก็มีการใช้ประโยชน์จากถ่านหินมานานไม่น้อยกว่า 50 ปี โดยมุ่งเน้นไปที่การใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก รองลงมาได้แก่การใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ ส่วนอุตสาหกรรมอื่นๆ มีการใช้ถ่านหินบ้างเล็กน้อยเนื่องจากมีขีดจำกัดบางประการ

ถ่านหินส่วนใหญ่ประกอบด้วย สารอนินทรีย์วัตถุและสารอินทรีย์วัตถุ ซึ่งสารอนินทรีย์วัตถุได้แก่ แร่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกลุ่มแร่ซิลิกา (แร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ ดินเหนียว) กลุ่มคาร์บอนเนต (แร่แคลไซต์ และแร่โดโลไมต์) และกลุ่มแร่อื่นๆ ส่วนสารอินทรีย์วัตถุที่เป็นส่วนประกอบของถ่านหิน ซากสิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่น เปลือกหอย ก้างปลา ใบไม้ ละอองเกสร เป็นต้น จากส่วนประกอบของถ่านหินเมื่อถูกเผาผลาญเพื่อสร้างความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้า จะมีกากของเสียปริมาณมาก ซึ่งกากบางอย่างถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศจากปล่องควัน และก่อผลกระทบต่อดินและน้ำได้ กากอื่นๆจะสะสมในอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้า และถูกนำไปทิ้งในแหล่งทิ้งกากต่อไป ซึ่งกากที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินมีดังต่อไปนี้คือ

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

- จี๊เถ้าที่เกิดจากภายนอกเนื้อถ่านหิน (Extraneous Ash) หรือ Adventitious Mineral Matter ประกอบด้วยสารพวกดินเหนียว หินดินดาน แคลไซต์ ไพไรต์ หรือส่วนประกอบอื่นๆที่อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ซัลเฟต คลอไรด์ และฟลูออไรด์

- จี๊เถ้าที่เกิดภายในเนื้อถ่านหิน (Inherent Ash) จี๊เถ้าที่ประกอบด้วยสารอนินทรีย์ที่รวมตัวอยู่กับสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบของถ่านหิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของพีช

ประเภทของจี๊เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ แบ่งตามมวลและอนุภาคได้ดังต่อไปนี้

เถ้าลอย (Fly Ash) คือ ฝุ่นจี๊เถ้าที่ถูกปล่อยออกมาทางปล่องควัน จี๊เถ้าที่ฟุ้งกระจายนี้จะประกอบไปด้วยมวลอนุภาคที่มีขนาดโดยเฉลี่ยหนึ่งในร้อยของหนึ่งมิลลิเมตร จี๊เถ้าที่ฟุ้งกระจายนี้จะมีลักษณะเหมือนแป้งฝุ่นและลอยฟุ้งไปในอากาศ โรงงานถ่านหินได้พยายามที่จะดักจับฝุ่นจี๊เถ้านี้ด้วยเครื่องมือควบคุม ยกตัวอย่างเช่น โดยเครื่องดักจับไฟฟ้าสถิตย์ หรือเครื่องกรอง แล้วก็จะนำไปทิ้งในที่ทิ้งกาก หรือนำไปใช้ประโยชน์กับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ฝุ่นจี๊เถ้าที่ไม่ได้ถูกดักจับในปล่องควันพีชก็จะถูกปล่อยออกมาในอากาศ

เถ้าหนัก (Bottom Ash) คือ ฝุ่นจี๊เถ้าอันหนัก เป็นกากตกค้างจากการเผาไหม้ที่เหลืออยู่ในหม้อต้มน้ำ สารดังกล่าวประกอบไปด้วยสารที่ละเอียดและหยาบ และมักเป็นองค์ประกอบที่ผสมระหว่างจี๊เถ้าและจี๊โลหะ อันเป็นสารที่มีลักษณะคล้ายแก้ว ฝุ่นจี๊เถ้าอันหนักจะถูกเก็บรวบรวมนำไปทิ้งในที่ทิ้งกาก

2) กากจากการดักจับสารซัลเฟอร์และกากหินอันหนักในเครื่องต้มน้ำ อันเป็นผลมาจากการเติมหินปูน และ หรือ หินแมกนีเซียม ทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ อันเป็นผลมาจากการแยกสารพิษออกมา กากเหล่านี้มีส่วนผสมของจี๊เถ้า แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ และจะถูกนำไปในที่ทิ้งกาก

3) สารพิษในกาก และจี๊เถ้า เช่น สารหนู ตะกั่ว แคลเซียม เซลีเนียม สารปรอท และฟลูออรีน จะถูกทิ้งในพื้นที่ทิ้งกาก จะซึมลงสู่ดินและน้ำใต้ดิน มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของพีช สารพิษเหล่านี้จะถูกส่งผ่านไปตามห่วงโซ่อาหารและทวีความเข้มข้นมากขึ้นตามลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหาร การรับสารพิษเหล่านี้ในมนุษย์จะก่อให้เกิดแผล กระจกหู และขัดขวางการเจริญเติบโตของเด็กในครรภ์

4) น้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูง อันเป็นผลจากการใช้น้ำจำนวนมากในกระบวนการสร้างไอน้ำและการหล่อเย็นน้ำทิ้งอุณหภูมิสูงเหล่านี้จะถูกปล่อยทิ้งในทะเลสาบหรือทะเลซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์น้ำและระบบนิเวศทางทะเล

การใช้อ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เช่นการใช้ที่ดินในการกำจัดกาก ซึ่งมีผลต่อสิ่งแวดล้อม การกำจัดน้ำเสีย การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และมลพิษทางอากาศอื่นๆ เช่นหมอกควัน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ก๊าซประกอบไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นสารมลพิษหลักที่ถูกควบคุมด้วยกฎหมาย โดยเฉพาะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นี้จะส่งผลกระทบต่อทั้งเป็นมลพิษทางอากาศ แล้วยังทำให้เกิดฝนกรดทำให้เกิดความเสียหายจากการกัดกร่อนอุปกรณ์โลหะต่างๆ จากผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ ส่งผลให้แหล่งเชื้อเพลิงจากถ่านหินไม่เป็นที่ยอมรับจากประชาชน และมีปัญหาความขัดแย้งต่อต้านของชุมชนต่อผู้ประกอบการเกี่ยวกับถ่านหินที่ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการนำเอาเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำให้การเผาไหม้ถ่านหินที่สะอาดมากขึ้นน่าจะเป็นวิธีการที่ดีที่จะช่วยลดข้อขัดแย้งและเพิ่มการยอมรับการใช้อ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในประเทศไทยมากขึ้น เพื่อให้ประเทศได้มีการพัฒนาทางด้านพลังงานอย่างมั่นคง ลดการนำเข้าพลังงานรูปแบบอื่นจากต่างประเทศ

การลดปริมาณขี้เถ้าและกำมะถันของถ่านหิน สามารถทำได้โดยใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดก่อนการเผาไหม้ (Pre-combustion) ซึ่งเป็นการทำความสะอาดถ่านหินในขั้นตอนก่อนการเผาไหม้เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ออกจากถ่านหิน เช่นฝุ่นละออง เศษหิน เศษดิน และสารประกอบอนินทรีย์เพื่อลดปริมาณขี้เถ้าและกำมะถันที่ปนอยู่ในเนื้อถ่านหิน ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มค่าความร้อนของถ่านหินก่อนการนำไปเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงโดยอาจเรียกขั้นตอนนี้ว่า การปรับระดับถ่านหิน (Coal Upgrading) ซึ่งการทำความสะอาดถ่านหินก่อนการเผาไหม้นี้มีด้วยกัน 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 การทำความสะอาดด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Cleaning) เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนประเภท ฝุ่นละออง ดิน หิน และสารประกอบจำพวกกำมะถัน อนินทรีย์ ซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบ เช่น ไพไรติกซัลเฟอร์ (Pyritic Sulfur) เป็นต้น โดยมีวิธีการคือนำถ่านหินมาบดให้มีขนาดเล็กกว่าฝุ่นผงแล้วล้างผ่านน้ำโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความหนาแน่นของถ่านหินกับสารเหล่านี้จะทำให้สิ่งเจือปนต่างๆ ที่ไม่ต้องการจะถูกแยกออกจากเนื้อถ่านหิน ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ไพไรติกซัลเฟอร์ถูกกำจัดออกได้ประมาณร้อยละ 90

วิธีที่ 2 การทำความสะอาดโดยวิธีทางเคมี (Chemical Cleaning) เป็นการใส่สารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับผงถ่านหินซึ่งสารเคมีดังกล่าวมีคุณสมบัติการกำจัดพวกสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีทางกายภาพ ในการทำปฏิกิริยากับผงถ่านหินเพื่อกำจัดกำมะถันและซัลเฟอร์ ซึ่งวิธีการลดปริมาณซัลเฟอร์และกำมะถันโดยการใช้สารเคมีในก่อนการเผาไหม้มีอยู่หลายวิธี เช่น

- การลดปริมาณซัลเฟอร์โดยการล้างด้วยน้ำ โดยอาศัยหลักความแตกต่างของความหนาแน่นของถ่านหินกับสารเหล่านี้ จะทำให้สิ่งเจือปนต่างๆ ที่ไม่ต้องการจะถูกแยกออกจากเนื้อถ่านหิน โดยเฉพาะอนินทรีย์ซัลเฟอร์ ได้แก่ ไพไรติคซัลเฟอร์จะถูกกำจัดออกได้ปริมาณมาก

- การลดปริมาณซัลเฟอร์โดยวิธีการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก เป็นการนำถ่านหินแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อสกัดสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ เช่น แคลไซต์ โดโลไมท์ และซิงค์ไธโอไรต์บางชนิดออกจากถ่านหินช่วยลดปริมาณซัลเฟอร์จากการเผาไหม้

- การลดปริมาณซัลเฟอร์โดยวิธีการแยกอนุภาคในตัวกลางของเหลว เป็นการให้ความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะของถ่านหินซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.23 ถึง 1.70 ซึ่งขึ้นอยู่กับศักย์ ปริมาณความชื้น และ ปริมาณซัลเฟอร์ การลดปริมาณซัลเฟอร์ทำได้โดยการนำถ่านหินผสมกับสารละลายที่ใช้เป็นตัวกลางที่มีความถ่วงจำเพาะต่างๆ อนุภาคถ่านหินที่มีปริมาณซัลเฟอร์น้อยจะอยู่ส่วนบนของสารละลาย สารละลายที่ใช้เป็นตัวกลางที่นิยมใช้โดยทั่วไปเช่น แคลเซียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ โพแทสเซียมคาร์บอเนต และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เป็นต้น

- เทคโนโลยีการเผาไหม้ถ่านหินแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustion; FBC) คือการเผาไหม้ที่มีการแยกเอาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งมักจะเกิดในการเผาไหม้ทั่วไป และเกิดเป็นก๊าซพิษออกได้ เป็นเทคโนโลยีการจัด หรือการลดมลพิษออกจากระบบระหว่างการใช้ประโยชน์ถ่านหิน โดยถ่านหินที่บดจนมีขนาดเล็กมากผสมเข้ากับหินปูนถูกพ่นเข้าไปในหม้อไอน้ำพร้อมอากาศร้อน ถ่านหินและหินปูนที่พ่นเข้าไปจะแขวนลอยอยู่ในคลื่นอากาศร้อน โดยมีลักษณะคล้ายของเหลวเดือด ขณะที่ถ่านหินเผาไหม้หินปูนจะทำหน้าที่คล้ายฟองน้ำทำหน้าที่ดักจับกำมะถันที่เกิดขึ้น กระบวนการนี้สามารถลดปริมาณกำมะถันที่จะถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ได้ร้อยละ 90 นอกจากนี้อุณหภูมิของหม้อไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการนี้ยังต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในวิธีการเดิม ประโยชน์ของการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำ คือ ทำให้สามารถใช้โลหะที่มีราคาถูกกว่าเป็นอุปกรณ์ได้ และมี NO_x ที่เกิดจากการเผาไหม้น้อย

วิธีที่ 3 การทำความสะอาดโดยใช้วิธีทางชีวภาพ (Biological Cleaning) วิธีนี้เป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่ โดยใช้สิ่งมีชีวิตเล็กจำพวกแบคทีเรียและ เชื้อราบางชนิด ที่ใช้กัมมะถันเป็นอาหารเข้าไปช่วยในการกำจัดกัมมะถันในถ่านหินและสามารถนำสิ่งมีชีวิตเหล่านี้มาทำการเพาะเลี้ยงเพื่อสกัดเอาเอนไซม์ที่ใช้สำหรับการย่อยสลายกัมมะถันมาใช้ เพื่อเร่งกระบวนการกำจัดกัมมะถันในถ่านหิน

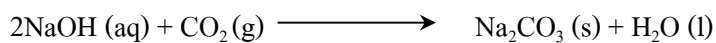
ชนิดและคุณสมบัติของสารเคมีที่จะใช้ในการทดสอบ

น้ำกลั่น (Distilled Water) เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนประเภท ฟุนละออง ดิน หิน และสารประกอบจำพวก กัมมะถัน อนินทรีย์ ซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบ เช่น ไพไรติกซัลเฟอร์ (Pyritic Sulfur) เป็นต้น โดยมีวิธีการ คือนำถ่านหินมาบดให้มีขนาดเล็กกว่าขนาดของฟุนผงแล้วล้างผ่านน้ำ

กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid; HCl) เป็นกรดที่สามารถละลายสารประกอบจำพวก สารอินทรีย์ คาร์บอเนต ฟอสเฟต โบเรต และธาตุที่ถูกดูดซึมโดยดินเหนียว

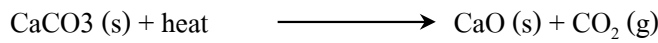
กรดไนตริก (Nitric Acid; HNO₃) เป็นกรดที่ใช้ละลายสารประกอบจำพวกซัลไฟด์ เทลลูไรด์ อาร์เซไนต์ ซัลโฟไซด์ และฟอสเฟต

โซดาไฟ (Caustic Soda) หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; NaOH) มีคุณสมบัติเป็นสารไอออนิก ประกอบด้วย Na⁺ (Sodium Cation) และ OH⁻ (Hydroxide Anion) โซเดียมไฮดรอกไซด์ยังทำปฏิกิริยากับออกไซด์ที่เป็นกรด เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และก๊าซไฮโดรเจนไดซัลไฟด์ (H₂S) ในการเผาไหม้ถ่านหินและทำให้ป้องกันการปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดย OH⁻ จะทำให้มีคุณสมบัติเป็นเบสแก่ เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกลือ และน้ำ ดังสมการ

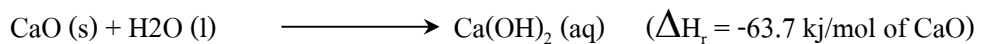


ปูนขาว (lime) หรือแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide; CaO) ลักษณะโดยทั่วไปเป็นผงสีขาว มีฤทธิ์เป็นด่าง กัดกร่อนได้ โดยปกติแล้วจะผลิตแคลเซียมออกไซด์ จากการเผาวัสดุใดๆ ที่มีส่วนผสมของหินปูน (CaCO₃) เป็นองค์ประกอบ ณ อุณหภูมิมากกว่า 825 องศาเซลเซียส เรียกกระบวนการเผา นี้ว่า Calcination และอาจจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกมา ปูนขาวนี้สามารถทำปฏิกิริยากับ CO₂ ที่อยู่ในอากาศ โดยอาศัยระยะเวลาที่นานพอ กลับกลายเป็น CaCO₃ ได้ ซึ่งหินปูนสามารถใช้ประโยชน์ในการลดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำได้โดยการเติมหินปูนเข้าไปกับถ่าน

หินโดยตรง ซึ่งหินปูนจะประกอบไปด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) จะทำหน้าที่ร่วมกับอากาศที่ เหลือจากการเผาไหม้คูลซัซ ชัลเฟอร์ไดออกไซด์



โดยทั่วไปราคาของปูนขาวเมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่นๆ ถือว่ามีราคาไม่แพงมากนัก แต่สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตสารเคมีชนิดอื่นๆ ได้อีกมากมาย เช่นการผลิตแคลเซียมไฮดรอกไซด์, Ca(OH)₂ จากการนำปูนขาวทำปฏิกิริยากับน้ำ



นอกจากจะได้ Ca(OH)₂ เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งในทางอุตสาหกรรมเหล็กมีการใช้น้ำปูนใสล้างเหล็กหรือโลหะ เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และยังใช้เป็นตัวตั้งสารเจือปนในการผลิตเหล็กคุณภาพสูง ปฏิกิริยานี้ยังให้ความร้อนออกมาค่อนข้างมากถึง -63.7 kJ/mol ทำให้สามารถประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนแบบพกพาได้อีกด้วย (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 1977)

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH) มีผลทำให้ได้รูพรุน และพื้นที่ผิวสูงมากขึ้น โดยการทำลายโครงสร้างถ่านหินบางส่วน และลดสารอนินทรีย์ในถ่านหินในขั้นตอนการแ่สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และการคาร์บอนไนซ์ ที่อุณหภูมิสูงโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกิดการสลายตัวให้น้ำ ซึ่งเป็นสารทำให้คาร์บอนในถ่านหินเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน และโพแทสเซียมเป็นโลหะที่อ่อนตัวจึงทำให้แทรกเข้าไปในชั้นของอะตอมคาร์บอน ทำให้เกิดรูพรุนได้มากขึ้นซึ่งมีผลต่อการลดปริมาณซีเมนต์ในการเผาไหม้ถ่านหินได้

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ค้นคว้าและศึกษาวารสาร รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพ ถ่านหินด้วยสารเคมีที่หลากหลาย รวมถึงการวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบ ของถ่านหินด้วย เครื่องมือชนิดต่างๆสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

Li-Yeh (2000), Lolja (1999) และ Ottawa (1993) ได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผล ต่อการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ถ่านหินบิทูมินัส กากปิโตรเลียม และกะลามะพร้าว ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ ได้จากการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารกระตุ้นมีพื้นที่ผิวมาก เนื่องจากขั้นตอนการแช่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะเข้าไปทำลายโครงสร้างและลดปริมาณสารอนินทรีย์ในถ่านหินด้วย และในขั้นตอนคาร์บอนไนซ์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะเกิดการสลายตัวให้อิออนน้ำ และโพแทสเซียม ออกไซด์ (K_2O) ออกมา ซึ่งอิออนน้ำเป็นสารทำให้คาร์บอนในถ่านหินเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันขึ้นมีผล ทำให้เกิดการหายไปของเนื้อคาร์บอนเกิดเป็นรูพรุนขึ้น ส่วนโพแทสเซียมออกไซด์จะถูกรีดิวส์ด้วย ไฮโดรเจน หรือคาร์บอนอะตอมจะกลายเป็นโลหะโพแทสเซียม (K) ซึ่งที่อุณหภูมิสูงโลหะ โพแทสเซียมเป็นโลหะที่อ่อนตัว จึงสามารถแทรกเข้าไปในชั้นอะตอมของคาร์บอนได้ทำให้เกิดรู พรุนได้มากขึ้นซึ่งมีผลต่อการลดปริมาณของซัลฟอนได้

Steel (2001) ได้ทำการศึกษาว่ากรดไฮโดรคลอริกสามารถลดปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กที่อยู่ในรูปของคาร์บอนเนต ซัลเฟต ฟอสเฟต และโซเดียมได้ดี ส่วนอะลูมิเนียม โพแทสเซียม และไทเทเนียมถูกลดได้บ้างเล็กน้อย แต่ไม่สามารถลดปริมาณของซัลฟอนได้

Mukherjee and Borthakur (2002) ได้ทำการศึกษากระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินโดย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเคมีในกระบวนการ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณเถ้าลงร้อยละ 2 ถึง 19 และสารประกอบซัลเฟอร์ร้อยละ 16 ถึง 30 และ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นที่ 150 องศาเซลเซียส ร้อยละการลดเถ้าจะลดลงเหลือเพียง ร้อยละ 1 ถึง 11 ส่วนความสามารถในการลดสารประกอบซัลเฟอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 26 ถึง 43

Jiwalak (2002) ได้ทำการศึกษาการลดขี้เถ้าของถ่านหินด้วยกรดไฮโดรคลอริกสามารถ ลด ปริมาณของแมกนีเซียม ฟอสเฟต ซัลเฟต แคลเซียม และเหล็ก ได้ทำการศึกษาวิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยการเผาตัวอย่างถ่านหินที่ผสมกับสารเคมีใช้เป็นตัวกระตุ้น ที่อุณหภูมิ 500 ถึง 900 องศาเซลเซียส

ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นโดยทั่วไปเป็นสารประเภทอัลคาไลน์ โลหะอัลคาไลน์ สารประกอบคาร์บอเนต สารประเภทเบสและกรดบางชนิด เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น

Sur (2010) ได้ทำการศึกษาการสกัดกลุ่มแร่ซิลิเกตในหินคาร์บอเนตโดย การทดลองได้ทำการสกัดกลุ่มแร่คาร์บอเนต ได้แก่ แร่แคลไซต์และโดโลไมต์ ออกจากตัวอย่างก่อนการนำตะกอนไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มแร่ซิลิเกต โดยแช่ในกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (2N HCl)

Bolat, Saglam and Piskin (1998) ทำการศึกษาการลดปริมาณเถ้าโดยวิธีการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก โดยการนำถ่านหินแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อสกัดสารอินทรีย์บางชนิดออกจากถ่านหิน ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของถ่านหินมากกว่าการล้างด้วยน้ำ

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

กรมทรัพยากรธรณี (2011) ได้กล่าวถึงกระบวนการเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด (Clean Coal Technology, CCT) สามารถทำได้ทั้ง 3 ขั้นตอนคือ การเผาไหม้ ขณะเผา และหลังการเผา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เทคโนโลยีก่อนการเผาไหม้ มีวัตถุประสงค์ในการกำจัดเถ้าและกำมะถันออกจากถ่านหินก่อนการนำไปใช้งาน เช่น การล้างถ่านหิน หรือการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน

2) เทคโนโลยีระหว่างการเผาไหม้ เป็นวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ถ่านหิน ในขณะเดียวกันก็สามารถลดมลภาวะที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ เช่น

- เทคโนโลยีการเผาเชื้อเพลิงที่เป็นผง (Pulverised Coal Combustion; PCC) ที่มีการใช้ low NOx burner เพื่อลดปริมาณ NOx นอกจากนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้ความร้อนและลดมลพิษในขณะเดียวกัน โดยนำระบบ 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 ที่เกิดขึ้นจึงอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดโดยไม่มีจำเป็นต้องมีระบบกำจัดมลพิษ

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

- Oxyfuel Combustion เทคโนโลยีนี้คล้ายกับ PCC แต่ใช้ก๊าซออกซิเจนเกือบบริสุทธิ์แทนอากาศสำหรับการเผาไหม้ถ่านหินในหม้อน้ำ เพื่อให้ได้ก๊าซทิ้งที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้มข้น ทำให้ง่ายต่อการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3) เทคโนโลยีหลังการเผาไหม้ เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อกำจัดมลภาวะที่เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้ได้แก่

- เทคโนโลยีการเผาสภาพของไหล (Flue Gas Desulfurization; FGD) เป็นระบบที่ใช้ในการกำจัด SOx ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ สามารถกำจัด SOx ได้มากกว่า 95%

- Denitification Technology เป็นการกำจัด NOx ที่ออกมาในก๊าซทิ้ง โดยผ่านไปในระบบ Selective Catalytic Reduction หรือ Selective Non-catalytic Reduction ซึ่ง NOx จะสลายตัวเป็นไนโตรเจนและน้ำ ระบบนี้สามารถลด NOx ได้ประมาณ 60 ถึง 90%

- Dust Collection Technology เป็นระบบการกำจัดฝุ่นละอองโดยใช้ Electrostatic Precipitator ไซโคลอน หรืออาจใช้อุปกรณ์ดักจับฝุ่นแบบถุงกรอง

4) เทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปถ่านหิน เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ความร้อนและความดันเปลี่ยนถ่านหินให้เป็นก๊าซหรือของเหลว

กรมควบคุมมลพิษ (2011) ได้กล่าวถึงวิธีการและมาตรการควบคุมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ถ่านหินดังต่อไปนี้

- 1) การใช้ด่างคืนสภาพ (Degenerative Alkaline) ทำโดยการใช้ตัวกลางสารละลาย ที่มีสภาพเป็นด่างจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามด้วยการคืนสภาพซึ่งจะให้สารละลายสามารถนำกลับมาใช้ได้ อีก ส่วนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะ

กลายเป็นของเหลวเนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำในสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) สารละลายที่นิยมใช้เช่น Magnesium Oxide, Magnesium Dioxide และ Sodium Sulfite เป็นต้น

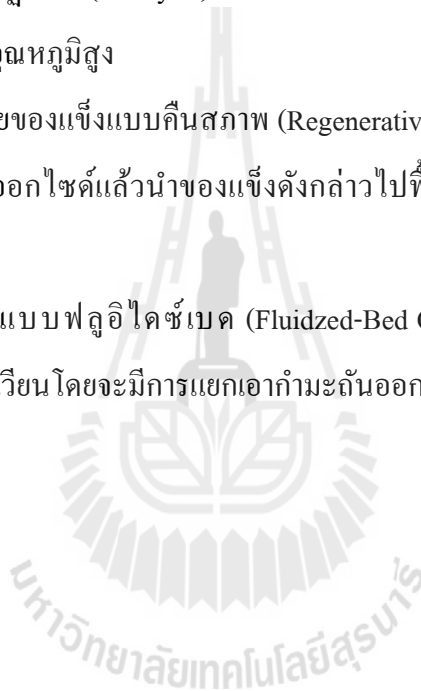
2) การใช้ด่างแบบไม่คืนสภาพ (Non Regenerative Alkaline) ใช้เมื่อสามารถหาตัวกลางที่มีราคาถูกมากได้ง่ายและมีความคุ้มทุนมากกว่าการใช้ด่างแบบคืนสภาพ ตัวกลางที่ใช้เช่น ปูนขาวหรือ หินปูน เป็นต้น เมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซแล้วจะไม่คืนสภาพ ต้องนำไปกำจัดต่อไป

3) การฉีดเข้าเตาเผา (Furnace Injection) เป็นการสันดาปก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายในเตาเผาให้อยู่ในรูปของซัลเฟตและใช้น้ำดูดซับซัลเฟตที่เกิดขึ้น

4) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysis) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในรูปของ SO_3 และได้กรดซัลฟูริกใช้ได้กับก๊าซที่มีอุณหภูมิสูง

5) การดูดซับด้วยของแข็งแบบคืนสภาพ (Regenerative Solid Adsorption) ใช้ของแข็งในการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้วนำของแข็งดังกล่าวไปฟื้นฟูสภาพกลับมาใช้ใหม่และได้กรดซัลฟูริกจากการฟื้นฟูสภาพ

6) การเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized-Bed Combustion) เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงขณะลอยตัวและหมุนเวียน โดยจะมีการแยกเอากำมะถันออกระหว่างการเผาไหม้และการเผาไหม้ถ่านหิน



บทที่ 3

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงขั้นตอน วิธีการ ข้อปฏิบัติ โดยมีขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง การ จัดเตรียมตัวอย่างถ่านหิน วิธีการบด การคัดขนาดตัวอย่างโดยการร่อนผ่านตะแกรง การเตรียม สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ก่อนการเตรียมเข้าสู่การทดลองและ การใช้เครื่องมือวิเคราะห์เคมี

3.1 การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน

3.1.1 การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างถ่านหินชั้น I และ J ถูกเก็บจากบ่อเหมือง C1 (2) และสำหรับถ่านหินชั้น K และ Q เก็บจากบ่อเหมือง SE ในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างแสดงในตารางที่ 3.1 วิธีการเก็บตัวอย่างทำได้โดยตัดหน้าถ่านหินเดิมออกเพื่อให้ได้ถ่านหินที่มีคุณภาพ โดยจะทำการ เลือกเก็บถ่านหินแต่ละชั้นได้แก่ชั้น I, J3, J4, J5, K1, K2, K3, Q1, Q2, Q3 และ Q4 โดยรายละเอียด ของตัวอย่างถ่านหิน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 จากนั้นได้นำถ่านหินมาผึ่งแดดทิ้งไว้ 2 ถึง 3 วัน เพื่อ ระบายน้ำอิสระออกจากผิวหน้าของถ่านหิน

3.1.2 การบดตัวอย่าง

การบดตัวอย่างถ่านหินในการศึกษาจะถูกแบ่งออกเป็นสองวิธีการ คือ

- 1) การบดแบบละเอียด เป็นการบดถ่านหินให้มีขนาดที่ละเอียด เพื่อที่จะนำไปผ่านขั้นตอน การร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) เพื่อนำไปวิเคราะห์หา องค์ประกอบของถ่านหินเบื้องต้น ด้วยเครื่องมือหาธาตุประกอบ โดยวิธีการเรืองแสง หาแร่ประกอบ โดยใช้เครื่องมือหาองค์ประกอบแบบวิธีการหักเหแสงของผลึก
- 2) การบดแบบหยาบ โดยขั้นตอนนี้จะทำการบดถ่านหินแบบหยาบๆ เพื่อเป็นการเตรียมถ่าน หินก่อนทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการแช่ในสารเคมี

ตารางที่ 3.1 แสดงชั้นถ่านหิน ปริมาณ และตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างถ่านหินมาทำการทดลอง

ลำดับ	ชั้นถ่านหิน	Mine grid north	Mine grid east	ตำแหน่ง UTM	น้ำหนักตัวอย่าง (กก.)	ชื่อบ่อเหมือง
1	I	9.74	-11.91	UTM: 47Q 576716m E 2025356m N	5	C1 (2)
2	J3	23.11	-11.30	UTM: 47Q 577327m E 2026547m N	5	C1 (2)
3	J4	23.08	-11.23	UTM: 47Q 577332m E 2026541m N	5	C1 (2)
4	J5	23.06	-11.10	UTM: 47Q 577343m E 2026534m N	5	C1 (2)
5	K1	-1.70	-1.96	UTM: 47Q 575655m E 2023427m N	5	SE
6	K2	-1.72	-1.55	UTM: 47Q 575678m E 2023402m N	5	SE
7	K3	0.74	-14.64	UTM: 47Q 575515m E 2023381m N	5	SE
8	Q1	-11.40	1.53	UTM: 47Q 576732m E 2027687m N	5	SE
9	Q2	-11.50	1.75	UTM: 47Q 575675m E 2023478m N	5	SE
10	Q3	-11.50	1.88	UTM: 47Q 575655m E 2023427m N	5	SE
11	Q4	-0.17	1.22	UTM: 47Q 575655m E 2023402m N	5	SE
รวม	11				55	

3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองการลดปริมาณแฉะและซัลเฟอร์ในถ่านหิน ได้แก่ น้ำกลั่น (Distilled water) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid; HCl) กรดไนตริก (Nitric Acid; HNO₃) กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric; HF) โซดาไฟ (Sodium Hydroxide; NaOH) ปูนขาว (Calcium Oxide; CaO) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH)

3.1.4 การแช่สารเคมี

การแช่สารเคมีจะทำการแช่ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง โดยแบ่งเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

ชุดการทดลองที่ 1 แช่สารเคมี 24 ชั่วโมง

1) ชั่งตัวอย่างถ่านหินของชั้น I, J3, J4, J5, K1, K2, K3, Q1, Q2, Q3 และ Q4 โดยชั่งตัวอย่าง 50 กรัมต่อตัวอย่าง แล้วใส่ลงในบีกเกอร์ที่เป็นแก้ว ยกเว้นการตัวอย่างที่ใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ใช้บีกเกอร์พลาสติก

2) เตรียมสารละลายเคมี กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก กรดไฮโดรฟลูออริก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปูนขาว มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร และน้ำกลั่น โดยใช้ปริมาตรชนิดละ 50 มิลลิลิตร

3) นำตัวอย่างถ่านหินจากขั้นตอนที่ 1 มาใส่สารเคมี ในแต่ละชั้นมาแช่ในสารเคมี ทั้งหมด 7 ชนิด ในระหว่างที่ทำการคนตัวอย่างกับสารละลายให้เข้ากันอย่างช้าๆ แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

4) หลังจากครบ 24 ชั่วโมง ให้ค้อยรินสารละลายที่เหลือออกพร้อมทั้งตะกอนตัวอย่างถ่านหินผ่านลงบนกระดาษกรอง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นตามเพื่อล้างสารละลายที่เกาะอยู่บนถ่านหินออก ทิ้งไว้บนกระดาษกรองจนแห้งแล้วทำการอบให้แห้ง นำตัวอย่างถ่านหินที่ได้ไปบดเพื่อพร้อมทำการวิเคราะห์

ชุดการทดลองที่ 2 แช่สารเคมี 48 ชั่วโมง

1) ชั่งตัวอย่างถ่านหินชั้น Q1 น้ำหนัก 50 กรัม แล้วใส่ลงในบีกเกอร์ที่เป็นแก้วและพลาสติก (สำหรับกรดไฮโดรฟลูออริก)

2) ขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนต่อไปทำเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1

3.2 เครื่องมือและการวิเคราะห์

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



รูปที่ 3.1 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย X-ray Fluorescence (ED) Horiba

ตัวอย่างผงถ่านหินจำนวน 132 ตัวอย่าง ทั้งที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยสารเคมีและยังไม่ผ่านการล้างด้วยสารเคมีจะถูกนำมาหาส่วนประกอบทางเคมี โดยตัวอย่างปริมาณ 0.5 ถึง 1 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาบดให้พอดีและผิวหน้าเรียบกับที่ใส่สารตัวอย่าง (holder) โดยกระบอกบาง ก่อนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Horiba (รุ่น XGT 5200) X-ray Fluorescence Spectrometer โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ 200 วินาทีต่อตัวอย่าง ภายใต้การใช้งานหลอดเอกซเรย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร ที่มีกระแส 1 มิลลิแอมแปร์ และกำลัง 30 กิโลวัตต์ โดยผลลัพธ์ของการวิเคราะห์จะถูกแสดงออกมาเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแสง (intensity) กับพลังงานที่คายออกมาในหน่วยของกิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) โดยแต่ละธาตุมีค่าแตกต่างกันไป ตามตารางที่ 3.3 หลังจากนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมในเครื่องเพื่อหาเป็นปริมาณสารประกอบในหน่วยร้อยละต่อไป

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 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ (X-ray
Diffractometer, XRD)



รูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการหักเหแสง Bruker (รุ่น D2 Phaser)

ตัวอย่างผงถ่านหินจำนวน 132 ตัวอย่าง ทั้งที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยสารเคมีและยังไม่ผ่านการล้างด้วยสารเคมีจะถูกนำมาหาโครงสร้างผลึกในผงตัวอย่าง โดยตัวอย่างปริมาณ 1 ถึง 1.5 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาบีบอัดให้พอดีและผิวหน้าเรียบกับที่ใส่สารตัวอย่าง (holder) โดยกระจกบาง ก่อนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bruker (รุ่น D2 Phaser) X-ray Diffractometer โดยจะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 10 นาทีต่อตัวอย่าง ภายใต้การใช้งานสภาวะดังต่อไปนี้ หลอดทองแดงขนาด 0.4x12 มิลลิเมตร ที่มีกระแส 10 มิลลิแอมแปร์ และกำลัง 30 กิโลวัตต์ มีค่าความยาวคลื่น (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) หลังจากนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์หาชนิดของผลึกโดยโปรแกรมสำเร็จในเครื่องและทำการหาปริมาณ โดยใช้โปรแกรม Topas โดยผลที่ออกมาจะแสดงในหน่วยร้อยละของปริมาณผลึกที่วัดได้

3.2.3 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นและเถ้า (Moisture and Ash Analyzer)



รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นและเถ้า Leco (รุ่น TGA 701) Moisture and Ash Analyzer

ตัวอย่างผงถ่านหินจำนวน 132 ตัวอย่าง ทั้งที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยสารเคมีและยังไม่ผ่านการล้างด้วยสารเคมีจะถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น สารละลาย เถ้า และปริมาณคาร์บอน โดยตัวอย่างปริมาณ 1.5 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาใส่ในถ้วยเซรามิก ของเครื่อง Leco (รุ่น

TGA 701) Moisture and Ash Analyzer การวิเคราะห์จะใช้วิธีการหาค่าแบบ D7582 MVA in coal โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการหาค่าความชื้น โดยจะใช้การอบตัวอย่างที่อุณหภูมิประมาณ 107 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน เครื่องจะทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างจนกว่าจะคงที่แล้วคิออกมาเป็นร้อยละความชื้น

ขั้นตอนที่ 2 ปิดฝาด้วยตัวอย่างและจะถูกอบภายใต้ก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ ประมาณ 950 องศาเซลเซียส จนกระทั่งครบเวลาแล้วเครื่องจะทำการชั่งน้ำหนักแล้วแสดงผลออกมาเป็นร้อยละสารระเหย

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากเปิดฝากรอบด้วยตัวอย่างแล้วเครื่องจะทำการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ แล้วชั่งจนกระทั่งน้ำหนักคงที่แล้วคำนวณออกมาเป็นร้อยละของปริมาณเถ้า

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



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) (รุ่น CHN 628 S Add-on Module)

ตัวอย่างผงถ่านหินจำนวน 132 ตัวอย่าง ทั้งที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยสารเคมีและยังไม่ผ่าน การล้างด้วยสารเคมีจะถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ C, H, N และ S ตัวอย่างปริมาณ 1.5 กรัมของแต่ละ

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

ขั้นตอนที่ 1 ทำการหาค่าความชื้น โดยจะใช้การอบตัวอย่างที่อุณหภูมิประมาณ 107 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน เครื่องจะทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างจนกว่าจะคงที่แล้วคิออกมาเป็นร้อยละความชื้น

ขั้นตอนที่ 2 ปิดฝาด้วยตัวอย่างและจะถูกอบภายใต้ก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ ประมาณ 950 องศาเซลเซียส จนกระทั่งครบเวลาแล้วเครื่องจะทำการชั่งน้ำหนักแล้วแสดงผลออกมาเป็นร้อยละของสารระเหย

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากเปิดฝากรอบด้วยตัวอย่างแล้วเครื่องจะทำการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ แล้วชั่งจนกระทั่งน้ำหนักคงที่แล้วคำนวณออกมาเป็นร้อยละของปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอน ตามลำดับ

3.2.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometers (ICP-OES)



รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometers (Perkin Elmer Optima 8000)

ตัวอย่างผงถ่านหินจำนวน 17 ตัวอย่าง ทั้งที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยสารเคมีและยังไม่ผ่านการล้างด้วยสารเคมีจะถูกนำไปอบแห้งเพื่อไล่ความชื้น นำมาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุร่องรอย ตัวอย่างน้ำหนัก 0.25 กรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาวิเคราะห์ในเครื่อง ICP-OES (Perkin Elmer

Optima 8000) การวิเคราะห์จะทำภายใต้สภาวะก๊าซอาร์กอนที่ความดัน 80-120 psi ก๊าซไนโตรเจนที่ความดัน 40-120 psi และอากาศที่ความดัน 80-120 psi โดยมีค่าความถี่ (RF) เท่ากับ 40 เมกกะเฮิร์ต (MHz) โดยมีขั้นตอนการย่อยตัวอย่างดังต่อไปนี้

3.2.5.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.25 กรัม (0.1000 กรัม +/- 0.0200 กรัม) และใส่ตัวอย่างลงในขวดพลาสติกสำหรับย่อยตัวอย่าง

3.2.5.2 เติมสารละลายกรดไนตริก ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ในขวดตัวอย่าง หลังจากนั้นทิ้งไว้สักครู่รอให้ควันจากการทำปฏิกิริยาลดลง

3.2.5.3 ใส่ขวดตัวอย่างเข้าไปในเครื่องย่อย ETHOS ONE (รูปที่ 3.6) เป็นเครื่องย่อยชนิดคลื่นไมโครเวฟ โดยการย่อยใช้วิธีการย่อยถ่านหินชนิด coal partial digestion ทำการให้ความร้อนใน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ณ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และขั้นตอนที่ 2 ให้ความร้อนต่อจากขั้นตอนที่ 1 เป็นอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 3.6 เครื่องย่อยตัวอย่างด้วยคลื่นไมโครเวฟ Microwave Digestion: ETHOS ONE

3.2.5.4 เติมน้ำปราศจากไอออน (Distilled De-ionized Water; DDW) โดยเริ่มจากการหยดลงในขวดพลาสติกตัวอย่างเพื่อล้างตัวอย่างที่ถูกย่อยแล้วออกมาให้หมด จากนั้นใส่ตัวอย่างลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และทำการเจือจางให้ได้ตามปริมาตร

3.2.5.5 เตรียมสารมาตรฐานประกอบไปด้วย สารหนู โครเมียม โคบอลต์ ทองแดง โมลิบดีนัม สังกะสี วานาเดียม และปรอท โดยเตรียมสารมาตรฐานที่มีค่าความเข้มข้น 0.001, 0.05, 0.1 0.5, 1, 2, 5 และ 10 ส่วนในล้านส่วน (ppm)

3.2.5.6 นำตัวอย่าง และสารมาตรฐานไปทำการวิเคราะห์ในเครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์และอธิบายผลการวิเคราะห์

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบของถ่านหิน ซึ่งประกอบไปด้วย วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) และสารประกอบโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ (XRD) ในถ่านหินแต่ละชั้นก่อนการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี

4.1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF)

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน โดยตัวอย่างถูกบดให้มีขนาดที่ละเอียดเล็กแล้วผ่านการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) หลังจากนั้นจะถูกบดอัดลงในที่ใส่ตัวอย่างให้ผิวหน้าเรียบด้วยแผ่นกระจกแก้ว ก่อนนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของถ่านหิน ด้วยเครื่องมือหาธาตุประกอบโดยวิธีการเรืองแสง (XRF) โดยเครื่อง Holiba รุ่น XGT-5200 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุออกไซด์จากตัวอย่าง 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 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1

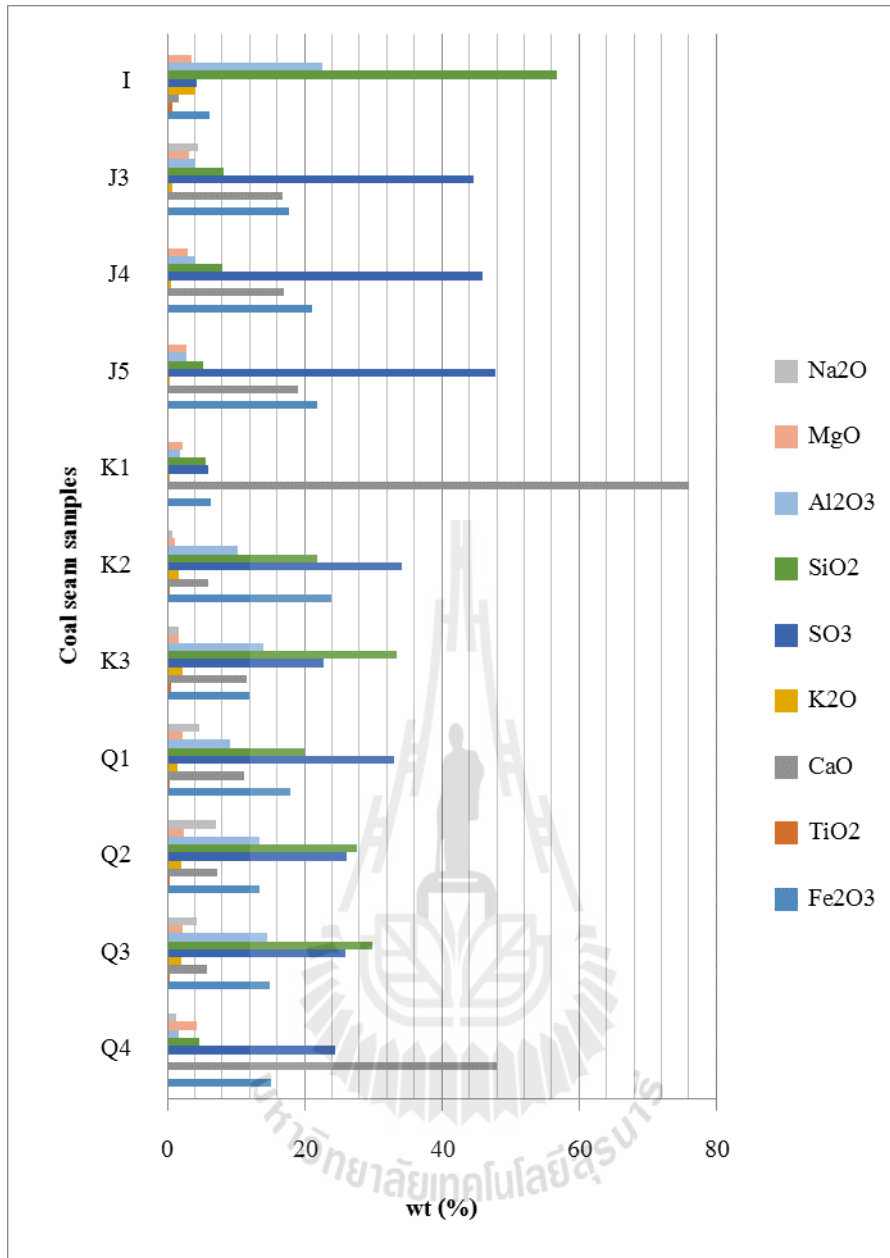
จากตารางที่ 4.1 แสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ XRF ตามลำดับชั้นถ่านหิน ดังต่อไปนี้ คือ

ชั้นถ่านหินชั้น I ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 คิดเป็นร้อยละ 56.76, 22.67 และ 6.14 ตามลำดับ และมีปริมาณของ MgO , SO_3 และ K_2O ประมาณร้อยละ 4

ชั้นถ่านหินชั้น J ซึ่งประกอบด้วย ชั้น J3, J4 และ J5 ธาตุประกอบส่วนใหญ่เป็น SO_3 มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 44.7 ถึง 47.9 รองลงมาเป็น Fe_2O_3 ร้อยละ 17.7 ถึง 21.7 และ CaO ประมาณร้อยละ 16.8 ถึง 19.06 พบ SiO_2 เพียงร้อยละ 5.2 ถึง 8.2

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	ZnO	BaO	Total
I	0.000	3.621	22.665	56.759	0.000	4.274	4.168	1.642	0.694	0.016	6.142	0.018	0.01	100
J3	4.397	3.125	4.142	8.216	0.000	44.675	0.662	16.840	0.147	0.072	17.708	0.017	0.02	100
J4	0.000	2.980	4.189	8.065	0.000	45.876	0.620	16.920	0.157	0.060	21.124	0.010	0.02	100
J5	0.041	2.701	2.799	5.260	0.000	47.888	0.332	19.056	0.122	0.020	21.763	0.015	0.02	100
K1	0.000	2.290	1.888	5.532	0.713	6.033	0.297	75.945	0.222	0.932	6.322	0.006	0.30	100
K2	0.742	1.114	10.231	21.818	0.000	34.190	1.627	5.989	0.288	0.060	23.927	0.015	0.02	100
K3	1.725	1.674	14.064	33.396	0.000	22.766	2.208	11.653	0.482	0.107	11.910	0.015	0.01	100
Q1	4.706	2.166	9.159	19.948	0.000	33.000	1.454	11.275	0.340	0.034	17.901	0.016	0.02	100
Q2	7.128	2.506	13.451	27.697	0.000	26.108	1.966	7.202	0.386	0.032	13.512	0.013	0.00	100
Q3	4.278	2.247	14.559	29.839	0.000	25.915	2.039	5.800	0.442	0.017	14.843	0.020	0.03	100
Q4	1.284	4.199	1.666	4.605	0.392	24.382	0.129	47.957	0.136	0.159	15.080	0.012	0.00	100



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงปริมาณธาตุหลักเฉลี่ยในถ่านหินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

ชั้นถ่านหิน K ซึ่งประกอบด้วย ชั้น K1, K2 และ K3 มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันมาก โดยพบว่าถ่านหินชั้น K1 มีปริมาณของ CaO สูงสุดคือร้อยละ 76 และมีปริมาณ SiO₂, SO₃ และ Fe₂O₃ ร้อยละ 6 ส่วนในถ่านหินชั้น K2 พบปริมาณ SO₃ สูงสุดคือร้อยละ 34.19 รองลงมาเป็น Fe₂O₃ (ร้อยละ 23.93), SiO₂ (ร้อยละ 21.82) และ Al₂O₃ (ร้อยละ 10.23) และในถ่านหินชั้น K3 ธาตุประกอบส่วนใหญ่เป็น SiO₂ (ร้อยละ 33), SO₃ (ร้อยละ 23) และ Al₂O₃ (ร้อยละ 14) ตามลำดับ ดังนั้นถ่านหินชั้น K จึงประกอบด้วย CaO เป็นส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 6 ถึง 76 SiO₂ ร้อยละ 5.5 ถึง 33.4 และ SO₃ ร้อยละ 6.03 ถึง 34.19

ชั้นถ่านหินชั้น Q ซึ่งประกอบด้วย Q1, Q2, Q3 และ Q4 โดยถ่านหินชั้น Q1 ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SO_3 ร้อยละ 33 SiO_2 ร้อยละ 20 และ Fe_2O_3 ร้อยละ 18 ซึ่งชั้น Q2 และ Q3 มีปริมาณธาตุประกอบที่คล้ายคลึงกัน คือ พบ SiO_2 สูงสุดร้อยละ 27.7 ถึง 29.8 รองลงมาเป็น SO_3 ร้อยละ 26, Fe_2O_3 ร้อยละ 13.5 ถึง 14.8 และ CaO ร้อยละ 5.8 ถึง 7.2 ในชั้นถ่านหิน Q4 พบ CaO สูงสุดร้อยละ 47.9, SO_3 ร้อยละ 24.4 และ Fe_2O_3 ร้อยละ 15.1 ตามลำดับ ดังนั้นถ่านหินชั้น Q จะประกอบด้วย SO_3 (ร้อยละ 24 ถึง 33), SiO_2 (ร้อยละ 4 ถึง 29) และ Fe_2O_3 (ร้อยละ 13 ถึง 18) เป็นส่วนใหญ่

ปริมาณ SiO_2 จะพบมากในชั้น I รองลงมาเป็นชั้น K2, K3, Q, Q2 และ Q3 ในปริมาณใกล้เคียงกัน และพบน้อยในชั้นอื่นๆ ปริมาณ SO_3 พบมากชั้น J3, J4 และ J5 พบรองลงมาในถ่านหินชั้นลึกลงไป และพบน้อยมากในชั้น I และ K1 จากผลรวมปริมาณธาตุหลักที่ทำให้เกิดจีไถ่มีมากที่สุด ในชั้น I และรองลงมาเป็น K2, K3, Q1, Q2 และ Q3 ตามลำดับ และพบได้ปริมาณน้อยในชั้น Q4

4.1.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ด้วยสารเคมีต่างๆ แสดงผลดังตารางภาคผนวก ข ที่ ข.1.1 และรูปที่ 4.2 ถึง 4.5

จากภาคผนวก ตารางที่ ข.1.2 แสดงผลการวิเคราะห์ของถ่านหินชั้น I พบว่าปริมาณของซัลเฟอร์จะลดลงมากที่สุดด้วยการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ลดลงร้อยละ 80 รองลงมา คือ กรดไนตริก ลดลงร้อยละ 83 และ ไฮโดรคลอริก ลดลงร้อยละ 81 ส่วนปริมาณของสารประกอบอลูมินาจะลดลงมากที่สุดโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 74 กรดไฮโดรคลอริก ลดลงร้อยละ 63 และกรดไนตริก ลดลงร้อยละ 61 สารประกอบเหล็กจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยผ่านกรดไฮโดรฟลูออริก ลดลงร้อยละ 96 กรดไฮโดรคลอริก ลดลงร้อยละ 93 และกรดไนตริก ลดลงร้อยละ 92 ซึ่งจะพบได้ว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริกมีผลในการช่วยลดปริมาณของ Al_2O_3 , SiO_2 และ Fe_2O_3 อย่างละประมาณร้อยละ 80

ถ่านหินชั้น J3 (ตารางที่ ข.1.3) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ช่วยลดปริมาณซัลเฟอร์ได้สูงสุดร้อยละ 64 และลด SiO_2 ได้ร้อยละ 88 ส่วนกรดไฮโดรคลอริกช่วยลด Al_2O_3 ได้ร้อยละ 41 และลดปริมาณ Fe_2O_3 ได้ร้อยละ 81 จากผลการวิเคราะห์โดยสรุปพบว่ากรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณธาตุที่จะก่อให้เกิดจีไถ่ได้ร้อยละ 72

ถ่านหินชั้น J4 (ตารางที่ ข.1.4) กรดไฮโดรไฮโดรฟลูออริกทำให้ปริมาณ SO_3 ในตัวอย่างถ่านหินลดลงมากที่สุดโดยลดลงร้อยละ 74 โดยปริมาณ Al_2O_3 จะลดลงร้อยละ 90 โดยการใช้กรดไนตริก

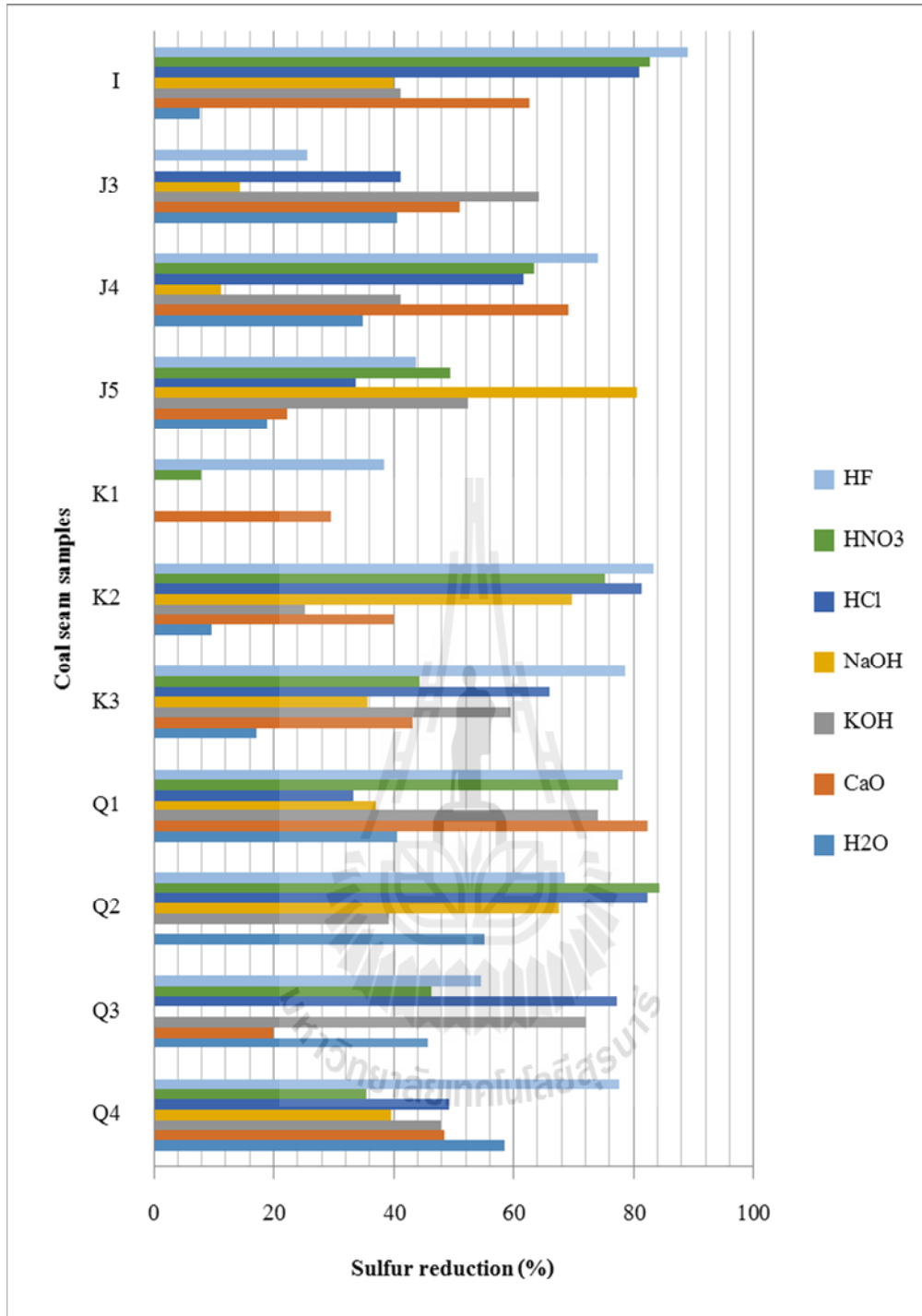
หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนปริมาณ SiO_2 จะลดลงร้อยละ 90 โดยการผ่านการแช่ในกรดไนตริก และปริมาณ SiO_2 จะลดลงประมาณร้อยละ 85 โดยผ่านการแช่ในกรดไฮโดรไฮโดรฟลูออริก หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนปริมาณของ Fe_2O_3 จะลดลงประมาณร้อยละ 90 โดยการผ่านการแช่ในกรดไฮโดรไฮโดรฟลูออริก กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก หรือ ปูนขาว

ถ่านหินชั้น J5 (ตารางที่ ข.1.5) จากการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณ SO_3 ลดลงร้อยละ 81 และปริมาณ Fe_2O_3 ลดลงร้อยละ 93 โดยผ่านโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณ Al_2O_3 ลงได้ร้อยละ 99 และลด SiO_2 ได้ร้อยละ 85 ซึ่งผลใกล้เคียงกับการใช้กรดไฮโดรคลอริก แต่กรดไนตริกมีผลต่อการลดลงของปริมาณธาตุที่จะก่อให้เกิดขี้เถ้าลดลงได้มากที่สุด โดยลดลงร้อยละ 91

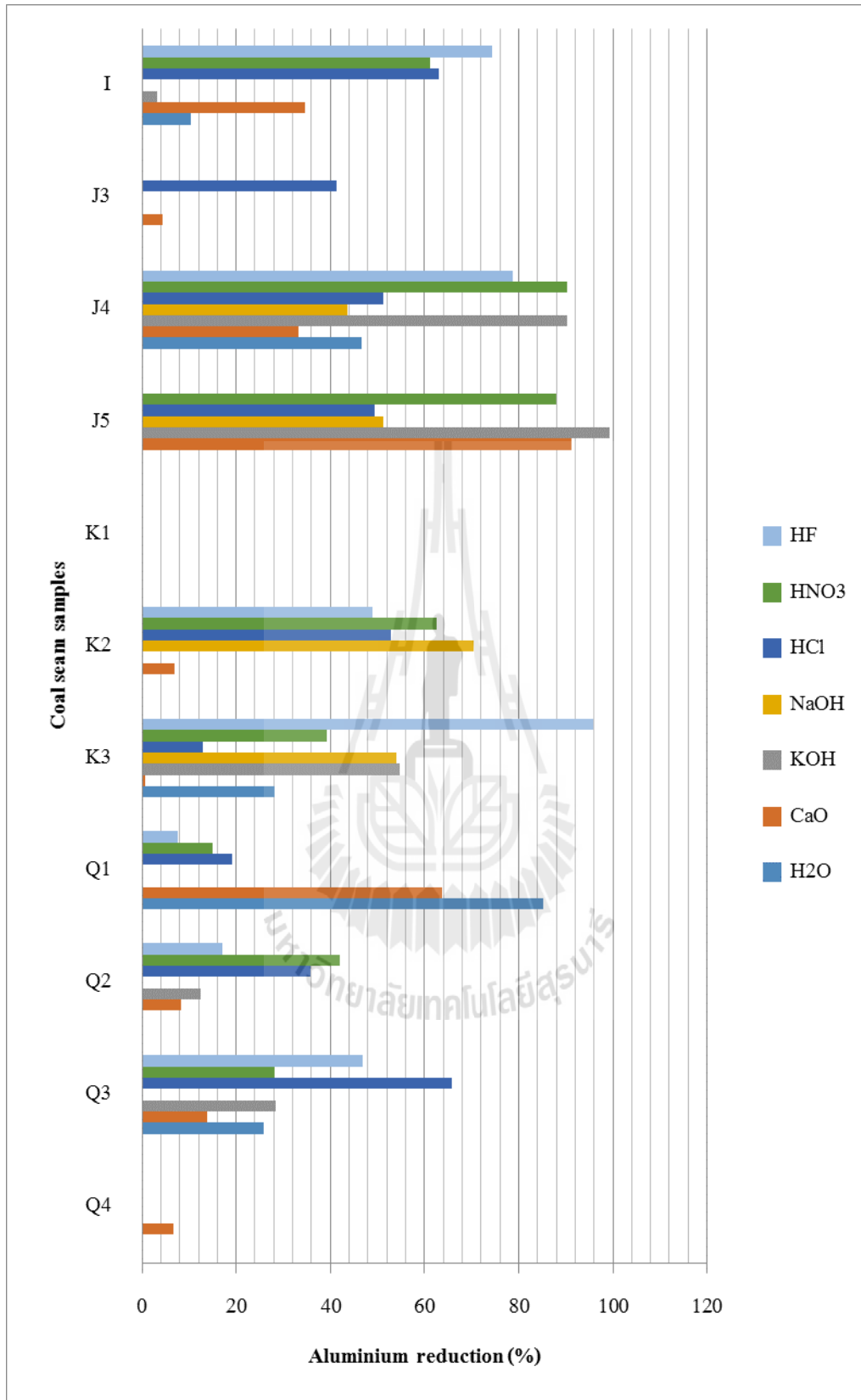
ถ่านหินชั้น K1 (ตารางที่ ข.1.6) กรดไฮโดรฟลูออริก สามารถลดปริมาณ SO_3 ได้มากที่สุด โดยลดลงร้อยละ 38 และลด Fe_2O_3 ลงประมาณร้อยละ 83 เช่นเดียวกับกรดไนตริก ซึ่งลด Fe_2O_3 ลงประมาณร้อยละ 84 จากรูปที่ 4.2 ถึง 4.5 แสดงให้เห็นว่าสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการล้างถ่านหินไม่มีผลต่อการลดส่วนประกอบของซิลิกอน อะลูมิเนียม แต่มีผลในการลดปริมาณของซัลเฟอร์และเหล็กกล้าเล็กน้อยในบางสารเคมี ทั้งนี้เนื่องจากในตัวอย่างถ่านหินชั้น K1 มีปริมาณสารประกอบแคลเซียมที่สามารถละลายได้ในกรดและสารเคมีชนิดต่างๆ ได้ดี ทำให้ปฏิกิริยาส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับสารประกอบของแคลเซียมทำให้สารประกอบของโลหะอื่นๆ รวมถึงซัลเฟอร์ไม่ลดลงหรือลดลงได้เพียงเล็กน้อย

ถ่านหินชั้น K2 (ตารางที่ ข.1.7) กรดไฮโดรฟลูออริก และกรดไนตริก สามารถลดปริมาณ SO_3 ได้มากที่สุดเป็นร้อยละ 81 ถึง 83 ส่วนปริมาณ SiO_2 ลดลงมากในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรฟลูออริกประมาณร้อยละ 78 และปริมาณ Fe_2O_3 ลดลงร้อยละ 94 โดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ไนตริก หรือ ไฮโดรคลอริก ปริมาณขี้เถ้าที่อาจจะเกิดขึ้นสามารถลดลงได้มากที่สุดประมาณร้อยละ 79 ถึง 80 โดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ไฮโดรคลอริก หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์

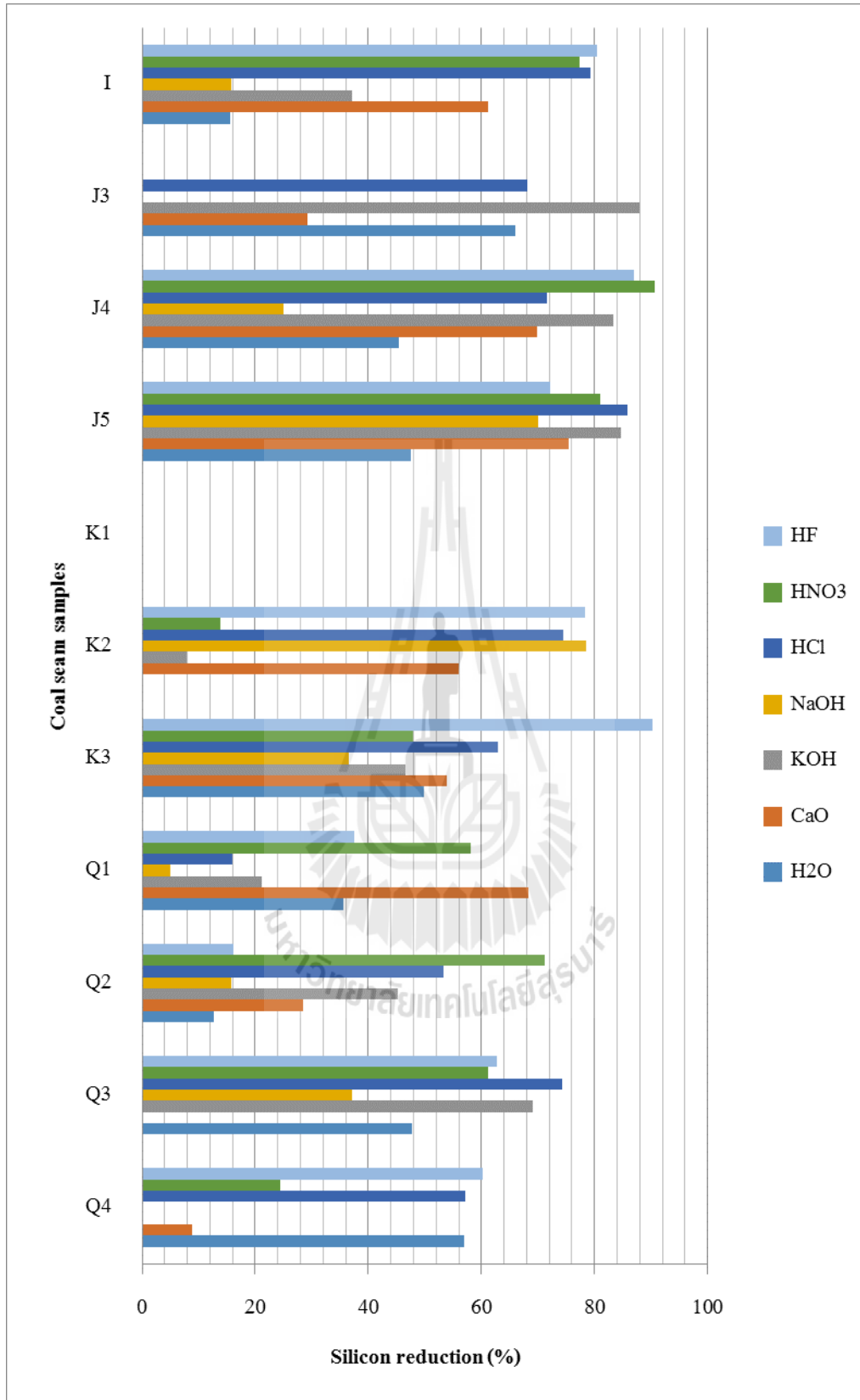
ถ่านหินชั้น K3 (ตารางที่ ข.1.8) สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก สามารถลดปริมาณ SO_3 และสารประกอบต่างๆ ได้ดีที่สุด โดยลดลงดังนี้ SO_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 และผลรวมของธาตุที่จะก่อให้เกิดขี้เถ้า (Si, Al และ Fe) ได้ร้อยละ 79, 96, 90, 92 และ 92 ตามลำดับ



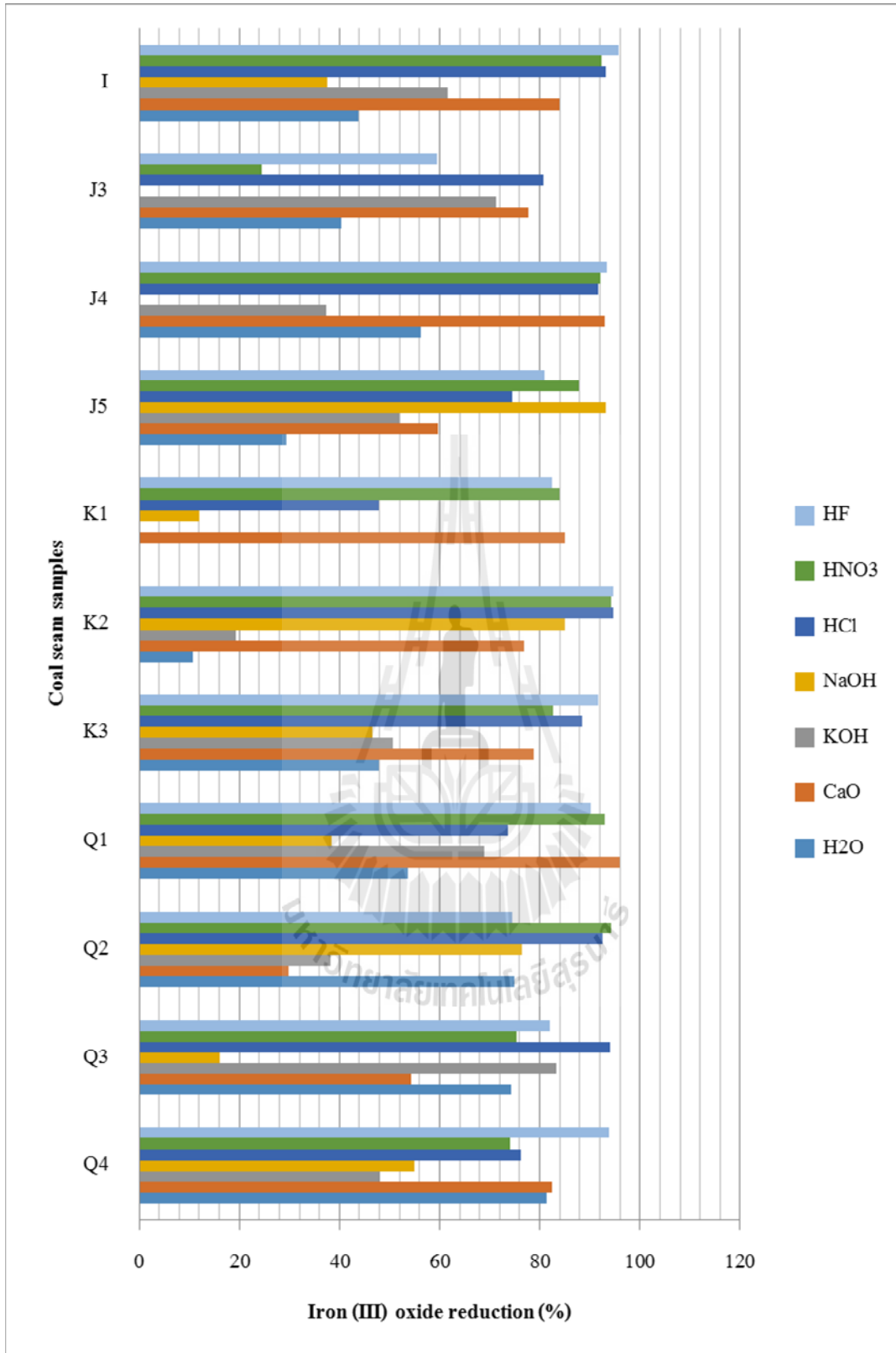
รูปที่ 4.2 ภาพแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณซัลเฟอร์ หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณอะลูมิเนียม หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.4 ภาพแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณซิลิกอน หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.5 ภาพแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณเหล็ก หลังใช้ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ถ่านหินชั้น Q1 (ตารางที่ ข.1.9) สารละลายปูนขาวสามารถช่วยลดส่วนประกอบธาตุต่างๆ ได้ดีที่สุด คือสามารถลด SO_3 ร้อยละ 82, Al_2O_3 ร้อยละ 64, SiO_2 ร้อยละ 68, Fe_2O_3 ร้อยละ 96 และผลรวมของธาตุที่จะก่อให้เกิดขี้เถ้า (Si, Al และ Fe) ได้ร้อยละ 78

ถ่านหินชั้น Q2 (ตารางที่ ข.1.10) สารละลายกรดไนตริกและไฮโดรคลอริกให้ผลใกล้เคียงกัน คือ สามารถลดปริมาณของ SO_3 ร้อยละ 82 ถึง 84, Al_2O_3 ร้อยละ 36 ถึง 42, SiO_2 ร้อยละ 53 ถึง 71, Fe_2O_3 ร้อยละ 92 ถึง 94 และผลรวมของธาตุที่จะก่อให้เกิดขี้เถ้า (Si, Al และ Fe) ได้ร้อยละ 58 ถึง 70

ถ่านหินชั้น Q3 (ตารางที่ ข.1.11) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกลดส่วนประกอบธาตุต่างๆ ได้ดีที่สุด คือ ลดปริมาณของ SO_3 ร้อยละ 77, Al_2O_3 ร้อยละ 66 ถึง 42, SiO_2 ร้อยละ 74, Fe_2O_3 ร้อยละ 94 และผลรวมของธาตุที่จะก่อให้เกิดขี้เถ้า (Si, Al และ Fe) ได้ร้อยละ 77

ถ่านหินชั้น Q4 (ตารางที่ ข.1.12) สารละลายกรดกรดไฮโดรฟลูออริกลดส่วนประกอบธาตุต่างๆ ได้ดีที่สุด คือลดปริมาณของ SO_3 ร้อยละ 77.6, SiO_2 ร้อยละ 60, Fe_2O_3 ร้อยละ 94 และผลรวมของธาตุที่จะก่อให้เกิดขี้เถ้า (Si, Al และ Fe) ได้ร้อยละ 73

4.1.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ด้วยสารเคมีต่างๆ แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.2

สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกมีผลทำให้ปริมาณของ ZnO ลดลงมากที่สุดร้อยละ 62.5 รองลงมาเป็นปริมาณของ CaO, Na_2O , MgO และ SO_3 โดยลดลงร้อยละ 37, 29, 26 และ 25 ตามลำดับ

สารละลายกรดไนตริกสามารถลดปริมาณ MnO และ CaO มากที่สุดร้อยละ 67 รองลงมาเป็นปริมาณ ZnO และ MgO ร้อยละ 50 และ 27 ตามลำดับ

สารละลายกรดไฮโดรคลอริก สามารถลดปริมาณของ ZnO ได้มากที่สุดร้อยละ 81 ปริมาณ MnO_2 ลดลงร้อยละ 56 ปริมาณ MgO ลดลงร้อยละ 38 ปริมาณ Fe_2O_3 ร้อยละ 31 ส่วนปริมาณ Na_2O , CaO และ SO_3 ลดลงร้อยละ 24.71, 17.45 และ 17.45 ตามลำดับ

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถลดปริมาณ MgO, SO_3 และ CaO ประมาณร้อยละ 62 โดยส่งผลทำให้ปริมาณของ Na_2O ลดลงร้อยละ 59 และปริมาณ ZnO ลดลงร้อยละ 31

สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีผลต่อการลดลงของปริมาณ CaO มากที่สุด ร้อยละ 63 รองลงมาเป็นปริมาณของ SO₃ และ MgO ประมาณร้อยละ 55 โดยส่งผลทำให้ลดปริมาณ Na₂O ได้เล็กน้อย ประมาณร้อยละ 6

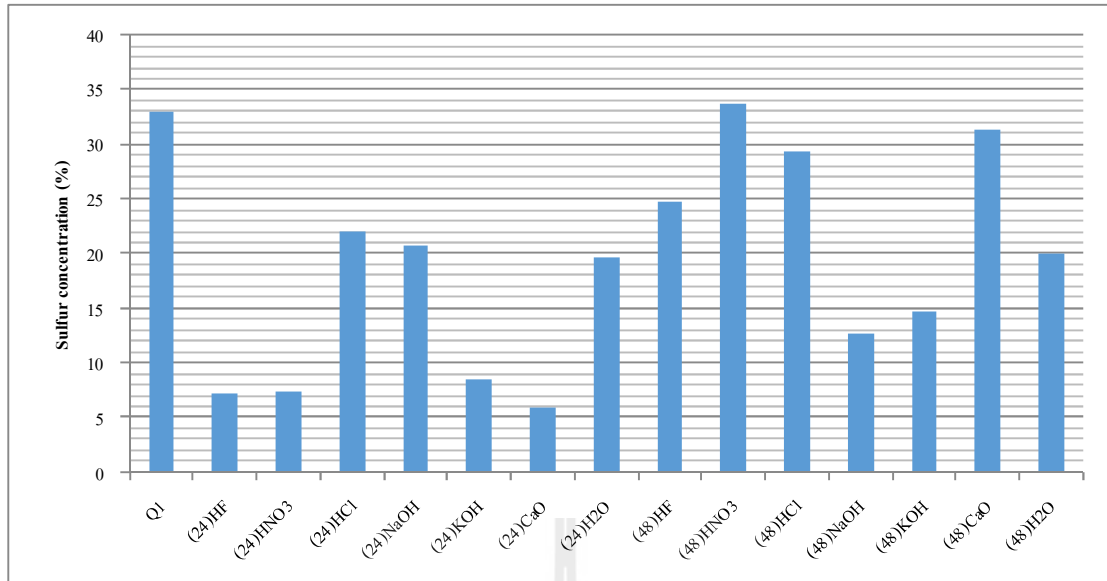
สารละลายปูนขาวส่งผลต่อการลดปริมาณของ Na₂O และ MgO มากที่สุดประมาณร้อยละ 60 และ 54 ตามลำดับ โดยลดปริมาณ ZnO, TiO₂, K₂O, Al₂O₃ และ SiO₂ ลงร้อยละ 37, 22, 21, 18 และ 11 ตามลำดับ

น้ำกลั่นส่งผลต่อการลดปริมาณ MgO มากที่สุดร้อยละ 77 รองลงมาเป็นปริมาณ ZnO, MnO₂, CaO และ SO₃ ร้อยละ 68, 52, 52 และ 39 ตามลำดับ

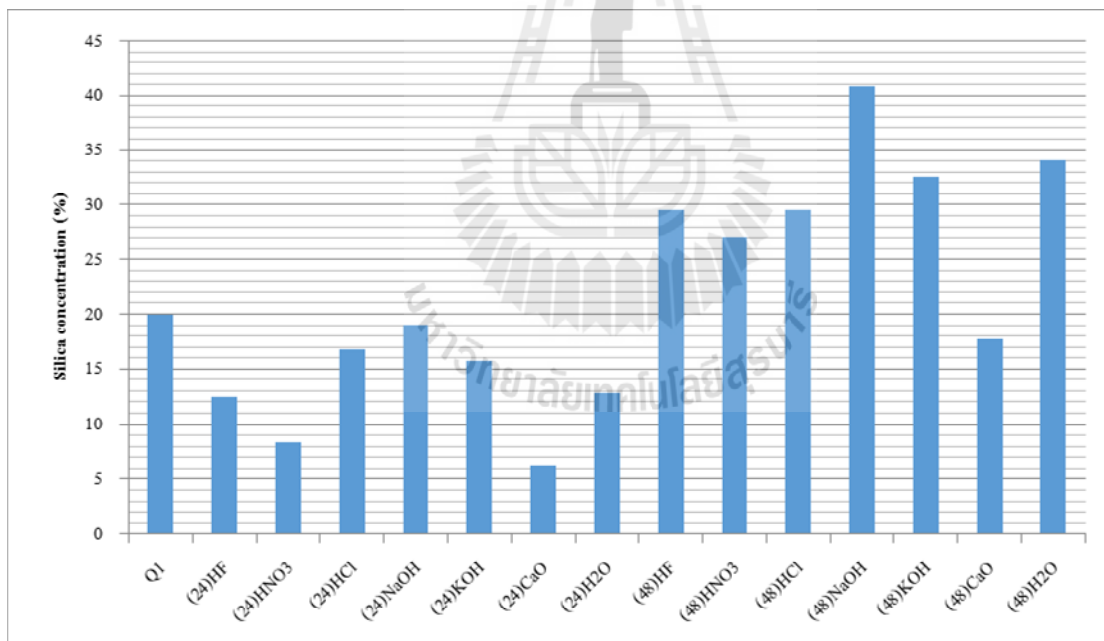
จากผลของการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.6 ถึง 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของซัลเฟอร์จะลดลงมากที่สุดด้วยการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยลดลงประมาณร้อยละ 50 ส่วนสารละลายปูนขาว กรดไฮโดรฟลูออริก กรดไฮโดรคลอริก และ กรดไนตริก มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของสารประกอบซิลิกามากที่สุดและรองลงมา ตามลำดับ สารประกอบเหล็กออกไซด์ลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 48 ชั่วโมง สารละลายปูนขาวมีผลต่อการลดสารประกอบอลูมินา มากที่สุดเมื่อเทียบกับสารละลายชนิดอื่นซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ปริมาณธาตุอื่นๆ มีการลดลงและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุหลักที่มีการลดลง จากกราฟของการแช่สารเคมี 48 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณ สารประกอบซัลเฟอร์ ซิลิกา เหล็กออกไซด์ และอลูมิเนียมสูงกว่า ตัวอย่างที่แช่ในสารเคมี 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นผลมาจาก ปริมาณของสารประกอบโลหะที่เกิดหลังปฏิกิริยา ซึ่งคาดว่า การเกิดปฏิกิริยาน่าจะเกิดขึ้นเสร็จสิ้นแล้วภายใน 24 ชั่วโมงแล้ว หลังจากนั้นสารประกอบโลหะต่างๆ ที่เปลี่ยนโครงสร้างแล้ว เช่น โซเดียมไอออน และโพแทสเซียมไอออน นั้นมีเวลามากขึ้นในการแช่อยู่ในสารละลายผสมน้ำ ทำให้เกิดการละลายในน้ำที่มีอยู่ได้ดีขึ้น จากตารางที่ 4.2 แสดงถึงปริมาณการลดลงของโลหะเหล่านี้ได้อย่างชัดเจนจนเหลือค่าเพียงประมาณ ร้อยละ 3 ส่วนสารประกอบพวกที่ไม่ละลายในน้ำ ได้แก่ อลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกา ที่ไม่ละลายในน้ำมีปริมาณเท่าเดิม ทำให้ร้อยละเพิ่มขึ้นจากสัดส่วนของปริมาณแคลเซียมและ โพแทสเซียมที่ลดลง

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อนและหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

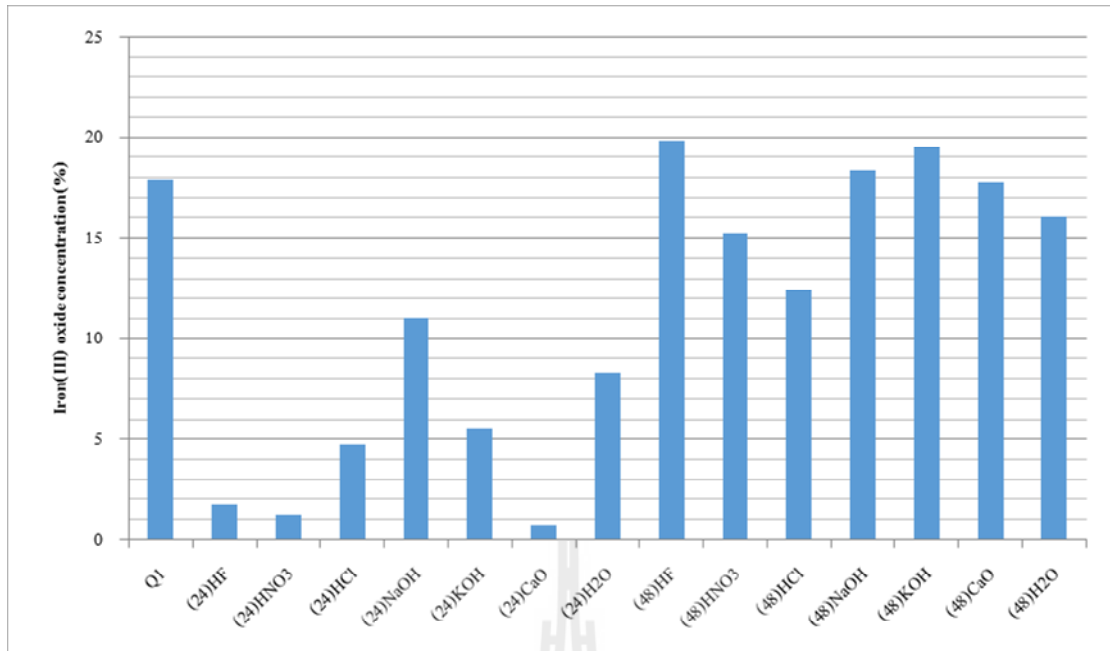
Q1 Seam	Na ₂ O		MgO		Al ₂ O ₃		SiO ₂		P ₂ O ₅		SO ₃		K ₂ O		CaO		TiO ₂		MnO ₂		Fe ₂ O ₃		BaO		ZnO	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
HF	4.71	3.36	2.17	1.60	9.16	11.49	19.95	29.54	0.00	0.00	33.00	24.72	1.45	1.86	11.28	7.09	0.34	0.50	0.03	0.05	17.90	19.78	0.02	0.004	0.02	0.01
HNO ₃	4.71	5.25	2.17	1.57	9.16	11.59	19.95	27.09	0.00	0.00	33.00	33.76	1.45	1.39	11.28	3.64	0.34	0.44	0.03	0.01	17.90	15.26	0.02	0.000	0.02	0.01
HCl	4.71	3.54	2.17	1.34	9.16	11.93	19.95	29.51	0.00	0.00	33.00	29.24	1.45	2.03	11.28	9.31	0.34	0.62	0.03	0.02	17.90	12.43	0.02	0.05	0.02	0.00
NaOH	4.71	1.92	2.17	0.77	9.16	17.90	19.95	40.89	0.00	0.00	33.00	12.66	1.45	2.84	11.28	4.14	0.34	0.49	0.03	0.05	17.90	18.33	0.02	0.00	0.02	0.01
KOH	4.71	4.42	2.17	0.97	9.16	12.91	19.95	32.50	0.00	0.00	33.00	14.71	1.45	10.32	11.28	4.09	0.34	0.47	0.03	0.06	17.90	19.52	0.02	0.00	0.02	0.029
CaO	4.71	1.87	2.17	1.00	9.16	7.48	19.95	17.71	0.00	0.000	33.00	31.41	1.45	1.138	11.28	21.25	0.34	0.26	0.03	0.08	17.90	17.77	0.02	0.05	0.02	0.010
H ₂ O	4.71	5.78	2.17	0.50	9.16	15.65	19.95	34.10	0.00	0.00	33.00	19.97	1.45	1.85	11.28	5.39	0.34	0.52	0.03	0.02	17.90	16.07	0.02	0.02	0.02	0.01



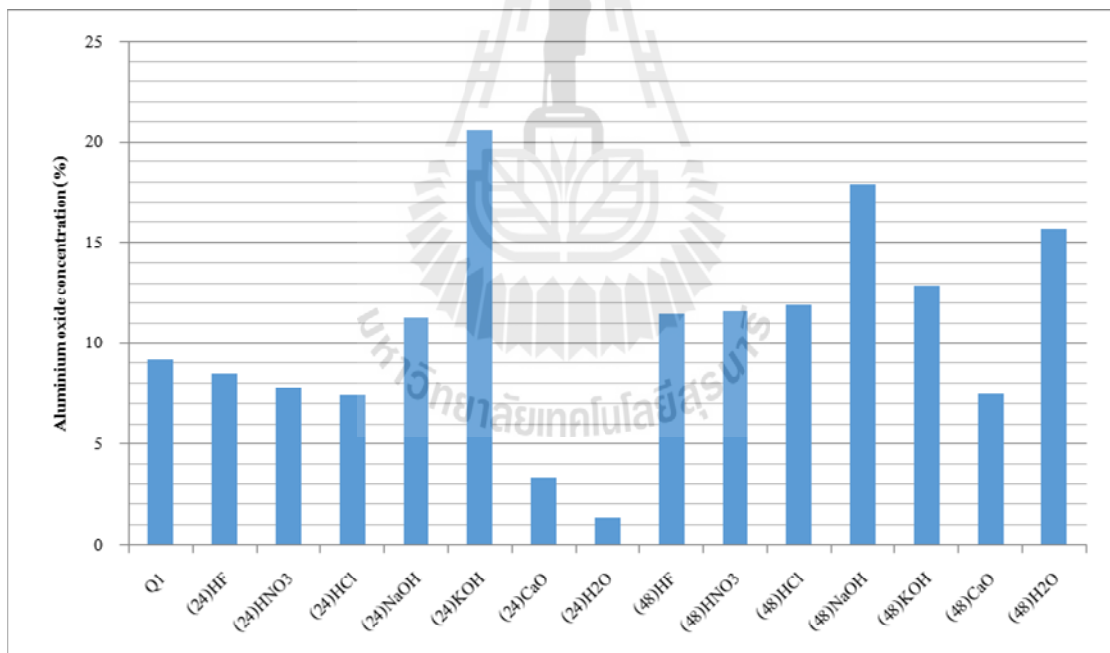
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของซัลเฟอร์ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของซิลิกอนของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของเหล็กออกไซด์ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของอะลูมิเนียมออกไซด์ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี

4.2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์ (XRD)

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน โดยตัวอย่างถูกบดให้มีขนาดที่ละเอียดเล็กแล้วผ่านการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) หลังจากนั้นจะถูกบีบอัดลงในที่ใส่ตัวอย่างให้ผิวหน้าเรียบด้วยแผ่นกระจกแก้ว ก่อนนำไปวิเคราะห์หาสารประกอบของถ่านหิน ด้วยเครื่องมือหาสารประกอบที่เป็นผลึกโดยวิธีการหักเหของแสง (XRD) ของบริษัท Bruker (D2-Phaser) สามารถบอกได้ว่าแร่ที่มีอยู่มีปริมาณเท่าไร แล้วทำการหาปริมาณแร่โดยใช้ซอฟต์แวร์ Topas โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการทดลอง 3 ครั้งแล้วทำการเทียบหาปริมาณแร่ผลึก และรายงานออกเป็นแถบสี กราฟแวนอนเป็นแกนของมุม 2θ กับแกนแนวตั้งเป็น ค่าความเข้มข้น (intensity) มักแสดงในรูปของ d-spacing (Å) จากสมการของ Bragg's Law คือ $n\lambda = 2d \sin \theta$

ชั้นถ่านหิน I จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.10 พบว่าแร่หลักประกอบด้วย โปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ร้อยละ 32.1 กาลีออกโคไนต์ ร้อยละ 17.8 และควอร์ตซ์ ร้อยละ 10.2 โดยมี เคโอลิไนต์ มอนต์โมริลโลไนต์ และคลอไรต์ ปริมาณร้อยละ 9.2

ชั้นถ่านหิน J3, J4 และ J5 มีองค์ประกอบแร่ที่คล้ายคลึงกัน คือส่วนใหญ่เป็น มอนต์โมริลโลไนต์ ร้อยละ 30 ถึง 43 โปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ร้อยละ 30 ถึง 42 และ ยิปซัม ร้อยละ 18 ถึง 19 โดยพบ ควอร์ตซ์ และแคลไซต์ ปริมาณน้อยมาก

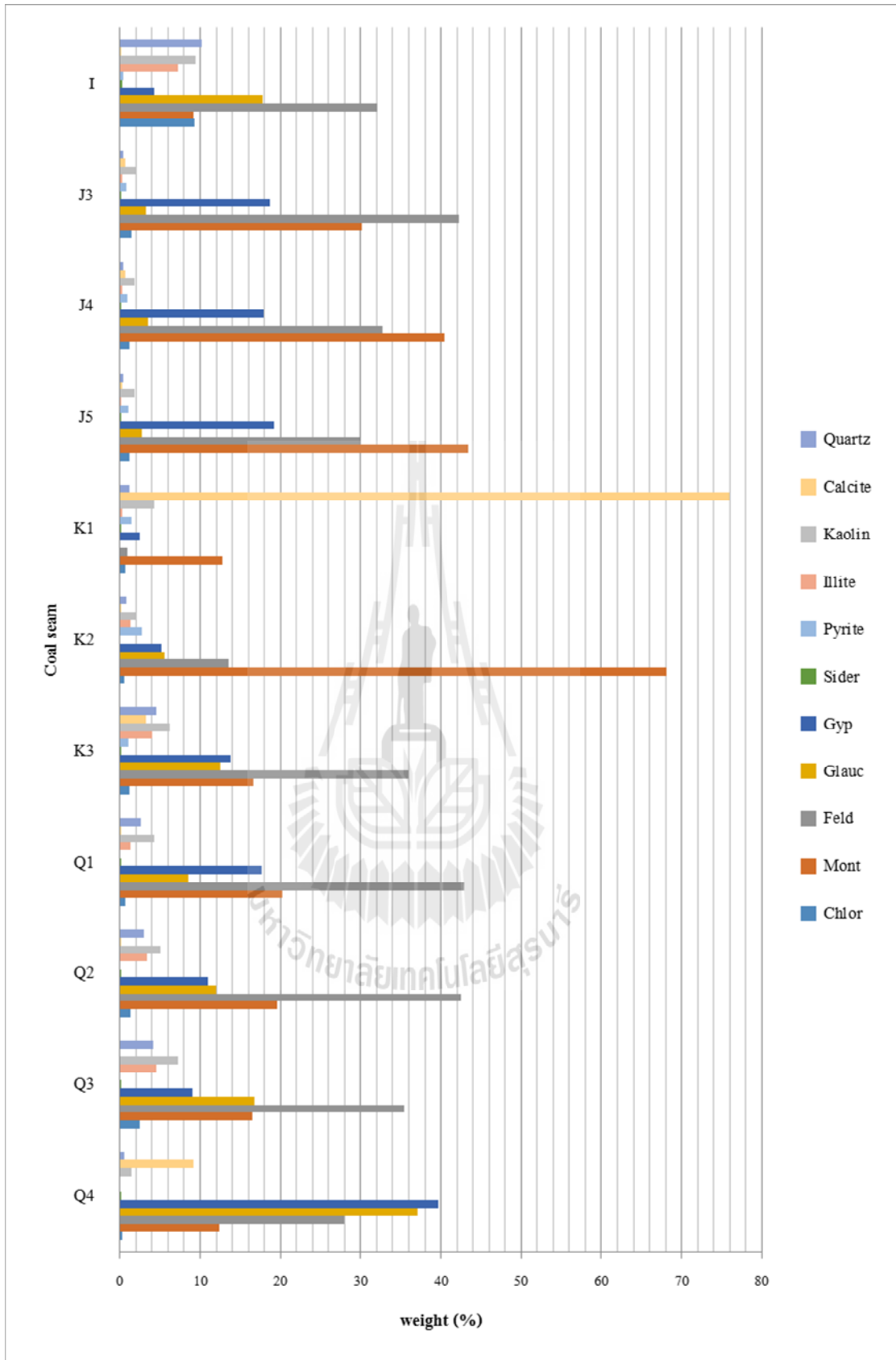
ชั้นถ่านหิน K1 แร่ประกอบส่วนใหญ่เป็น แคลไซต์ และ มอนต์โมริลโลไนต์ ร้อยละ 75.93 และ 12.79

ชั้นถ่านหิน K2 พบ มอนต์โมริลโลไนต์ มากสุดร้อยละ 68.15 รองลงมาคือ โปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ร้อยละ 13.58

ชั้นถ่านหิน K3 มีองค์ประกอบของ โปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ สูงสุดร้อยละ 36 รองลงมาเป็น มอนต์โมริลโลไนต์ ร้อยละ 17 ยิปซัม ร้อยละ 14 และ กาลีออกโคไนต์ ร้อยละ 13

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบหลักในด้านหินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

Comp	ควอร์ตซ์	แคลไซต์	เคโอลิน	อิลไลต์	ไฟไรต์	ซิเดอไรต์	ยิปซัม	กลีโกลไลน์	เฟลด์สปาร์	มอนต์โมริล โลไนต์	คลอไรต์
I	10.24	0.16	9.36	7.18	0.36	0.28	4.22	17.78	32.07	9.10	9.24
J3	0.39	0.70	1.98	0.27	0.84	0.09	18.69	3.27	42.20	30.13	1.45
J4	0.47	0.61	1.88	0.24	0.88	0.07	17.93	3.53	32.72	40.47	1.21
J5	0.36	0.34	1.77	0.10	1.00	0.08	19.19	2.74	29.88	43.35	1.20
K1	1.12	75.93	4.28	0.32	1.47	0.01	2.44	0.00	0.99	12.79	0.64
K2	0.85	0.13	1.93	1.37	2.74	0.00	5.18	5.50	13.58	68.15	0.56
K3	4.51	3.28	6.14	4.02	1.10	0.14	13.85	12.54	36.00	16.66	1.20
Q1	2.54	0.11	4.28	1.25	0.00	0.07	17.61	8.46	42.91	20.25	0.70
Q2	3.01	0.02	5.04	3.37	0.00	0.06	10.94	12.05	42.44	19.54	1.35
Q3	4.09	0.00	7.24	4.50	0.00	0.04	8.98	16.81	35.39	16.54	2.43
Q4	0.54	9.10	1.44	0.00	0.00	0.02	39.65	37.12	27.94	12.40	0.22



รูปที่ 4.10 ภาพแสดงปริมาณองค์ประกอบหลักเฉลี่ยในถ่านหินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

ชั้นถ่านหิน Q1, Q2 และ Q3 มีแร่ประกอบส่วนใหญ่คล้ายคลึงกันเป็น โปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ร้อยละ 35 ถึง 43 มอนต์โมริลโลไนต์ ร้อยละ 17 ถึง 20 ยิปซัม ร้อยละ 9 ถึง 18 และ กลิ้อคโคไนต์ ร้อยละ 8 ถึง 17 โดยพบแร่แคลไซต์ ไพไรต์ และ ซิเดอไรต์ ปริมาณน้อยมาก

ชั้นถ่านหิน Q4 ส่วนใหญ่เป็นแร่ ยิปซัม กลิ้อคโคไนต์ โปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และ มอนต์โมริลโลไนต์ ในปริมาณร้อยละ 40, 37, 28 และ 12 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์แร่ของถ่านหิน พบว่ามีปริมาณแร่ควอร์ตซ์จะลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ยกเว้นชั้นถ่านหิน I และ Q โดยชั้นถ่านหิน I มีปริมาณแร่ควอร์ตซ์สูงสุด และชั้นถ่านหิน Q มีปริมาณแร่ควอร์ตซ์ต่ำสุดในระดับชั้นที่ลึกสุด ส่วนแร่ไพไรต์จะเพิ่มขึ้นตามความลึก และพบปริมาณน้อยมากในชั้นถ่านหิน Q ส่วนปริมาณแร่แคลไซต์ ในถ่านหินจะพบมากที่สุดในชั้น K1 และพบได้น้อยมากในชั้นอื่นๆ เนื่องจากชั้นบนสุดของถ่านหินชั้น K พบปริมาณซากสิ่งมีชีวิตมาก (Silaratana, et al., 2003) จึงทำให้ K1 ประกอบด้วยปริมาณแร่แคลไซต์สูง ส่วนปริมาณแร่ยิปซัม พบว่าในชั้นถ่านหิน J3, J4 และ J5 มีปริมาณเท่าๆกัน และจะสูงที่สุดที่ชั้นถ่านหิน Q4

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบธาตุต่างๆ ในการวิเคราะห์โดย XRF พบว่ามีความสอดคล้องกันระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางแร่กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุตามลำดับชั้นถ่านหินตัวอย่าง เช่น ปริมาณ SiO_2 ที่วัดได้ในชั้น I เป็นร้อยละ 57 แต่ปรากฏในรูปของ ควอร์ตซ์ เพียงร้อยละ 10 แสดงว่า SiO_2 ที่วัดได้จาก XRF อาจปรากฏอยู่ในรูปของแร่ควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ อิลไลต์ โปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ กลิ้อคโคไนต์ และมอนต์โมริลโลไนต์ ส่วนปริมาณ Fe_2O_3 อาจอยู่ในรูปของแร่ไพไรต์และกลิ้อคโคไนต์ ปริมาณ SO_3 อยู่ในรูปของแร่ไพไรต์และยิปซัม ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงธาตุต่างๆในตัวอย่าง มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแร่ในชั้นตัวอย่างถ่านหินต่างๆ

4.2.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ประกอบในถ่านหินหลังผ่านการแช่สารเคมีแสดงผลดังภาคผนวก ข ตารางที่ ข.2.1 ถึง ข.2.12 และรูปที่ 4.11 ถึง 4.14

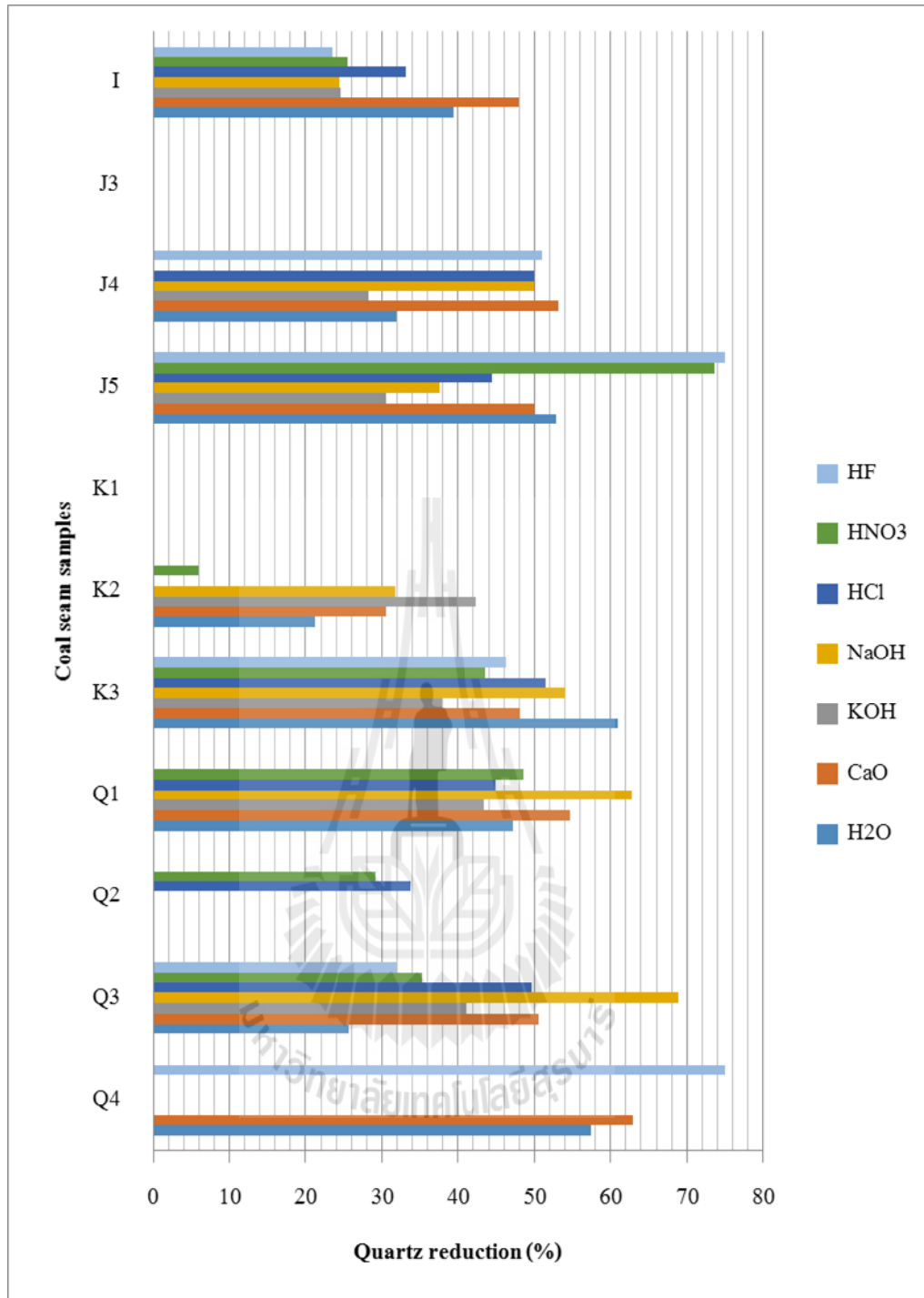
ถ่านหินชั้น I มีปริมาณแร่ควอร์ตซ์ลดลงได้มากที่สุดร้อยละ 48 โดยผ่านการแช่ในปูนขาว ปริมาณแร่ไพไรต์ ลดลงร้อยละ 93 โดยผ่านการแช่ในกรดไฮโดรคลอริก ปริมาณแร่แคลไซต์ ลดลงมากในกรดไนตริก และปริมาณแร่ยิปซัม ลดลงร้อยละ 88 ถึง 92 โดยการแช่ในกรดไฮโดรฟลูออริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ถ่านหินชั้น J3 สารละลายกรดไนตริก ช่วยลดปริมาณแร่ไฟไรต์ ได้ร้อยละ 98 ส่วนกรดไฮโดรคลอริกลดปริมาณแร่ยิปซัม ได้ร้อยละ 73 และ ลดลงร้อยละ 40.32 ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากรูปที่ 4.11 ชั้น J3 เป็นชั้นที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบกลุ่มแร่ซิลิเกตและยิปซัม อยู่ในปริมาณมากประกอบกับควอร์ตซ์เป็นแร่ที่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมีทั่วไป ทำให้สารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับแร่ไฟไรต์ ยิปซัม และกลุ่มแร่ซิลิเกตที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย จึงไม่ส่งผลในการลดปริมาณควอร์ตซ์

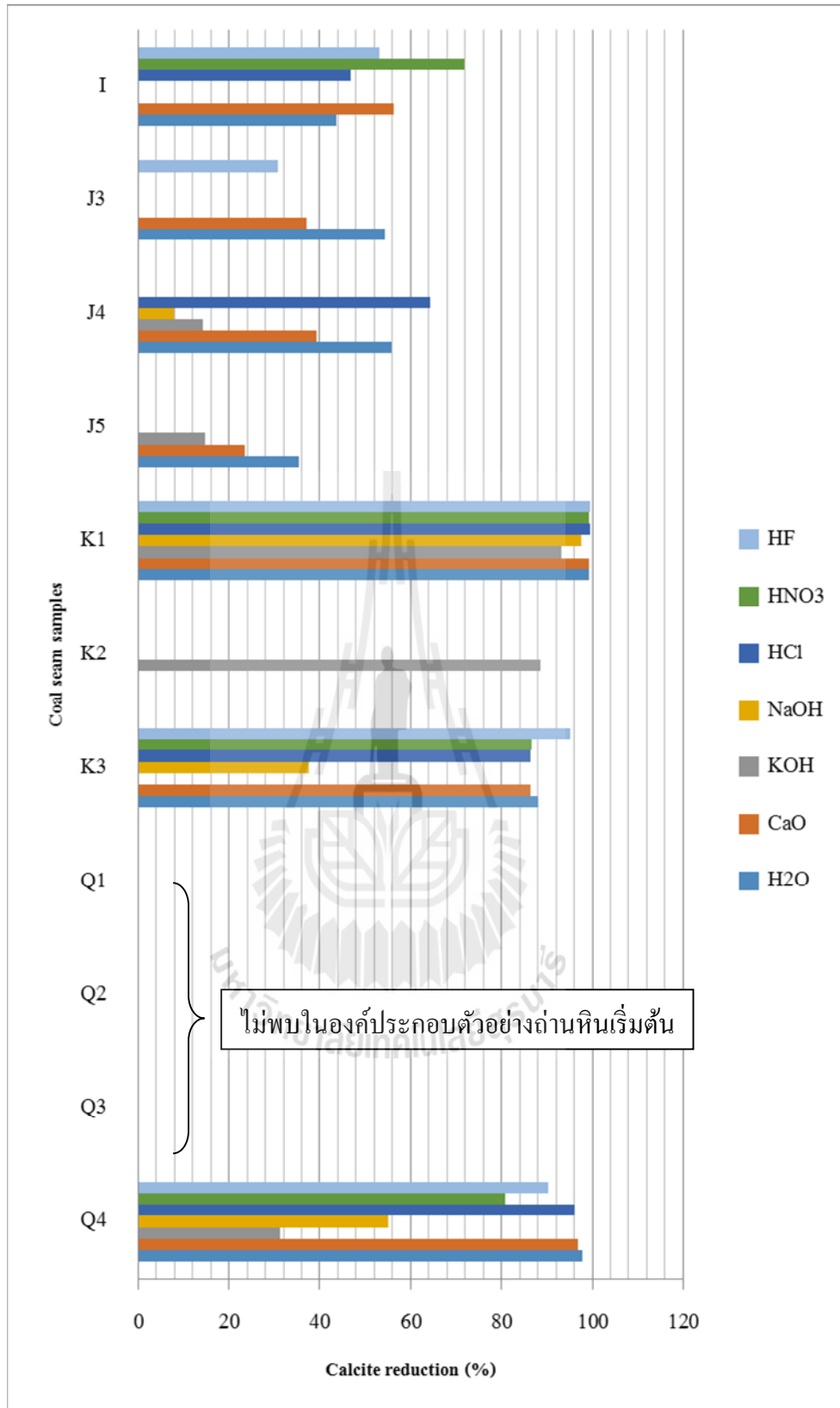
ถ่านหินชั้น J4 มีปริมาณแร่ควอร์ตซ์ ลดลงร้อยละ 50 ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ ปูนขาว ส่วนปริมาณของแร่ไฟไรต์ ลดลงร้อยละ 72 และ 66 ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ กรดไฮโดรคลอริกช่วยลดปริมาณแร่แคลไซต์ลงร้อยละ 64 และปริมาณแร่ยิปซัม ลดลงมากที่สุด ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ถ่านหินชั้น J5 มีปริมาณแร่ควอร์ตซ์ ลดลงร้อยละ 75 และ 73 ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก และไนตริก ตามลำดับ ปริมาณของแร่ไฟไรต์ ลดลงร้อยละ 91 ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และร้อยละ 74 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณของแร่แคลไซต์ ลดลงเล็กน้อยในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ปูนขาว และในน้ำกลั่นประมาณร้อยละ 15 ถึง 35 ปริมาณแร่ยิปซัม ลดลงร้อยละ 67, 61 และ 57 ในสารละลายปูนขาว โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ

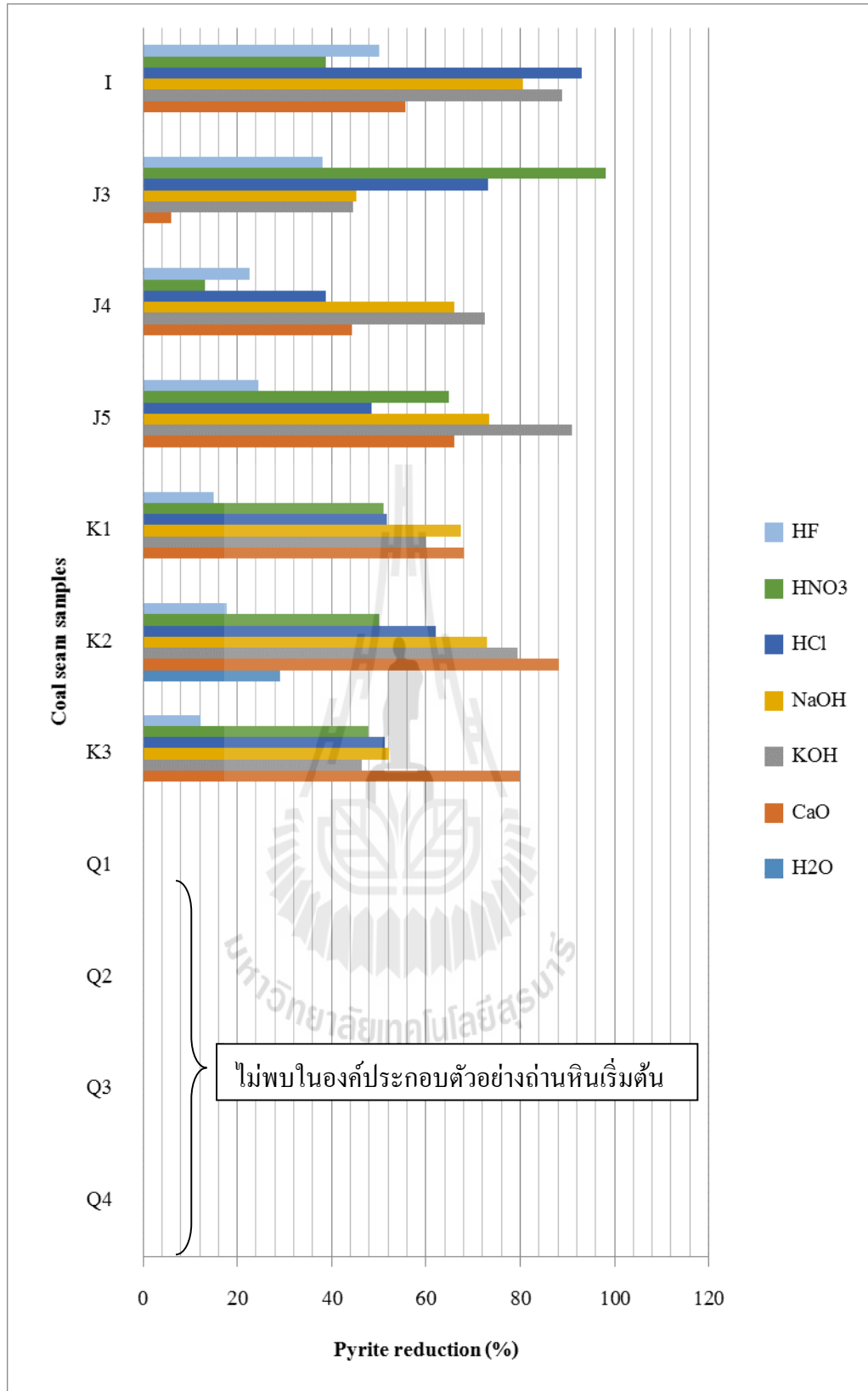
ถ่านหินชั้น K1 มีปริมาณของแร่ไฟไรต์ ลดลงร้อยละ 68, 67 และ 60 ในสารละลายปูนขาว โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ และลดลงประมาณร้อยละ 50 ในกรดไนตริกหรือไฮโดรคลอริก ปริมาณแร่แคลไซต์ ลดลงร้อยละ 99 ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ไนตริก ไฮโดรคลอริก ปูนขาว หรือน้ำกลั่น ส่วนปริมาณแร่ยิปซัม ลดลงร้อยละ 70 ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ตัวอย่างถ่านหินชั้น K1 องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่แคล-



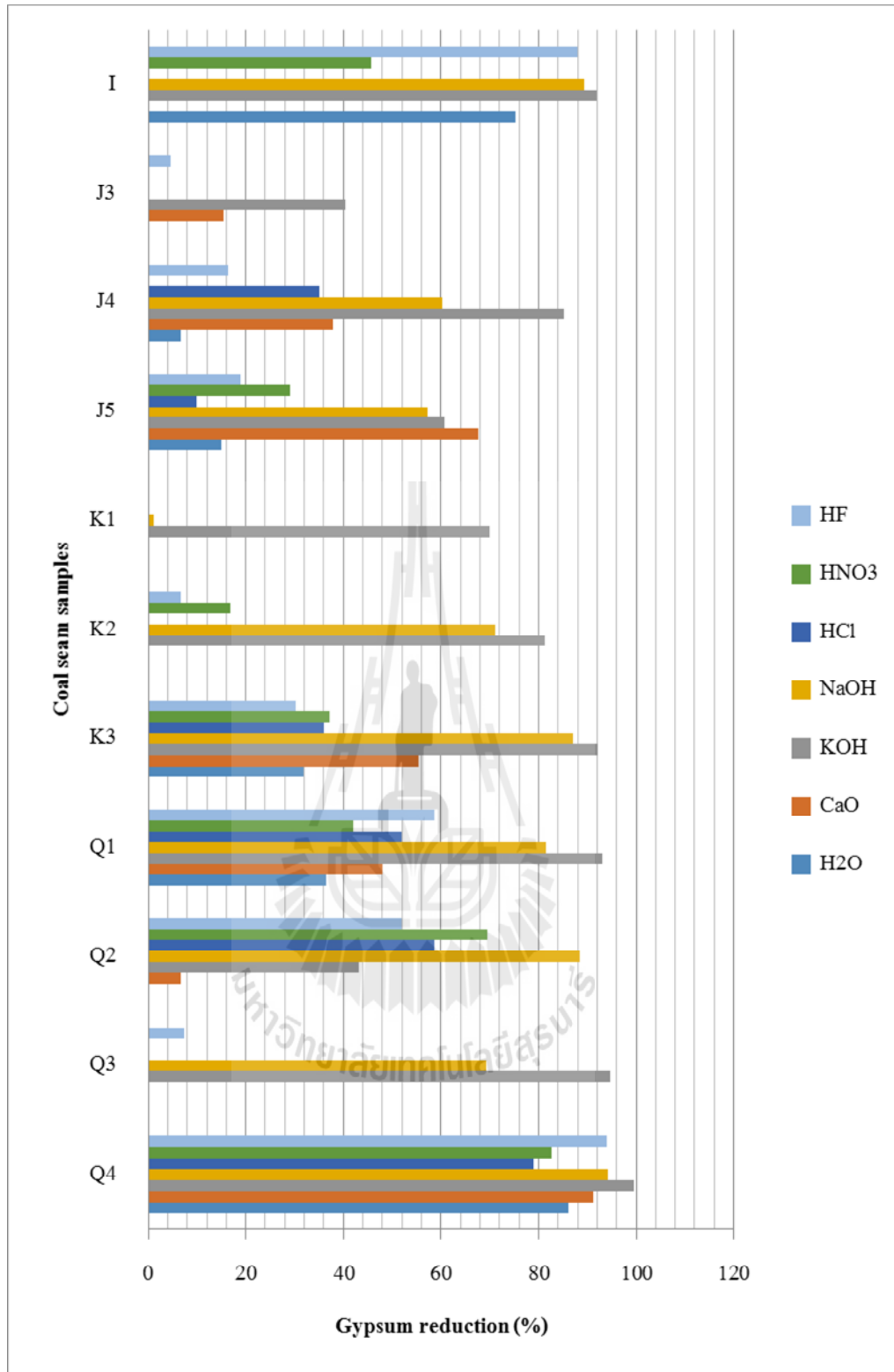
รูปที่ 4.11 ภาพแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณควอร์ตซ์ หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.12 ภาพแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณแคลไซต์ หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.13 ภาพแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณไพไรต์หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.14 ภาพแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณยิปซัม หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ไซค์ ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ดีกับสารเคมีต่างๆ ประกอบกับการเกิดปฏิกิริยากับแร่ควอร์ตซ์นั้นเกิดขึ้นได้ยาก (รูปที่ 4.11) ทำให้ไม่แสดงผลในการลดปริมาณแร่ควอร์ตซ์ลงได้ เช่นเดียวกับปริมาณการลดลงของยิปซัมลดลงได้เล็กน้อยในแทบทุกสารเคมี (รูปที่ 4.14) ยกเว้นในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ส่งผลต่อการลดแร่ยิปซัมลงได้ เนื่องจากทั้งสารละลายนี้เกิดปฏิกิริยาได้ยากกับแร่ควอร์ตซ์ จึงเข้าไปทำปฏิกิริยากับแร่ยิปซัมได้ดี

ถ่านหินชั้น K2 พบว่าสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแร่ควอร์ตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม มากที่สุดคือร้อยละ 42, 89, 79 และ 81 ตามลำดับ สารละลายปูนขาวสามารถลดปริมาณแร่ไพไรต์ลงมากที่สุดร้อยละ 88 เนื่องจากตัวอย่างถ่านหินชั้น K2 ประกอบด้วยกลุ่มแร่ซลิเกตเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ยากกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีผลทำให้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลไซต์ได้ทั่วถึง

ถ่านหินชั้น K3 มีปริมาณแร่ไพไรต์ ลดลงมากที่สุดโดยใช้ในสารละลายปูนขาวโดยลดร้อยละ 80 ปริมาณแร่แคลไซต์ ลดลงร้อยละ 95 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ลดปริมาณแร่ยิปซัม ลงร้อยละ 92

ถ่านหินชั้น Q1 มีปริมาณแร่ควอร์ตซ์ ลดลงร้อยละ 63 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปริมาณแร่ยิปซัม ลดลงร้อยละ 93.16 ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ถ่านหินชั้น Q2 มีปริมาณแร่ควอร์ตซ์ ลดลงร้อยละ 34 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และปริมาณแร่ยิปซัม ลดลงร้อยละ 88 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ถ่านหินชั้น Q3 มีปริมาณแร่ควอร์ตซ์ ลดลงร้อยละ 69 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปริมาณแร่ยิปซัม ลดลงร้อยละ 95 ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากรูปที่ 4.14 แสดงถึงการลดลงของปริมาณแร่ยิปซัมมีผลจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่านั้น เนื่องจากสารละลายทั้งสองชนิดนี้เกิดปฏิกิริยากับแร่ยิปซัมได้ดีกว่าเกิดปฏิกิริยากับกลุ่มแร่ซลิเกตเมื่อเทียบกับสารละลายชนิดอื่นๆ และสารละลายกรดโดยส่วนใหญ่จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกับกลุ่มแร่ซลิเกตได้ดีกว่าจึงส่งผลในการลดแร่ยิปซัมลงได้เล็กน้อยในถ่านหินชั้นนี้

ถ่านหินชั้น Q4 มีปริมาณแร่ควอร์ตซ์ ลดลงร้อยละ 75 ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ปริมาณแร่แคลไซต์ ลดลงมากถึงร้อยละ 90 ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก กรดไฮโดรคลอริก

ปูนขาว หรือน้ำกลั่น และปริมาณแร่ยิปซัม ลดลงมากที่สุดในการละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ถึงร้อยละ 99

จากผลการวิเคราะห์ สารเคมีประเภทกรดจะส่งผลต่อการลดแร่ประกอบต่างๆ ในถ่านหินได้เป็นอย่างดี แต่จะส่งผลในการลดแร่ควอร์ตซ์ในปริมาณต่ำ จนถึงไม่สามารถลดได้เลย หากตัวอย่างถ่านหินนั้นมีปริมาณแร่ประกอบอื่นๆ สูง มีผลทำให้ศักยภาพของปฏิกิริยาเคมีของสารเคมีกับแร่ควอร์ตซ์ลดน้อยลง ส่วนสารละลายเบสจะไม่ส่งผลต่อการลดปริมาณแร่ควอร์ตซ์ซึ่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเกิดกับแร่อื่นๆ เช่น แร่ยิปซัม ไพไรต์ และแร่กลุ่มซลิเกต เป็นต้น

ดังนั้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกมีผลต่อการลดปริมาณ ควอร์ตซ์ มากที่สุด ตามด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดไนตริก และไฮโดรคลอริก ตามลำดับ การลดลงของปริมาณแร่ไพไรต์ มีผลกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มากที่สุด ส่วนปริมาณแร่แคลไซต์ ลดลงมากที่สุดในน้ำกลั่น ปูนขาว กรดไฮโดรคลอริก ไนตริก และไฮโดรฟลูออริก ตามลำดับ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลต่อการลดปริมาณ แร่ยิปซัม มากสุด

จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ XRF มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับปริมาณแร่ คือ ปริมาณ SO_3 จะลดลงได้มากในการละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกันกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก และไนตริก ส่วนผลการวิเคราะห์ของกรดไฮโดรฟลูออริกในการลดปริมาณแร่ควอร์ตซ์ มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการลดปริมาณของ SiO_2

4.2.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ต่างๆในถ่านหินหลังผ่านการแช่ด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง แสดงผลดังตารางที่ 4.4

สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกมีผลทำให้ปริมาณแร่ซีเดอไรต์ ลดลงมากที่สุดร้อยละ 71.43 รองลงมาเป็นแร่มอนต์โมริลโลไนต์ เคโอลิไนต์ และยิปซัม โดยลดลงร้อยละ 56.35, 25.7 และ 14.71 ตามลำดับ

สารละลายกรดไนตริกส่งผลลดปริมาณของแร่มอนต์โมริลโลไนต์ และเคโอลิไนต์ เท่านั้น โดยลดลงร้อยละ 57.28 และ 0.23 ตามลำดับ

สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ลดปริมาณมอนต์โมริลโลไนต์เพียงอย่างเดียวร้อยละ 58.22

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ลดปริมาณ ยิปซัม มากที่สุดประมาณร้อยละ 41.17 โดยส่งผลลด ซีเดอไรต์ ร้อยละ 28.57 และ โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ประมาณร้อยละ 21.42

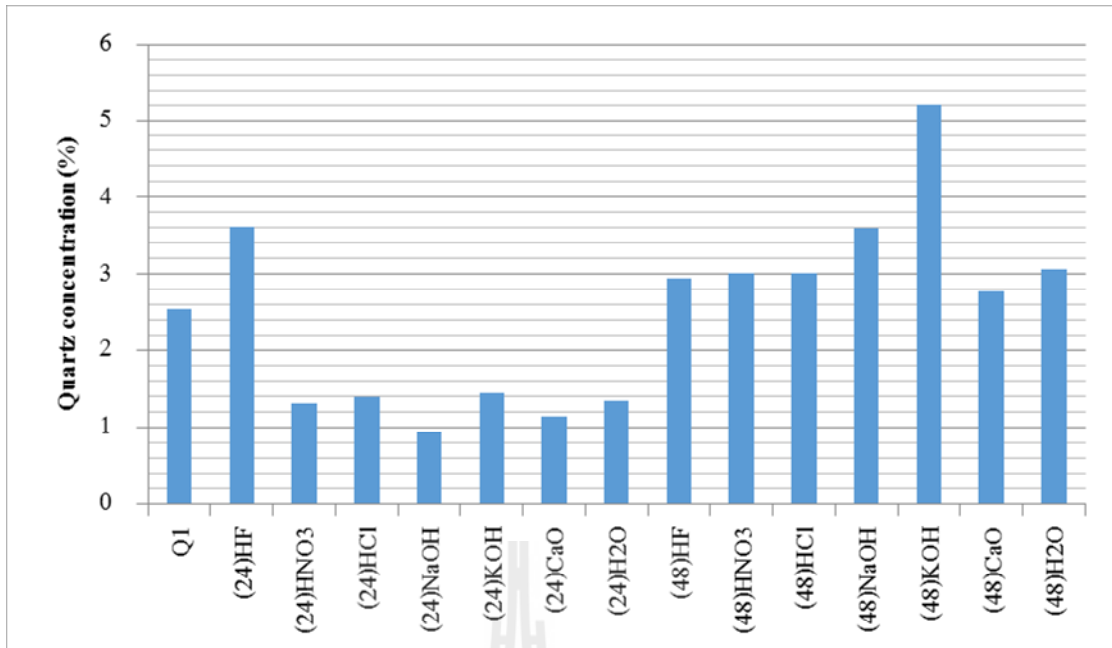
สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีผลต่อการลดลงปริมาณของแร่ซีเดอไรต์ มากที่สุด ร้อยละ 85.71 รองลงมาเป็นแร่ยิปซัม แคลไซต์ และ มอนต์โมริลโลไนต์ ประมาณร้อยละ 51.85, 45.45 และ 36.35 ตามลำดับ

สารละลายปูนขาวส่งผลต่อการลด มอนต์โมริลโลไนต์ มากที่สุดร้อยละ 71 โดยลดปริมาณ โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ร้อยละ 16 ปริมาณเกลือโคไนต์ ร้อยละ 12 และลดปริมาณ เคโอลิไนต์ลง ร้อยละ 2 และน้ำกลั่นส่งผลต่อการลด มอนต์โมริลโลไนต์ เพียงอย่างเดียวประมาณร้อยละ 70.91

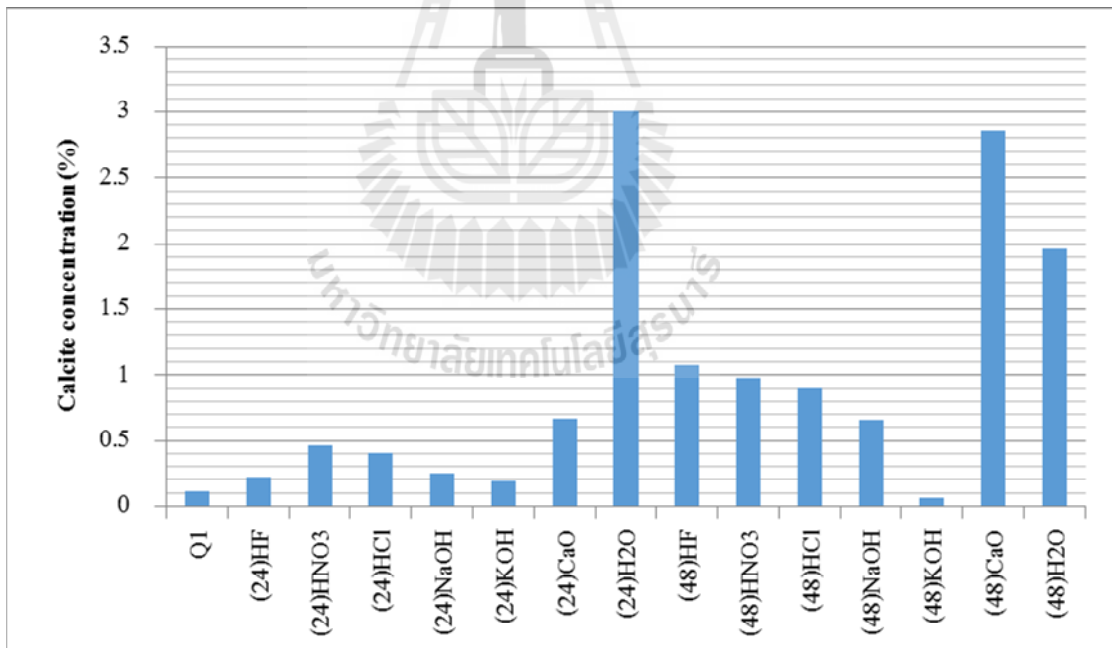
จากการเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.15 ถึง 4.17 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของเวลาจาก 24 ชั่วโมง เป็น 48 ชั่วโมง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแร่ในถ่านหินเพียงเล็กน้อย โดยจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแร่ยิปซัมเท่านั้น ซึ่งมีแนวโน้มการลดลงของแร่มากขึ้น จากเดิม 24 ชั่วโมง ประมาณร้อยละ 15 ส่วนแร่อื่นๆ มีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกับเวลาทำการแช่ 24 ชั่วโมง จากผลการวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาในเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้เกิดเสร็จสิ้นแล้ว ภายใน 24 ชั่วโมง ส่วนการเปลี่ยนแปลงของยิปซัมที่เพิ่มขึ้นเป็นผลจากการละลายเพียงเล็กน้อย ระหว่างการแช่น้ำและสารละลายที่เหลือเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และผลของการลดลงของแร่ยิปซัม ที่เพิ่มมากขึ้นยังส่งผลทำให้สัดส่วนของแร่ชนิดอื่นๆ เพิ่มขึ้นตาม ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.15 และ 4.17

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบหลักที่อยู่ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

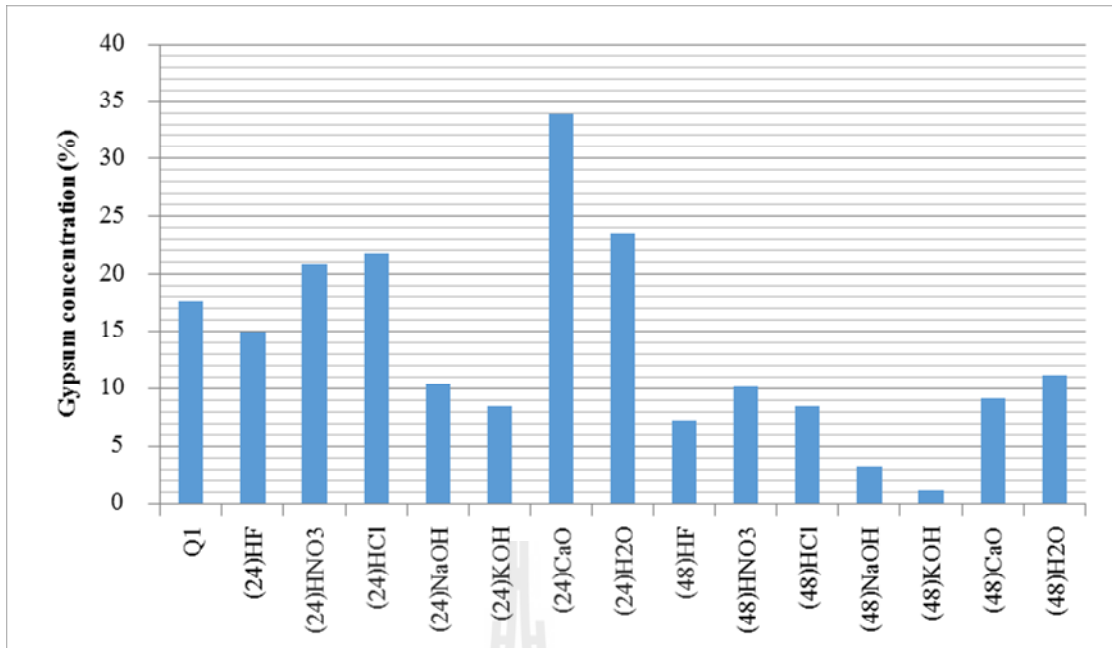
Comp	ควอร์ตซ์	แคลไซต์	เคโอลิไนต์	อิลไลต์	ไพไรต์	ซิงค์ไธไรต์	ยิปซัม	กลีโกลไคไนต์	เฟลด์สปาร์	มอนต์โม ริลโลไนต์	คลอไรต์
Q1HF	2.95	1.08	3.18	2.28	0.53	0.02	15.02	8.20	56.27	8.84	1.66
Q1HNO ₃	3.01	0.98	4.27	1.90	0.46	0.12	20.87	10.79	46.31	8.65	2.66
Q1HCl	3.01	0.90	5.01	1.71	0.40	0.13	21.74	9.85	46.01	8.46	2.80
Q1NaOH	3.59	0.66	5.78	2.98	0.31	0.05	10.36	11.34	33.72	27.15	4.07
Q1KOH	5.20	0.06	5.63	3.33	0.21	0.01	8.48	10.32	49.52	12.89	4.39
Q1CaO	2.78	2.86	4.20	1.62	0.25	0.10	33.87	7.53	36.19	5.87	4.75
Q1H ₂ O	3.06	1.96	4.83	1.81	0.54	0.14	23.54	10.02	44.83	5.89	3.41



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของควอตซ์ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของแคลไซต์ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของยิปซัมของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี

4.3 ผลจากการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis)

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

การเตรียมตัวอย่างถ่านหินโดยตัวอย่างถูกบดให้มีขนาดที่ละเอียดเล็กแล้วผ่านการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) หลังจากนั้นจะถูกใส่ลงไปในที่ใส่ตัวอย่างเซรามิกก่อนนำไปวิเคราะห์หา ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณขี้เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงที่ในถ่านหิน

การวิเคราะห์แบบประมาณค่าวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Leco TGA-701 เป็นการหาความสัมพันธ์ ของความชื้น สารระเหย ขี้เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงที่ในถ่านหิน โดยแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20

ชั้นถ่านหิน I มีปริมาณค่าความชื้น ร้อยละ 12.63 ปริมาณสารระเหย ร้อยละ 16.14 ปริมาณขี้เถ้า ร้อยละ 66.79 และปริมาณคาร์บอนคงที่ ร้อยละ 4.46

ชั้นถ่านหิน J มีปริมาณค่าความชื้นในช่วงร้อยละ 18 ถึง 21 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 36 ถึง 38 ขี้เถ้า ร้อยละ 29 ถึง 30 และปริมาณคาร์บอนคงที่ ร้อยละ 13 ถึง 14

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณร้อยละความชื้น ฝุ่น และ คาร์บอนคงที่ ที่อยู่ในถ่านหินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

ชั้น	ความชื้น	สารระเหย	ฝุ่น	คาร์บอนคงที่	สารระเหย	ฝุ่น	คาร์บอนคงที่
					แห้ง		
I	12.63	16.14	6.79	4.46	18.48	76.44	5.10
J3	18.03	38.24	29.93	13.81	46.65	36.50	16.85
J4	21.07	36.29	29.45	13.20	45.97	37.31	16.72
J5	20.70	36.97	29.39	12.95	46.62	37.06	16.32
K1	13.04	31.67	35.02	20.27	36.46	40.22	23.33
K2	15.90	31.39	33.55	19.17	37.32	39.89	22.80
K3	18.70	30.41	41.27	9.63	37.40	50.76	11.84
Q1	23.05	31.1	31.14	14.70	40.42	40.47	19.11
Q2	18.29	30.03	31.62	20.06	36.75	38.70	24.55
Q3	15.92	27.54	40.75	15.79	32.75	48.46	18.78
Q4	23.28	37.79	28.23	10.70	49.26	36.79	13.95

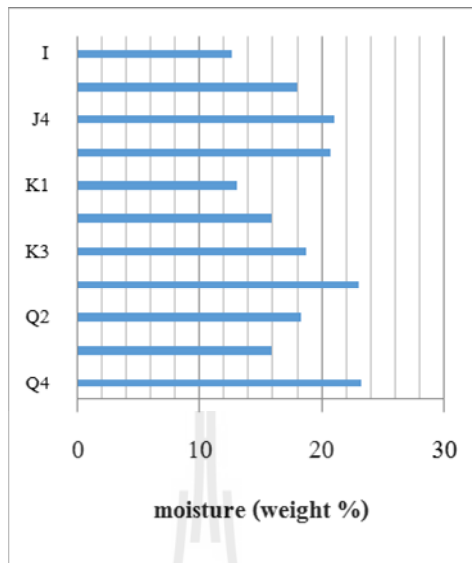
*แห้ง คือ มาตรฐานแห้งเป็นการคำนวณสัดส่วนต่างๆหลังจากหักค่าความชื้นออกไปแล้ว

ชั้นถ่านหิน K มีปริมาณค่าความชื้นในช่วง ร้อยละ 13 ถึง 19 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 30 ถึง 32 ปริมาณฝุ่น ร้อยละ 33 ถึง 41 และปริมาณคาร์บอนคงที่ ร้อยละ 9 ถึง 20

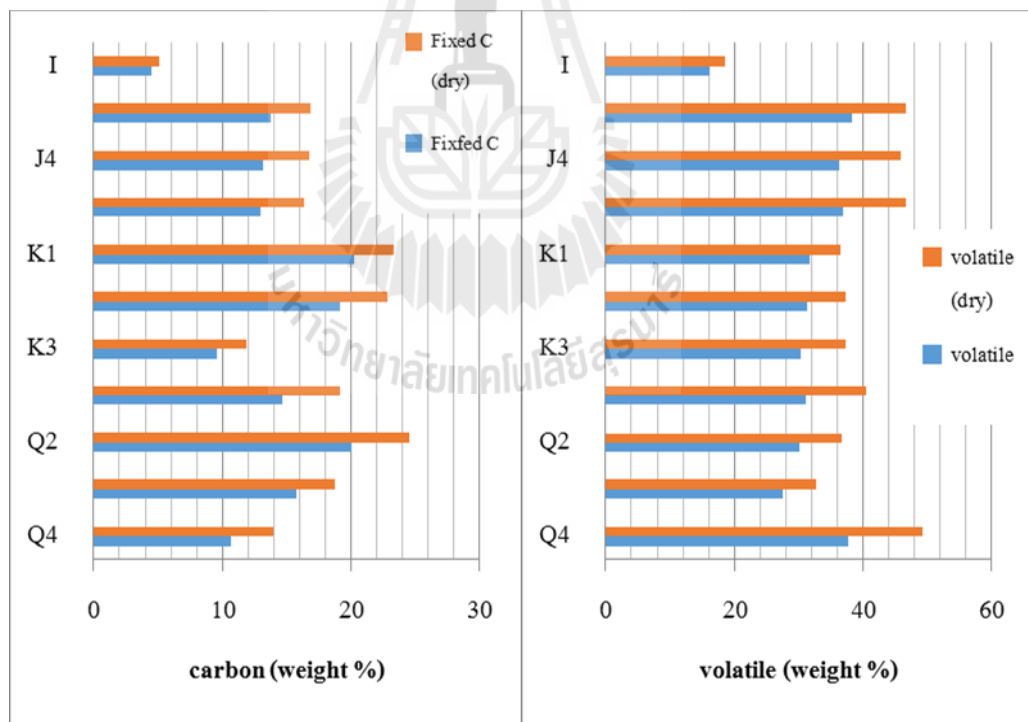
ชั้นถ่านหิน Q มีปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 16 ถึง 23 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 27 ถึง 38 ปริมาณฝุ่น ร้อยละ 28 ถึง 41 และปริมาณคาร์บอนคงที่ ร้อยละ 11 ถึง 20

จากการวิเคราะห์ถ่านหินของแม่เมาะ พบว่าปริมาณความชื้นของถ่านหินตัวอย่างที่วัดได้มีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกชั้น (รูปที่ 4.18) ปริมาณร้อยละ 15 ปริมาณคาร์บอนคงที่มีมากที่สุดในถ่านหินชั้น K1, K2 และ Q2 โดยชั้นถ่านหิน I จะมีปริมาณน้อยที่สุด ส่วนปริมาณฝุ่นพบมากที่สุดในถ่านหินชั้น I ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักที่จะทำให้เกิดฝุ่นจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์มีแนวโน้มเดียวกับกราฟเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นในถ่านหิน (รูปที่ 4.20)

ซึ่งเกิดจากราตุหลักคือ อะลูมิเนียม ซิลิกอน และ เหล็ก ซึ่งมีผลทำให้ค่าความร้อนลดลงด้วย เช่นเดียวกัน ค่าความร้อนที่ลดลงอาจเกิดจากปริมาณคาร์บอนคงที่มีปริมาณน้อย



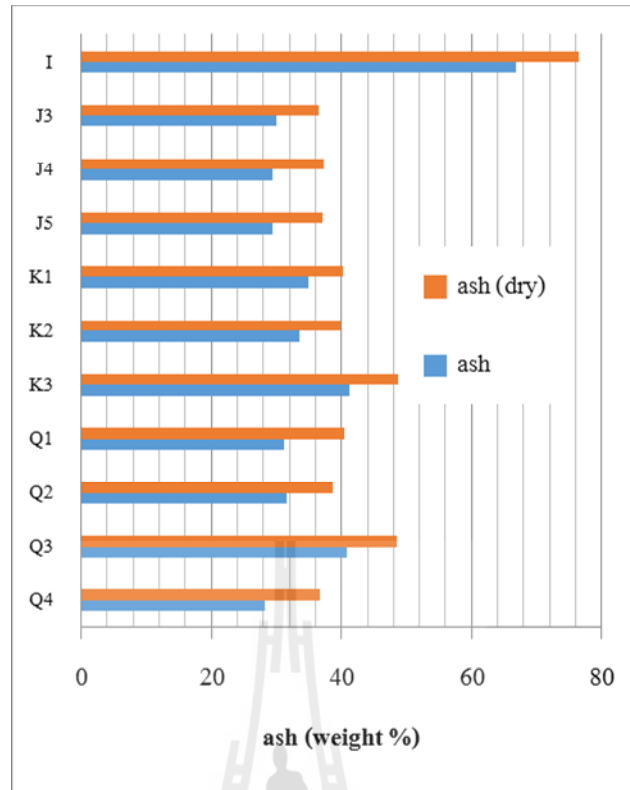
รูปที่ 4.18 ภาพแสดงปริมาณความชื้นในถ่านหินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.19 ภาพแสดงปริมาณ (ก) คาร์บอน และ (ข) สารระเหย ในถ่านหินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ



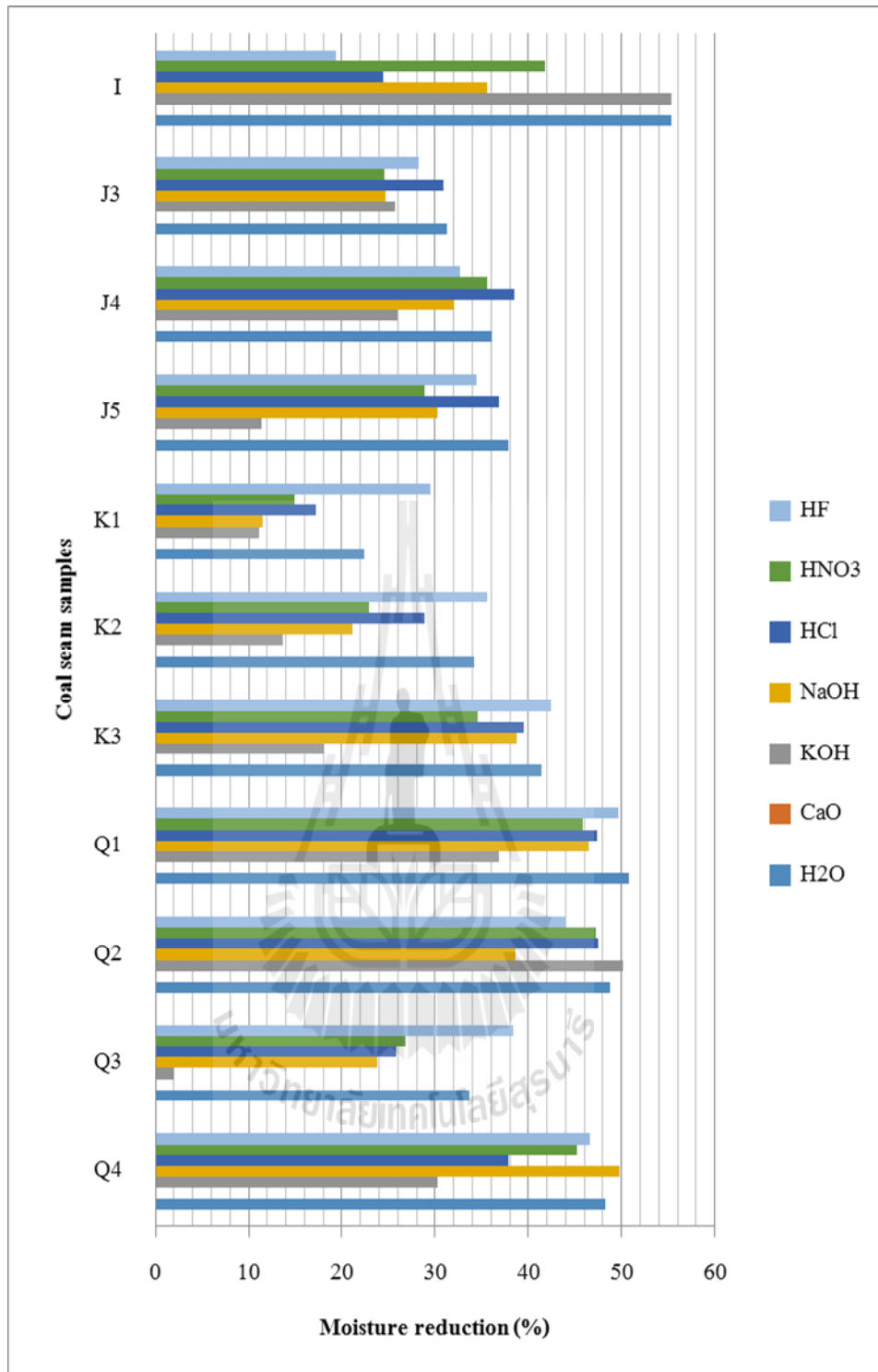
รูปที่ 4.20 ภาพแสดงปริมาณ ี้เถ้า ในถ่านหินก่อนการปรับคุณภาพ

4.3.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง

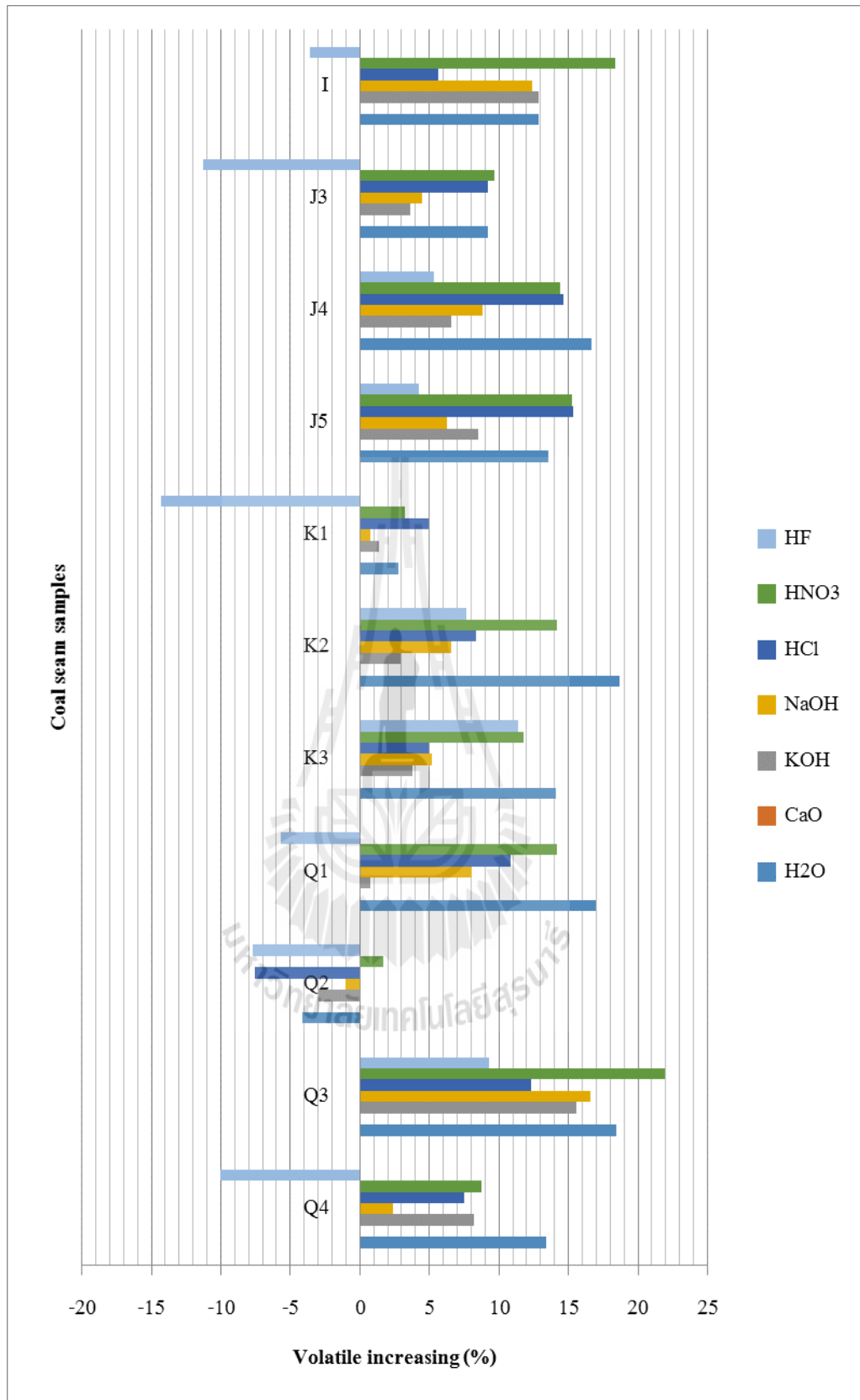
ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างหลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง แสดงรายละเอียดใน ภาคผนวก ข ตารางที่ ข.3.1 ถึงข.3.12 และรูปที่ 21 ถึง 23

ถ่านหินชั้น I มีปริมาณความชื้นลดลงร้อยละ 55 ในน้ำกลั่น และปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นช่วงร้อยละ 24 ถึง 28

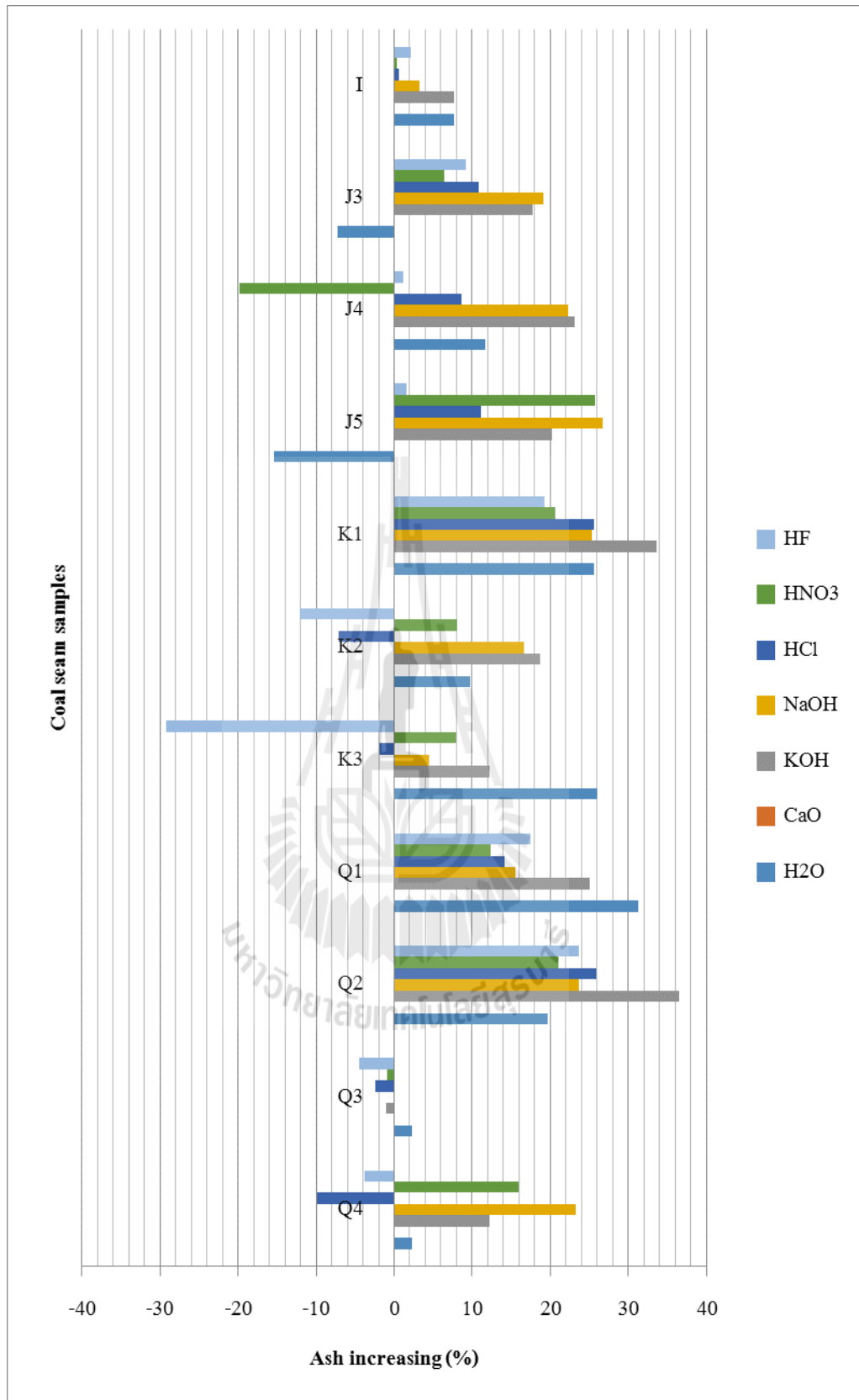
ถ่านหินชั้น J3 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ไฮโดรคลอริก และน้ำกลั่น มีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลงร้อยละ 30 ส่วนปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 31.5 และ 22 โดยเกิดจากผลของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกและน้ำกลั่น ตามลำดับ



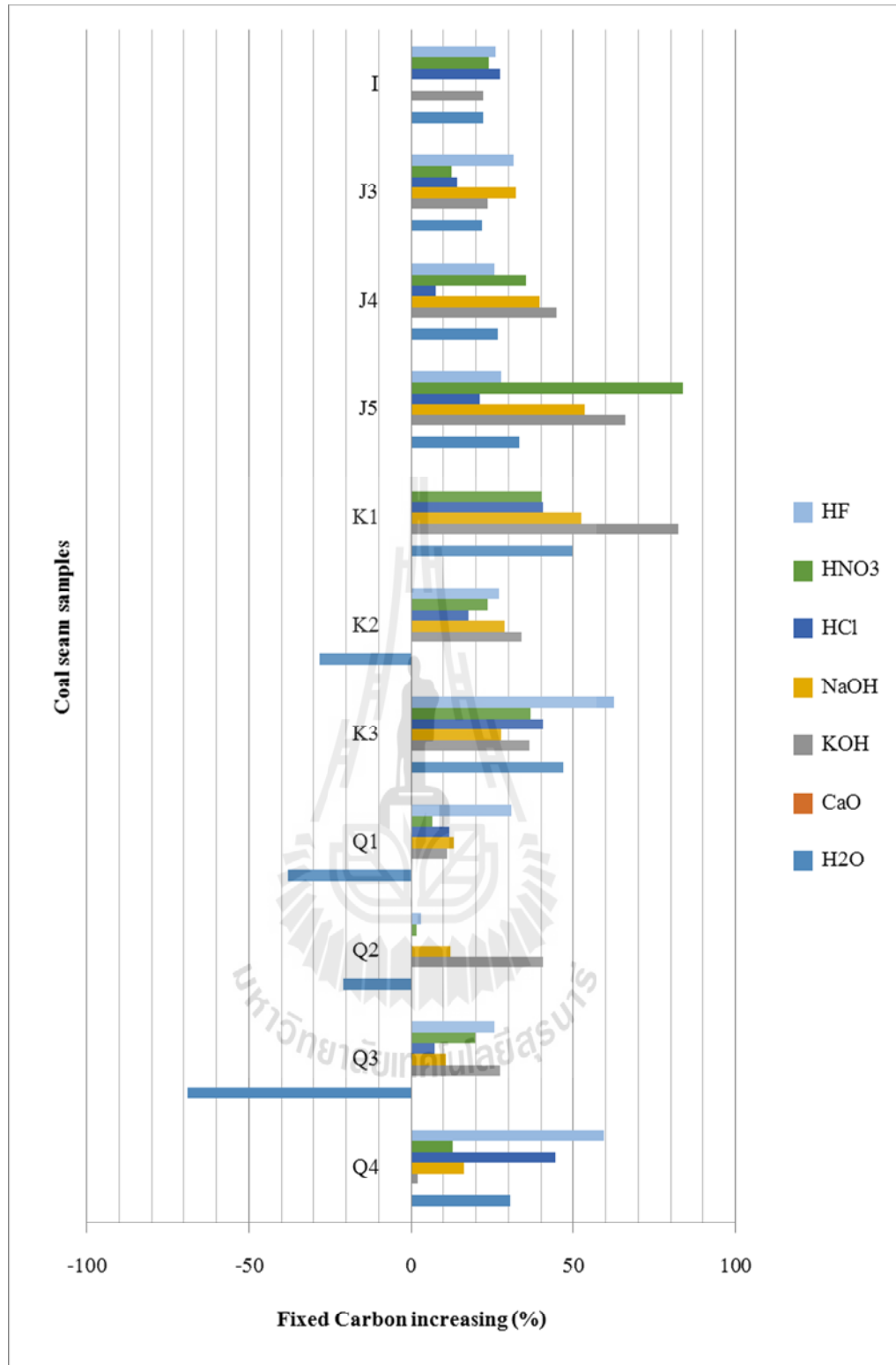
รูปที่ 4.21 ภาพแสดงร้อยละการลดลงของปริมาณความชื้น หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.22 ภาพแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารระเหย หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.23 ภาพแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาณขี้เถ้า หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.24 ภาพแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนคงที่ หลังใช้ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ถ่านหินชั้น J4 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ไนตริก ไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และน้ำกลั่น ทำให้ปริมาณความชื้นของถ่านหินลดลงมากกว่าร้อยละ 33 ส่วนสารละลายกรดไนตริกและ ไฮโดรฟลูออริก ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 35 และ 26 ตามลำดับ โดยกรดไนตริกจะช่วยลดปริมาณซีเถ้าลงร้อยละ 20 แต่กรดไฮโดรฟลูออริกจะเพิ่มปริมาณซีเถ้าเล็กน้อย (ร้อยละ 1)

ถ่านหินชั้น J5 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และน้ำกลั่น ทำให้ปริมาณความชื้นลดลงร้อยละ 30 ส่วนปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 34 และ 28 เมื่อใช้น้ำกลั่นและสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ตามลำดับ และน้ำกลั่นยังช่วยลดปริมาณซีเถ้าลงร้อยละ 15 แต่สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะเพิ่มปริมาณซีเถ้าเล็กน้อย ร้อยละ 1.6

ถ่านหินชั้น K1 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก และน้ำกลั่นลดปริมาณความชื้นลงร้อยละ 22 ถึง 29 มีเพียงสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเท่านั้นที่เพิ่มปริมาณคาร์บอนคงที่เล็กน้อย

ถ่านหินชั้น K2 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก และน้ำกลั่น ช่วยลดปริมาณความชื้นลงประมาณร้อยละ 35 ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 27.03 และ 17.55 เมื่อใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก และไนตริก ตามลำดับ โดยสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะลดปริมาณซีเถ้าลงร้อยละ 12.04 และไฮโดรคลอริก ลดซีเถ้าลงร้อยละ 7.06

ถ่านหินชั้น K3 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก และน้ำกลั่น ช่วยลดปริมาณความชื้นลงร้อยละ 42 และสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ยังช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงที่ถึงร้อยละ 62.51 และลดปริมาณซีเถ้าลงร้อยละ 29.19

ถ่านหินชั้น Q1 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก และน้ำกลั่น ช่วยลดปริมาณความชื้นลงร้อยละ 50 และสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกยังช่วยทำให้ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 31.07

ถ่านหินชั้น Q2 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกช่วยลดปริมาณความชื้นลงร้อยละ 44 และเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงที่ร้อยละ 3 ซึ่งการลดลงของปริมาณสารระเหย ดังแสดงในรูปที่ 4.22 เป็นผลเนื่องมาจากถ่านหินชั้นนี้มีปริมาณคาร์บอนคงที่สูงที่สุด มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีปริมาณซีเถ้าปานกลาง ไม่พบแร่แคลไซต์และไพไรต์ ส่วนใหญ่เป็นแร่กลุ่มซิลิเกตซึ่งเกิดปฏิกิริยาไม่ดีมากกับสารเคมี แสดงว่าปริมาณซีเถ้าที่เกิดขึ้น เกิดมาจากกลุ่มแร่ซิลิเกตเป็นหลัก ดังนั้นสารเคมีที่ใส่ลงไปจึงอาจเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารระเหยที่อยู่ในถ่านหินได้ดีขึ้นจึงส่งผลต่อการลดลงของสารระเหย

โดยมีแนวโน้มใกล้เคียงกับตัวอย่างถ่านหินชั้น K1 แต่พบปริมาณแร่แคลไซต์สูงจึงทำให้สารเคมีไม่เพียงพอที่จะลดสารระเหยทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยเล็กน้อย

ถ่านหินชั้น Q3 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกลดปริมาณความชื้นได้มากที่สุดร้อยละ 40 เพิ่มปริมาณคาร์บอนคงที่ร้อยละ 26 และลดปริมาณจีเถ้าลง 4.5 จากรูปที่ 4.23 ตัวอย่างถ่านหินชั้น Q3 มีองค์ประกอบของเฟลด์สปาร์น้อยกว่าถ่านหินชั้นอื่นๆ ทำให้สัดส่วนของแร่ดินเหนียวที่เป็นส่วนประกอบหลักที่จะทำให้เกิดจีเถ้านี้มีสูง และประกอบกับชั้นถ่านหินชั้นนี้พบแร่แคลไซต์และไพไรต์น้อยมาก ทำให้การเกิดปฏิกิริยากับแร่ดินเหนียวเกิดได้ดีในสารละลายที่เป็นกรดมีผลทำให้ปริมาณจีเถ้าลดลงได้ดีกว่าชั้นอื่นๆ ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับถ่านหินชั้น I แต่ถ่านหินชั้นนี้มีปริมาณแร่ควอตซ์สูงทำให้ปริมาณจีเถ้าไม่ลดลง

ถ่านหินชั้น Q4 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ไนตริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และน้ำกลั่น ช่วยลดปริมาณความชื้นลงร้อยละ 45 ถึง 50 โดยสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ยังช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนสูงสุดร้อยละ 60 และลดปริมาณจีเถ้าลงร้อยละ 3.84

จากรูปที่ 4.22 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในชั้นต่างๆ ส่วนใหญ่ทำให้ปริมาณสารระเหยในถ่านหินลดลง เนื่องจากสารละลายกรดชนิดนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้กับสารประกอบเกือบทุกชนิด ทำให้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับแร่ดินเหนียวได้ทั่วถึงและเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารระเหยที่ปะปนอยู่ในถ่านหินได้ดี

จากผลการวิเคราะห์พบว่ากรดไฮโดรฟลูออริกช่วยลดปริมาณความชื้น จีเถ้า และเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงที่ได้ดีที่สุด เนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกมีผลต่อการลดสารประกอบซัลเฟอร์ ซิลิกอน และแคลเซียม ทำให้ปริมาณจีเถ้าลดลง ส่วนกรดไนตริก มีผลที่ใกล้เคียงกับกรดไฮโดรฟลูออริกแต่จะเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนในถ่านหินมีผลทำให้ปริมาณคาร์บอนคงที่ลดลง

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ชนิด	ความชื้น	สารระเหย	ขี้เถ้า	คาร์บอน คงที่	สารระเหย	ขี้เถ้า	คาร์บอน
					แห้ง		
Q1HF	8.45	34.67	36.67	20.22	37.86	40.05	22.09
Q1HNO ₃	12.55	36.67	35.60	15.18	41.93	40.71	17.36
Q1HCl	13.47	33.83	35.18	17.53	39.09	40.65	20.26
Q1NaOH	14.60	32.01	38.13	15.27	37.47	44.65	17.88
Q1KOH	13.25	31.28	41.58	13.90	36.05	47.93	16.02
Q1CaO	15.44	40.87	40.74	2.96	48.33	48.18	3.49
Q1H ₂ O	12.12	36.12	43.89	7.88	41.10	49.94	8.96

4.3.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ขี้เถ้า และคาร์บอนคงที่ต่างๆในถ่านหินหลังผ่านการแช่ด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง ดังแสดงผลในตารางที่ 4.6

สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกมีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลงร้อยละ 63 ปริมาณขี้เถ้าเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 15 และส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 27.30

สารละลายกรดไนตริกมีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลงร้อยละ 45.55 ปริมาณขี้เถ้าเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 12.53 และส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 3.16

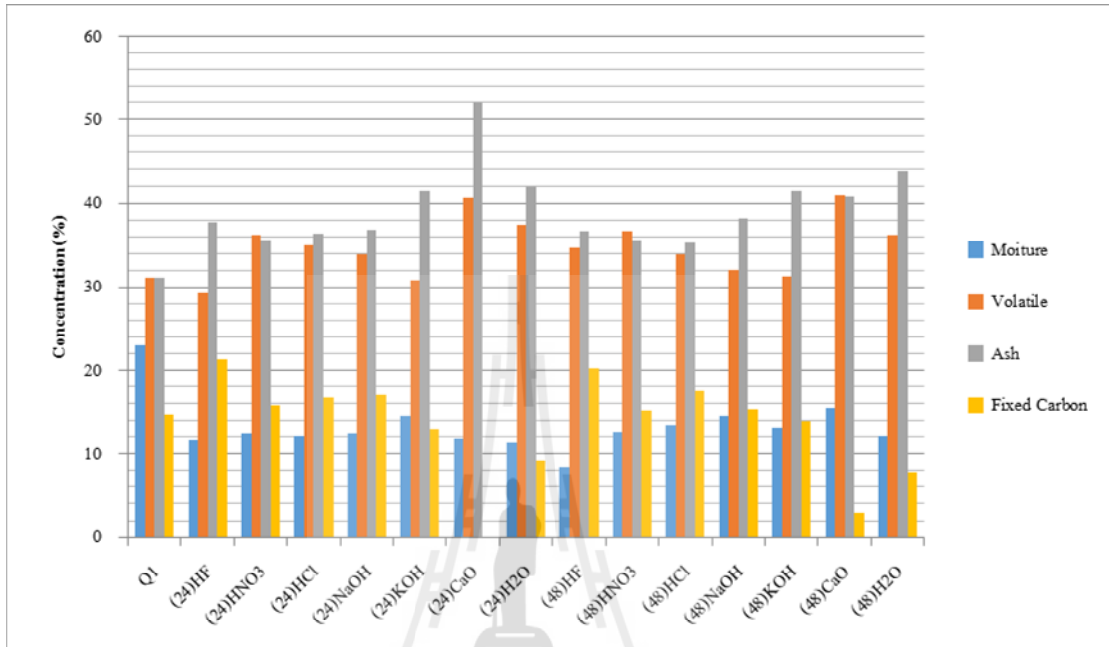
สารละลายกรดไฮโดรคลอริก มีผลทำให้ ปริมาณความชื้นลดลงร้อยละ 41.56 ปริมาณขี้เถ้าเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 11.48 และส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 16.14

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลงร้อยละ 36.66 ปริมาณขี้เถ้าเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 18.33 และส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 3.73

สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลงร้อยละ 42.52 ปริมาณขี้เถ้าเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 25.11 และส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงที่ลดลงจากเดิมร้อยละ

สารละลายปูนขาวมีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลงร้อยละ 33 ปริมาณขี้เถ้าเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 23.56 และส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงที่ลดลงจากเดิมร้อยละ 80

น้ำกลั่นมีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลงร้อยละ 47.42 ปริมาณขี้เถ้าเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 29 และส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 46.39



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความชื้น สารระเหย ขี้เถ้า และคาร์บอน ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี

จากรูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความชื้น สารระเหย ขี้เถ้า และคาร์บอนคงที่ ทำให้ทราบว่า การเปลี่ยนแปลงของเวลาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของถ่านหิน โดยทั้งสองเวลาการทดลองทำให้ปริมาณขี้เถ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในแต่ละสารเคมี และ ปริมาณคาร์บอนลดลงเล็กน้อยจากการทำปฏิกิริยาของสารละลายกับ โครงสร้างของคาร์บอนในถ่านหิน

ผลสรุปจากรูปที่ 4.25 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ไฮโดรคลอริก และไนตริก มีความเหมาะสมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินมากที่สุด คือ ทำให้ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5 ถึง 44 และปริมาณขี้เถ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยร้อยละ 4 ถึง 25 เมื่อเทียบกับสารละลายชนิดอื่น

4.4 ผลจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

การเตรียมตัวอย่างถ่านหินโดยตัวอย่างถูกบดให้มีขนาดที่ละเอียดเล็กแล้วผ่านการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) หรือจะเป็นแบบหยาบก็สามารถใช้ในการทดลองได้เช่นเดียวกัน หลังจากนั้นตัวอย่างจะถูกใส่ลงไปในที่ใส่ตัวอย่างเซรามิกน้ำหนักแต่ละตัวอย่างประมาณ 1.5 กรัม ก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ในถ่านหิน ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์แบบแยกธาตุ

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณร้อยละคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และ ซัลเฟอร์ ที่อยู่ในถ่านหิน ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

ชั้น	คาร์บอน (C)	ไนโตรเจน (N)	ไฮโดรเจน (H)	ซัลเฟอร์ (S)
I	10.25	0.53	2.83	1.96
J3	32.69	1.05	4.47	8.07
J4	31.33	0.97	4.64	7.78
J5	30.56	0.95	4.47	8.67
K1	26.15	0.78	2.79	5.74
K2	29.56	1.17	4.09	6.62
K3	26.14	1.06	4.19	5.51
Q1	27.54	1.02	4.58	5.98
Q2	30.89	1.02	4.37	6.60
Q3	25.02	0.86	3.82	5.77
Q4	32.48	0.96	4.66	3.04

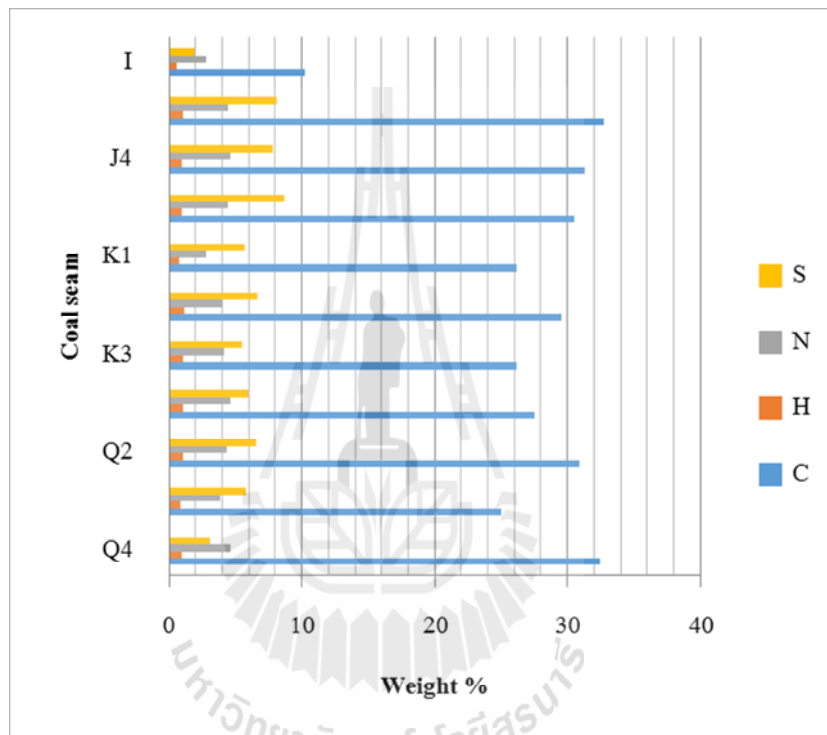
การวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการหาค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ โดยจะรายงานเป็นปริมาณร้อยละของธาตุต่างๆ โดยตัวอย่างถ่านหินจากแม่จะรายงานดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.26.

ชั้นถ่านหิน I มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 10 ไนโตรเจนร้อยละ 0.52 ไฮโดรเจนร้อยละ 2.8 และซัลเฟอร์ร้อยละ 1.9

ชั้นถ่านหิน J มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 30 ถึง 32 ไนโตรเจนร้อยละ 0.9 ถึง 1 ไฮโดรเจนร้อยละ 4.5 และซัลเฟอร์ร้อยละ 7.7 ถึง 8.7

ชั้นถ่านหิน K มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 26 ถึง 29 ไนโตรเจนร้อยละ 0.7 ถึง 1 ไฮโดรเจนร้อยละ 2.7 ถึง 4 และซัลเฟอร์ร้อยละ 5.5 ถึง 6.6

ชั้นถ่านหิน Q มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 25 ถึง 32 ไนโตรเจนร้อยละ 0.8 ถึง 1 ไฮโดรเจนร้อยละ 3.8 ถึง 4.6 และซัลเฟอร์ร้อยละ 3 ถึง 6.6



รูปที่ 4.26 ภาพแสดงปริมาณร้อยละคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และ ซัลเฟอร์ ก่อนการปรับปรุงด้วยสารเคมี

จากการเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟอร์จะพบได้ว่าถ่านหินชั้น I และ Q จะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับชั้น K โดยชั้น J จะมากที่สุดซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับลักษณะของ SO_3 ที่วัดได้จากการวิเคราะห์แบบวิธีการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ซึ่งปริมาณซัลเฟอร์จะเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดก๊าซพิษและมลภาวะทางอากาศ

4.4.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์และกราฟแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.4.1 ถึง ข.4.12 และรูปที่ 4.27 ถึง 4.30

ถ่านหินชั้น I สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีผลทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นร้อยละ 65 ปริมาณซัลเฟอร์ลดลงร้อยละ 11 ส่วนสารละลายปูนขาวมีผลลดปริมาณซัลเฟอร์ลงร้อยละ 62 แต่ทำให้ปริมาณคาร์บอนลดลงร้อยละ 6.8

ถ่านหินชั้น J3 น้ำกลั่นส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นสูงสุดในชั้นนี้ร้อยละ 8.7 ปริมาณซัลเฟอร์ลดลงร้อยละ 4.04 ส่วนสารละลายกรดไนตริกช่วยลดปริมาณซัลเฟอร์ได้มากที่สุดร้อยละ 30 แต่ปริมาณคาร์บอนลดลงร้อยละ 5

ถ่านหินชั้น J4 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้ปริมาณซัลเฟอร์ลดลงร้อยละ 34 และลดลงร้อยละ 27 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่านั้นที่เพิ่มปริมาณคาร์บอนร้อยละ 5.5

ถ่านหินชั้น J5 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีผลต่อการลดปริมาณซัลเฟอร์ลงร้อยละ 48 และ 17 ตามลำดับ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนเล็กน้อยประมาณร้อยละ 0.9 และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลให้ปริมาณคาร์บอนลดลงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 0.8

ถ่านหินชั้น K1 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ปูนขาว โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริก ลดปริมาณซัลเฟอร์ลงร้อยละ 53, 40, 25.3 และ 25.3 ตามลำดับ แต่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่านั้นที่เพิ่มปริมาณคาร์บอนร้อยละ 1.7

ถ่านหินชั้น K2 สารละลายปูนขาวมีผลทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ลดลงร้อยละ 3 แต่ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนลดลง

ถ่านหินชั้น K3 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะส่งผลให้ปริมาณซัลเฟอร์ลดลงร้อยละ 29 และ 26 ตามลำดับ แต่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีผลทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.4

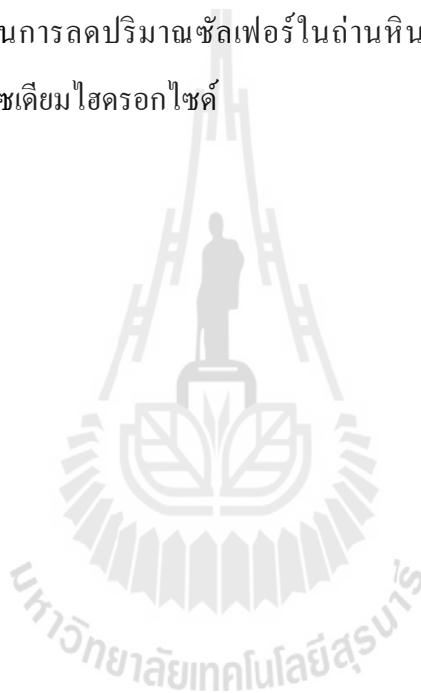
ถ่านหินชั้น Q1 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ลดลงร้อยละ 54 และ 21 ตามลำดับ โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นร้อยละ 14 และ ร้อยละ 7 สำหรับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

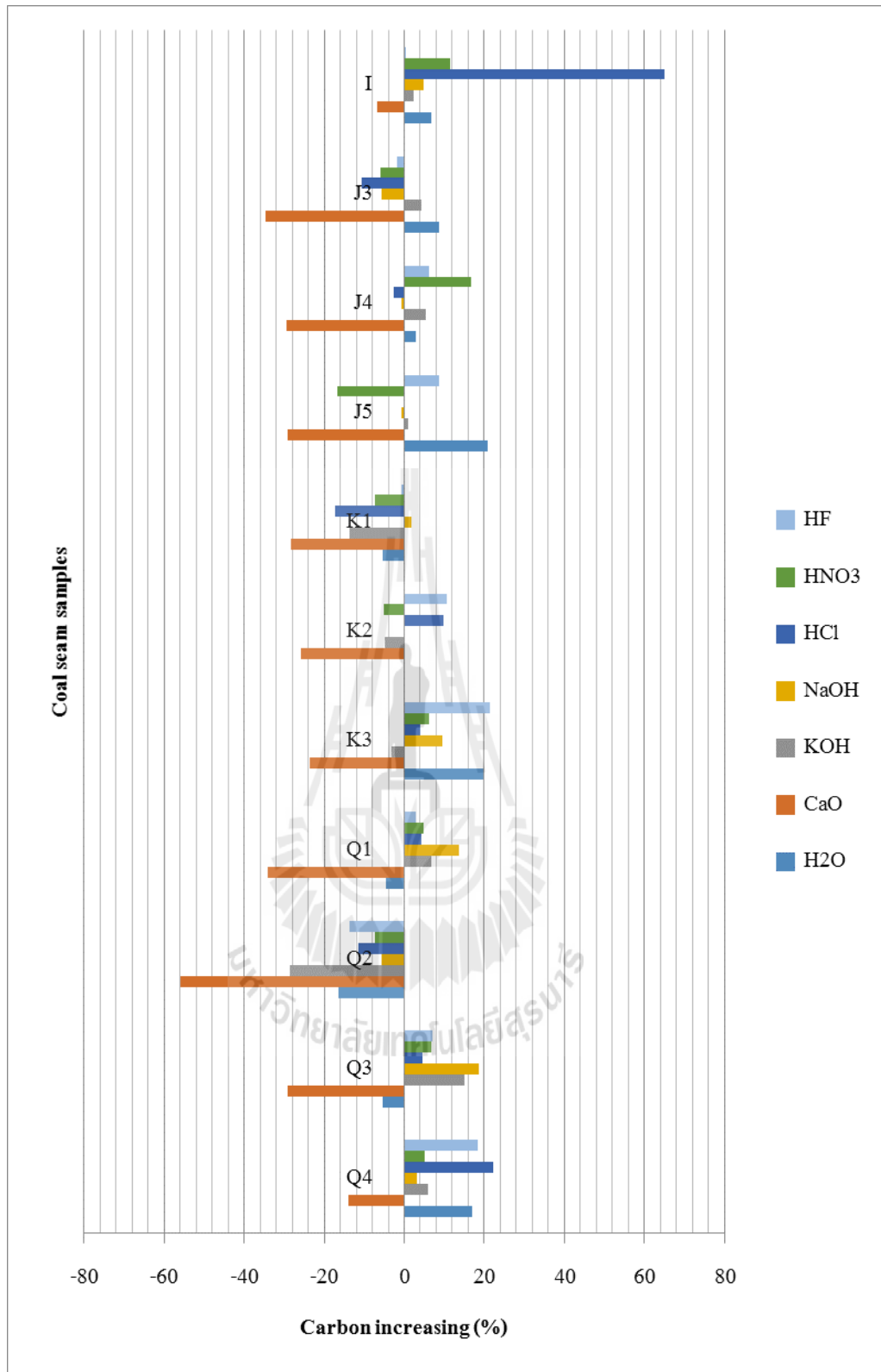
ถ่านหินชั้น Q2 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลลดปริมาณซัลเฟอร์ลงร้อยละ 29 และ 16 ตามลำดับ แต่จะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนลดลงเล็กน้อย

ถ่านหินชั้น Q3 สารละลายปูนขาว และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีผลทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ลดลง 13 และ 1 ตามลำดับ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่านั้นที่ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นร้อยละ 15

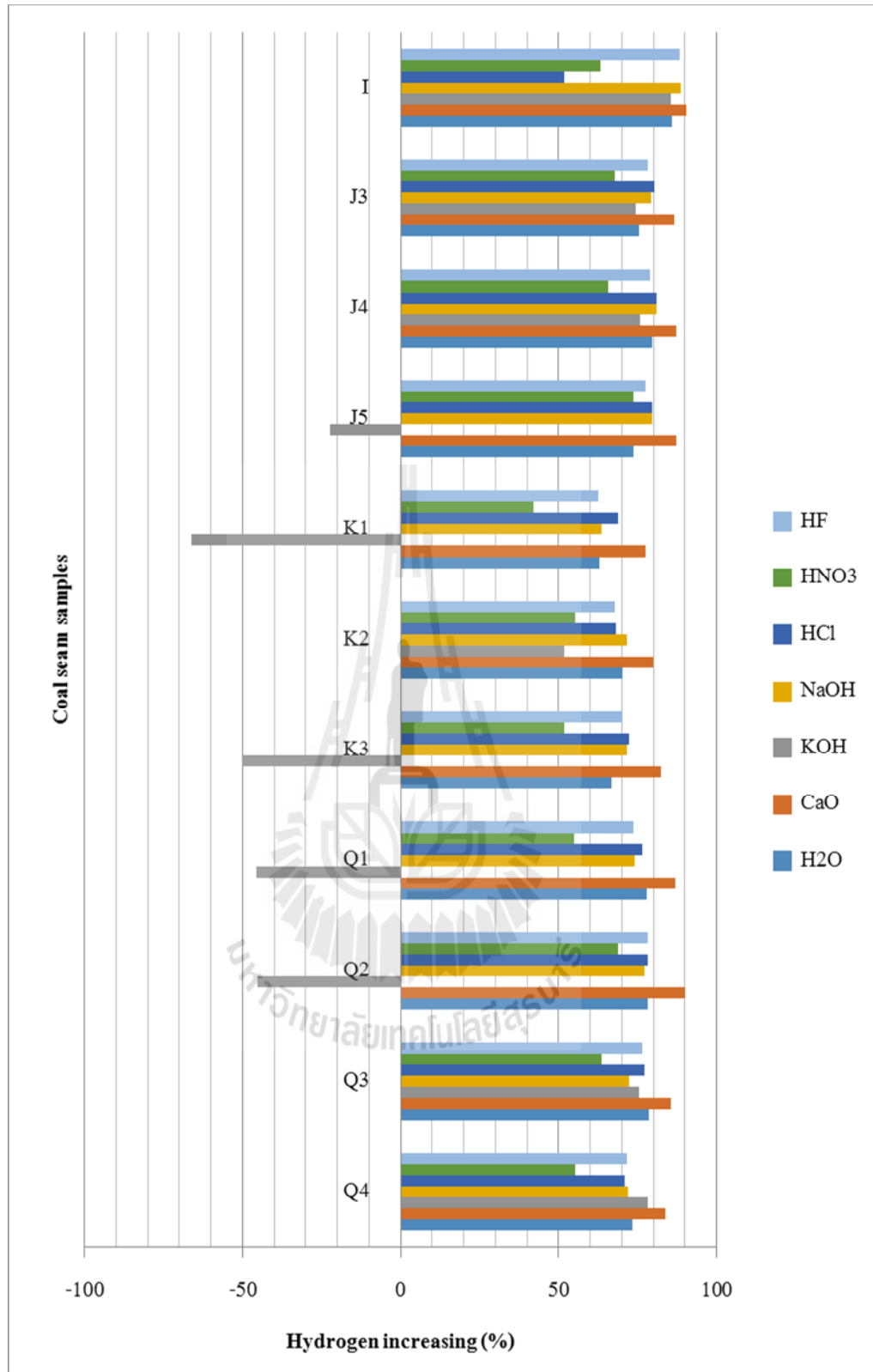
ถ่านหินชั้น Q4 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีผลทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ลดลงร้อยละ 26 และยังส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นร้อยละ 6

จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุทำให้ทราบว่าสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดปริมาณซัลเฟอร์ในถ่านหิน และไม่ส่งผลต่อการลดคาร์บอนรองลงมาเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

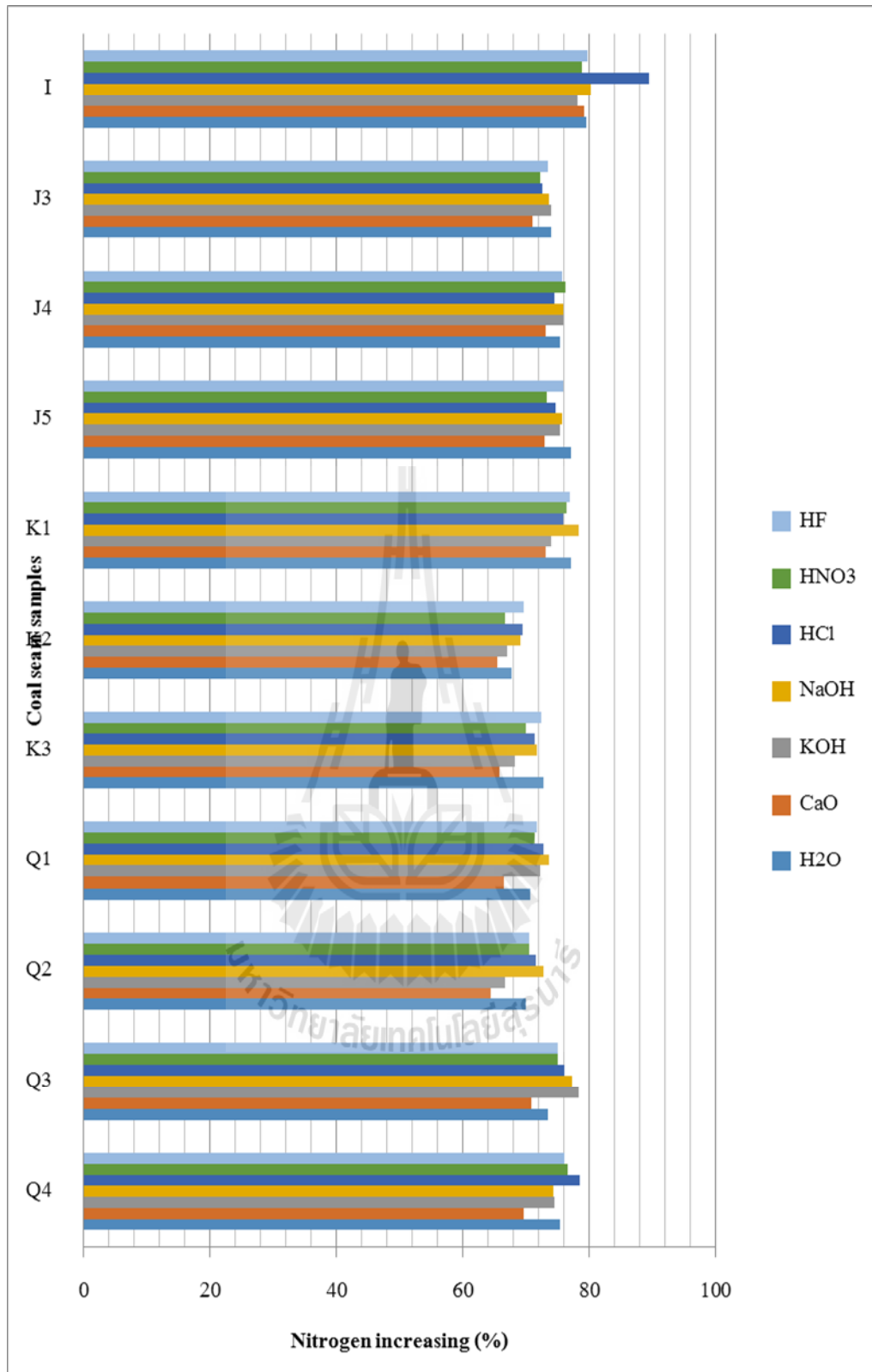




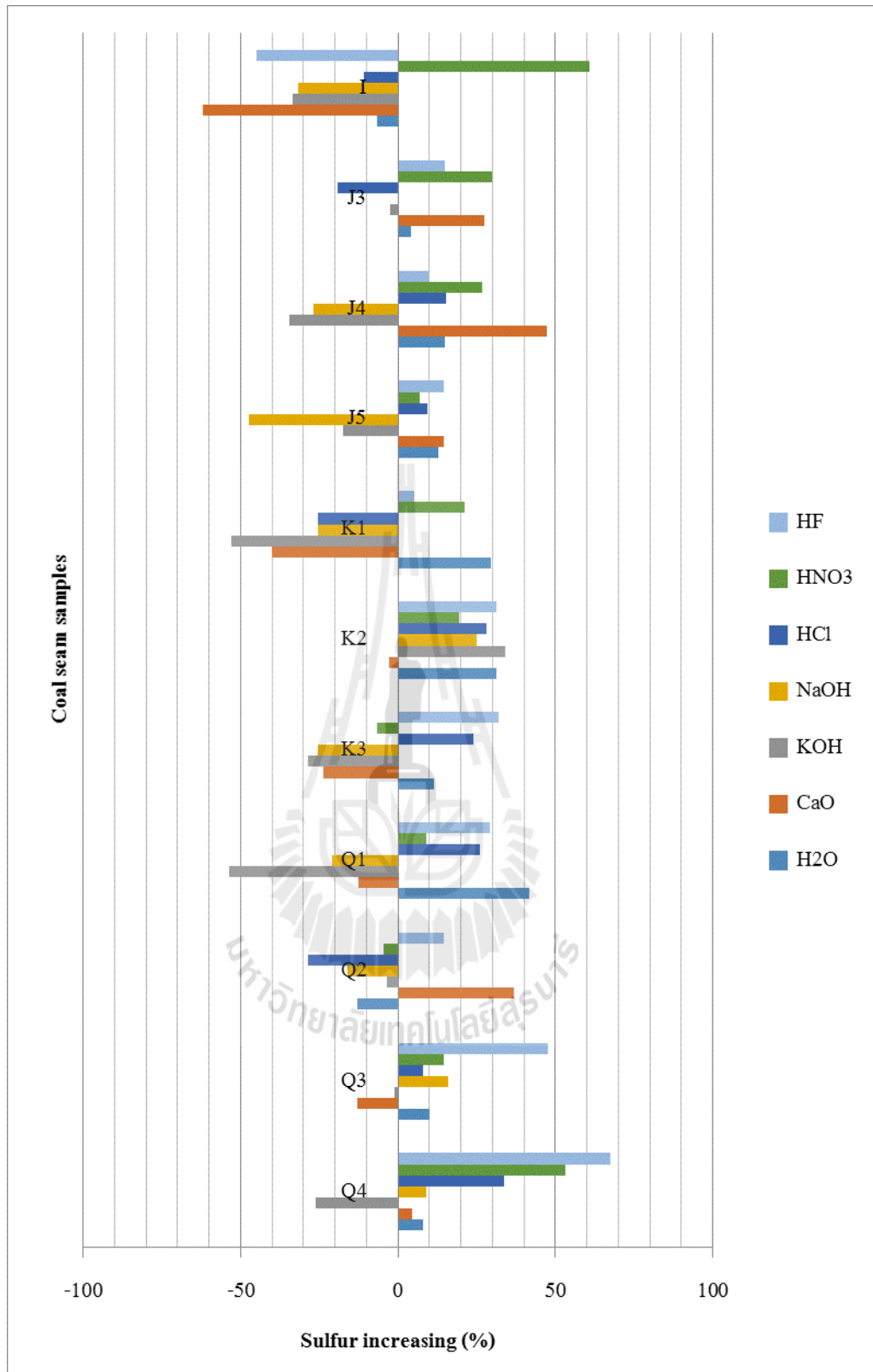
รูปที่ 4.27 ภาพแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอน หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.28 ภาพแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาณไฮโดรเจน หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.29 ภาพแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจน หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.30 ภาพแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาณซัลเฟอร์ หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

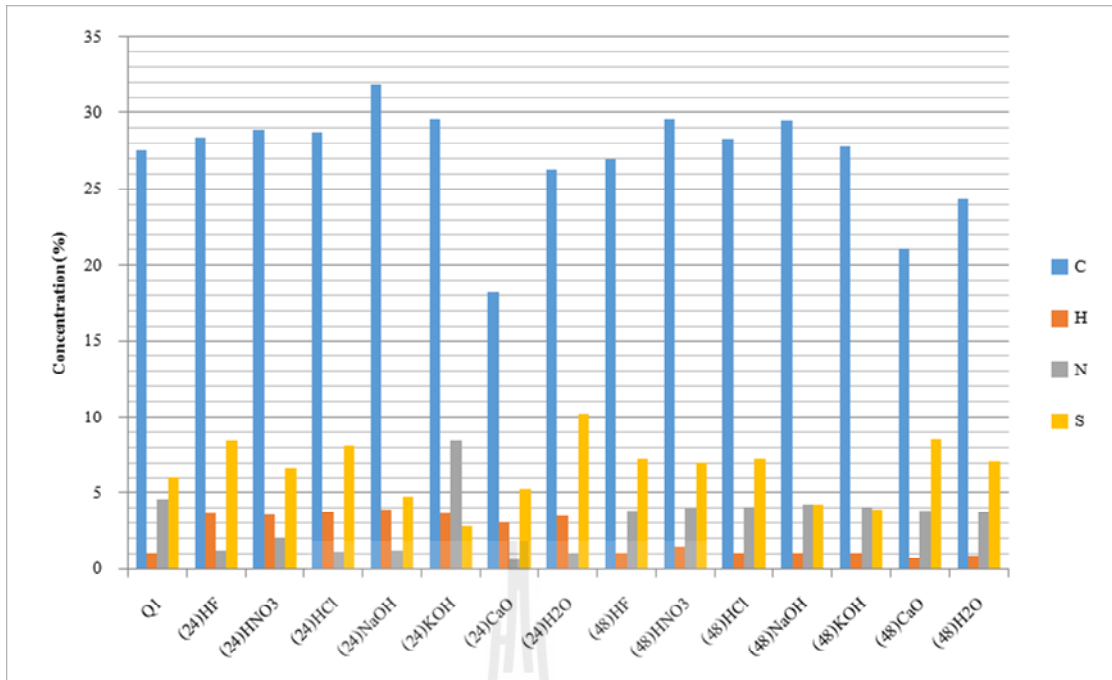
4.4.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการแยกธาตุหลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมงและกราฟแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.31

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการแยกธาตุพบว่าปริมาณคาร์บอนมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 21 ถึง 29 โดยมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้สารละลายกรดไนตริก ไฮโดรคลอริก และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณร้อยละ 29 โดยเพิ่มขึ้นปริมาณร้อยละ 7 โดยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 1 ส่วนปริมาณธาตุอื่นๆจะลดปริมาณคาร์บอนลง ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบหลักที่จะก่อให้เกิดมลพิษพบว่าส่วนใหญ่มีปริมาณลดลงทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 1 โดยลดลงมากที่สุดใต้น้ำกลั่น สารละลายปูนขาว กรดไฮโดรฟลูออริก ไนตริก และ ไฮโดรคลอริก ปริมาณร้อยละ 12 ถึง 19 ส่วนปริมาณซัลเฟอร์ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่จะก่อให้เกิดมลพิษ และฝนกรด พบว่าจะลดลงประมาณร้อยละ 33 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนกรดไนตริกและไฮโดรคลอริกก็สามารถนำมาประยุกต์ได้ เนื่องจากปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่มีปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากเดิมร้อยละ 15

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น Q1 หลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ชั้น	คาร์บอน (C)	ไนโตรเจน (N)	ไฮโดรเจน (H)	ซัลเฟอร์ (S)
Q1HF	27.00	1.03	3.78	7.28
Q1HNO ₃	29.53	1.48	3.97	6.97
Q1HCl	28.34	1.04	4.04	7.24
Q1NaOH	29.47	1.06	4.26	4.23
Q1KOH	27.81	1.02	4.03	3.93
Q1CaO	21.06	0.73	3.82	8.56
Q1H ₂ O	24.31	0.90	3.71	7.07



รูปที่ 4.31 ภาพแสดงปริมาณร้อยละคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และ ซัลเฟอร์ ทั้งก่อน และ หลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี

จากรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อผ่านการแช่ในสารเคมี และลดลงมากที่สุดเมื่อผ่านการแช่ในสารละลายปูนขาว ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงของเวลาไม่ส่งผลต่อการเพิ่มหรือลดองค์ประกอบของถ่านหิน โดยแสดงจากแนวโน้มที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ปริมาณคาร์บอนสูงขึ้นเมื่อผ่านการแช่ในสารละลายกรดไนตริก และไฮโดรคลอริก โดยที่ปริมาณซัลเฟอร์ลดลงมากที่สุดโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.5 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องอินดิคตอร์คอบเพลิงพลาสมา (ICP)

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน โดยตัวอย่างถูกบดให้มีขนาดที่ละเอียดเล็กแล้วผ่านการคัดขนาด โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 75 ไมโครเมตร (เบอร์ 200) โดยชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 0.25 กรัม หลังจากนั้นใส่ตัวอย่างลงไปในที่ใส่ตัวอย่างพลาสติก ทำการใส่กรดตามวิธีการย่อยแล้วใส่เครื่องย่อยก่อนนำไปวิเคราะห์ในเครื่องอินดิคตอร์คอบเพลิงพลาสมาเพื่อหาปริมาณธาตุร่องรอย

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยโดยใช้เครื่อง Perkin Elmer Optima 3000 โดยการเลือกชั้นถ่านหินตัวอย่างในแต่ละชั้นหลักมาแทนตัวอย่างที่มีค่าคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันได้แก่ ชั้น J5 แทนตัวอย่างถ่านหินชั้น J ตัวอย่างถ่านหินชั้น K2 ใช้แทนตัวอย่างถ่านหินชั้น K ตัวอย่างถ่านหินชั้น

Q1 ใช้แทนตัวอย่างถ่านหินชั้น ชั้น Q โดยรายละเอียดของปริมาณธาตุสารหนู โครเมียม โคบอลต์ ทองแดง โมลิบดีนัม สังกะสี วานาเดียม และตะกั่ว แสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.32

ชั้นถ่านหิน J5 มีปริมาณ สารหนู สูงสุด 72.54 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นวานาเดียม สังกะสี และ ทองแดง ส่วนในล้านส่วน 21.18, 16.19 และ 11.59 ตามลำดับ โดยมีปริมาณสารหนู เกินกว่ามาตรฐานควบคุมคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและทำเกษตรกรรมประมาณร้อยละ 94.62

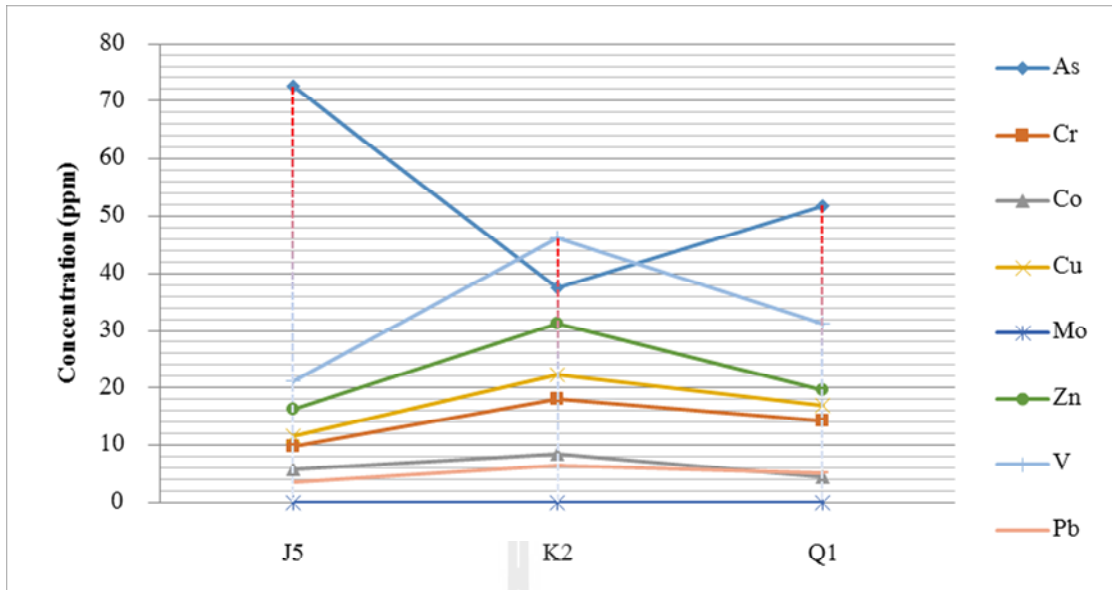
ชั้นถ่านหิน K2 มีปริมาณวานาเดียม สูงสุด 46.11 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็น สารหนู สังกะสี และทองแดง 37.52, 31.34, 22.36 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยมีปริมาณสารหนูเกินกว่า มาตรฐานควบคุมคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและทำเกษตรกรรมประมาณร้อยละ 89.60

ชั้นถ่านหิน Q1 มีปริมาณ สารหนู สูงสุด 51.83 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นวานาเดียม สังกะสี และ ทองแดง 31.30, 19.54 และ 16.95 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยมีปริมาณสารหนู เกินกว่ามาตรฐานควบคุมคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและทำเกษตรกรรมประมาณร้อยละ 92.47

จากการวิเคราะห์สรุปว่าถ่านหินชั้น J5 มีปริมาณสารหนุมากกว่ามาตรฐานอันกำหนด ควบคุมคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและทำเกษตรกรรมไม่ควรเกิน 3.9 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกิโลกรัม สูงสุดคือร้อยละ 62.78 รองลงมาเป็นชั้น Q1 ร้อยละ 47.91 และ K2 ร้อยละ 28.04 ธาตุอื่น ๆ อันได้แก่ โครเมียม และตะกั่วมีปริมาณ ไม่เกินค่ามาตรฐานโดย โครเมียมควรมีไม่เกิน 640 ส่วนในล้านส่วน และ ตะกั่วไม่เกิน 750 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานควบคุมคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและ ทำเกษตรกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ธาตุอื่น ๆ นอกเหนือจากนี้ไม่มีข้อมูลในการ เปรียบเทียบ

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณของธาตุร่องรอยในถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี

Trace Elements	J5	K2	Q1	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
				Q1	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1
before treatment			soaking time 24 hours								soaking time 48 hours						
As	72.54	37.52	51.83	0.00	24.45	80.25	51.00	84.46	40.20	65.59	41.83	31.15	26.39	31.86	69.42	32.11	73.20
Cr	9.79	18.16	14.35	25.37	13.32	16.33	15.74	15.14	9.40	12.16	16.53	21.23	14.19	17.32	10.91	12.56	11.80
Co	5.80	8.38	4.39	2.20	3.98	0.40	6.18	6.37	5.60	3.39	2.59	2.58	1.20	5.77	5.36	8.97	2.40
Cu	11.59	22.36	16.95	22.57	18.09	15.73	18.13	19.32	15.40	21.73	19.72	19.64	19.59	24.49	23.01	16.95	20.20
Mo	0.00	0.00	0.00	0.20	0.40	0.20	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	1.19	1.00	0.60	0.40	0.00	0.00
Zn	16.19	31.34	19.54	23.77	22.07	35.44	51.00	102.19	31.60	42.46	12.55	8.13	39.58	42.41	30.54	34.10	16.80
V	21.18	46.11	31.30	55.93	27.24	16.13	38.84	36.65	30.00	29.51	36.06	30.56	22.39	48.98	36.30	33.71	33.20
Pb	3.60	6.39	5.18	4.59	5.17	5.77	5.38	6.77	4.40	9.97	4.78	4.37	5.20	7.77	9.12	5.38	8.00



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงปริมาณของธาตุร่องรอย ของถ่านหินชั้น J5 K2 และ Q1 ก่อนการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี

4.5.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง

ปริมาณธาตุ สารหนู โครเมียม โคบอลต์ ทองแดง โมลิบดีนัม สังกะสี วาเนเดียม และ ตะกั่ว แสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.33 โดยการทดลองจะทำการเปรียบเทียบถ่านหินในชั้น Q1 เนื่องจากผู้ทำการทดลองคิดว่าเป็นชั้นที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดและสามารถใช้แนวโน้มของผลการทดลองเทียบกับถ่านหินชั้นอื่นได้

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก พบว่าเหลือปริมาณวาเนเดียมสูงที่สุด 55.93 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นโครเมียม สังกะสี และ ทองแดง 25.37, 23.77 และ 22.57 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยพบสารหนูน้อยมาก โดยพบโคบอลต์ และตะกั่วลดลงร้อยละ 40 และ 10

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดไนตริก พบว่าเหลือปริมาณวาเนเดียมสูงที่สุด 27.24 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นสารหนู สังกะสี และ ทองแดง 24.45, 22.07 และ 18.09 ส่วนในล้านส่วน โดยพบสารหนูลดลงมากที่สุดร้อยละ 50

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก พบว่าเหลือปริมาณสารหนูสูงที่สุด 80 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็น สังกะสี 35.44 ส่วนในล้านส่วน โดยพบปริมาณโคบอลต์ลดได้มากที่สุดร้อยละ 90 และวานเนเดียมร้อยละ 40

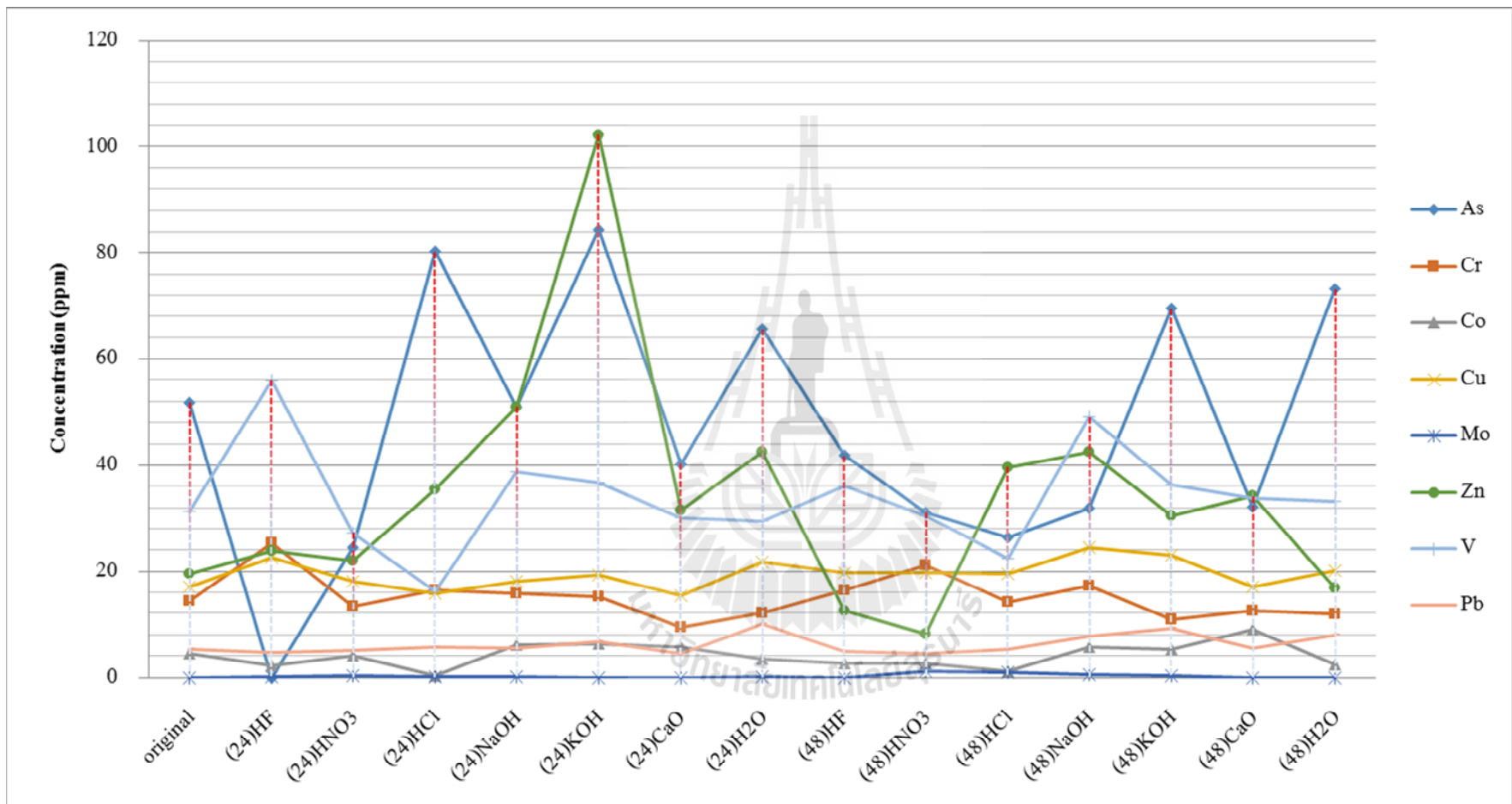
ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณ สารหนู และ สังกะสี สูงสุด 51 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นวานเนเดียม 38.84 ส่วนในล้านส่วน ในสารละลายชนิดนี้ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุหนักมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณสังกะสี สูงสุด 102 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นสารหนู 84.46 ส่วนในล้านส่วน และวานเนเดียม 36.65 ส่วนในล้านส่วน ในสารละลายชนิดนี้พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุหนักที่ลดลง

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมออกไซด์ มีปริมาณสารหนู สูงสุด 40 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นวานเนเดียม สังกะสี ประมาณ 40 ส่วนในล้านส่วน โดยพบปริมาณสารหนู และ วานเนเดียมลดลงร้อยละ 20 และ 30

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในน้ำกลั่นมีปริมาณ สารหนู สูงสุด 65.59 ส่วนในล้านส่วน รองลงมา เป็นสังกะสี และ วานเนเดียม 42 และ 30 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยพบปริมาณโคบอลต์ และ โครเมียมลดลงร้อยละ 20 และ 15 ตามลำดับ โดยธาตุอื่นมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในน้ำกลั่น

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของถ่านหินพบว่าหลังจากการผ่านการปรับคุณภาพ ด้วยสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมงในถ่านหินชั้น Q1 พบว่าสารหนูจะลดลงได้มากที่สุด ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก และพบว่ามีความต่ำกว่ามาตรฐานดิน รองลงมาลดลงมากใน สารละลายกรดไนตริกและไฮโดรคลอริก รองลงมาเป็นธาตุโคบอลต์ และตะกั่ว ส่วนสารละลาย กรดไนตริกจะลดปริมาณโคบอลต์ได้สูงสุดเมื่อเทียบกับสารละลายชนิดอื่นๆ รองลงมาเป็น วานเนเดียม สารละลายปูนขาวและน้ำกลั่นมีผลต่อการลดโลหะหนักเล็กน้อย โดยสารละลายประเภท เบสไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักในถ่านหิน



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงปริมาณของธาตุร่องรอย ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี

4.5.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก พบว่าเหลือปริมาณสารหนูสูงที่สุด 41.83 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นวานเนเดียม 36.06 ส่วนในล้านส่วน โดยปริมาณโคบอลต์ สังกะสี สารหนู และตะกั่วลดลงร้อยละ 41, 36, 8 และ 19 ยังพบว่า ยังมีปริมาณมากกว่าค่ามาตรฐาน อยู่ร้อยละ 90

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดไนตริก พบว่าเหลือปริมาณสารหนูสูงและวานเนเดียม สูงที่สุด 30 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นปริมาณโครเมียมและทองแดง เหลือ 21 และ 19 ส่วนใน ล้านส่วน โลหะหนักชนิดอื่นๆ พบเพียงเล็กน้อย ซึ่งจากการเปรียบเทียบปริมาณสังกะสีลดลงจาก เดิมมากที่สุดรองลงมาเป็นปริมาณโคบอลต์ สารหนู และตะกั่ว ลดลงร้อยละ 58.36, 41.19, 39.90 และ 15.79 ตามลำดับ แต่ปริมาณของสารหนูยังมีปริมาณมากกว่าค่ามาตรฐานอยู่ร้อยละ 87

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก พบว่ามีปริมาณสังกะสีสูงที่สุด 39.58 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็น สารหนู และ วานเนเดียม 26.39 และ 22.39 ส่วนในล้านส่วน โดยพบ ปริมาณโคบอลต์ลดได้มากที่สุดร้อยละ 72.65 สารหนูลดลงร้อยละ 49.09 และวานเนเดียมร้อยละ 28.46 แต่ปริมาณของสารหนูยังมีมากกว่าค่ามาตรฐานอยู่ร้อยละ 85

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณ วานเนเดียมและสังกะสี สูงสุดประมาณ 48.98 และ 42.41 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นสารหนู และทองแดง 31.86 และ 24.49 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ในสารละลายชนิดนี้ปริมาณสารหนูลดลงเพียงอย่างเดียวร้อยละ 38.54 แต่ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานอยู่ร้อยละ 87.7

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณสารหนู สูงสุด 69.42 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นวานเนเดียม 36.30 ส่วนในล้านส่วน และสังกะสี 30.54 ส่วนใน ล้านส่วน ในสารละลายชนิดนี้พบว่าโครเมียมเท่านั้นที่ลดลงร้อยละ 24.01 แต่ปริมาณสารหนูที่วัด ได้ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานร้อยละ 94.38

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมออกไซด์ มีปริมาณ สารหนู สังกะสี และ วานเนเดียม สูงสุดประมาณ 33 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นทองแดงและโครเมียม 16.95 และ 12.56 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยสารหนูพบว่าลดลงจากเดิมร้อยละ 38.05 และโครเมียม ลดลงร้อยละ 12.47 แต่ปริมาณสารหนูยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานอยู่ร้อยละ 87.85

ตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในน้ำกลั่นพบว่าปริมาณสารหนู สูงสุด 73.20 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาเป็นวานเนเดียม และทองแดง มีค่า 33.20 และ 20.20 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยพบปริมาณโคบอลต์ โครเมียม และสังกะสี ลดลงร้อยละ 45.28, 17.79 และ 14.01 และปริมาณสารตะกั่วที่พบยังมีปริมาณที่สูงกว่ามาตรฐานอยู่ร้อยละ 94.67

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของถ่านหินพบว่าหลังจากการผ่านการปรับคุณภาพด้วยสารเคมี 7 ชนิด เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในถ่านหินชั้น Q1 พบว่า สารหนูจะลดลงได้มากในสารละลายกรดไนตริกและไฮโดรคลอริกได้ถึงร้อยละ 40 ถึง 49 และยังสามารถลดปริมาณของโคบอลต์ ได้ถึงร้อยละ 72.65 ในกรดไฮโดรคลอริก และลดลงร้อยละ 41 ในกรดไนตริก โดยกรดไนตริกยังมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสังกะสีได้ถึงร้อยละ 58.36 แต่กรดไนตริกมีประสิทธิภาพสามารถลดปริมาณสารตะกั่วได้ต่ำที่สุด ส่วนสารละลายเบส ปูนขาวและน้ำกลั่นมีผลต่อการการเปลี่ยนแปลงโลหะหนักเพียงเล็กน้อย

จากการเปรียบเทียบเมื่อมีการเพิ่มเวลาในรูปที่ 4.33 สามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เพิ่มขึ้นจาก 24 ชั่วโมง เป็น 48 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักในถ่านหิน ซึ่งแนวโน้มของปริมาณโลหะหนักของถ่านหินชั้น Q1 มีแนวโน้มเดียวกันในแต่ละสารเคมี

4.6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณค่าความร้อน (Heating values)

จากการศึกษาครั้งนี้จะทำการหาค่าความร้อนทั้งปริมาณความร้อนสูงสุด (High Heating Value; HHV) และปริมาณความร้อนต่ำสุด (Low Heating Value; LHV) จะเป็นการคำนวณที่มีการหักลบค่าพลังงานที่สูญเสียให้กับความชื้นในถ่านหินออก โดยใช้สมการที่ (4.1) หรือสมการของ Dulong Formular ดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าพลังงานความร้อน (Btu/lb)} = 145C + 610(H_2 - 1/8O_2) + 40S + 10N \quad (4.1)$$

เมื่อ C = Carbon (% โดยน้ำหนัก)

H₂ = Hydrogen (% โดยน้ำหนัก)

O₂ = Oxygen (% โดยน้ำหนัก)

S = Sulphur (% โดยน้ำหนัก)

N = Nitrogen (% โดยน้ำหนัก)

และเมื่อ 1 Btu/lb = 2.324 kJ/kg

4.6.1 ผลการวิเคราะห์ก่อนการล้างด้วยสารเคมี

ค่าความร้อนสูงสุดและความร้อนต่ำสุดจะแสดงในตารางที่ 4.10 ถึง 4.11 และ รูปที่ 4.34 โดยผลการวิเคราะห์พบว่าถ่านหินชั้น I ให้ค่าพลังงานความร้อนประมาณ 4.54 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ถ่านหินชั้น J ให้ความร้อนช่วง 12.86 ถึง 13.91 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม โดยสูงสุดในชั้น J3 ถ่านหินชั้น K ให้พลังงานความร้อนในช่วง 8.08 ถึง 11.97 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม โดยชั้น K2 ให้ค่าความร้อนสูงสุด ถ่านหินชั้น Q ให้พลังงานความร้อนในช่วง 10.19 ถึง 12.73 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม โดยชั้น Q2 ให้พลังงานความร้อนสูงที่สุด โดยสรุป ถ่านหินชั้น J ให้พลังงานความร้อนสูงสุด รองลงมาเป็นชั้น Q, K และ I

4.6.2 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 24 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.35 แสดงให้เห็นว่า สารละลายกรดไนตริกมีผลทำให้ค่าพลังงานความร้อนในถ่านหินชั้น I ลดลงน้อยที่สุดร้อยละ 20.1 รองลงมาเป็น โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และน้ำกลั่น ร้อยละ 56.2 และ 57 ตามลำดับ

ในตัวอย่างถ่านหินชั้น J3 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลต่อการลดค่าพลังงานความร้อนลงร้อยละ 20.7 รองลงมาเป็นน้ำกลั่น ลดลงร้อยละ 25 และกรดไนตริกร้อยละ 28.5

ถ่านหินชั้น J4 สารละลายกรดไนตริก ส่งผลต่อการลดค่าพลังงานความร้อนลงร้อยละ 9.4 รองลงมาเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 24.2 และ น้ำกลั่นร้อยละ 28.3

ถ่านหินชั้น J5 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานความร้อนร้อยละ 28.7 รองลงมาเป็นน้ำกลั่นลดลงร้อยละ 7.3 และกรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 22.9

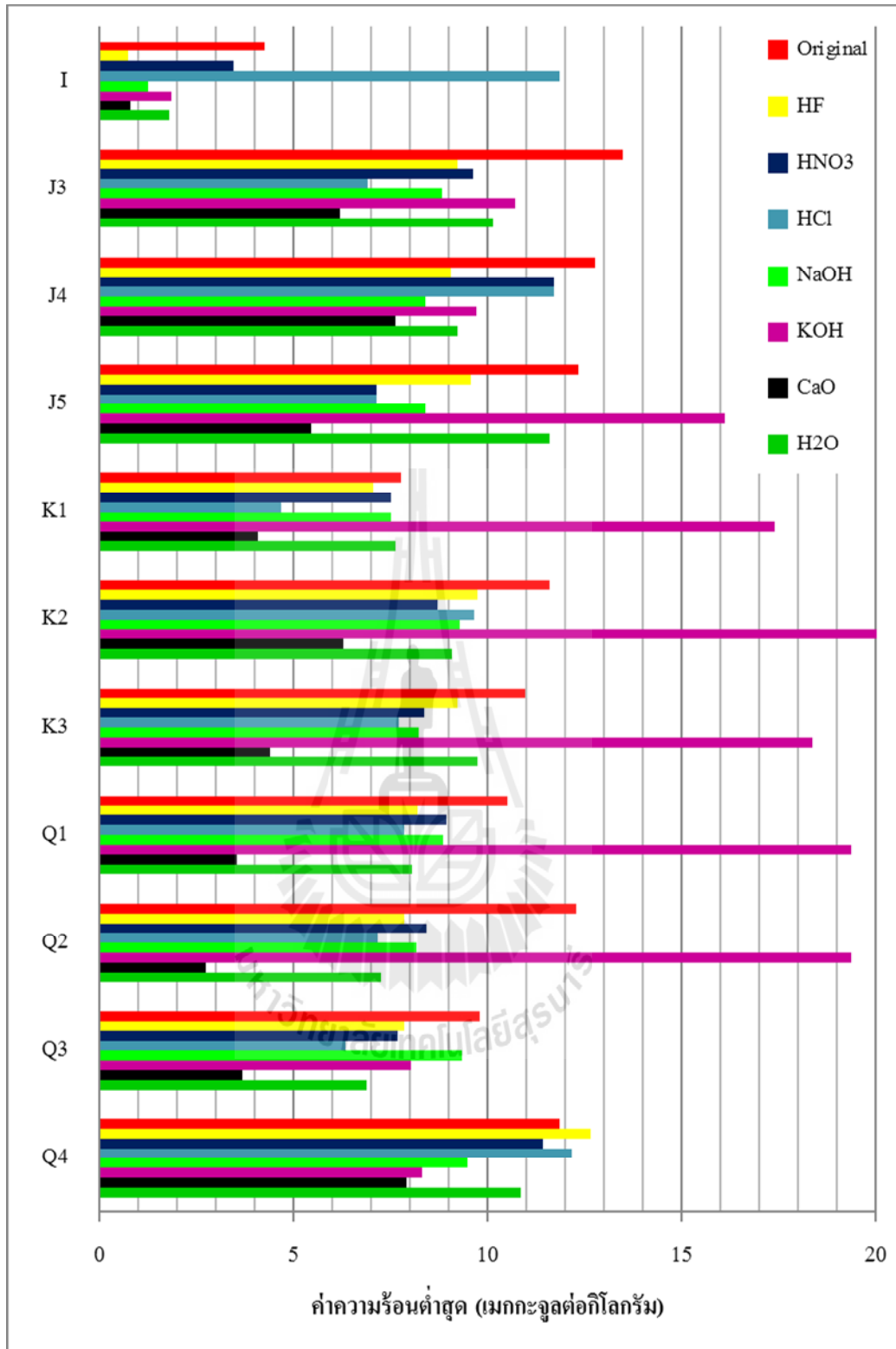
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความร้อนของถ่านหินทั้งก่อนและหลังการปรับคุณภาพด้วยสารเคมีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Seam	HHV MJ/kg	LHV MJ/kg	HF		HNO ₃		HCl		NaOH		KOH		CaO		H ₂ O	
			HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV
I	4.54	4.24	1.00	0.75	3.63	3.45	12.10	11.87	1.45	1.26	1.99	1.85	0.96	0.79	1.95	1.78
J3	13.91	13.48	9.53	9.22	9.94	9.62	7.20	6.90	9.15	8.83	11.03	10.71	6.54	6.19	10.44	10.14
J4	13.30	12.79	9.41	9.07	12.05	11.73	12.05	11.73	8.73	8.39	10.08	9.71	7.98	7.62	9.54	9.22
J5	12.86	12.36	9.91	9.58	7.49	7.14	7.49	7.14	8.73	8.39	16.55	16.11	5.81	5.45	11.91	11.61
K1	8.08	7.77	7.28	7.06	7.77	7.50	4.94	4.68	7.78	7.50	17.69	17.42	4.32	4.09	7.88	7.64
K2	11.97	11.59	9.99	9.74	9.02	8.71	9.98	9.65	9.60	9.30	21.01	20.73	6.58	6.29	9.33	9.08
K3	11.41	10.96	9.50	9.24	8.67	8.38	7.99	7.72	8.52	8.24	18.74	18.37	4.68	4.41	10.00	9.74
Q1	11.09	10.53	8.48	8.20	9.23	8.93	8.16	7.87	9.14	8.85	19.72	19.37	3.83	3.55	8.34	8.07
Q2	12.73	12.29	8.11	7.87	8.65	8.42	7.41	7.18	8.45	8.18	19.72	19.37	3.02	2.74	7.48	7.25
Q3	10.19	9.81	8.11	7.87	7.97	7.69	6.62	6.33	9.62	9.33	8.40	8.02	3.91	3.67	7.14	6.89
Q4	12.43	11.87	12.96	12.67	11.74	11.43	12.52	12.18	9.78	9.50	8.71	8.32	8.17	7.90	11.15	10.86

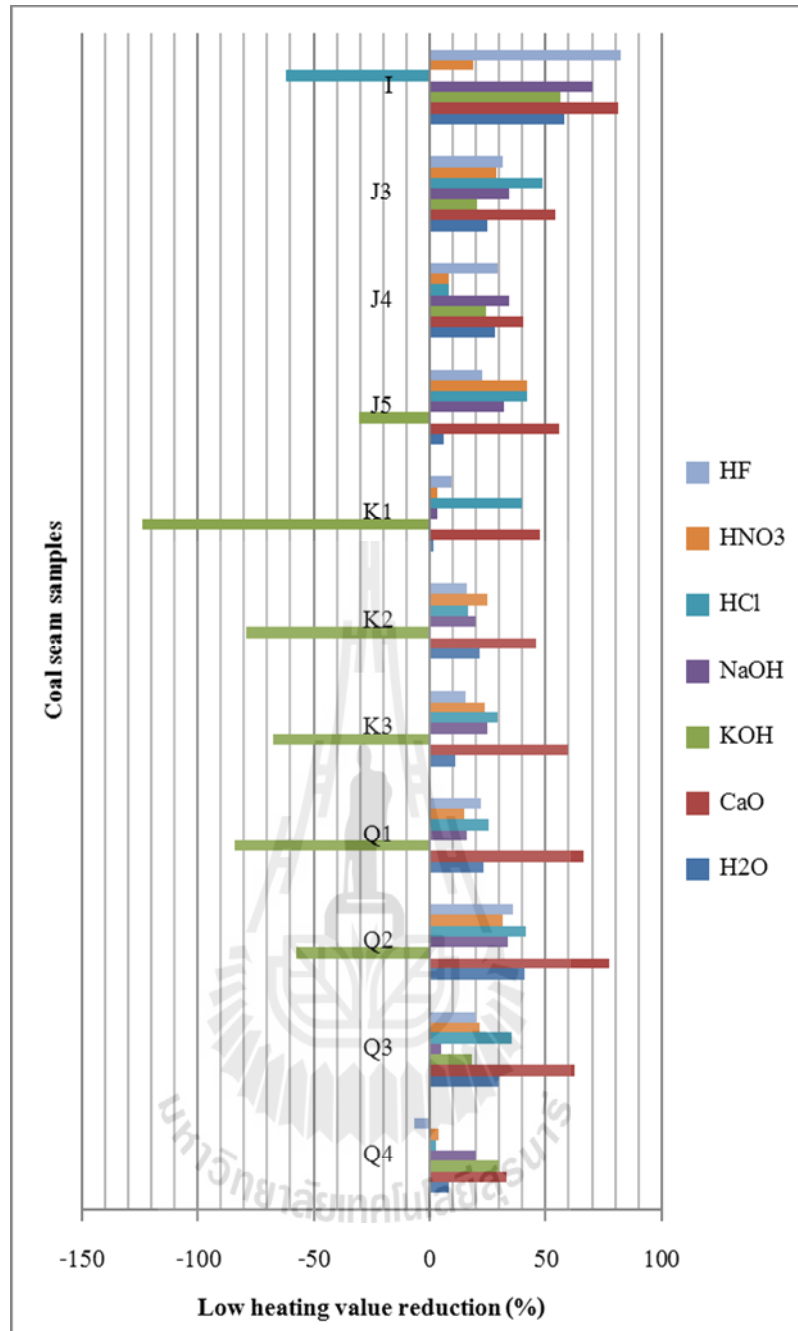
ตารางที่ 4.11 แสดงร้อยละการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าความร้อนในถ่านหินหลังการปรับคุณภาพด้วยสารเคมีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Seam	HHV MJ/kg	LHV MJ/kg	HF		HNO ₃		HCl		NaOH		KOH		CaO		H ₂ O	
			HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV
I	4.45	4.14	78.0	82.2	20.1	18.6	62.5	61.8	68.0	70.3	56.2	56.3	78.8	81.3	57.0	58.0
J3	13.73	13.29	31.5	31.6	28.5	28.7	48.3	48.8	34.2	34.5	20.7	20.6	53.0	54.1	25.0	24.8
J4	13.13	12.62	29.3	29.1	9.4	8.3	9.4	8.3	34.4	34.5	24.2	24.1	40.0	40.5	28.3	28.0
J5	12.69	12.19	22.9	22.5	41.7	42.2	41.7	42.2	32.1	32.2	28.7	30.3	54.8	55.9	7.3	6.1
K1	7.95	7.63	10.0	9.2	3.9	3.5	38.9	39.7	3.8	3.5	118.9	124.1	46.6	47.4	2.5	1.7
K2	11.76	11.38	16.5	15.9	24.7	24.8	16.6	16.7	19.8	19.7	75.5	79.0	45.0	45.7	22.1	21.6
K3	11.22	10.77	16.7	15.7	24.0	23.6	30.0	29.6	25.3	24.8	64.2	67.6	59.0	59.7	12.4	11.2
Q1	10.91	10.35	23.6	22.2	16.7	15.2	26.4	25.3	17.5	16.0	77.8	83.8	65.4	66.3	24.7	23.4
Q2	12.55	12.11	36.3	35.9	32.1	31.5	41.8	41.6	33.6	33.5	54.9	57.6	76.3	77.7	41.3	41.0
Q3	10.03	9.65	20.4	19.7	21.7	21.5	35.0	35.4	5.5	4.8	17.6	18.2	61.6	62.6	29.9	29.8
Q4	12.26	11.70	4.3	6.7	5.6	3.7	0.7	2.6	21.3	20.0	30.0	29.9	34.3	33.4	10.3	8.5

* ช่องสีเทาแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงร้อยละการลดลง



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงปริมาณค่าความร้อนต่ำสุดของถ่านหินทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมีแต่ละชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงร้อยละการลดลงของค่าความร้อนขั้นต่ำ หลังแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ถ่านหินชั้น K1 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานความร้อนร้อยละ 118.9 รองลงมาเป็นน้ำกลั่นร้อยละ 2.5 และ กรดไนตริก ร้อยละ 3.9

ถ่านหินชั้น K2 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานความร้อนร้อยละ 75.5 รองลงมาเป็นกรดไนตริก ร้อยละ 24.7 และ กรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 16.6

ถ่านหินชั้น K3 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานความร้อนร้อยละ 64.2 รองลงมาเป็นน้ำกลั่นร้อยละ 12.4 และกรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 16.7

ถ่านหินชั้น Q1 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานความร้อนร้อยละ 77.8 รองลงมาเป็นกรดไนตริก ร้อยละ 16.7 และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 17.5

ถ่านหินชั้น Q2 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานความร้อนร้อยละ 54.9 รองลงมาเป็นกรดไนตริก ร้อยละ 32.1 และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 33.6

ถ่านหินชั้น Q3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลต่อการลดค่าพลังงานความร้อนร้อยละ 5.5 รองลงมาเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 17.6 และ กรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 20.4

ถ่านหินชั้น Q4 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานความร้อนร้อยละ 4.3 รองลงมาเป็นกรดไฮโดรคลอริกลด ร้อยละ 0.7 และกรดไนตริก ร้อยละ 5.6

สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อการเพิ่มของพลังงานความร้อนของถ่านหินมากที่สุดร้อยละ 28.7 ถึง 118.9 รองลงมาเป็นสารละลายกรดไนตริกส่งผลให้พลังงานความร้อนลดลงร้อยละ 3.1 ถึง 41.7 และน้ำกลั่น 2.5 ถึง 57 เนื่องจากสารละลายทั้งสองชนิดเกิดปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อยกับคาร์บอนทำให้ปริมาณคาร์บอนไม่ลดลงหรือลดลงเล็กน้อยภายในถ่านหิน ดังนั้นเมื่อทำการคำนวณค่าพลังงานความร้อน ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จึงสูงขึ้นจากเดิม (รูปที่ 4.27 และ 4.35)

4.6.3 ผลการวิเคราะห์หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง

ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความร้อนสูงสุดและความร้อนต่ำสุด หลังการล้างด้วยสารเคมี 48 ชั่วโมง แสดงในตารางที่ 4.12 และ รูปที่ 4.36

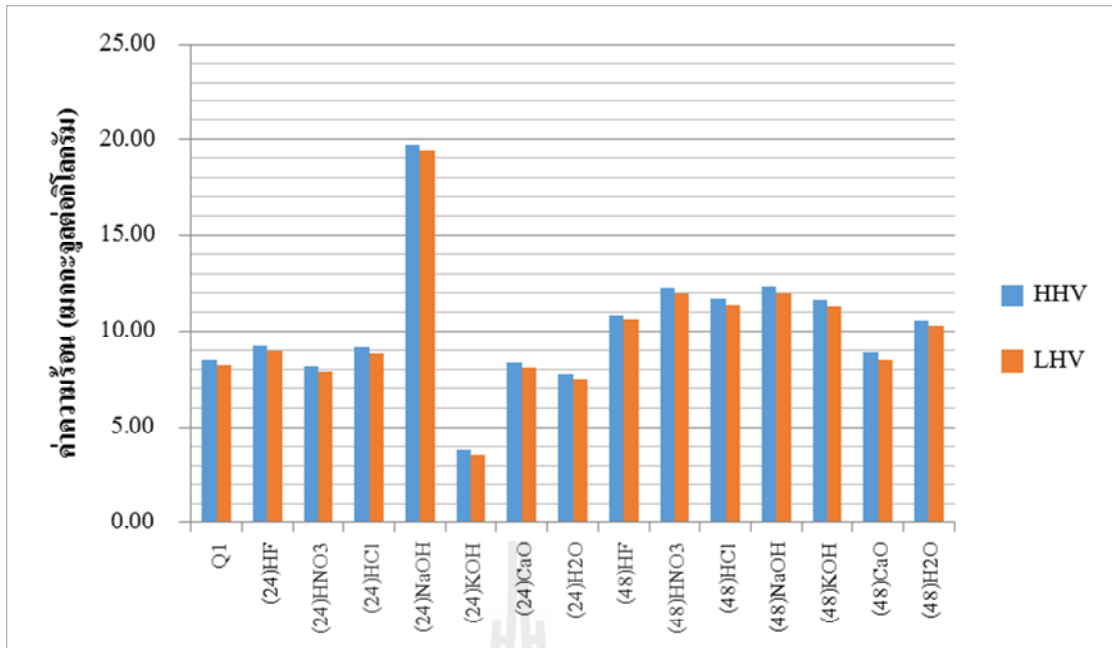
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความร้อน และร้อยละการลดลงของความร้อน ของถ่านหินชั้น Q1 หลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมีเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

MJ/kg	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
HHV	10.9	12.3	11.7	12.4	11.7	8.9	10.6
LHV	10.7	12.0	11.4	12.0	11.3	8.5	10.3
HHV % ลดลง	2.1	10.8	5.5	11.3	5.1	20.0	4.7
LHV % ลดลง	1.2	13.8	7.9	13.8	7.6	19.3	2.4

* ช่องสีเทาแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงร้อยละการลดลง

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานความร้อนในถ่านหินน้อยที่สุดร้อยละ 11.3 รองลงมาเป็นกรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10.8, 5.5 และ 5.1 ตามลำดับ โดยสารละลายชนิดอื่นๆส่งผลต่อการลดพลังงาน อาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารเคมี กับ โครงสร้างของคาร์บอนทำให้ปริมาณคาร์บอนลดลงจึงส่งผลต่อการลดลงของพลังงานความร้อนของถ่านหิน

จากรูปที่ 4.36 แสดงการเปรียบเทียบของค่าความร้อนที่ได้จากถ่านหินทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมี เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง พบว่าที่เวลา 24 ชั่วโมง ถ่านหินมีการสูญเสียพลังงานความร้อนลงเล็กน้อยในสารละลายอื่นๆ ซึ่งลดลงมากสุดในสารละลายปูนขาว แต่จะมีการเพิ่มขึ้นในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หลังจากผ่านไป 48 ชั่วโมง ถ่านหินมีการสูญเสียพลังงานความร้อนจากเดิมอีกเฉลี่ยประมาณร้อยละ 25 จาก 24 ชั่วโมง และมีแนวโน้มเดียวกัน อาจเนื่องมาจากการแช่อยู่ในน้ำและสารละลายเป็นเวลานานทำให้องค์ประกอบในถ่านหินมีปริมาณไฮโดรเจนที่ลดลง (รูปที่ 4.36) ไนโตรเจน และออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของสมการที่ (4.1) จึงส่งผลทำให้ค่าความร้อนที่ได้ลดลง



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงปริมาณค่าความร้อน ของถ่านหินชั้น Q1 ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี

4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณและค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมี

โรงไฟฟ้าแม่เมาะมีการผลิต 13 หน่วยการผลิต โดยปริมาณถ่านหินที่ใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ทั้ง 13 หน่วยผลิต เป็นปริมาณ 17.5 ล้านตันต่อปี ซึ่งมียอดการใช้ปริมาณถ่านหินในหน่วยผลิตที่ 1, 2 และ 3 รวมกันทั้งหมด 1.5 ล้านตัน ซึ่งปริมาณการใช้ถ่านหินของโรงไฟฟ้าแม่เมาะแสดงในตารางที่ 4.13

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 7 ชนิด คือ น้ำกลั่น (Distilled Water) กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric Acid; HF) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid; HCl) กรดไนตริก (Nitric Acid; HNO₃) โซดาไฟ (Sodium Hydroxide; NaOH) ปูนขาว (Calcium Oxide; CaO) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH) ซึ่งราคาของสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ต่อลิตร แสดงในตาราง 4.14

ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณถ่านหินที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแต่ละเครื่องในเมืองแม่เมาะ

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

จากการคำนวณราคาตามราคาดังแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่าการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินด้วยสารเคมีข้างต้น ยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงอยู่เมื่อเทียบกับเครื่องมือปัจจุบัน โดยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าใช้จ่ายที่สูงสุด รองลงมาเป็นสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนสารเคมีที่ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดคือ กรดไนตริก คลอริก และกรดไฮโดรฟลูออริก ตามลำดับ แต่เนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกเป็นสารเคมีที่มีอันตรายสูงทั้งการสัมผัสโดยตรง การได้รับกลิ่น หรือไอกรด อีกทั้งการกำจัดของเสียและสารเคมีที่เหลือตกค้างอยู่ได้ยาก ดังนั้นกรดไฮโดรฟลูออริกจึงไม่เหมาะสมในการใช้ปรับปรุงคุณภาพถ่านหินด้วยวิธีเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดเหล่านี้ และการเผาไหม้ถ่านหินที่ผ่านกระบวนการทางเคมีนี้สารเคมีที่ตกค้างอยู่ในถ่านหิน อาจส่งผลต่อการเกิดการกัดกร่อนของอุปกรณ์เนื่องจากสารเคมี นอกจากการพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในกระบวนการแล้ว การสูญเสียเวลาในกระบวนการโดยการใช้สารเคมียังมีมากกว่ากระบวนการกำจัดกำมะถันและซัลเฟอร์ในโรงไฟฟ้าถ่านหินที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 4.14 แสดงราคาของสารเคมีที่ใช้ต่อลิตร ของความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

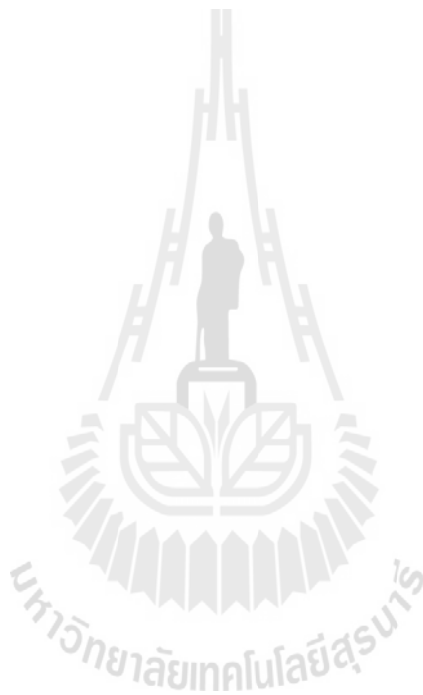
สารเคมี	คุณภาพ	ปริมาณ	ราคา (บาท)	ราคา 1 โมล/ลิตร (บาท/ลิตร)
HF	49%	1000cc	1000	39.18
HNO₃	68%	450cc	80	4.63
HCl	37%	450cc	60	4.93
NaOH	100%	350g	110	12.57
KOH	100%	350g	120	19.24
CaO	100%	250g	45	10.08

*ข้อมูลราคาสินค้า ณ ร้านวิโรฒวิทยาภัณฑ์ 589 ถ.ยมราช อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 (2556)

ตารางที่ 4.15 แสดงราคาของสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน 1 ปี

สารเคมี	ปริมาณถ่านหินใน 1 ปี (ล้านตัน)	ปริมาณสารเคมีที่ ต้องใช้ (ล้านลิตร)	ราคา (ล้านบาท)
HF	17.5	17,500	86,317
HNO₃	17.5	17,500	81,025
HCl	17.5	17,500	86,275
NaOH	17.5	17,500	219,975
KOH	17.5	17,500	336,700
CaO	17.5	17,500	176,400

แม้ว่าต้นทุนในการใช้สารเคมีในการทำความสะอาดถ่านหินก่อนการเผาไหม้จะมีราคาสูง และระยะเวลาในกระบวนการจะนานทำให้เกิดการสูญเสียทางด้านเศรษฐศาสตร์สูง แต่การวิเคราะห์โดยใช้สารเคมี มีผลช่วยในการลดปัญหาแก๊สและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการช่วยลดมลภาวะต่างๆ ที่เป็นผลจากการเผาไหม้ถ่านหิน อีกทั้งเป็นวิธีการหนึ่งในการช่วยและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำให้เทคโนโลยีการเผาไหม้ถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมได้รับการยอมรับจากชุมชนมากขึ้น และช่วยลดกระแสต่อต้านในเรื่องของโรงไฟฟ้าถ่านหินของประชาชน



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์และสรุปผลรวมของข้อมูลและผลการทดลองทั้งหมดที่ได้จากการทดลองและแนวทางในการศึกษาในอนาคต

5.1 ธาตุและส่วนประกอบหลักในถ่านหิน

ผลจากการศึกษาวิเคราะห์สารประกอบธาตุ พบว่าเริ่มต้นถ่านหินมีปริมาณสารประกอบซิลิกอนร้อยละ 4.6 ถึง 56.7 สารประกอบซัลเฟอร์ ร้อยละ 4.3 ถึง 47.9 สารประกอบเหล็ก ร้อยละ 6 ถึง 18 สารประกอบแคลเซียม ร้อยละ 1.6 ถึง 75.9 สารประกอบอะลูมิเนียม ร้อยละ 1.6 ถึง 22.7 และพบสารประกอบธาตุอื่นๆ เพียงเล็กน้อยไม่เกินร้อยละ 7 จากผลการวิเคราะห์แร่ประกอบในถ่านหินพบว่า ส่วนประกอบใหญ่เป็นแร่กลุ่มซิลิเกต แร่มอนต์โมริลโลไนต์ เฟลด์สปาร์ กลิออคโคไนต์ อิลไลต์ และเคโอลิไนต์ ร้อยละ 18 ถึง 82 แร่แคลไซต์ ร้อยละ 0 ถึง 76 แร่ควอร์ตซ์ 0.4 ถึง 10.2 แร่ยิปซัม ร้อยละ 2 ถึง 40 โดยพบแร่ไพไรต์เล็กน้อยร้อยละ 0 ถึง 2 โดยถ่านหินชั้น K1 พบปริมาณแร่แคลไซต์มากที่สุด ถ่านหินชั้น I องค์ประกอบหลักเป็นแร่ควอร์ตซ์ และปริมาณแร่แคลไซต์และไพไรต์ พบได้มากที่สุดถ่านหินชั้น K2

ปริมาณธาตุที่พบแสดงความสัมพันธ์กับองค์ประกอบในถ่านหินดังต่อไปนี้ ปริมาณ SiO_2 ที่วัดได้จากตัวอย่างถ่านหิน อาจปรากฏอยู่ในรูปของแร่ควอร์ตซ์ เคโอลิไนต์ อิลไลต์ เฟลด์สปาร์ กลิออคโคไนต์ และมอนต์โมริลโลไนต์ ส่วนปริมาณ Fe_2O_3 อาจอยู่ในรูปของแร่ไพไรต์และกลีออคโคไนต์ ปริมาณ SO_3 อยู่ในรูปของแร่ไพไรต์และยิปซัม

จากการวิเคราะห์แบบประมาณพบว่าถ่านหินมีปริมาณความชื้น อยู่ระหว่างร้อยละ 12 ถึง 23 ปริมาณจีเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 9 ถึง 67 ปริมาณสารระเหย อยู่ระหว่างร้อยละ 16 ถึง 38 และปริมาณคาร์บอนคงที่ อยู่ระหว่างร้อยละ 4.5 ถึง 20.3 ถ่านหินมีค่าพลังงานความร้อนขึ้นต่ำในช่วง 4.5 ถึง 13.7 MJ/kg ปริมาณธาตุร่องรอยที่วิเคราะห์ได้ พบว่ามีปริมาณธาตุสารหนูมากที่สุด อยู่ในช่วง 38 ถึง 72 ส่วนในล้านส่วน ธาตุวานาเดียม อยู่ในช่วง 21 ถึง 46 ส่วนในล้านส่วน ธาตุสังกะสี 16 ถึง 31 ส่วนในล้านส่วน และธาตุทองแดง อยู่ในช่วง 11 ถึง 22 ส่วนในล้านส่วน

5.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณขี้เถ้า

ปริมาณขี้เถ้าจะถูกลดลงได้มากที่สุดในการละลายกรดไนตริกถึงร้อยละ 26 กรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 25 และกรดไฮโดรฟลูออริกถึงร้อยละ 23.6 เนื่องจากขี้เถ้าจะเกิดจากแร่ประกอบจำพวกกลุ่มแร่ซิลิเกต ควอร์ตซ์ และสารประกอบแคลเซียมเป็นหลัก ซึ่งสารละลายกรดไนตริกเมื่อเกิดปฏิกิริยากับโลหะเป็นจะแตกตัวเป็นสารประกอบไอออนิกของไนเตรต โดยทำให้มีคุณสมบัติสามารถละลายน้ำได้ ซึ่งธาตุจำพวกโลหะต่างๆ รวมไปถึงธาตุโลหะหนักในตัวอย่างถ่านหิน ส่งผลคล้ายคลึงกัน ดังสมการที่ (5.1) และ (5.2) ยกตัวอย่างโลหะของ Fe (III)



และตัวอย่างสำหรับ โลหะหนัก แสดงดังสมการที่ (6.3) และ (6.4)

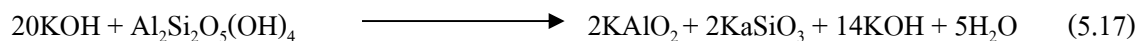
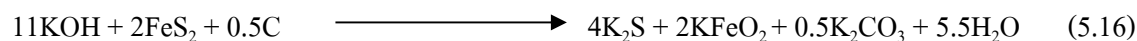
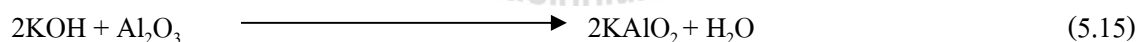
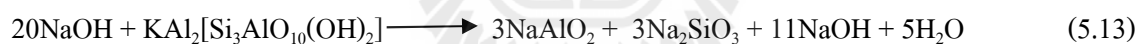


ซึ่งโลหะส่วนใหญ่เหล่านี้เป็นองค์ประกอบหลักที่จะทำให้เกิดขี้เถ้า (ออกไซด์ของโลหะ) หลังจากการเผาแต่กรดไฮโดรฟลูออริกจะทำให้เกิดสารประกอบตะกอนมาก ทำให้มีปริมาณขี้เถ้ามากขึ้นเมื่อใช้ถ่านหินชั้นที่มีแร่กลุ่มซิลิเกตสูงทำให้ประสิทธิภาพในการลดขี้เถ้าลดลงมาก ดังสมการที่ (5.5) ถึง (6.8)



การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของขี้เถ้าในถ่านหินชั้น Q4, J5 และ J3 โดยการแช่ในน้ำพบว่าให้ประสิทธิภาพการลดขี้เถ้าได้ดีกว่าสารละลายชนิดอื่น เพราะถ่านหินดังกล่าวชั้นต้น มี

ปริมาณแร่ยิปซัมสูงกว่าชั้นอื่นๆ ตามลำดับข้างต้น เมื่อมีการลดขนาดของตัวอย่างลงทำให้แร่ยิปซัมสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดจากปริมาณแร่แคลเซียมที่สูง จึงลดลงมากกว่าสารเคมีชนิดอื่น ซึ่งจะให้ผลตรงข้ามกับกรดไนตริกและไฮโดรคลอริกที่จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อใช้ในชั้นที่มีแร่ยิปซัมสูงเพราะมีความสามารถละลายได้เล็กน้อย สารละลายเบสมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณขี้เถ้าต่ำที่สุด เนื่องจากหลังจากเกิดปฏิกิริยากับกลุ่มโลหะหรือกลุ่มแร่ซิลิเกตแล้วกลุ่มสารประกอบที่เป็นของแข็งหรือตกตะกอน มีผลต่อการเกิดขี้เถ้าในถ่านหินหลังจากการเผาไหม้ที่สูงสุด สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับแร่ควอร์ตซ์ อลูมิเนียมออกไซด์ ไพไรต์ เคโอลิไนต์ และอิลไลต์ แสดงดังสมการที่ (5.9) ถึง (5.17)



การใช้สารละลายปูนขาว (CaO) ในการปรับปรุงคุณภาพมีประสิทธิภาพดีในการลดปริมาณซัลเฟอร์ แต่การใช้สารละลายปูนขาวมีผลทำให้แร่แคลเซียมเข้าไปเพิ่มปริมาณแคลเซียมในถ่านหินซึ่งเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้แร่แคลเซียมไปรวมตัวกับโครงสร้างของสารประกอบของธาตุจำพวก

ซิลิคอน อลูมิเนียม เป็นต้น ส่งผลทำให้ก่อเป็นโครงสร้างใหม่แล้วเกิดตะกรันภายในเตาต้มน้ำได้ ซึ่งอาจมีผลต่อการควบคุมปริมาณแคลเซียมของวัตถุดิบและการเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนในการเผาไหม้ได้

ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าแบบประมาณ เพื่อหาปริมาณความชื้น ปริมาณจีเฝ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงที่ ที่เวลาแชน้ 24 ชั่วโมง ไม่สามารถรายงานผลการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณคาร์บอนคงที่ได้นั้น อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนโครงสร้างและการจับตัวกันของธาตุต่างๆ ตามการวิเคราะห์ข้างต้น เนื่องจากขั้นตอนของการหาปริมาณความชื้น ได้ผลที่มีแนวโน้มของค่าที่อ่านได้ใกล้เคียงกับสารละลายอื่นๆ หลังจากเริ่มวัดค่าสารระเหย ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส กลับมีค่าสูงกว่าแชน้ในสารละลายอื่นเล็กน้อย แต่เมื่อกระบวนการถึงขั้นตอนการหาปริมาณจีเฝ้าด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ภายใต้ออกซิเจนบริสุทธิ์ ค่าที่วัดได้กลับลดลง แสดงว่าน้ำหนักของตัวอย่างหลังการเผามีน้ำหนักสูงขึ้นกว่าขั้นตอนการหาสารระเหย ผู้ทำการทดลองจึงวิเคราะห์ว่าสาเหตุอาจเกิดเนื่องมาจากเหตุผลการเปลี่ยนโครงสร้างและการจับตัวกันของธาตุต่างๆ นั้นเอง ส่วนการทดลองในลักษณะเดียวกันหลังเพิ่มจำนวนชั่วโมงแชน้สารเคมีจาก 24 ชั่วโมงเป็น 48 ชั่วโมง สามารถวัดปริมาณแคลเซียมได้นั้น อาจเนื่องมาจากการมีปริมาณแคลเซียมที่มากเกินไปกว่าช่วงที่จะเกิดเป็นโครงสร้างดังกล่าว หรือตะกรันหลังการเผาเกิดขึ้นในกระบวนการ

5.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซัลเฟอร์

ผลจากการศึกษาการลดปริมาณซัลเฟอร์พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีประสิทธิภาพมากที่สุดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 80 ดังผลลัพธ์ในสมการที่ (5.11) และ (5.16) กรดไนตริกและไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 40 ถึง 60 แต่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อขึ้นถ่านหินตัวอย่างที่มีปริมาณแร่แคลไซต์สูง ทำให้เกิดความยากในการเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบซัลไฟด์อย่างทั่วถึง ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของสารประกอบซัลไฟด์ในชั้น K1 ซึ่งเป็นชั้นถ่านหินที่มีปริมาณแร่แคลไซต์สูงที่สุด ในขณะที่ถ่านหินที่มีปริมาณแร่แคลไซต์สูงขึ้น จะพบว่ากรดไนตริกและไฮโดรคลอริกกลับมีประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจากความสามารถในการทำปฏิกิริยากับแร่แคลไซต์เพื่อเข้าไปลดสารประกอบซัลเฟอร์ ดังสมการที่ (5.18) และ (5.19)



ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของ SO_3 ในถ่านหินชั้น K1 ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ เป็น

เวลา 24 ชั่วโมง

สารเคมี	HF	HNO_3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H_2O
SO_3	38.306	7.882	0.000	0.000	0.000	29.587	0.000

5.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารระเหย

ปริมาณสารระเหยในถ่านหินเป็นปัญหาสำคัญในการทำให้ถ่านหินเกิดการเผาไหม้ขึ้นเองตามธรรมชาติ ระหว่างการเก็บสำรองเพื่อรอการป้อนเข้าโรงงาน พบว่าจากการศึกษา (ตารางที่ ข.3.3 ถึง 3.13) กรดไฮโดรฟลูออริกลดปริมาณสารระเหยได้เพียงชนิดเดียวโดยลดลงร้อยละ 3.6 ถึง 14 มีเพียงบางชั้นที่กรดไฮโดรคลอริกสามารถลดได้แต่เพียงเล็กน้อยอาจจะมีผลมาจากการมีแร่ในกลุ่มแร่ซัลไฟเกตสูง ทำให้มีเพียงกรดไฮโดรฟลูออริกเท่านั้นที่สามารถทำปฏิกิริยาและเข้าไปลดปริมาณสารระเหยภายในตัวถ่านหินได้

5.5 ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความร้อน

จากการคำนวณและการศึกษาค่าความร้อนของถ่านหินที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพแล้วพบว่า สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อการเพิ่มของพลังงานความร้อนของถ่านหินมากที่สุด ร้อยละ 25 ถึง 116 รองลงมาเป็นสารละลายกรดไนตริกส่งผลให้พลังงานความร้อนลดลงร้อยละ 4 ถึง 46 และน้ำกลั่น 8 ถึง 86 การเพิ่มของค่าความร้อนอาจเกิดจากการเพิ่มปริมาณคาร์บอน โดยเฉพาะสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ถ่านหินมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นและลดปริมาณกำมะถัน ส่งผลทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้นด้วย แต่การทดลองหลังจากผ่านไป 48 ชั่วโมง ถ่านหินมีการสูญเสียพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก เฉลี่ยประมาณร้อยละ 25 และสารเคมีทั้งกรดและเบสมีแนวโน้มเช่นเดียวกันในการเปลี่ยนแปลงของค่าความร้อน อาจเนื่องมาจากการแช่อยู่ในน้ำและสารละลายเป็นเวลานานทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนธาตุกัน โดยปริมาณไฮโดรเจนที่ลดลง แต่

ปริมาณไนโตรเจนและออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นของถ่านหินส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณลดลง ตามสมการของ Dulong

5.6 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณร้อยละของคาร์บอน

จากการศึกษาการทดลองประกอบต่างๆ ข้างต้นก่อนหน้านี ทำให้สัดส่วนปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นโดยสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ถึง 15 ส่วนกรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มปริมาณคาร์บอนประมาณร้อยละ 0 ถึง 20 โดยเฉพาะชั้น I ซึ่งมีปริมาณสารประกอบซิลิเกต แร่ยิปซัม ไพไรต์และแคลไซต์ต่ำ ทำให้สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบต่างๆ ได้ดี ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริกที่จะเพิ่มปริมาณซีเถ้า ทำให้สัดส่วนของคาร์บอนลดลง แต่จากการวิเคราะห์กรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริก จะทำปฏิกิริยากับโครงสร้างของคาร์บอนในถ่านหินได้ดี ทำให้ปริมาณคาร์บอนลดลงเล็กน้อยจากเดิม

5.7 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุต่างๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

จากการทดลองครั้งนี้ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นต่ำในที่นี้ใช้ 1 โมลต่อลิตร ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของถ่านหิน นั่นแสดงให้เห็นว่าเวลาจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น แต่จากการทดลองเมื่อเพิ่มเวลาจาก 24 ชั่วโมง เป็น 48 ชั่วโมง พบว่าสารประกอบต่างๆ ในถ่านหินมีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อย กล่าวได้ว่าการเพิ่มเวลาไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการลดปริมาณกำมะถันและซีเถ้า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารเคมีที่ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ใช้เวลาในการแช่ 24 ชั่วโมงเพียงพอต่อการปรับปรุงคุณภาพแล้ว

5.8 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารพิษหรือโลหะหนักต่างๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาและวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เพิ่มขึ้นจาก 24 ชั่วโมง เป็น 48 ชั่วโมง ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักหรือสารพิษในถ่านหิน สารเคมีที่เหมาะสมในการลดโลหะหนักหรือสารพิษในถ่านหินมากที่สุดคือ กรดไนตริกและกรดไฮโดรฟลูออริก เนื่องจากกรดมีคุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยากับแร่ในถ่านหินได้ง่าย จึงสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึงในโครงสร้างของถ่านหิน โดยกรดไนตริกจะช่วยลดปริมาณธาตุสารหนูลงร้อยละ 40 ถึง 53 ลดปริมาณโครเมียมได้ร้อยละ 7 ลดปริมาณโคบอลต์ได้ร้อยละ 9 ถึง 41 ลดปริมาณวานาเดียมได้ร้อยละ 2 ถึง 13

และลดปริมาณตะกั่วได้ร้อยละ 1 ถึง 15 ส่วนกรดไฮโดรคลอริกช่วยลดปริมาณธาตุสารหนูได้ร้อยละ 49 ลดปริมาณโครเมียมร้อยละ 1 ลดปริมาณโคบอลต์ได้ร้อยละ 41 ถึง 91 ลดปริมาณวานาเดียมลงได้ร้อยละ 2 ถึง 48 และ ลดปริมาณสารตะกั่วได้ร้อยละ 0.2 ถึง 16

5.9 สรุปผลการใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน

จากการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถสรุปออกมาเป็นตารางของสารละลายที่เหมาะสมในการแช่ตัวอย่างถ่านหินของเหมืองแม่เมาะ (ตารางที่ 5.2) จะเห็นได้ว่ากรดไนตริกมีความเหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณซัลเฟอร์และสารประกอบที่จะเกิดซัลเฟอร์ ร่องลงมาเป็นกรดไฮโดรคลอริก ในส่วนของกรดไฮโดรฟลูออริกให้ผลที่ดีมาก เนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกเป็นสารเคมีที่ลดปริมาณซัลเฟอร์ได้สูง แต่เป็นสารเคมีที่อันตรายมาก ซึ่งยากต่อการใช้งานและการกำจัดของเสียหลังทำการปรับปรุงจึงไม่สมควรที่จะนำมาใช้ในการลดปริมาณซัลเฟอร์ในถ่านหิน ส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีความเหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณซัลเฟอร์ในถ่านหิน นอกจากนี้ยังสามารถใช้กรดไนตริก และไฮโดรคลอริกในการลดซัลเฟอร์ได้ด้วย ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่การใช้กรดไนตริกและไฮโดรคลอริกจะส่งผลในการลดค่าคาร์บอนเล็กน้อย เนื่องจากกรดทั้งสองชนิดได้ทำปฏิกิริยากับโครงสร้างของคาร์บอน ส่วนปูนขาวสามารถใช้งานได้ แต่จะส่งผลทำให้ปริมาณคาร์บอนลดลง และมีผลทำให้ปริมาณแคลเซียมในถ่านหินไม่แน่นอน ดังนั้นหากต้องการเลือกใช้สารเคมีชนิดเดียวในการลดทั้งปริมาณซัลเฟอร์และซัลเฟอร์ สารละลายที่มีความเหมาะสมที่สุดคือ กรดไนตริก ร่องลงมาเป็น กรดไฮโดรคลอริก

สารละลายกรดไนตริก หรือกรดไฮโดรคลอริกช่วยลดปริมาณซัลเฟอร์ร้อยละ 25 ถึง 26 ปริมาณซัลเฟอร์ลดลงร้อยละ 46 ถึง 60 นอกจากนี้แล้วสารละลายกรดไนตริก หรือกรดไฮโดรคลอริกยังมีผลต่อการลดสารพิษต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในถ่านหิน เช่นปริมาณสารหนูลดลงร้อยละ 40 ถึง 53 ปริมาณโครเมียมลดลงได้ร้อยละ 1 ถึง 7 ปริมาณโคบอลต์ลดลงได้ ร้อยละ 9 ถึง 91 ปริมาณวานาเดียมลดลงได้ร้อยละ 2 ถึง 48 และปริมาณตะกั่วลดลงได้ร้อยละ 1 ถึง 16

ส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณซัลเฟอร์ แต่ช่วยลดปริมาณซัลเฟอร์ลงร้อยละ 80 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ยังมีผลช่วยลดปริมาณสารหนูลงร้อยละ 2 ถึง 39 และลดโครเมียมได้ร้อยละ 24

5.10 ผลประเมินปริมาณและค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมี

การวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ประเมินความเป็นไปได้ของต้นทุนที่ใช้ในการลงทุนจริง การปรับปรุงคุณภาพถ่านหินด้วยสารเคมียังมีค่าใช้จ่ายที่สูงเมื่อเทียบกับเครื่องมือปัจจุบัน โดยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าใช้จ่ายที่สูงสุด รองลงมาเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนสารเคมีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดคือ กรดไนตริก คลอริก และกรดไฮโดรฟลูออริก ตามลำดับ แต่เนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกเป็นสารเคมีที่มีอันตรายสูงทั้งการสัมผัสโดยตรง การได้รับกลิ่น หรือไอกรด อีกทั้งการกำจัดของเสียและสารเคมีที่เหลือตกค้างอยู่ได้ยาก ดังนั้นกรดไฮโดรฟลูออริกจึงไม่เหมาะสมในการใช้ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมีเหล่านี้ และการเผาไหม้ถ่านหินที่ผ่านกระบวนการทางเคมีนี้ สารเคมีที่ตกค้างอยู่ในถ่านหิน อาจส่งผลต่อการเกิดการกักกร่อนของอุปกรณ์เนื่องจากสารเคมี นอกจากการพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในกระบวนการแล้ว การสูญเสียเวลาในกระบวนการโดยการใช้สารเคมียังมีการใช้เวลามากกว่ากระบวนการกำจัดกำมะถันและซัลเฟอร์ในโรงไฟฟ้าถ่านหินที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน

5.11 ข้อเสนอแนะในการทำการทดลอง

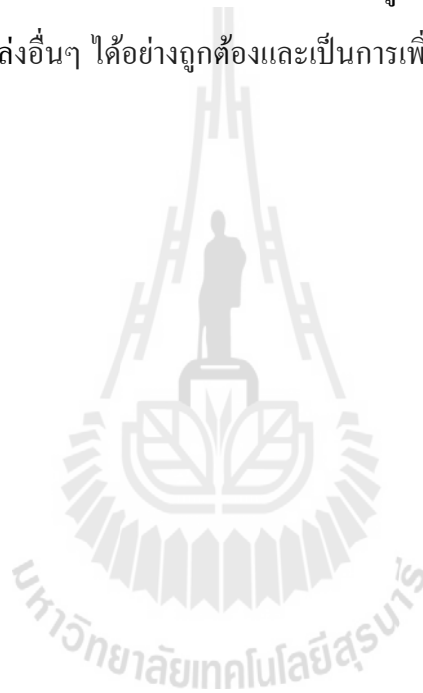
จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้ทดลองได้มีข้อสังเกตและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการทำการทดลองครั้งต่อไปในอนาคต เพื่อความถูกต้องแม่นยำเพิ่มมากขึ้น ควรมีการทดลองตัวอย่างซ้ำหลายๆ ครั้ง และหากจะได้ค่าที่สามารถนำไปใช้ได้จริงร้อยละ 90 ขึ้นไป ควรจะเลือกศึกษาเฉพาะสารเคมีที่ทราบประสิทธิภาพที่ดีที่สุดจากการศึกษาครั้งนี้ให้ละเอียดมากขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเคมี ควบคู่ไปกับการเพิ่มเวลาและอุณหภูมิในการทดลอง และควรมีการศึกษาพฤติกรรมการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของสารประกอบแต่ละชนิดให้ละเอียดเพื่อให้การทำนายผลมีความแม่นยำมากที่สุด

แนวทางการปรับปรุงเพื่อให้ได้ถ่านหินที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาการใช้กรดไนตริกหรือกรดไฮโดรคลอริกในการขั้นตอนแรก เพื่อลดปริมาณซัลเฟอร์และปริมาณซัลเฟอร์ใน

ขั้นต้น จากนั้นนำไปใช้ในสารละลายเบสเพื่อลดปริมาณซัลเฟอร์ จากการคาดการณ์จะช่วยเพิ่มการลดปริมาณซัลเฟอร์ลงได้เกือบร้อยเปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินในครั้งนี ถ้าจะให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้นครั้งต่อไปควรมีการศึกษาทางด้านกระบวนการทางเคมีควบคู่ไปกับกระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การกำจัดซัลเฟอร์ด้วยการให้ความร้อนโดยรังสีไมโครเวฟร่วมกับการล้างด้วยสารละลายเบส

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะถ่านหินที่เหมืองแม่เมาะที่คาดว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนถ่านหินของประเทศไทยได้ทั้งหมด ควรมีการนำถ่านหินจากแหล่งอื่นๆ มาวิเคราะห์เทียบเคียง เพื่อดูแนวโน้มว่ามีผลใกล้เคียงกันหรือไม่ เพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการนำไปใช้ประโยชน์กับแหล่งถ่านหินแหล่งอื่นๆ ได้อย่างถูกต้องและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ถ่านหินภายในประเทศไทยต่อไป



ตารางที่ 5.2 แสดงสารเคมีที่เหมาะสมในการลดซัลเฟอร์จากการวิเคราะห์ด้วย XRF และ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ สารประกอบซิลิคอนจากการวิเคราะห์ด้วย XRF และ XRD ผลรวมของธาตุหลักที่จะเกิดขี้เถ้าจากเครื่อง XRF ขี้เถ้าจากการวิเคราะห์แบบประมาณค่า รวมถึงสารละลายที่ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น ในชั้นถ่านหินของเหมืองแม่เมาะ

ชั้น	SO ₃	S	SiO ₂	ควอร์ตซ์	ผลรวมของธาตุที่จะทำให้ เกิดขี้เถ้า (Fe, Ca, Al)	ขี้เถ้า	ทำให้ค่าคาร์บอน เพิ่มขึ้น
I	HF	CaO,HCl	HF,HCl	CaO,H ₂ O,HCl	HF	HNO ₃ ,HCl,HF	HCl,HF,HNO ₃
J3	KOH	HNO ₃	KOH,HCl	-	HCl	H ₂ O	HF
J4	HF	KOH	HNO ₃ ,HF,KOH	HF,HCL,NaOH	HF,HNO ₃	HNO ₃ ,HF	HNO ₃ ,HF
J5	NaOH	NaOH	HCl,KOH,HNO ₃ ,HF	HF,HNO ₃	HNO ₃ ,HCl,HF	H ₂ O,HF	H ₂ O,HF
K1	HF	KOH	-	-	-	HF,HNO ₃	HF
K2	HF	CaO	HF,NaOH,HCl	KOH,NaOH	HF,NaOH,HCl	HF,HCl	HF,HCl
K3	HF	KOH,NaOH	HF	All	HF,HNO ₃	HF,HNO ₃	HF,H ₂ O
Q1	HF,HNO ₃	KOH,NaOH	HNO ₃ ,HF	NaOH, all	CaO,HNO ₃ ,HF	HNO ₃	HF
Q2	HNO ₃ ,HCL, HF,NaOH	HCl,NaOH	HNO ₃ ,HCl,KOH	HNO ₃ ,HCl	HNO ₃ ,HCl,KOH,HF	H ₂ O	HF,HCl
Q3	HCl,KOH,HF	CaO,KOH	HCl,KOH,HF,HNO ₃	HF	HCl,HF,HNO ₃	HF,HNO ₃	HF,HCl
Q4	HF	KOH	-	NaOH,HCl	HF,CaO	HCl,HF	HF,HCl,H ₂ O

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ(2011). การใช้ถ่านลอยในงานคอนกรีต [ออนไลน์] ได้จาก:
<http://www.pcd.go.th>
- กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ (2010). รายงานประจำปี 2553 กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กระทรวงพลังงาน
- กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ (2011). ถ่านหิน [ออนไลน์] ได้จาก: <http://www.dmf.go.th>
- กรมทรัพยากรธรณี (2011). เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด ได้จาก: <http://www.dmr.go.th>
- ประเสริฐ ชุมรุม และคณะ (1995). เทคโนโลยีการทำเหมืองถ่านหิน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- วสันต์ ต้นกษา (2000). การใช้ธรณีเคมีบ่งชี้สภาพแวดล้อมการสะสมตัวในแหล่งถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง, (วิทยาสตรมหาบัณฑิต): สาขาวิชาธรณีวิทยา, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (1977). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนไลม์ เล่ม 1 บทนิยามเกี่ยวกับปูนไลม์และหินปูน มอก. 202 เล่ม 1 หน้า 1-6
- Bolat, E., Saglam, S. and Piskin, P. (1998). Chemical demineralization of Turkish high ash bituminous coal. Fuel Processing Technology. 57: p. 93-99
- 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.
- Chaodumrong, P. (1985). Sedimentological studies of some Tertiary deposits of Mae Moh Basin, Changwat Lampang [M.S. thesis]: Thailand, Department of Geology, Chulalongkorn University.
- Charoenprawat, A., Chuaviroj, S., Hinthong, C., and Chonlakmani, C. (1994). Geologic Map NE47-7, Changwat Lampang. Department of Mineral Resources, Thailand.
- Coal Geology (2012). Coal Classification and Analysis: Coal Rank, Classification by Heat value [on-line]. Available: <http://coalgeology.com/coal-classification-and-analysis-coal-rank-classification-by-heat-value/8603/>.

- Corsiri, R., and Crouch, A. (1985). Mae Moh coal deposit: Geologic report, Volume 1: Thailand/Australia Lignite Mines Development Project, EGAT, 448 p.
- Coster, P., Benammi, M., Chaimanee, Y., Yamee, C., Chavasseau, O., Emonet, E.G., and Jaeger, J. (2010). A complete magnetic-polarity stratigraphy of the Miocene continental deposits of Mae Moh Basin, northern Thailand, and a reassessment of the age of hominoid-bearing localities in northern Thailand. Geological Society of America. America, p. 1-12.
- Department of mineral resources (2001). General Geology of Thailand. Thailand, p. 445-464.
- Energy Forecast and Information Technology Center (2011). Thailand energy situation in 2011, Ministry of Energy, Thailand.
- EPPO Organization (1999). Energy and fuel consumption in Thailand. Ministry of Energy, Thailand.
- EPPO Organization (2012). Electric consumption and production of electricity. Ministry of Energy, Thailand, p. 3-40.
- 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. 85, p. 761-764
- 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.
- Kaushik, S. M., Norton, G. A., and Markuszewski, R. (1988). Behavior of ash-forming mineral matter in coal during chemical cleaning with molten caustic. Ames Laboratory, Iowa State University, Ames, Iowa. Journal.
- Li, S., Baizhong, S., Hongpeng, L., Qing, W., and Baomin, S. (2007). Investigation on Combustion of Blends Between Haudian Oil Shale and Semicoke. International Conference on Power Engineering-2007, p. 1280-1284.
- 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, p. 185-194
- Mukherjee, S., and Borthakur, P.C. (2002). Effect of leaching high sulphur subbituminous coal by potassium hydroxide and acid on removal of mineral matter and sulphur. Regional Research Laboratory. India, p. 783-788.
- 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, p. 141-150.
- Pollution Control Department (2012). Air and soil quality standard [on-line]
Available://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd03.html
- Ratanasthien, B., Takashima, I., and Matsubaya, O. (2008). Paleogeography and Climatic Change recorded on Viviparidae Carbon and Oxygen Isotope in Mae Moh Coal Mine, Northern Thailand. Geological Survey of Japan, p. 327-338.
- Reggel, L., Raymond, R., and Blaustien, B.D. (1973). Removal of mineral matter including pyrite from coal, Washington, D.C.
- Sharma D.K., and Sanjay G. (1988). Chemical cleaning of low grade coal through alkali-acid leaching employing mild conditions under ambient pressure. Indian Institute of Technology. India, p. 663-665.
- Silaratana, T., Ratanasthien, B., Takayasu, K., Fyfe W.S., Asnachinda, P., Kandharosa, W., and Kusakabe, M. (2003). Sulfur Isotopic Implication of Middle Miocene Marine IncurSION in Northern Thailand. Science Asia, p. 43-58.
- Songtham, W., Ugai, H., Imsamut, S., Maranate, S., Tansathien, W., Meesook, A., and Saengsrichan, W. (2004). Middle Miocene Molluscan Assemblages in Mae Moh Basin, Lampang Province, Northern Thailand. Department of Mineral Resources. Thailand, p. 183-191.

- Sompong, W., Springbelt, G.M., and Evans, P.R. (1996). Lignite mine 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.
- 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, p. 763-769.
- Steel, K.M and Patrick, J.W. (2000). The production of ultra clean coal by chemical demineralization. Department of Chemical Engineering, Loughborough University. UK, p. 2019-2023.
- Steel, K.M., Besida, J., O'Donnell, T.A. and Wood, D.G. (2000). Production of ultra clean coal: Part I-Dissolution behavior of mineral matter in black coal toward hydrochloric and hydrofluoric acids. School of Chemical, Nottingham University. UK, p. 1917-1920.
- Steel, K.M. and Patrick, J.W. (2002). The production of ultra clean coal by sequential leaching with HF followed by HNO₃. School of Chemical, Nottingham University. UK, p. 1917-1920.
- Waugh A.B. (1983) Removal of mineral matter from bituminous coals by aqueous chemical leaching. CSIRO Division of Energy Chemistry, Lucas Heights Research Laboratories. Australia, p. 217-233.
- World Coal Association. (2012). What is Coal. [on-line].
Available:<http://www.worldcoal.org/coal/what-is-coal/>.
- Yang, R.T., Das, S.K., and Tsai, M.C. (1984). Coal demineralization using sodium hydroxide and acid solution. Aluminum Company of America. USA, p. 735-742.

ภาคผนวก ก

ชั้นถ่านหิน และตัวอย่างถ่านหินที่ได้จากเหมืองแม่เมาะ

ก.1 ภาพชั้นตัวอย่างถ่านหิน และชั้นตะกอน ในแอ่งถ่านหินแม่เมาะ



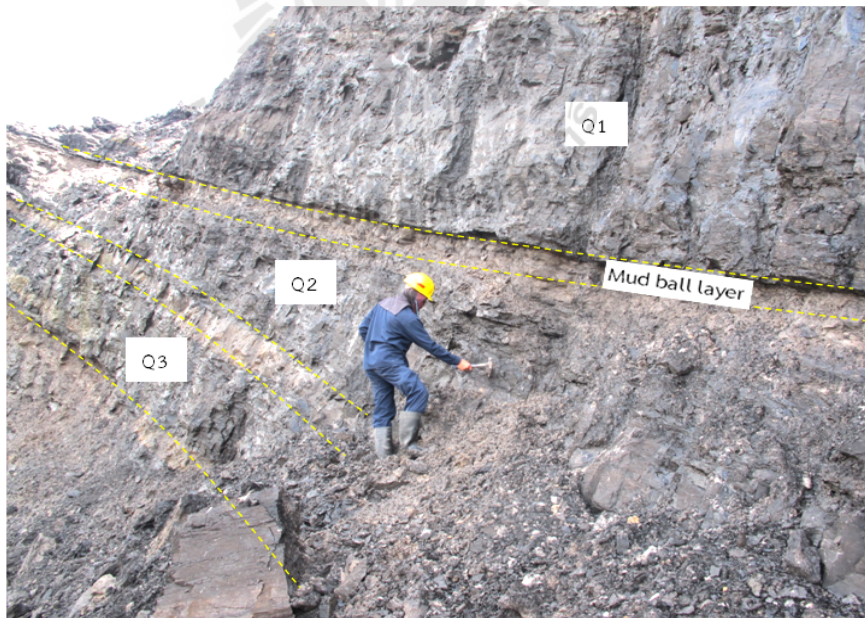
รูปที่ ก.1.1 ภาพแสดงชั้นหินตะกอน (Overburden) ชั้นเหนือชั้นถ่านหินหลักชั้น K และ Q ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.1.2 ภาพแสดงชั้นถ่านหิน K1 K2 และ K3 รวมถึงชั้นตะกอนที่แทรกอยู่ระหว่างชั้น K ได้แก่ ชั้นตะกอนย่อย ชั้นที่ 1 และ 2 (PT1 และ PT2) ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.1.3 ภาพแสดงชั้นหินตะกอน (Interburden) ชั้นระหว่างชั้นถ่านหินหลักชั้น K และ Q ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.1.4 ภาพแสดงชั้นถ่านหินชั้น Q1 Q2 และ Q3 ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.1.5 ภาพแสดงชั้นถ่านหินชั้น Q4 ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.1.6 ภาพแสดงชั้นหินตะกอน (Underburden) ชั้นล่างสุดซึ่งถัดจากชั้นถ่านหินชั้น Q ของเหมืองแม่เมาะ

ก.2 ภาพตัวอย่างถ่านหินในชั้นต่างๆของแอ่งถ่านหินแม่เมาะ



รูปที่ ก.2.1 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น I ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.2.2 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น J3 ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.2.3 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น J4 ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.2.4 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น J5 ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.2.5 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น K1 ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.2.6 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น K2 ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.2.7 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น K3 ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.2.8 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น Q1 ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.2.9 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น Q2 ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.2.10 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น Q3 ของเหมืองแม่เมาะ



รูปที่ ก.2.11 ภาพตัวอย่างถ่านหินชั้น Q4 ของเหมืองแม่เมาะ



ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่างๆ

ข.1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์

ตารางที่ ข.1.2 แสดงปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	BaO	ZnO
IHF	81.568	0.000	5.810	11.085	0.000	0.473	0.439	0.198	0.057	0.000	0.255	0.000	0.000
IHNO ₃	66.569	9.636	8.817	12.803	0.086	0.736	0.535	0.267	0.214	0.000	0.476	0.000	0.000
IHCl	65.614	12.206	8.388	11.705	0.030	0.817	0.472	0.159	0.063	0.001	0.421	0.000	0.000
INaOH	0.000	3.771	23.869	47.851	0.008	2.564	3.317	1.588	0.505	0.007	3.832	0.000	0.013
IKOH	18.744	10.273	21.922	35.696	0.030	2.516	6.936	1.158	0.343	0.008	2.364	0.000	0.012
ICaO	38.306	17.178	14.827	22.008	1.006	1.597	1.142	2.787	0.167	0.003	0.980	0.000	0.004
IH ₂ O	0.093	18.597	20.305	47.921	0.278	3.950	2.830	2.095	0.452	0.010	3.446	0.000	0.016
J3HF	13.846	0.000	13.862	9.112	0.407	33.255	0.537	11.819	0.039	0.000	7.165	0.000	0.000
J3HNO ₃	2.925	1.120	5.518	13.160	0.000	46.643	1.029	15.970	0.220	0.017	13.394	0.000	0.007
J3HCl	55.698	1.396	2.426	2.619	0.125	26.292	0.267	7.723	0.047	0.001	3.404	0.007	0.000
J3NaOH	4.324	2.984	5.708	12.159	0.000	38.281	0.833	13.618	0.169	0.061	21.858	0.000	0.007
J3KOH	42.911	21.272	4.470	0.996	0.014	16.022	4.221	4.933	0.038	0.023	5.080	0.000	0.002
J3CaO	41.976	10.795	3.962	5.818	0.190	21.903	0.287	11.431	0.036	0.007	3.957	0.000	0.001
J3H ₂ O	37.875	7.343	5.821	2.791	0.116	26.549	0.628	8.147	0.111	0.016	10.571	0.000	0.000
J4HF	80.373	0.337	0.895	1.053	0.634	11.948	0.075	3.301	0.001	0.000	1.385	0.000	0.000
J4HNO ₃	76.257	0.177	0.409	0.754	0.015	16.810	0.059	3.832	0.023	0.000	1.665	0.000	0.000
J4HCl	62.081	9.529	2.043	2.298	0.062	17.616	0.113	4.488	0.020	0.000	1.750	0.003	0.000
J4NaOH	6.812	2.599	2.359	6.043	0.000	40.769	0.318	19.242	0.125	0.062	21.661	0.000	0.012
J4KOH	36.290	0.175	0.403	1.343	0.728	26.959	8.623	12.097	0.101	0.049	13.230	0.000	0.005
J4CaO	54.235	18.758	2.793	2.426	0.039	14.151	0.074	6.014	0.012	0.006	1.493	0.000	0.006
J4H ₂ O	31.627	10.783	2.235	4.398	0.681	29.851	0.146	10.985	0.049	0.011	9.233	0.000	0.003

ตารางที่ ข.1.1 แสดงปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	BaO	ZnO
J5HF	44.054	8.836	3.293	1.467	1.017	26.923	0.143	9.376	0.044	0.000	4.149	0.000	0.000
J5HNO ₃	59.515	3.406	0.508	1.536	0.180	24.183	0.103	7.934	0.031	0.000	2.595	0.011	0.000
J5HCl	25.735	0.347	2.117	1.142	0.197	31.780	0.133	10.847	0.154	0.001	5.395	0.018	0.000
J5NaOH	68.132	13.760	2.046	2.418	0.266	9.299	0.083	2.551	0.017	0.000	1.431	0.000	0.000
J5KOH	41.658	9.956	0.026	1.229	0.093	22.819	4.378	9.620	0.067	0.016	10.141	0.000	0.001
J5CaO	14.205	7.102	0.245	1.287	0.995	37.229	0.068	29.994	0.064	0.016	8.780	0.000	0.004
J5H ₂ O	1.759	24.001	5.022	2.761	1.134	38.886	0.311	10.644	0.099	0.025	15.356	0.000	0.006
K1HF	72.796	0.564	7.838	11.630	0.145	3.722	0.519	1.598	0.082	0.000	1.109	0.000	0.000
K1HNO ₃	74.981	0.086	6.034	10.352	0.002	5.558	0.404	1.501	0.065	0.000	1.020	0.000	0.000
K1HCl	39.016	1.524	8.968	14.529	0.130	11.679	0.973	3.920	0.143	0.006	3.298	0.000	0.000
K1NaOH	2.013	22.403	14.762	22.168	1.599	12.798	1.257	6.758	0.252	0.017	5.561	0.002	0.006
K1KOH	12.175	3.361	13.185	26.386	0.850	11.591	7.085	16.322	0.324	0.098	8.617	0.000	0.009
K1CaO	56.634	10.187	9.043	10.307	1.479	4.248	0.425	6.681	0.045	0.012	0.942	0.000	0.001
K1H ₂ O	0.611	13.072	18.442	29.224	0.227	20.080	1.831	7.777	0.404	0.035	8.291	0.000	0.008
K2HF	75.736	6.296	5.231	4.719	0.037	5.689	0.203	0.782	0.030	0.000	1.278	0.000	0.000
K2HNO ₃	62.361	16.742	3.819	18.808	0.008	8.502	0.241	1.805	0.013	0.000	1.369	0.020	0.000
K2HCl	59.425	21.234	4.831	5.571	0.163	6.413	0.223	0.828	0.031	0.000	1.279	0.005	0.000
K2NaOH	75.214	0.222	3.027	4.691	0.469	10.369	0.418	1.933	0.057	0.011	3.592	0.000	0.002

ตารางที่ ข.1.1 แสดงปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	BaO	ZnO
K2KOH	0.421	2.983	13.017	20.081	0.971	25.568	10.884	6.399	0.290	0.064	19.312	0.000	0.013
K2CaO	5.971	34.698	9.512	9.581	0.830	20.548	0.623	12.625	0.067	0.016	5.528	0.000	0.003
K2H2O	4.161	1.479	10.214	22.320	0.000	30.924	1.643	7.514	0.310	0.041	21.377	0.000	0.020
K3HF	87.575	1.082	0.582	3.275	0.205	4.883	0.225	1.177	0.013	0.000	0.987	0.000	0.000
K3HNO ₃	52.767	2.208	8.531	17.363	0.051	12.667	0.787	3.419	0.131	0.006	2.074	0.000	0.000
K3HCl	48.536	15.059	12.255	12.402	0.028	7.734	0.458	2.048	0.079	0.002	1.388	0.016	0.000
K3NaOH	34.667	8.198	6.467	21.189	0.108	14.652	1.251	6.777	0.269	0.052	6.366	0.000	0.006
K3KOH	22.625	22.314	6.354	17.851	0.201	9.239	5.759	9.429	0.252	0.091	5.883	0.000	0.005
K3CaO	16.181	22.134	13.958	15.418	0.503	12.966	0.695	13.944	0.132	0.034	2.536	0.000	0.003
K3H2O	39.322	2.756	10.102	16.733	0.037	18.885	1.165	4.478	0.264	0.038	6.215	0.000	0.008
Q1HF	59.129	7.478	8.466	12.475	0.261	7.201	0.479	2.661	0.099	0.008	1.745	0.000	0.000
Q1HNO ₃	71.811	1.150	7.789	8.341	0.036	7.445	0.317	1.805	0.028	0.000	1.247	0.033	0.000
Q1HCl	40.333	1.548	7.403	16.782	0.101	22.027	0.909	6.000	0.165	0.000	4.736	0.000	0.000
Q1NaOH	25.314	4.126	11.295	18.960	0.714	20.810	1.153	6.289	0.271	0.039	11.023	0.000	0.008
Q1KOH	40.083	2.415	20.562	15.743	0.274	8.558	3.498	3.097	0.171	0.021	5.579	0.000	0.003
Q1CaO	68.582	10.410	3.315	6.312	0.355	5.826	0.225	4.226	0.022	0.003	0.727	0.000	0.001
Q1H2O	35.806	11.041	1.364	12.865	1.479	19.642	1.009	8.290	0.208	0.010	8.285	0.000	0.005
Q2HF	36.827	13.849	11.141	23.207	0.003	8.200	1.171	1.905	0.246	0.000	3.453	0.000	0.000
Q2HNO ₃	78.412	0.025	7.792	7.981	0.004	4.077	0.292	0.580	0.052	0.000	0.778	0.011	0.000

ตารางที่ ข.1.1 แสดงปริมาณร้อยละธาตุหลักที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Element	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	BaO	ZnO
Q2HCl	58.115	13.471	8.628	12.929	0.172	4.592	0.406	0.607	0.087	0.000	0.996	0.000	0.000
Q2NaOH	18.706	25.686	18.022	23.305	0.159	8.450	0.873	1.451	0.151	0.004	3.192	0.000	0.004
Q2KOH	41.350	1.698	11.790	15.149	0.292	15.882	3.806	1.497	0.186	0.005	8.341	0.000	0.001
Q2CaO	3.017	6.832	12.329	19.827	1.818	28.455	1.007	16.906	0.171	0.018	9.481	0.000	0.006
Q2H ₂ O	35.293	4.773	16.633	24.161	0.078	11.721	1.242	2.505	0.208	0.007	3.377	0.000	0.004
Q3HF	61.537	0.245	7.734	11.111	0.528	11.803	0.588	2.250	0.047	0.000	2.659	0.000	0.000
Q3HNO ₃	36.731	15.506	10.459	11.577	0.061	13.899	0.537	4.897	0.153	0.007	3.661	0.002	0.000
Q3HCl	77.299	1.575	4.980	7.665	0.337	5.888	0.203	1.155	0.033	0.001	0.870	0.000	0.000
Q3NaOH	2.426	13.312	15.372	18.756	0.655	26.622	1.145	8.941	0.283	0.039	12.440	0.000	0.010
Q3KOH	39.428	24.428	10.420	9.232	1.618	7.241	3.087	1.994	0.062	0.009	2.481	0.000	0.004
Q3CaO	3.144	3.636	12.553	31.249	0.411	20.766	1.572	19.547	0.304	0.024	6.788	0.000	0.009
Q3H ₂ O	30.241	17.936	10.801	15.618	0.087	14.060	0.636	6.652	0.126	0.015	3.823	0.000	0.003
Q4HF	73.440	8.684	3.013	1.827	0.239	5.461	0.009	6.387	0.008	0.000	0.935	0.000	0.000
Q4HNO ₃	47.571	7.579	4.149	3.481	0.130	15.756	0.223	8.981	0.084	0.014	3.914	0.000	0.000
Q4HCl	44.597	6.530	3.818	1.973	1.845	12.375	0.039	8.678	0.035	0.008	3.593	0.000	0.000
Q4NaOH	11.788	27.790	9.249	7.349	1.743	14.719	0.641	19.768	0.114	0.052	6.786	0.000	0.004
Q4KOH	16.581	5.921	11.882	6.792	1.791	12.692	8.139	28.203	0.112	0.064	7.826	0.000	0.002
Q4CaOH	27.429	19.545	1.556	4.199	1.257	12.570	0.041	30.711	0.019	0.029	2.646	0.000	0.002
Q4H ₂ O	43.325	18.489	5.947	1.983	0.792	10.132	0.042	16.432	0.014	0.032	2.815	0.000	0.000

ตารางที่ ข.1.2 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น I ผ่านการปรับคุณภาพ เป็น
เวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
S	88.933	82.780	80.884	40.021	41.132	62.635	7.581
Al ₂ O ₃	74.364	61.101	62.991	0.000	3.278	34.582	10.413
SiO ₂	80.470	77.443	79.379	15.694	37.110	61.226	15.571
Fe ₂ O ₃	95.856	92.250	93.154	37.618	61.511	84.044	43.894
Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +Fe ₂ O ₃	79.957	74.177	76.027	11.704	29.900	55.806	16.238

ตารางที่ ข.1.3 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น J3 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็น
เวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
S	25.564	0.000	41.149	14.312	64.137	50.973	40.573
Al ₂ O ₃	0.000	0.000	41.441	0.000	0.000	4.346	0.000
SiO ₂	0.000	0.000	68.129	0.000	87.883	29.187	66.030
Fe ₂ O ₃	59.541	24.362	80.777	0.000	71.315	77.654	40.304
Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +Fe ₂ O ₃	0.000	0.000	71.902	0.000	64.927	54.311	36.197

ตารางที่ ข.1.4 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น J4 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็น
เวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
SO ₃	73.956	63.358	61.602	11.132	41.236	69.154	34.931
Al ₂ O ₃	78.635	90.248	51.229	43.686	90.392	33.325	46.646
SiO ₂	86.944	90.657	71.507	25.071	83.354	69.919	45.468
Fe ₂ O ₃	93.443	92.118	91.716	0.000	37.370	92.932	56.291
Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +Fe ₂ O ₃	90.014	91.530	81.751	9.932	55.135	79.891	52.466

ตารางที่ ข.1.5 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น J5 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็น
เวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
SO ₃	43.779	49.502	33.638	80.583	52.350	22.258	18.798
Al ₂ O ₃	0.000	87.873	49.463	51.170	99.391	91.247	0.000
SiO ₂	72.110	80.955	85.840	70.019	84.768	75.532	47.510
Fe ₂ O ₃	80.938	87.715	74.463	93.226	51.995	59.656	29.440
Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +Fe ₂ O ₃	70.129	91.530	81.751	9.932	55.135	65.422	22.410

ตารางที่ ข.1.6 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น K1 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็น
เวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
SO ₃	38.306	7.882	0.000	0.000	0.000	29.587	0.000
Al ₂ O ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SiO ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ₂ O ₃	82.458	83.866	47.841	12.045	0.000	85.100	0.000
Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +Fe ₂ O ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ ข.1.7 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น K2 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็น
เวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
SO ₃	83.361	75.135	81.243	69.674	25.219	39.901	9.553
Al ₂ O ₃	48.871	62.677	52.781	70.413	0.000	7.028	0.166
SiO ₂	78.371	13.798	74.466	78.499	7.964	56.087	0.000
Fe ₂ O ₃	94.661	94.281	94.657	84.990	19.288	76.896	10.657
Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +Fe ₂ O ₃	79.942	57.134	79.133	79.796	6.371	56.015	3.689

ตารางที่ ข.1.8 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น K3 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็น
เวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
SO ₃	78.554	44.360	66.030	35.641	59.418	43.047	17.0474
Al ₂ O ₃	95.865	39.342	12.863	54.017	54.824	0.7537	28.1712
SiO ₂	90.193	48.009	62.865	36.554	46.549	53.833	49.8952
Fe ₂ O ₃	91.717	82.590	88.350	46.549	50.605	78.707	47.817
Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +Fe ₂ O ₃	91.843	52.893	56.133	42.696	49.323	46.249	44.3322

ตารางที่ ข.1.9 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น Q1 ผ่านการปรับคุณภาพ เป็น
เวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
SO ₃	78.179	77.441	33.252	36.939	74.068	82.345	40.4788
Al ₂ O ₃	7.572	14.958	19.178	0.000	0.000	63.806	85.1075
SiO ₂	37.465	58.186	15.874	4.953	21.082	68.358	35.5073
Fe ₂ O ₃	90.252	93.034	73.543	38.422	68.834	95.939	53.7177
Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +Fe ₂ O ₃	51.742	63.034	38.479	12.190	10.901	77.974	52.106

ตารางที่ ข.1.10 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น Q2 ผ่านการปรับคุณภาพ
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
SO ₃	68.592	84.384	82.413	67.636	39.170	0.000	55.106
Al ₂ O ₃	17.173	42.075	35.860	0.000	12.349	8.341	0.000
SiO ₂	16.213	71.186	53.322	15.857	45.306	28.415	12.767
Fe ₂ O ₃	74.445	94.246	92.629	76.377	38.270	29.833	75.007
Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +Fe ₂ O ₃	30.844	69.723	58.741	18.554	35.456	23.825	19.190

ตารางที่ ข.1.11 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น Q3 ผ่านการปรับคุณภาพ
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
SO ₃	54.455	46.367	77.281	0.000	72.061	19.869	45.746
Al ₂ O ₃	46.878	28.165	65.794	0.000	28.433	13.778	25.812
SiO ₂	62.765	61.202	74.312	37.143	69.061	0.000	47.659
Fe ₂ O ₃	82.086	75.339	94.142	16.189	83.285	54.268	74.244
Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +Fe ₂ O ₃	63.702	56.625	77.187	21.393	62.640	14.603	48.951

ตารางที่ ข.1.12 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของธาตุในถ่านหินชั้น Q4 ผ่านการปรับคุณภาพ
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
SO ₃	77.604	35.379	49.247	39.634	47.947	48.446	58.445
Al ₂ O ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.603	0.000
SiO ₂	60.326	24.408	57.155	0.000	0.000	8.817	56.938
Fe ₂ O ₃	93.800	74.045	76.177	55.003	48.103	82.454	81.333
Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +Fe ₂ O ₃	72.954	45.932	56.051	0.000	0.000	60.653	49.674

ข.2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟลคโตรมิเตอร์

ตารางที่ ข.2.1 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบหลักที่อยู่ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Comp	Quartz	Calcite	Kaolin	Illite	Pyrite	Sider	Gyp	Glauc	K-Feld	Mont	Chlor
IHF	7.84	0.08	11.39	6.38	0.18	0.21	0.51	25.03	31.17	16.15	1.09
IHNO ₃	7.64	0.05	8.89	7.88	0.22	0.19	2.30	22.20	28.06	15.57	7.03
IHCl	6.85	0.09	8.73	6.95	0.03	0.19	4.26	19.00	31.24	16.01	6.70
INaOH	7.74	1.27	9.41	7.83	0.07	0.14	0.45	20.96	31.01	12.29	8.84
IKOH	7.72	1.62	9.85	9.94	0.04	0.10	0.35	23.13	22.06	16.72	8.51
ICaO	5.33	0.16	8.34	7.39	0.07	0.12	4.31	19.41	29.47	17.75	7.67
IH ₂ O	6.20	3.45	10.26	8.28	0.09	0.24	1.04	15.97	30.88	15.83	7.80
J3HF	0.48	0.49	1.86	0.67	0.52	0.02	17.85	5.65	47.90	24.03	0.44
J3HNO ₃	0.60	1.18	2.57	0.69	0.02	0.08	29.14	9.67	42.98	11.98	1.11
J3HCl	0.51	0.93	1.98	0.44	0.23	0.06	21.61	6.33	37.86	28.85	0.92
J3NaOH	0.46	1.02	1.70	0.52	0.46	0.09	21.24	4.59	34.36	34.63	0.95
J3KOH	0.86	1.07	2.81	1.65	0.47	0.05	11.16	0.19	37.61	42.75	1.40
J3CaO	0.49	0.79	1.73	0.87	0.44	0.07	15.82	5.26	40.44	33.39	0.72
J3H ₂ O	0.50	2.69	3.29	0.95	0.32	0.14	37.02	5.11	29.12	19.12	1.77
J4HF	0.23	0.76	1.09	0.67	0.68	0.03	15.00	6.98	42.93	31.27	0.23

ตารางที่ ข.2.1 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบหลักที่อยู่ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Comp	Quartz	Calcite	Kaolin	Illite	Pyrite	Sider	Gyp	Glauc	K-Feld	Mont	Chlor
J4HNO ₃	0.50	0.96	1.40	0.44	0.73	0.06	21.50	3.04	32.65	38.24	0.51
J4HCl	0.20	0.25	0.75	0.20	0.52	0.04	12.15	3.16	30.99	51.26	0.52
J4NaOH	0.20	0.65	0.66	0.09	0.29	0.04	7.43	1.61	20.02	68.47	0.58
J4KOH	0.28	0.60	0.46	1.61	0.23	0.03	2.77	0.00	19.92	73.90	0.21
J4CaO	0.22	0.49	1.01	0.20	0.37	0.04	11.15	1.00	12.45	72.74	0.36
J4H ₂ O	0.32	1.38	1.11	0.32	0.27	0.05	16.75	1.32	8.34	69.33	0.82
J5HF	0.09	0.79	0.89	0.40	0.76	0.03	15.55	6.72	46.19	28.07	0.33
J5HNO ₃	0.10	0.44	0.78	0.16	0.35	0.06	13.63	2.31	20.30	61.62	0.24
J5HCl	0.20	0.60	1.05	0.31	0.52	0.08	17.28	2.61	19.68	57.39	0.32
J5NaOH	0.23	0.80	1.09	0.34	0.27	0.05	8.19	1.25	11.47	75.88	0.46
J5KOH	0.25	0.29	0.71	0.52	0.09	0.03	7.55	0.06	10.11	80.08	0.31
J5CaO	0.18	0.34	0.69	0.06	0.26	0.04	6.21	1.88	20.09	70.08	0.20
J5H ₂ O	0.17	2.70	1.01	0.17	0.22	0.07	16.32	10.74	10.38	57.84	0.40
K1HF	5.14	0.37	4.12	3.07	1.25	0.00	5.20	18.35	39.00	22.53	0.76
K1HNO ₃	2.36	0.64	3.62	1.74	0.72	0.07	9.73	7.87	17.27	55.36	0.65

ตารางที่ ข.2.1 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบหลักที่อยู่ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Comp	Quartz	Calcite	Kaolin	Illite	Pyrite	Sider	Gyp	Glauco	K-Feld	Mont	Chlor
K1HCl	2.36	0.31	3.81	2.00	0.71	0.05	8.27	9.88	18.47	53.69	0.66
K1NaOH	1.64	1.80	2.82	1.93	0.48	0.06	2.42	14.69	8.50	65.21	0.48
K1KOH	2.26	5.20	3.29	2.23	0.59	0.00	0.73	14.60	5.02	65.60	0.49
K1CaO	2.00	0.47	2.90	1.81	0.51	0.07	7.40	44.25	18.68	21.23	0.68
K1H ₂ O	2.05	7.32	3.31	1.75	0.48	0.02	5.25	46.50	16.79	15.96	0.60
K2HF	1.20	0.25	1.77	1.19	2.26	0.00	4.84	5.48	23.43	59.40	0.27
K2HNO ₃	0.80	0.15	1.40	0.98	1.37	0.02	4.31	41.51	19.99	29.18	0.32
K2HCl	1.05	0.24	1.95	1.14	1.04	0.02	8.51	46.37	20.41	18.84	0.46
K2NaOH	0.58	0.35	1.18	1.13	0.74	0.04	1.50	45.06	17.14	31.93	0.36
K2KOH	0.49	0.02	0.74	2.41	0.57	0.01	0.98	51.49	8.25	34.91	0.17
K2CaO	0.59	0.32	1.32	0.79	1.12	0.04	5.86	51.24	14.78	23.60	0.37
K2H ₂ O	0.67	1.94	1.42	0.89	0.99	0.03	8.33	61.92	6.98	16.54	0.32
K3HF	2.43	0.16	2.28	1.48	0.97	0.00	9.65	7.68	43.48	31.35	0.38
K3HNO ₃	2.55	0.44	3.34	2.11	0.58	0.04	8.71	53.85	18.79	9.21	0.42
K3HCl	2.19	0.45	3.09	2.19	0.54	0.03	8.88	55.68	18.72	7.79	0.48

ตารางที่ ข.2.1 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบหลักที่อยู่ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Comp	Quartz	Calcite	Kaolin	Illite	Pyrite	Sider	Gyp	Glauco	K-Feld	Mont	Chlor
K3NaOH	2.07	2.05	3.23	2.47	0.53	0.05	1.78	54.74	10.04	22.71	0.36
K3KOH	2.80	4.89	4.01	2.92	0.59	0.06	1.09	57.87	8.07	17.10	0.64
K3CaO	2.34	0.22	2.68	1.87	0.45	0.04	6.16	65.68	20.58	0.02	0.49
K3H ₂ O	1.76	6.19	3.34	1.51	0.39	0.22	9.43	67.69	8.91	0.07	0.50
Q1HF	3.62	0.22	3.42	2.32	0.91	0.00	7.27	16.58	39.45	25.53	0.53
Q1HNO ₃	1.31	0.46	2.33	1.32	0.59	0.06	10.21	57.07	25.81	0.43	0.44
Q1HCl	1.40	0.40	2.37	1.39	0.41	0.05	8.47	58.95	25.40	0.75	0.44
Q1NaOH	0.95	0.25	1.49	1.21	0.39	0.04	3.26	71.85	19.46	0.79	0.33
Q1KOH	1.44	0.19	1.96	1.57	0.30	0.02	1.21	80.23	11.53	1.23	0.33
Q1CaO	1.15	0.67	1.91	1.11	0.43	0.03	9.14	62.72	21.99	0.40	0.50
Q1H ₂ O	1.34	3.00	2.59	1.22	0.26	0.09	11.17	63.30	15.68	0.75	0.63
Q2HF	5.48	0.28	5.30	3.56	1.80	0.00	5.27	13.83	45.26	18.57	0.59
Q2HNO ₃	2.13	0.19	3.47	2.05	0.85	0.02	3.34	67.78	18.01	1.77	0.41
Q2HCl	2.00	0.04	3.56	2.05	0.90	0.04	4.53	58.39	26.18	1.91	0.44
Q2NaOH	4.78	0.54	8.62	6.28	1.40	0.10	1.27	22.41	36.41	16.96	1.29

ตารางที่ ข.2.1 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบหลักที่อยู่ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Comp	Quartz	Calcite	Kaolin	Illite	Pyrite	Sider	Gyp	Glauc	K-Feld	Mont	Chlor
Q2KOH	5.37	0.18	11.31	7.32	2.78	0.13	6.22	11.32	37.75	14.94	1.19
Q2CaO	4.25	0.00	7.84	3.81	0.85	0.08	10.22	21.26	40.72	10.14	0.85
Q2H ₂ O	3.17	4.92	8.94	4.30	2.27	0.19	34.19	11.06	19.84	9.64	1.51
Q3HF	2.79	0.58	3.60	2.47	2.39	0.00	8.31	13.41	60.90	4.44	0.73
Q3HNO ₃	2.65	0.22	6.21	3.16	2.27	0.06	18.12	16.27	41.60	8.48	0.99
Q3HCl	2.06	0.28	4.22	2.29	1.52	0.05	13.93	45.42	27.47	2.14	0.64
Q3NaOH	1.28	1.99	2.35	1.77	1.19	0.12	2.77	67.43	18.56	2.08	0.51
Q3KOH	2.41	1.25	4.74	3.80	0.92	0.02	0.47	64.47	15.28	5.72	0.92
Q3CaO	2.02	2.20	4.16	2.33	1.16	0.03	12.15	49.48	24.58	1.40	0.52
Q3H ₂ O	3.04	5.21	6.05	2.81	0.85	0.19	13.59	43.54	19.28	4.81	0.64
Q4HF	0.14	0.89	0.01	0.44	0.73	0.02	2.40	18.99	75.21	0.01	0.24
Q4HNO ₃	0.58	1.75	0.53	1.44	0.37	0.05	6.86	57.90	28.74	3.01	0.20
Q4HCl	0.58	0.37	1.06	0.65	0.38	0.05	8.32	66.18	22.09	0.02	0.33
Q4NaOH	0.59	4.08	0.90	0.57	0.23	0.02	2.31	70.68	20.46	0.00	0.19
Q4KOH	0.43	6.26	0.30	0.14	0.21	0.02	0.15	73.71	18.62	0.00	0.18

ตารางที่ ข.2.1 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบหลักที่อยู่ในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Comp	Quartz	Calcite	Kaolin	Illite	Pyrite	Sider	Gyp	Glauc	K-Feld	Mont	Chlor
Q4CaO	0.20	5.29	0.20	0.06	0.28	0.02	3.52	71.26	18.94	0.00	0.26
Q4H ₂ O	0.23	7.99	0.46	0.05	0.21	0.05	5.46	70.61	14.32	0.00	0.65



ตารางที่ ข.2.2 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น I หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
Quartz	23.49	25.44	33.11	24.41	24.61	47.95	39.45
Pyrite	50.00	38.89	93.06	80.56	88.89	55.56	0.00
Calcite	53.13	71.88	46.88	0.00	0.00	56.25	43.75
Gypsum	87.91	45.62	0.00	89.34	91.82	0.00	75.36

ตารางที่ ข.2.3 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น J3 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
Quartz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pyrite	38.10	98.21	73.21	45.24	44.64	5.95	0.00
Calcite	30.71	0.00	0.00	0.00	0.00	37.14	54.29
Gypsum	4.49	0.00	0.00	0.00	40.32	15.36	0.00

ตารางที่ ข.2.4 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น J4 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
Quartz	51.06	0.00	50.00	50.00	28.21	53.19	31.91
Pyrite	22.73	13.10	38.69	66.07	72.62	44.32	0.00
Calcite	0.00	0.00	64.29	7.86	14.29	39.34	55.74
Gypsum	16.34	0.00	35.02	60.27	85.21	37.81	6.58

ตารางที่ ข.2.5 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น J5 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
Quartz	75.00	73.61	44.44	37.50	30.56	50.00	52.78
Pyrite	24.50	65.00	48.50	73.50	91.00	66.00	0.00
Calcite	0.00	0.00	0.00	0.00	14.71	23.53	35.29
Gypsum	18.97	29.00	9.95	57.35	60.66	67.64	14.96

ตารางที่ ข.2.6 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น K1 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
Quartz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pyrite	14.97	51.02	51.70	67.35	59.86	68.03	0.00
Calcite	99.52	99.16	99.59	97.63	93.15	99.33	99.37
Gypsum	0.00	0.00	0.00	1.02	70.08	0.00	0.00

ตารางที่ ข.2.7 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น K2 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
Quartz	0.00	5.88	0.00	31.76	42.35	30.59	21.18
Pyrite	17.70	50.18	62.23	72.99	79.38	88.32	29.20
Calcite	0.00	0.00	0.00	0.00	88.46	0.00	0.00
Gypsum	6.66	16.89	0.00	71.14	81.18	0.00	0.00

ตารางที่ ข.2.8 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น K3 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
Quartz	46.23	43.57	51.44	54.10	37.92	48.12	60.98
Pyrite	12.27	47.73	51.36	52.27	46.36	80.00	0.00
Calcite	95.12	86.74	86.28	37.65	0.00	86.28	88.11
Gypsum	30.32	37.15	35.92	87.15	92.17	55.52	31.91

ตารางที่ ข.2.9 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น Q1 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
Quartz	0.00	48.62	44.88	62.80	43.31	54.72	47.24
Pyrite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Calcite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gypsum	58.72	42.02	51.93	81.52	93.16	48.10	36.57

ตารางที่ ข.2.10 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหินชั้น Q2 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
Quartz	0.00	29.24	33.72	0.00	0.00	0.00	0.00
Pyrite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Calcite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gypsum	51.87	69.47	58.59	88.44	43.14	6.58	0.00

ตารางที่ ข.2.11 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหิน
ชั้น Q3 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
Quartz	31.91	35.33	49.63	68.83	41.08	50.61	25.67
Pyrite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Calcite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gypsum	7.46	0.00	0.00	69.21	94.77	0.00	0.00

ตารางที่ ข.2.12 แสดงปริมาณร้อยละการลดลงของควอตซ์ ไพไรต์ แคลไซต์ และยิปซัม ในถ่านหิน
ชั้น Q4 หลังผ่านการปรับคุณภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
Quartz	75.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.96	57.41
Pyrite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Calcite	90.22	80.82	95.99	55.16	31.21	96.92	97.69
Gypsum	93.95	82.70	79.03	94.17	99.62	91.12	86.23

ข.3 ผลจากการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis)

ตารางที่ ข.3.1 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบในถ่านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Seam	Moisture	Volatile	Ash	Fixed Carbon	Volatile (dry)	Ash (dry)	Fixed C (dry)
IHF	10.19	15.56	68.24	6.02	17.32	75.98	6.70
J3HF	12.95	33.94	32.95	20.17	38.99	37.85	23.16
J4HF	14.20	38.33	29.81	17.77	44.62	34.70	20.68
J5HF	13.57	38.62	29.88	17.94	44.68	34.57	20.75
K1HF	9.19	27.14	43.35	20.34	29.88	47.73	22.39
K2HF	10.24	33.99	29.51	26.27	37.86	32.87	29.27
K3HF	10.76	34.33	29.23	25.69	38.47	32.75	28.79
Q1HF	11.62	29.34	37.72	21.33	33.19	42.68	24.13
Q2HF	10.23	27.71	41.39	20.67	30.87	46.11	23.02
Q3HF	9.81	30.37	38.91	21.24	33.55	42.99	23.46
Q4HF	12.42	34.01	27.15	26.44	38.83	30.99	30.18
IHNO3	7.36	19.78	67.00	5.87	21.34	72.32	6.34
J3HNO3	13.59	42.34	31.98	12.10	49.00	37.00	14.00
J4HNO3	13.58	42.39	23.63	20.41	49.05	27.34	23.61
J5IHNO3	14.74	43.62	39.55	2.09	51.16	46.39	2.45
K1HNO3	11.10	32.72	44.11	12.08	36.80	49.61	13.59
K2HNO3	12.26	36.59	36.52	14.64	41.70	41.62	16.68
K3HNO3	12.25	34.47	38.02	15.28	39.27	43.32	17.41
Q1HNO3	12.49	36.23	35.53	15.76	41.39	40.60	18.01
Q2HNO3	9.64	30.54	40.08	19.75	33.80	44.35	21.85
Q3HNO3	11.66	35.30	40.39	12.66	39.95	45.72	14.33
Q4HNO3	12.75	41.40	33.57	12.29	47.44	38.47	14.09
IHCl	9.55	17.11	67.20	6.15	18.92	74.29	6.79
J3HCl	12.46	42.13	33.56	11.86	48.12	38.33	13.55

ตารางที่ ข.3.1 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบในด้านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Seam	Moisture	Volatile	Ash	Fixed Carbon	Volatile (dry)	Ash (dry)	Fixed C (dry)
J4HCl	12.97	42.54	32.25	12.21	48.90	37.07	14.03
J5HCl	13.07	43.67	33.05	10.22	50.23	38.02	11.75
K1HCl	10.80	30.10	47.09	12.01	33.75	52.79	13.46
K2HCl	11.32	34.25	31.18	23.25	38.62	35.16	26.22
K3HCl	11.32	32.00	40.49	16.20	36.08	45.65	18.27
Q1HCl	12.14	34.89	36.30	16.67	39.72	41.31	18.97
Q2HCl	9.60	27.76	42.63	20.02	30.71	47.15	22.14
Q3HCl	11.80	31.41	39.75	17.05	35.61	45.07	19.33
Q4HCl	14.46	40.86	25.44	19.25	47.76	29.74	22.50
INaOH	8.14	18.43	68.98	4.46	20.06	75.09	4.85
J3NaOH	13.59	40.03	37.03	9.37	46.32	42.85	10.84
J4NaOH	14.32	39.79	37.91	7.99	46.44	44.24	9.32
J5NaOH	14.44	39.45	40.12	6.00	46.11	46.88	7.01
K1NaOH	11.55	31.92	46.93	9.61	36.09	53.05	10.86
K2NaOH	12.55	33.60	40.25	13.61	38.42	46.02	15.56
K3NaOH	11.45	32.06	43.18	13.31	36.21	48.76	15.03
Q1NaOH	12.35	33.84	36.86	16.96	38.60	42.05	19.34
Q2NaOH	11.23	29.73	41.43	17.62	33.49	46.67	19.84
Q3NaOH	12.14	33.02	40.75	14.10	37.57	46.38	16.05
Q4NaOH	11.68	38.73	36.81	12.79	43.85	41.67	14.48
IKOH	5.64	18.53	72.37	3.48	19.63	76.69	3.68
J3KOH	13.39	39.69	36.38	10.55	45.82	42.01	12.17
J4KOH	15.60	38.84	38.30	7.27	46.02	45.37	8.61
J5KOH	18.35	40.41	36.85	4.40	49.49	45.13	5.39
K1KOH	11.58	32.12	52.73	3.57	36.33	59.64	4.04
K2KOH	13.73	32.34	41.27	12.67	37.48	47.83	14.69

ตารางที่ ข.3.1 แสดงปริมาณร้อยละขององค์ประกอบในด้านหินหลังผ่านการแช่ในสารเคมี 7
ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Seam	Moisture	Volatile	Ash	Fixed Carbon	Volatile (dry)	Ash (dry)	Fixed C (dry)
K3KOH	15.31	31.61	46.98	6.11	37.32	55.47	7.21
Q1KOH	14.55	30.86	41.54	13.06	36.11	48.61	15.28
Q2KOH	9.12	29.13	49.84	11.91	32.05	54.84	13.11
Q3KOH	15.61	32.61	40.32	11.47	38.64	47.78	13.58
Q4KOH	16.25	41.15	32.14	10.47	49.13	38.37	12.50
ICaO	7.02	20.87	71.24	0.88	22.44	76.61	0.95
J3CaO	14.84	44.74	48.37	-7.95	52.54	56.79	-9.33
J4CaO	15.18	44.94	48.88	-8.99	52.98	57.62	-10.60
J5CaO	15.06	48.09	45.24	-8.38	56.61	53.25	-9.87
K1CaO	9.44	37.58	55.71	-2.72	41.49	61.51	-3.00
K2CaO	12.68	39.81	52.35	-4.84	45.59	59.95	-5.54
K3CaO	11.01	40.90	51.88	-3.78	45.95	58.29	-4.24
Q1CaO	11.83	40.65	51.99	-4.47	46.10	58.97	-5.06
Q2CaO	11.60	34.81	54.38	-0.78	39.37	61.51	-0.88
Q3CaO	10.15	35.95	54.69	-0.79	40.01	60.86	-0.87
Q4CaO	11.09	46.59	49.70	-7.36	52.39	55.89	-8.28
IH ₂ O	7.20	19.44	69.77	3.60	20.95	75.18	3.87
J3H ₂ O	12.38	42.14	27.78	17.71	48.09	31.71	20.21
J4H ₂ O	13.46	43.54	33.32	9.69	50.31	38.49	11.20
J5H ₂ O	12.87	42.79	24.89	19.47	49.10	28.56	22.34
K1H ₂ O	10.12	32.58	47.09	10.22	36.25	52.39	11.36
K2H ₂ O	10.47	38.60	37.19	13.74	43.11	41.54	15.35
K3H ₂ O	10.95	35.39	35.53	18.14	39.74	39.90	20.36
Q1H ₂ O	11.35	37.46	42.06	9.15	42.25	47.44	10.32
Q2H ₂ O	9.36	28.80	45.99	15.86	31.77	50.73	17.50
Q3H ₂ O	10.56	33.78	50.74	4.93	37.76	56.73	5.51
Q4H ₂ O	12.06	43.65	28.88	15.41	49.64	32.84	17.52

ตารางที่ ข.3.2 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น I หลังผ่านการ
 แช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H2O
Moisture	19.32	41.77	24.39	35.59	55.38	*	55.38
Volatile	3.62	18.38	5.67	12.40	12.87	*	12.87
Ash	2.12	0.31	0.61	3.17	7.70	*	7.70
Fixed carbon	25.91	24.02	27.42	0.00	22.09	*	22.09

* ไม่สามารถรายงานผลได้เนื่องจากค่าคาร์บอนคงที่ที่วัดได้ติดลบ

**ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงการลดลงขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.3.3 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น J3 หลังผ่าน
 การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H2O
Moisture	28.20	24.63	30.92	24.65	25.73	*	31.34
Volatile	11.26	9.68	9.22	4.46	3.64	*	9.24
Ash	9.17	6.40	10.82	19.16	17.73	*	7.18
Fixed carbon	31.52	12.42	14.12	32.19	23.64	*	22.00

**ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงการลดลงขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.3.4 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น J4 หลังผ่าน
 การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H2O
Moisture	32.63	35.57	38.47	32.04	25.96	*	36.14
Volatile	5.31	14.38	14.68	8.80	6.57	*	16.65
Ash	1.19	19.76	8.68	22.31	23.10	*	11.60
Fixed carbon	25.70	35.31	7.54	39.51	44.96	*	26.59

**ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงการลดลงขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.3.5 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น J5 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H2O
Moisture	34.47	28.82	36.88	30.27	11.35	*	37.85
Volatile	4.27	15.25	15.33	6.29	8.50	*	13.59
Ash	1.64	25.69	11.07	26.74	20.23	*	15.33
Fixed carbon	27.79	83.86	21.12	53.67	66.02	*	33.47

**ช่องสีเทาแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงการลดลงขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.3.6 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น K1 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H2O
Moisture	29.56	14.92	17.22	11.46	11.20	*	22.43
Volatile	14.30	3.21	4.96	0.78	1.40	*	2.79
Ash	19.22	20.60	25.63	25.37	33.59	*	25.63
Fixed carbon	0.32	40.40	40.77	52.59	82.39	*	49.61

**ช่องสีเทาแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงการลดลงขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.3.7 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น K2 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H2O
Moisture	35.60	22.92	28.84	21.10	13.65	*	34.15
Volatile	7.64	14.21	8.35	6.58	2.92	*	18.68
Ash	12.04	8.13	7.06	16.64	18.70	*	9.79
Fixed carbon	27.03	23.66	17.55	29.00	33.91	*	28.33

**ช่องสีเทาแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงการลดลงขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.3.8 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในด้านหินชั้น K3 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H2O
Moisture	42.46	34.52	39.47	38.77	18.16	*	41.47
Volatile	11.42	11.77	4.95	5.15	3.78	*	14.07
Ash	29.19	7.89	1.90	4.42	12.15	*	13.91
Fixed carbon	62.51	36.98	40.56	27.65	36.55	*	46.90

**ช่องสีเทาแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงการลดลงขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.3.9 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในด้านหินชั้น Q1 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H2O
Moisture	49.59	45.84	47.33	46.42	36.88	*	50.78
Volatile	5.68	14.15	10.86	8.08	0.79	*	16.97
Ash	17.43	12.36	14.20	15.52	25.03	*	25.95
Fixed carbon	31.07	6.73	11.79	13.30	11.16	*	37.79

**ช่องสีเทาแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงการลดลงขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.3.10 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในด้านหินชั้น Q2 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H2O
Moisture	44.07	47.29	47.54	38.60	50.14	*	48.82
Volatile	7.73	1.67	7.56	1.00	3.00	*	4.11
Ash	23.60	21.10	25.83	23.67	36.56	*	31.24
Fixed carbon	2.93	1.57	0.22	12.19	40.63	*	20.94

**ช่องสีเทาแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงการลดลงขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.3.11 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น Q3 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H2O
Moisture	38.38	26.79	25.88	23.78	1.98	*	33.67
Volatile	9.30	21.97	12.31	16.58	15.55	*	18.46
Ash	4.53	0.88	2.45	0.00	1.06	*	19.68
Fixed carbon	25.64	19.82	7.36	10.70	27.39	*	68.78

**ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงการลดลงขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.3.12 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น Q4 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO3	HCl	NaOH	KOH	CaO	H2O
Moisture	46.65	45.23	37.89	49.83	30.22	*	48.20
Volatile	10.00	8.71	7.50	2.41	8.17	*	13.42
Ash	3.84	15.89	9.88	23.30	12.15	*	2.25
Fixed carbon	59.52	12.94	44.42	16.34	2.15	*	30.56

**ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการเพิ่มขึ้น และช่องสีขาวแสดงการลดลงขององค์ประกอบ

ข.4 ผลจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)

ตารางที่ ข.4.1 แสดงปริมาณร้อยละคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และ ซัลเฟอร์ ในถ่านหินหลัง
ผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Seams	Carbon (C)	Nitrogen (N)	Hydrogen (H)	Sulfur (S)
IHF	10.270	2.593	0.335	1.077
IHNO ₃	11.583	2.489	1.043	5.014
IHCl	29.343	4.981	1.362	1.745
INaOH	10.786	2.657	0.320	1.338
IKOH	10.494	2.416	0.408	1.300
ICaO	9.549	2.544	0.274	0.747
IH ₂ O	11.002	2.580	0.402	1.828
J3HF	32.088	3.939	0.978	9.497
J3HNO ₃	30.771	3.771	1.444	11.533
J3HCl	29.233	3.826	0.885	6.513
J3NaOH	30.834	3.969	0.929	8.076
J3KOH	34.123	4.009	1.143	7.883
J3CaO	21.392	3.608	0.605	11.122
J3H ₂ O	35.791	4.027	1.099	8.412
J4HF	33.389	4.011	0.970	8.613
J4HNO ₃	37.666	4.085	1.588	10.609
J4HCl	30.499	3.808	0.885	9.180
J4NaOH	31.085	4.022	0.882	5.683
J4KOH	33.143	4.030	1.123	5.096
J4CaO	22.150	3.615	0.597	14.705
J4H ₂ O	32.255	3.958	0.946	9.139
J5HF	33.441	3.912	1.009	10.166
J5HNO ₃	25.492	3.529	1.174	9.323
J5HCl	30.479	3.734	0.912	9.568
J5NaOH	30.316	3.897	0.911	4.556
J5KOH	30.822	3.845	5.760	7.159

ตารางที่ ข.4.1 แสดงปริมาณร้อยละคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และ ซัลเฟอร์ ในถ่านหินหลัง
ผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Seams	Carbon (C)	Nitrogen (N)	Hydrogen (H)	Sulfur (S)
J5CaO	21.700	3.490	0.571	10.159
J5H ₂ O	38.577	4.141	1.176	9.934
K1HF	25.942	3.366	1.045	6.049
K1HNO ₃	24.236	3.285	1.620	7.283
K1HCl	21.632	3.231	0.871	4.287
K1NaOH	26.609	3.570	1.019	4.287
K1KOH	22.551	2.989	8.241	2.708
K1CaO	18.787	2.879	0.626	3.439
K1H ₂ O	24.742	3.403	1.033	8.160
K2HF	33.059	3.865	1.319	9.638
K2HNO ₃	28.065	3.531	1.824	8.208
K2HCl	32.755	3.848	1.299	9.225
K2NaOH	29.533	3.793	1.164	8.826
K2KOH	28.106	3.565	8.491	10.010
K2CaO	21.957	3.403	0.824	6.440
K2H ₂ O	29.519	3.638	1.221	9.626
K3HF	33.242	3.847	1.249	8.098
K3HNO ₃	27.878	3.521	2.023	5.137
K3HCl	27.215	3.709	1.154	7.237
K3NaOH	28.851	3.737	1.188	4.105
K3KOH	25.290	3.332	8.401	3.941
K3CaO	19.973	3.092	0.740	4.203
K3H ₂ O	32.552	3.888	1.397	6.219
Q1HF	28.375	3.617	1.201	8.446
Q1HNO ₃	28.928	3.570	2.063	6.565
Q1HCl	28.754	3.739	1.084	8.108

ตารางที่ ข.4.1 แสดงปริมาณร้อยละคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และ ซัลเฟอร์ ในถ่านหินหลัง
ผ่านการแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

Seams	Carbon (C)	Nitrogen (N)	Hydrogen (H)	Sulfur (S)
Q1NaOH	31.872	3.871	1.184	4.728
Q1KOH	29.540	3.665	8.403	2.777
Q1CaO	18.189	3.040	0.603	5.242
Q1H ₂ O	26.291	3.472	1.020	10.253
Q2HF	26.668	3.460	0.947	7.733
Q2HNO ₃	28.601	3.469	1.357	6.291
Q2HCl	27.382	3.585	0.947	4.708
Q2NaOH	29.119	3.753	1.004	5.552
Q2KOH	22.051	3.070	7.985	6.359
Q2CaO	13.624	2.878	0.436	10.451
Q2H ₂ O	25.856	3.401	0.950	5.756
Q3HF	26.929	3.424	0.898	10.990
Q3HNO ₃	26.837	3.438	1.392	6.762
Q3HCl	26.234	3.589	0.873	6.261
Q3NaOH	30.764	3.785	1.060	6.860
Q3KOH	29.436	3.957	0.942	5.703
Q3CaO	17.707	2.950	0.555	5.024
Q3H ₂ O	23.695	3.224	0.822	6.402
Q4HF	39.768	4.019	1.316	9.330
Q4HNO ₃	34.275	4.087	2.078	6.490
Q4HCl	41.684	4.466	1.360	4.576
Q4NaOH	33.516	3.733	1.311	3.344
Q4KOH	34.534	3.771	1.010	2.250
Q4CaO	27.965	3.164	0.757	3.190
Q4H ₂ O	39.078	3.896	1.247	3.303

ตารางที่ ข.4.2 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น I หลังผ่านการ
 แช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
%C	0.195	11.508	65.068	4.965	2.320	6.840	6.831
%H	88.187	63.186	51.930	88.690	85.593	90.333	85.824
%N	79.669	78.818	89.417	80.163	78.182	79.279	79.571
%S	44.992	60.969	10.858	31.630	33.572	61.852	6.617

*ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการลดลง และช่องสีขาวแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.4.3 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น J3 หลังผ่าน
 การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
%C	1.833	5.863	10.568	5.670	4.208	34.557	8.673
%H	78.133	67.716	80.201	79.227	74.427	86.466	75.417
%N	73.452	72.266	72.665	73.651	73.910	71.015	74.032
%S	15.005	30.007	19.314	0.043	2.348	27.423	4.036

*ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการลดลง และช่องสีขาวแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.4.4 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น J4 หลังผ่าน
 การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
%C	6.168	16.824	2.649	0.779	5.472	29.300	2.871
%H	79.078	65.747	80.905	80.984	75.778	87.117	79.608
%N	75.760	76.201	74.471	75.826	75.876	73.106	75.438
%S	9.759	26.738	15.338	26.879	34.438	47.147	14.953

*ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการลดลง และช่องสีขาวแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.4.5 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น J5 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
%C	8.623	16.576	0.257	0.790	0.858	28.987	20.790
%H	77.420	73.734	79.600	79.605	22.417	87.220	73.688
%N	75.831	73.203	74.678	75.738	75.408	72.909	77.168
%S	14.702	6.988	9.370	47.457	17.437	14.647	12.710

*ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการลดลง และช่องสีขาวแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.4.6 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น K1 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
%C	0.799	7.325	17.282	1.721	13.766	28.160	5.390
%H	62.524	41.879	68.741	63.453	66.173	77.535	62.940
%N	76.942	76.371	75.981	78.263	74.035	73.040	77.197
%S	5.117	21.195	25.294	25.309	52.814	40.085	29.669

*ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการลดลง และช่องสีขาวแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.4.7 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น K2 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
%C	10.598	5.043	9.768	0.076	4.904	25.708	0.123
%H	67.751	55.385	68.227	71.531	51.842	79.846	70.132
%N	69.630	66.762	69.498	69.057	67.079	65.510	67.735
%S	31.331	19.366	28.256	25.017	33.883	2.697	31.249

*ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการลดลง และช่องสีขาวแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.4.8 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น K3 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
%C	21.363	6.233	3.948	9.395	3.252	23.592	19.698
%H	70.165	51.663	72.437	71.620	50.173	82.319	66.633
%N	72.456	69.907	71.425	71.645	68.199	65.729	72.746
%S	31.967	6.753	23.872	25.495	28.472	23.707	11.417

*ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการลดลง และช่องสีขาวแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.4.9 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น Q1 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
%C	2.943	4.796	4.220	13.592	6.769	33.956	4.537
%H	73.789	54.964	76.347	74.154	45.474	86.829	77.744
%N	71.791	71.417	72.709	73.645	72.162	66.441	70.612
%S	29.146	8.850	26.192	20.998	53.593	12.408	41.637

**ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการลดลง และช่องสีขาวแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.4.10 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น Q2 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
%C	13.659	7.403	11.349	5.724	28.609	55.892	16.290
%H	78.360	68.983	78.361	77.040	45.213	90.042	78.289
%N	70.462	70.539	71.493	72.767	66.712	64.491	69.952
%S	14.651	4.689	28.667	15.879	3.652	36.845	12.795

*ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการลดลง และช่องสีขาวแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.4.11 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น Q3 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
%C	7.072	6.756	4.612	18.658	14.987	29.242	5.313
%H	76.480	63.533	77.121	72.233	75.318	85.461	78.478
%N	74.941	75.038	76.087	77.329	78.314	70.913	73.384
%S	47.516	14.700	7.867	15.912	1.136	12.899	9.903

*ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการลดลง และช่องสีขาวแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบ

ตารางที่ ข.4.12 แสดงปริมาณร้อยละเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบในถ่านหินชั้น Q4 หลังผ่าน
การแช่ในสารเคมี 7 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Chemicals	HF	HNO ₃	HCl	NaOH	KOH	CaO	H ₂ O
%C	18.329	5.239	22.083	3.093	5.949	13.898	16.886
%H	71.766	55.430	70.818	71.871	78.325	83.753	73.253
%N	76.145	76.540	78.535	74.317	74.579	69.704	75.390
%S	67.406	53.140	33.545	9.047	26.028	4.656	7.918

*ช่องสี่เหลี่ยมแสดงร้อยละการลดลง และช่องสีขาวแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบ

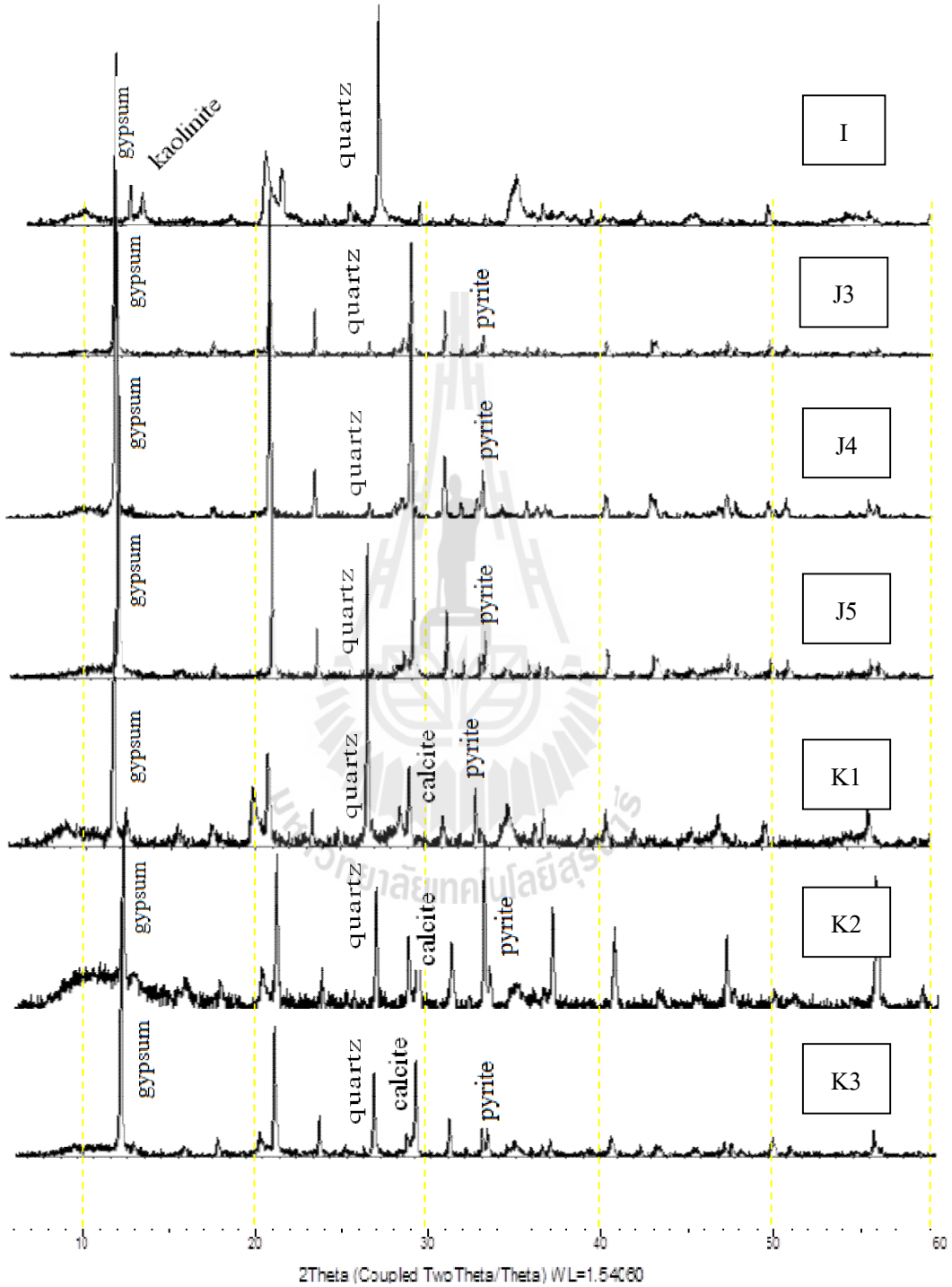
ข.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณค่าความร้อน (Heating values)

ตารางที่ ข.5.1 แสดงปริมาณค่าความร้อนในหน่วย เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแช่ในสารเคมี 24 ชั่วโมง

Seam	HHV MJ/kg	LHV MJ/kg	HF		HNO ₃		HCl		NaOH		KOH		CaO		H ₂ O	
			HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV	HHV	LHV
I	4.54	4.24	1.00	0.75	3.63	3.45	12.10	11.87	1.45	1.26	1.99	1.85	0.96	0.79	1.95	1.78
J3	13.91	13.48	9.53	9.22	9.94	9.62	7.20	6.90	9.15	8.83	11.03	10.71	6.54	6.19	10.44	10.14
J4	13.30	12.79	9.41	9.07	12.05	11.73	12.05	11.73	8.73	8.39	10.08	9.71	7.98	7.62	9.54	9.22
J5	12.86	12.36	9.91	9.58	7.49	7.14	7.49	7.14	8.73	8.39	16.55	16.11	5.81	5.45	11.91	11.61
K1	8.08	7.77	7.28	7.06	7.77	7.50	4.94	4.68	7.78	7.50	17.69	17.42	4.32	4.09	7.88	7.64
K2	11.97	11.59	9.99	9.74	9.02	8.71	9.98	9.65	9.60	9.30	21.01	20.73	6.58	6.29	9.33	9.08
K3	11.41	10.96	9.50	9.24	8.67	8.38	7.99	7.72	8.52	8.24	18.74	18.37	4.68	4.41	10.00	9.74
Q1	11.09	10.53	8.48	8.20	9.23	8.93	8.16	7.87	9.14	8.85	19.72	19.37	3.83	3.55	8.34	8.07
Q2	12.73	12.29	8.11	7.87	8.65	8.42	7.41	7.18	8.45	8.18	19.72	19.37	3.02	2.74	7.48	7.25
Q3	10.19	9.81	8.11	7.87	7.97	7.69	6.62	6.33	9.62	9.33	8.40	8.02	3.91	3.67	7.14	6.89
Q4	12.43	11.87	12.96	12.67	11.74	11.43	12.52	12.18	9.78	9.50	8.71	8.32	8.17	7.90	11.15	10.86

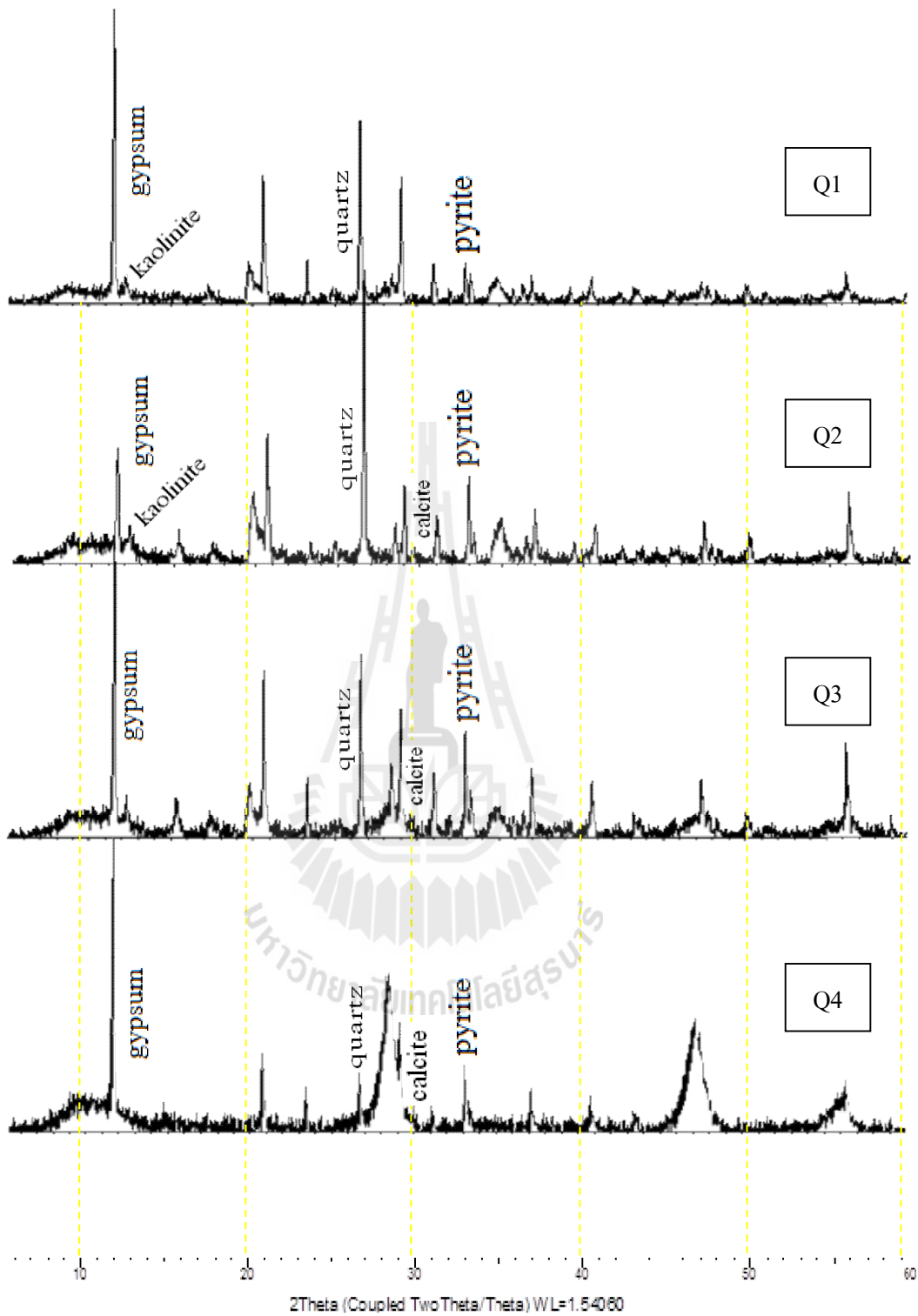
ภาคผนวก ค

รูปแสดงการวิเคราะห์จากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกโทรมิเตอร์



รูปที่ ค. 1 ภาพแสดงกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกโทรมิเตอร์

ของตัวอย่างถ่านหินก่อนการล้างด้วยสารเคมี



รูปที่ ค. 1 ภาพแสดงกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟคโตมิเตอร์
ของตัวอย่างถ่านหินก่อนการล้างด้วยสารเคมี (ต่อ)

ประวัตินักวิจัย

นางบัณฑิตา ธีระกุลสถิตย์ เกิดวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2518 ที่จังหวัดนครพนม ได้สำเร็จปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และชั้นปริญญาเอก สาขาวิชาธรณีวิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

