บทที่ 4

ผลการทดลอง การวิเคราะห์และวิจารณ์

การศึกษาการยจัดกำมะถันโดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยทำการศึกษาแหล่งถ่านหินในประเทศไทยที่มีปริมาณกำมะถันสูง เพื่อนำมาใช้ในการทดลองและการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการยจัดกำมะถันโดยวิธีออกซิเดชัน โดยใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดซ์ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต สภาวะต่าง ๆ ที่พิจารณาคือ เวลา ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ปริมาณถ่านหินที่ใช้ทำปฏิกิริยา อุณหภูมิ ความดันออกซิเจน ขนาดของถ่านหินและผลของการใช้น้ำเป็นตัวล้าง (leachant)

4.1 การศึกษาองค์ประกอบกำมะถันในถ่านหินแหล่งต่าง ๆ

4.1.1 ถ่านหินจากเหมืองลี้ เหมืองบางปูดำ เหมืองหวายเล็ก เหมืองแม่เมาะ และเหมืองแม่ตีบ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์โดยปริมาณขององค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินจากแหล่งเหมืองลี้ เหมืองบางปูดำ เหมืองหวายเล็ก เหมืองแม่เมาะและเหมืองแม่ตีบ ค่าปริมาณขององค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินเล่นอแบบไม่รวมความชื้น ถ่านหินแต่ละเหมืองให้ผลการวิเคราะห์ดังนี้ ในที่นี้ค่าร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินเหมืองแม่ตีบ เหมืองแม่เมาะ เหมืองลี้ มีค่าใกล้เคียงกันคือ 2.00, 2.28 และ 2.33 ตามลำดับ ถ่านหินเหมืองหวายเล็กมีค่าร้อยละของกำมะถันรวมมากที่สุดคือ 4.03 รองลงมาคือ ถ่านหิน เหมืองบางปูดำมีร้อยละของกำมะถันรวม 3.21 ถ่านหินหวายเล็กมีค่ากำมะถันไพไรต์สูงมากที่สุดคือร้อยละ 0.70 ในขณะที่ค่ากำมะถันไพไรต์ของถ่านหินเหมืองแม่ตีบ, ลี้, บางปูดำ, แม่เมาะ เป็น 0.66, 0.49, 0.39 และ 0.21 ตามลำดับ สำหรับค่ากำมะถันอินทรีย์พบว่าถ่านหินทั้งห้าแหล่งมีค่ากำมะถันอินทรีย์สูงมาก เมื่อเทียบกับค่ากำมะถันไพไรต์และค่ากำมะถันซัลเฟต สำหรับค่าร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินเหมืองหวายเล็ก มีร้อยละของกำมะถันอินทรีย์สูงสุด 2.72 ในขณะที่ค่าร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินเหมืองบางปูดำ เหมืองลี้ แม่เมาะและแม่ตีบมีค่า 1.55, 1.17, 1.07 และ 0.92 ตามลำดับ จากการพิจารณาแล้วจะเห็นว่าถ่านหินหวายเล็กมีค่ากำมะถันรวม กำมะถันไพไรต์และกำมะถันอินทรีย์ สูงกว่าแหล่งอื่น ๆ จึงเลือกถ่านหินจากเหมืองหวายเล็กมาศึกษาการ

ยจัดกำมะถัน ซึ่งค่ากำมะถันที่สูงจะทำให้เห็นข้อแตกต่างระหว่างถ่านหินก่อนและหลังปฏิกิริยาได้ชัดเจน

4.1.2 ถ่านหินจากเหมืองหวายเล็กและเหมืองแม่ตีบ

การทดลองได้ใช้ถ่านหินจากเหมืองหวายเล็กและเหมืองแม่ตีบ ถ่านหินเหมืองหวายเล็กและถ่านหินเหมืองแม่ตีบมีค่าร้อยละของกำมะถันไพไรต์ใกล้เคียงกัน แต่ถ่านหินเหมืองหวายเล็กมีค่ากำมะถันอินทรีย์สูงมาก ถ่านหินเหมืองแม่ตีบมีค่ากำมะถันอินทรีย์ต่ำ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินจากแหล่งหวายเล็ก ค่าที่เสนอเป็นค่าขององค์ประกอบของกำมะถันในแต่ละการทดลองซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกัน เพราะตัวอย่างถ่านหินที่นำมาทดลองได้ทำการสุ่มตัวอย่างมาแล้ว ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งหวายเล็ก มีดังนี้คือ ค่าร้อยละของกำมะถันรวม 3.88 ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ 0.71 ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต 0.69 และร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ 2.48

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ขององค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบ ค่าที่เสนอเป็นค่าองค์ประกอบของกำมะถันในแต่ละการทดลองซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกัน ค่าเฉลี่ยของร้อยละขององค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบมีดังนี้คือ ค่าร้อยละของกำมะถันรวม 2.44 ค่าร้อยละของกำมะถันไพไรต์ 0.71 ค่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟต 0.76 และค่าร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ 0.96

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของกระบวนการดีซัลเฟอไร-เซชัน

ในการทดลองนี้ได้ใช้ถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูงคือ ถ่านหินแหล่งหวายเล็กจังหวัดกระบี่ และแหล่งแม่ตีบ จังหวัดลำปาง ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตในเครื่องปฏิกรณ์แบบกวน ขนาด 1 ลิตร ทดลองศึกษาถึงอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือเวลา ความเข้มข้น สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ปริมาณถ่านหินที่ใช้ทำปฏิกิริยา อุณหภูมิ ความดันออกซิเจน และขนาดของถ่านหิน โดยศึกษาสมบัติของถ่านหินที่เปลี่ยนแปลงก่อนและหลังปฏิกิริยา คือปริมาณกำมะถันรวม กำมะถันไพไรต์ กำมะถันซัลเฟต เถ้าและค่าความร้อนของทุกการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณกำมะถันในถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ (แบบไม่รวมความชื้น)

สมบัติถ่านหิน	แหล่งถ่านหิน				
	ลี้	บางปูดำ	หวายเล็ก	แม่เมาะ	แม่ตีบ
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	2.33	3.21	4.03	2.28	2.00
กำมะถันไพไรต์	0.49	0.39	0.70	0.21	0.66
กำมะถันซัลเฟต	0.67	1.27	0.61	0.40	0.42
กำมะถันอินทรีย์	1.17	1.55	2.72	1.07	0.92

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณกำมะถันในถ่านหินแหล่งหวายเล็ก

สมบัติถ่านหิน	การทดลองครั้งที่						เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	4.03	3.58	3.98	3.81	4.00	3.88	3.88
กำมะถันไพไรต์	0.70	0.71	0.84	0.61	0.70	0.71	0.71
กำมะถันซัลเฟต	0.61	0.71	0.86	0.66	0.66	0.66	0.69
กำมะถันอินทรีย์	2.72	2.16	2.28	2.54	2.64	2.51	2.48

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบ

สมบัติถ่านหิน	การทดลองครั้งที่					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	2.28	2.29	2.32	2.65	2.65	2.44
กำมะถันไพไรต์	0.71	0.71	0.71	0.75	0.69	0.71
กำมะถันซัลเฟต	0.75	0.75	0.79	0.77	0.77	0.76
กำมะถันอินทรีย์	0.82	0.83	0.82	1.13	1.19	0.96

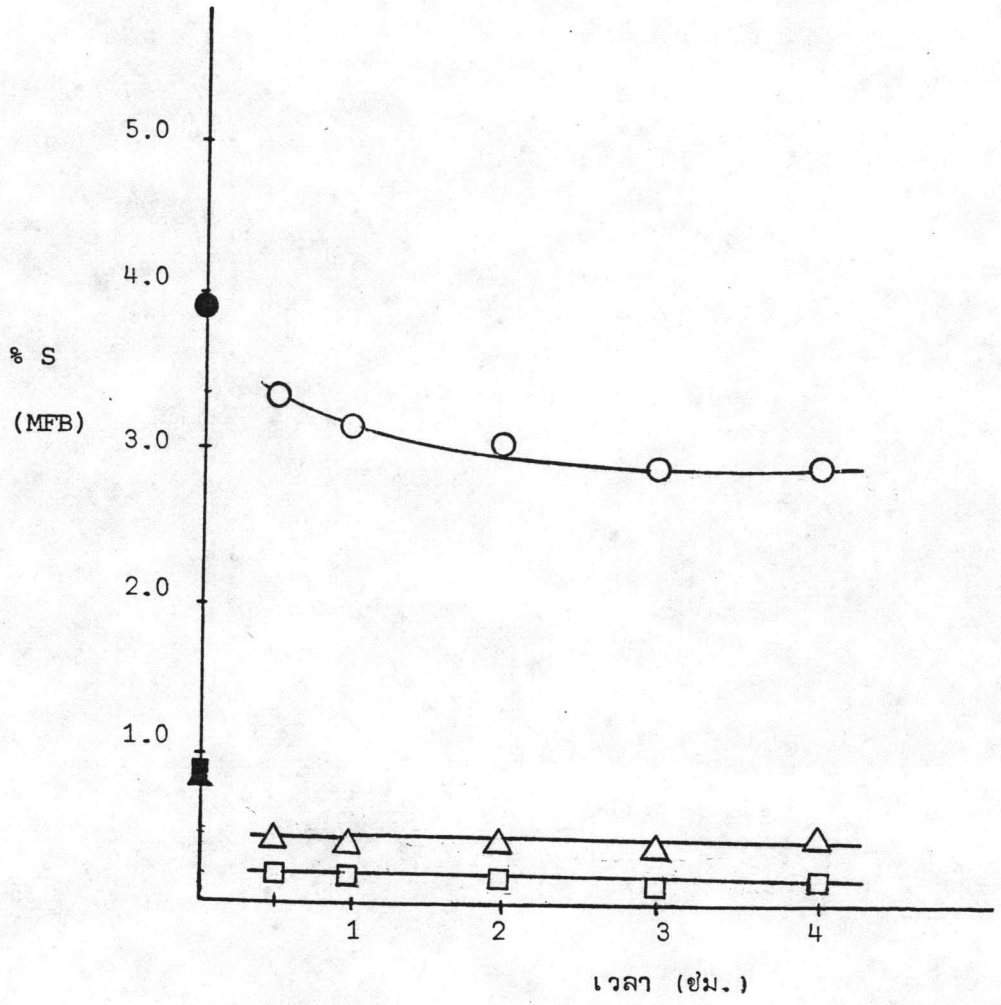
4.2.1 ผลของเวลา

ในการศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหินหวายเล็กโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ทำการทดลอง 2 การทดลอง การทดลองแรกใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ การทดลองที่สองใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้คือ

ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติของถ่านหินแหล่งหวายเล็ก (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชันที่เวลา 0.5,1,2,3 และ 4 ชม. โดยใช้ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 100°ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล.สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.03 % รูปที่ 4.1 แสดงผลของเวลาต่อการลดกำมะถันรวมและกำมะถันในรูปต่าง ๆ พบว่าร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินหวายเล็กหลังผ่านปฏิกิริยาลดลงเมื่อเพิ่มเวลา ร้อยละของกำมะถันรวมอยู่ในช่วง 2.89-3.32 ในครึ่งชั่วโมงแรกเกิดการลดปริมาณกำมะถันจากร้อยละ 3.98 เป็นร้อยละ 3.14 และหลังจากหนึ่งชั่วโมงแล้ว ร้อยละของกำมะถันไม่แตกต่างกันมากนัก คืออยู่ในช่วงร้อยละ 2.89-3.14 และพบว่าหลังจากสามชั่วโมงแล้ว ร้อยละของกำมะถันมีค่าคงที่ นั่นคือในหนึ่งชั่วโมงแรกสามารถลดกำมะถันรวมได้มากที่สุด เนื่องมาจากในตอนแรกที่ผิวนอกของอนุภาคถ่านหินมีปริมาณกำมะถันสูงจึงเกิดปฏิกิริยาได้ดี สำหรับผลของเวลาต่อการลดกำมะถันไพไรต์ในถ่านหินดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าในครึ่งชั่วโมงร้อยละของกำมะถันไพไรต์ลดลงจากร้อยละ 0.84 เป็น 0.32 หลังจากนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงร้อยละของกำมะถันไพไรต์มากนัก และสำหรับผลของเวลาที่มีต่อการลดกำมะถันซัลเฟต พบว่าร้อยละกำมะถันซัลเฟต หลังปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 0.14-0.16 ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา ส่วนร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ในตารางมีค่ามากขึ้นไม่ได้หมายความว่าปริมาณกำมะถันอินทรีย์เพิ่มขึ้น แต่หมายความว่า กำมะถันไพไรต์ และกำมะถันซัลเฟตลดลงไปหลังจากปฏิกิริยา กำมะถันอินทรีย์ซึ่งอาจลดไปน้อยมาก หรือแทบไม่ลดเลย เมื่อคำนวณเป็นร้อยละกำมะถันอินทรีย์ โดยน้ำหนักในถ่านหิน จึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.4 สมบัติถ่านหินแหล่งหวายเล็ก (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน ที่เวลาต่าง ๆ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 100° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.03 %)

สมบัติถ่านหิน	เริ่มต้น	เวลา (ชม.)				
		0.5	1	2	3	4
เถ้า (%)	15.59	-	16.36	14.48	17.11	16.21
ค่าความร้อน (แคลอรี่/กรัม)	5643	-	5317	5415	5372	-
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	3.98	3.32	3.14	3.04	2.89	2.89
กำมะถันไพไรต์	0.84	0.46	0.36	0.45	0.40	0.39
กำมะถันอินทรีย์	2.28	2.66	2.62	2.46	2.35	2.36
กำมะถันซัลเฟต	0.86	0.20	0.16	0.13	0.14	0.14
% De-S	-	76.58	21.11	23.62	27.39	27.39
% De-pyrite	-	46.24	57.14	46.43	52.38	53.57
% De-sulfate	-	76.74	81.40	84.88	83.72	82.56
% Heating value recovery	-	-	94.22	95.96	95.20	-



รูปที่ 4.1 ผลของเวลาที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งหวายเล็ก หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 100° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล.สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.03 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

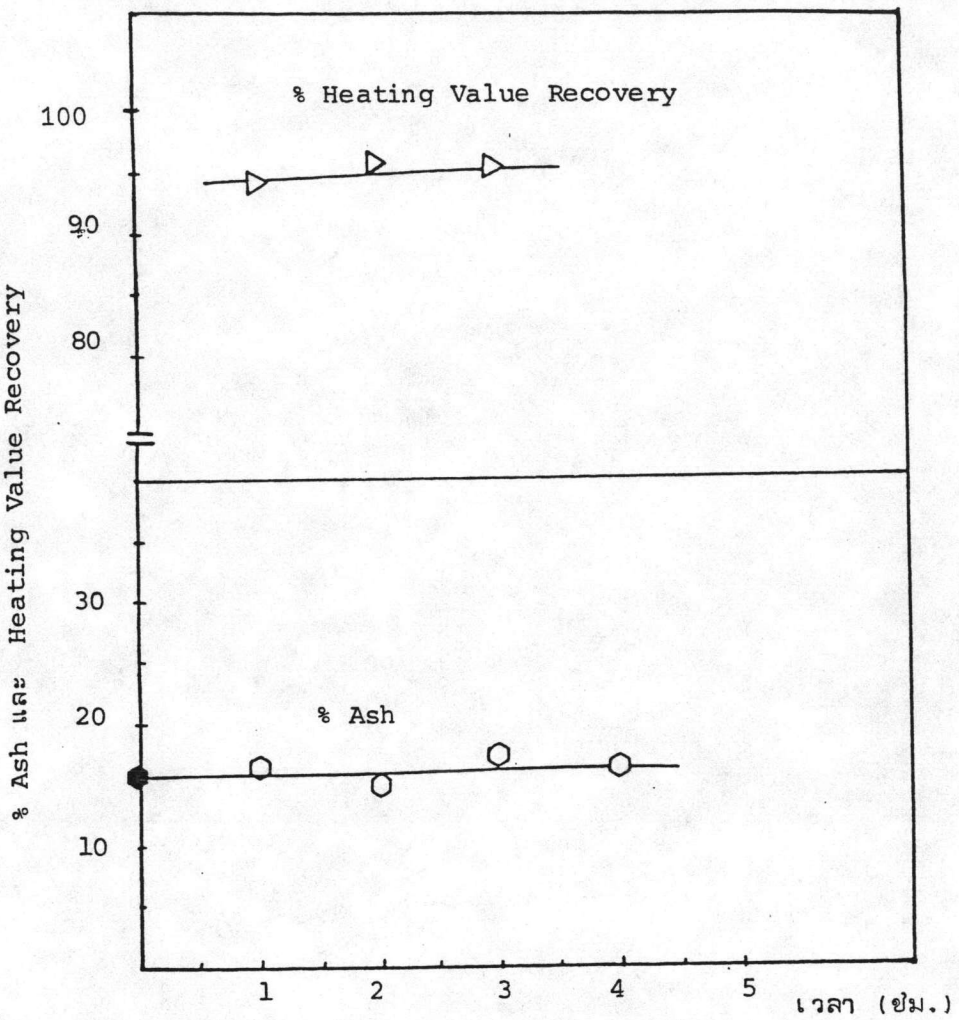
▲ และ △ แสดงร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

■ และ □ แสดงร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้น และหลังปฏิกิริยา

รูปที่ 4.2 แสดงผลของเวลาต่อปริมาณเถ้าและค่าความร้อนในถ่านหิน พบว่าร้อยละของปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นหลังปฏิกิริยาดีซัลเฟอไรเซชัน คือถ่านหินเริ่มต้นมีปริมาณเถ้าร้อยละ 15.59 หลังปฏิกิริยาเพิ่มเป็นร้อยละ 16.36 ในกระบวนการขจัดกำมะถันโดยใช้สารละลายโซเดียม-คาร์บอเนตได้ลดกำมะถันที่เป็นสารประกอบต่าง ๆ ในถ่านหินในรูปของอนุมูลซัลเฟต และเถ้าส่วนใหญ่ยังคงเหลือในถ่านหินเป็นพวกสารประกอบออกไซด์ของเหล็ก กรณีนี้ปริมาณเถ้าในถ่านหินยังคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ปริมาณที่สูญหายคือ ปริมาณถ่านหินซึ่งอาจหายไปจากการละลายของถ่านหินบางส่วน (12) ดังนั้นเมื่อคำนวณร้อยละของปริมาณเถ้าในถ่านหิน จึงมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันมากนัก มีร้อยละของปริมาณเถ้าในถ่านหินประมาณ 16.56 ร้อยละของปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แสดงว่าปริมาณถ่านหินไม่สูญเสียไปมากนัก ซึ่งด้วยเหตุผลนี้ทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินลดลงหลังปฏิกิริยา คือ ลดจาก 5,643 แคลอรีต่อกรัม เป็น 5,368 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งคิดเป็นร้อยละของ heating value recovery ประมาณ 95.13 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ (10)

รูปที่ 4.3 แสดงผลของเวลาต่อการลดปริมาณกำมะถันในรูปของร้อยละของการลดปริมาณกำมะถันรวม ร้อยละของการลดกำมะถันไพไรต์และร้อยละของการลดกำมะถันซัลเฟต (ดูสูตรการคำนวณในภาคผนวก)พบว่า ร้อยละของการลดปริมาณกำมะถันรวมอยู่ในช่วง 16.58-27.39 ในครึ่งชั่วโมงแรกสามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ ร้อยละ 16.58 หลังจากหนึ่งชั่วโมงแล้ว การลดปริมาณกำมะถันรวมค่อนข้างคงที่คืออยู่ในช่วงร้อยละ 21.11 -27.39 และหลังจาก 3 ชั่วโมงแล้ว ร้อยละของการลดกำมะถันรวมคงที่ สำหรับร้อยละของการลดกำมะถันไพไรต์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเพิ่มเวลา สามารถลดกำมะถันไพไรต์ในช่วงร้อยละ 46.24-57.14 และสำหรับการลดกำมะถันซัลเฟตพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการขจัดกำมะถัน สามารถลดกำมะถันซัลเฟตได้ในช่วงร้อยละ 76.74-82.56 ซึ่งไม่แตกต่างกันเลย ดังนั้นสรุปได้ว่าการลดปริมาณกำมะถันซัลเฟตไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน

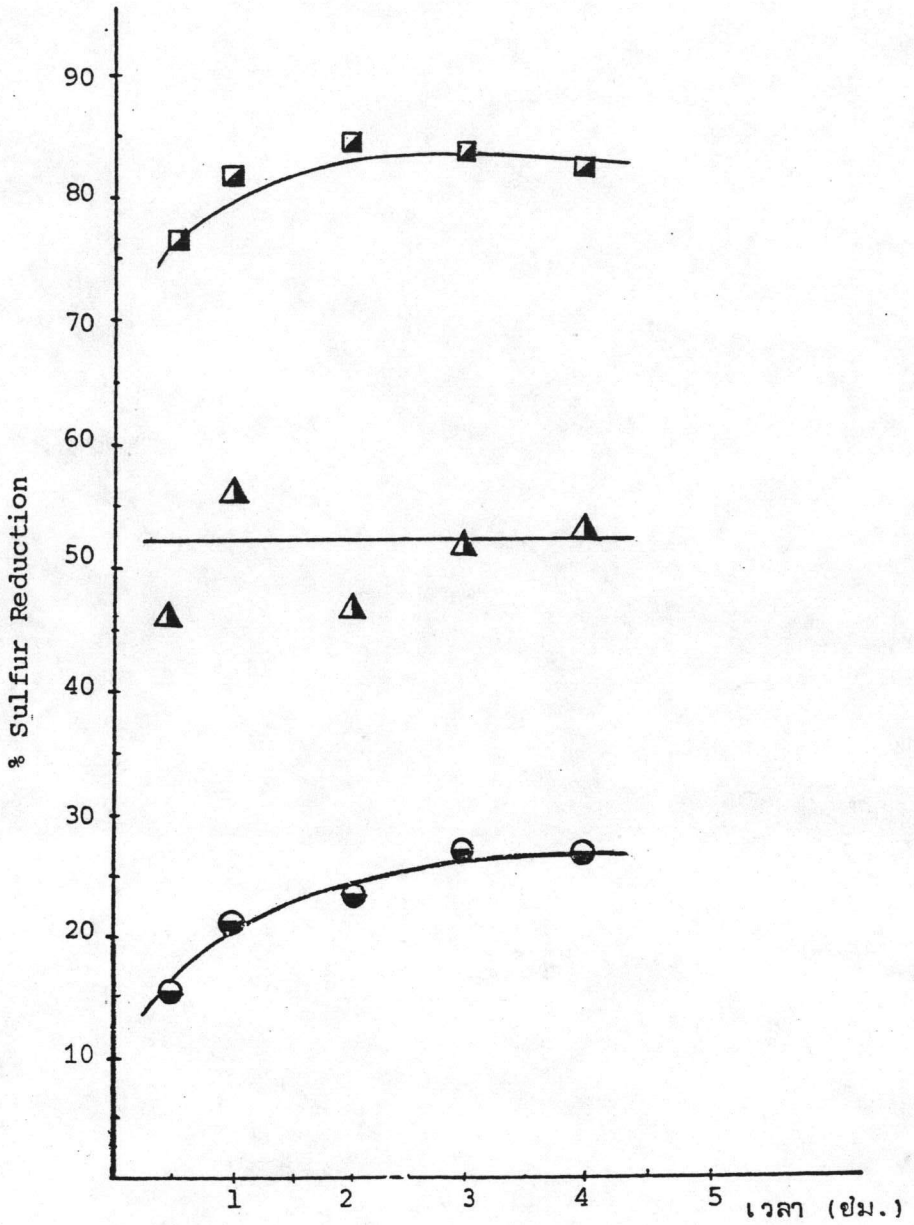
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเวลามีผลต่อการขจัดกำมะถันเมื่อเพิ่มเวลาสามารถขจัดกำมะถันได้มากขึ้น การขจัดกำมะถันได้สูงมากอยู่ในช่วงหนึ่งชั่วโมงแรกหลังจากนั้นการขจัดกำมะถันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นการทดลองต่อไปที่ศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยอื่น ๆ จะใช้เวลา 1 ชม. เพราะใน 1 ชั่วโมงแรกให้ผลในการขจัดกำมะถันรวมได้สูงถึงร้อยละ 21.11 ลด



รูปที่ 4.2 ผลของเวลาที่มีต่อปริมาณเถ้า และค่าความร้อนในถ่านหินแหล่งหวายเล็ก หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 100° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/-500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.03 %

● และ ○ แสดงร้อยละของเถ้าเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▷ แสดง ร้อยละของ Heating Value Recovery



รูปที่ 4.3 ผลของเวลาที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหิน แหล่งหวายเล็ก หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 100° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.03 %)

◒ แสดง % De-S

◭ แสดง % De-pyrite

◩ แสดง % De-sulfate

กำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 57.14 ลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 81.40 และให้ผลไม่เปลี่ยนแปลงมากนักกับปริมาณเถ้า แม้ว่าจะให้ค่าความร้อนลดลงจาก 5643 เป็น 5317 แคลอรี/กรัม ก็ตาม แต่เมื่อคำนวณแล้วพบว่า heating value recovery ประมาณร้อยละ 94.22 ซึ่งไม่ได้ทำให้ถ่านหินมีคุณภาพด้อยลงไปแต่อย่างใด และยังสามารถเพิ่มคุณภาพถ่านหินในแง่ที่สารเจือปนที่ไม่ต้องการ (impurities) ในถ่านหินลดน้อยลงด้วย อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะสามารถลดกำมะถันได้ดีกว่าที่เวลา 3 ชม. และให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับการใช้เวลา 1 ชม.ก็ตาม เพื่อเหตุผลในการประหยัดและไม่เสียเวลามากนัก

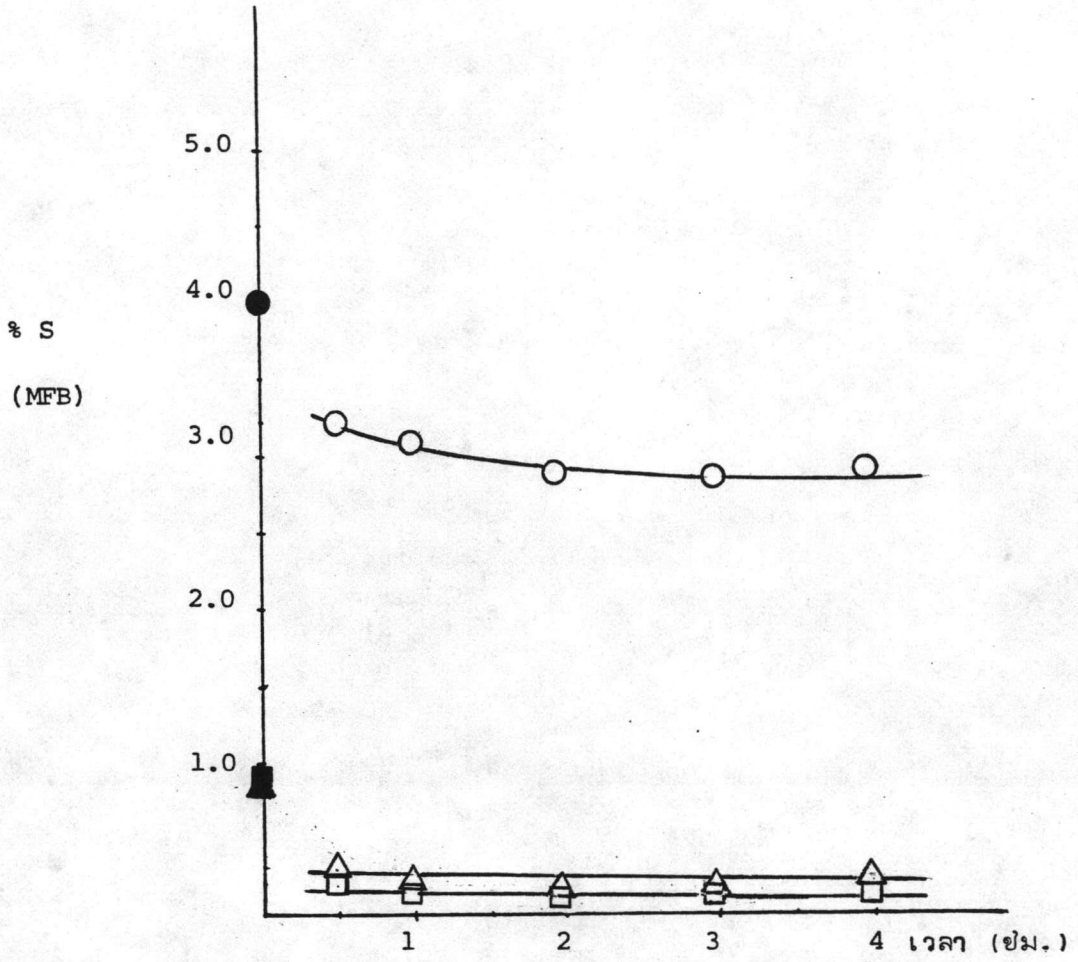
ตารางที่ 4.5 แสดงสมบัติถ่านหินหวายเล็ก (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชันที่เวลา 0.5,1,2,3 และ 4 ชม. ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 100° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.4 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/-500 มล.สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.03 % การทดลองนี้ ใช้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 0.4 โมลาร์ ซึ่งให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับการทดลองแรก

รูปที่ 4.4 แสดงผลของเวลา ต่อการลดปริมาณกำมะถันรวม และกำมะถันในรูปต่าง ๆ พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาร้อยละของกำมะถันเพิ่มขึ้น ร้อยละของกำมะถันรวมอยู่ในช่วง 2.86-3.22 ในครึ่งชั่วโมงแรกร้อยละของกำมะถันลดลงจาก 3.98 เป็น 3.22 และหลังจากหนึ่งชั่วโมงแล้วการลดกำมะถันไม่เปลี่ยนแปลงมากนักอยู่ในช่วง 2.86-2.88 แสดงว่าสามารถลดกำมะถันได้มากในหนึ่งชั่วโมงแรก

สำหรับผลของเวลาต่อการลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ แสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าในครึ่งชั่วโมงแรก ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ลดลงจาก 0.84 เป็น 0.32 หลังจากนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง ร้อยละของกำมะถันไพไรต์มากนัก ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ในการทดลองนี้ ซึ่งใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.4 โมลาร์ ต่ำกว่าร้อยละของกำมะถันไพไรต์ในการทดลองที่ 1 ตารางที่ 4.4 ซึ่งใช้โซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.2 โมลาร์ เล็กน้อย แสดงว่าสำหรับถ่านหินแหล่งหวายเล็กสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2-0.4 โมลาร์ สามารถลดกำมะถันไพไรต์ได้ดี

ตารางที่ 4.5 สมบัติถ่านหินแหล่งหวายเล็ก (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการดีซัล-เฟอไรเซชัน ที่เวลาต่าง ๆ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 100° ซ ความเข้มข้น สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.4 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.03 %)

สมบัติถ่านหิน	เริ่มต้น	เวลา (ชม.)				
		0.5	1	2	3	4
เถ้า (%)	15.59	-	17.75	15.14	16.55	16.70
ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	5643	-	5147	5277	5012	4871
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	3.98	3.22	3.07	2.88	2.86	2.92
กำมะถันไพไรต์	0.84	0.32	0.22	0.17	0.20	0.29
กำมะถันอินทรีย์	2.28	2.69	2.72	2.57	2.52	2.47
กำมะถันซัลเฟต	0.86	0.21	0.13	0.14	0.14	0.16
% De-S	-	19.10	22.86	27.64	28.14	26.63
% De-pyrite	-	61.90	73.81	79.76	70.24	65.48
% De-sulfate	-	76.58	84.88	83.72	83.72	81.40
% Heating value recovery	-	-	91.21	93.51	88.82	86.32



รูปที่ 4.4 ผลของเวลาที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งหวายเล็ก หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 100° ซ ความเข้มข้นสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต 0.4 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/-500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.03 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▲ และ △ แสดงร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

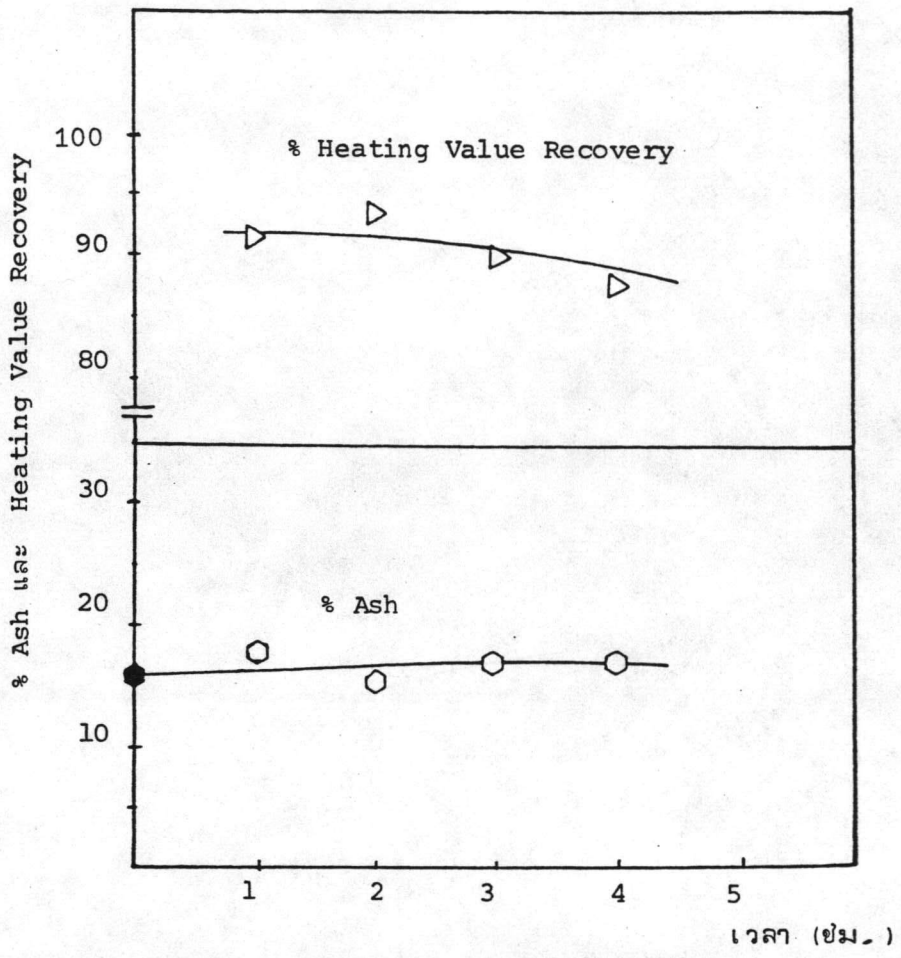
■ และ □ แสดงร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

และสำหรับผลของเวลาต่อการลดกำมะถันซัลเฟต พบว่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟตอยู่ในช่วง 0.13 - 0.21 ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเพิ่มเวลาและการลดปริมาณกำมะถันซัลเฟตในชั่วโมงแรกสูง เช่นเดียวกันกับปริมาณกำมะถันรวม หลังจากหนึ่งชั่วโมงแล้ว การลดปริมาณกำมะถันไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับการทดลองที่ 1

รูปที่ 4.5 แสดงผลของเวลาต่อปริมาณเถ้าและค่าความร้อน พบว่าร้อยละของปริมาณเถ้าเพิ่มหลังปฏิกิริยาดีซัลเฟอไรเซชัน ซึ่งค่าร้อยละของปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันมากนัก ร้อยละของเถ้าของถ่านหินเริ่มต้น 15.59 หลังปฏิกิริยาเพิ่มเป็นร้อยละ 17.75 ในเวลาหนึ่งชั่วโมงแรก หลังจากนั้นร้อยละของเถ้าไม่แตกต่างกันมากนักร้อยละของเถ้าเพิ่ม เนื่องจากเกิดการสูญเสียถ่านหิน ทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินลดลงจาก 5643 เป็น 5147 แคลอรี่ต่อกรัม เมื่อใช้เวลา 1 ชม. หลังจากนั้นร้อยละของค่าความร้อนไม่แตกต่างกันมากนัก ร้อยละของ heating value recovery ประมาณ 91.21 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

รูปที่ 4.6 แสดงผลของเวลาที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันในรูปของร้อยละของการลดกำมะถันรวม ร้อยละของการลดกำมะถันไพไรต์และร้อยละของการลดกำมะถันซัลเฟต พบว่าร้อยละของการลดปริมาณกำมะถันรวมอยู่ในช่วง 19.10 - 28.14 ในครึ่งชั่วโมงแรกสามารถลดกำมะถันรวมได้ ร้อยละ 19.10 หลังจากนั้นการลดปริมาณกำมะถันรวมไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อยู่ในช่วง 22.86 - 28.14 การลดกำมะถันรวมลดได้ใกล้เคียงกับเมื่อใช้โซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.2 โมลาร์ สำหรับการลดกำมะถันไพไรต์อยู่ในช่วงร้อยละ 61.90 - 79.76 หลังจากนั้นการลดกำมะถันไพไรต์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก สามารถลดกำมะถันไพไรต์ได้ประมาณร้อยละ 70.24 สำหรับร้อยละของการลดกำมะถันซัลเฟตพบว่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา สามารถลดกำมะถันซัลเฟตได้ประมาณร้อยละ 81.86 และการเพิ่มความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนต จาก 0.2 เป็น 0.4 โมลาร์ ไม่ให้ผลแตกต่างในการลดกำมะถันซัลเฟต

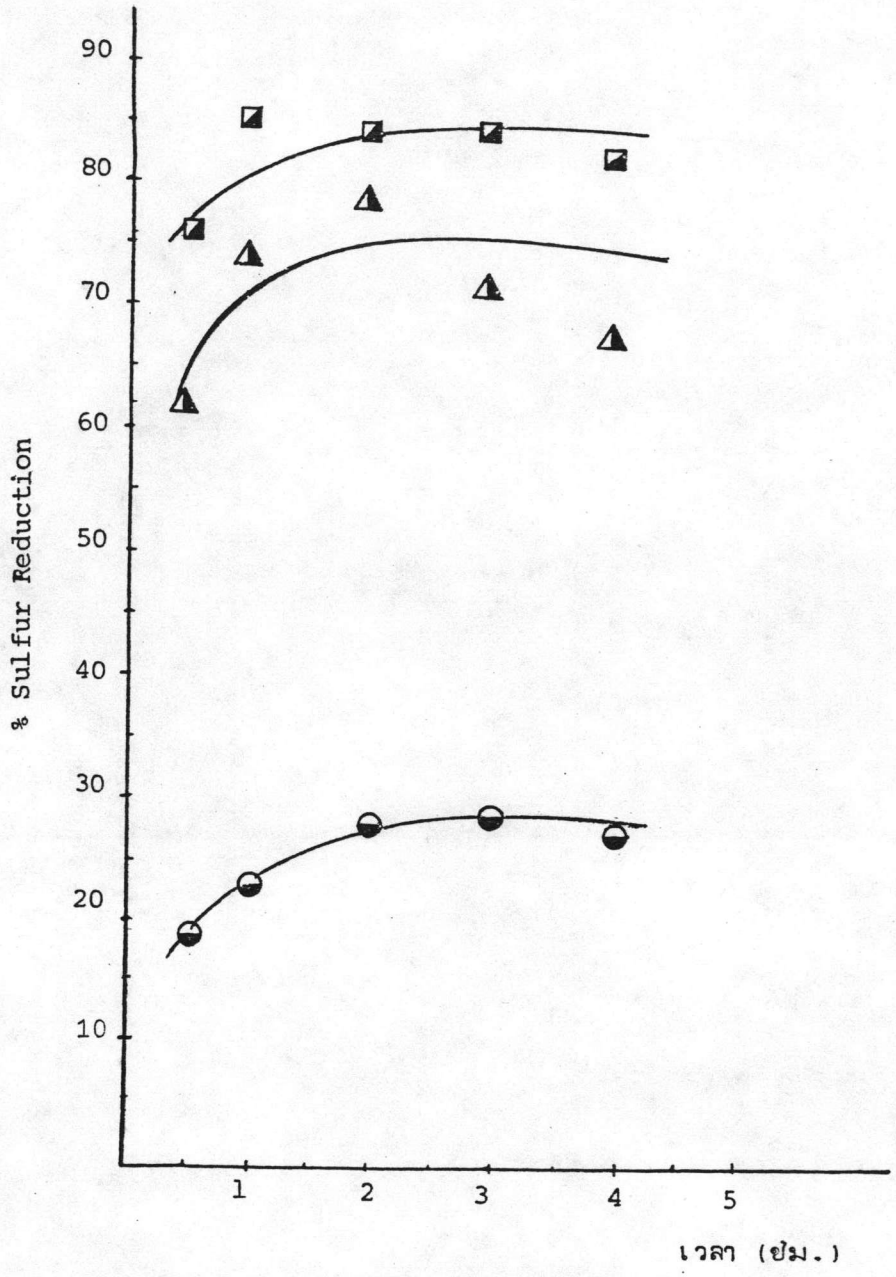
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเวลาที่มีผลต่อปฏิกิริยาขจัดกำมะถัน คือ 1 ชม. แม้ว่าการเพิ่มเวลาจะทำให้สามารถขจัดกำมะถันได้เพิ่มมากขึ้น คือเวลา 3 ชม. ก็ตาม แต่การเพิ่มเวลาทำให้สามารถเพิ่มการขจัดกำมะถันได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลา ในการขจัดกำมะถันในกระบวนการควรใช้เวลาเพียง 1 ชม. เท่านั้น ซึ่งในเวลา 1 ชม. นี้สามารถลดกำมะถันรวมได้ร้อยละ 22.86 ลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 73.81 และลดกำมะถัน



รูปที่ 4.5 ผลของเวลาที่มีต่อปริมาณเถ้าและค่าความร้อนของถ่านหิน แหล่งหวายเล็ก หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 100°ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.4 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.03 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของเถ้าเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▷ แสดงร้อยละของ Heating Value Recovery



รูปที่ 4.6 ผลของเวลาที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหิน แหล่งหวายเล็ก หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 100° ซ. ความเข้มข้นสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต 0.4 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 27.03 %)

◒ แสดง % De-S

◭ แสดง % De-pyrfte

◪ แสดง % De-sulfate

ซัลเฟตได้ร้อยละ 83.43 จากผลการทดลองทำให้ค่าความร้อนลดลงไปเพียงเล็กน้อย heating value recovery ประมาณร้อยละ 91.21 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้เพราะคุณภาพถ่านหินไม่ได้ลดลง (10) และการใช้ความเข้มข้นจาก 0.2 - 0.4 โมลาร์ ในการทดลองนี้สามารถลดกำมะถันไพไรต์สูงถึงร้อยละ 57.14 - 73.81 แสดงว่าสำหรับถ่านหินหวายเล็กความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.2 - 0.4 โมลาร์

4.2.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 4.6 แสดงสมบัติของถ่านหินแหล่งแม่ตีบที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไร-เซชัน ที่ความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนต 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมลาร์ โดยใช้ขนาดถ่านหิน 150 - 250 ไมครอน อุณหภูมิ 120^{0} ซ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อ 500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000 - 1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.60 %

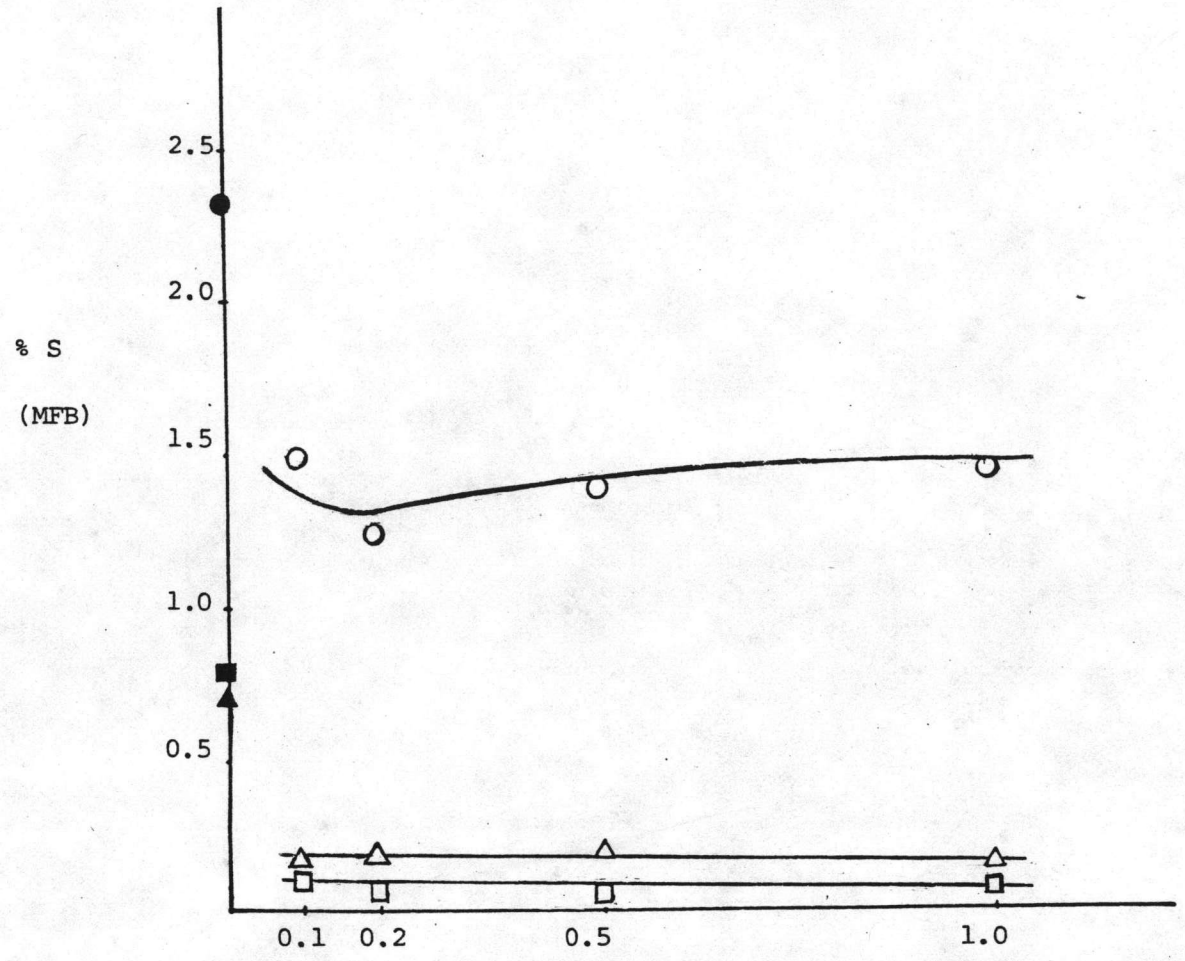
รูปที่ 4.7 แสดงผลของความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนตต่อการลดปริมาณกำมะถันรวม และกำมะถันรูปต่าง ๆ พบว่าที่ความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนต 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมลาร์ ร้อยละของกำมะถันรวมลดลงจากร้อยละ 2.32 เป็น 1.49, 1.24, 1.39 และ 1.44 ตามลำดับ การลดกำมะถันรวมที่ค่าความเข้มข้นต่างกันให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ให้ค่าร้อยละของกำมะถันรวมต่ำสุด

สำหรับผลของความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนตต่อการลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ไม่แตกต่างกันมากนัก ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ลดลงจากเดิม 0.71 เป็นร้อยละ 0.19 - 0.17 ในช่วงความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมลาร์ และผลของความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนตต่อการลดปริมาณกำมะถันซัลเฟตพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตให้ค่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟตไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับกำมะถันไพไรต์ ร้อยละของกำมะถันซัลเฟตลดลงจากเดิม 0.79 เป็นร้อยละ 0.06 - 0.10 อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 - 0.5 โมลาร์ ให้ค่าร้อยละกำมะถันซัลเฟตต่ำที่สุด

รูปที่ 4.8 แสดงผลของความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนตต่อปริมาณเถ้าและค่าความร้อน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้น โซเดียมคาร์บอเนตปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดเนื่องจากการสูญเสียปริมาณ

ตารางที่ 4.6 สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตีบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน ที่ความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนตต่าง ๆ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120° ซ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.60 %)

	เริ่มต้น	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (โมลาร์)			
		0.1	0.2	0.5	1.0
เถ้า	16.74	15.42	18.52	18.96	18.02
ค่าความร้อน (แคลอรี่/กรัม)	5386	5259	5260	5101	-
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	2.32	1.49	1.24	1.39	1.44
กำมะถันไพไรต์	0.71	0.19	0.21	0.21	0.17
กำมะถันอินทรีย์	0.82	1.20	1.14	1.12	1.19
กำมะถันซัลเฟต	0.79	0.10	0.06	0.06	0.08
% De-S	-	35.78	46.55	40.09	37.93
% De-pyrite	-	73.24	70.42	70.42	76.06
% De-sulfate	-	87.34	92.41	92.41	89.87
% Heating value recovery	-	97.64	97.66	94.71	-

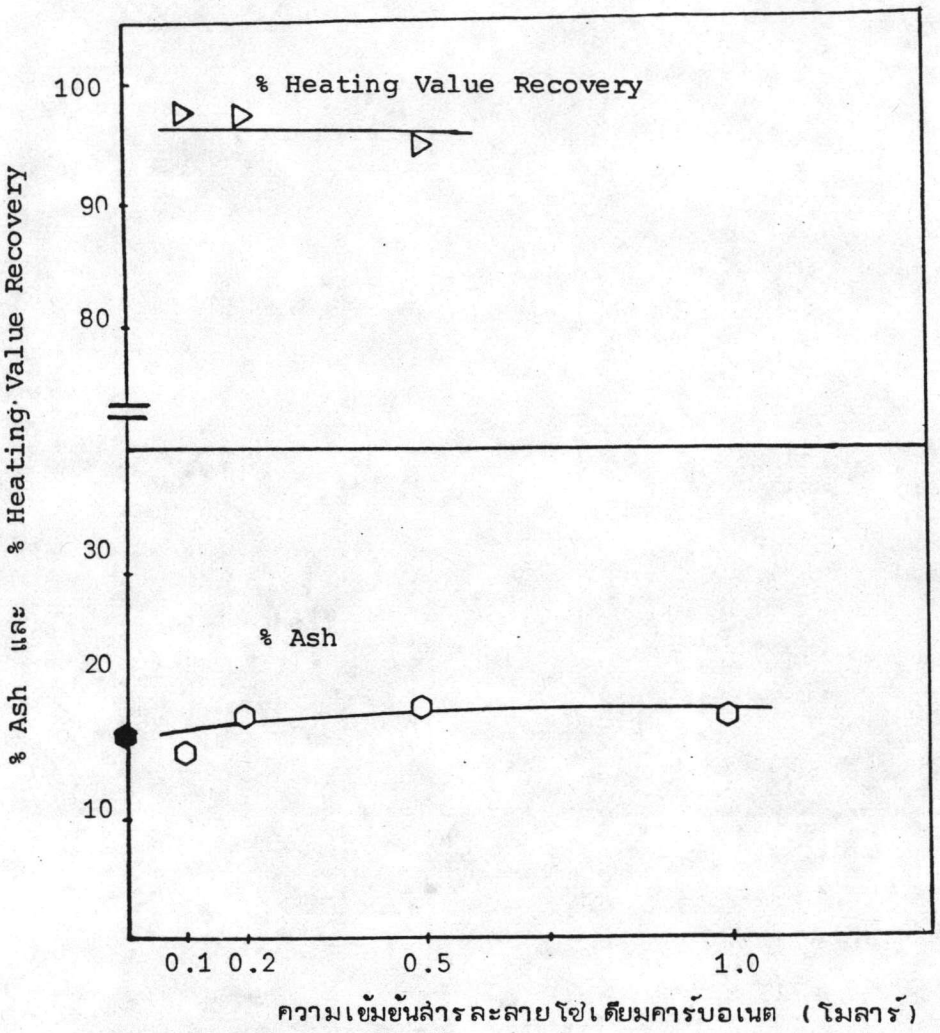


รูปที่ 4.7 ผลของความเข้มข้นโซเดียมคาร์บอเนตที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบ หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120° ซ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.60 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้น และหลังปฏิกิริยา

■ และ □ แสดงร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

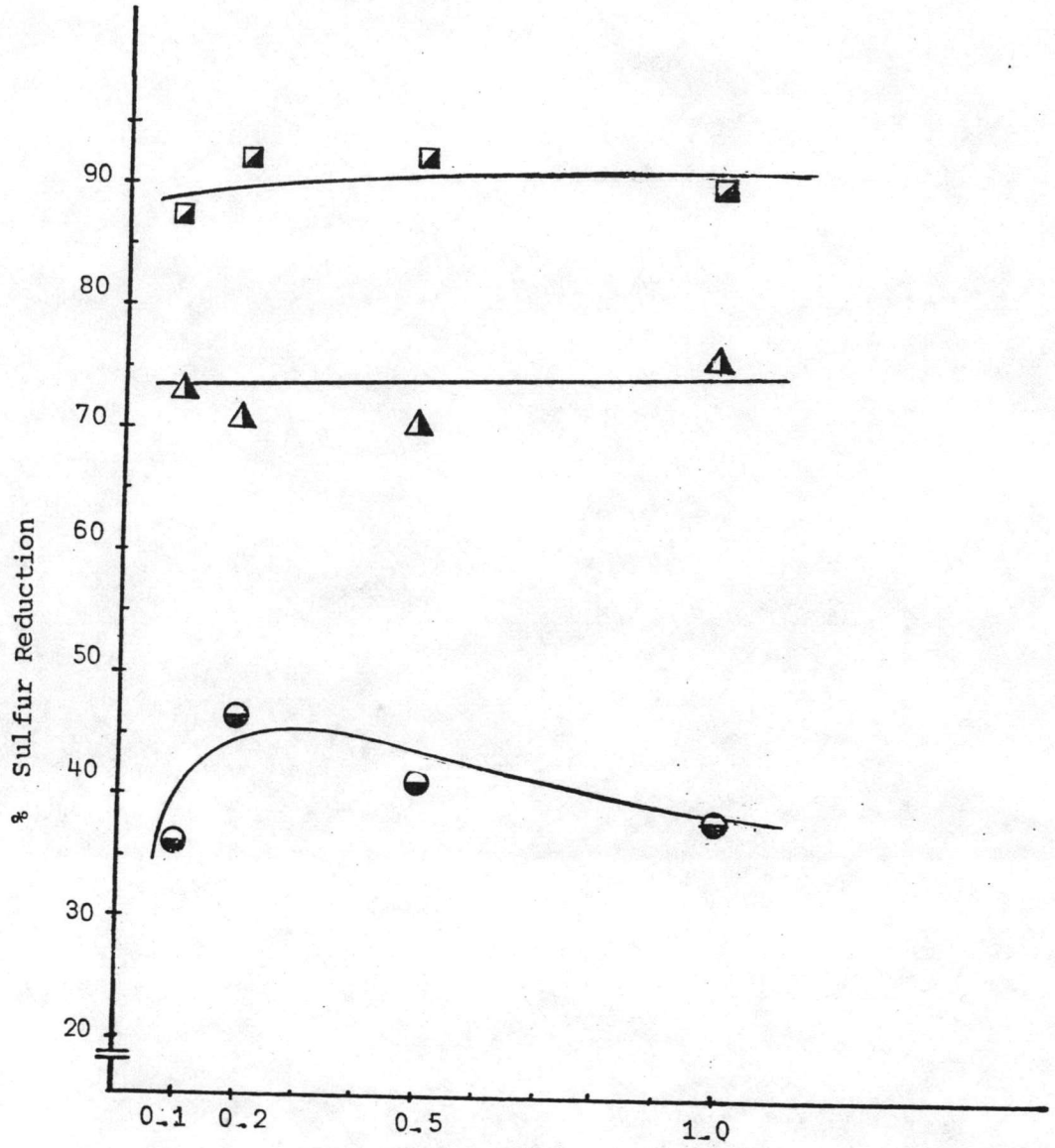
▲ และ △ แสดงร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา



รูปที่ 4.8 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ที่มีต่อปริมาณเถ้าและค่าความร้อนของถ่านหินแหล่งแม่ตีบหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120^{0}ซ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.60 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของเถ้าเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▷ แสดงร้อยละของ Heating Value Recovery



รูปที่ 4.9 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบหลังผ่านกระบวนการออกซิดีเฟอไร เซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120° ซ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลายเวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.60 %)

◒ แสดง % De-S

◭ แสดง % De-pyrite

◪ แสดง % De-sulfate

ถ่านหิน ซึ่งปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลาย ผลจากการสูญเสียปริมาณถ่านหินนี้ทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินหลังปฏิกิริยาลดลง (12,13,14) ค่าความร้อนลดลงจาก 5383 อยู่ในช่วง 5259 - 5101 แคลอรีต่อกรัม เมื่อเพิ่มความเข้มข้น โซเดียมคาร์บอเนตจาก 0.1 - 1.0 โมลาร์ ค่าความร้อนที่ลดลงเมื่อคำนวณเป็น heating value recovery แล้วอยู่ในช่วงร้อยละ 97.64 - 94.71 ซึ่งไม่ได้ทำให้คุณภาพถ่านหินลดลง (10)

รูปที่ 4.9 แสดงผลของโซเดียมคาร์บอเนตต่อการลดปริมาณกำมะถันในรูปของร้อยละของการลดปริมาณกำมะถันรวม กำมะถันไพไรต์และกำมะถันซัลเฟต พบว่าสามารถลดกำมะถันรวมได้มากที่สุดที่ร้อยละ 46.55 ที่ความเข้มข้น โซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ และพบว่าความเข้มข้นสูงกว่าเนื้อที่ 0.5 และ 1.0 โมลาร์ การขจัดกำมะถันจะลดลงเล็กน้อยอยู่ในช่วงร้อยละ 40.09 - 37.93 สำหรับการลดกำมะถันไพไรต์พบว่าการเพิ่มความเข้มข้น โซเดียมคาร์บอเนตในช่วง 0.1 - 1.0 โมลาร์ ไม่ทำให้การลดกำมะถันแตกต่างกันมากนัก สามารถลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ประมาณร้อยละ 73.54 และการลดกำมะถันซัลเฟตไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้น โซเดียมคาร์บอเนต สามารถลดกำมะถันซัลเฟตได้ประมาณร้อยละ 90.51

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมควรเป็น 0.2 โมลาร์ สำหรับถ่านหินแหล่งแม่ตีบเพราะให้ผลในการลดกำมะถันรวมมากที่สุดคือ ร้อยละ 46.55 ลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 70.42 และลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 92.41 นอกจากนี้ยังไม่ทำให้ค่าความร้อนลดลงไปมากนักเพราะได้ค่าร้อยละ heating value recovery เท่ากับ 97.66 แสดงว่าคุณภาพของถ่านหินยังคงเหมือนเดิม และสามารถลดกำมะถันออกไปจากถ่านหินได้

4.2.3 ผลของปริมาณถ่านหินที่ใช้ทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติของถ่านหินแหล่งแม่ตีบที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน ที่ปริมาณถ่านหิน 50, 100, และ 500 กรัม/500 มล. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120^{o} ซ ความดันออกซิเจน 3.85 กก./ตร.ซม. ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.66 %

ตารางที่ 4.7 สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตีบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการออกซิดีซัลเฟอไรเซชัน ที่ปริมาณถ่านหินต่อสารละลายต่าง ๆ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120° ซ ความดันออกซิเจน 3.85 กก./ตร.ซม. ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.66 %)

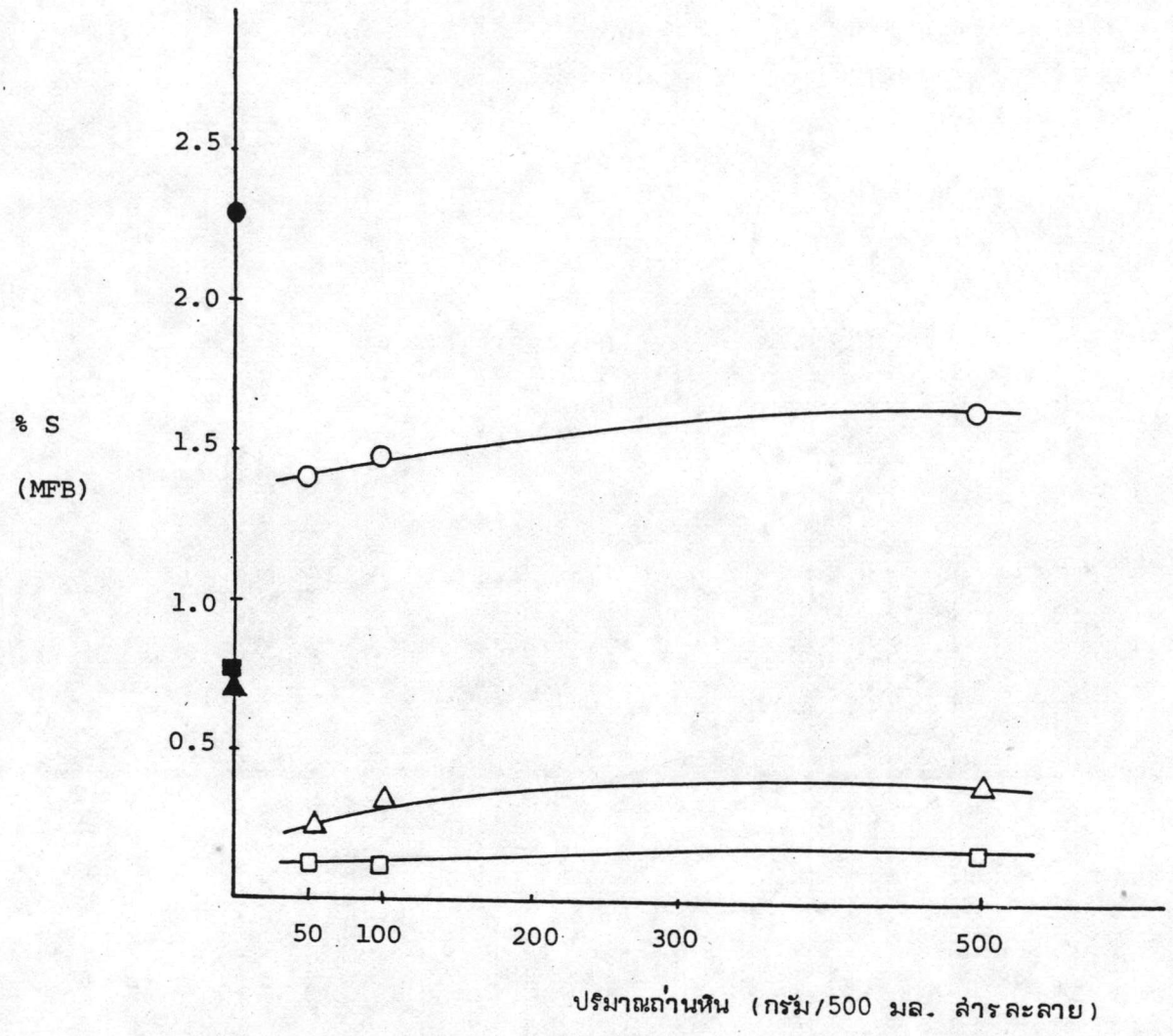
สมบัติถ่านหิน	เริ่มต้น	ปริมาณถ่านหิน (กรัม/500 มล.สารละลาย)		
		50	100	500
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	2.28	1.41	1.48	1.64
กำมะถันไพไรต์	0.71	0.24	0.33	0.37
กำมะถันอินทรีย์	0.82	1.06	1.04	1.10
กำมะถันซัลเฟต	0.75	0.11	0.11	0.17
% De-S	-	38.16	35.09	28.07
% De-pyrite	-	66.20	53.52	47.89
% De-sulfate	-	85.33	85.33	77.33

รูปที่ 4.10 แสดงผลของปริมาณถ่านหินที่ใช้ที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันรวมและกำมะถันรูปต่าง ๆ ในถ่านหิน พบว่า ร้อยละของกำมะถันรวมในถ่านหินหลังผ่านปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านหินในการทำปฏิกิริยา ค่าร้อยละของกำมะถันรวมอยู่ในช่วง 1.41-1.64 ร้อยละกำมะถันรวมลดมากที่สุดจาก 2.28 เป็น 1.41 ที่ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม ให้ค่าร้อยละของกำมะถันเป็น 1.48 ซึ่งไม่แตกต่างกับการใช้ปริมาณถ่านหิน 50 กรัมมากนัก

สำหรับผลของปริมาณถ่านหินที่ใช้ต่อการลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านหินในสารละลายทำให้การลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ลดลง สำหรับการใช้ปริมาณถ่านหิน 50, 100 และ 500 กรัม ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ ของถ่านหินหลังปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 0.24-0.37 ที่ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ลดลงมากที่สุดคือ จาก 0.71 เป็น 0.24 และร้อยละของกำมะถันไพไรต์เพิ่มเป็น 0.33 และ 0.37 สำหรับการใช้ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม และ 500 กรัม ตามลำดับ และสำหรับผลของปริมาณถ่านหินที่ใช้ต่อการลดปริมาณกำมะถันซัลเฟต พบว่าเพิ่มปริมาณถ่านหิน ร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเพิ่มเล็กน้อย เมื่อใช้ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม และ 100 กรัม ไม่ให้ผลแตกต่างของกำมะถันซัลเฟต และให้การลดปริมาณกำมะถันซัลเฟตจากร้อยละ 0.75 เป็น 0.11 การใช้ปริมาณถ่านหินในการทำปฏิกิริยาน้อย ทำให้เกิดการลดปริมาณกำมะถันซัลเฟตได้ดีขึ้น

รูปที่ 4.11 แสดงผลของปริมาณถ่านหินที่ใช้ที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันรวมในรูปของร้อยละของการลดกำมะถันรวม กำมะถันไพไรต์ และกำมะถันซัลเฟต พบว่าการใช้ปริมาณถ่านหินเพิ่มขึ้นจาก 50 , 100 และ 500 กรัม ตามลำดับ ทำให้ความสามารถในการลดกำมะถันรวมและกำมะถันไพไรต์ลดลง นั่นคือร้อยละของการลดกำมะถันรวมลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 38.16, 35.09 และ 28.07 ร้อยละของการลดกำมะถันไพไรต์อยู่ในช่วงร้อยละ 66.20, 53.52 และ 47.89 ตามลำดับ และสำหรับการลดกำมะถันซัลเฟตไม่ให้ผลแตกต่างกันมากนักอยู่ในช่วงร้อยละ 85.33 และ 77.33 ที่ปริมาณถ่านหิน 50, 100 และ 500 กรัมตามลำดับ

จากผลการทดลองการใช้ปริมาณถ่านหิน 50-100 กรัมให้ผลไม่แตกต่างมากนักในการลดปริมาณกำมะถัน ปริมาณถ่านหินที่เหมาะสมควรเป็น 100 กรัมต่อ 500 มล. สารละลาย แม้ว่าการใช้ปริมาณถ่านหิน 500 กรัมให้ผลในการขจัดกำมะถันต่ำเพียงร้อยละ 28.07 ใน

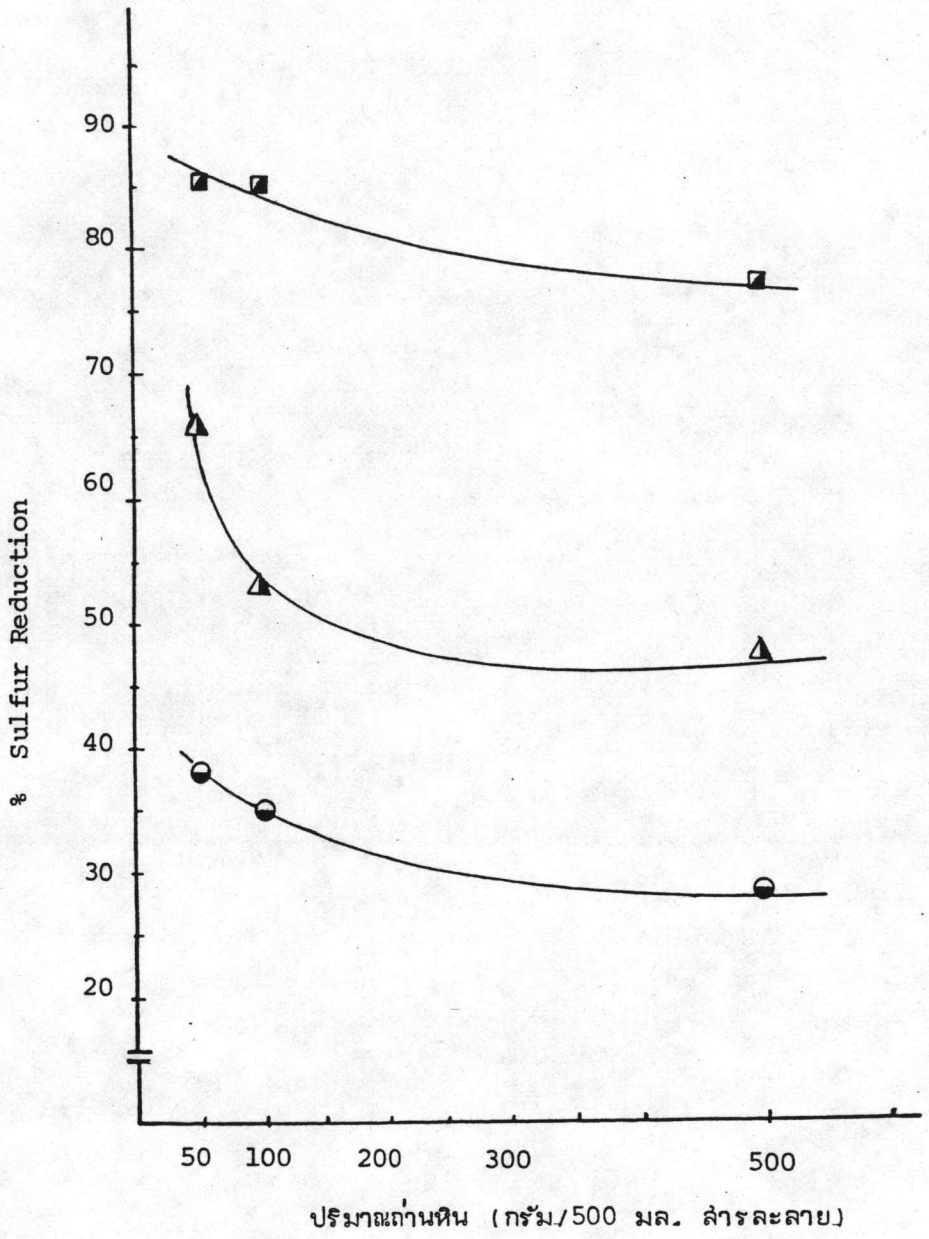


รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณถ่านหินที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบ หลังผ่านกระบวนการออกซิดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120° ซ ความดันออกซิเจน 3.85 กก./ตร.ซม. ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.66 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▲ และ △ แสดงร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

■ และ □ แสดงร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา



รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณถ่านหินที่มีผลต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหิน แหล่งแม่ตีบหลังผ่านกระบวนการออกซิดีอัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150 - 250 ไมครอน อุณหภูมิ 120° ซ ความดันออกซิเจน 3.85 กก./ตร.ซม.) ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.66 %)

◒ แสดง % De-S

◭ แสดง % De-pyrite

◪ แสดง % De-sulfate

ขณะที่ใช้ถ่านหิน 100 กรัม ให้ผลใกล้เคียงกับการใช้ถ่านหิน 50 กรัม ซึ่งความสามารถในการลดกำมะถันของการใช้ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม คือ สามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ร้อยละ 35.09 ลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 53.52 และลดปริมาณกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 85.33 การใช้ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ปริมาณถ่านหินยังขึ้นอยู่กับสมบัติของถ่านหินที่ต้องการและค่าใช้จ่ายด้วย เมื่อคำนึงถึงเหตุผลนี้ สามารถใช้ปริมาณถ่านหิน 500 กรัมได้

4:2.4 ผลของขนาดของถ่านหิน

ตารางที่ 4.8 แสดงสมบัติของถ่านหินแหล่งแม่ตีบที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไร-เซชัน ที่ขนาดถ่านหินเฉลี่ย 75, 200, 375, 625, 900 และ 1500 ไมครอน อุณหภูมิ 120^{0} ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %

รูปที่ 4.12 แสดงผลของขนาดถ่านหินที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันรวม และกำมะถันในรูปต่าง ๆ พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดถ่านหินเฉลี่ย ร้อยละของกำมะถันรวมของถ่านหินเพิ่มขึ้น นั่นคือความสามารถในการลดกำมะถันลดลง ในการใช้ถ่านหินขนาดเล็กสามารถขจัดกำมะถันได้สูงคือ ลดปริมาณกำมะถันรวมจากเดิมร้อยละ 2.65 เป็น 1.41 และ 1.42 ที่ขนาดถ่านหินเฉลี่ย 75 และ 200 ไมครอน ซึ่งทั้งสองขนาดนี้ให้ผลใกล้เคียงกันหรือแทบไม่แตกต่างกันเลย หลังจากเพิ่มขนาดเฉลี่ยเป็น 325, 625, 925 และ 1500 ไมครอน ร้อยละกำมะถันเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก คืออยู่ในช่วง 1.60-1.73 ดังนั้นการใช้ถ่านหินขนาดเล็ก กำมะถันถูกขจัดได้ดีกว่า เนื่องจากอนุภาคถ่านหินขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่า และ เนื่องจากผิวของถ่านหินเป็นรูพรุน การที่ถ่านหินมีขนาดเล็กทำให้สารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต สามารถซึมผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับกำมะถันได้ดีกว่าถ่านหินขนาดใหญ่ (internal diffusion) นอกจากนี้การนำถ่านหินขนาดเล็กมาทำปฏิกิริยา กำมะถันที่แทรกอยู่ในเนื้อถ่านหินจะแยกตัวเป็นอิสระมากกว่าถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นปฏิกิริยาของถ่านหินขนาดเล็กจึงเกิดดีกว่า

สำหรับผลของขนาดของถ่านหินที่มีต่อปริมาณกำมะถันไพไรต์ พบว่าเมื่อถ่านหินมีขนาดเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละของกำมะถันไพไรต์เพิ่มมากขึ้น นั่นคือความสามารถในการขจัดกำมะถันลดลงร้อยละของกำมะถันไพไรต์ในถ่านหินอยู่ในช่วง 0.20 - 0.23 เมื่อขนาดถ่านหินเฉลี่ย 75,

ตารางที่ 4.8 สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตีบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไร-เซชัน ที่ขนาดถ่านหินต่าง ๆ (อุณหภูมิ 120° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สาร-ละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 15.12 %)

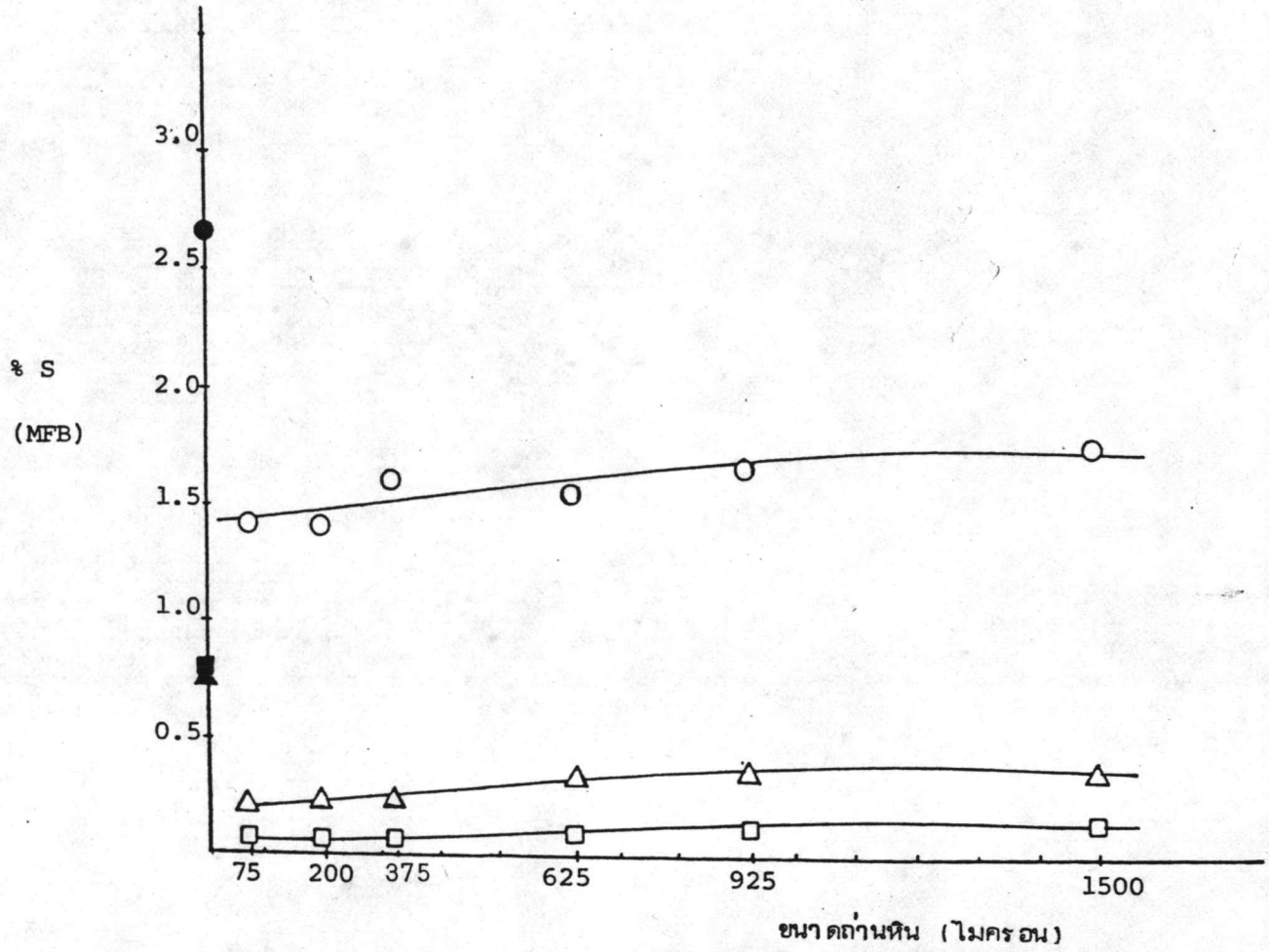
สมบัติถ่านหิน	เริ่มต้น (<250)	ขนาดถ่านหินเฉลี่ย (ไมครอน)					
		-150	150-250 (200)	250-500 (375)	500-850 (625)	850-1000 (925)	1000-2000 (1500)
เถ้า (%)	16.68	17.73	15.97	17.99	17.29	16.67	16.87
ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	5386	4792	4898	4540	4960	5031	5032
ปริมาณกำมะถันรวม(%)	2.65	1.41	1.42	1.60	1.55	1.65	1.73
กำมะถันไพไรต์	0.75	0.20	0.22	0.23	0.33	0.34	0.35
กำมะถันอินทรีย์	1.13	1.15	1.14	1.32	1.15	1.21	1.27
กำมะถันซัลเฟต	0.77	0.06	0.06	0.05	0.07	0.10	0.11
% De-S	-	47.79	46.42	39.62	41.51	37.74	34.72
% De-pyrite	-	73.33	70.67	69.33	56.00	54.67	53.33
% De-sulfate	-	92.21	92.21	93.51	90.91	87.01	85.71
% Heating value recovery	-	88.97	90.87	84.29	92.09	93.41	93.43

หมายเหตุ ( ) หมายถึงขนาดถ่านหินเฉลี่ย

200 และ 375 ไมครอน นั่นคือความสามารถในการลดกำมะถันในถ่านหินขนาดช่วงนี้ไม่แตกต่างกัน สามารถลดกำมะถันของกำมะถันไพไรต์จาก 0.75 เป็น 0.20 - 0.23 และพบว่าหลังจากขนาดเฉลี่ยถ่านหิน 625, 375 และ 1500 ไมครอน ร้อยละของกำมะถันไพไรต์จะเพิ่มเป็น 0.33 - 0.35 ซึ่งในช่วงหลังนี้ความสามารถในการลดกำมะถันไพไรต์ไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน และสำหรับผลของขนาดถ่านหินที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันซัลเฟต พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดเฉลี่ยของถ่านหินทำให้ความสามารถในการขจัดกำมะถันซัลเฟตลดลง เช่นเดียวกับกำมะถันไพไรต์ พบว่าเมื่อใช้ขนาดเฉลี่ยถ่านหินตั้งแต่ 75, 200, 375, 625, 925 และ 1500 ไมครอน ตามลำดับ สามารถลดกำมะถันซัลเฟตให้เหลือในถ่านหินในช่วงร้อยละ 0.05 - 0.11

รูปที่ 4.13 แสดงผลของถ่านหินขนาดต่าง ๆ ที่มีต่อปริมาณเถ้า และค่าความร้อน ผลคือปริมาณเถ้าของถ่านหินเพิ่มขึ้น และค่าความร้อนลดลงในถ่านหินขนาดเล็ก 75, 200, 375 และ 625 ไมครอน ร้อยละของปริมาณเถ้าเพิ่มจาก 16.68 เป็น 17.67 เมื่อเพิ่มขนาดเป็น 925-1500 ไมครอน ร้อยละของปริมาณเถ้าใกล้เคียงกับปริมาณเถ้าในถ่านหินเริ่มต้น ร้อยละของปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากสูญเสียปริมาณถ่านหิน อย่างไรก็ตามพบว่าการสูญเสียถ่านหินไม่มากนัก เนื่องจากปริมาณเถ้าไม่สูงมากนัก เหตุผลนี้สอดคล้องกับค่าความร้อนของถ่านหิน ซึ่งลดลงมาก เมื่อใช้ถ่านหินขนาดเล็ก 75 ไมครอน ค่าความร้อนลดลงจาก 5386 เป็น 4792 แคลอรี่ต่อกรัม เมื่อคิดเป็นร้อยละของ heating value recovery พบว่าเท่ากับร้อยละ 88.97 เมื่อเพิ่มขนาดถ่านหินจาก 200, 375, 625, 925 และ 1500 ไมครอน ค่าความร้อนลดลงเป็น 4894-5032 เมื่อคิดเป็นร้อยละของ heating value recovery เท่ากับ 90.87-93.43

รูปที่ 4.14 แสดงผลของการลดปริมาณกำมะถันในรูปของร้อยละของการลดปริมาณกำมะถันรวม กำมะถันไพไรต์และกำมะถันซัลเฟต พบว่า ถ่านหินขนาดเฉลี่ย 75 และ 200 ไมครอน ให้ผลในการลดกำมะถันรวมได้เท่ากันคือประมาณร้อยละ 46.79 หลังจากนั้นการเพิ่มขนาดถ่านหินเฉลี่ย 375 625, 925 และ 1500 ไมครอน สามารถลดกำมะถันได้ลดลงคือลดได้ประมาณร้อยละ 39.62-34.72 สำหรับการลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ พบว่าขนาดถ่านหินเฉลี่ย 75, 200 และ 375 ไมครอน สามารถลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ได้สูง และใกล้เคียงกันคือร้อยละ 73.33-69.33 ซึ่งลดได้มากที่สุดคือร้อยละ 73.33 เมื่อใช้ถ่านหินขนาดเฉลี่ย

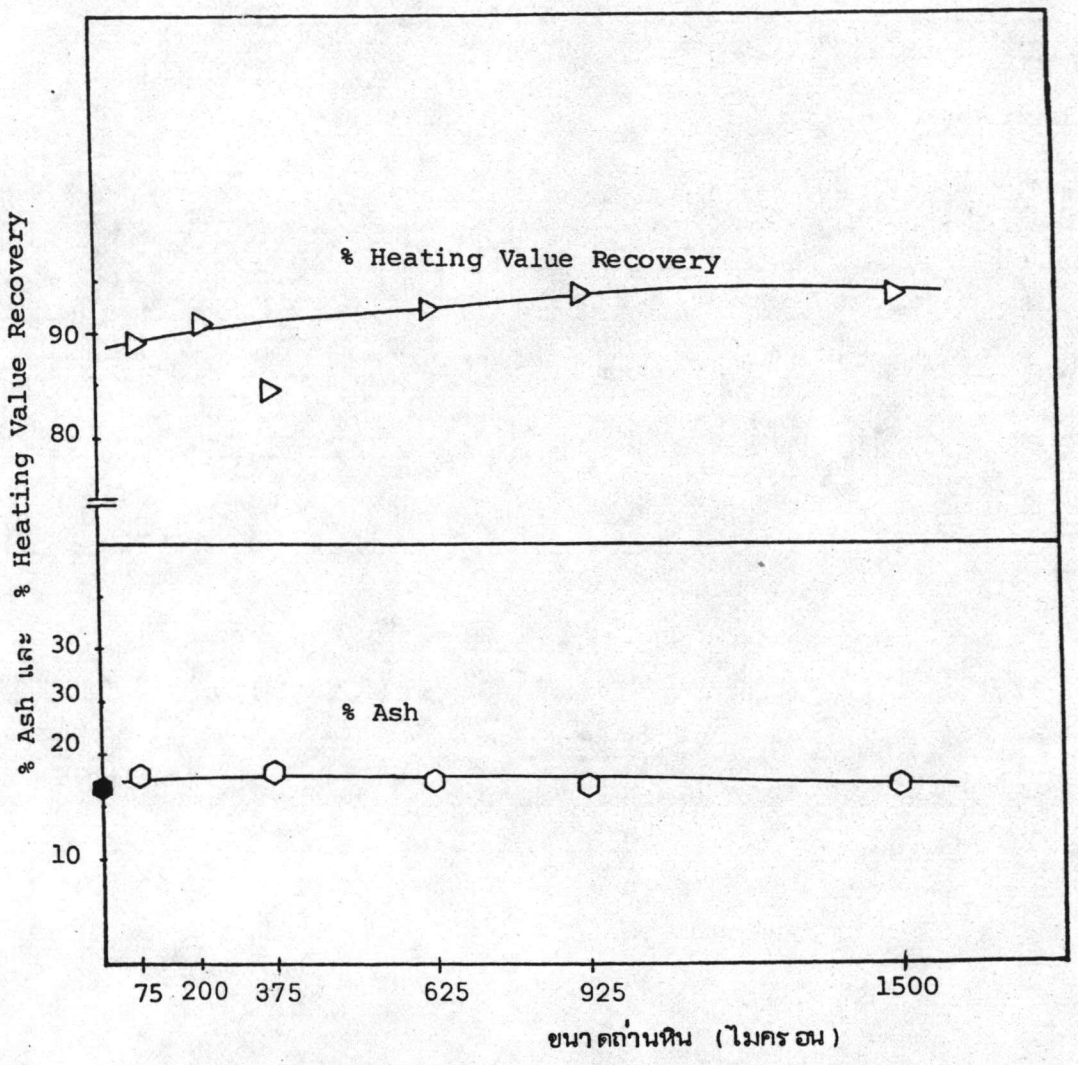


รูปที่ 4.12 ผลของขนาดถ่านหินที่มีผลต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหิน แหล่งแม่ตีบหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (อุณหภูมิ 120° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▲ และ △ แสดงร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

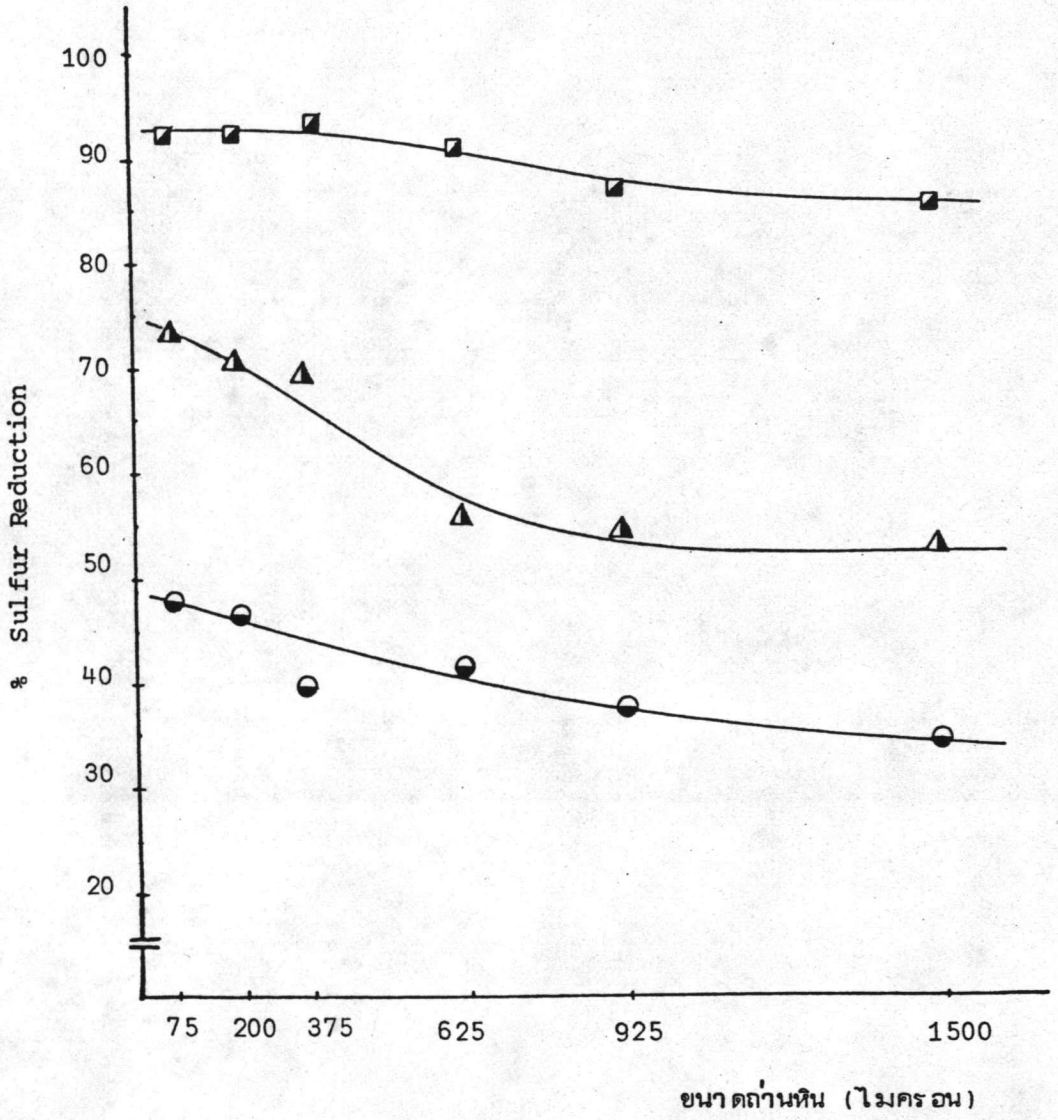
■ และ □ แสดงร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา



รูปที่ 4.13 ผลของขนาดของถ่านหินที่มีผลต่อปริมาณเถ้าและค่าความร้อนในถ่านหินแหล่งแม่ตีบหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (อุณหภูมิ 120° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/-500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/-นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของเถ้าเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▷ แสดงร้อยละของ Heating Value Recovery



รูปที่ 4.14 ผลของขนาดถ่านหินที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (อุณหภูมิ 120^{0}ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

◒ แสดง % De-S

◭ แสดง % De-pyrite

◪ แสดง % De-sulfate

75 ไมครอน หลังจากเพิ่มขนาดถ่านหินเฉลี่ยเป็น 625, 900 และ 1500 ไมครอน ความสามารถในการลดกำมะถันไพไรต์ จะลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 56.00-53.33 และสำหรับร้อยละของการลดกำมะถันซัลเฟต พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดเฉลี่ยของถ่านหินจาก 75, 200, 375, 625, 925 และ 1500 ไมครอน จะให้ผลในการลดกำมะถันซัลเฟต ได้ใกล้เคียงกันคือประมาณร้อยละ 85.71-93.51 สรุปได้ว่าขนาดเฉลี่ยของถ่านหินในช่วง 75-1500 ไมครอน ไม่มีผลต่อการลดปริมาณกำมะถันซัลเฟต

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อบดถ่านหินให้มีขนาดเล็กมาก ๆ จะสามารถลดกำมะถันได้สูง ซึ่งขนาดที่เล็กที่ทำให้เกิดการลดกำมะถันได้ดีมากอยู่ในช่วง 75-200 ไมครอน ซึ่งแม้ว่าจะเป็นขนาดที่สามารถขจัดกำมะถันได้สูงมากก็ตาม อาจไม่ใช่ขนาดที่เหมาะสมในกระบวนการและการใช้งานก็ได้ ถ้าต้องการให้มีปริมาณกำมะถันในถ่านหินน้อยที่สุดให้ใช้ขนาดถ่านหินเฉลี่ยน้อยกว่า 200 ไมครอน ซึ่งไม่จำเป็นต้องให้เล็กมากเท่ากับ 75 ไมครอน ซึ่งในช่วงขนาดเฉลี่ย 200 ไมครอน (0.2 มิลลิเมตร) นี้ ทำให้สามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้มากที่สุดคือร้อยละ 46.42 ลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 70.67 ลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 92.21 และ heating value recovery ไม่ต่ำมากอยู่ในช่วง ร้อยละ 90.87 หรือเพื่อสะดวกในการใช้งานที่ต้องการถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ ตัวอย่างขนาดถ่านหินเฉลี่ย 1500 ไมครอน (1.5 มิลลิเมตร) ก็ให้ผลในการลดกำมะถันได้ดีพอสมควรคือ สามารถลดกำมะถันรวมได้ร้อยละ 34.72 ลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 85.71 ลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 53.33 ดังนั้นพอที่จะสรุปได้ว่าขนาดถ่านหินที่เหมาะสมคือขนาดถ่านหินที่เหมาะกับการใช้งาน หรือสมบัติของถ่านหินที่ต้องการนั่นเอง

4.2.5 ผลของอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.9 แสดงสมบัติของถ่านหินแหล่งแม่ตีบที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชันที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120 ^{o} ซ โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที เวลา 1 ชม. ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %

รูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันรวมและกำมะถันในรูปต่าง ๆ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของดีซัลเฟอไรเซชัน ร้อยละของกำมะถันรวมของ

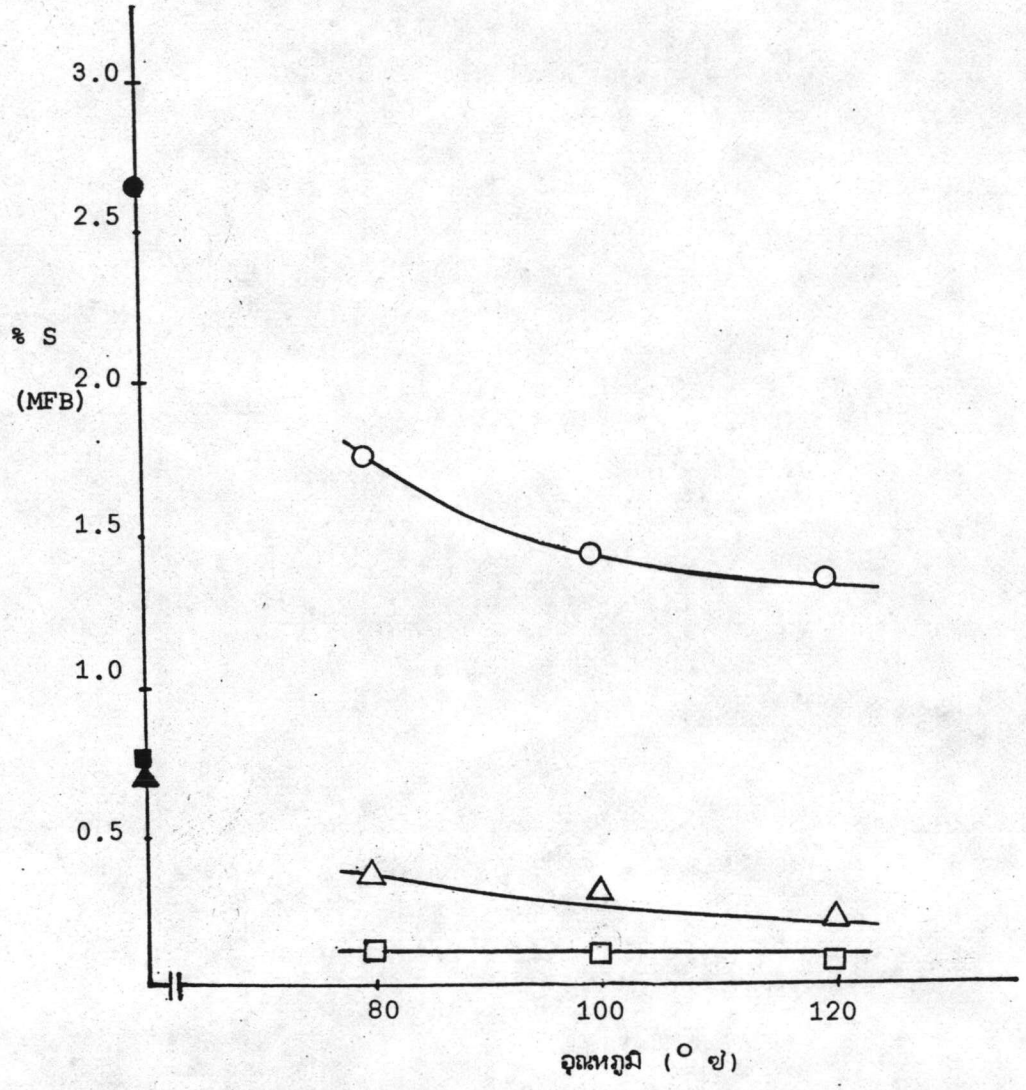
ตารางที่ 4.9 สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตีบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไร-เซชัน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที เวลา 1 ชม. ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

สมบัติถ่านหิน	เริ่มต้น	อุณหภูมิ ($^{\circ}$ ซ)		
		80	100	120
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	2.65	1.75	1.42	1.34
กำมะถันไพไรต์	0.69	0.38	0.31	0.21
กำมะถันอินทรีย์	1.19	1.26	1.03	1.15
กำมะถันซัลเฟต	0.77	0.11	0.08	0.06
% De-S	-	33.96	46.42	52.08
% De-pyrite	-	44.92	55.07	69.57
% De-sulfate	-	85.71	89.61	92.21

ถ่านหินอยู่ในช่วง 1.75-1.34 เมื่อใช้อุณหภูมิ 80 ^{o} ซ สามารถลดปริมาณกำมะถันจากร้อยละ 2.65 เป็น 1.75 คิดเป็นร้อยละของการลดกำมะถันรวมเท่ากับ 33.96 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 100 ^{o} ซ สามารถลดกำมะถันรวมจากร้อยละ 2.65 เป็น 1.34 และพบว่าอุณหภูมิ 100-120 ^{o} ซ การลดปริมาณกำมะถันไม่แตกต่างกันมากนัก สามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ร้อยละ 46.42-52.08 แสดงว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 100-120 ^{o} ซ แม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการขจัดกำมะถันดียิ่ง แต่การเพิ่มอุณหภูมิสูงมากเกินไปอาจทำให้เกิดผลเสียสำหรับถ่านหินที่มีลำดับต่ำ เพราะถ่านหินสามารถละลายได้ดีในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตหรือสารละลายด่างที่ร้อน และที่อุณหภูมิสูง ๆ อาจทำให้เกิดการสลาย (decompose) โครงสร้างของถ่านหินทำให้สูญเสียปริมาณและสมบัติของถ่านหินเช่นค่าความร้อนลดลงได้ (12, 13, 14)

สำหรับผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิร้อยละของกำมะถันไพไรต์ในถ่านหินมีแนวโน้มลดลง ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ลดลงจากเดิม 0.69 เป็น 0.38 เมื่อใช้อุณหภูมิ 80 ^{o} ซ และลดลงเป็น 0.21 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 120 ^{o} ซ แสดงว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสามารถขจัดกำมะถันไพไรต์ได้ดียิ่ง ร้อยละของการลดปริมาณกำมะถันไพไรต์อยู่ในช่วง 44.92-69.57 อย่างไรก็ตามการลดกำมะถันไพไรต์ต้องดูผลที่มีต่อถ่านหินในแง่อื่นด้วยคือ การสูญเสียปริมาณถ่านหินจากการละลาย และการสลายตัวของโครงสร้างของถ่านหิน และสำหรับผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันซัลเฟต พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิร้อยละของกำมะถันซัลเฟต มีแนวโน้มลดลง ร้อยละของกำมะถันซัลเฟตลดลงจากร้อยละ 0.77 เป็นร้อยละ 0.11-0.06 สำหรับอุณหภูมิ 80-100-120 ^{o} ซ แสดงว่าการลดปริมาณกำมะถันซัลเฟตไม่แตกต่างกัน สำหรับอุณหภูมิต่างกัน นั่นคือสามารถลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 85.71-92.21

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขจัดกำมะถันควรเป็นอุณหภูมิ 100-120 ^{o} ซ เนื่องจากสามารถลดกำมะถันรวมได้สูงสุดร้อยละ 46.42-52.08 และลดกำมะถันไพไรต์ได้สูงร้อยละ 55.07-69.57 ลดกำมะถันซัลเฟตได้เกือบหมดคือลดได้ร้อยละ 89.61-92.21 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของถ่านหินแล้วพบว่าได้ถ่านหินที่ละอายขึ้นปริมาณกำมะถันลดน้อยลงและอุณหภูมิ 100-120 ^{o} ซ ไม่สูงมากนักในการสลายถ่านหินและการละลายของถ่านหินในสารละลายด่างอุณหภูมินี้จึงใช้ได้ในการขจัดกำมะถัน

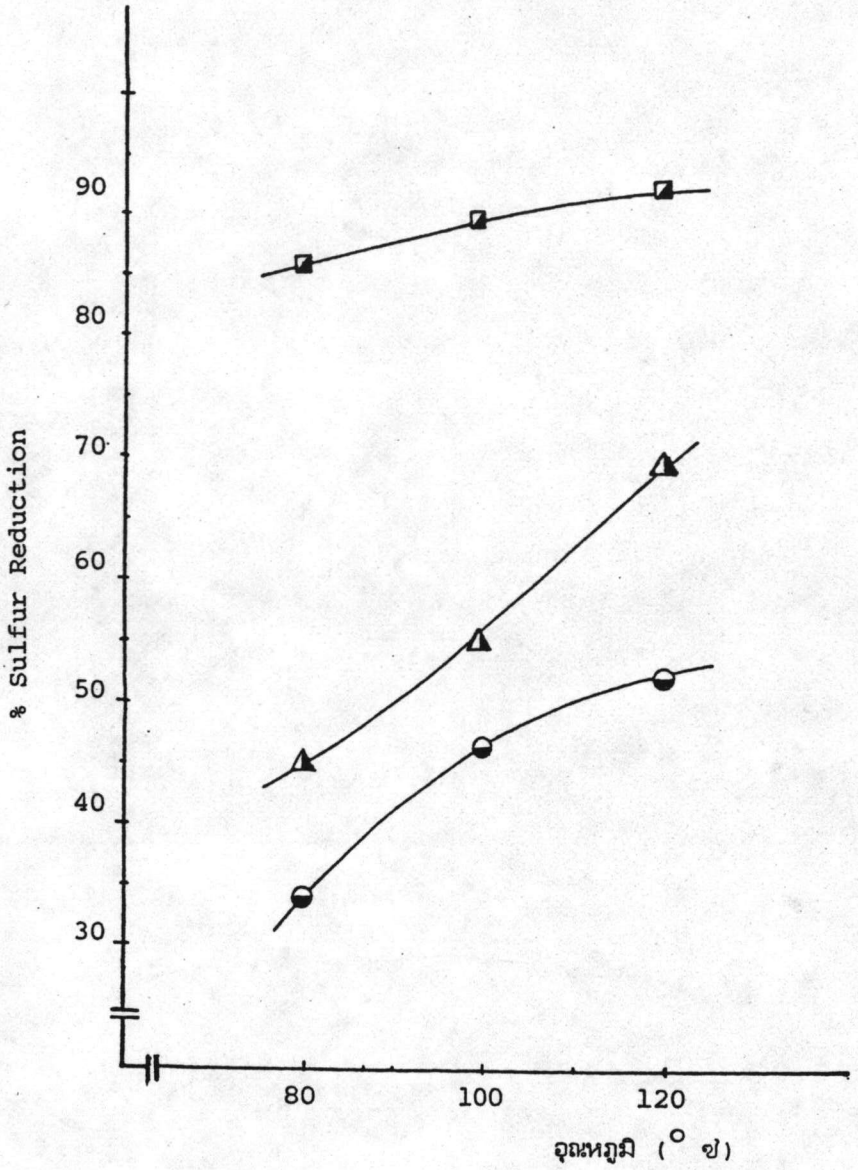


รูปที่ 4.15 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบ หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70%)

● และ ○ แสดงร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้น และหลังปฏิกิริยา

▲ และ △ แสดงร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

■ และ □ แสดงร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา



รูปที่ 4.16 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบ หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที เวลา 1 ชม. ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

◒ แสดง % De-S

◭ แสดง % De-pyrite

◪ แสดง % De-sulfate

4.2.6 ผลของความดันออกซิเจน

การทดลองเพื่อศึกษาผลของความดันออกซิเจนได้ทำการทดลอง 2 การทดลองคือ การทดลองแรกใช้ถ่านหินแหล่งหวายเล็ก การทดลองที่สองใช้ถ่านหินแหล่งแม่ตีบ

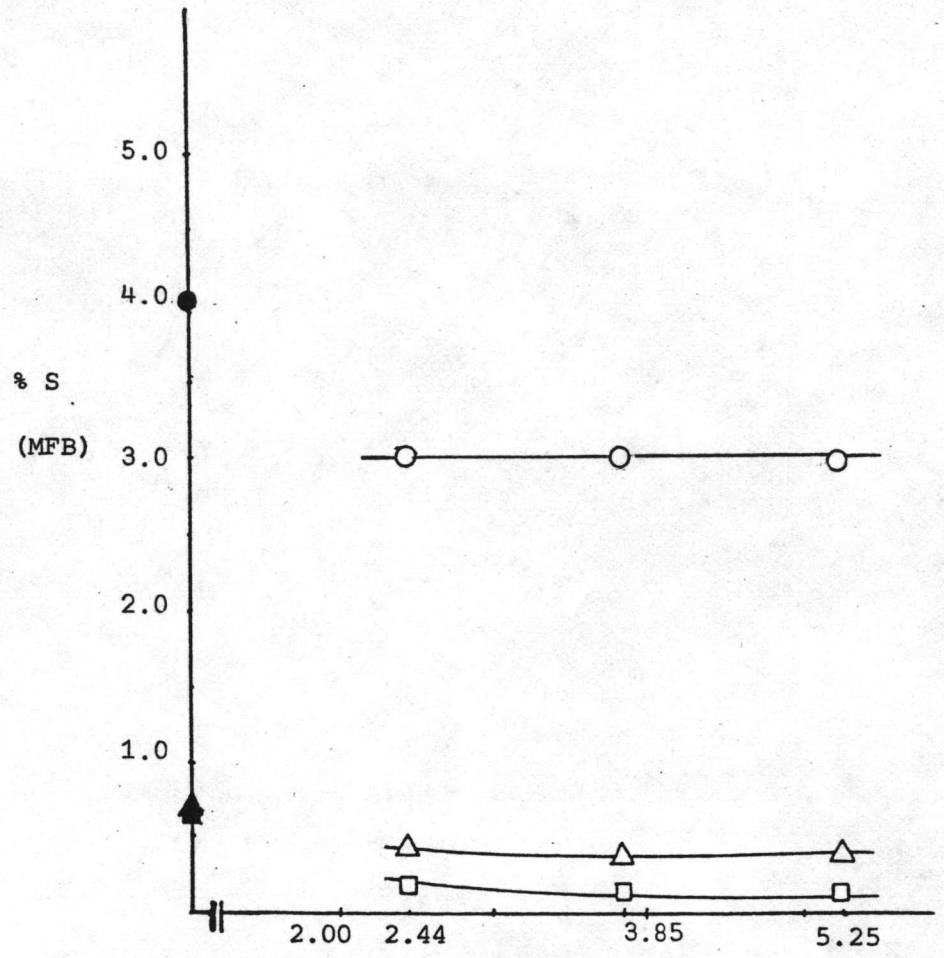
ตารางที่ 4.10 แสดงสมบัติของถ่านหินแหล่งหวายเล็กที่ผ่านกระบวนการออกซิดีซัลเฟอไรเซชัน ที่ความดันออกซิเจน 2.44, 3.85 และ 5.25 กก./ตร.ซม. (ความดันเกจ) ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 80° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.56 %

รูปที่ 4.17 และ 4.19 แสดงผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันรวมและกำมะถันในรูปต่าง ๆ พบว่าการใช้ความดันออกซิเจน 2.44 กก./ตร.ซม. สามารถลดกำมะถันรวมจากเดิมร้อยละ 4.00 เป็น 3.01 หลังจากนั้นเพิ่มความดันออกซิเจนเป็น 3.85-5.25 กก./ตร.ซม. ร้อยละของกำมะถันในถ่านหินเท่ากับ 3.00 คิดเป็นร้อยละของการลดปริมาณกำมะถันรวมประมาณ 24.75-25.00 เมื่อเปลี่ยนความดันออกซิเจน 2.44, 3.85 และ 5.25 กก./ตร.ซม. แสดงว่าการเพิ่มความดันออกซิเจนไม่สามารถลดกำมะถันรวมได้มากขึ้น อาจเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ต่ำเกินไปคือใช้เพียง 80° ซ เท่านั้น

สำหรับผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ พบว่าการเพิ่มความดันออกซิเจนไม่ให้ผลแตกต่างของปริมาณกำมะถันไพไรต์ ในถ่านหินเลย ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ในถ่านหินลดลงจาก 0.70 เป็น 0.45 เมื่อใช้ความดันออกซิเจน 2.44 กก./ตร.ซม. หลังจากนั้นการเพิ่มความดันออกซิเจนเป็น 3.85-5.25 กก./ตร.ซม. ให้ปริมาณกำมะถันไพไรต์ประมาณร้อยละ 0.40-0.42 คิดเป็นร้อยละของการลดกำมะถันไพไรต์ประมาณร้อยละ 39.52 และสำหรับผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันซัลเฟต พบว่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟตลดลงจากเดิม 0.66 เป็น 0.18 ที่ความดันออกซิเจน 2.44 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มความดันออกซิเจนเป็น 3.85 - 5.25 กก./ตร.ซม. ร้อยละของกำมะถันซัลเฟตลดลงเป็น 0.15 อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า ร้อยละของกำมะถันซัลเฟตไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเพิ่มความดันออกซิเจนสามารถลดกำมะถันซัลเฟตได้ประมาณร้อยละ 75.76

ตารางที่ 4.10 สมบัติถ่านหินแหล่งหวายเล็ก (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน ที่ความดันออกซิเจนต่าง ๆ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 80° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.56 %)

สมบัติถ่านหิน	เริ่มต้น	ความดันออกซิเจน (กก./ตร.ซม.)		
		2.44	3.85	5.25
เถ้า (%)	15.59	18.46	18.02	17.95
ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	5643	5022	5269	5116
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	4.00	3.01	3.01	3.00
กำมะถันไพไรต์	0.70	0.45	0.40	0.42
กำมะถันอินทรีย์	2.64	2.38	2.46	2.43
กำมะถันซัลเฟต	0.66	0.18	0.15	0.15
% De-S	-	24.75	24.75	25.00
% De-pyrite	-	35.71	42.86	40.00
% De-sulfate	-	72.73	77.27	77.27
% Heating value recovery	-	88.96	93.97	90.66

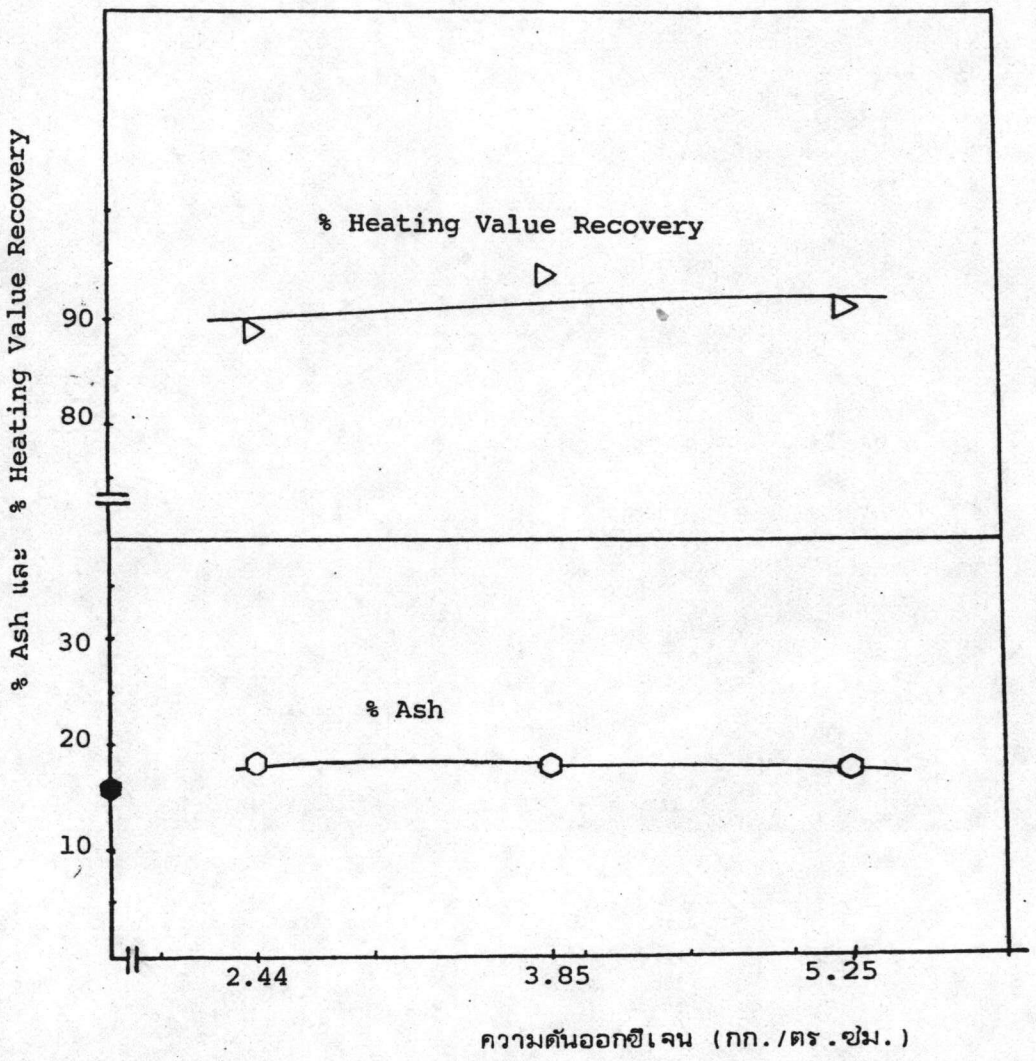


รูปที่ 4.17 ผลของความดันออกซิเจนที่มีผลต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งหวายเล็กหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 80° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▲ และ △ แสดงร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

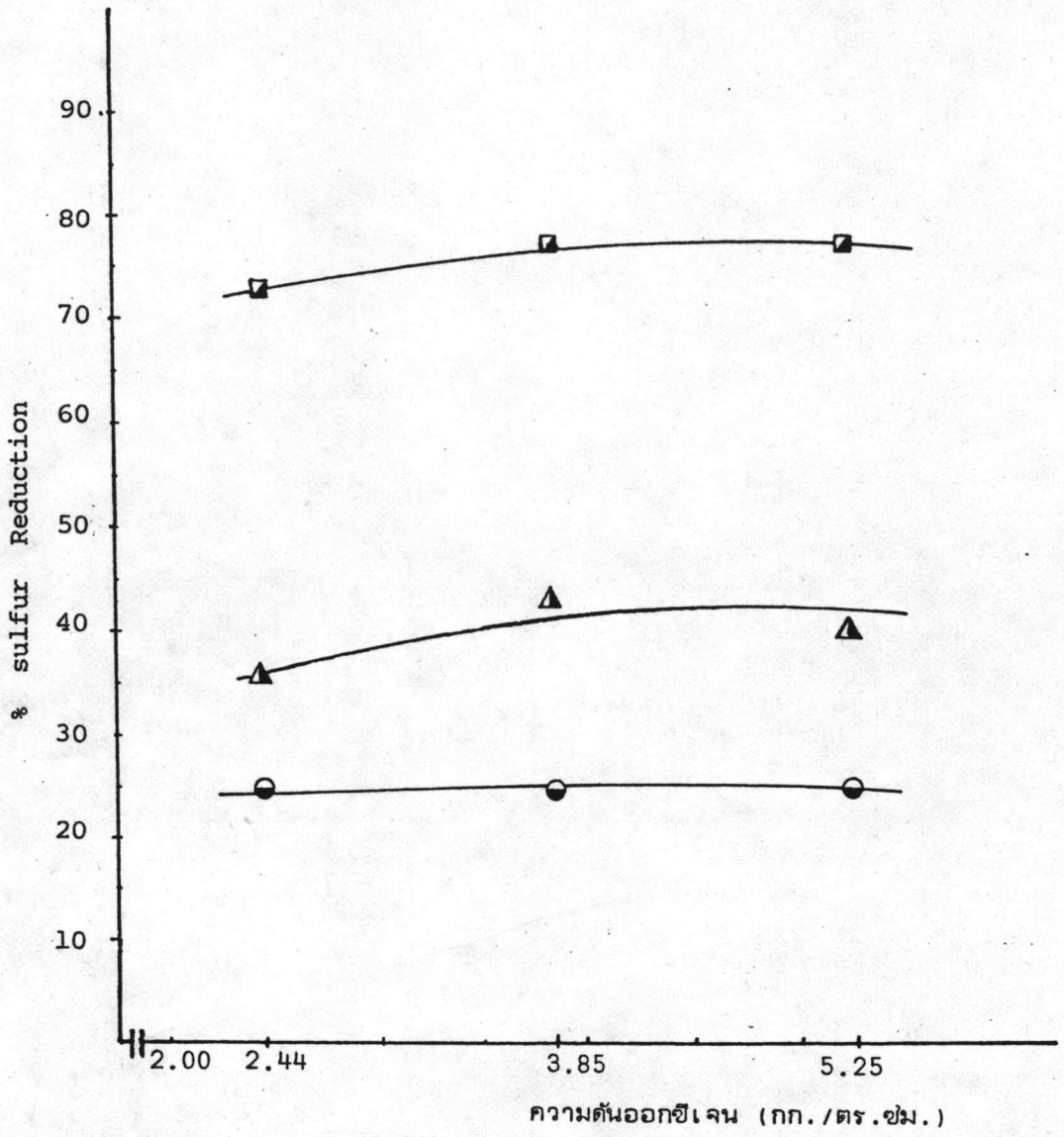
■ และ □ แสดงร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา



รูปที่ 4.18 ผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อปริมาณเถ้าและค่าความร้อนของถ่านหินแหล่งหวายเล็ก หลังผ่านกระบวนการออกซิดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 80^{o} ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/-500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.56 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของปริมาณเถ้าเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▷ แสดงร้อยละของ Heating Value Recovery



รูปที่ 4.19 ผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งหวายเล็กหลังผ่านกระบวนการออกซิดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 80° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.56 %)

◒ แสดง % De-S

◭ แสดง % De-pyrite

◪ แสดง % De-sulfate

สำหรับผลของความดันออกซิเจนต่าง ๆ ที่มีต่อปริมาณเถ้าและค่าความร้อนแสดงในรูปที่ 4.18 พบว่าปริมาณเถ้าในถ่านหินเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 15.59 เป็นร้อยละประมาณ 18.14 ร้อยละของเถ้าเพิ่มขึ้นจากการสูญเสียปริมาณถ่านหินไปเล็กน้อยจากการละลายและจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของโครงสร้างของถ่านหิน ทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินลดลงจากเดิม 5643 แคลอรีต่อกรัมเป็น 5022-5269 แคลอรีต่อกรัม เมื่อคิดเป็นร้อยละของ heating value recovery พบว่าประมาณ 91.00 ค่าร้อยละของ heating value recovery ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเพิ่มความดันออกซิเจน

จากผลการทดลองนี้แม้ว่าจะใช้ออกซิเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดการขจัดกำมะถันได้ดีขึ้นก็ตาม พบว่าความสามารถในการขจัดกำมะถันไม่ได้เพิ่มขึ้นมาก สามารถขจัดกำมะถันรวมได้เพียงร้อยละ 25.00 ลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 39.52 และลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 75.76 ถ่านหินที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชันนี้มีค่าความร้อนลดลงเล็กน้อยร้อยละของ heating value recovery ประมาณ 91.00 อย่างไรก็ตามสภาวะของการทดลองที่ใช้อาจไม่ดีนัก เพราะสามารถขจัดกำมะถันได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น การทดลองต่อไปจึงได้ใช้สภาวะการทดลองที่รุนแรงขึ้น คือใช้อุณหภูมิ 120° ซ และเปลี่ยนมาใช้ถ่านหินจากแหล่งแม่ตีบแทน เนื่องจากถ่านหินแหล่งหวายเล็ก 1) มีปริมาณกำมะถันอินทรีย์สูง ซึ่งเป็นกำมะถันที่สลายเกิดปฏิกิริยายากกว่ากำมะถันในรูปอื่น และเนื่องจากมีปริมาณสูงมาก เมื่อทำการขจัดได้น้อย ทำให้เมื่อคิดเป็นร้อยละของการลดกำมะถันรวมแล้วจะต่ำ ทำให้เห็นข้อแตกต่างระหว่างถ่านหินก่อนและหลังทำปฏิกิริยาไม่ชัดเจน และ 2) อาจเนื่องมาจากกำมะถันในรูปต่าง ๆ ที่ประกอบอยู่ในถ่านหินรวมตัว หรือมีพันธะกับถ่านหินอย่างหนาแน่น หรือกำมะถันอาจมีขนาดเล็กมาก ๆ (microfine) และถูกโครงสร้างถ่านหินล้อมรอบ หรือหุ้มห่อ ทำให้ยากที่จะขจัดกำมะถันออกมาได้

ตารางที่ 4.11 แสดงสมบัติของถ่านหินแหล่งแม่ตีบที่ผ่านกระบวนการออกซิดีซัลเฟอไรเซชันที่ความดันเกจ ออกซิเจน 0, 2.44 และ 3.85 กก./ตร.ซม. ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.19 %

รูปที่ 4.20 และ 4.22 แสดงผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถัน-

ตารางที่ 4.11 สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตีบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการออกซิดีซัล-เฟอไรเซชันที่ความดันออกซิเจนต่าง ๆ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที เวลา 1 ชม. ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.19 %)

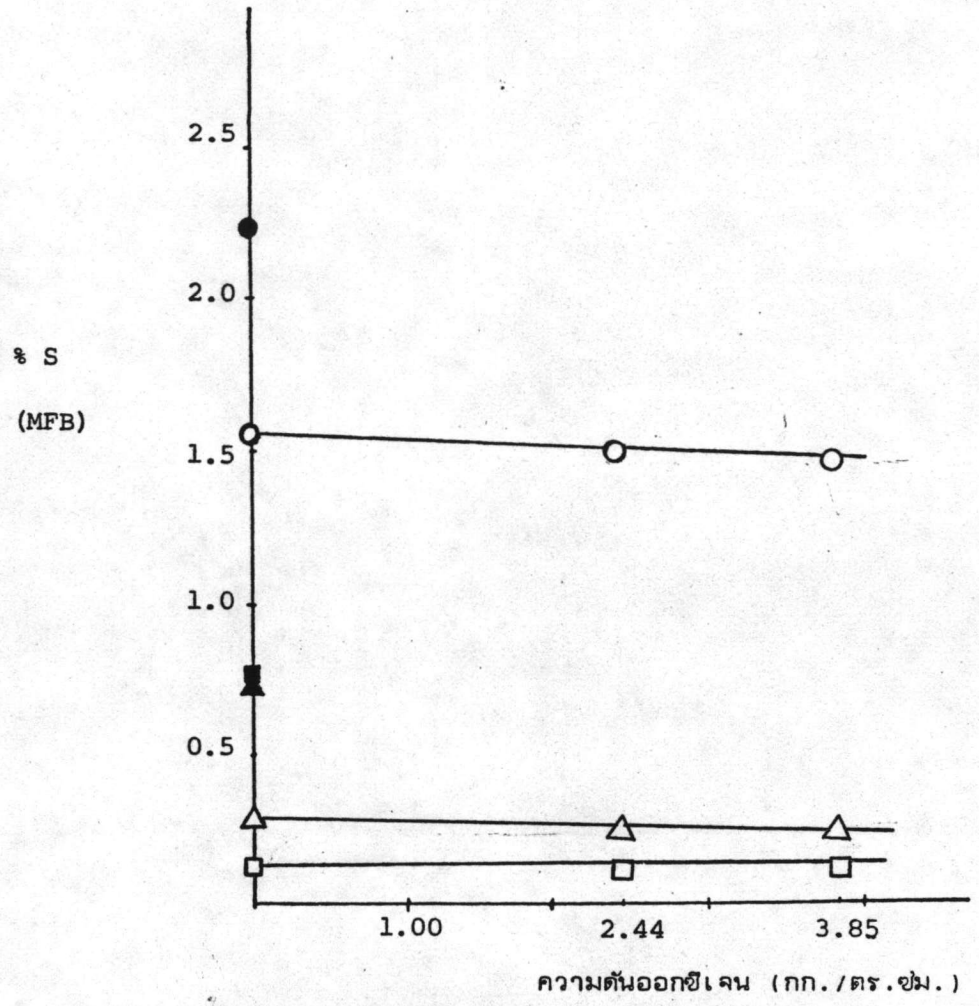
สมบัติถ่านหิน	เริ่มต้น	ความดันออกซิเจน (กก./ตร.ซม.)		
		0	2.44	3.85
เถ้า (%)	16.79	17.30	18.12	18.52
ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	5386	5260	5195	5000
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	2.29	1.54	1.49	1.41
กำมะถันไพไรต์	0.71	0.28	0.24	0.24
กำมะถันอินทรีย์	0.83	1.15	1.14	1.06
กำมะถันซัลเฟต	0.75	0.11	0.11	0.11
% De-S	-	32.75	34.93	38.43
% De-pyrite	-	60.56	66.20	66.20
% De-sulfate	-	85.33	85.33	85.33
% Heating value recovery	-	97.66	96.45	92.83

รวมและกำมะถันในรูปต่าง ๆ พบว่าเมื่อไม่ใช้ออกซิเจนสามารถลดกำมะถันรวมจากร้อยละ 2.29 เป็น 1.54 และเมื่อใช้ออกซิเจนความดัน 2.44 และ 3.85 กก./ตร.ซม. สามารถลดกำมะถันในถ่านหินจากร้อยละ 2.29 เป็น 1.49 และ 1.41 ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละของการลดกำมะถันรวมเท่ากับ 34.93 และ 38.43 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความดันออกซิเจนสามารถลดกำมะถันได้มากขึ้น สามารถลดกำมะถันรวมได้มากเป็นร้อยละ 38.43 ที่ความดันออกซิเจน 3.85 กก./ตร.ซม.

สำหรับผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ พบว่าเมื่อไม่ใช้ออกซิเจน ร้อยละกำมะถันไพไรต์ลดลงจาก 0.71 เป็น 0.28 คิดเป็นร้อยละของการลดกำมะถันไพไรต์เท่ากับ 60.56 และเมื่อใช้ก๊าซออกซิเจนความดัน 2.44 และ 3.85 กก./ตร.ซม. ร้อยละของกำมะถันในถ่านหินมีค่า เท่ากับ 0.24 คิดเป็นร้อยละของการลดกำมะถันไพไรต์เท่ากับ 66.20 แสดงว่าการเพิ่มความดันออกซิเจนสามารถช่วยให้ขจัดกำมะถันไพไรต์ได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และสำหรับผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันซัลเฟต พบว่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟตในถ่านหินหลังปฏิกิริยา เมื่อเพิ่มความดันออกซิเจนไม่แตกต่างกันเลย ร้อยละของกำมะถันซัลเฟตลดลงจาก 0.75 เป็น 0.11 การเพิ่มความดันออกซิเจนให้ผลใกล้เคียงกับเมื่อไม่ใช้ออกซิเจน ร้อยละของการลดกำมะถันซัลเฟต ทั้งกระบวนการใช้และไม่ใช้ออกซิเจนประมาณ 85.33

รูปที่ 4.21 แสดงผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อประมาณเถ้าและค่าความร้อน พบว่าร้อยละของปริมาณเถ้าของถ่านหินเพิ่มขึ้นหลังปฏิกิริยา คือเพิ่มจากร้อยละ 16.79 เป็น 17.30, 18.12 และ 18.52 เมื่อเพิ่มความดันออกซิเจนเป็น 0, 2.44 และ 3.85 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ จะเห็นว่าที่ความดันออกซิเจนต่าง ๆ ให้ค่าร้อยละของปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงว่าความดันออกซิเจนไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าของถ่านหิน ซึ่งสอดคล้องกับค่าความร้อนของถ่านหลังปฏิกิริยา ซึ่งพบว่าค่าความร้อนของถ่านหินลดลงจาก 5386 แคลอรีต่อกรัม เป็น 5,260 5,195 และ 5000 แคลอรีต่อกรัม ที่ค่าความดันออกซิเจน 0, 2.44 และ 3.85 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นร้อยละของ heating value recovery เท่ากับ 97.66, 96.45, และ 92.83 เมื่อเพิ่มความดันออกซิเจนจาก 0, 2.44 และ 3.85 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าความร้อนไม่แตกต่างกันที่ค่าความดันออกซิเจนต่าง ๆ และเป็นค่าที่ยอมรับได้

จากการทดลองจะเห็นว่าในสภาวะการทดลองที่ใช้การใช้ก๊าซออกซิเจนทำปฏิกิริยา

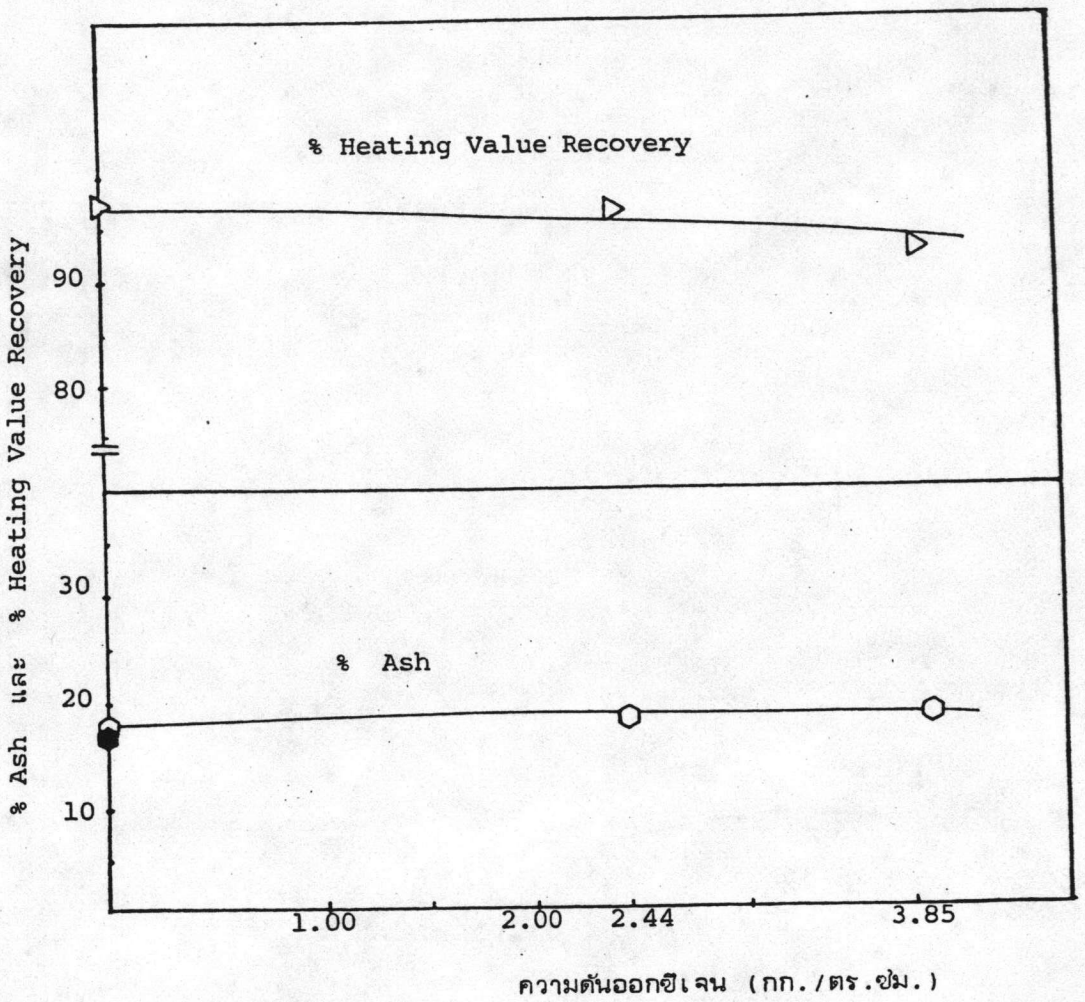


รูปที่ 4.20 ผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบหลังผ่านกระบวนการออกซิดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/-500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/-นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.19 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▲ และ △ แสดงร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

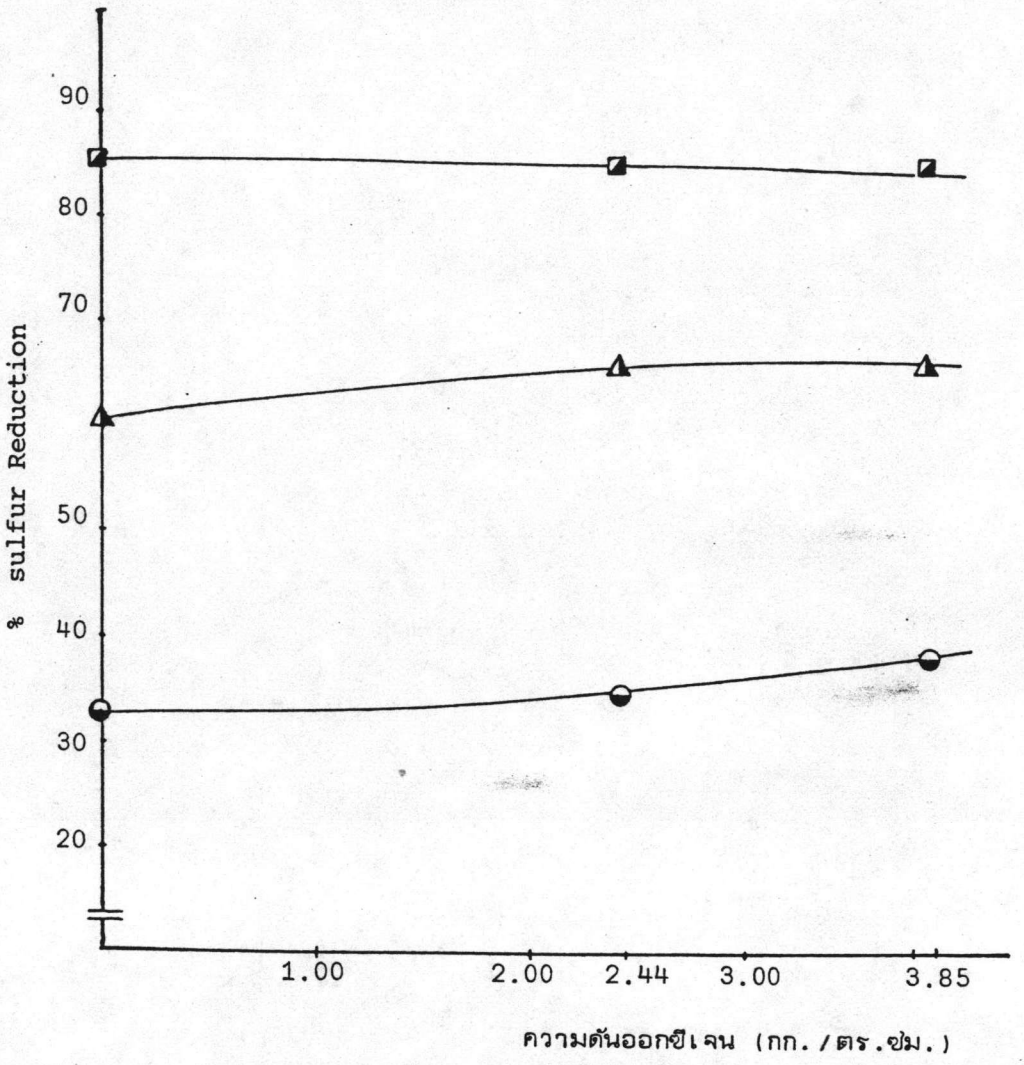
■ และ □ แสดงร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา



รูปที่ 4.21 ผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อปริมาณเถ้าและค่าความร้อนของถ่านหินแหล่งแม่ตีบหลังผ่านกระบวนการออกซิดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120° ซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียม-คาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล.สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.19 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของเถ้าเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▷ แสดงร้อยละของ Heating Value Recovery



รูปที่ 4.22 ผลของความดันออกซิเจนที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบหลังผ่านกระบวนการออกซิดีซัลเฟอไรเซชัน (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน อุณหภูมิ 120° ซ ความเข้มข้น สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ปริมาณถ่านหิน 50 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 17.19 %)

◒ แสดง % De-S

◭ แสดง % De-pyrite

◪ แสดง % De-sulfate

ออกซิเดชันกับกำมะถัน สามารถขจัดกำมะถันเพิ่มจากการที่ไม่ใช้ออกซิเจนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การลดกำมะถันในรูปต่าง ๆ ให้ค่าใกล้เคียงกันมาก ถ่านหินหลังผ่านกระบวนการทำให้ค่าความร้อนลดลงและใกล้เคียงกันทุกค่าความดันออกซิเจนในการทดลองด้วยเหตุผลต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว การใช้ก๊าซออกซิเจนแม้จะทำให้สามารถลดกำมะถันได้มากกว่าเพียงเล็กน้อย เมื่อคิดเปรียบเทียบการใช้ก๊าซออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาแล้ว จะเห็นว่าความสามารถในการลดกำมะถันไม่คุ้มกับก๊าซออกซิเจนที่ใช้ไป ดังนั้นถ้าต้องการขจัดกำมะถันโดยใช้สารละลายด่าง สำหรับถ่านหินแหล่งแม่ตีบแล้วสามารถใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียว โดยไม่ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนซึ่งพบว่า สามารถลดกำมะถันรวมได้ร้อยละ 32.75 ลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 60.56 ลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 85.33 ค่าความร้อนลดลงเพียงเล็กน้อย ร้อยละของ heating value recovery เท่ากับ 97.56

4.2.7 ผลของการใช้น้ำเป็นตัวล้าง

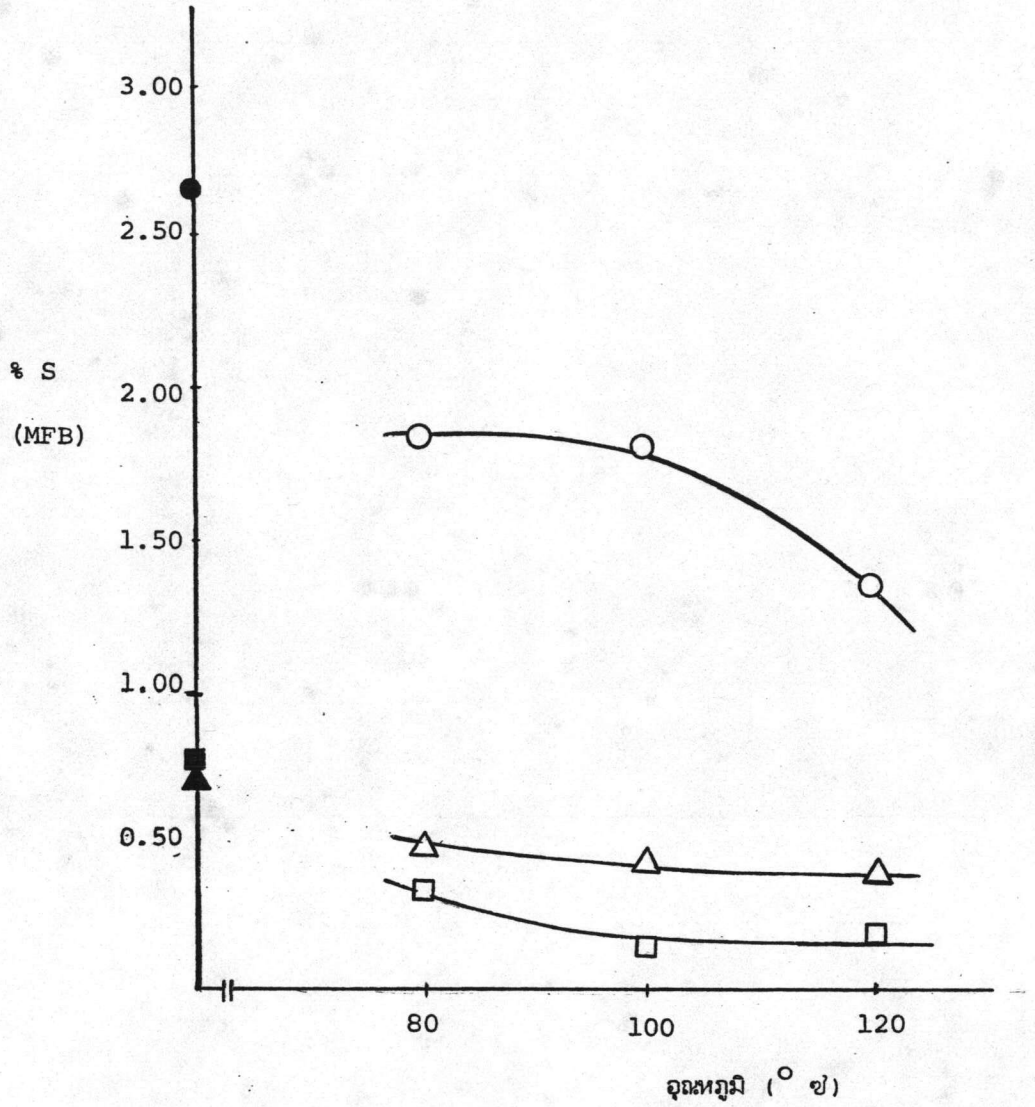
ตารางที่ 4.12 แสดงสมบัติของถ่านหินแหล่งแม่ตีบที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชันที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120° ซ โดยใช้น้ำ ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล.น้ำ อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %

รูปที่ 4.23 และ 4.25 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันรวมและกำมะถันในรูปอื่น ๆ เมื่อใช้น้ำเป็นตัวล้าง พบว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 100° ซ ร้อยละของกำมะถันรวมไม่แตกต่างกันมากนัก สามารถลดปริมาณกำมะถันจากร้อยละ 2.65 เป็น 1.84-1.82 คิดเป็นร้อยละของการลดกำมะถันรวมเท่ากับ 30.57 และ 31.32 ที่อุณหภูมิ 120° ซ สามารถลดกำมะถันรวมได้มากที่สุด จากร้อยละ 2.65 เหลือกำมะถันในถ่านหินร้อยละ 1.60 คิดเป็นร้อยละของการลดกำมะถันรวมเท่ากับ 39.62

สำหรับผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ เมื่อใช้น้ำเป็นตัวล้าง พบว่าน้ำสามารถลดกำมะถันไพไรต์ได้น้อยแม้ว่าจะทำการล้างที่อุณหภูมิสูง ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ลดลงจาก 0.69 เป็น 0.50, 0.44 และ 0.41 ที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120° ซ ตามลำดับ จะเห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิไม่ให้ผลแตกต่างในการลดกำมะถันไพไรต์ และสำหรับการลดกำมะถันซัลเฟต พบว่าเมื่อใช้น้ำเป็นตัวล้าง ที่อุณหภูมิ 80° ซ ให้ผลในการลดกำมะถันซัลเฟตต่ำ กำมะถันซัลเฟตลดลงจากร้อยละ 0.77 เป็น 0.33 คิดเป็นร้อยละของการลดกำมะถัน

ตารางที่ 4.12 สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตีบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไร-เซชัน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้น้ำ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. น้ำ อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/-นาที เวลา 1 ชม. ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

สมบัติถ่านหิน	เริ่มต้น	อุณหภูมิ (^{o} ซ)		
		80	100	120
เถ้า (%)	17.17	15.79	15.91	14.89
ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	5386	5178	5034	5026
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	2.65	1.84	1.82	1.60
กำมะถันไพไรต์	0.69	0.50	0.44	0.41
กำมะถันอินทรีย์	1.19	0.99	1.00	1.23
กำมะถันซัลเฟต	0.77	0.33	0.16	0.20
% De-S	-	30.57	31.32	39.62
% De-pyrite	-	27.54	36.23	40.58
% De-sulfate	-	57.14	79.22	74.03
% Heating value recovery	-	96.14	93.46	93.32

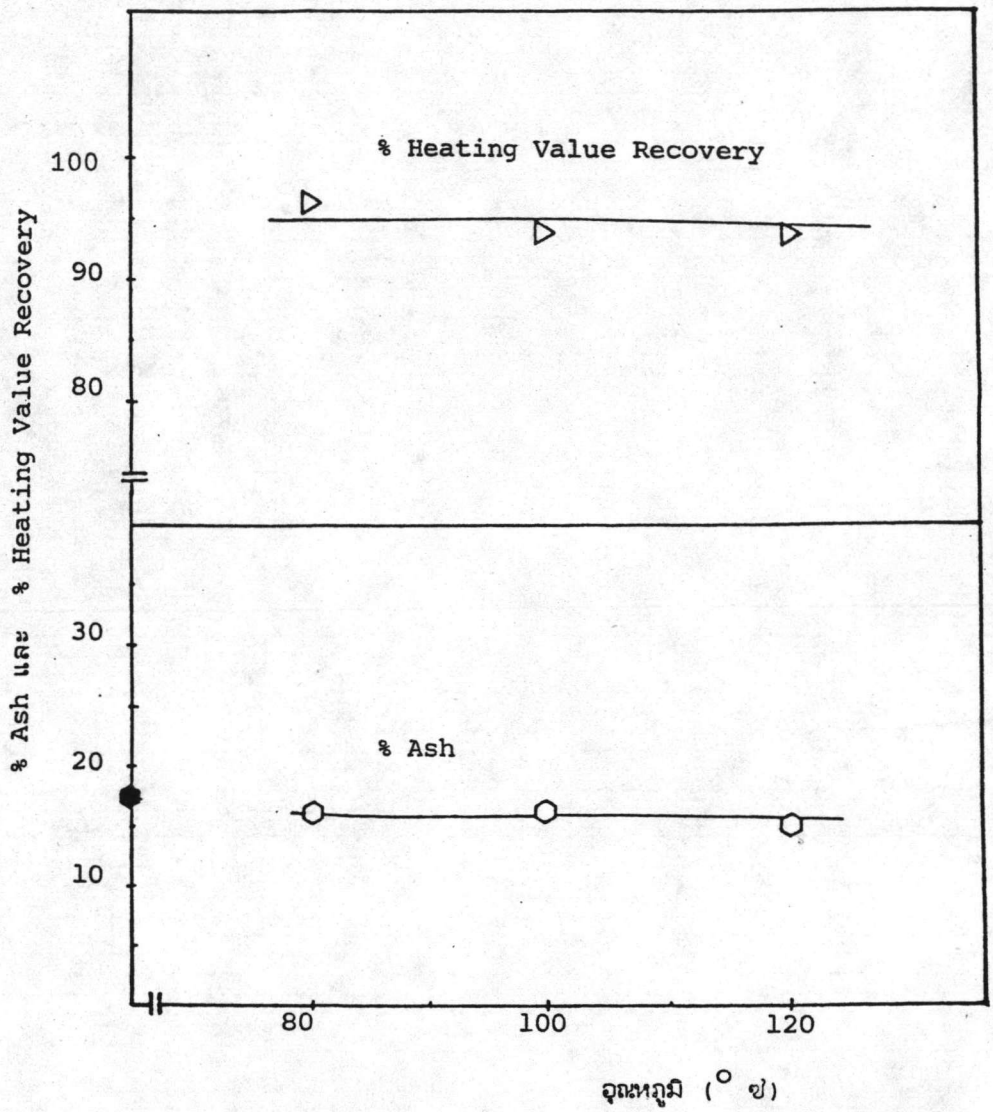


รูปที่ 4.23 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบหลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชันโดยใช้น้ำ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. น้ำ เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของกำมะถันรวมเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▲ และ △ แสดงร้อยละของกำมะถันไพไรต์เริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

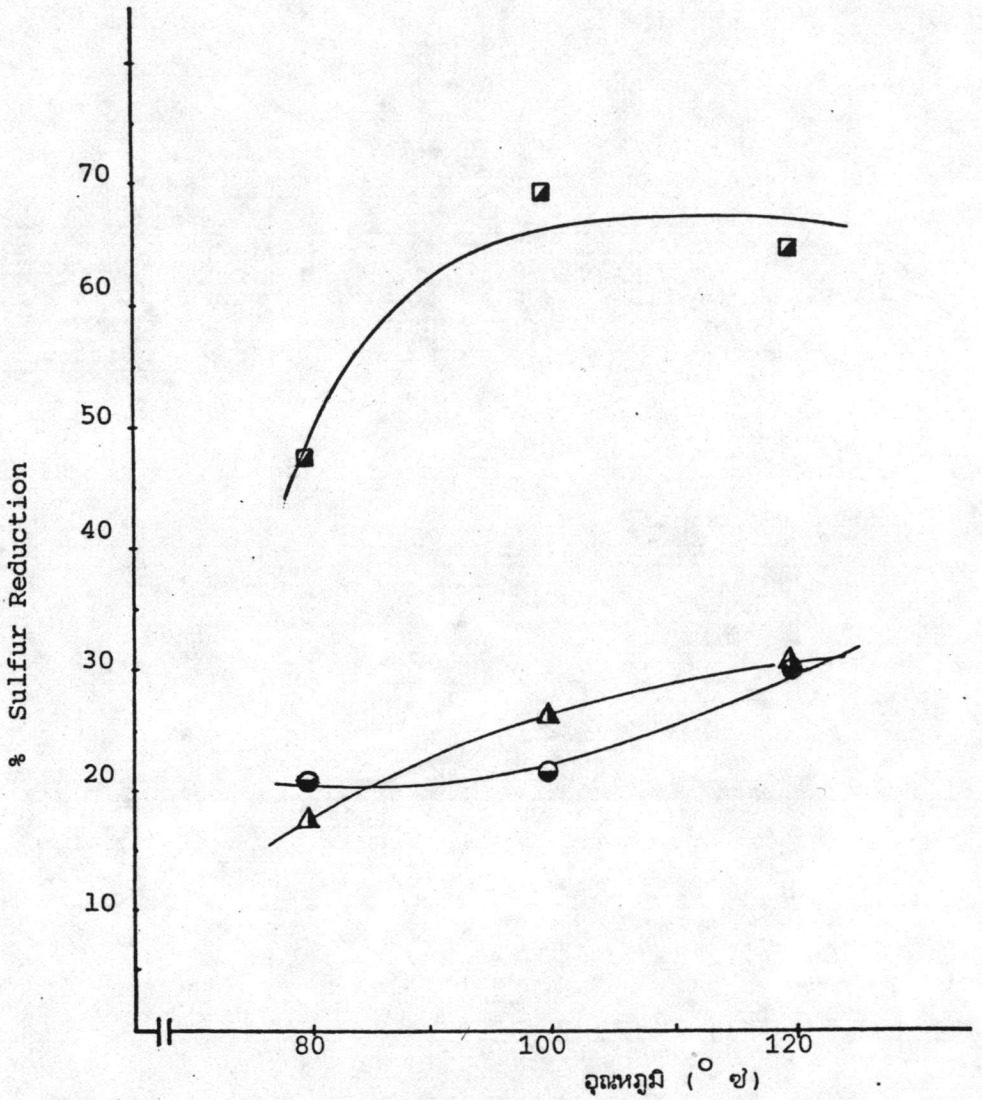
■ และ □ แสดงร้อยละของกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา



รูปที่ 4.24 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณเถ้าและค่าความร้อนของถ่านหินแหล่งแม่ตีบ หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชันโดยใช้น้ำ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล.น้ำ เวลา 1 ชม. อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

● และ ○ แสดงร้อยละของเถ้าเริ่มต้นและหลังปฏิกิริยา

▷ แสดงร้อยละของ Heating Value Recovery



รูปที่ 4.25 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบ หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน โดยใช้น้ำเป็นตัวล้าง (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. น้ำ อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที เวลา 1 ชม. ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

● แสดง % De-S

▲ แสดง % De-pyrite

◪ แสดง % De-sulfate

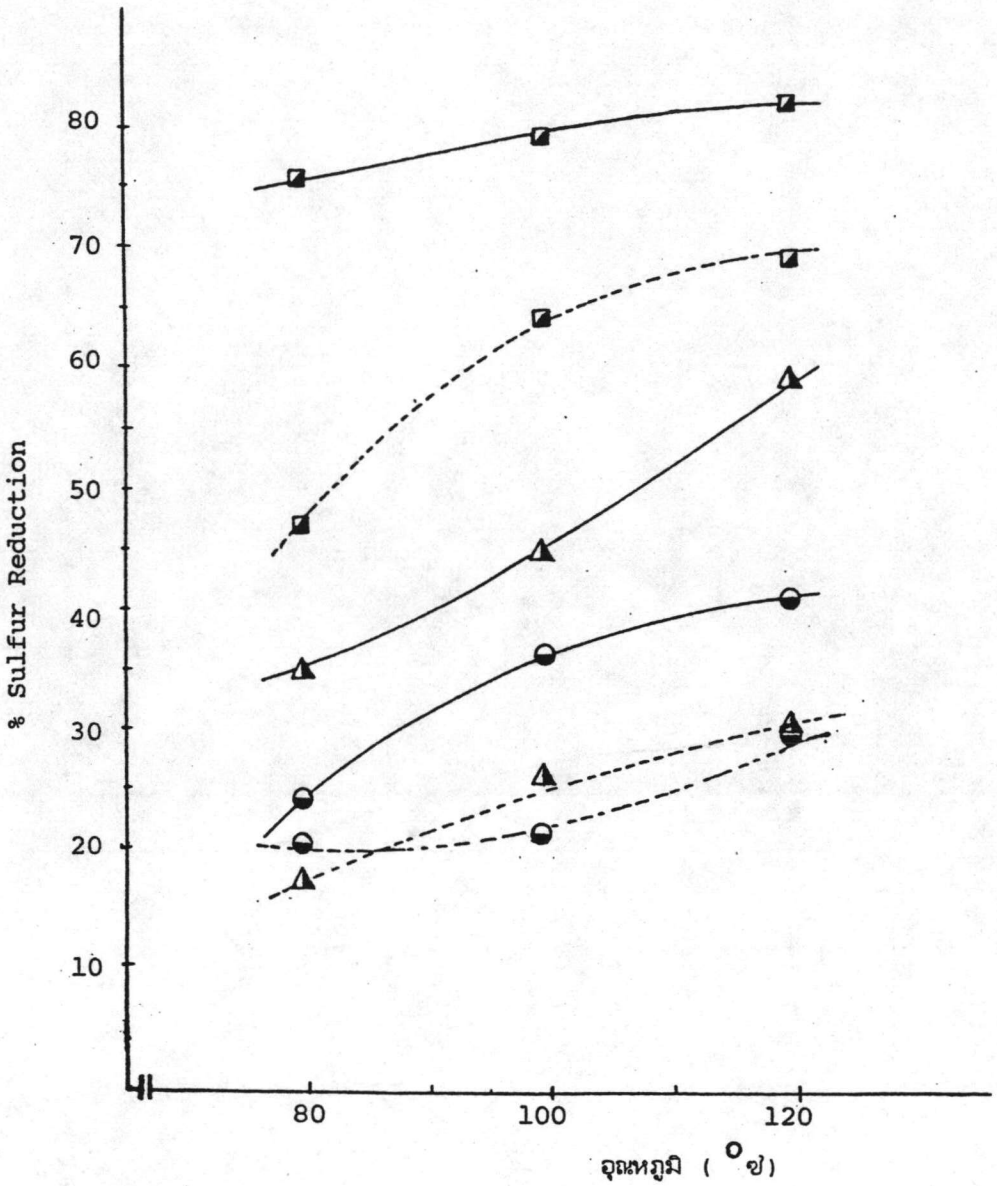
ซัลเฟตเท่ากับ 57.14 และที่อุณหภูมิ 100 และ 120° ซ ให้ผลในการลดกำมะถันซัลเฟตดีกว่าที่อุณหภูมิ 80° ซ คือเหลือปริมาณกำมะถันซัลเฟตในถ่านหินร้อยละ 0.16 และ 0.20 ตามลำดับ สามารถลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 79.22 และ 74.03 อย่างไรก็ตามการลดกำมะถันซัลเฟตไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 100 - 120° ซ

สำหรับผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณเถ้าและค่าความร้อน เมื่อใช้น้ำเป็นตัวล้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.24 พบว่าการทดลองนี้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ร้อยละของปริมาณเถ้าลดลงจากร้อยละ 17.17 เป็น 15.79, 15.91 และ 14.89 เนื่องจากน้ำสามารถล้างเถ้าบางส่วนออกจากถ่านหินได้ แต่การใช้อุณหภูมิสูงถึง 80 , 100 และ 120° ซ ทำให้ถ่านหินบางส่วนอาจละลายในน้ำได้ในกรณีนี้ทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินลดลงจาก 5386 แคลอรี/กรัม เป็น 5178, 5034 และ 5026 แคลอรี/กรัม ซึ่งค่าความร้อนไม่ลดลงมากนัก เมื่อคำนวณเป็นร้อยละของ heating value recovery แล้วพบว่าอยู่ในช่วง 96.14, 93.46 และ 93.32 ที่อุณหภูมิ 80 , 100 และ 120° ซ ซึ่งจะเห็นว่าการใช้น้ำเป็นตัวล้างที่อุณหภูมิในช่วง 80 - 120° ซ ให้ผลของปริมาณเถ้าและค่าความร้อนไม่แตกต่างจากถ่านหินเริ่มต้นมากนัก และเป็นค่าที่ยอมรับได้

จากผลการทดลองการใช้น้ำเป็นตัวล้าง พบว่าความสามารถในการลดกำมะถันยังไม่ดีนัก สามารถลดกำมะถันไพไรต์และกำมะถันรวมได้น้อยมาก การใช้น้ำที่อุณหภูมิสูงถึง 120° ซ สามารถลดกำมะถันรวมได้เพียงร้อยละ 39.62 ลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 38.41 ปริมาณเถ้าลดลง ดังนั้นเมื่อนำผลการทดลองการใช้น้ำเป็นตัวล้าง เปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมคาร์บอเนต (ตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.26) จะเห็นว่าการใช้โซเดียมคาร์บอเนตให้ผลดีกว่าน้ำในการลดกำมะถันในรูปต่าง ๆ ที่อุณหภูมิเดียวกัน เช่นที่อุณหภูมิ 80° ซ น้ำสามารถลดกำมะถันรวมและกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 31.32 และ 27.54 ตามลำดับ ในขณะที่สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตสามารถลดกำมะถันรวมและกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 33.96 และ 44.92 ตามลำดับนั่นคือ โซเดียมคาร์บอเนต ให้ผลดีกว่าน้ำเช่นเดียวกันทุกอุณหภูมิ การใช้น้ำให้ผลดีที่อุณหภูมิสูงคือ 120°ซ จึงจะสามารถลดกำมะถันได้ใกล้เคียงกับ โซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80° ซ ถ่านหินหลังผ่านกระบวนการที่อุณหภูมิ 120° ซ เมื่อใช้น้ำเป็นตัวล้าง มีค่าความร้อนลดลงคิดเป็นร้อยละของ heating value recovery เท่ากับ 93.32 ในขณะที่การใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวล้าง สามารถลดกำมะถันรวมได้สูงถึงร้อยละ 52.08 ลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 69.57 และลดกำมะถันซัลเฟตได้เกือบหมดคือร้อยละ 92.21 แม้ว่าการใช้

ตารางที่ 4.13 สมบัติถ่านหินแหล่งแม่ตีบ (แบบไม่รวมความชื้น) ที่ผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้น้ำและสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที เวลา 1 ชม. ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

สมบัติถ่านหิน	เริ่มต้น	อุณหภูมิ (^{o}ซ)					
		80		100		120	
		Na_2CO_3	น้ำ	Na_2CO_3	น้ำ	Na_2CO_3	น้ำ
ปริมาณกำมะถันรวม (%)	2.65	1.75	1.84	1.42	1.82	1.34	1.60
กำมะถันไพไรต์	0.69	0.38	0.50	0.31	0.44	0.21	0.41
กำมะถันอินทรีย์	1.19	1.26	1.01	1.03	1.18	1.07	1.03
กำมะถันซัลเฟต	0.77	0.11	0.33	0.08	0.20	0.06	0.16
% De-S	-	33.96	30.57	46.42	31.32	52.08	39.62
% De-pyrite	-	44.92	27.54	55.07	36.23	69.57	40.58
% De-sulfate	-	85.71	57.14	89.61	74.03	92.21	79.22



รูปที่ 4.26 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดองค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบ หลังผ่านกระบวนการดีซัลเฟอไรเซชัน โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตและน้ำ (ขนาดถ่านหิน 150-250 ไมครอน ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม/-500 มล. สารละลาย อัตราเร็วของการกวน 1000-1400 รอบ/นาที เวลา 1 ชม. ความชื้นถ่านหินเริ่มต้น 16.70 %)

- แสดง % De-S
- แสดง % De-pyrite
- แสดง % De-sulfate
- ---------- แสดงผลการลดกำมะถันโดยใช้น้ำ
- ———— แสดงผลการลดกำมะถันโดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต

โซเดียมคาร์บอเนตจะให้ผลในการลดกำมะถันสูง แต่ทำให้สูญเสียปริมาณถ่านหินไปมากกว่าเล็กน้อย ทำให้ค่าความร้อนต่ำกว่า heating value recovery มีค่าเท่ากับร้อยละ 90.87 อย่างไรก็ตามในการเลือกว่าจะใช้สภาวะใดหรือใช้สารอะไรเป็นตัวล้าง ย่อมขึ้นอยู่กับลักษณะถ่านหินที่ต้องการนำไปใช้และลักษณะถ่านหินก่อนนำไปทำความสะอาด การทดลองที่ให้ผลกับถ่านหินแหล่งแม่ตีบอาจไม่ให้ผลเช่นเดียวกับถ่านหินจากแหล่งอื่น ๆ เพราะถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ จะมีลักษณะและองค์ประกอบไม่เหมือนกัน

4.2.8 ผลขององค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหิน

ในการศึกษาสภาวะและอิทธิพลที่มีผลต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหิน ใช้ถ่านหิน 2 แหล่งคือ แหล่งแม่ตีบ และแหล่งหวายเล็ก ถ่านหินแหล่งหวายเล็กมีค่าร้อยละของกำมะถันรวม 3.88 ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ 0.71 ค่าร้อยละของกำมะถันซัลเฟต 0.69 และร้อยละของกำมะถันอินทรีย์สูงมากถึง 2.48 ในการขจัดกำมะถันของถ่านหินแหล่งหวายเล็กที่ผ่านกระบวนการแล้วมักให้ค่าร้อยละกำมะถันอินทรีย์ ใกล้เคียงหรือมากกว่าถ่านหินเริ่มต้น ซึ่งเกิดจากการลดลงของกำมะถันอนินทรีย์ ส่วนกำมะถันอินทรีย์ถูกขจัดออกไปน้อย เพราะมีพันธะและโครงสร้างที่เสถียรมาก เมื่อคำนวณเป็นร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ทำให้มีค่าเพิ่มขึ้น ในการลดปริมาณกำมะถันของถ่านหินแหล่งหวายเล็ก สามารถลดปริมาณกำมะถันรวมได้ร้อยละ 16-29 ลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 36-80 และลดกำมะถันซัลเฟตได้ประมาณร้อยละ 75-85 การทดลองนี้ให้ผลคล้ายคลึงกับกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่ตีบ ซึ่งมีค่าร้อยละของกำมะถันรวม 2.44 ร้อยละของกำมะถันไพไรต์ 0.71 ร้อยละของกำมะถันซัลเฟต 0.76 และร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ 0.96 เมื่อนำมาขจัดกำมะถันพบว่าการคำนวณร้อยละของกำมะถันอินทรีย์ให้ค่าใกล้เคียงหรือสูงขึ้นเช่นเดียวกับถ่านหินแหล่งหวายเล็กด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และสามารถลดกำมะถันรวมได้ประมาณร้อยละ 30-40 ลดกำมะถันไพไรต์ได้ประมาณร้อยละ 45-76 และลดกำมะถันซัลเฟตได้ประมาณร้อยละ 77-94 อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่ากำมะถันที่ลดได้มากเกือบหมดเป็นกำมะถันซัลเฟตของถ่านหินทั้งสองแหล่ง และจากการใช้น้ำ และโซเดียมคาร์บอเนต เป็นตัวล้าง ให้ผลในการลดกำมะถันซัลเฟตได้สูง (ตารางที่ 4.9 และ 4.12) แสดงว่าสารละลายที่มีน้ำประกอบอยู่หรือน้ำสามารถขจัดกำมะถันซัลเฟตออกจากถ่านหินได้ดี สำหรับการลดกำมะถันอินทรีย์ของถ่านหินทั้งสองแหล่งทำได้น้อย อาจเนื่องมาจากสภาวะของปฏิกิริยาที่ใช้อาจไม่รุนแรงพอในการเกิดปฏิกิริยา เพื่อแยกกำมะถันอินทรีย์ที่เสถียรมากออกมา อย่างไรก็ตามการใช้สภาวะที่รุนแรงมากเกินไปอาจทำลายหรือสลายโครงสร้างของถ่านหินได้

ดังนั้นการขจัดกำมะถันในถ่านหิน นอกจากจะขึ้นอยู่กับสภาวะของปฏิกิริยาแล้ว ยังขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของถ่านหินก่อนขจัดกำมะถันและลักษณะของกำมะถันที่ประกอบอยู่ในถ่านหิน เช่น ถ้ากำมะถันที่มีขนาดใหญ่สามารถขจัดได้ง่ายกว่ากำมะถันที่มีขนาดเล็ก และถ้ากำมะถันที่มีขนาดเล็กมากและถูกโครงสร้างของถ่านหินหุ้มห่อล้อมรอบก็จะทำให้ขจัดได้ยากมากขึ้น และถ้ากำมะถันรวมตัวหรือเกาะกับถ่านหินอย่างหนาแน่นก็จะทำให้การขจัดกำมะถันทำได้ยากเช่นเดียวกัน

จากการทดลองวิเคราะห์ผลได้ว่า

แหล่งถ่านหินที่ใช้ทำปฏิกิริยาควรเป็นแหล่งถ่านหินที่มีร้อยละของกำมะถันไพไรต์สูงเพื่อที่จะได้เห็นข้อแตกต่างในการลดกำมะถันได้ดี และเนื่องจากกลไกของปฏิกิริยามักอธิบายด้วยกลไกของปฏิกิริยาของกำมะถันไพไรต์ เพราะกำมะถันซัลเฟตมักมีปริมาณน้อยและกลไกของกำมะถันอินทรีย์ยุ่งยากมาก เนื่องจากโครงสร้างและสารประกอบของกำมะถันอินทรีย์มีมากมายและซับซ้อนยังไม่เป็นที่แน่ชัด ในการนำถ่านหินมาทดลอง ต้องสุ่มตัวอย่างเพื่อให้ถ่านหินที่นำมาทดลองเป็นตัวแทนของแหล่งและตำแหน่งของถ่านหินนั้น ๆ นำถ่านหินมาบดให้ได้ขนาด 150-250 ไมครอน เก็บรวบรวมไว้ทำปฏิกิริยาและก่อนนำไปทำปฏิกิริยาก็สุ่มตัวอย่างไปทำปฏิกิริยา 50 กรัม จากถ่านหินที่เก็บรวบรวมไว้ในแต่ละการทดลองการวิเคราะห์สมบัติของถ่านหินก่อนและหลังปฏิกิริยาควรทำควบคู่กันไปเสมอ เพื่อควบคุมให้อยู่ในสภาวะเหมือนกันในด้านการวิเคราะห์ผล การทดลองนี้ได้นำถ่านหินแหล่งหวายเล็ก ซึ่งมีปริมาณกำมะถันรวมสูงมากมาทำปฏิกิริยา กำมะถันอินทรีย์ในแหล่งหวายเล็กสูง การลดปริมาณกำมะถันรวมจึงเห็นไม่ชัดเจนนัก เพื่อให้เห็นข้อแตกต่างและดูอิทธิพลต่าง ๆ ชัดเจนจึงใช้ถ่านหินแหล่งแม่ตีบมาทำปฏิกิริยา เนื่องจากมีปริมาณกำมะถันไพไรต์ใกล้เคียงกับถ่านหินจากแหล่งหวายเล็ก อย่างไรก็ดีการทดลองควรนำถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันไพไรต์สูงมาศึกษาในการทำปฏิกิริยาการลดปริมาณกำมะถัน

จากการทดลองสรุปอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อการขจัดกำมะถัน

1. เวลา พบว่าเวลามีผลในการขจัดกำมะถันใน 1 ชั่วโมงแรก หลังจาก 1 ชั่วโมงแล้ว การลดกำมะถันไม่แตกต่างกันมากนัก

2. ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตมีผลไม่แตกต่างกันมากนัก การเพิ่มความเข้มข้นทำให้ความสามารถในการขจัดกำมะถันรวมลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อคิดในแง่ความเหมาะสมและประหยัดแล้ว ความเข้มข้นที่เหมาะสมเป็นความเข้มข้นต่ำ ประมาณ 0.2 โมลาร์

3. ปริมาณถ่านหินที่ใช้ทำปฏิกิริยา พบว่าการใช้ปริมาณถ่านหินปริมาณน้อยให้ผล

ในการขจัดกำมะถันดี เนื่องจากเกิดการ mixing ได้ดี อย่างไรก็ตาม การใช้ปริมาณถ่านหิน 50 และ 100 กรัมให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก ถ้าต้องการลดปริมาณกำมะถันให้เหลือปริมาณน้อยมากในถ่านหิน ควรใช้ปริมาณถ่านหิน 100 กรัม แต่ถ้าคิดในแง่ประหยัดก็สามารถใช้ปริมาณถ่านหิน 500 กรัมได้

4. ขนาดของถ่านหิน พบว่าถ่านหินขนาดเล็กให้ผลในการขจัดกำมะถันได้ดีกว่าถ่านหินขนาดใหญ่ สามารถใช้ปริมาณถ่านหิน ขนาดเฉลี่ยประมาณ 200 ไมครอน เมื่อต้องการให้ลดปริมาณกำมะถันได้มาก แต่ถ้าพิจารณาความเหมาะสมและสะดวกในการใช้งาน สามารถใช้ถ่านหินขนาดเฉลี่ยสูงถึง 1500 ไมครอน (1.5 มม.) ได้ เนื่องจากความสามารถในการลดปริมาณกำมะถันยังใช้ได้

5. ความดันออกซิเจน ในการทดลองการใช้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต พบว่าออกซิเจนช่วยให้ขจัดกำมะถันได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เพียงอย่างเดียวก็เพียงพอในการลดปริมาณกำมะถัน

6. อุณหภูมิ พบว่า การใช้อุณหภูมิสูง สามารถลดกำมะถันได้ดี อุณหภูมิสูง 100 ^{o} ซ และ 120 ^{o} ซ ให้ผลดีในการลดปริมาณกำมะถันมากกว่าอุณหภูมิ 80 ^{o} ซ อย่างไรก็ตาม การพิจารณาเลือกอุณหภูมิที่จะใช้ในปฏิกิริยาสำคัญมากในแง่การละลายและการสลายตัว (decompose) ของถ่านหินที่อุณหภูมิสูง และพบว่าอุณหภูมิ 100-120 ^{o} ซ ไม่สูงมากเกินไปที่จะให้ผลเสียกับถ่านหิน

7. การใช้น้ำเป็นตัวล้าง พบว่าการใช้น้ำเป็นตัวล้าง ให้ผลในการลดปริมาณกำมะถันได้น้อย เมื่อเทียบกับการใช้โซเดียมคาร์บอเนต เป็นตัวล้าง เนื่องจากการใช้น้ำที่อุณหภูมิสูงถึง 100 - 120 ^{0}ซ จึงจะให้ผลดีใกล้เคียงกับการใช้โซเดียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 80 ^{0} ซ โซเดียมคาร์บอเนตจึงเป็นตัวล้าง ที่เหมาะสม

ในการศึกษาถึงอิทธิพลต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว การพิจารณาเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานย่อมขึ้นอยู่กับลักษณะของถ่านหินก่อนนำมาขจัดกำมะถัน และลักษณะสมบัติของถ่านหินที่จะนำไปใช้งาน และสภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการได้จากการนำถ่านหินจากแหล่งหวาย-เล็กและแหล่งแม่ตีบ ซึ่งอาจไม่ให้ผลของสภาวะเช่นเดียวกับถ่านหินจากแหล่งอื่น ๆ เนื่องจากความแตกต่างของลักษณะสมบัติของถ่านหินแต่ละแหล่ง