บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานนอกจากความสำคัญของคุณสมบัติถ่านหินเริ่มต้นแล้ว ปัญหามลภาวะอันเกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากเมื่อเผาไหม้ถ่านหินนั้น กำมะถันในถ่านหินจะก่อให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และกลิ่นเหม็นที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยในการศึกษานี้จึงเน้นการขจัดกำมะถันและเถ้าออกจากถ่านหินก่อนนำถ่านหินไปใช้งานโดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต งานวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาสภาวะต่าง ๆ ในการทำปฏิกิริยาไพไรต์กับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ถ่านหินเหมืองแม่เมาะก่อนและหลังปฏิกิริยาการขจัดกำมะถันด้วยสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ผลของความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหิน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มคอปเปอร์(II) อิออนที่จะไปออกซิไดซ์กำมะถันในถ่านหิน ทำให้สามารถลดปริมาณกำมะถันและเถ้าในถ่านหินได้มากขึ้น ค่าความร้อนของถ่านหินมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่เหมาะสมคือ 20%

2. ผลอุณหภูมิที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหิน การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ปฏิกิริยาในการขจัดกำมะถันเกิดเร็วขึ้น ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับคอปเปอร์ (II) อิออนในการเข้าไปทำปฏิกิริยากับกำมะถันในถ่านหินได้ดีขึ้น แต่ละอุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 120 140 และ 150 °ซ พบว่าที่อุณหภูมิ 150 °ซ สามารถลดปริมาณกำมะถันและเถ้าได้ดีที่สุด ผลคือร้อยละการลดกำมะถันซัลเฟต 98.57 ร้อยละกำมะถันไพไรต์ 69.52 ร้อยละการลดกำมะถันรวม 36.77 และร้อยละการลดเถ้าเป็น 24.90

3. ผลของขนาดถ่านหินที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหิน ในสภาวะการทดลองเดียวกันคือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 20% อุณหภูมิ 150 °ซ เวลา 1 ชม. พบว่าเมื่อขนาดถ่านหินลดลง การลดปริมาณกำมะถันซัลเฟต กำมะถันไพไรต์ และกำมะถันรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากถ่านหินที่มีขนาดเล็ก จะมีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ ขนาดถ่านหินที่เหมาะสม คือ 150-250 ไมครอน ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงขนาดที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานด้วย

4. การเปรียบเทียบผลการขจัดกำมะถันของถ่านหินเหมืองแม่เมาะที่มีองค์ประกอบต่าง ๆ กัน แนวโน้มโดยส่วนรวมในการขจัดกำมะถันของถ่านหินเหมืองแม่เมาะ ตัวอย่างต่าง ๆ กัน ที่นำมาศึกษา ให้ผลในการขจัดกำมะถันและเถ้าใกล้เคียงกัน ซึ่งความแตกต่างเล็กน้อยที่เกิด

ขึ้นเนื่องมาจากคุณสมบัติของถ่านหินเริ่มต้นที่ต่างกัน

ในงานวิจัยนี้จึงเสนอสภาวะที่เหมาะสมในปฏิกิริยาการขจัดกำมะถันคือ ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 20% ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 20% คอปเปอร์ซัลเฟต 500 มล. อุณหภูมิ 150 °ซ ระยะเวลา 1 ชม. อัตราการกวน 1400 รอบต่อนาที จะลดกำมะถันรวมได้ร้อยละ 53.80 ลดกำมะถันซัลเฟตร้อยละ 94.34 ลดกำมะถันไพไรต์ร้อยละ 94.28 ลดเถ้าได้ร้อยละ 31.28

5. การศึกษาอันดับปฏิกิริยาเคมีของไพไรต์ ผลคือปฏิกิริยาอันดับสอง จากการทดลองโดยใช้ถ่านหินแม่เมาะ 1 ทำปฏิกิริยากับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 10 และ 20% ที่อุณหภูมิ 150 °ซ เวลา 1 ชม. หาค่าคงที่ของปฏิกิริยาได้เท่ากับ 11.84×10^4 และ 18.71×10^8 ม^3/กิโลโมล-วินาที ตามลำดับ และค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy) เท่ากับ 66.13×10^6 และ 96.48×10^6 จูล/กิโลโมล ตามลำดับ สำหรับถ่านหินแม่เมาะ 3 หาค่าคงที่ของปฏิกิริยาได้เท่ากับ 164.09 ม^3/กิโลโมล-วินาที และค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 48.93×10^6 จูล/กิโลโมล

6. ในการศึกษาขั้นตอนที่ควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยาสอดคล้องกับการแพร่ผ่านชั้นเถ้าเข้าสู่แกนกลางที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา (diffusion through ash layer control) จากผลการทดลองหาค่าคงที่การแพร่ประสิทธิผลของถ่านหินแม่เมาะ 1 ทำปฏิกิริยากับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 10 และ 20% ได้เท่ากับ 6.99×10^{-3} และ 7.49×10^{-2} ม^2/วินาที ตามลำดับ พลังงานกระตุ้นของการแพร่เท่ากับ 67.20×10^6 และ 75.62×10^6 จูล/กิโลโมล ตามลำดับ สำหรับถ่านหินแม่เมาะ 3 ได้ค่าคงที่การแพร่ประสิทธิผลเท่ากับ 1.11×10^{-5} ม^2/วินาที และค่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่เท่ากับ 47.61×10^6 จูล/กิโลโมล ตามลำดับ

7. ในงานวิจัยศึกษาการขจัดกำมะถันจากถ่านหินโดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยสารละลายต่าง ๆ เช่น สารละลายเฟอริกซัลเฟต (21) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (23) สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกซได์ (24) และสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตให้ผลในการลดกำมะถันรวม กำมะถันไพไรต์ และเถ้าได้ดีกว่าสารละลายเฟอริกซัลเฟต และโซเดียม-คาร์บอเนต การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ผลในการลดกำมะถันรวมได้น้อยกว่าการใช้สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเล็กน้อย แต่ให้ผลในการลดปริมาณเถ้าได้ดีกว่า ส่วนการลดกำมะถันไพไรต์การใช้สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตให้ผลในการลดได้น้อยกว่าการใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ประมาณ 3% อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะเป็นส่วนช่วยในการศึกษาการขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย สารละลายที่เป็นตัวออกซิไดซ์อื่น ๆ ต่อไป ซึ่งผลในการลดปริมาณกำมะถันจะมากน้อยเพียงไรต้องคำนึงถึงสภาวะของปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองด้วย

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลการขจัดกำมะถันและเถ้าจากถ่านหินโดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยสารละลายที่เป็นตัวออกซิไดซ์ต่าง ๆ

งานวิจัย	สารละลายที่ใช้	ร้อยละการลด		
		กำมะถันไพไรต์	กำมะถันรวม	เถ้า
วิทยา ปั้นสุวรรณ (21)	เฟอริกซัลเฟต	30	30	17
กัณฑิมา ศิริจีระชัย (23)	โซเดียมคาร์บอเนต ร่วมกับก๊าซออกซิเจน	66.20	38.43	-
เอกชัย อานนท์กิจพานิช(24)	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	97.30	48.82	68.81

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปรับปรุงคุณภาพถ่านหินให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานโดยไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการขจัดกำมะถันและเถ้าในถ่านหินด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต นอกจากที่กล่าวข้างต้นแล้วอาจศึกษาพัฒนาถ่านหินให้มีคุณภาพสูงขึ้นโดย

- การขจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้สารละลายทองแดงตัวอื่น เช่น สารละลายคอปเปอร์ไนเตรท สารละลายคอปเปอร์อะซิเตท สารละลายคอปเปอร์คลอไรด์ เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัดกำมะถันกับการใช้สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต
- ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหิน โดยทดลองเพิ่มอุณหภูมิเป็น 200 °ซ เพื่อเปรียบเทียบการลดปริมาณกำมะถันในถ่านหินว่าให้ผลดีกว่าเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 150 °ซ เพียงไร ซึ่งในงานวิจัยนี้มีขีดจำกัดในการควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการให้ดำเนินได้ด้วยดี จากสภาพ และขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ หากมีการศึกษาควรคำนึงถึงขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ว่าสามารถทนความดันได้ดีเพียงไร เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นตามต้องการพร้อมทั้งระบบควบคุมอุณหภูมิที่ดี
- ศึกษาการขจัดกำมะถันอินทรีย์โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยสารละลายทองแดงพร้อมทั้งศึกษาอันดับปฏิกิริยาเคมีของกำมะถันอินทรีย์ และขั้นตอนที่ควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันอินทรีย์ในถ่านหินควรใช้เทคนิค transmission electron microscopy (31) เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันอินทรีย์ในถ่านหินได้โดยตรงและถูกต้องกว่าวิธีการคำนวณโดยหักค่ากำมะถันซัลเฟตและค่ากำมะถันไพไรต์ออกจากกำมะถันรวม