หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในการนำถ่านหินไปใช้งาน การปรับปรุงคุณภาพถ่านหินให้เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญโดยต้องคำนึงถึงคุณสมบัติเริ่มต้นของถ่านหิน และปัญหามลภาวะอันเกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินเนื่องจากกำมะถันในถ่านหินก่อให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ งานวิจัยนี้เป็นการขจัดกำมะถันและเถ้าในถ่านหินก่อนการนำไปเผาไหม้ด้วยกระบวนการเมเยอร์ส ซึ่งเป็นกระบวนการที่อาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้สารละลายเกลือเฟอริกเป็นตัวออกซิไดซ์ งานวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ การศึกษาตัวแปรต่างๆที่สำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาการขจัดกำมะถันเป็นส่วนแรก การศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีของไพไรต์เพื่อหาอันดับและค่าคงที่ปฏิกิริยา หาขั้นตอนควบคุมอัตราเร็วการเข้าไปทำปฏิกิริยากับกำมะถันไพไรต์เป็นส่วนที่สอง และส่วนสุดท้ายเป็นการหาสมการอัตราเร็วปฏิกิริยา จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 การศึกษาตัวแปรต่างๆที่สำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยา

1. ผลของความเข้มข้นของสารละลายเฟอริกคลอไรด์และสารละลายเฟอริกซัลเฟต พบว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณเฟอริก(III)อิออนที่จะไปทำปฏิกิริยากับกำมะถันในถ่านหิน จะทำให้สามารถลดปริมาณกำมะถัน และเถ้าในถ่านหินได้มากขึ้น ความเข้มข้นของสารละลายเฟอริกคลอไรด์ และสารละลายเฟอริกซัลเฟตที่เหมาะสม คือ 1.0 โมลต่อลิตร

2. ผลของอุณหภูมิ พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับเฟอริก(III)อิออนในการเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น จะทำให้สามารถลดปริมาณกำมะถัน และเถ้าใน

ถ่านหินได้มากขึ้นโดยอุณหภูมิที่สามารถลดปริมาณกำมะถันและถ้าในถ่านหินได้ดีที่สุด คือ 120 °ซ

3. ผลของขนาดถ่านหินพบว่าเมื่อขนาดถ่านหินลดลงจะมีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ทำให้ลดปริมาณกำมะถันและเถ้าในถ่านหินได้มากขึ้น ขนาดถ่านหินที่มีการลดปริมาณกำมะถันและเถ้าในถ่านหินได้มากที่สุดในงานวิจัยนี้ คือ ขนาดถ่านหิน 150 ไมโครเมตร แต่การนำไปใช้งานต้องคำนึงถึงขนาดที่เหมาะสมกับงานด้วย

4. ผลของระยะเวลา พบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจะลดปริมาณกำมะถันและเถ้าในถ่านหินได้มากขึ้น แต่ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้เร็วในช่วงแรก ต่อมาจะค่อยๆช้าลง ในงานวิจัยนี้ระยะเวลาที่ลดปริมาณกำมะถันและเถ้าได้ดีที่สุด คือ 240 นาที

5. ผลของชนิดสารละลาย ในงานวิจัยนี้ใช้สารละลายเฟอริกคลอไรด์ และสารละลายเฟอริกซัลเฟต พบว่า ความสามารถในการขจัดกำมะถันและเถ้าในถ่านหินจะใกล้เคียงกันเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้น โดยที่สภาวะเดียวกันสารละลายเฟอริกซัลเฟตจะสามารถขจัดกำมะถันไพไรต์และกำมะถันรวมได้มากกว่าสารละลายเฟอริกคลอไรด์เล็กน้อยและสารละลายเฟอริกคลอไรด์สามารถขจัดกำมะถันซัลเฟตและเถ้าได้มากกว่าสารละลายเฟอริกซัลเฟตเล็กน้อย

ดังนั้นสภาวะคงที่เหมาะสมในปฏิกิริยาการขจัดกำมะถันในงานวิจัยนี้ คือ ความเข้มข้นของสารละลายเกลือเฟอริก 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาณถ่านหิน 100 กรัมต่อสารละลาย 500 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 120 °ซ อัตราการกวน 500 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที โดยลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 70.25 ลดกำมะถันรวมได้ร้อยละ 40.06 ลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 97.01 และลดเถ้าได้ร้อยละ 44.15 สำหรับสารละลายเฟอริกคลอไรด์ และลดกำมะถันไพไรต์ได้ 71.77 ลดกำมะถันรวมได้ร้อยละ 41.10 ลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 96.41 และลดเถ้าได้ร้อยละ 42.10 สำหรับสารละลายเฟอริกซัลเฟต

5.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของกำมะถันไพไรต์

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อใช้สารละลายเฟอริกคลอไรด์ อันดับของปฏิกิริยาเป็นอันดับสอง และสามารถหาค่าคงที่ปฏิกิริยา ($K_{2(o)}$) ได้เท่ากับ 5.1×10^{-2} ม^3/กิโลโมล.วินาที ค่าพลังงานกระตุ้น (Activation energy) ได้เท่ากับ 14.30×10^6 จูล/กิโลโมล เขียนอยู่ในรูปความสัมพันธ์ของ Arrhenius ได้

$$K_2 = 5.1 \times 10^{-2} \exp(-14.50 \times 10^6/RT)$$

เมื่อใช้สารละลายเฟอริกซัลเฟต อันดับของปฏิกิริยาเป็นอันดับสอง และสามารถหาค่าคงที่ของปฏิกิริยา ($K_{2(o)}$) ได้เท่ากับ 6.3×10^{-2} ม^3/กิโลโมล.วินาที ค่าพลังงานกระตุ้นได้าเท่ากับ 14.50×10^6 จูล/กิโลโมล เขียนอยู่ในรูปความสัมพันธ์ของ Arrheniusได้

$$K_2 = 6.3 \times 10^{-2} \exp(-14.50 \times 10^6/RT)$$

การศึกษาขั้นตอนที่ควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา พบว่า สอดคล้องกับการแพร่ผ่านชั้นผลิตภัณฑ์เข้าสู่แกนกลางที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา (Diffusion through products layer control) และจากผลการหาค่าการแพร่ประสิทธิผล(effective diffusivity, De_o) ได้เท่ากับ 5.1×10^{-8} ม^2/วินาที ค่าพลังงานกระตุ้นได้เท่ากับ 15.40×10^6 จูล/กิโลโมล สำหรับสารละลายเฟอริกคลอไรด์ ซึ่งเขียนอยู่ในรูปความสัมพันธ์แบบ Arrherius ได้

$$D_e = 5.1 \times 10^{-8} \exp(-15.4 \times 10^6/RT)$$

ส่วนสารละลายเฟอริกคลอไรด์ ได้ค่าประสิทธิผลได้เท่ากับ 2.4×10^{-8} ม^2/วินาที และได้ค่าพลังงานกระตุ้นได้เท่ากับ 15.40×10^6 จูล/กิโลโมล สำหรับสารละลายเฟอริกคลอไรด์ ซึ่งเขียนอยู่ในรูปความสัมพันธ์แบบ Arrherius ได้

$$D_e = 2.4 \times 10^{-8} \exp(-12.45 \times 10^6/RT)$$

5.3 <u>ข้อเสนอแนะ</u>

งานวิจัยนี้ยังมีสิ่งที่ควรจะปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นอีกโดย

- ทำการปรับสภาพสารละลายที่ใช้แล้วนำกลับไปใช้ใหม่(regenerate)โดยการใช้ออกซิเจน เนื่องจากออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับสารละลายเกลือเฟอรัส แล้วให้สารละลายเกลือเฟอริกซึ่งเฟอริก(III)ไอออนเป็นตัวออกซิไดซ์ในปฏิกิริยา

- ศึกษาผลของการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าในงานวิจัยนี้ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการควบคุมอุณหภูมิจากสภาพและขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ พร้อมทั้งควรจะมีระบบการควบคุมอุณหภูมิที่ดีกว่านี้เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่คงที่แน่นอนตลอดการทดลอง

- เครื่องปฏิกรณ์ควรจะทำด้วยวัสดุที่ทนการกัดกร่อน เช่น แก้ว เนื่องจากในงานวิจัยพบว่าสารละลายเฟอริกคลอไรด์ก่อให้เกิดการกัดกร่อนเครื่องปฏิกรณ์

- ศึกษาจลนพลศาสตร์การขจัดกำมะถันจากถ่านหินเหมืองอื่นๆ นอกเหนือไปจากถ่านหินเหมืองแม่เมาะ เพื่อเปรียบเทียบผลการลดปริมาณกำมะถันและเถ้า อัตราเร็วปฏิกิริยาและสมการอัตราเร็วปฏิกิริยา

- ศึกษาหาสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยากำมะถันไพไรต์โดยใช้สารละลายเฟอริกคลอไรด์และสารละลายเฟอริกซัลเฟตเป็นตัวออกซิไดซ์

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลการขจัดกำมะถัน และเถ้าในถ่านหิน และจลน์ศาสตร์การขจัดไพไรต์ด้วยสารละลายเฟอริกคลอไรด์

งานวิจัย	ร้อยละการลดกำมะถัน				จลน์ศาสตร์การขจัดกำมะถัน			
	ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม	เถ้า	อันดับปฏิกิริยา	ค่าคงที่ปฏิกิริยา	ค่าพลังงานกระตุ้น	สมการอัตราเร็ว
King และ Perlmutter	-	-	-	-	แร่ไพไรต์เป็นอันดับ 2/3	$k = 1.29 \times 10^{-2}$ ที่ความเข้มข้น 1.0 M.	20.097×10^6 จูล/กิโลกรัม	$r = k[C_B/C_{BO}]^{2/3}\left[\frac{C_A}{(C_A + KC_C)^2}\right]$
T. Oshinowo และ O. Ofi	93	92	-	-	กำมะถันไพไรต์เป็นอันดับ 2/3	$k = 117.48 \exp(-20.233/RT)$	20.233×10^6 จูล/กิโลกรัม	$r = k\left(C_B/C_{BO}\right)^{2/3} C_A^{1/2}$
Y. Onganer et. al.	-	83.50	-	-	กำมะถันไพไรต์เป็นอันดับสอง	$k = 268 \exp(-37/RT)$	37×10^6 จูล/กิโลกรัม	$\frac{dx}{dt} = 268[H^+]^{-3/4}[Fe^{3+}]^{1/2}[Fe^{3+}/Fe_T]^{5/3} r^{-1/2}(1-x)^2 \exp(-37/RT)$
มณฑิไล แห่งทรัพย์เจริญ	97.01	70.25	40.06	44.15	กำมะถันไพไรต์เป็นอันดับสอง	$k = 5.1 \times 10^{-2} \exp(-14.30 \times 10^6/RT)$	14.30×10^6 จูล/กิโลกรัม	—

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบผลการขจัดกำมะถัน และเถ้าในถ่านหิน และจลน์ศาสตร์การขจัดไพไรต์ด้วยสารละลายเฟอริกซัลเฟต

งานวิจัย	ร้อยละการลดกำมะถัน				จลน์ศาสตร์การขจัดกำมะถัน			
	ซัลเฟต	ไพไรต์	รวม	เถ้า	อันดับปฏิกิริยา	ค่าคงที่ปฏิกิริยา	ค่าพลังงานกระตุ้น	สมการอัตราเร็ว
R. A. Meyers	-	90-95	80	-	-	-	-	-
Van Nice et. al.	-	-	-	-	กำมะถันไพไรต์เป็นอันดับสอง	-	-	$r = -dW_p/dt = kW_p^2y^2$
มานพ อติวนิชพงษ์ และ พัชรินทร์ วีธานิตินนท์	-	37.54	-	-	-	-	-	-
วิทยา ปั้นสุวรรณ	-	30	30	17	-	-	-	-
มณพิไล แห่งทรัพย์เจริญ	96.41	71.77	41.10	42.10	กำมะถันไพไรต์เป็นอันดับสอง	$k = 6.3x10^{-2} \exp(-14.50x10^6/RT)$	14.50×10^6 จูล/กิโลโมล	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย