

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินโดยการขจัดเถ้าและกำมะถัน ซึ่งอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบดของเหลว สามารถแบ่งงานวิจัยได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกจะเป็นการศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อการขจัดเถ้าและกำมะถัน ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในกรดซัลฟูริก อัตราการไหลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ขนาดถ่านหิน อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ส่วนที่สองจะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบการขจัดเถ้าและกำมะถันของตัวอย่างถ่านหินที่ระดับชั้นและตำแหน่งต่าง ๆ กัน โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และส่วนสุดท้ายจะเป็นการศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีของกำมะถันไพไรต์ เนื้อหาอันดับและค่าคงที่ปฏิกิริยา และขั้นตอนควบคุมอัตราเร็วการเข้าทำปฏิกิริยากับกำมะถันไพไรต์ของก๊าซออกซิเจนในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 การศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการขจัดเถ้าและกำมะถัน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในกรดซัลฟูริก 0.05 โมลาร์ การขจัดเถ้าและกำมะถันจะเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสม คือ 7 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในกรดซัลฟูริก 0.05 โมลาร์ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายการขจัดเถ้าและกำมะถันจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งจะเริ่มคงที่ ดังนั้นอัตราการไหลของสารละลายที่เหมาะสม คือ 1.25 ลิตรต่อนาที (สำหรับถ่านหินขนาด 0.5-1.0 มม. ซึ่งคิดเป็น 4.17 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไคซ์) สำหรับขนาดถ่านหินพบว่าขนาดเล็กให้ผลการขจัดเถ้าและกำมะถันได้ดีกว่าขนาดใหญ่ ซึ่งจะใช้ขนาด 0.5-1.0 มม. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการขจัดเถ้าและกำมะถันจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้การ operate เครื่องลำบาก และอาจเกิดการสลายพันธะของคาร์บอนในถ่านหิน อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 20°ซ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาคือในช่วง 60 นาทีแรก ซึ่งการขจัดกำมะถันจะเกิดขึ้นได้เร็วแล้วจะค่อย ๆ ช้าลง

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขจัดเถ้า และกำมะถันจากถ่านหินโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบดคือ ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 7% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในกรดซัลฟูริก 0.05 โมลาร์ อัตราการไหลของสารละลาย 1.25 ลิตรต่อนาที ปริมาณสารละลาย 10 ลิตร ขนาดถ่านหิน 0.5-1.0 มม. ปริมาณถ่านหิน 150 กรัม อุณหภูมิ 20°ซ ระยะเวลา 60 นาที พบว่าสามารถลดเถ้าได้ร้อยละ 28.08 เพิ่มค่าความร้อนได้ร้อยละ 11.26 ลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 92.41 ลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 68.93 และลดกำมะถันรวมได้ร้อยละ 36.12

สำหรับการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไชน์เบดของเหลวจะมีระบบการล้าง ถ่านหินด้วยน้ำก่อนเริ่มทดลองด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยล้างถ่านหินด้วยน้ำ ประมาณ 15 นาที ดังนั้นผลการขจัดเถ้าและกำมะถันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เทียบกับตัวอย่างถ่านหินเริ่มต้นที่สภาวะที่เหมาะสม คือ ลดปริมาณเถ้าได้ร้อยละ 30.98 ลด ปริมาณกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 98.71 ลดปริมาณกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 80.30 และลด ปริมาณกำมะถันรวมได้ร้อยละ 63.81 ใกล้เคียงกับที่มีการศึกษาไว้โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบ ถังกวนโดยใช้ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10-15 % ใน 0.05 นอร์มอลกรดซัลฟูริก ปริมาณถ่านหินต่อสารละลาย 1:10 เวลา 60 นาที อุณหภูมิ 25-30°ซ อัตราการกวน 1000-1200 รอบต่อนาที สามารถลดเถ้าได้ร้อยละ 68.81 ลดกำมะถันซัลเฟตได้ร้อยละ 84.28 ลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 97.30 และลดกำมะถันรวมได้ร้อยละ 48.82 (23) จะเห็น ได้ว่าการล้างด้วยน้ำก่อนการทดลองนั้นช่วยลดปริมาณกำมะถันซัลเฟตได้ และถ้าเพิ่มระบบการล้าง ถ่านหินหลังการทำปฏิกิริยาด้วยน้ำจะช่วยล้างสารละลายและกรดต่าง ๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกได้

5.2 การศึกษาเปรียบเทียบการขจัดเถ้าและกำมะถันของถ่านหินระดับชั้นและตำแหน่ง ต่าง ๆ กัน พบว่าการลดปริมาณเถ้าของถ่านหินแม่เมายะ 1 และ 2 ใกล้เคียงกัน และลดได้ มากกว่าถ่านหินแม่เมายะ 3 และ 4 ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกัน สำหรับการลดปริมาณกำมะถันชนิด ต่าง ๆ พบว่าถ่านหินแม่เมายะ 1 ลดปริมาณกำมะถันทุกชนิดได้ดีที่สุด ส่วนถ่านหินอีก 3 ตัวอย่าง สามารถลดได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเป็นเพราะปริมาณกำมะถันในถ่านหินตัวอย่างต่าง ๆ แตกต่าง กัน

5.3 การศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยาระหว่างกำมะถันไพไรต์กับก๊าซออกซิเจนในสาร ละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง และสามารถหาค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy) ได้ 26.56×10^5 จูล/กิโลโมล ค่าคงที่ (k_2) มีค่าเท่ากับ $61.08 \text{ m}^3/\text{กิโลโมล.วินาที}$ สำหรับถ่านหินแม่เมายะ 1 ซึ่งเขียนในรูปความสัมพันธ์แบบ Arrhenius ได้

$$k_2 = 61.08 \exp(-26.56 \times 10^5 / RT)$$

ค่าพลังงานกระตุ้นของค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาที่หาได้ เปรียบเทียบกับที่มีการ ศึกษาไว้ คือ 46.5×10^5 จูล/กิโลโมล โดย Slagel, 1980 (11) 58.8×10^5 จูล/กิโลโมล โดย Sareem et. al., 1977 (11) 51.2×10^5 จูล/กิโลโมล โดย Vracar และ Vucurovic, 1970 (10) 55.9×10^5 จูล/กิโลโมล โดย McKay และ Halpern, 1958 (11)

การศึกษาขั้นตอนที่ควบคุมอัตราเร็วการเข้าทำปฏิกิริยา พบว่าสอดคล้องกับการ แพร่ของก๊าซออกซิเจนผ่านชั้นผลิตภัณฑ์เข้าสู่แกนกลางที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา (diffusion through products layer control) และหาค่าการแพร่ประสิทธิผล (effective diffusivity)

De ได้ค่าพลังงานกระตุ้น 16.40×10^5 จูล/กิโลโมล ค่าคงที่ 1.55×10^{-7} ม³/วินาที สำหรับ
 ผ่านหินแม่เมาะ 1 ซึ่งเขียนในรูปความสัมพันธ์แบบ Arrhenius ได้

$$De = 1.55 \times 10^{-7} \exp(-16.40 \times 10^5 / RT)$$

ค่าพลังงานกระตุ้นของค่าการแพร่ประสิทธิผลที่หาได้ เปรียบเทียบกับการวิจัย
 ที่มีการศึกษาไว้ คือ 33×10^5 จูล/กิโลโมล โดย Slagel, 1980 (11) และ 33.5×10^5
 จูล/กิโลโมล โดย Wheelock, 1978 (11)

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคด์เบดของเหลว โดยจะใช้
 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากเกินไปเมื่อเทียบกับปริมาณผ่านหิน (คิดเทียบกับปริมาณ
 ไฟโรต์ในถ่านหินต้องการออกซิเจนทำปฏิกิริยากับไฟโรต์ 0.41 โมล แต่ใช้สารละลายซึ่งแตกตัว
 ให้ออกซิเจน 20.59 โมล) และใช้ปริมาณสารละลายมากกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องปฏิกรณ์แบบ
 ถังกวน เนื่องจากต้องใช้สารละลายปริมาณมากในการทำให้เกิดฟลูอิดไคเซชัน แต่สารละลาย
 นี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบ
 ฟลูอิดไคด์เบดและเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนแล้วพบว่า

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนใช้อัตราการกวนรอบสูง 1000-1200 รอบ/นาที (ค่า
 $Re = 2.5 \times 10^4$) (23) ซึ่งจะเกิดความปั่นป่วนมากในเครื่องปฏิกรณ์และทำให้อนุภาคถ่านหินแตก
 ได้ อนุภาคถ่านหินจะมีขนาดเล็กลง สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคด์เบดมีอัตราการไหลของ
 สารละลาย 1.25 ลิตร/นาที (ค่า $Re = 15.2$) จะไม่เกิดความปั่นป่วนในเบดมากนัก

2. เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคด์เบดสามารถใช้กับถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ได้ผลดีพอสมควร

3. เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคด์เบดใช้ปริมาณสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาก
 กว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน

งานวิจัยนี้ยังมีสิ่งต่าง ๆ ต้องปรับปรุงอีก คือ

1. การควบคุมอุณหภูมิในถังสารละลายทำได้ไม่ดีนัก โดยเฉพาะปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยา
 คายความร้อน การควบคุมอุณหภูมิโดยให้หล่อเย็นในถังสารละลายอาจไม่เพียงพอ ควรจะหล่อ
 เย็นที่เครื่องปฏิกรณ์ด้วย เพื่อให้ตั้งความร้อนโดยเฉพาะในช่วง 20-30 นาทีแรกได้เพียงพอ

2. ความสูงของเครื่องปฏิกรณ์ค่อนข้างน้อย ทำให้ไม่สามารถเพิ่มปริมาณถ่านหินได้
 ซึ่งจะได้เปรียบเทียบกับได้เมื่อปริมาณถ่านหินมากกว่านี้

3. ในการทดลองจำเป็นต้องใช้ปริมาณสารละลายมากจึงจะสามารถทดลองได้ ซึ่ง
 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนจะใช้ปริมาณน้อยกว่า แต่อาจนำสารละลายที่ใช้แล้วกลับ
 มาใช้ใหม่ได้ แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้นำสารละลายกลับมาใช้ใหม่

4. ควรมีการศึกษาการล้างถ่านหินหลังการทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ว่า
 มีผลอย่างไร