

สรุปผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพด้านหินโดยการขจัดกัมมะถันและเถ้าออก จากด้านหินด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน งานวิจัยแบ่งเป็น 4 ส่วน ส่วนแรกเป็นการเปรียบเทียบ ผลของสารละลายต่างชนิดที่มีความน่าสนใจ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาสภาวะต่าง ๆ ในการทำ ปฏิกิริยาของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ส่วนที่สามเป็นการเปรียบเทียบผลของสาร ละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการขจัดกัมมะถันและเถ้าจากด้านหินแหล่งต่าง ๆ ส่วนที่สี่ เป็นการศึกษ้อัตราเร็วปฏิกิริยาเคมีของไพไรต์ และขั้นตอนที่เป็นตัวควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา ไพไรต์กับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. น้ำร้อนที่ 120 °ซ สามารถลดกัมมะถันซัลเฟตได้ดี ลดเถ้าลงได้เล็กน้อย แต่ไม่ สามารถลดกัมมะถันไพไรต์และกัมมะถันอินทรีย์ได้ ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพด้านหิน ส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เหมาะสำหรับการขจัดเถ้าจากด้านหินที่มีปริมาณเถ้าสูง เช่น เศษด้านหิน เป็นต้น แต่ลดกัมมะถันชนิดต่าง ๆ ได้ไม่สูงนักเมื่อเทียบกับสารละลายคอปเปอร์-ซัลเฟต เพอริกซัลเฟต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วสารละลาย คอปเปอร์ซัลเฟตให้ผลการลดกัมมะถันชนิดต่าง ๆ และเถ้าได้ดีกว่าสารละลายเพอริกซัลเฟต แต่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ผลได้ดีที่สุด

2. ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมคือ 10-15% และเมื่อเติมกรด ซัลฟูริกลงในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ช่วยให้ผลการทำปฏิกิริยาดีขึ้นเล็กน้อย โดยความ เข้มข้นกรดซัลฟูริกที่พอเหมาะคือ 0.1-0.5 นอร์มอล เมื่อใช้ปริมาณด้านหินต่อสารละลาย 1 : 10 โดยพบว่าเวลา 60 นาทีแรกเป็นการขจัดกัมมะถันซัลเฟตและกัมมะถันไพไรต์ หลังจากนั้นการขจัด กัมมะถันอินทรีย์เพิ่มขึ้น แต่เป็นช่วงที่ความเข้มข้นสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลดลงมาก แล้ว ขนาดด้านหินที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพบว่าที่ขนาดด้านหินเฉลี่ย 150-250 ไมครอน ให้ผล ได้ดีกว่าขนาด 250-500 ไมครอน แสดงให้เห็นว่าเมื่อขนาดด้านหินเล็กลงจะให้ผลดีขึ้นเช่นเดียวกับ อุณหภูมิที่สูงขึ้นคือ 40 °ซ ให้ผลดีกว่าที่อุณหภูมิ 15 °ซ แต่มีผลทำให้มีการสูญเสียจากการสลาย

ของด้านหินมากขึ้นและการเพิ่มค่าความร้อน (heating value increase) ลดลง ส่วนอัตรา การกวนมีผลต่อการขจัดกำมะถันและเข้าข้างในลักษณะการตีให้อนุภาคด้านหินเล็กลง ซึ่งให้ผลใน การขจัดกำมะถันและเข้าข้างแต่การสลายด้านหินเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ในงานวิจัยนี้จึงเสนอสภาวะเหมาะสมที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ ความเข้มข้นไฮโดร- เจนเปอร์ออกไซด์ 15% ใน 0.1 นอร์มอลกรดซัลฟูริก ปริมาณด้านหินต่อสารละลาย 1:10 ระยะเวลา 60 นาที อุณหภูมิ 25-30 °C อัตราการกวน 1000-1200 รอบ/นาที โดยลด กำมะถันรวมได้ร้อยละ 48.82 ลดกำมะถันซัลเฟตร้อยละ 84.28 ลดกำมะถันไพไรต์ร้อยละ 97.30 ลดกำมะถันอินทรีย์ร้อยละ 9.50 ลดเข้าไ้ร้อยละ 68.81 และเพิ่มค่าความร้อนได้ ร้อยละ 11.69 ใกล้เคียงกับที่มีการศึกษาไว้คือสามารถลดกำมะถันไพไรต์ได้ร้อยละ 30-73 ลด เข้าไ้ร้อยละ 35-45 (16)

3. การศึกษาเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงแหล่งด้านหินคือ ด้านหินเหมืองป่าคา แม่เมาะ และห้วยเล็ก พบว่าให้ผลในการขจัดกำมะถันซัลเฟต กำมะถันไพไรต์ ใกล้เคียงกัน ส่วน การขจัดกำมะถันอินทรีย์ให้ผลแตกต่างกันขึ้นกับโครงสร้างในอนุภาคด้านหินมีความแข็งแรงมากน้อย เพียงใด จะเห็นว่าด้านหินเหมืองแม่เมาะขจัดกำมะถันอินทรีย์ออกได้น้อยเพียงร้อยละ 5.76 เท่านั้น โดยการสลายโครงสร้างคาร์บอนและเข้าเกิดขึ้นในขณะเดียวกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างใดแข็งแรง กว่า ดังนั้นของด้านหินเหมืองห้วยเล็กมีโครงสร้างคาร์บอนไม่แข็งแรงจึงสลายไปได้มาก จึง ทำให้เห็นว่ามีปริมาณเข้าเพิ่มขึ้นและสอดคล้องกับปริมาณกำมะถันอินทรีย์ที่ถูกขจัดออกได้ถึงร้อยละ 30.16

4. การศึกษาอันดับปฏิกิริยาเคมีของไพไรต์ได้ว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง โดยหาค่า พลังงานกระตุ้น (activation energy) ได้ 52.61×10^6 จูล/กิโลโมล ค่าคงที่เท่ากับ 12.02×10^6 ม³/กิโลโมล-วินาที สำหรับด้านหินเหมืองแม่เมาะ และค่าพลังงานกระตุ้น 49.71×10^6 จูล/กิโลโมล ค่าคงที่เท่ากับ 3.88×10^6 ม³/กิโลโมล-วินาที สำหรับด้านหิน เหมืองป่าคา

ในการศึกษาขั้นตอนที่ควบคุมอัตราเร็วการทำปฏิกิริยาสอดคล้องกับการแพร่ผ่านชั้นผลิตภัณฑ์ เข้าสู่แกนกลางที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา (diffusion through product layer control) ซึ่ง เมื่อหาค่าการแพร่ประสิทธิผล (effective diffusivity) D_e ได้ค่าพลังงานกระตุ้น 33.22×10^6 จูล/กิโลโมล ค่าคงที่ 1.78×10^{-5} ม³/วินาที สำหรับด้านหินเหมืองแม่เมาะ และค่าพลังงานกระตุ้น 33.09×10^6 จูล/กิโลโมล ค่าคงที่ 1.15×10^{-5} ม³/วินาที สำหรับ ด้านหินเหมืองป่าคา

งานวิจัยนี้ให้ค่าพลังงานกระตุ้นของค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาใกล้เคียงกับที่มีการศึกษาไว้คือ 46.5×10^6 จูล/กิโลโมล โดย Slagle, 1980 (17) 51.2×10^6 จูล/กิโลโมล โดย Vucurovic 1970 (17) และ 58.8×10^6 จูล/กิโลโมล โดย Sareem et. al, 1977 (17)

ค่าพลังงานกระตุ้นของค่าการแพร่ประสิทธิผลก็มีค่าใกล้เคียงคือ 33×10^6 จูล/กิโลโมล โดย Slagle, 1980 (17) และ 33.5×10^6 จูล/กิโลโมล โดย Wheelock, 1978 (14, 17)

ถ่านหินเหมืองแม่เมาะ	
k_2 (ม ³ /กิโลโมล.วินาที)	$= 12.02 \times 10^6 \exp(-52.61 \times 10^6/RT)$
De (ม ² /วินาที)	$= 1.78 \times 10^{-5} \exp(-33.22 \times 10^6/RT)$
ถ่านหินเหมืองป่าคา	
k_2 (ม ³ /กิโลโมล.วินาที)	$= 3.88 \times 10^6 \exp(-49.71 \times 10^6/RT)$
De (ม ² /วินาที)	$= 1.15 \times 10^{-5} \exp(-33.09 \times 10^6/RT)$

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้สารละลายเพียงบางชนิดและการศึกษาเปรียบเทียบผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อแหล่งถ่านหินเพียง 3 แหล่งเท่านั้น แต่มีแนวโน้มที่สามารถนำสารละลายไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์ไปใช้งานได้ในอนาคตซึ่งน่าจะมีการศึกษาและข้อสังเกตคือ

1. ในการทำปฏิกิริยาจะเกิดฟองขึ้นมามาก ซึ่งจะเห็นอุปสรรคต่อการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนในการเข้าทำปฏิกิริยากับถ่านหิน ถ้าสามารถลดการเกิดฟองลงได้จะช่วยให้ผลที่ได้ดีขึ้น โดยอาจจะใช้สารบางอย่างเติมลงเล็กน้อยเพื่อเพิ่มแรงตึงผิว แต่ต้องไม่ทำให้ประสิทธิภาพของก๊าซออกซิเจนลดลง เป็นต้น

2. การทำปฏิกิริยาของก๊าซออกซิเจนจะเกิดได้ดีและเร็วในช่วง 60 นาทีแรกของการทำปฏิกิริยา หลังจากนั้นจะช้าลงมากจากการสูญเสียก๊าซออกซิเจนไปมาก ดังนั้นถ้ามีการ

แยกกรองด้านหลังจากปฏิกิริยา 60 นาทีแรกแล้วลงสู่ถังปฏิกรณ์ตัวใหม่เพื่อเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อีก จะช่วยให้ปฏิกิริยาดีขึ้นโดยเฉพาะการขจัดกัมมันตอินทรีย์ซึ่งอาจจะสามารถให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยสามารถทำได้ในระบบ continuous stirred tank reactor (CSTR)

3. ปฏิกิริยาของไฟโรทกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) ซึ่งในงานวิจัยนี้มีขีดจำกัดในการควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการให้ดำเนินได้ด้วยดี จากขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ เครื่องถ่ายเทความร้อน (cooling jacket) และอัตราการป้อนน้ำเย็น หากมีการศึกษาโดยการขยายขนาดขึ้นควรจะคำนึงถึงระบบการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพด้วย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย