

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ถ่านหินเป็นแหล่งพลังงานที่มีประโยชน์ แต่มีข้อจำกัดคือปริมาณกำมะถันในถ่านหิน ดังนั้นจึงควรมีการจัดกำมะถันในถ่านหินก่อนนำไปใช้งาน การแปรรูปถ่านหินโดยกระบวนการคาร์บอนเซชันพบว่า ในระหว่างการคาร์บอนเซชันถ่านหินกำมะถันในถ่านหินจะเกิดการสลายตัว มีผลทำให้ถ่านชาร์ (char) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักในการคาร์บอนเซชันมีปริมาณกำมะถันลดลง ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการลดปัญหามลภาวะอันเกิดจากการเผาไหม้ถ่านชาร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นถึงการศึกษาจลนพลศาสตร์การสลายตัวของกำมะถันในถ่านหิน ระหว่างคาร์บอนเซชัน โดยใช้ตัวอย่างถ่านหินจาก 2 แหล่ง ซึ่งมีปริมาณกำมะถันในถ่านหินต่างกัน คือ ถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะและเหมืองบางปูดำ แบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ส่วนแรกเป็นการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ และเวลาที่คาร์บอนเซชัน มีต่อการสลายตัวของกำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟต และกำมะถันไพไรต์ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาการสลายตัวของกำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟต และกำมะถันไพไรต์ โดยนำถ่านหินจาก 2 แหล่งมาคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 400, 450, 500, 600 และ 700°C เวลาที่ใช้คาร์บอนเซชันต่างกันคือ 0, 10, 20, 30, 60 และ 90 นาที สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ผลของอุณหภูมิที่คาร์บอนเซชัน มีต่อการสลายตัวของกำมะถันในถ่านหิน พบว่าในถ่านหินเหมืองแม่เมาะและเหมืองบางปูดำให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิคาร์บอนเซชันให้สูงขึ้นสามารถลดปริมาณกำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟต และกำมะถันไพไรต์ได้มากขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิที่คาร์บอนเซชันเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับกำมะถันในถ่านหินทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวได้ดีขึ้น มีผลทำให้ปฏิกิริยาการสลายตัวของกำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟต และกำมะถันไพไรต์เกิดเร็วและง่ายขึ้น

2. ผลของเวลาที่ใช้คาร์บอนเซชันมีต่อการสลายตัวของกำมะถันในถ่านหิน พบว่าในถ่านหินทั้ง 2 แหล่งให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกันคือ ที่อุณหภูมิคาร์บอนเซชันหนึ่ง ๆ กำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟตและกำมะถันไพไรต์จะสลายตัวได้มากที่สุดในช่วง 20 นาทีแรกของการคาร์บอนเซชัน เมื่อเพิ่มเวลาในการคาร์บอนเซชันให้นานขึ้นสามารถลดปริมาณกำมะถันทั้ง 3 รูป ซึ่งการเพิ่มเวลาในการคาร์บอนเซชันเป็นการเพิ่มโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาให้

มากขึ้นและนานขึ้น

3. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาคาร์บอนไนซ์ให้นานขึ้น ปริมาณกำมะถันอินทรีย์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะและเหมืองบางปุด่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากกำมะถันอินทรีย์มีโครงสร้างที่แข็งแรง

4. บางส่วนของกำมะถันซัลเฟต และกำมะถันไพไรต์ที่สลายตัวจะอยู่ในรูปของกำมะถันซัลไฟด์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาคาร์บอนไนซ์จะพบกำมะถันซัลไฟด์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะและเหมืองบางปุด่าเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่อุณหภูมิที่คาร์บอนไนซ์ $400-600^{\circ}\text{C}$ ปริมาณกำมะถันซัลไฟด์จะเพิ่มมากที่สุดในช่วง 20 นาทีแรกของการคาร์บอนไนซ์ และที่อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ 700°C เวลา 0 นาที ปริมาณกำมะถันซัลไฟด์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะและเหมืองบางปุด่ามีค่าเท่ากับ 0.22 และ 2.02 ตามลำดับ

5. กำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟต และกำมะถันไพไรต์ ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะและเหมืองบางปุด่า จะสลายตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ $400 - 700^{\circ}\text{C}$ เวลาคาร์บอนไนซ์ 0 - 90 นาที พบว่า

	ถ่านหินเหมืองแม่เมาะ	ถ่านหินเหมืองบางปุด่า
การสลายตัวของกำมะถันรวม	18.49 - 40.34	18.71 - 43.26
การสลายตัวของกำมะถันซัลเฟต	11.11 - 100	52.12 - 100
การสลายตัวของกำมะถันไพไรต์	25 - 100	8.41 - 100

6. การศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาการสลายตัวของกำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟต และกำมะถันไพไรต์ โดยศึกษาถึงอันดับปฏิกิริยา ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาและค่าพลังงานกระตุ้น พบว่าในถ่านหินทั้ง 2 ชนิดให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงคือปฏิกิริยาการสลายตัวของกำมะถันรวมในถ่านหินเหมืองแม่เมาะและเหมืองบางปุด่าเป็นปฏิกิริยาอันดับ 2 มีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 4,481 และ 12,251 จูล/โมล ปฏิกิริยาการสลายตัวของกำมะถันซัลเฟตในถ่านหินเหมืองแม่เมาะและเหมืองบางปุด่า เป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 มีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 18,677 และ 29,593 จูล/โมล และปฏิกิริยาการสลายตัวของกำมะถันไพไรต์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะและบางปุด่า เป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 มีค่าพลังงานกระตุ้น 12,643 และ 26,163 จูล/โมล ตามลำดับ

ค่าคงที่อัตราเร็วการสลายตัวของกำมะถันรวมใน

$$\text{ถ่านหินเหมืองแม่เมาะ } k_f = 0.0063 \exp(-4,481/RT)$$

$$\text{ถ่านหินเหมืองบางปุด้า } k_f = 0.0035 \exp(-12,251/RT)$$

ค่าคงที่อัตราเร็วการสลายตัวของกำมะถันซัลเฟตใน

$$\text{ถ่านหินเหมืองแม่เมาะ } k_s = 0.2807 \exp(-18,677/RT)$$

$$\text{ถ่านหินเหมืองบางปุด้า } k_s = 0.2158 \exp(-29,593/RT)$$

ค่าคงที่อัตราเร็วการสลายตัวของกำมะถันไพไรต์ใน

$$\text{ถ่านหินเหมืองแม่เมาะ } k_p = 0.1499 \exp(-12,643/RT)$$

$$\text{ถ่านหินเหมืองบางปุด้า } k_p = 0.4270 \exp(-26,163/RT)$$

7. ปฏิริยาการสลายตัวของกำมะถันไพไรต์ในถ่านหินเหมืองแม่เมาะ และเหมืองบางปุด้า มีค่าพลังงานกระตุ้นต่ำกว่าปฏิริยาการสลายตัวของกำมะถันซัลเฟต แสดงว่า ปฏิริยาการสลายตัวของกำมะถันไพไรต์เกิดได้เร็วกว่าปฏิริยาการสลายตัวของกำมะถันซัลเฟต

8. การศึกษาอัตราเร็วปฏิริยาการสลายตัวของกำมะถันอินทรีย์ ในถ่านหินตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ไม่สามารถคำนวณหาได้เนื่องจากกำมะถันอินทรีย์มีโครงสร้างที่ซับซ้อนและเสถียรมาก และไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันอินทรีย์ได้โดยตรง

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การสลายตัวของกำมะถันในถ่านหินระหว่างคาร์บอนเซชัน พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่คาร์บอนเซชันมีผลต่อการสลายตัวของกำมะถันในถ่านหินจึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

- ศึกษาอิทธิพลของช่วงการเพิ่มอุณหภูมิ (heat up period) โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ต่างกัน ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเพียงอัตราเดียวคือ $20^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$

- ศึกษาผลของเวลาที่คาร์บอนเซชันมีต่อการสลายตัวของกำมะถันในถ่านหิน โดยพบว่าการสลายตัวของกำมะถันในถ่านหิน จะเกิดขึ้นมากในช่วง 20 นาทีแรกของการคาร์บอนเซชัน จึงควรทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิคาร์บอนเซชันดังกล่าว