

ผลการทดลอง การวิเคราะห์ และวิจารณ์

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาการขจัดกำมะถันในถ่านหินแม่เมาะ โดยใช้สารประกอบโลหะอินทรีย์ งานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือตอนที่ 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อปฏิกิริยาการขจัดกำมะถัน โดยพิจารณา อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโลหะโซเดียมต่อถ่านหิน อุณหภูมิ ชนิดสารละลาย แหล่งถ่านหิน ขนาดถ่านหิน และเวลา ตอนที่ 2 เป็นการศึกษาจลนพลศาสตร์การขจัดกำมะถันไพไรต์เพื่อหาอันดับปฏิกิริยา ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา ค่าพลังงานกระตุ้น ขั้นตอนที่เป็นตัวควบคุมปฏิกิริยา และสมการอัตราเร็วปฏิกิริยา ส่วนตอนที่ 3 เป็นการศึกษาจลนพลศาสตร์การขจัดกำมะถันอินทรีย์เพื่อหา อันดับปฏิกิริยา ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา ค่าพลังงานกระตุ้น

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อปฏิกิริยาการขจัดกำมะถันในถ่านหิน

ในงานวิจัยนี้ใช้ถ่านหินแม่เมาะ 1 ทำปฏิกิริยากับสารประกอบโลหะอินทรีย์ ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโลหะโซเดียมต่อถ่านหิน อุณหภูมิ ชนิดสารละลาย แหล่งถ่านหิน ขนาดถ่านหิน และเวลา และวิเคราะห์สมบัติของถ่านหินก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัด สมบัติของถ่านหินก่อนเข้าทำปฏิกิริยาแสดงในตารางที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 สมบัติของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ

| รายการที่ทำการวิเคราะห์ | แหล่งถ่านหิน | | | | |
|---|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | แม่ล่อ | บ้านปู | นาทราย | แม่เมาะ 1 | แม่เมาะ 2 |
| การวิเคราะห์แบบประมาณ (%) | | | | | |
| สารระเหย | 25.0 | 39.4 | 7.0 | 47.1 | 40.1 |
| คาร์บอนคงตัว | 46.0 | 24.4 | 28.7 | 22.6 | 23.8 |
| เถ้า | 13.2 | 30.1 | 24.5 | 16.5 | 20.4 |
| ความชื้น | 15.9 | 6.1 | 9.9 | 13.9 | 15.7 |
| การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (%) (แบบไม่รวมความชื้น) | | | | | |
| คาร์บอน | 54.3 | 40.1 | 44.2 | 50.3 | 45.7 |
| ไฮโดรเจน | 2.7 | 2.8 | 2.6 | 2.2 | 2.1 |
| กำมะถัน | 0.4 | 1.1 | 1.9 | 3.2 | 5.5 |
| ไนโตรเจน | 1.5 | 0.9 | 1.6 | 2.1 | 1.6 |
| ออกซิเจน | 25.5 | 23.0 | 22.5 | 23.2 | 20.9 |
| เถ้า | 15.7 | 32.1 | 40.7 | 19.1 | 24.2 |
| รูปแบบกำมะถัน (%) (แบบไม่รวมความชื้น) | | | | | |
| กำมะถันไฟ ไวต์ | 0.04 | 0.1 | 0.11 | 0.57 | 0.87 |
| กำมะถันซัลเฟต | 0.09 | 0.30 | 0.84 | 0.40 | 1.67 |
| กำมะถันอินทรีย์ | 0.24 | 0.72 | 0.98 | 2.18 | 2.92 |
| ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม) | 4465 | 3314 | 3602 | 4065 | 3863 |

4.1.1 ผลของอัตราส่วน โดยน้ำหนักของ โลหะ โซเดียมต่อถ่านหิน

สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ 1 ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน ที่แปรค่าอัตราส่วน โดยน้ำหนักของ โลหะ โซเดียมต่อถ่านหินเป็น 1:30 , 2:30 และ 3:30 ขนาดถ่านหิน 75-250 ไมครอน สารละลาย 200 มิลลิลิตร เวลา 10 นาที เมื่อสารละลายเป็น โซเดียม-เบนซอิกไซด์ อุณหภูมิ 205 °ซ โซเดียมบิวทอกไซด์ อุณหภูมิ 117 °ซ และโซเดียมเมทอกไซด์ อุณหภูมิ 65 ซ แสดงดังตารางที่ 4.2 , 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ผลของปริมาณโลหะโซเดียมต่อการลดปริมาณกำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟต กำมะถันไฟไรต์ กำมะถันอินทรีย์ และเถ้า เมื่อใช้สารละลายเป็นโซเดียมเบนซอิกไซด์ โซเดียมบิวทอกไซด์ และโซเดียมเมทอกไซด์ แสดงดังรูปที่ 4.1 ผลจากตารางและรูปพบว่า สำหรับสารละลายทั้งสามชนิด อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโลหะโซเดียมต่อถ่านหินที่เหมาะสมคือ 1:30 เมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโลหะโซเดียมต่อถ่านหิน 2:30 กรัม ทำให้ปริมาณเถ้าในถ่านหินเพิ่มขึ้น และถ้าใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโลหะโซเดียมต่อถ่านหินถึง 3:30 ทำให้ถ่านหินเกิดการเสียรูปไปไม่สามารถนำถ่านหินมาวิเคราะห์ได้ โดยที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโลหะโซเดียมต่อถ่านหิน 1:30 เมื่อใช้สารละลายเป็นโซเดียมเบนซอิกไซด์ โซเดียมบิวทอกไซด์ และโซเดียมเมทอกไซด์ พบว่าร้อยละการลดกำมะถันไฟไรต์เป็น 63.2 , 56.1 และ 43.9 ตามลำดับ ร้อยละการลดกำมะถันซัลเฟตเป็น 92.5 , 75.0 และ 72.5 ตามลำดับ ร้อยละการลดกำมะถันอินทรีย์เป็น 35.3 , 11.5 และ 0.5 ตามลำดับ ร้อยละการลดกำมะถันรวมเท่ากับ 47.6 27.3 และ 17.8 ตามลำดับ และร้อยละการลดเถ้าเท่ากับ 10.5 , 12.0 และ 7.3 ตามลำดับ และที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโลหะโซเดียมต่อถ่านหิน 2:30 เมื่อใช้สารละลายเป็นโซเดียมเบนซอิกไซด์ โซเดียมบิวทอกไซด์ และโซเดียมเมทอกไซด์ พบว่าร้อยละการเพิ่มเถ้าเท่ากับ 20.4 , 24.1 และ 29.8 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 สมบัติของฟ้านินแม่เกาะ 1 (แบบไม่วามความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการกำจัดกำมะถัน
ใช้โลหะโซเดียม 1, 2 และ 3 กรัม (ถ่านหิน 30 กรัม ต่อ สารละลาย 200 มิลลิลิตร เวลา 10 นาที
ขนาดถ่านหิน 75–250 ไมโครเมตร เมื่อใช้สารละลายโซเดียมเบนซอไซด์ ที่ 205 °ซ)

| โซเดียม (กรัม) | ร้อยละ ของกำ | ร้อยละกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดกำมะถัน | | | | ร้อยละการลด ของกำ |
|-------------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------|--------|----------|----------------------|
| | | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | |
| เริ่มต้น | 19.1 | 3.15 | 0.40 | 0.57 | 2.18 | — | — | — | — | — |
| 1 | 17.1 | 1.65 | 0.03 | 0.21 | 1.41 | 47.6 | 92.5 | 63.2 | 35.3 | 10.5 |
| 2 | 23.0 | 1.58 | 0.04 | 0.25 | 1.30 | 49.8 | 90.0 | 56.1 | 40.4 | -20.4 |
| 3 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |

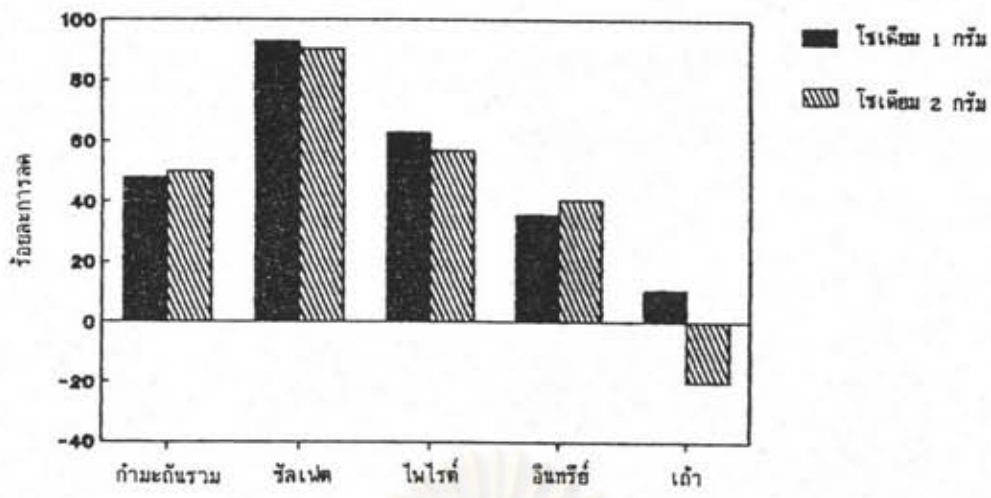
ตารางที่ 4.3 สมบัติของฟ้านินแม่เกาะ 1 (แบบไม่วามความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการกำจัดกำมะถัน
ใช้โลหะโซเดียม 1, 2 และ 3 กรัม (ถ่านหิน 30 กรัม ต่อ สารละลาย 200 มิลลิลิตร เวลา 10 นาที
ขนาดถ่านหิน 75–250 ไมโครเมตร เมื่อใช้สารละลายโซเดียมบิวออกไซด์ ที่ 117 °ซ)

| โซเดียม (กรัม) | ร้อยละ ของกำ | ร้อยละกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดกำมะถัน | | | | ร้อยละการลด ของกำ |
|-------------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------|--------|----------|----------------------|
| | | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | |
| เริ่มต้น | 19.1 | 3.15 | 0.40 | 0.57 | 2.18 | — | — | — | — | — |
| 1 | 16.8 | 2.29 | 0.10 | 0.25 | 1.93 | 27.3 | 75.0 | 56.1 | 11.5 | 12.0 |
| 2 | 23.7 | 2.33 | 0.07 | 0.26 | 2.00 | 26.0 | 82.5 | 54.4 | 8.3 | -24.1 |
| 3 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |

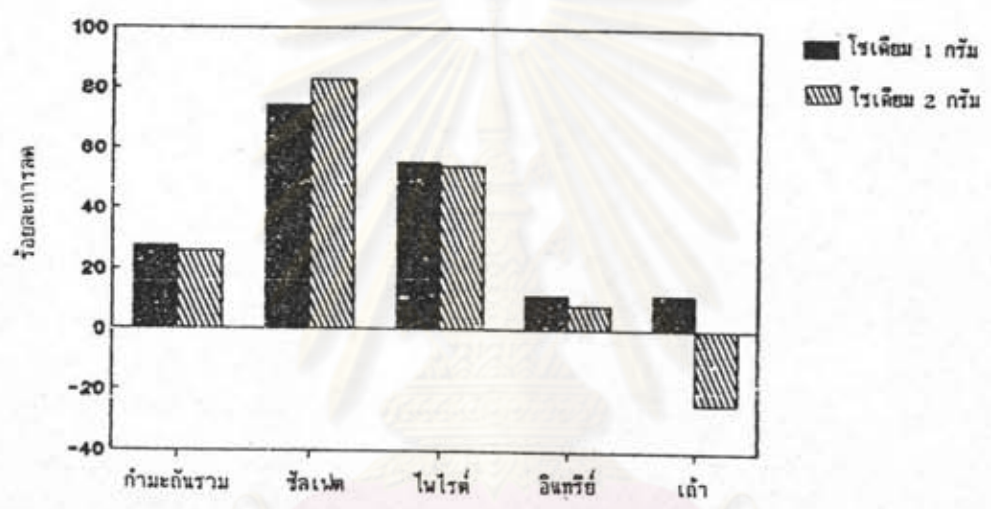
ตารางที่ 4.4 สมบัติของฟ้านินแม่เกาะ 1 (แบบไม่วามความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการกำจัดกำมะถัน
ใช้โลหะโซเดียม 1, 2 และ 3 กรัม (ถ่านหิน 30 กรัม ต่อ สารละลาย 200 มิลลิลิตร เวลา 10 นาที
ขนาดถ่านหิน 75–250 ไมโครเมตร เมื่อใช้สารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ ที่ 65 °ซ)

| โซเดียม (กรัม) | ร้อยละ ของกำ | ร้อยละกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดกำมะถัน | | | | ร้อยละการลด ของกำ |
|-------------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------|--------|----------|----------------------|
| | | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | |
| เริ่มต้น | 19.1 | 3.15 | 0.40 | 0.57 | 2.18 | — | — | — | — | — |
| 1 | 17.7 | 2.59 | 0.11 | 0.32 | 2.17 | 17.8 | 72.5 | 43.9 | 0.5 | 7.3 |
| 2 | 24.8 | 2.62 | 0.11 | 0.35 | 2.16 | 16.8 | 72.5 | 38.6 | 0.9 | -29.8 |
| 3 | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |

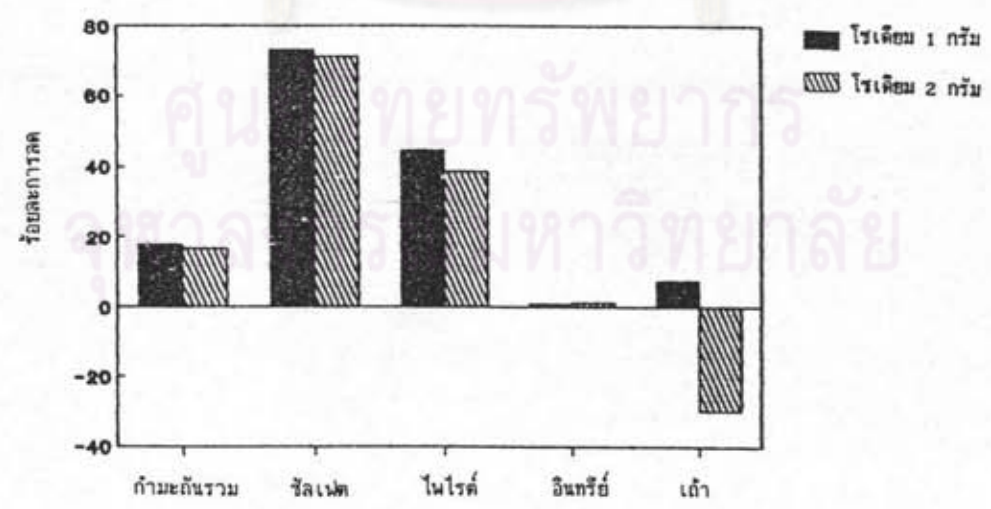
หมายเหตุ * วิเคราะห์ไม่ได้ เนื่องจากเกิดการเสียุบของฟ้านิน



ก. สารละลายโซเดียมเบนซอไทด์



ข. สารละลายโซเดียมบิวทอไซด์



ค. สารละลายโซเดียมเมทอกไซด์

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของปริมาณโลหะโซเดียมต่อปริมาณถ่านหิน (กรัมโซเดียม/กรัมถ่านหิน) กับ ร้อยละการลดค่าทั้งหมด ค่าเฉลี่ย ซิงค์ ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัส ค่าเฉลี่ยไนโตรเจน และร้อยละการลดค่า
 ก. สารละลายโซเดียมเบนซอไทด์ ข. สารละลายโซเดียมบิวทอไซด์
 ค. สารละลายโซเดียมเมทอกไซด์

4.1.2 ผลของอุณหภูมิและชนิดของสารละลาย

สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ 1 ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน เมื่อใช้สารละลายเป็น โซเดียมเบนซอิกไซด์ โซเดียมบิวทอกไซด์ และ โซเดียมเมทอกไซด์ ที่อุณหภูมิแปรค่าตามจุดเดือดของสารละลาย เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของ โลหะโซเดียมต่อถ่านหินเป็น 1:30 สารละลาย 200 มิลลิลิตร ขนาดอนุภาคถ่านหิน 75-250 ไมครอน เวลา 10 นาที แสดงดังตารางที่ 4.5

ผลของอุณหภูมิและชนิดของสารละลาย ที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟต กำมะถันไพไรต์ กำมะถันอินทรีย์ แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ ผลจากตารางและรูปพบว่า ร้อยละการลดกำมะถันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โซเดียมเบนซอิกไซด์สามารถลดปริมาณกำมะถันและเถ้าได้มากกว่าโซเดียมบิวทอกไซด์และโซเดียมเมทอกไซด์ โดยโซเดียมเมทอกไซด์สามารถลดปริมาณกำมะถันและเถ้าได้ดีที่สุด

เมื่อใช้สารละลายเป็น โซเดียมเบนซอิกไซด์ที่อุณหภูมิจุดเดือดคือ 205 °ซ พบว่า ร้อยละการลดของกำมะถันไพไรต์เป็น 63.2 ร้อยละการลดกำมะถันซัลเฟตเป็น 92.5 ร้อยละการลดกำมะถันอินทรีย์เป็น 35.3 ร้อยละการลดกำมะถันรวมเท่ากับ 47.6 และร้อยละการลดเถ้าเท่ากับ 10.5 เมื่อใช้สารละลายโซเดียมบิวทอกไซด์ที่อุณหภูมิจุดเดือด 117 °ซ พบว่าร้อยละการลดกำมะถันไพไรต์เป็น 56.1 ร้อยละการลดกำมะถันซัลเฟตเป็น 75.0 ร้อยละการลดกำมะถันอินทรีย์เป็น 11.5 ร้อยละการลดกำมะถันรวมเท่ากับ 27.3 และร้อยละการลดเถ้าเท่ากับ 12.0 เมื่อใช้สารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ ที่อุณหภูมิจุดเดือด 65 °ซ พบว่า ร้อยละการลดกำมะถันไพไรต์เป็น 43.9 ร้อยละการลดกำมะถันซัลเฟตเป็น 72.5 ร้อยละการลดกำมะถันอินทรีย์เป็น 0.5 ร้อยละการลดกำมะถันรวมเท่ากับ 17.8 และร้อยละการลดเถ้าเท่ากับ 7.3

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบร้อยละการลดกำมะถันแต่ละรูปแบบ ระหว่างสารละลายโซเดียมเบนซอิกไซด์กับสารละลายโซเดียมบิวทอกไซด์ พบว่า

ร้อยละการลดกำมะถันซัลเฟตเป็น 92.5 และ 75.0 ตามลำดับ

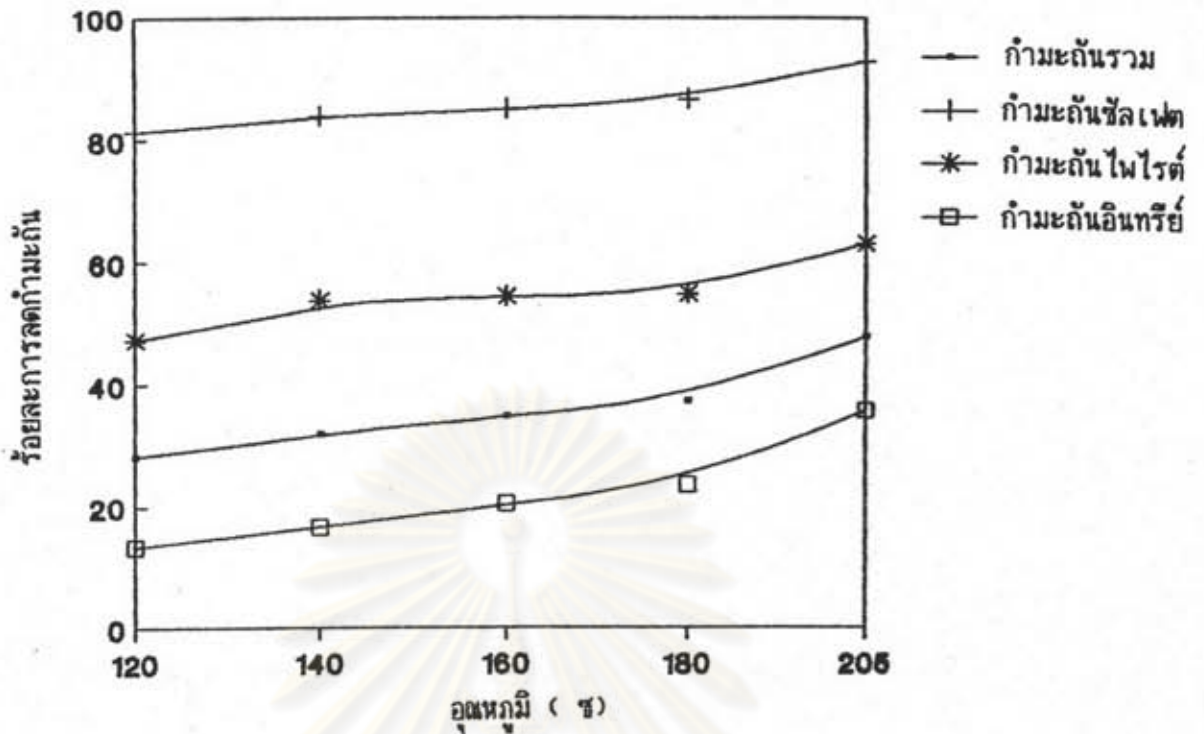
ร้อยละการลดกำมะถันไพไรต์เป็น 63.2 และ 56.1 ตามลำดับ

ร้อยละการลดกำมะถันอินทรีย์เป็น 35.3 และ 11.5 ตามลำดับ

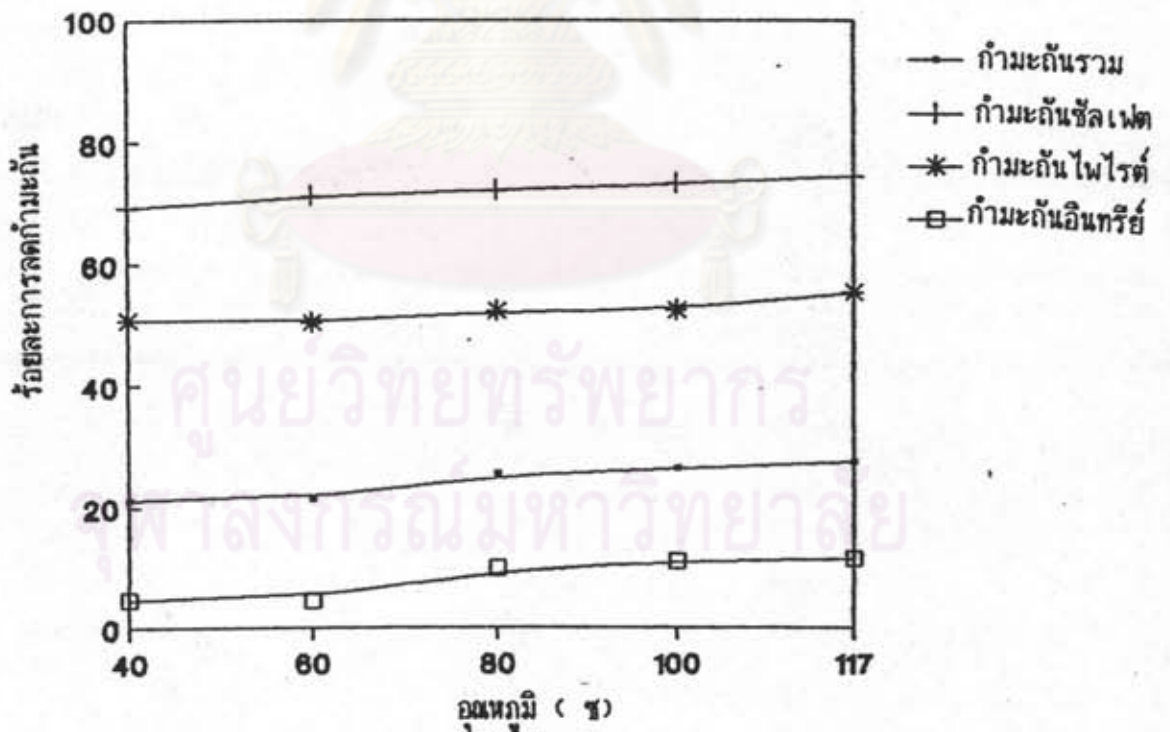
จากรูปที่ 4.3ก และ 4.3ข พบว่าสารละลายโซเดียมเบนซอิกไซด์สามารถขจัดกำมะถันรวมและกำมะถันอินทรีย์ได้ดีกว่าโซเดียมบิวทอกไซด์

ตารางที่ 4.5 สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ 1 (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน โดยมีสารละลายเป็น โซเดียมเบนซอกไซด์ โซเดียมบิวทอกไซด์ และโซเดียมเมทอกไซด์ ที่อุณหภูมิแปรค่าตามจุดเดือดของสารละลาย (ถ่านหิน 30 กรัม สารละลาย 200 มิลลิลิตร เวลา 10 นาที ขนาดถ่านหิน 75–250 ไมโครเมตร)

| สารละลาย | อุณหภูมิ (°ซ) | ร้อยละของเถ้า | ร้อยละกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดของเถ้า |
|-------------------|-----------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------|--------|----------|--------------------|
| | | | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | |
| | เริ่มต้น | 19.1 | 3.15 | 0.40 | 0.57 | 2.18 | — | — | — | — | — |
| น้ำกลั่น | 32 | 19.1 | 3.15 | 0.40 | 0.57 | 2.18 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 80 | 19.1 | 3.04 | 0.29 | 0.57 | 2.18 | 3.5 | 27.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 100 | 19.0 | 3.02 | 0.27 | 0.57 | 2.18 | 4.1 | 32.5 | 0.0 | 0.0 | 0.5 |
| โซเดียมเบนซอกไซด์ | 120 | 18.6 | 2.27 | 0.07 | 0.30 | 1.89 | 27.9 | 82.5 | 47.4 | 13.3 | 2.6 |
| | 140 | 18.5 | 2.15 | 0.06 | 0.26 | 1.82 | 31.7 | 85.0 | 54.4 | 16.5 | 3.1 |
| | 160 | 18.5 | 2.06 | 0.06 | 0.26 | 1.74 | 34.6 | 85.0 | 54.4 | 20.2 | 3.1 |
| | 180 | 17.8 | 1.98 | 0.05 | 0.26 | 1.67 | 37.1 | 87.5 | 54.4 | 23.4 | 6.8 |
| | 205 | 17.1 | 1.65 | 0.03 | 0.21 | 1.41 | 47.6 | 92.5 | 63.2 | 35.3 | 10.5 |
| โซเดียมบิวทอกไซด์ | 40 | 18.9 | 2.49 | 0.12 | 0.28 | 2.08 | 21.0 | 70.0 | 50.9 | 4.6 | 1.0 |
| | 60 | 17.9 | 2.48 | 0.12 | 0.28 | 2.08 | 21.3 | 70.0 | 50.9 | 4.6 | 6.3 |
| | 80 | 17.8 | 2.35 | 0.11 | 0.27 | 1.97 | 25.4 | 72.5 | 52.6 | 9.6 | 6.8 |
| | 100 | 17.6 | 2.32 | 0.11 | 0.27 | 1.94 | 26.3 | 72.5 | 52.6 | 11.0 | 7.9 |
| | 117 | 16.8 | 2.29 | 0.10 | 0.25 | 1.93 | 27.3 | 75.0 | 56.1 | 11.5 | 12.0 |
| โซเดียมเมทอกไซด์ | 40 | 19.1 | 2.66 | 0.20 | 0.32 | 2.14 | 15.6 | 50.0 | 43.9 | 1.8 | 0.0 |
| | 55 | 18.8 | 2.59 | 0.12 | 0.32 | 2.16 | 17.8 | 70.0 | 43.9 | 0.9 | 1.6 |
| | 65 | 17.7 | 2.59 | 0.11 | 0.32 | 2.17 | 17.8 | 72.5 | 43.9 | 0.5 | 7.3 |

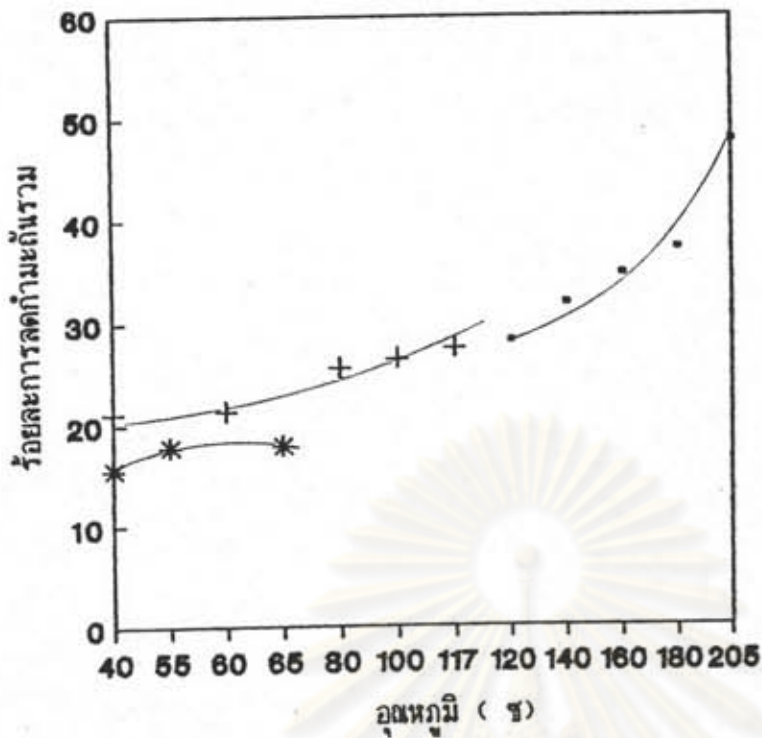


ก. สารละลายโซเดียมเบนซอิกไซด์

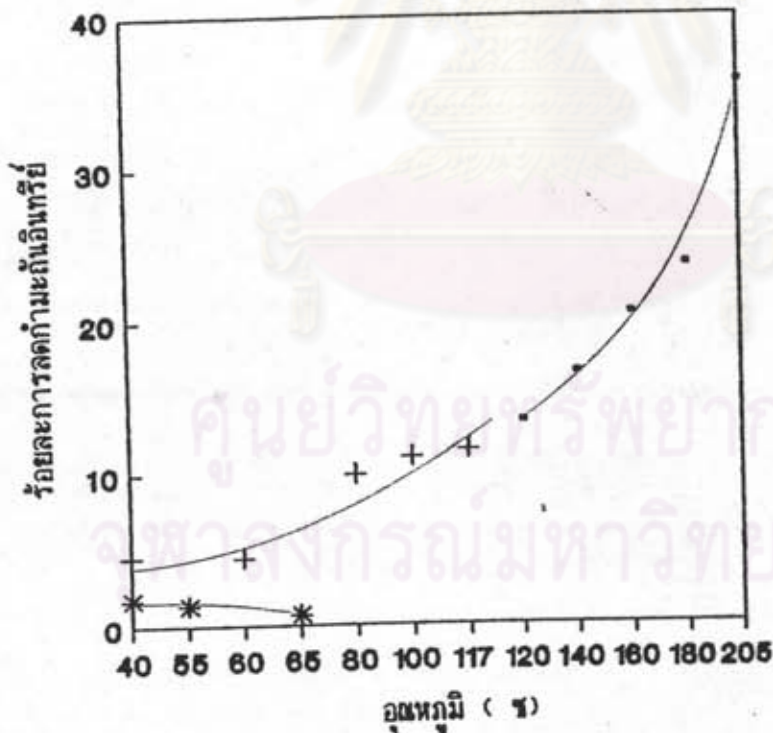


ข. สารละลายโซเดียมบิวทอิกไซด์

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ร้อยละการลดปริมาณก้ำมะกันรวม ก้ำมะกันซิลเฟต ก้ำมะกันไฟโรต์ ก้ำมะกันอินทรีรี่ และเก่า
 ก. สารละลายโซเดียมเบนซอิกไซด์ ข. สารละลายโซเดียมบิวทอิกไซด์



ก. ร้อยละการลดก้ำมะถันรวม



ข. ร้อยละการลดก้ำมะถันอินทรีย์

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอหุภูมิ กับ ร้อยละการลดก้ำมะถัน เมื่อใช้สารละลายเป็น โซเดียมเบนซอกไซด์ โซเดียมบิวทอกไซด์ และ โซเดียมเมทอกไซด์

ก. ร้อยละการลดก้ำมะถันรวม ข. ร้อยละการลดก้ำมะถันอินทรีย์

4.1.3 ผลของชนิดของถ่านหิน

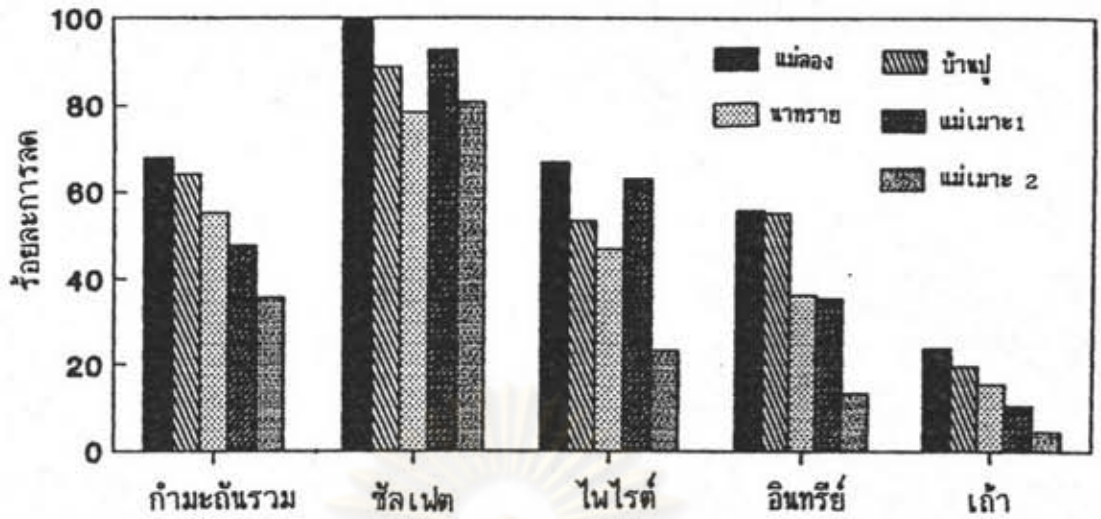
สมบัติของถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน ที่ขนาดอนุภาคถ่านหิน 75-250 ไมครอน อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโลหะโซเดียมต่อถ่านหิน 1:30 สารละลาย 200 มิลลิลิตร เวลา 10 นาที สารละลายเป็นโซเดียมเบนซอไซด์ที่อุณหภูมิ 205°C และโซเดียมบิวทอไซด์ ที่อุณหภูมิ 117°C แสดงดังตารางที่ 4.6

ผลของชนิดถ่านหินที่มีต่อการลดปริมาณ กำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟต กำมะถันไฟไรต์ กำมะถันอินทรีย์ และเถ้า เมื่อใช้สารละลายเป็นโซเดียมเบนซอไซด์ และโซเดียมบิวทอไซด์ แสดงดังรูปที่ 4.4 ผลจากตารางและรูปพบว่าถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันต่ำสามารถขจัดกำมะถันได้ดีกว่าถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูงกว่า และความสามารถในการขจัดกำมะถันรูปต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในถ่านหินขึ้นอยู่กับชนิดและโครงสร้างของถ่านหิน เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอไซด์ และชนิดถ่านหินเรียงตามปริมาณกำมะถันที่เป็นองค์ประกอบในถ่านหินจากมากไปหาน้อยเป็น บ้านปู (กำมะถันรวม 1.12 %) , นาทราช (กำมะถันรวม 1.93 %) และแม่เมาะ 2 (กำมะถันรวม 5.45 %) พบว่าร้อยละการลดกำมะถันไฟไรต์เป็น 50.0 , 45.5 และ 24.1 ตามลำดับ ร้อยละการลดกำมะถันซัลเฟตเป็น 90.0 , 78.6 และ 80.8 ตามลำดับ ร้อยละการลดกำมะถันอินทรีย์เป็น 55.6 , 35.7 และ 13.4 ตามลำดับ ร้อยละการลดกำมะถันรวมเท่ากับ 64.3 , 55.4 และ 35.6 ตามลำดับ และร้อยละการลดเถ้าเท่ากับ 19.6, 15.5 และ 4.5 ตามลำดับ

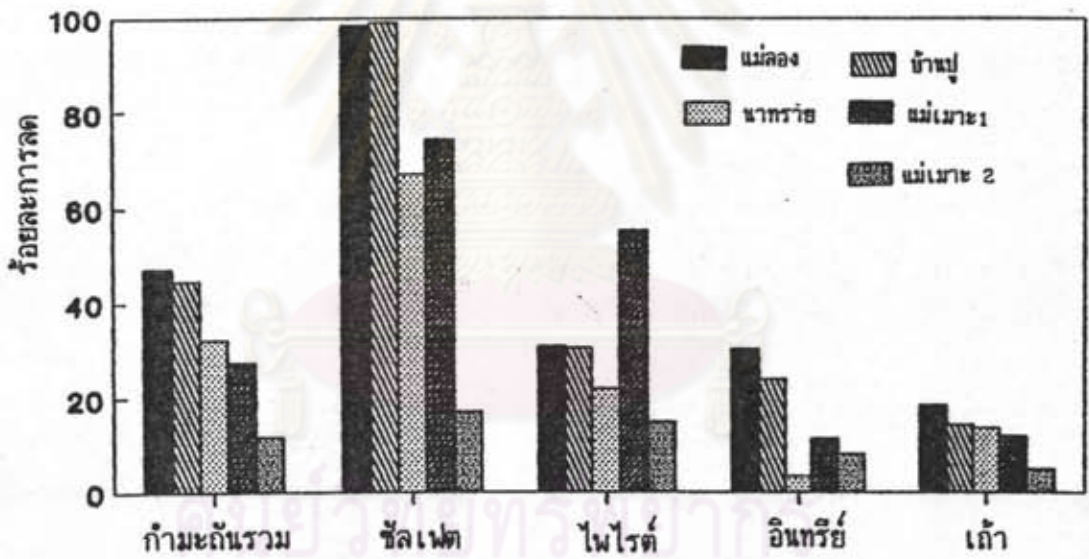
เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมบิวทอไซด์ ชนิดถ่านหินเป็น บ้านปู (กำมะถันรวม 1.12 %) , นาทราช (กำมะถันรวม 1.93 %) , และแม่เมาะ 2 (กำมะถันรวม 5.45 %) พบว่า ร้อยละการลดกำมะถันไฟไรต์เป็น 30.0 , 27.3 และ 14.9 ตามลำดับ ร้อยละการลดกำมะถันซัลเฟตเป็น 100.0 , 66.7 และ 17.4 ตามลำดับ ร้อยละการลดกำมะถันอินทรีย์เป็น 23.6 , 3.1 และ 8.2 ตามลำดับ ร้อยละการลดกำมะถันรวมเท่ากับ 44.6 , 32.1 และ 11.7 ตามลำดับ และร้อยละการลดเถ้าเท่ากับ 14.3 , 13.8 และ 5.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 สมบัติของถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน (ถ่านหิน 30 กรัม โลหะโซเดียม 1 กรัม ต่อ สารละลาย 200 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหิน 75–250 ไมครอน เวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิจุดเดือดสารละลาย)

| ชนิดของตัวทำละลาย | ชนิดของถ่านหิน | ร้อยละของเถ้า | ร้อยละกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดของเถ้า |
|--------------------------|----------------|---------------|---------------|--------|--------|----------|--------------------|--------|--------|----------|--------------------|
| | | | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | |
| เริ่มต้น | แม่ลอม | 15.7 | 0.38 | 0.09 | 0.04 | 0.24 | — | — | — | — | — |
| | บ้านปู | 32.1 | 1.12 | 0.30 | 0.10 | 0.72 | — | — | — | — | — |
| | นาทวาย | 40.7 | 1.93 | 0.84 | 0.11 | 0.98 | — | — | — | — | — |
| | แม่เมาะ1 | 19.1 | 3.15 | 0.40 | 0.57 | 2.18 | — | — | — | — | — |
| | แม่เมาะ2 | 24.2 | 5.45 | 1.67 | 0.87 | 2.92 | — | — | — | — | — |
| โซเดียมเบนซอกไซด์ 205 °ซ | แม่ลอม | 11.9 | 0.12 | 0.00 | 0.01 | 0.11 | 68.4 | 100.0 | 75.0 | 54.2 | 24.2 |
| | บ้านปู | 25.8 | 0.40 | 0.03 | 0.05 | 0.32 | 64.3 | 90.0 | 50.0 | 55.6 | 19.6 |
| | นาทวาย | 34.4 | 0.86 | 0.18 | 0.06 | 0.63 | 55.4 | 78.6 | 45.5 | 35.7 | 15.5 |
| | แม่เมาะ1 | 17.1 | 1.65 | 0.03 | 0.21 | 1.41 | 47.6 | 92.5 | 63.2 | 35.3 | 10.5 |
| | แม่เมาะ2 | 23.1 | 3.51 | 0.32 | 0.66 | 2.53 | 35.6 | 80.8 | 24.1 | 13.4 | 4.5 |
| โซเดียมบิวทอกไซด์ 117 °ซ | แม่ลอม | 12.8 | 0.20 | 0.00 | 0.03 | 0.17 | 47.4 | 100.0 | 25.0 | 29.2 | 18.5 |
| | บ้านปู | 27.5 | 0.62 | 0.00 | 0.07 | 0.55 | 44.6 | 100.0 | 30.0 | 23.6 | 14.3 |
| | นาทวาย | 35.1 | 1.31 | 0.28 | 0.08 | 0.95 | 32.1 | 66.7 | 27.3 | 3.1 | 13.8 |
| | แม่เมาะ1 | 16.8 | 2.29 | 0.10 | 0.25 | 1.93 | 27.3 | 75.0 | 56.1 | 11.5 | 12.0 |
| | แม่เมาะ2 | 23.0 | 4.81 | 1.38 | 0.74 | 2.68 | 11.7 | 17.4 | 14.9 | 8.2 | 5.0 |



ก. สารละลายโซเดียมเบนซอกไซด์



ข. สารละลายโซเดียมบิวทอกไซด์

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของถ่านหิน กับ ร้อยละการลัดปริมาณกำมะถันรวม
 กำมะถันซัลเฟต กำมะถันไนโตร กำมะถันอินทรีย์ และถั่ว
 ก. สารละลายเป็นโซเดียมเบนซอกไซด์ ข. สารละลายเป็นโซเดียมบิวทอกไซด์

4.1.4 ผลของขนาดอนุภาคถ่านหินและเวลา

สมบัติของถ่านหินแม่เหาะ 1 ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน ที่มีขนาดอนุภาคถ่านหิน 75-250 , 250-850 , 850-1000 ไมครอน และ 1-2 มิลลิเมตร โขะโซเดียม 3 กรัม ถ่านหิน 90 กรัม สารละลาย 600 มิลลิลิตร เวลา 15 , 30 , 45 , 60 75 และ 90 นาที เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 205 °ซ และโซเดียมบิวทอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 117 °ซ แสดงดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงผลของขนาดถ่านหินและเวลาที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันรวม กำมะถันไพไรต์ กำมะถันอินทรีย์ เมื่อสารละลายที่ใช้เป็นโซเดียมเบนซอกไซด์ และโซเดียมบิวทอกไซด์ ตามลำดับ ผลจากตารางและรูปพบว่า ที่ขนาดอนุภาคถ่านหินเล็กกว่า 250 ไมครอน (75-250 ไมครอน) การขจัดกำมะถันสมบูรณ์ภายในเวลา 15 นาที สำหรับสารละลายทั้งสองชนิด และที่ขนาดอนุภาคถ่านหินใหญ่กว่า 250 ไมครอน ขึ้นไป พบว่า การขจัดกำมะถันเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นแต่การขจัดกำมะถันลดลงเมื่อขนาดอนุภาคถ่านหินใหญ่ขึ้น โดยเมื่อใช้สารละลายเป็นโซเดียมเบนซอกไซด์ ขนาดอนุภาคถ่านหิน 75-250 ไมครอน เวลา 15 , 30 45 , 60 , 75 และ 90 นาที พบว่า ร้อยละการลดกำมะถันไพไรต์ ร้อยละการลดกำมะถันอินทรีย์ ร้อยละการลดกำมะถันรวม เปลี่ยนแปลงน้อยมากกับเวลา โดยเปลี่ยนแปลงใน 15 นาที แรกและคงที่ และในทำนองเดียวกันสำหรับสารละลายโซเดียมบิวทอกไซด์ให้ผลเหมือนกัน

ขนาดอนุภาคถ่านหิน 250-850 ไมครอน สำหรับสารละลายทั้งสองชนิด คือสารละลายโซเดียมเบนซอกไซด์และโซเดียมบิวทอกไซด์ ที่เวลา 75 นาที ร้อยละการลดกำมะถันรวม เท่ากับ 45.9 และ 28.5 ร้อยละการลดกำมะถันไพไรต์เป็น 64.3 และ 55.7 ร้อยละการลดกำมะถันอินทรีย์เป็น 33.7 และ 11.5 ตามลำดับ

ขนาดอนุภาคถ่านหิน 850-1000 ไมครอน สำหรับสารละลายทั้งสองชนิด คือสารละลายโซเดียมเบนซอกไซด์และโซเดียมบิวทอกไซด์ ที่เวลา 90 นาที ร้อยละการลดกำมะถันรวม เท่ากับ 43.1 และ 23.3 ร้อยละการลดกำมะถันไพไรต์เป็น 60.0 และ 51.4 ร้อยละการลดกำมะถันอินทรีย์เป็น 29.3 และ 6.3 ตามลำดับ

ขนาดอนุภาคถ่านหิน 1-2 มิลลิเมตร ไม่เหมาะสมต่อการขจัด สำหรับสารละลายทั้งสองชนิดเนื่องจากเมื่อใช้เวลา 90 นาที ร้อยละการลดกำมะถันรวมเพียง 32.3 และ 22.1

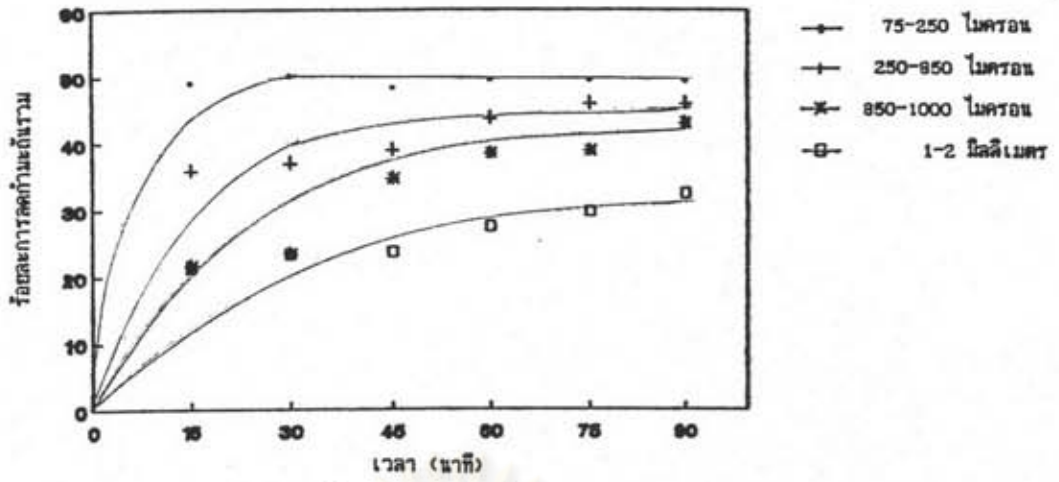
จากผลการทดลองพบว่า ขนาดอนุภาคถ่านหินที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการหาจลนพลศาสตร์การขจัดกำมะถันในถ่านหิน คือ ขนาดอนุภาค 250-850 ไมครอน

ตารางที่ 4.7 สมบัติก้านหินแม่เกาะ 1 (แบบไม่รวมความชื้นและแก้ว) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน ที่มีขนาดอนุภาคก้านหิน 75–250 , 250–850 , 850–1000 ไมครอน และ 1–2 มิลลิเมตร (ก้านหิน 90 กรัม โลหะโซเดียม 3 กรัม ต่อ สารละลาย 600 มิลลิลิตร เมื่อใช้สารละลาย โซเดียมเบนซอไซด์ อุณหภูมิ 205 °ซ)

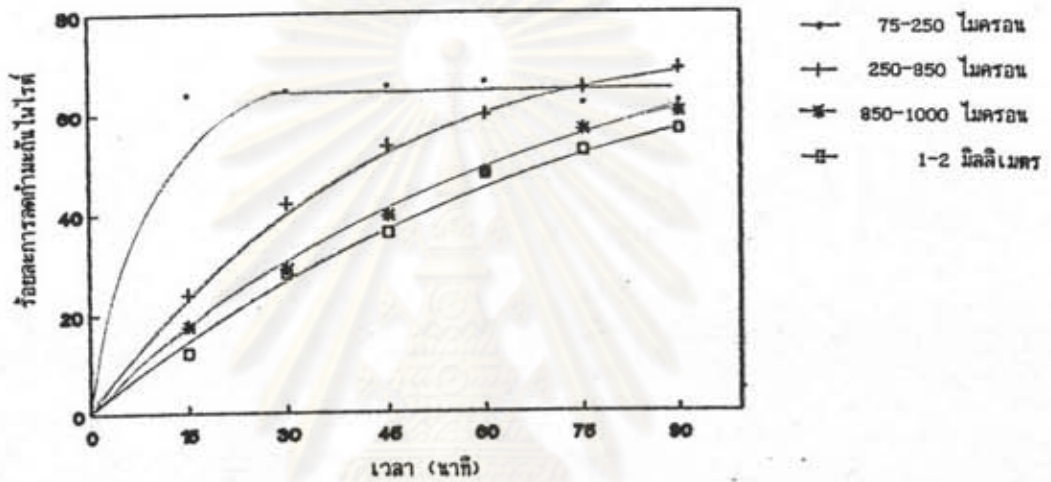
| ขนาดก้านหิน (ไมครอน) | เวลา (นาที) | ร้อยละกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดกำมะถัน | | | |
|-------------------------|------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------|--------|----------|
| | | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ |
| เริ่มต้น | | 3.90 | 0.49 | 0.70 | 2.70 | – | – | – | – |
| 75–250 | 15 | 1.99 | 0.03 | 0.25 | 1.70 | 49.0 | 93.9 | 64.3 | 37.0 |
| | 30 | 1.94 | 0.04 | 0.25 | 1.65 | 50.3 | 91.8 | 64.3 | 38.9 |
| | 45 | 2.01 | 0.03 | 0.24 | 1.74 | 48.5 | 93.9 | 65.7 | 35.6 |
| | 60 | 1.97 | 0.03 | 0.24 | 1.69 | 49.5 | 93.9 | 65.7 | 37.4 |
| | 75 | 1.97 | 0.04 | 0.27 | 1.66 | 49.5 | 91.8 | 61.4 | 38.5 |
| | 90 | 1.98 | 0.04 | 0.27 | 1.67 | 49.2 | 91.8 | 61.4 | 38.1 |
| 250–850 | 15 | 2.50 | 0.04 | 0.54 | 1.93 | 35.9 | 91.8 | 22.9 | 28.5 |
| | 30 | 2.46 | 0.02 | 0.41 | 2.03 | 36.9 | 95.9 | 41.4 | 24.8 |
| | 45 | 2.38 | 0.04 | 0.33 | 2.01 | 39.0 | 91.8 | 52.9 | 25.6 |
| | 60 | 2.19 | 0.04 | 0.28 | 1.87 | 43.8 | 91.8 | 60.0 | 30.7 |
| | 75 | 2.11 | 0.07 | 0.25 | 1.79 | 45.9 | 85.7 | 64.3 | 33.7 |
| | 90 | 2.11 | 0.08 | 0.22 | 1.80 | 45.9 | 83.7 | 68.6 | 33.3 |
| 850–1000 | 15 | 3.05 | 0.07 | 0.58 | 2.40 | 21.8 | 85.7 | 17.1 | 11.1 |
| | 30 | 2.99 | 0.07 | 0.50 | 2.42 | 23.3 | 85.7 | 28.6 | 10.4 |
| | 45 | 2.54 | 0.04 | 0.43 | 2.07 | 34.9 | 91.8 | 38.6 | 23.3 |
| | 60 | 2.40 | 0.04 | 0.37 | 2.00 | 38.5 | 91.8 | 47.1 | 25.9 |
| | 75 | 2.38 | 0.04 | 0.31 | 2.04 | 39.0 | 91.8 | 55.7 | 24.4 |
| | 90 | 2.22 | 0.04 | 0.28 | 1.91 | 43.1 | 91.8 | 60.0 | 29.3 |
| 1000–2000 | 15 | 3.07 | 0.03 | 0.62 | 2.42 | 21.3 | 93.9 | 11.4 | 10.4 |
| | 30 | 2.99 | 0.02 | 0.51 | 2.46 | 23.3 | 95.9 | 27.1 | 8.9 |
| | 45 | 2.98 | 0.13 | 0.45 | 2.40 | 23.6 | 73.5 | 35.7 | 11.1 |
| | 60 | 2.83 | 0.06 | 0.37 | 2.40 | 27.4 | 87.8 | 47.1 | 11.1 |
| | 75 | 2.74 | 0.04 | 0.34 | 2.37 | 29.7 | 91.8 | 51.4 | 12.2 |
| | 90 | 2.64 | 0.04 | 0.31 | 2.29 | 32.3 | 91.8 | 55.7 | 15.2 |

ตารางที่ 4.8 สมบัติถ่านหินแม่เมาะ 1 (แบบไม่รวมความชื้นและเถ้า) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการทางกายจัดกำมะถัน ที่มีขนาดอนุภาคถ่านหิน 75–250, 250–850, 850–1000 ไมครอน และ 1–2 มิลลิเมตร (ถ่านหิน 90 กรัม โลหะโซเดียม 3 กรัม ต่อ สารละลาย 600 มิลลิลิตร เมื่อใช้สารละลาย โซเดียมบิวทอกไซด์ อุณหภูมิ 117 °ซ)

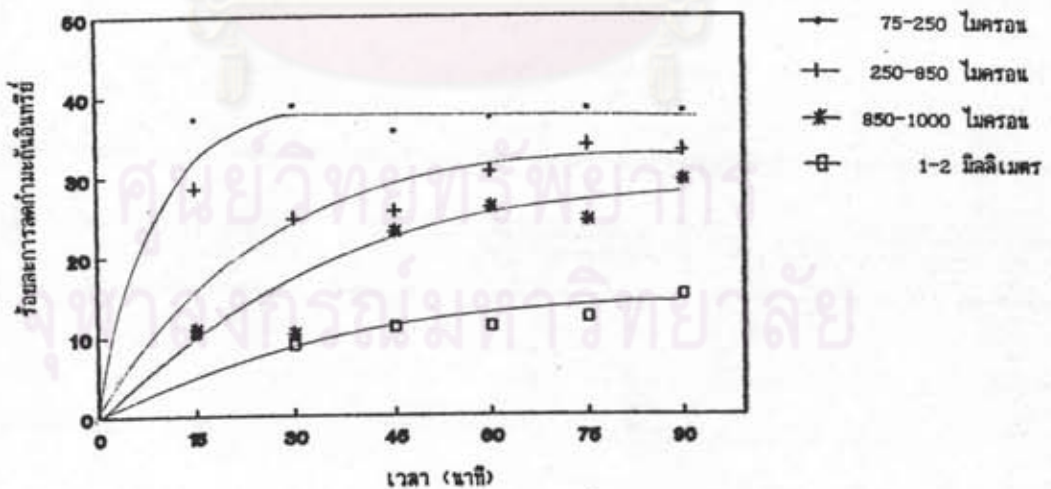
| ขนาดถ่านหิน (ไมครอน) | เวลา (นาที) | ร้อยละกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดกำมะถัน | | | |
|-------------------------|------------------|---------------|--------|--------|----------|--------------------|--------|--------|----------|
| | | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ |
| เริ่มต้น | | 3.90 | 0.49 | 0.70 | 2.70 | — | — | — | — |
| 75–250 | 15 | 2.75 | 0.12 | 0.31 | 2.32 | 29.5 | 75.5 | 55.7 | 14.1 |
| | 30 | 2.66 | 0.13 | 0.30 | 2.23 | 31.8 | 73.5 | 57.1 | 17.4 |
| | 45 | 2.66 | 0.12 | 0.30 | 2.24 | 31.8 | 75.5 | 57.1 | 17.0 |
| | 60 | 2.79 | 0.12 | 0.29 | 2.38 | 28.5 | 75.5 | 58.6 | 11.9 |
| | 75 | 2.67 | 0.12 | 0.30 | 2.25 | 31.5 | 75.5 | 57.1 | 16.7 |
| | 90 | 2.68 | 0.12 | 0.29 | 2.27 | 31.3 | 75.5 | 58.6 | 15.9 |
| 250–850 | 15 | 3.19 | 0.19 | 0.55 | 2.45 | 18.2 | 61.2 | 21.4 | 9.3 |
| | 30 | 3.17 | 0.20 | 0.46 | 2.51 | 18.7 | 59.2 | 34.3 | 7.0 |
| | 45 | 3.12 | 0.25 | 0.40 | 2.46 | 20.0 | 49.0 | 42.9 | 8.9 |
| | 60 | 3.04 | 0.24 | 0.35 | 2.44 | 22.1 | 51.0 | 50.0 | 9.6 |
| | 75 | 2.79 | 0.08 | 0.31 | 2.39 | 28.5 | 83.7 | 55.7 | 11.5 |
| | 90 | 2.80 | 0.12 | 0.28 | 2.40 | 28.2 | 75.5 | 60.0 | 11.1 |
| 850–1000 | 15 | 3.36 | 0.26 | 0.57 | 2.54 | 13.8 | 46.9 | 18.6 | 5.9 |
| | 30 | 3.31 | 0.24 | 0.52 | 2.55 | 15.1 | 51.0 | 25.7 | 5.6 |
| | 45 | 3.20 | 0.22 | 0.46 | 2.51 | 17.9 | 55.1 | 34.3 | 7.0 |
| | 60 | 3.12 | 0.17 | 0.42 | 2.54 | 20.0 | 65.3 | 40.0 | 5.9 |
| | 75 | 3.05 | 0.14 | 0.37 | 2.55 | 21.8 | 71.4 | 47.1 | 5.6 |
| | 90 | 2.99 | 0.12 | 0.34 | 2.53 | 23.3 | 75.5 | 51.4 | 6.3 |
| 1000–2000 | 15 | 3.39 | 0.27 | 0.61 | 2.51 | 13.1 | 44.9 | 12.9 | 7.0 |
| | 30 | 3.36 | 0.25 | 0.56 | 2.54 | 13.8 | 49.0 | 20.0 | 5.9 |
| | 45 | 3.24 | 0.21 | 0.49 | 2.54 | 16.9 | 57.1 | 30.0 | 5.9 |
| | 60 | 3.17 | 0.20 | 0.44 | 2.52 | 18.7 | 59.2 | 37.1 | 6.7 |
| | 75 | 3.09 | 0.19 | 0.38 | 2.52 | 20.8 | 61.2 | 45.7 | 6.7 |
| | 90 | 3.04 | 0.14 | 0.36 | 2.55 | 22.1 | 71.4 | 48.6 | 5.6 |



ก. ร้อยละการดูดกัมมันต์รวม



ข. ร้อยละการดูดกัมมันต์ไพไรที



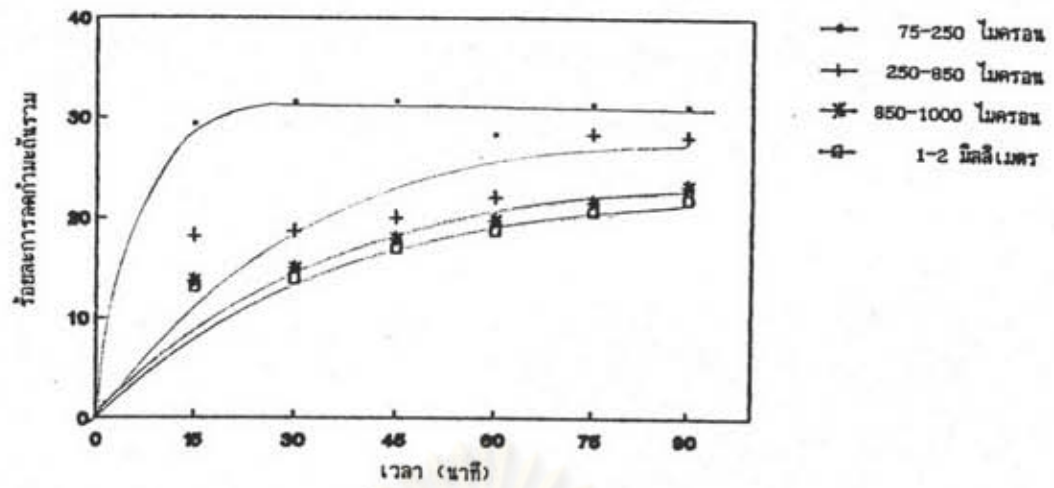
ค. ร้อยละการดูดกัมมันต์อินทรี

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับร้อยละการดูดกัมมันต์ ที่ขนาดถ้ำหิน

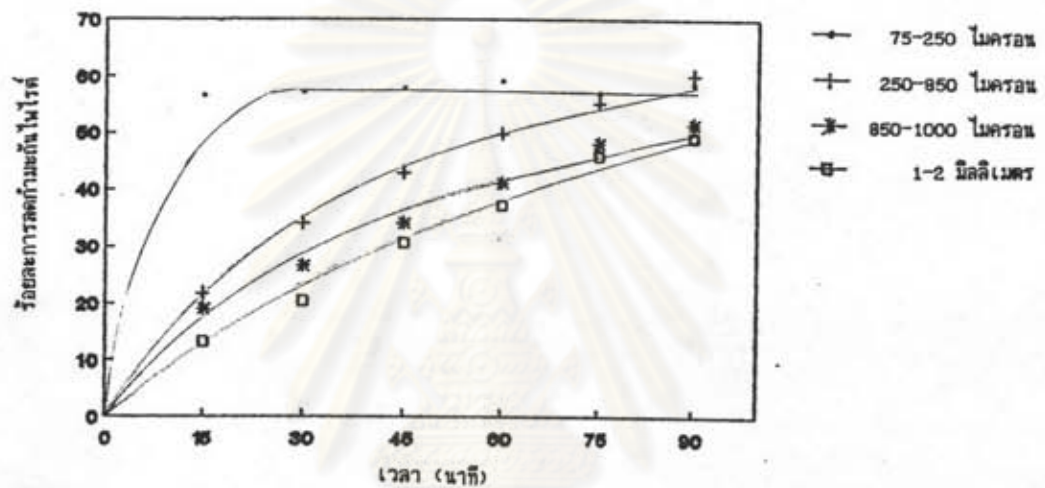
ต่าง ๆ กัน เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอกไซด์

ก. ร้อยละการดูดกัมมันต์รวม ข. ร้อยละการดูดกัมมันต์ไพไรที

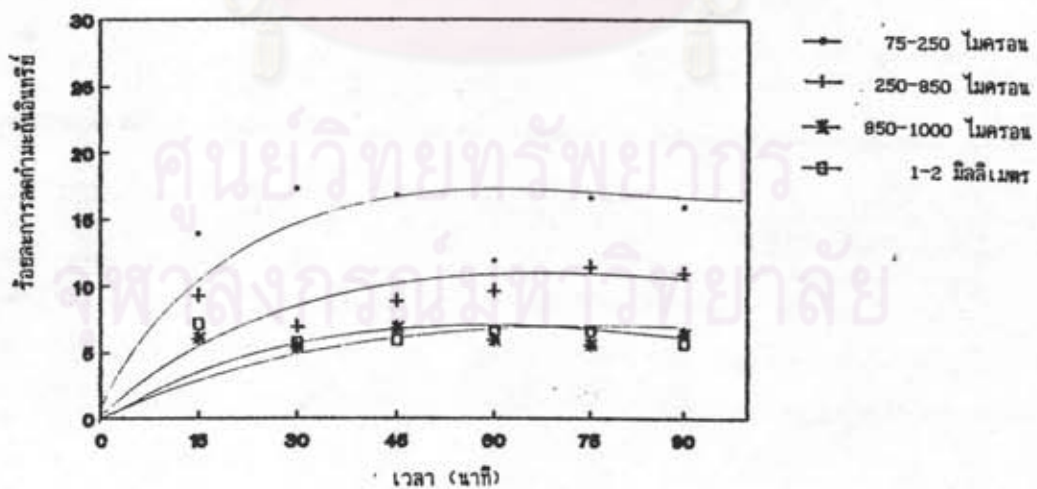
ค. ร้อยละการดูดกัมมันต์อินทรี



ก. ร้อยละการลดค่ามอดินแขวนรวม



ข. ร้อยละการลดค่ามอดินแขวนไฟไรต์



ค. ร้อยละการลดค่ามอดินแขวนอินทรีย์

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละการลดค่ามอดินแขวน ที่ขนาดถ่านหินต่าง ๆ กัน เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมบิวทอกไซด์

ก. ร้อยละการลดค่ามอดินแขวนรวม ข. ร้อยละการลดค่ามอดินแขวนไฟไรต์

ค. ร้อยละการลดค่ามอดินแขวนอินทรีย์

4.1.5 ผลของตัวทำละลายที่ผ่านการ Recovery

พิจารณาตัวทำละลายที่ใช้ในการจัดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery) ได้ด้วยการกลั่นธรรมดาที่จุดเดือดตัวทำละลายทั้งสองชนิดคือ เบนซิลแอลกอฮอล์ ที่ 205 °ซ และ บิวทานอลที่ 117 °ซ โดยตัวทำละลายที่ได้จากการกลั่นจะมีน้ำเจือปนอยู่เล็กน้อยสังเกตได้จากตัวทำละลายจะมีสีขาวขุ่นเจือปนอยู่ ตัวทำละลายที่ได้จึงมีความบริสุทธิ์ลดลงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery) ของสารละลายโซเดียมเบนซอไซด์ และโซเดียมบิวทอไซด์ พบว่า ปริมาณ Recovery ประมาณ 85-91 % ปริมาณถ่านหินที่ได้ประมาณ 90-95 % การสูญเสียถ่านหินน้อยกว่า 10 %

สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ 1 ก่อนและหลังผ่านกระบวนการจัดกัมมะถันเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการจัดกัมมะถันระหว่าง ตัวทำละลายเริ่มต้น และตัวทำละลายที่ได้จากการ Recovery ขนาดอนุภาคถ่านหิน 75-250 ไมครอน ปริมาณโลหะโซเดียม 3 กรัม ถ่านหิน 90 กรัม สารละลาย 600 มิลลิลิตร เวลา 15 , 30 , 45 , 60 , 75 และ 90 นาที เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอไซด์ ที่อุณหภูมิ 205 °ซ และโซเดียมบิวทอไซด์ ที่อุณหภูมิ 117 °ซ แสดงดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

รูปที่ 4.7 แสดงผลการจัดกัมมะถันของตัวทำละลายเริ่มต้นกับตัวทำละลายที่ได้จากการ Recovery ที่มีต่อการลดปริมาณกัมมะถันรวม กัมมะถันซัลเฟต กัมมะถันไพไรต์ กัมมะถันอินทรีย์ และเถ้า เมื่อตัวทำละลายเป็นเบนซิลแอลกอฮอล์ และ บิวทานอล ผลจากตารางและรูปพบว่าความสามารถในการจัดกัมมะถันของตัวทำละลายที่ได้จากการ Recovery ของทั้งสองชนิดจะลดลงเล็กน้อย เนื่องจากกระบวนการ Recovery ใช้การกลั่นธรรมดาที่ความดันบรรยากาศ

ตารางที่ 4.9 ปริมาณการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery) ของสารละลายโซเดียมเบนซอไซด์ และสารละลายโซเดียมบิวทอไซด์

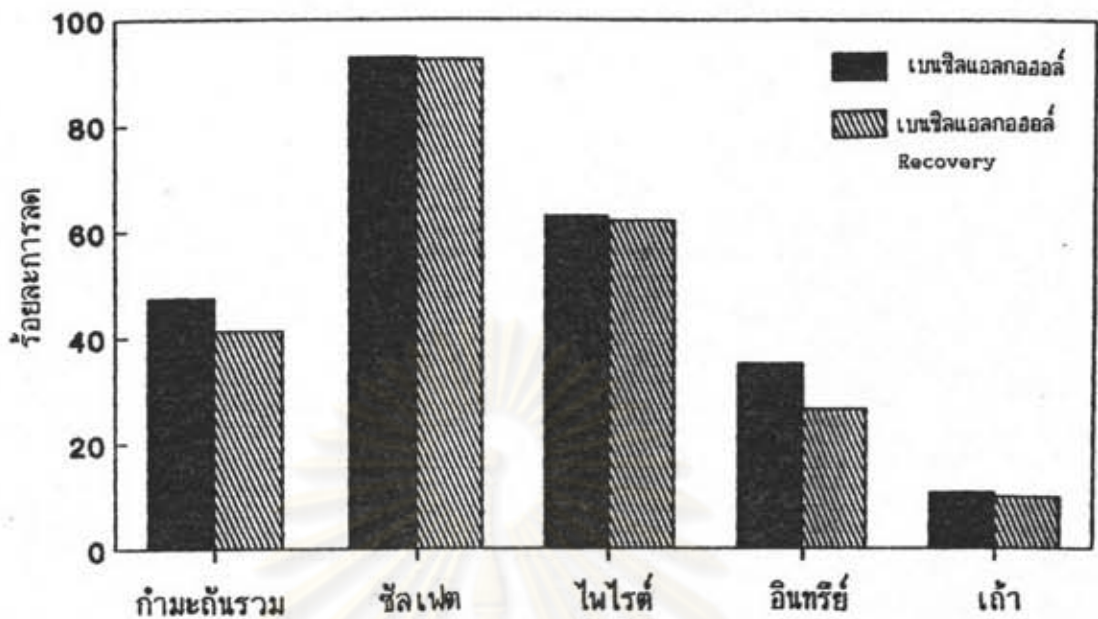
| สารละลาย | อุณหภูมิ (ซ) | % ถ่านหิน | % สารละลาย |
|------------------|----------------|-----------|------------|
| โซเดียมเบนซอไซด์ | 205 | 95.2 | 91.2 |
| | 190 | 95.1 | 89.6 |
| | 175 | 95.6 | 90.2 |
| | 160 | 92.6 | 85.4 |
| โซเดียมบิวทอไซด์ | 117 | 94.1 | 90.6 |
| | 105 | 91.7 | 87.3 |
| | 95 | 93.9 | 88.7 |
| | 85 | 94.1 | 88.4 |

ตารางที่ 4.10 สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ 1 (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังการขจัดกำมะถัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างตัวทำละลายที่เป็น เบนซิลแอลกอฮอล์ กับ เบนซิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการ Recovery (ถ่านหิน 90 กรัม โสพิษโซเดียม 3 กรัม ต่อ สารละลาย 600 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหิน 75–250 ไมโครเมตร สารละลายโซเดียมเบนซอไซด์ ที่ 205 °ซ)

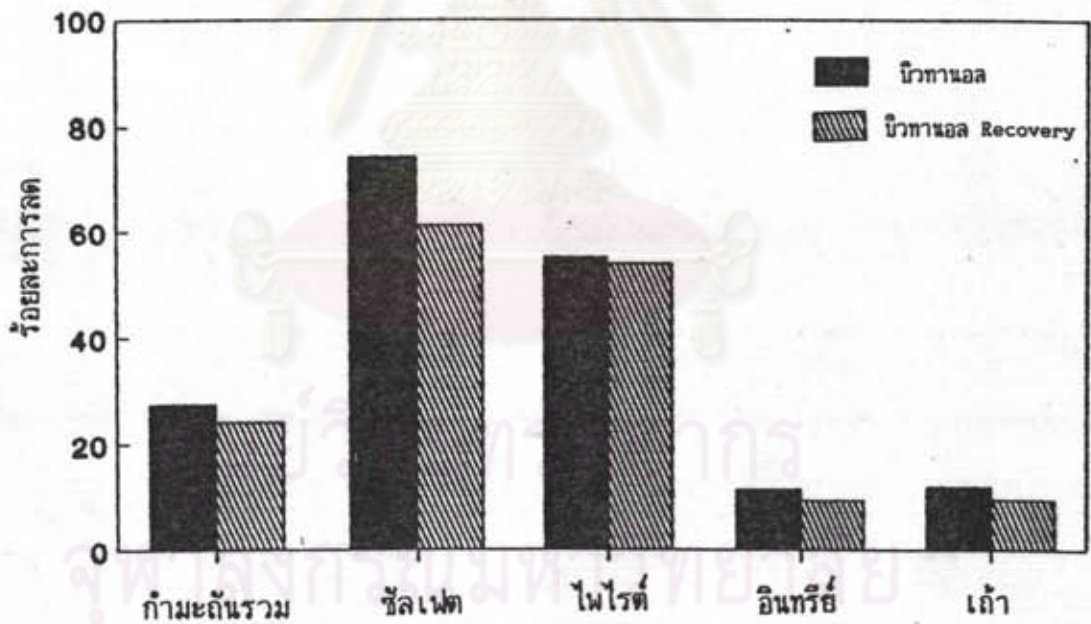
| ชนิดของตัวทำละลาย | เวลา (นาที) | ร้อยละของตะกั่ว | ร้อยละกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดของตะกั่ว |
|--------------------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------|--------|----------|----------------------|
| | | | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | |
| | เริ่มต้น | 19.1 | 3.15 | 0.40 | 0.57 | 2.18 | — | — | — | — | — |
| เบนซิลแอลกอฮอล์ | 15 | 17.1 | 1.66 | 0.03 | 0.21 | 1.42 | 47.3 | 92.5 | 63.2 | 34.9 | 10.5 |
| | 30 | 16.8 | 1.62 | 0.04 | 0.21 | 1.37 | 48.6 | 90.0 | 63.2 | 37.2 | 12.0 |
| | 45 | 17.1 | 1.67 | 0.03 | 0.20 | 1.44 | 47.0 | 92.5 | 64.9 | 33.9 | 10.5 |
| | 60 | 16.8 | 1.63 | 0.03 | 0.20 | 1.41 | 48.3 | 92.5 | 64.9 | 35.3 | 12.0 |
| | 75 | 17.1 | 1.63 | 0.03 | 0.22 | 1.38 | 48.3 | 92.5 | 61.4 | 36.7 | 10.5 |
| | 90 | 16.8 | 1.65 | 0.03 | 0.22 | 1.39 | 47.6 | 92.5 | 61.4 | 36.2 | 12.0 |
| เบนซิลแอลกอฮอล์ Recovery | 15 | 17.2 | 1.85 | 0.03 | 0.22 | 1.60 | 41.3 | 92.5 | 61.4 | 26.6 | 9.9 |
| | 30 | 17.2 | 1.71 | 0.02 | 0.21 | 1.49 | 45.7 | 95.0 | 63.2 | 31.7 | 9.9 |
| | 45 | 17.2 | 1.79 | 0.04 | 0.21 | 1.54 | 43.2 | 90.0 | 63.2 | 29.4 | 9.9 |
| | 60 | 17.1 | 1.81 | 0.03 | 0.23 | 1.55 | 42.5 | 92.5 | 59.6 | 28.9 | 10.5 |
| | 75 | 17.1 | 1.76 | 0.06 | 0.21 | 1.49 | 44.1 | 85.0 | 63.2 | 31.7 | 10.5 |
| | 90 | 17.0 | 1.75 | 0.07 | 0.19 | 1.49 | 44.4 | 82.5 | 66.7 | 31.7 | 11.0 |

ตารางที่ 4.11 สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ 1 (แบบไม่รวมความชื้น) ก่อนและหลังการขจัดกำมะถัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างตัวทำละลายที่เป็น บิวทานอล กับ บิวทานอลที่ได้จากการ Recovery (ถ่านหิน 90 กรัม โสพิษโซเดียม 3 กรัม ต่อ สารละลาย 600 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหิน 75–250 ไมโครเมตร สารละลายโซเดียมบิวทอไซด์ ที่ 117 °ซ)

| ชนิดของตัวทำละลาย | เวลา (นาที) | ร้อยละของตะกั่ว | ร้อยละกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดของตะกั่ว |
|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------|--------|----------|----------------------|
| | | | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | |
| | เริ่มต้น | 19.1 | 3.15 | 0.40 | 0.57 | 2.18 | — | — | — | — | — |
| บิวทานอล | 15 | 16.8 | 2.29 | 0.10 | 0.26 | 1.93 | 27.3 | 75.0 | 54.4 | 11.5 | 12.0 |
| | 30 | 16.7 | 2.22 | 0.11 | 0.25 | 1.86 | 29.5 | 72.5 | 56.1 | 14.7 | 12.6 |
| | 45 | 17.0 | 2.21 | 0.10 | 0.25 | 1.86 | 29.8 | 75.0 | 56.1 | 14.7 | 11.0 |
| | 60 | 16.7 | 2.33 | 0.10 | 0.24 | 1.98 | 26.0 | 75.0 | 57.9 | 9.2 | 12.6 |
| | 75 | 16.8 | 2.22 | 0.10 | 0.25 | 1.87 | 29.5 | 75.0 | 56.1 | 14.2 | 12.0 |
| | 90 | 16.9 | 2.23 | 0.10 | 0.24 | 1.89 | 29.2 | 75.0 | 57.9 | 13.3 | 11.5 |
| บิวทานอล Recovery | 15 | 17.3 | 2.39 | 0.15 | 0.26 | 1.97 | 24.1 | 62.5 | 54.4 | 9.6 | 9.4 |
| | 30 | 17.0 | 2.45 | 0.16 | 0.27 | 2.02 | 22.2 | 60.0 | 52.6 | 7.3 | 11.0 |
| | 45 | 17.3 | 2.45 | 0.21 | 0.26 | 1.98 | 22.2 | 47.5 | 54.4 | 9.2 | 9.4 |
| | 60 | 17.2 | 2.41 | 0.20 | 0.28 | 1.93 | 23.5 | 50.0 | 50.9 | 11.5 | 9.9 |
| | 75 | 17.0 | 2.31 | 0.07 | 0.29 | 1.95 | 26.7 | 82.5 | 49.1 | 10.6 | 11.0 |
| | 90 | 17.0 | 2.29 | 0.10 | 0.28 | 1.91 | 27.3 | 75.0 | 50.9 | 12.4 | 11.0 |



ก. ตัวทำละลายเบนซิลแอลกอออล



ข. ตัวทำละลายบิวทานอล

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดปริมาณก้ามะถันรวม ก้ามะถันซีลเฟต ก้ามะถันไฟโรต์ ก้ามะถันอินทรีรี่ และเถ้า กับ ตัวทำละลายเริ่มต้น และตัวทำละลายที่ได้จากการ recovery

ก. ตัวทำละลายเบนซิลแอลกอออล ข. ตัวทำละลายบิวทานอล

4.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์การขจัดกำมะถันไฟไรต์ในถ่านหินแม่เมาะ

สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ 1 ก่อนและหลังผ่านกระบวนการขจัดกำมะถัน เมื่อสารละลาย เป็น โซเดียมเบนซอไซด์ และ โซเดียมบิวทอไซด์ ที่อุณหภูมิแปรค่าตามจุดเดือดของสารละลาย โลหะโซเดียม 3 กรัม ถ่านหิน 90 กรัม สารละลาย 600 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหิน 250-850 ไมครอน เวลา 15 , 30 , 45 , 60 , 75 และ 90 นาที แสดงดังตารางที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

ผลของอุณหภูมิและเวลาเมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอไซด์ และ โซเดียมบิวทอไซด์ ที่มีต่อการลดปริมาณกำมะถันรวม กำมะถันไฟไรต์ กำมะถันอินทรีย์ แสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 จากตารางและรูป สามารถนำข้อมูลของกำมะถันไฟไรต์ที่เวลาต่าง ๆ มาศึกษาปฏิกิริยาเคมี ระหว่าง กำมะถันไฟไรต์กับสารละลายโซเดียมเบนซอไซด์ และสารละลายโซเดียมบิวทอไซด์ โดยแบ่งการศึกษาจลนพลศาสตร์การขจัดกำมะถันออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษา โดยใช้โมเดลปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาโดยใช้ Shrinking Core model แบบขนาดอนุภาคไม่เปลี่ยนแปลง

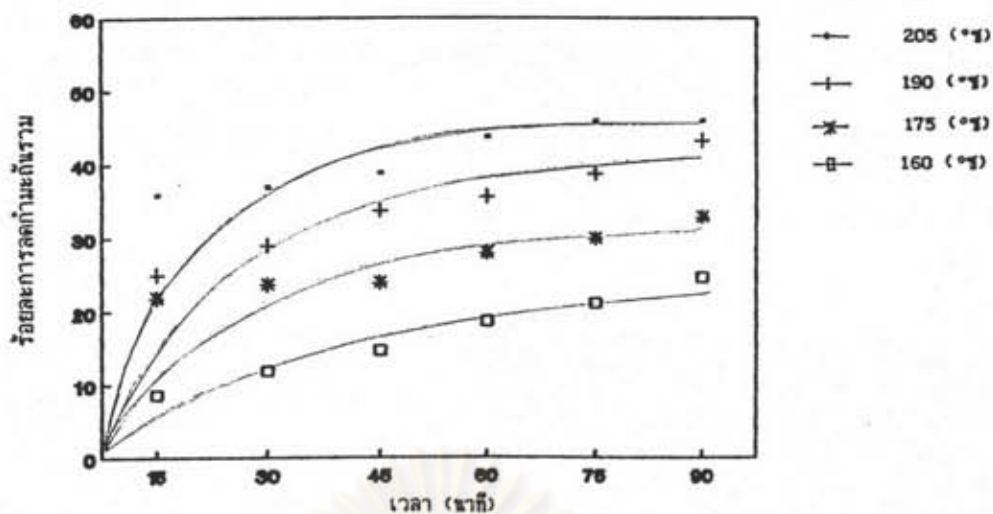
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ 1 (แบบไม่มีความชื้นและเถ้า) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการซัดกำมะถัน ใช้สารละลายโซเดียมเบนซอไซด์ ที่อุณหภูมิ 205 , 190 , 175 และ 160 °ซ (ขนาดอนุภาคถ่านหิน 250–850 ไมโครเมตร ถ่านหิน 90 กรัม โลหะโซเดียม 3 กรัม ต่อยาละลาย 600 มิลลิลิตร)

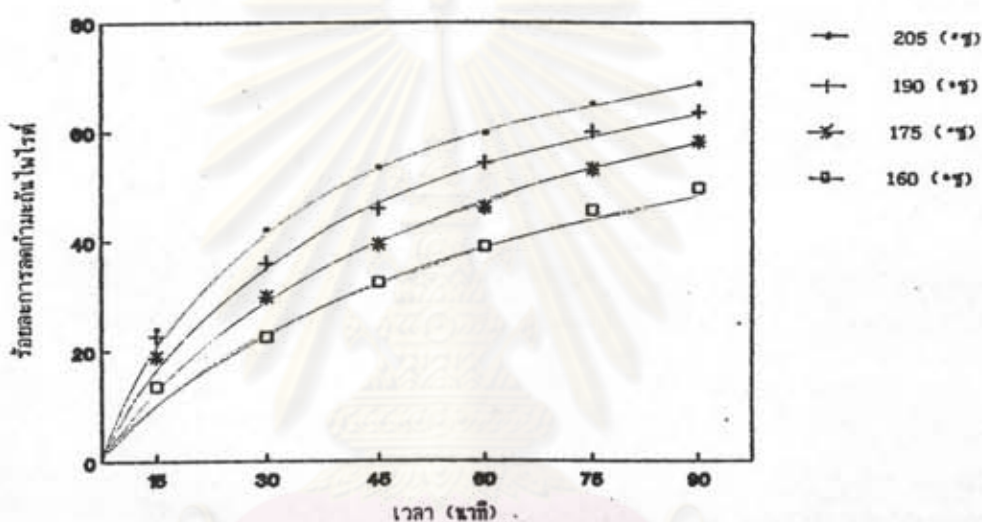
| อุณหภูมิ (°ซ) | เวลา (นาที) | ร้อยละกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดกำมะถัน | | | |
|------------------|------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------|--------|----------|
| | | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ |
| เริ่มต้น | | 3.90 | 0.49 | 0.70 | 2.70 | — | — | — | — |
| 205 | 15 | 2.50 | 0.04 | 0.54 | 1.93 | 35.9 | 91.8 | 22.9 | 28.5 |
| | 30 | 2.46 | 0.02 | 0.41 | 2.03 | 36.9 | 95.9 | 41.4 | 24.8 |
| | 45 | 2.38 | 0.04 | 0.33 | 2.01 | 39.0 | 91.8 | 52.9 | 25.6 |
| | 60 | 2.19 | 0.04 | 0.28 | 1.87 | 43.8 | 91.8 | 60.0 | 30.7 |
| | 75 | 2.11 | 0.07 | 0.25 | 1.79 | 45.9 | 85.7 | 64.3 | 33.7 |
| | 90 | 2.11 | 0.08 | 0.22 | 1.80 | 45.9 | 83.7 | 68.6 | 33.3 |
| 190 | 15 | 2.92 | 0.21 | 0.55 | 2.17 | 25.1 | 57.1 | 21.4 | 19.6 |
| | 30 | 2.77 | 0.21 | 0.45 | 2.11 | 29.0 | 57.1 | 35.7 | 21.9 |
| | 45 | 2.58 | 0.04 | 0.38 | 2.17 | 33.8 | 91.8 | 45.7 | 19.6 |
| | 60 | 2.51 | 0.03 | 0.32 | 2.15 | 35.6 | 93.9 | 54.3 | 20.4 |
| | 75 | 2.39 | 0.17 | 0.28 | 1.94 | 38.7 | 65.3 | 60.0 | 28.1 |
| | 90 | 2.21 | 0.02 | 0.26 | 1.93 | 43.3 | 95.9 | 62.9 | 28.5 |
| 175 | 15 | 3.04 | 0.22 | 0.57 | 2.25 | 22.1 | 55.1 | 18.6 | 16.7 |
| | 30 | 2.98 | 0.08 | 0.50 | 2.40 | 23.6 | 83.7 | 28.6 | 11.1 |
| | 45 | 2.97 | 0.18 | 0.43 | 2.36 | 23.8 | 63.3 | 38.6 | 12.6 |
| | 60 | 2.81 | 0.19 | 0.38 | 2.24 | 27.9 | 61.2 | 45.7 | 17.0 |
| | 75 | 2.73 | 0.27 | 0.33 | 2.13 | 30.0 | 44.9 | 52.9 | 21.1 |
| | 90 | 2.62 | 0.09 | 0.30 | 2.23 | 32.8 | 81.6 | 57.1 | 17.4 |
| 160 | 15 | 3.56 | 0.40 | 0.61 | 2.56 | 8.7 | 18.4 | 12.9 | 5.2 |
| | 30 | 3.44 | 0.31 | 0.55 | 2.58 | 11.8 | 36.7 | 21.4 | 4.4 |
| | 45 | 3.33 | 0.39 | 0.48 | 2.46 | 14.6 | 20.4 | 31.4 | 8.9 |
| | 60 | 3.17 | 0.21 | 0.43 | 2.53 | 18.7 | 57.1 | 38.6 | 6.3 |
| | 75 | 3.08 | 0.29 | 0.38 | 2.40 | 21.0 | 40.8 | 45.7 | 11.1 |
| | 90 | 2.94 | 0.27 | 0.36 | 2.31 | 24.6 | 44.9 | 48.6 | 14.4 |

ตารางที่ 4.13 สมบัติของถ่านหินแม่เมาะ 1 (แบบไม่รวมความชื้นและเถ้า) ก่อนและหลังผ่านกระบวนการจัดกำมะถัน ใช้สารละลายโซเดียมบิซซัลไฟด์ ที่อุณหภูมิ 117, 105, 95 และ 85 °ซ (ขนาดถ่านหิน 250-850 ไมโครเมตร ถ่านหิน 90 กรัม โลหะโซเดียม 3 กรัม ต่อสารละลาย 600 มิลลิลิตร)

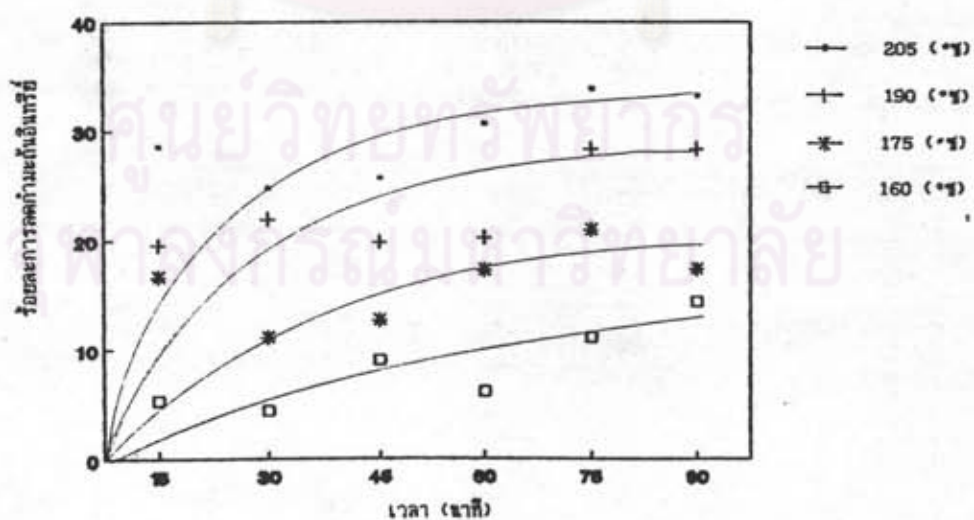
| อุณหภูมิ (°ซ) | เวลา (นาที) | ร้อยละกำมะถัน | | | | ร้อยละการลดกำมะถัน | | | |
|------------------|------------------|---------------|--------|--------|----------|--------------------|--------|--------|----------|
| | | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ | รวม | ซัลเฟต | ไพไรต์ | อินทรีย์ |
| เริ่มต้น | | 3.90 | 0.49 | 0.70 | 2.70 | — | — | — | — |
| 117 | 15 | 3.19 | 0.19 | 0.55 | 2.45 | 18.2 | 61.2 | 21.4 | 9.3 |
| | 30 | 3.17 | 0.20 | 0.46 | 2.51 | 18.7 | 59.2 | 34.3 | 7.0 |
| | 45 | 3.12 | 0.25 | 0.40 | 2.46 | 20.0 | 49.0 | 42.9 | 8.9 |
| | 60 | 3.04 | 0.24 | 0.35 | 2.44 | 22.1 | 51.0 | 50.0 | 9.6 |
| | 75 | 2.79 | 0.08 | 0.31 | 2.39 | 28.5 | 83.7 | 55.7 | 11.5 |
| | 90 | 2.80 | 0.12 | 0.28 | 2.40 | 28.2 | 75.5 | 60.0 | 11.1 |
| 105 | 15 | 3.34 | 0.26 | 0.60 | 2.49 | 14.4 | 46.9 | 14.3 | 7.8 |
| | 30 | 3.31 | 0.24 | 0.51 | 2.56 | 15.1 | 51.0 | 27.1 | 5.2 |
| | 45 | 3.21 | 0.22 | 0.45 | 2.53 | 17.7 | 55.1 | 35.7 | 6.3 |
| | 60 | 3.13 | 0.29 | 0.40 | 2.44 | 19.7 | 40.8 | 42.9 | 9.6 |
| | 75 | 3.04 | 0.24 | 0.36 | 2.43 | 22.1 | 51.0 | 48.6 | 10.0 |
| | 90 | 2.96 | 0.12 | 0.34 | 2.50 | 24.1 | 75.5 | 51.4 | 7.4 |
| 95 | 15 | 3.25 | 0.03 | 0.62 | 2.60 | 16.7 | 93.9 | 11.4 | 3.7 |
| | 30 | 3.26 | 0.10 | 0.56 | 2.60 | 16.4 | 79.6 | 20.0 | 3.7 |
| | 45 | 3.13 | 0.07 | 0.50 | 2.56 | 19.7 | 85.7 | 28.6 | 5.2 |
| | 60 | 3.10 | 0.10 | 0.47 | 2.53 | 20.5 | 79.6 | 32.9 | 6.3 |
| | 75 | 3.02 | 0.10 | 0.41 | 2.50 | 22.6 | 79.6 | 41.4 | 7.4 |
| | 90 | 2.97 | 0.03 | 0.39 | 2.55 | 23.8 | 93.9 | 44.3 | 5.6 |
| 85 | 15 | 3.55 | 0.21 | 0.68 | 2.67 | 9.0 | 57.1 | 2.9 | 1.1 |
| | 30 | 3.31 | 0.06 | 0.63 | 2.63 | 15.1 | 87.8 | 10.0 | 2.6 |
| | 45 | 3.32 | 0.15 | 0.59 | 2.58 | 14.9 | 69.4 | 15.7 | 4.4 |
| | 60 | 3.19 | 0.08 | 0.54 | 2.56 | 18.2 | 83.7 | 22.9 | 5.2 |
| | 75 | 3.19 | 0.10 | 0.51 | 2.58 | 18.2 | 79.6 | 27.1 | 4.4 |
| | 90 | 3.12 | 0.06 | 0.49 | 2.57 | 20.0 | 87.8 | 30.0 | 4.8 |



ก. ร้อยละการลดก้ำมะถันรวม



ข. ร้อยละการลดก้ำมะถันไฟไรต์

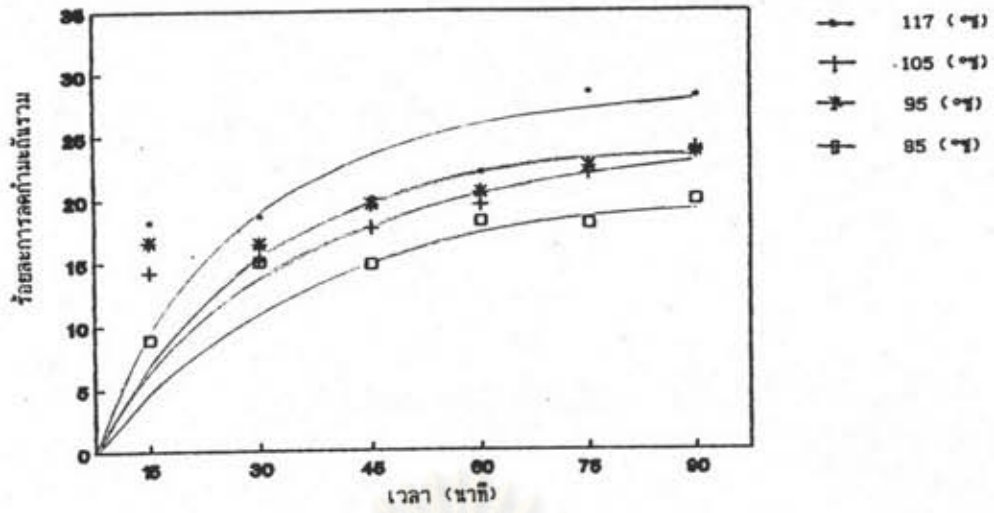


ค. ร้อยละการลดก้ำมะถันอินทรีย์

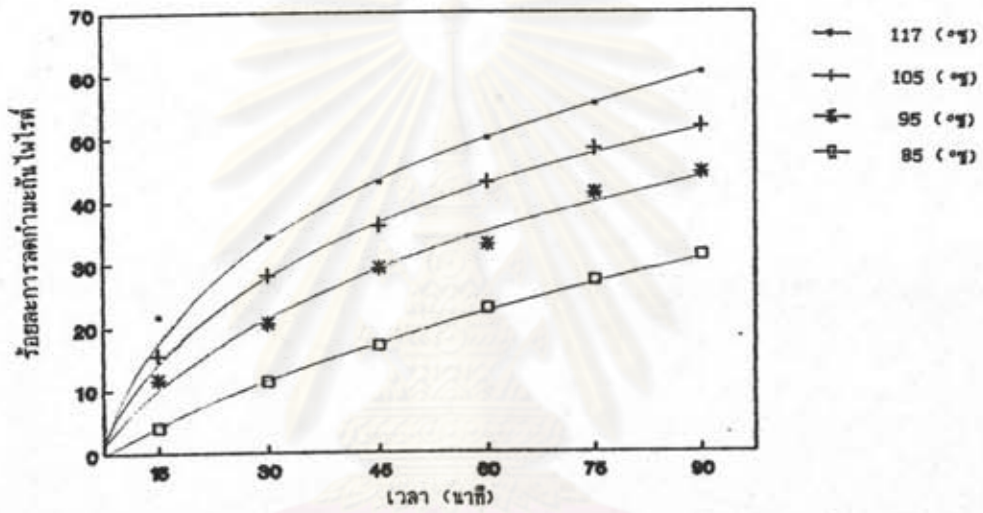
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับร้อยละการลดก้ำมะถัน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอิกไซด์

ก. ร้อยละการลดก้ำมะถันรวม ข. ร้อยละการลดก้ำมะถันไฟไรต์

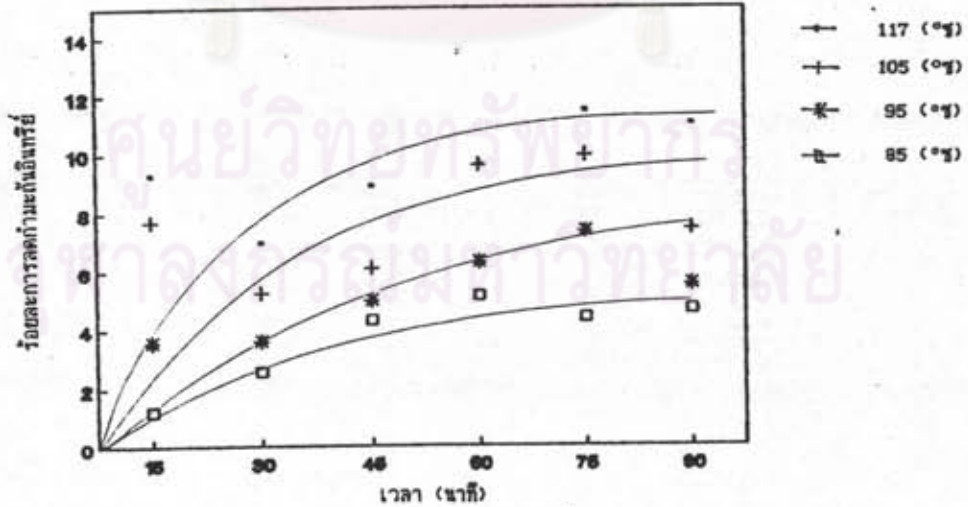
ค. ร้อยละการลดก้ำมะถันอินทรีย์



ก. ร้อยละการลดกัมมันต์รวม



ข. ร้อยละการลดกัมมันต์ไพโรไลต์



ค. ร้อยละการลดกัมมันต์อินทรีซี

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับร้อยละการลดกัมมันต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมโซเดียมบิวทอกไซด์
 ก. ร้อยละการลดกัมมันต์รวม ข. ร้อยละการลดกัมมันต์ไพโรไลต์
 ค. ร้อยละการลดกัมมันต์อินทรีซี

4.2.1 โมเดลปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

งานวิจัยนี้ใช้โมเดลปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องในการศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยา เพื่อหาอันดับปฏิกิริยา ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา พลังงานกระตุ้น และสมการอัตราเร็วปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.14 และ 4.15 แสดงปริมาณร้อยละกัมมันไพไรต์ ความเข้มข้นไพไรต์ (C_p) เทอมของความเข้มข้นไพไรต์ ($1/C_p$) สัดส่วนการเปลี่ยน (X) และเทอมของสัดส่วนการเปลี่ยน ($1/(1-X)$) - 1 เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอไซด์และโซเดียมบิวทอกไซด์ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิแปรค่าตามจุดเดือดของสารละลาย อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโลหะโซเดียมต่อถ่านหิน 3:90 สารละลาย 600 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหิน 250-850 ไมครอน เวลา 15 , 30 45 , 60 , 75 และ 90 นาที

4.2.1.1 การหาอันดับปฏิกิริยาเคมี

สามารถหาอันดับปฏิกิริยาเคมี โดยใช้ข้อมูลระหว่างเวลากับร้อยละกัมมันไพไรต์ จากตารางที่ 4.14 และ 4.15

ขั้นตอนการหาอันดับของปฏิกิริยา (reaction order) หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของปฏิกิริยา (r_p) กับ ความเข้มข้นของไพไรต์ (C_p) ตามสมการที่ 4.1

$$-r_p = (-dC_p/dt) = k_n C_p^n \quad (4.1)$$

ถ้าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

$$(-dC_p/dt) = k_1 C_p \quad (4.2)$$

$$- \int_{C_{p0}}^{C_p} dC_p / C_p = k_1 \int_0^t dt \quad (4.3)$$

$$\ln(C_p) - \ln(C_{p0}) = -k_1 t$$

$$\ln(C_p) = \ln(C_{p0}) - k_1 t \quad (4.4)$$

ถ้าเขียนกราฟของ $\ln(C_p)$ กับ t จะได้กราฟเส้นตรงมีความชันเท่ากับ $-k_1$
ถ้าเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง

$$(-dC_p/dt) = k_2 C_p^2 \quad (4.5)$$

$$- \int_{C_{p0}}^{C_p} dC_p / C_p^2 = k_2 \int_0^t dt \quad (4.6)$$

$$(1/C_p) - (1/C_{p0}) = k_2 t$$

$$(1/C_p) = (1/C_{p0}) + k_2 t \quad (4.7)$$

ถ้าเขียนกราฟของ $(1/C_p)$ กับ t จะได้กราฟเส้นตรงมีความชันเท่ากับ k_2

การทดสอบว่าจะเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งหรือสองนั้น ทำได้โดยเขียนกราฟระหว่าง $\ln(C_p)$ กับเวลา สำหรับอันดับหนึ่ง และ $1/C_p$ กับเวลา สำหรับอันดับสอง แล้วตรวจสอบดูว่าอันดับใดจะให้ค่าถูกต้องกว่ากัน โดยดูได้จากการเป็นเส้นตรงของกราฟและพิจารณาค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหพันธ์ (R-square) จากการทดลองเมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟพบว่า ปฏิกิริยาการขจัดกำมะถันไฟไรต์ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมเบนซอกไซด์ และ สารละลายโซเดียมบิวทอกไซด์ เป็นปฏิกิริยาอันดับสอง เนื่องจากเขียนกราฟระหว่าง $1/C_p$ กับเวลา ให้ค่า r^2 เข้าใกล้ 1 มากที่สุด กราฟแสดงดังรูปที่ 4.10

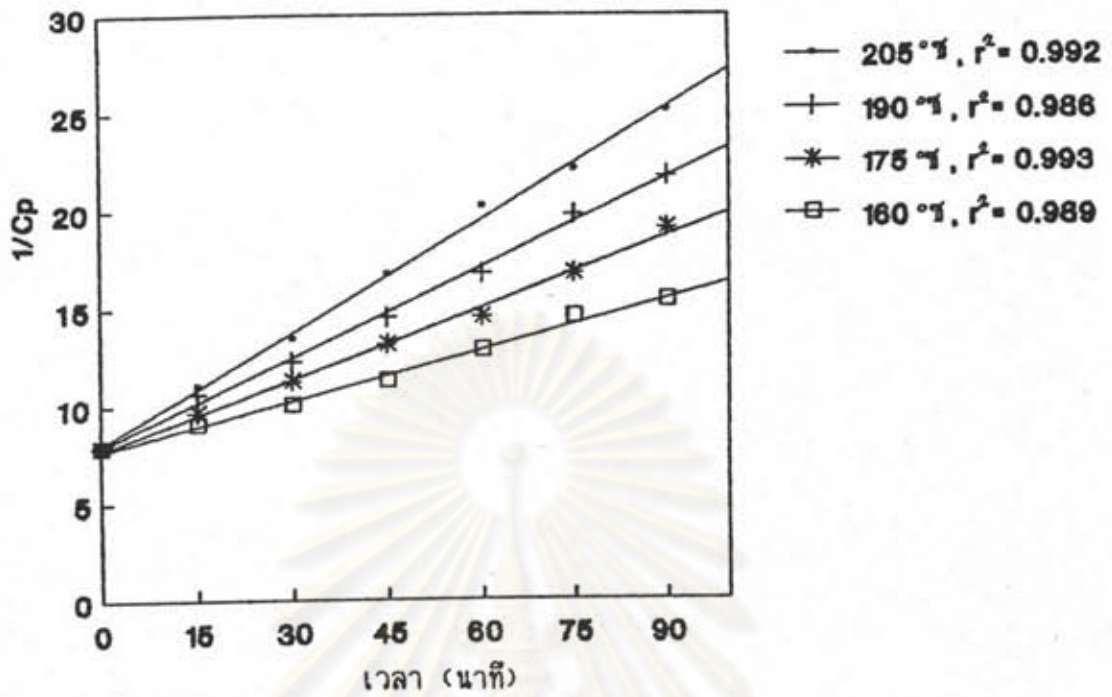
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ค่าร้อยละกำมะถันไฟฟ้าย (แบบไม่รวมความชื้นและเถ้า) ความเข้มข้นของไฟฟ้าย (C_p) และสัดส่วนการเปลี่ยน (X) ของกำนหินแม่เมาะ 1 เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอเอต (โลหะโซเดียม 3 กรัม กำนหิน 90 กรัม สารละลาย 600 มิลลิตร ขนาดกำนหิน 250-850 ไมโครเมตร) ตามระยะเวลา 15 30 45 60 75 และ 90 นาที

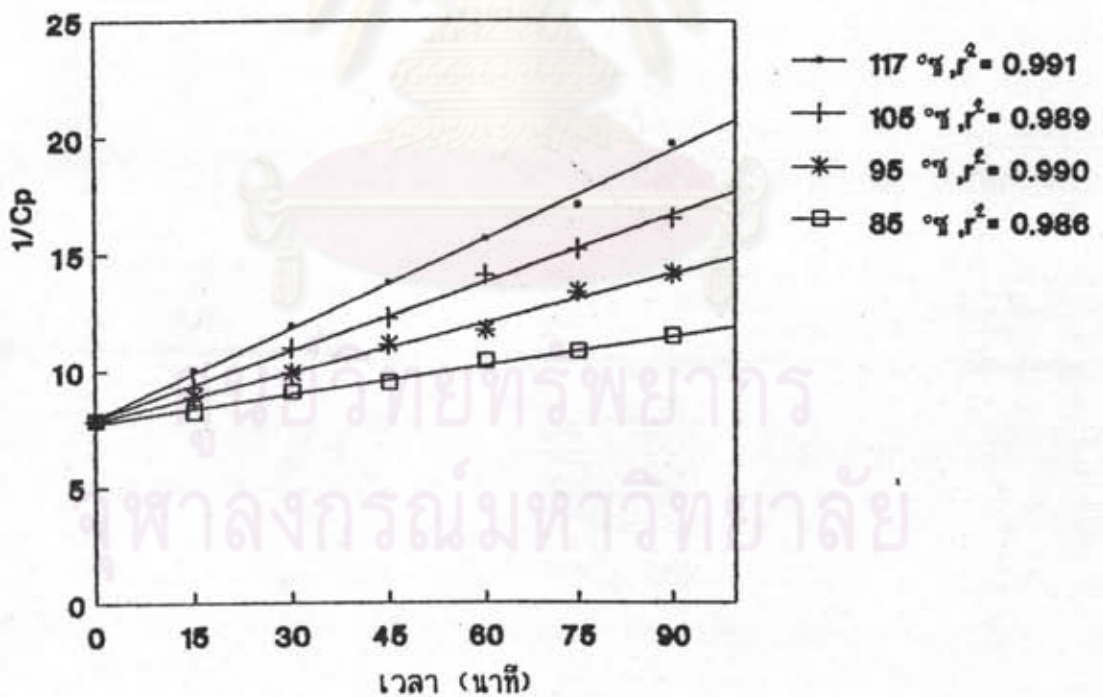
| อุณหภูมิ (°ซ) | เวลา (นาที) | ร้อยละกำมะถันไฟฟ้าย | ความเข้มข้น C_p | X | $1/C_p$ | $[1/(1-X_A)]-1$ |
|---------------|-------------|---------------------|-------------------|-------|---------|-----------------|
| เริ่มต้น | 0 | 0.70 | 0.126 | - | 7.9 | 0.000 |
| 205 | 15 | 0.54 | 0.098 | 0.229 | 10.2 | 0.297 |
| | 30 | 0.41 | 0.074 | 0.414 | 13.5 | 0.706 |
| | 45 | 0.33 | 0.060 | 0.529 | 16.7 | 1.123 |
| | 60 | 0.28 | 0.051 | 0.600 | 19.6 | 1.500 |
| | 75 | 0.25 | 0.045 | 0.643 | 22.2 | 1.801 |
| | 90 | 0.22 | 0.040 | 0.686 | 25.0 | 2.185 |
| 190 | 15 | 0.55 | 0.099 | 0.214 | 10.1 | 0.272 |
| | 30 | 0.45 | 0.081 | 0.357 | 12.3 | 0.555 |
| | 45 | 0.38 | 0.069 | 0.457 | 14.5 | 0.842 |
| | 60 | 0.32 | 0.058 | 0.543 | 17.2 | 1.188 |
| | 75 | 0.28 | 0.051 | 0.600 | 19.6 | 1.500 |
| | 90 | 0.26 | 0.047 | 0.629 | 21.3 | 1.695 |
| 175 | 15 | 0.57 | 0.103 | 0.186 | 9.7 | 0.229 |
| | 30 | 0.50 | 0.090 | 0.286 | 11.1 | 0.401 |
| | 45 | 0.43 | 0.078 | 0.386 | 12.8 | 0.629 |
| | 60 | 0.38 | 0.069 | 0.457 | 14.5 | 0.842 |
| | 75 | 0.33 | 0.060 | 0.529 | 16.7 | 1.123 |
| | 90 | 0.30 | 0.054 | 0.571 | 18.5 | 1.331 |
| 160 | 15 | 0.61 | 0.110 | 0.129 | 9.1 | 0.148 |
| | 30 | 0.55 | 0.099 | 0.214 | 10.1 | 0.272 |
| | 45 | 0.48 | 0.087 | 0.314 | 11.5 | 0.458 |
| | 60 | 0.43 | 0.078 | 0.386 | 12.8 | 0.629 |
| | 75 | 0.38 | 0.069 | 0.457 | 14.5 | 0.842 |
| | 90 | 0.36 | 0.065 | 0.486 | 15.4 | 0.946 |

ตารางที่ 4.15 ค่าร้อยละกำหนดกันไฟไรต์ (แบบไม่รวมความชื้นและแก้ว) ตามเข้มข้นของไฟไรต์ (C_n) และสัดส่วนการเปลี่ยน (X) ของถ่านหินแม่เกาะ 1 เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมบิวทาไฮไดรด์ (โลหะโซเดียม 3 กรัม ถ่านหิน 90 กรัม สารละลาย 600 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหิน 250–850 ไมโครเมตร) ตามระยะเวลา 15 30 45 60 75 และ 90 นาที

| อุณหภูมิ (°C) | เวลา (นาที) | ร้อยละกำหนดกันไฟไรต์ | ตามเข้มข้น C_n | X | $1/C_n$ | $[1/(1-X_n)]-1$ |
|---------------|-------------|----------------------|------------------|-------|---------|-----------------|
| 117 | เริ่มต้น | 0.70 | 0.126 | — | 7.9 | 0.000 |
| | 15 | 0.55 | 0.099 | 0.214 | 10.1 | 0.272 |
| | 30 | 0.46 | 0.083 | 0.343 | 12.0 | 0.522 |
| | 45 | 0.40 | 0.072 | 0.429 | 13.9 | 0.751 |
| | 60 | 0.35 | 0.063 | 0.500 | 15.9 | 1.000 |
| | 75 | 0.31 | 0.056 | 0.557 | 17.9 | 1.257 |
| | 90 | 0.28 | 0.051 | 0.600 | 19.6 | 1.500 |
| 105 | 15 | 0.60 | 0.108 | 0.143 | 9.3 | 0.167 |
| | 30 | 0.51 | 0.092 | 0.271 | 10.9 | 0.372 |
| | 45 | 0.45 | 0.081 | 0.357 | 12.3 | 0.555 |
| | 60 | 0.40 | 0.072 | 0.429 | 13.9 | 0.751 |
| | 75 | 0.36 | 0.065 | 0.486 | 15.4 | 0.946 |
| | 90 | 0.34 | 0.061 | 0.514 | 16.4 | 1.058 |
| 95 | 15 | 0.62 | 0.112 | 0.114 | 8.9 | 0.129 |
| | 30 | 0.56 | 0.101 | 0.200 | 9.9 | 0.250 |
| | 45 | 0.50 | 0.090 | 0.286 | 11.1 | 0.401 |
| | 60 | 0.47 | 0.085 | 0.329 | 11.8 | 0.490 |
| | 75 | 0.41 | 0.074 | 0.414 | 13.5 | 0.706 |
| | 90 | 0.39 | 0.070 | 0.443 | 14.3 | 0.795 |
| 85 | 15 | 0.68 | 0.123 | 0.029 | 8.1 | 0.030 |
| | 30 | 0.63 | 0.114 | 0.100 | 8.8 | 0.111 |
| | 45 | 0.59 | 0.107 | 0.157 | 9.3 | 0.186 |
| | 60 | 0.54 | 0.098 | 0.229 | 10.2 | 0.297 |
| | 75 | 0.51 | 0.092 | 0.271 | 10.9 | 0.372 |
| | 90 | 0.49 | 0.088 | 0.300 | 11.4 | 0.429 |



ก. สารละลายโซเดียมเบนซอิกไซด์



ข. สารละลายโซเดียมบิวทอิกไซด์

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/C_p$ กับ เวลา t ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

ก. สารละลายโซเดียมเบนซอิกไซด์ ข. สารละลายโซเดียมบิวทอิกไซด์

4.2.1.2 การหาค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาเคมี (rate constant) และค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy)

จากหัวข้อ 4.2.1.1 แสดงว่าปฏิกิริยาระหว่างกำมะถันไฟไรต์ กับ สารละลายโซเดียมเบนซอิกไซด์ และ สารละลายโซเดียมบิวทอกไซด์ เป็นปฏิกิริยาอันดับสอง จากสมการที่ 4.7

$$(1/C_p) = (1/C_{p0}) + k_2 t \quad (4.7)$$

สามารถเปลี่ยนในรูปสัดส่วนการเปลี่ยนได้เป็น

$$X = 1 - (C_p/C_{p0})$$

ดังนั้น

$$k_2 C_{p0} t = (1/(1-X)) - 1 \quad (4.8)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $(1/(1-X)) - 1$ กับเวลา จะได้กราฟเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $k_2 C_{p0}$ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาค่า k_2 สำหรับอุณหภูมิต่าง ๆ ได้ ผลการเขียนกราฟจากข้อมูลการทดลองระหว่าง $(1/(1-X)) - 1$ กับเวลา แสดงไว้ดังรูปที่ 4.11 และผลจากการหาค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา k_2 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.16 และ 4.17

เมื่อนำค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในการทดลองมาเขียนกราฟ ระหว่าง $\ln(k_2)$ กับ $1/T$ ตามสมการ Arrhenius คือ

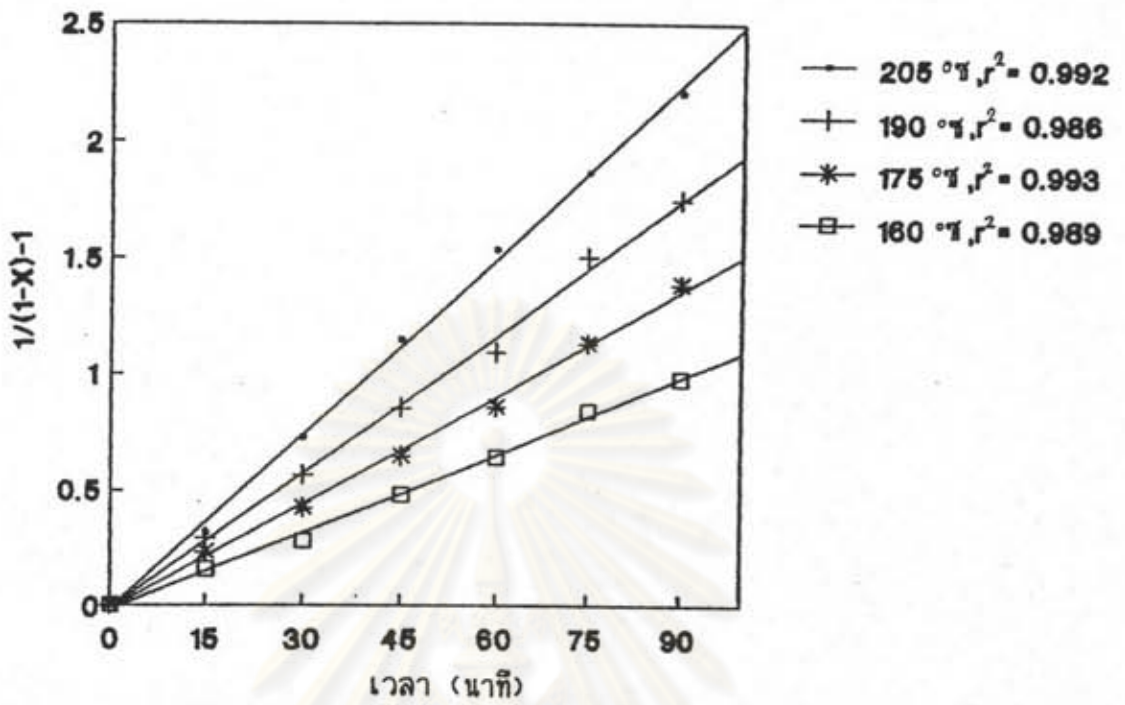
$$k_2 = k_{(z0)} e^{(-E/RT)} \quad (4.9)$$

จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน เท่ากับ $-E/R$ และจุดตัดแกน เท่ากับ $\ln k_{(z0)}$ ซึ่งจะนำมาคำนวณค่าพลังงานกระตุ้นและค่า $k_{(z0)}$ ได้

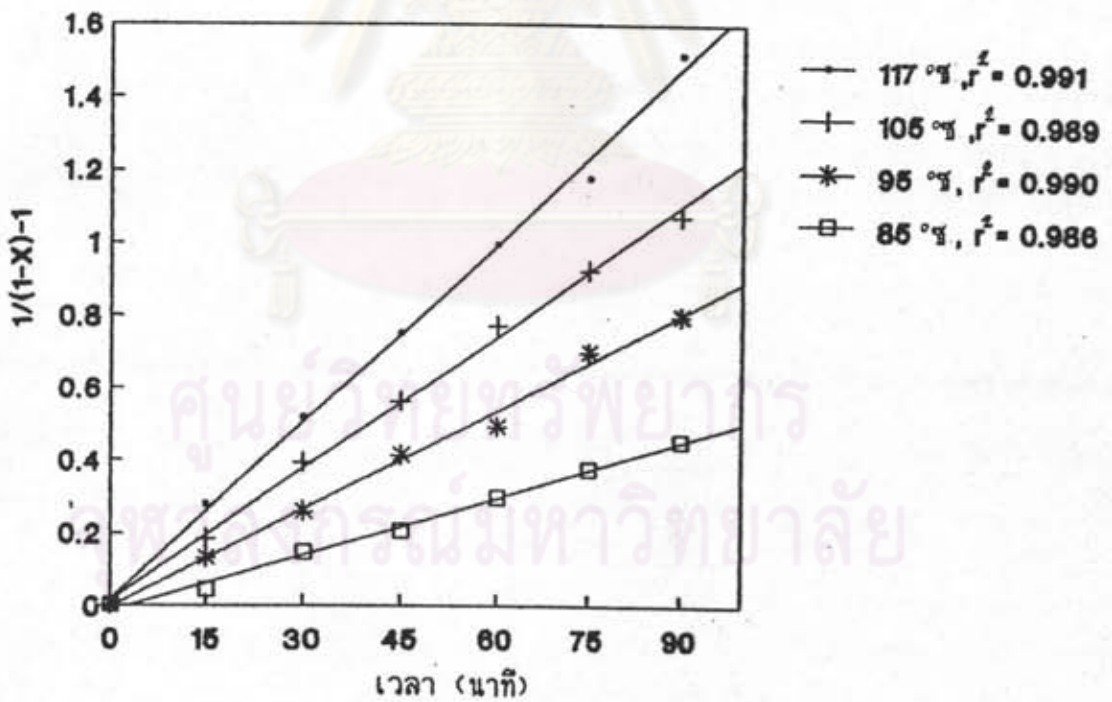
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(k_2)$ กับ $1/T$

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา และความ

สัมพันธ์ของค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาตามสมการ Arrhenius



ก. สารละลายไซโตอิมเบนซอิกไซด์



ข. สารละลายไซโตอิมบิวทอิกไซด์

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/(1-X)-1$ กับเวลา t ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

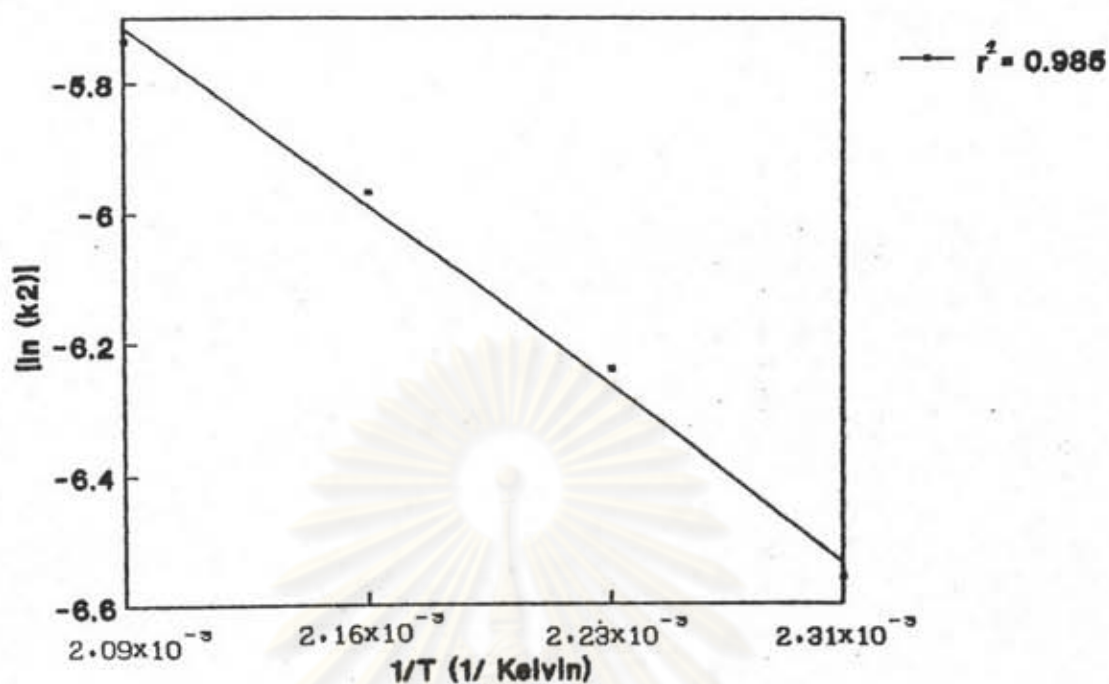
ก. สารละลายไซโตอิมเบนซอิกไซด์ ข. สารละลายไซโตอิมบิวทอิกไซด์

ตารางที่ 4.16 ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา (k_2) และค่า $\ln(k_2)$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสารละลายโซเดียมเบนซอไซด์

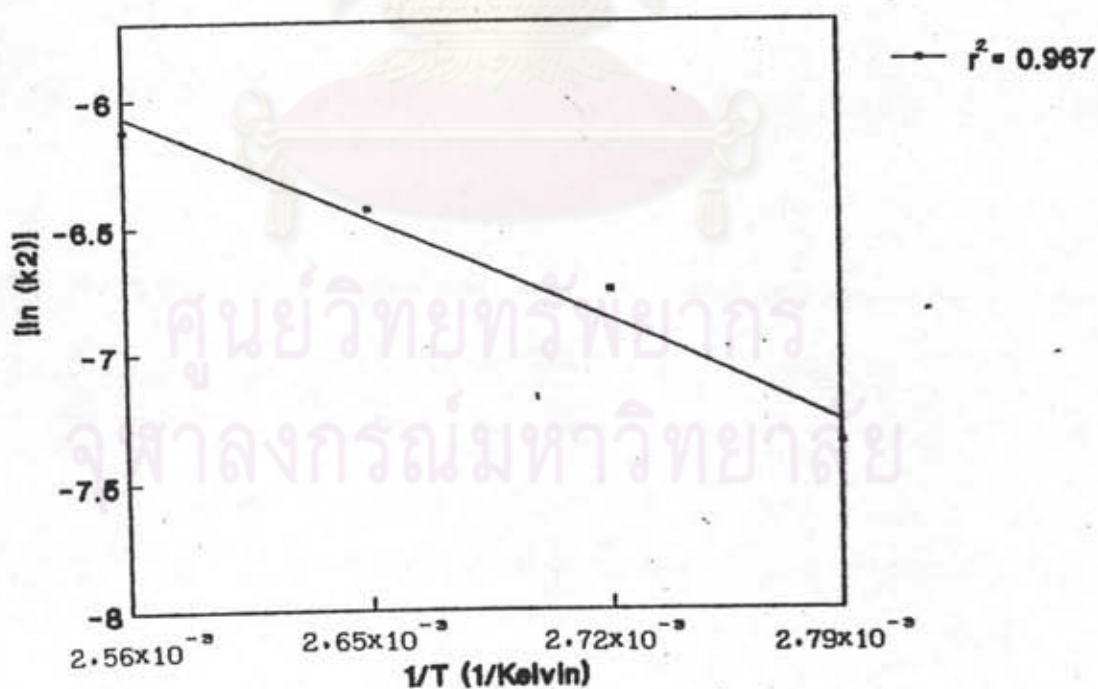
| อุณหภูมิ (T) (เคลวิน) | 1/T (K ⁻¹) | ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา (k_2) (เมตร ³ /กิโลโมล.วินาที) | ln (k_2) |
|--------------------------|---------------------------|---|--------------|
| 478 | 2.09×10^{-3} | 3.23×10^{-3} | -5.74 |
| 463 | 2.16×10^{-3} | 2.56×10^{-3} | -5.97 |
| 448 | 2.23×10^{-3} | 1.95×10^{-3} | -6.24 |
| 433 | 2.31×10^{-3} | 1.42×10^{-3} | -6.56 |

ตารางที่ 4.17 ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา (k_2) และค่า $\ln(k_2)$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสารละลายโซเดียมบิวทอไซด์

| อุณหภูมิ (T) (เคลวิน) | 1/T (K ⁻¹) | ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา (k_2) (เมตร ³ /กิโลโมล.วินาที) | ln (k_2) |
|--------------------------|---------------------------|---|--------------|
| 390 | 2.56×10^{-3} | 2.19×10^{-3} | -6.12 |
| 378 | 2.65×10^{-3} | 1.61×10^{-3} | -6.43 |
| 368 | 2.72×10^{-3} | 1.16×10^{-3} | -6.76 |
| 358 | 2.79×10^{-3} | 6.39×10^{-4} | -7.36 |



ก. สารละลายไซโตอิมเบนซอไซด์



ข. สารละลายไซโตอิมบิวทอกไซด์

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(k_2)$ กับ $1/T$ ของกัมมันต์ไนโรต์

ก. สารละลายไซโตอิมเบนซอไซด์ ข. สารละลายไซโตอิมบิวทอกไซด์

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงจลนพลศาสตร์การจำกัดกำเนิดในถ่านหินแม่มะกะ 1
โมเดลปฏิกิริยาต่อเนื่อง

| ชนิดของสารละลาย | k_{20} | $-E/R$ | จลนพลศาสตร์การจำกัดกำเนิดในถ่านหินแม่มะกะ 1 (โมเดลปฏิกิริยาต่อเนื่อง) | | |
|-------------------------------------|--------------------|--------|---|---|-------------------------------|
| | | | อันดับปฏิกิริยา | ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา | พลังงานกระตุ้น จูล/กิโลโมล |
| โซเดียม เบนซอกไซด์ 160–205 °ซ | 8.950 | -3783 | ไพไรต์ อันดับสอง | $k_2 = 8.950 \exp(-31.5 \times 10^6/RT)$ | 31.5×10^6 |
| โซเดียม บิวทอกไซด์ 85–117 °ซ | 1.78×10^3 | -5279 | ไพไรต์ อันดับสอง | $k_2 = 1.78 \times 10^3 \exp(-43.9 \times 10^6/RT)$ | 43.9×10^6 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1.3 การหาสมการอัตราเร็วปฏิกิริยา (rate equation)
จากสมการ 4.5

$$(-dC_p/dt) = k_2 C_p^2 \quad (4.5)$$

และสมการ

$$C_p = C_{p0} (1-X)$$

$$dC_p = C_{p0} d(1-X)$$

แทนค่า dC_p และ C_p^2 ลงในสมการที่ 4.5 จะได้

$$-d(1-X)/dt = k_2 C_{p0} (1-X)^2$$

หรือ

$$dX/dt = k_L (1-X)^2 \quad (4.10)$$

เมื่อ k_L คือค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาขึ้นกับตัวแปรต่าง ๆ สามารถ
อินทิเกรตสมการ 4.10 ได้

$$(1/(1-X)) - 1 = k_L t \quad (4.11)$$

หรือที่เวลาคงที่

$$(1/(1-X)) - 1 \propto f(r, T) \quad (4.12)$$

ดังนั้นสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเปลี่ยน กับ อุณหภูมิ

และ รัศมีอนุภาคได้ถ้าทราบความสัมพันธ์ระหว่าง $((1/(1-X))^{-1})_t$ กับ r และความสัมพันธ์ระหว่าง $((1/(1-X))^{-1})_t$ กับ T

การหาความสัมพันธ์ระหว่าง $((1/(1-X))^{-1})_t$ กับ r เมื่ออุณหภูมิ (T) คงที่ ทำได้โดยทดลองเขียนกราฟระหว่าง $((1/(1-X))^{-1})_t$ กับ r ในรูปต่าง ๆ กันแล้วพิจารณาความเป็นเส้นตรง คือ ค่า r^* เข้าใกล้ 1 มากที่สุด

$$\text{ถ้า } ((1/(1-X))^{-1})_t \propto r$$

เขียนกราฟระหว่าง $((1/(1-X))^{-1})_t$ กับ r จะได้กราฟเป็นเส้นตรง

$$\text{ถ้า } ((1/(1-X))^{-1})_t \propto r^n$$

เขียนกราฟระหว่าง $\ln((1/(1-X))^{-1})_t$ กับ $\ln r$ จะได้กราฟเป็นเส้นตรง

$$\text{ถ้า } ((1/(1-X))^{-1})_t \propto e^r$$

เขียนกราฟระหว่าง $\ln((1/(1-X))^{-1})_t$ กับ r จะได้กราฟเป็นเส้นตรง

รูปที่ 4.13 และ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเทอมสัดส่วนการเปลี่ยนแปลง $((1/(1-X))^{-1})_t$ กับ r เมื่ออุณหภูมิ (T) คงที่ พบว่า

$$((1/(1-X))^{-1})_t \propto r^* \quad (4.13)$$

การหาความสัมพันธ์ระหว่าง $((1/(1-X))^{-1})_t$ กับ T เมื่อรัศมีอนุภาค (r) คงที่ พิจารณาจากหัวข้อ 4.2.1.2 การหาค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาและค่าพลังงานกระตุ้น สามารถเขียนได้ว่า

$$((1/(1-X))^{-1})_t \propto e^{-E/RT} \quad (4.14)$$

จากสมการ 4.13 และ 4.14 สามารถเขียนสมการ 4.12 ได้เป็น

$$((1/(1-X))^{-1})_t \propto f(r^*, e^{-E/RT}) \quad (4.15)$$

หรือ

$$(1/(1-X))^{-1} = kr^* e^{(-E/RT)} t \quad (4.16)$$

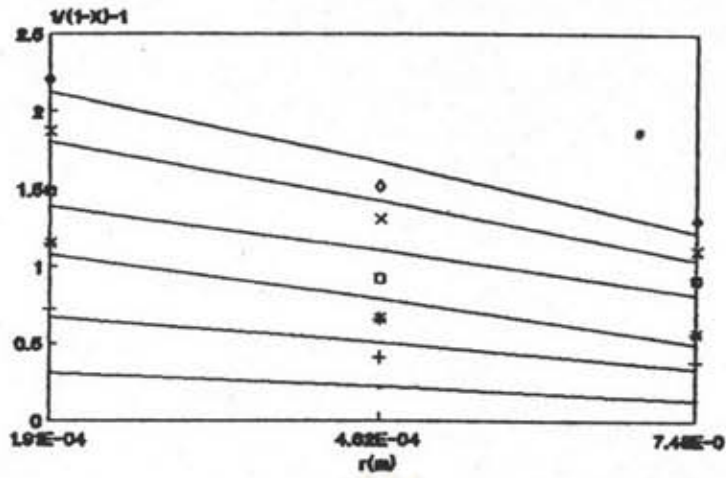
จากสมการที่ 4.16 พบว่า ถ้าเขียนกราฟระหว่าง $(1/(1-X))^{-1}$ กับเวลา จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $kr^*e^{-E/RT}$ ค่า $kr^*e^{-E/RT}$ ที่อุณหภูมิและรัศมีอนุภาคต่าง ๆ ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.19 และ 4.20

เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิคงที่ (T constant) ถ้าเขียนกราฟระหว่าง $\ln(kr^*e^{-E/RT})$ กับ $\ln r$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ a และจุดตัดแกนเท่ากับ $\ln(ke^{-E/RT})$ นำมาคำนวณค่า a และค่า k ได้ ค่า k และค่า a แสดงไว้ในตารางที่ 4.19

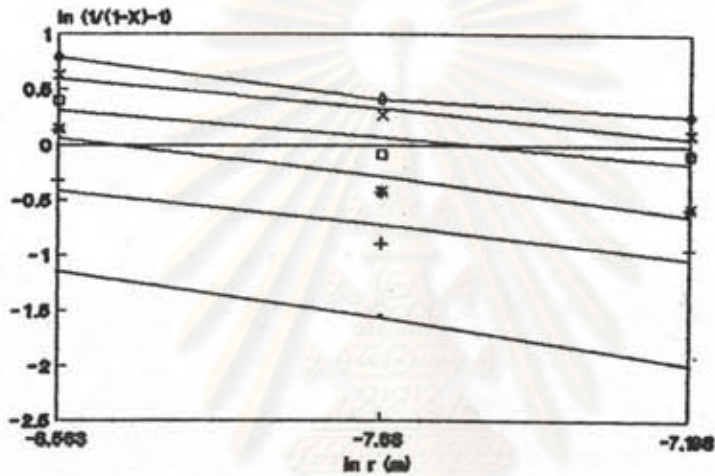
เมื่อพิจารณารัศมีของอนุภาคถ่านหินคงที่ (r constant) ถ้าเขียนกราฟระหว่าง $\ln(kr^*e^{-E/RT})$ กับ $1/T$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-E/R$ และจุดตัดแกนเท่ากับ $\ln(kr^*)$ นำมาคำนวณค่าพลังงานกระตุ้น และค่า k ได้ ค่า k และค่าพลังงานกระตุ้นแสดงไว้ในตารางที่ 4.20

นำค่า k , $-E/R$ และ a แทนค่าในสมการ 4.16 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเปลี่ยน กับ รัศมีอนุภาค อุณหภูมิ และ เวลา ผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ กับ ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.21, 4.22 และรูปที่ 4.15

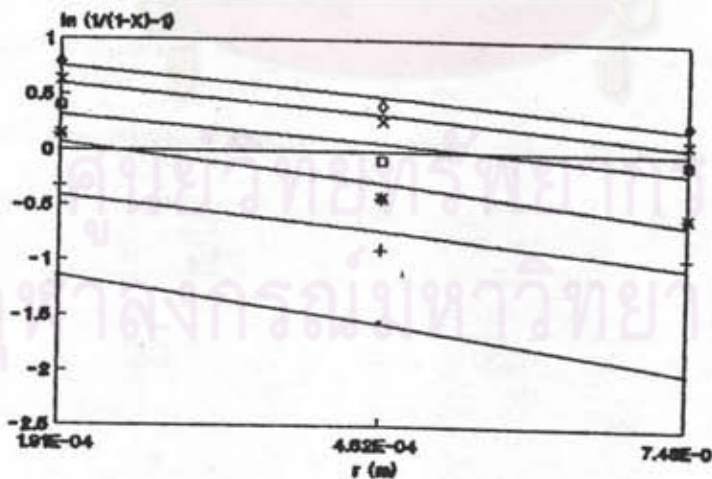
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. $(1/(1-X)-1)$ กับ r



ข. $\ln(1/(1-X)-1)$ กับ $\ln r$



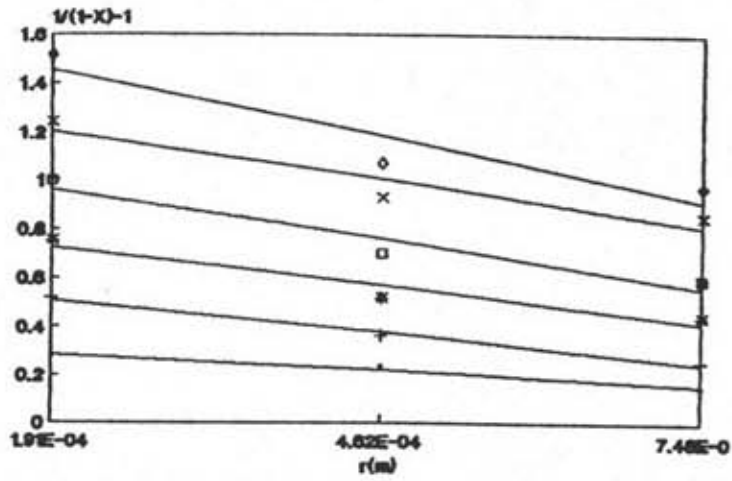
ค. $\ln(1/(1-X)-1)$ กับ r

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง $(1/(1-X)-1)$ กับ r ในรูปต่าง ๆ

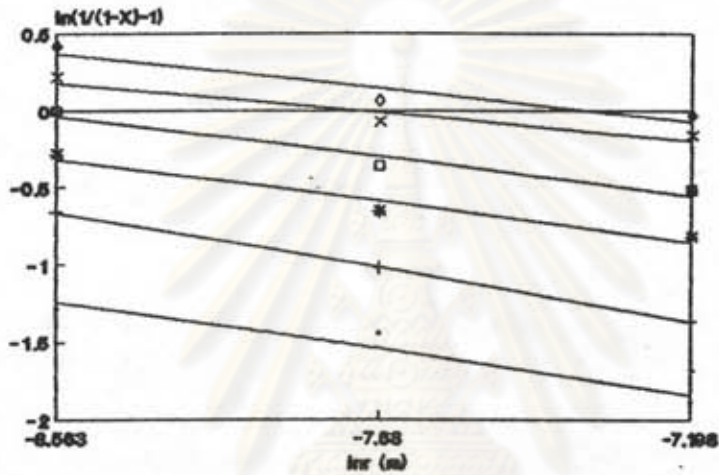
เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอกไซด์

ก. $(1/(1-X)-1)$ กับ r ข. $\ln(1/(1-X)-1)$ กับ $\ln r$

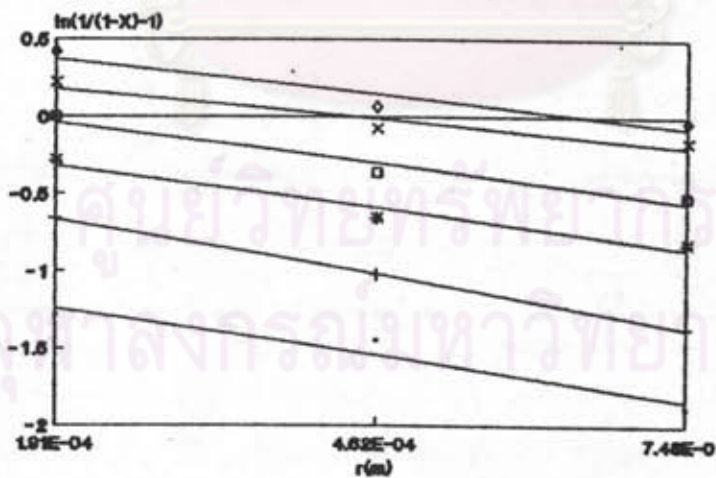
ค. $\ln(1/(1-X)-1)$ กับ r



ก. $(1/(1-X)-1)$ กับ r



ข. $\ln(1/(1-X)-1)$ กับ $\ln r$



ค. $\ln(1/(1-X)-1)$ กับ r

รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง $(1/(1-X)-1)$ กับ r ในรูปต่าง ๆ เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมบิวทอกไซด์

ก. $(1/(1-X)-1)$ กับ r ข. $\ln(1/(1-X)-1)$ กับ $\ln r$

ค. $\ln(1/(1-X)-1)$ กับ r

ตารางที่ 4.19 การหาค่า a และ k เมื่อใช้สารละลายโซเดียมเบนซอไซด์
และสารละลายโซเดียมบิวทอไซด์ (เมื่อให้อุณหภูมิคงที่ 478 เคลวิน)

| ชนิดของ สารละลาย | รัศมีอนุภาค r (เมตร) | $\ln(r)$ (เมตร) | ความชัน เท่ากับ $r^2 k e^{-E/RT}$ | $\ln(r^2 k e^{-E/RT})$ | a | จุดตัดแกน $\ln(k e^{-E/RT})$ | k |
|----------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------------------|------------------------|-------|---------------------------------|--------|
| โซเดียม เบนซอไซด์ | 1.91×10^{-4} | -8.56 | 2.46×10^{-2} | -3.70 | -0.41 | -7.20 | 2.05 |
| | 4.62×10^{-4} | -7.68 | 1.63×10^{-2} | -4.12 | | | |
| | 7.48×10^{-4} | -7.20 | 1.43×10^{-2} | -4.25 | | | |
| โซเดียม บิวทอไซด์ | 1.91×10^{-4} | -8.56 | 1.67×10^{-2} | -4.09 | -0.34 | -7.02 | 674.78 |
| | 4.62×10^{-4} | -7.68 | 1.20×10^{-2} | -4.43 | | | |
| | 7.48×10^{-4} | -7.20 | 1.06×10^{-2} | -4.55 | | | |

ตารางที่ 4.20 การหาค่า $-E/R$ และ k เมื่อใช้สารละลายโซเดียมเบนซอไซด์
และสารละลายโซเดียมบิวทอไซด์ (เมื่อให้อุณหภูมิคงที่ 1.91×10^{-4} เมตร)

| ชนิดของ สารละลาย | อุณหภูมิ (เคลวิน) | $1/T$ (K^{-1}) | ความชัน เท่ากับ $r^2 k e^{-E/RT}$ | $\ln(r^2 k e^{-E/RT})$ | $-E/R$ | จุดตัดแกน $\ln(k r^2)$ | k |
|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------|--------|---------------------------|--------|
| โซเดียม เบนซอไซด์ | 478 | 2.09×10^{-3} | 2.46×10^{-2} | -3.70 | -3783 | 4.22 | 2.10 |
| | 463 | 2.16×10^{-3} | 1.95×10^{-2} | -3.93 | | | |
| | 448 | 2.23×10^{-3} | 1.49×10^{-2} | -4.21 | | | |
| | 433 | 2.31×10^{-3} | 1.08×10^{-2} | -4.53 | | | |
| โซเดียม บิวทอไซด์ | 390 | 2.56×10^{-3} | 1.67×10^{-2} | -4.09 | -5279 | 9.52 | 729.58 |
| | 378 | 2.65×10^{-3} | 1.23×10^{-2} | -4.40 | | | |
| | 368 | 2.72×10^{-3} | 8.89×10^{-2} | -4.72 | | | |
| | 358 | 2.79×10^{-3} | 4.88×10^{-2} | -5.32 | | | |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง กับ ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ
ของศาละลาโยเตียมเบนซอไซด์

สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเขียนได้เป็น

$$[1/(1-X)]-1 = 2.08 [r^{-0.41}] [\exp(-3783/T)] t$$

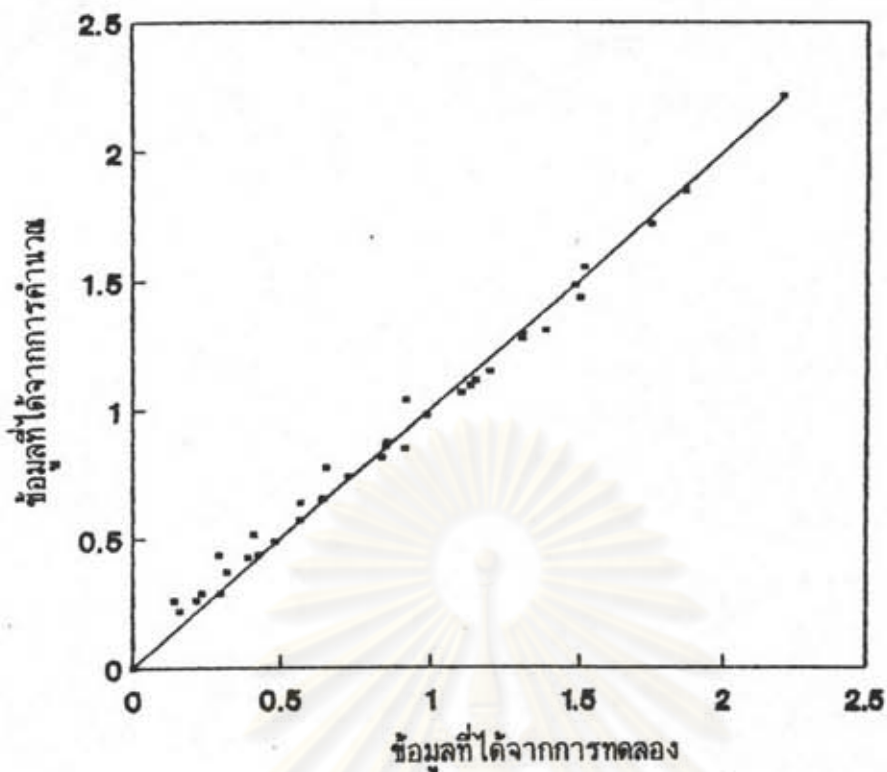
| เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณโดยสมการ | | | | | | | | | |
|--|----------------------|---------------|------------------------|------------------------|----------------------------|---------------|------------------------|------------------------|--|
| ขนาดก้อนหินคงที่ (r) = 1.91×10^{-4} เมตร | | | | | อุณหภูมิคงที่ 205 °ซ | | | | |
| อุณหภูมิ (°ซ) | อุณหภูมิ (เคลวิน) | เวลา (นาท) | $[1/(1-X)]-1$ ทดลอง | $[1/(1-X)]-1$ คำนวณ | รัศมีอนุภาค กำหนด(เมตร) | เวลา (นาท) | $[1/(1-X)]-1$ ทดลอง | $[1/(1-X)]-1$ คำนวณ | |
| 205 | 478 | 0 | 0.000 | 0.000 | 1.91×10^{-4} | 0 | 0.000 | 0.000 | |
| | | 15 | 0.315 | 0.369 | | 15 | 0.315 | 0.369 | |
| | | 30 | 0.724 | 0.739 | | 30 | 0.724 | 0.739 | |
| | | 45 | 1.145 | 1.108 | | 45 | 1.145 | 1.108 | |
| | | 60 | 1.481 | 1.478 | | 60 | 1.481 | 1.478 | |
| | | 75 | 1.862 | 1.847 | | 75 | 1.862 | 1.847 | |
| | | 90 | 2.202 | 2.217 | | 90 | 2.202 | 2.217 | |
| 190 | 463 | 15 | 0.293 | 0.286 | 4.62×10^{-4} | 15 | 0.212 | 0.258 | |
| | | 30 | 0.563 | 0.572 | | 30 | 0.407 | 0.516 | |
| | | 45 | 0.849 | 0.858 | | 45 | 0.653 | 0.774 | |
| | | 60 | 1.192 | 1.144 | | 60 | 0.915 | 1.032 | |
| | | 75 | 1.498 | 1.429 | | 75 | 1.303 | 1.290 | |
| | | 90 | 1.743 | 1.715 | | 90 | 1.511 | 1.548 | |
| 175 | 448 | 15 | 0.230 | 0.286 | 7.48×10^{-4} | 15 | 0.136 | 0.258 | |
| | | 30 | 0.423 | 0.435 | | 30 | 0.387 | 0.424 | |
| | | 45 | 0.645 | 0.652 | | 45 | 0.565 | 0.636 | |
| | | 60 | 0.853 | 0.870 | | 60 | 0.911 | 0.848 | |
| | | 75 | 1.128 | 1.087 | | 75 | 1.099 | 1.061 | |
| | | 90 | 1.381 | 1.305 | | 90 | 1.301 | 1.273 | |
| 160 | 433 | 15 | 0.155 | 0.217 | | | | | |
| | | 30 | 0.288 | 0.435 | | | | | |
| | | 45 | 0.477 | 0.487 | | | | | |
| | | 60 | 0.637 | 0.649 | | | | | |
| | | 75 | 0.835 | 0.811 | | | | | |
| | | 90 | 0.984 | 0.974 | | | | | |

ตารางที่ 4.22 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง กับ ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ
ของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

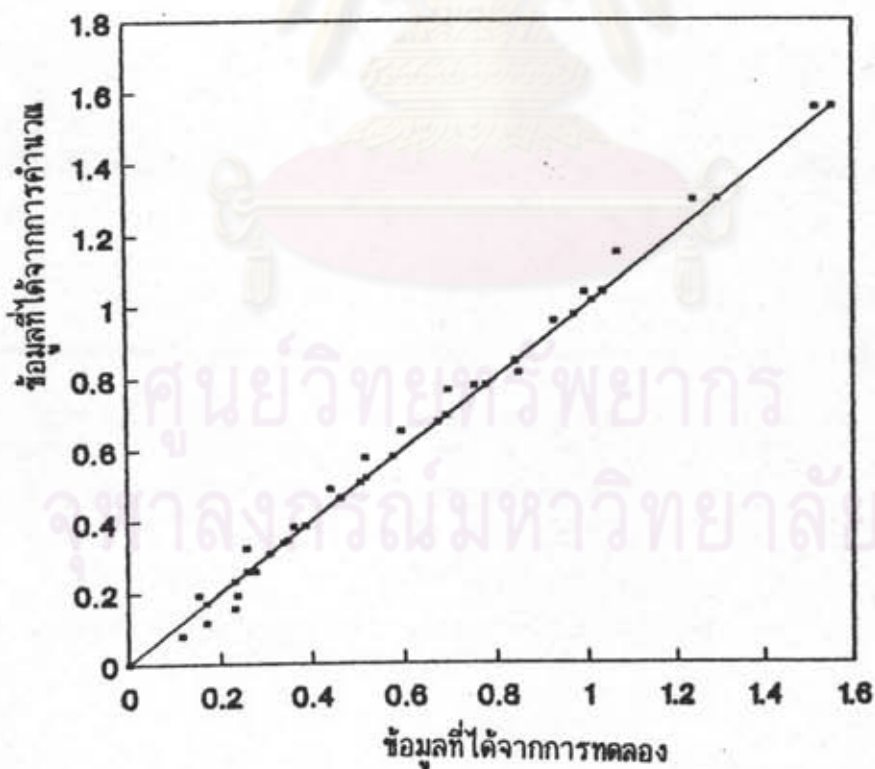
สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเขียนได้เป็น

$$[1/(1-X)]-1 = 702 [r^{-0.34}] [\exp(-5279/T)] t$$

| เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองกับจากการคำนวณโดยสมการ | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------|----------------------|----------------------|--|
| ขนาดก้านนิคมที่ (r) = 1.91x10 ⁻⁴ เมตร | | | | | อุณหภูมิคงที่ 117 °ซ | | | | |
| อุณหภูมิ (°ซ) | อุณหภูมิ (เคลวิน) | เวลา (นาที) | [1/(1-X)]-1 ทดลอง | [1/(1-X)]-1 คำนวณ | รัศมีก้านนิคม (เมตร) | เวลา (นาที) | [1/(1-X)]-1 ทดลอง | [1/(1-X)]-1 คำนวณ | |
| 117 | 390 | 0 | 0.000 | 0.000 | 1.91x10 ⁻⁴ | 0 | 0.000 | 0.000 | |
| | | 15 | 0.276 | 0.259 | | 15 | 0.276 | 0.259 | |
| | | 30 | 0.517 | 0.517 | | 30 | 0.517 | 0.517 | |
| | | 45 | 0.751 | 0.776 | | 45 | 0.751 | 0.776 | |
| | | 60 | 0.994 | 1.034 | | 60 | 0.994 | 1.034 | |
| | | 75 | 1.239 | 1.293 | | 75 | 1.239 | 1.293 | |
| | | 90 | 1.515 | 1.552 | | 90 | 1.515 | 1.552 | |
| 105 | 378 | 15 | 0.184 | 0.168 | 4.62x10 ⁻⁴ | 15 | 0.235 | 0.191 | |
| | | 30 | 0.393 | 0.337 | | 30 | 0.359 | 0.383 | |
| | | 45 | 0.562 | 0.505 | | 45 | 0.516 | 0.574 | |
| | | 60 | 0.751 | 0.673 | | 60 | 0.695 | 0.765 | |
| | | 75 | 0.933 | 0.841 | | 75 | 0.926 | 0.956 | |
| | | 90 | 1.073 | 1.010 | | 90 | 1.067 | 1.148 | |
| 95 | 368 | 15 | 0.131 | 0.168 | 7.48x10 ⁻⁴ | 15 | 0.152 | 0.191 | |
| | | 30 | 0.258 | 0.230 | | 30 | 0.256 | 0.325 | |
| | | 45 | 0.412 | 0.345 | | 45 | 0.441 | 0.487 | |
| | | 60 | 0.490 | 0.460 | | 60 | 0.593 | 0.649 | |
| | | 75 | 0.699 | 0.576 | | 75 | 0.849 | 0.811 | |
| | | 90 | 0.799 | 0.691 | | 90 | 0.971 | 0.974 | |
| 85 | 358 | 15 | 0.042 | 0.115 | | | | | |
| | | 30 | 0.126 | 0.230 | | | | | |
| | | 45 | 0.203 | 0.231 | | | | | |
| | | 60 | 0.294 | 0.308 | | | | | |
| | | 75 | 0.374 | 0.386 | | | | | |
| | | 90 | 0.452 | 0.463 | | | | | |



ก. สารละลายโซเดียมเบนซอไซด์



ข. สารละลายโซเดียมบิวทอไซด์

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการอัตราเร็ว กับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ก. สารละลายโซเดียมเบนซอไซด์ ข. สารละลายโซเดียมบิวทอไซด์

4.2.2 Shrinking Core model แบบขนาดอนุภาคไม่เปลี่ยนแปลง

เป็นการศึกษาหาขั้นตอนที่ควบคุมปฏิกิริยา โดยสมมติว่าอนุภาคของถ่านหินมีขนาดคงที่ในระหว่างเกิดปฏิกิริยา ซึ่งขั้นตอนในการเกิดปฏิกิริยาประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการแพร่ของไฮโดรเจนออกไซด์ผ่านชั้นฟิล์ม (Diffusion through film layer) ขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นผลิตภัณฑ์เข้าสู่แกนกลางที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา (Diffusion through product layer) และขั้นตอนการทำปฏิกิริยาของไฮโดรเจนออกไซด์กับอนุภาคถ่านไฟไรต์ที่แกนกลาง (Reaction control)

เมื่อพิจารณาขั้นตอนทั้งสามตามสมการ (2.28) , (2.29) และ (2.31) ตารางที่ 4.23 และ 4.24 แสดงเทอมของสัดส่วนการเปลี่ยนของไฟไรต์ของแต่ละขั้นตอน แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สัดส่วนการเปลี่ยนของไฟไรต์ของแต่ละขั้นตอน กับ เวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17 พบว่า ขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นผลิตภัณฑ์เข้าสู่แกนกลางที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาให้ผลสอดคล้องตามสมการได้ดีกว่าขั้นตอนการแพร่ของไฮโดรเจนออกไซด์ผ่านชั้นฟิล์ม และขั้นตอนการทำปฏิกิริยาของไฮโดรเจนออกไซด์กับอนุภาคถ่านไฟไรต์ที่แกนกลาง โดยพิจารณาจากค่า r^2 ที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุด ดังนั้น ขั้นตอนที่ควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยาการขจัดถ่านไฟไรต์ คือ ขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นผลิตภัณฑ์เข้าสู่แกนกลางที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา ซึ่งแสดงว่าเป็นขั้นตอนที่ช้าที่สุดอัตราเร็วของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับขั้นตอนนี้

จากกราฟเส้นตรง ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเปลี่ยนของไฟไรต์ของขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นผลิตภัณฑ์ของไฮโดรเจนออกไซด์เข้าสู่แกนกลางที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา คือ $1-3(1-X)^{2/3} + 2(1-X)$ กับเวลา ดังรูปที่ 4.16x และ 4.17x ความชันของเส้นตรงคือ $1/\tau$ ซึ่งสามารถนำไปหาค่าการแพร่ประสิทธิผล (effective diffusivity , D_e) ของแต่ละอนุภาคที่ทำกรทดลอง โดยอาศัยสมการ

$$t/\tau = 1-3(1-X)^{2/3} + 2(1-X) \quad (2.29)$$

$$1/\tau = (6bDeC_{A_2})/\rho_p r^2$$

โดยที่ $\rho_p = 26.9$ กิโลโมล/ม³

$$r = 1.91 \times 10^{-6} \text{ เมตร}$$

$$b = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ stoichiometric} = 8/30$$

$$C_{AL} = \text{ความเข้มข้นของสาร A ในวัฏภาคของเหลว}$$

$$= 0.0435 \text{ กรัมโมลโซเดียม} / 6.767 \times 10^{-6} \text{ ม}^3 \text{ เมื่อสาร}$$

$$\text{ละลายเป็น โซเดียมเบนซอไซด์}$$

$$= 0.0435 \text{ กรัมโมลโซเดียม} / 5.964 \times 10^{-6} \text{ ม}^3 \text{ เมื่อสาร}$$

$$\text{ละลายเป็น โซเดียมบิวทอกไซด์}$$

$$1/\tau = \text{ความชันของกราฟระหว่าง } 1-3(1-X)^{2/3} + 2(1-X)$$

$$\text{กับเวลา}$$

เมื่อนำค่าการแพร่ประสิทธิผล (De) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.25 และ 4.26 มาเขียนกราฟระหว่าง $\ln(De)$ กับ $1/T$ ตามสมการ Arrhenius

$$De = De_{\infty} e^{(-E/RT)} \quad (4.17)$$

จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน เท่ากับ $-E/R$ และจุดตัดแกน เท่ากับ $\ln De_{\infty}$ ซึ่งจะนำมาคำนวณค่าพลังงานกระตุ้นและค่า De_{∞} ได้

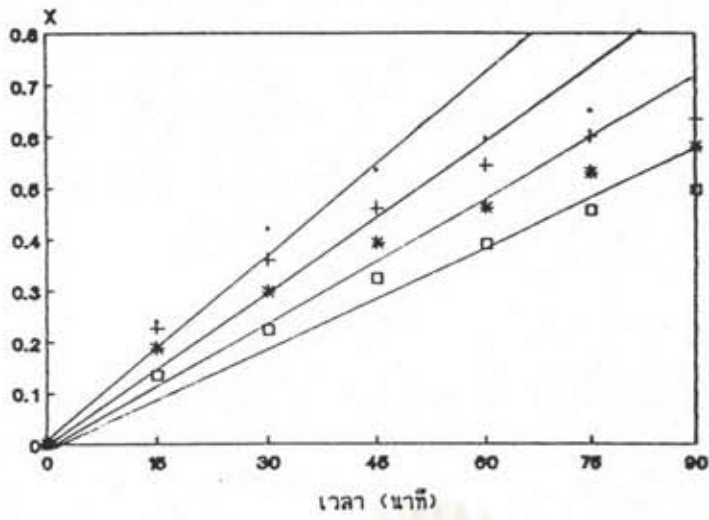
รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ของกราฟระหว่าง $\ln(De)$ กับ $1/T$ และตารางที่ 4.27 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา และความสัมพันธ์ของค่าการแพร่ประสิทธิผลตามสมการ Arrhenius

ตารางที่ 4.23 ค่าร้อยละกำมะถันไฟฟ้าย (แบบไม่วามความชื้นและแก้ว) และหมอมัดส่วนการเปลี่ยน (X) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของกำนหินแม่เกาะ 1 เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอไซด์ (โลหะโซเดียม 3 กรัม กำนหิน 90 กรัม สารละลาย 600 มิลลิลิตร ขนาดกำนหิน 250-850 ไมโครเมตร) เวลา 15 30 45 60 75 และ 90 นาที

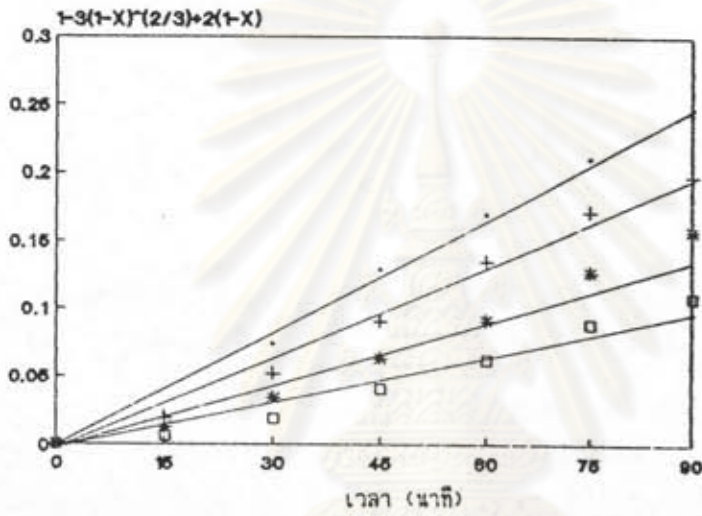
| อุณหภูมิ (°ซ) | เวลา (นาที) | ร้อยละกำมะถันไฟฟ้าย | X | $1-3(1-X)^{2/3} + 2(1-X)$ | $1-(1-X)^{1/3}$ |
|---------------|-------------|---------------------|-------|---------------------------|-----------------|
| เริ่มต้น | 0 | 0.70 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 205 | 15 | 0.54 | 0.239 | 0.021 | 0.087 |
| | 30 | 0.41 | 0.420 | 0.074 | 0.166 |
| | 45 | 0.33 | 0.534 | 0.129 | 0.225 |
| | 60 | 0.28 | 0.597 | 0.169 | 0.261 |
| | 75 | 0.25 | 0.651 | 0.211 | 0.296 |
| | 90 | 0.22 | 0.688 | 0.244 | 0.322 |
| 190 | 15 | 0.55 | 0.227 | 0.019 | 0.082 |
| | 30 | 0.45 | 0.360 | 0.052 | 0.138 |
| | 45 | 0.38 | 0.459 | 0.090 | 0.185 |
| | 60 | 0.32 | 0.544 | 0.135 | 0.230 |
| | 75 | 0.28 | 0.600 | 0.171 | 0.263 |
| | 90 | 0.26 | 0.635 | 0.198 | 0.286 |
| 175 | 15 | 0.57 | 0.187 | 0.013 | 0.067 |
| | 30 | 0.50 | 0.297 | 0.034 | 0.111 |
| | 45 | 0.43 | 0.392 | 0.063 | 0.153 |
| | 60 | 0.38 | 0.460 | 0.091 | 0.186 |
| | 75 | 0.33 | 0.530 | 0.127 | 0.223 |
| | 90 | 0.30 | 0.580 | 0.157 | 0.251 |
| 160 | 15 | 0.61 | 0.134 | 0.006 | 0.047 |
| | 30 | 0.55 | 0.224 | 0.019 | 0.081 |
| | 45 | 0.48 | 0.323 | 0.041 | 0.122 |
| | 60 | 0.43 | 0.389 | 0.062 | 0.151 |
| | 75 | 0.38 | 0.455 | 0.088 | 0.183 |
| | 90 | 0.36 | 0.496 | 0.108 | 0.204 |

ตารางที่ 4.24 ค่าร้อยละการระกันไฟไลต์ (แบบไม่รวมความชื้นและแก้ว) และเทอมตัดส่วนการเปลี่ยน (X) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของถ่านหินแม่เมาะ 1 เมื่อสารละลายเป็นไฮเดรียมกัวฮอกไซด์ (โลหะไฮเดรียม 3 กรัม ถ่านหิน 90 กรัม สารละลาย 600 มิลลิลิตร ขนาดถ่านหิน 250-850 ไมโครเมตร) เวลา 15 30 45 60 75 และ 90 นาที

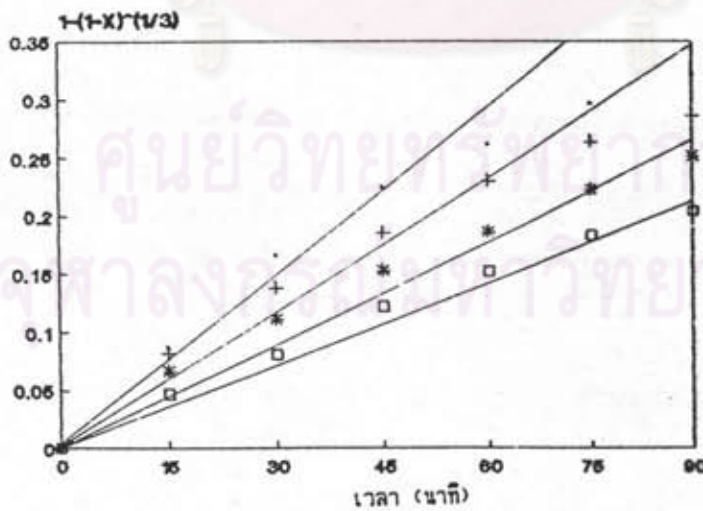
| อุณหภูมิ (°ซ) | เวลา (นาที) | ร้อยละการระกันไฟไลต์ | X | $1-3(1-X)^{2/3} + 2(1-X)$ | $1-(1-X)^{1/3}$ |
|---------------|-------------|----------------------|-------|---------------------------|-----------------|
| เริ่มต้น | 0 | 0.70 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 117 | 15 | 0.55 | 0.217 | 0.017 | 0.078 |
| | 30 | 0.46 | 0.341 | 0.046 | 0.130 |
| | 45 | 0.40 | 0.429 | 0.077 | 0.170 |
| | 60 | 0.35 | 0.499 | 0.109 | 0.206 |
| | 75 | 0.31 | 0.553 | 0.140 | 0.236 |
| | 90 | 0.28 | 0.602 | 0.173 | 0.265 |
| 105 | 15 | 0.60 | 0.155 | 0.009 | 0.055 |
| | 30 | 0.51 | 0.282 | 0.030 | 0.105 |
| | 45 | 0.45 | 0.360 | 0.052 | 0.138 |
| | 60 | 0.40 | 0.429 | 0.077 | 0.170 |
| | 75 | 0.36 | 0.483 | 0.101 | 0.197 |
| | 90 | 0.34 | 0.518 | 0.120 | 0.216 |
| 95 | 15 | 0.62 | 0.116 | 0.005 | 0.040 |
| | 30 | 0.56 | 0.205 | 0.015 | 0.074 |
| | 45 | 0.50 | 0.292 | 0.033 | 0.109 |
| | 60 | 0.47 | 0.329 | 0.043 | 0.124 |
| | 75 | 0.41 | 0.411 | 0.070 | 0.162 |
| | 90 | 0.39 | 0.444 | 0.084 | 0.178 |
| 85 | 15 | 0.68 | 0.040 | 0.001 | 0.014 |
| | 30 | 0.63 | 0.112 | 0.004 | 0.039 |
| | 45 | 0.59 | 0.169 | 0.010 | 0.060 |
| | 60 | 0.54 | 0.227 | 0.019 | 0.082 |
| | 75 | 0.51 | 0.272 | 0.028 | 0.101 |
| | 90 | 0.49 | 0.311 | 0.038 | 0.117 |



ก. X กับ เวลา

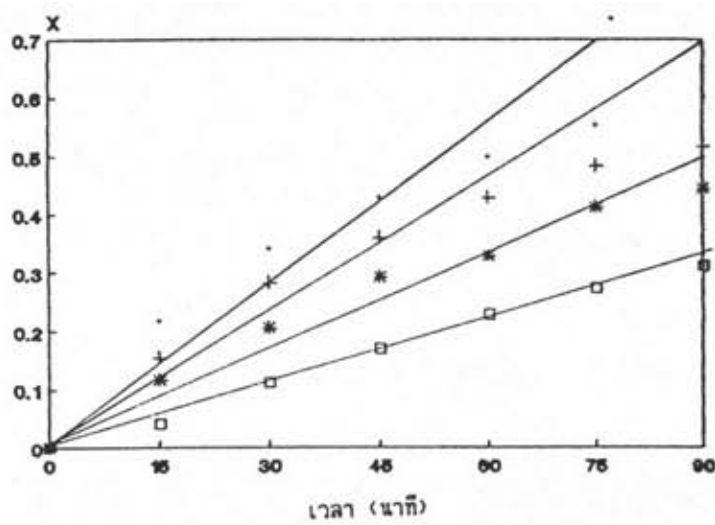


ข. $1-3(1-X)^{2/3}+2(1-X)$ กับ เวลา



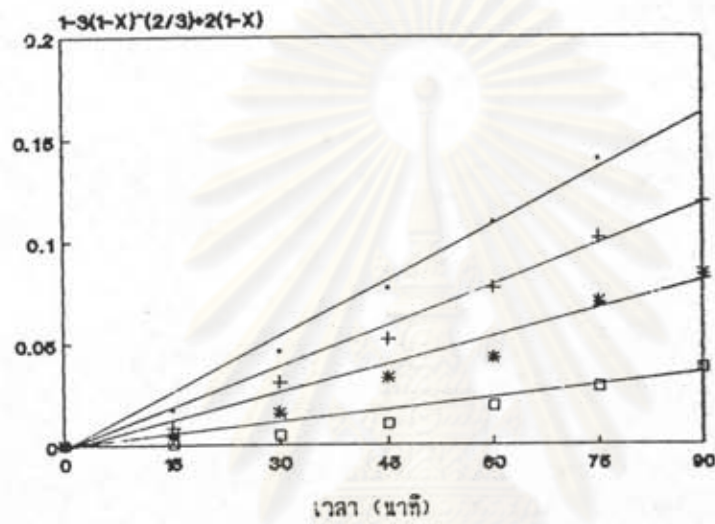
ค. $1-(1-X)^{1/3}$ กับ เวลา

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง สัดส่วนการเปลี่ยนของไฟไรต์ (X) กับ เวลา ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอิกไซด์
 ก. X กับ เวลา ข. $1-3(1-X)^{2/3}+2(1-X)$ กับ เวลา
 ค. $1-(1-X)^{1/3}$ กับ เวลา



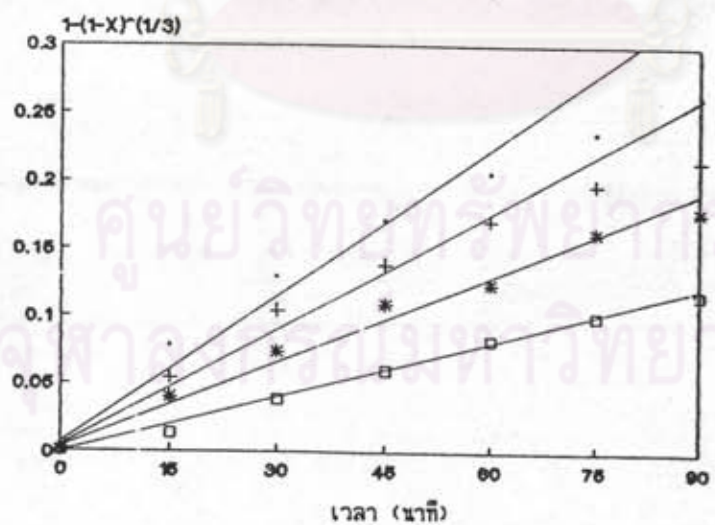
- +— 117 °F, r² = 0.618
- +— 105 °F, r² = 0.769
- *— 95 °F, r² = 0.906
- 85 °F, r² = 0.989

ก. X กับ เวลา



- +— 117 °F, r² = 0.984
- +— 105 °F, r² = 0.972
- *— 95 °F, r² = 0.924
- 85 °F, r² = 0.870

ข. $1-3(1-X)^{2/3}+2(1-X)$ กับ เวลา



- +— 117 °F, r² = 0.856
- +— 105 °F, r² = 0.899
- *— 95 °F, r² = 0.961
- 85 °F, r² = 0.993

ค. $1-(1-X)^{1/3}$ กับ เวลา

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง สัดส่วนการเปลี่ยนของไฟไรต์ (X) กับ เวลา ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมบิวทอกไซด์
 ก. X กับ เวลา ข. $1-3(1-X)^{2/3}+2(1-X)$ กับ เวลา
 ค. $1-(1-X)^{1/3}$ กับ เวลา

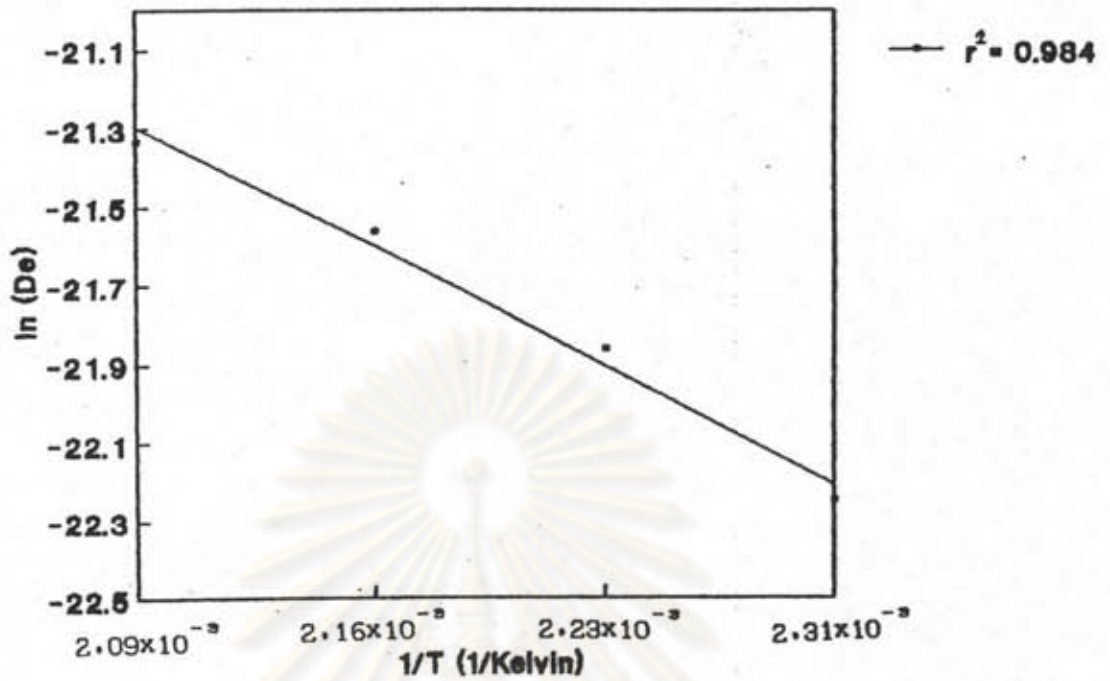
ตารางที่ 4.25 ค่าการแพร่ประสิทธิผล (De) และค่า ln(De) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสารละลายโซเดียมเบนซอไซด์

| อุณหภูมิ (T) (เคลวิน) | 1/T (K ⁻¹) | ค่าการแพร่ประสิทธิผล (De) (เมตร ² /วินาที) | ln (De) |
|--------------------------|---------------------------|--|---------|
| 478 | 2.09x10 ⁻³ | 5.43x10 ⁻¹⁰ | -21.33 |
| 463 | 2.16x10 ⁻³ | 4.31x10 ⁻¹⁰ | -21.56 |
| 448 | 2.23x10 ⁻³ | 3.20x10 ⁻¹⁰ | -21.86 |
| 433 | 2.31x10 ⁻³ | 2.18x10 ⁻¹⁰ | -22.25 |

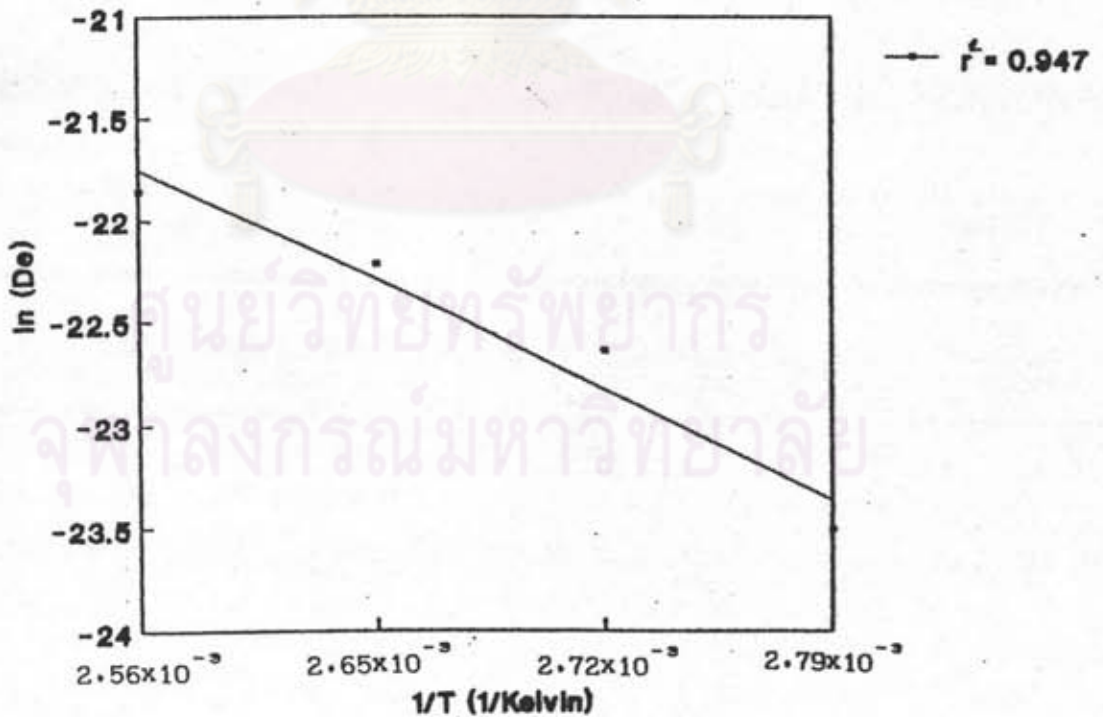
ตารางที่ 4.26 ค่าการแพร่ประสิทธิผล (De) และค่า ln(De) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสารละลายโซเดียมบิวทอไซด์

| อุณหภูมิ (T) (เคลวิน) | 1/T (K ⁻¹) | ค่าการแพร่ประสิทธิผล (De) (เมตร ² /วินาที) | ln (De) |
|--------------------------|---------------------------|--|---------|
| 390 | 2.56x10 ⁻³ | 3.22x10 ⁻¹⁰ | -21.86 |
| 378 | 2.65x10 ⁻³ | 2.24x10 ⁻¹⁰ | -22.22 |
| 368 | 2.72x10 ⁻³ | 1.48x10 ⁻¹⁰ | -22.64 |
| 358 | 2.79x10 ⁻³ | 6.19x10 ⁻¹¹ | -23.51 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. สารละลายไธเดียมเบนซอกลไฮด์



ข. สารละลายไธเดียมบิวทอกลไฮด์

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(D_e)$ กับ $1/T$ ของกัมมันตภาพ

ก. สารละลายไธเดียมเบนซอกลไฮด์ ข. สารละลายไธเดียมบิวทอกลไฮด์

ตารางที่ 4.27 ตารางแสดงค่าการแพร่ประสิทธิผลของการจำกัดกำเนิดในถ่านหินแอมโมอะ 1
Shrinking Core model (Constant particle size)

| ชนิดของสารละลาย | D_e (เมตร ² /วินาที) | $-E/R$ | ค่าการแพร่ประสิทธิผล (De) | พลังงานกระตุ้น จูล/กิโลโมล |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------|---|-------------------------------|
| โซเดียมเบนซอไซด์ 160–205 °ซ | 3.67×10^{-6} | -4202 | $De = 3.67 \times 10^{-6} \exp(-34.9 \times 10^6/RT)$ | 34.9×10^6 |
| โซเดียมบิวทอไซด์ 85–117 °ซ | 2.52×10^{-2} | -7042 | $De = 2.52 \times 10^{-2} \exp(-58.5 \times 10^6/RT)$ | 58.5×10^6 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การศึกษาจลนพลศาสตร์การขจัดกำมะถันอินทรีย์ในถ่านหินแม่เมาะ

จากตารางที่ 4.14 , 4.15 สามารถนำข้อมูลของกำมะถันอินทรีย์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ มาศึกษาปฏิกิริยาเคมีระหว่าง กำมะถันอินทรีย์กับสารละลายโซเดียมเบนซอกลไฮด์ และสารละลายโซเดียมบิวทอกลไฮด์ โดยใช้โมเดลปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องเพื่อหาอันดับปฏิกิริยา ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา และพลังงานกระตุ้น

ตารางที่ 4.28 และ 4.29 แสดงร้อยละกำมะถันอินทรีย์ และสัดส่วนการเปลี่ยน (X) เมื่อสารละลายเป็นโซเดียมเบนซอกลไฮด์ และ โซเดียมบิวทอกลไฮด์ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิแปรค่าตามจุดเดือดของสารละลาย อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโลหะโซเดียมต่อถ่านหิน 3:90 สารละลาย 600 มิลลิลิตร ขนาดอนุภาคถ่านหิน 250-850 ไมครอน เวลา 15 , 30 , 45 , 60 , 75 และ 90 นาที

4.3.1 การหาอันดับปฏิกิริยาเคมี

สามารถหาอันดับปฏิกิริยาเคมี โดยใช้ข้อมูลระหว่างระยะเวลากับปริมาณร้อยละกำมะถันอินทรีย์ จากตารางที่ 4.28 และ 4.29

ขั้นตอนการหาอันดับของปฏิกิริยา (reaction order) หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของปฏิกิริยา (r_o) กับ ความเข้มข้นของกำมะถันอินทรีย์ (C_o) ดังสมการ

$$-r_o = (-dC_o/dt) = k_n C_o^n \quad (4.18)$$

ถ้าเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์

$$(-dC_o/dt) = k_o \quad (4.19)$$

การทดสอบว่าจะ เป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์หรือไม่ ทำได้โดยเขียนกราฟระหว่าง ร้อยละกำมะถันอินทรีย์ กับเวลา แล้วตรวจสอบว่าได้กราฟเป็นเส้นตรงหรือไม่ และพิจารณา ค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหพันธ์ (R-square) จากการทดลองเมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟระหว่าง ร้อยละกำมะถันอินทรีย์ กับเวลา พบว่า ปฏิกิริยาการขจัดกำมะถันอินทรีย์เมื่อใช้สาร

ละลายโซเดียมเบนซอไซด์ และ สารละลายโซเดียมบิวทอไซด์ เป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ กราฟแสดงดังรูปที่ 4.19

4.3.2 การหาค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาเคมี (rate constant) และค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy)

จากหัวข้อ 4.3.1 แสดงว่าปฏิกิริยาระหว่างกำมะถันอินทรีย์ กับสารละลายโซเดียมเบนซอไซด์ และ สารละลายโซเดียมบิวทอไซด์ เป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ซึ่งสามารถนำค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในการทดลองมาเขียนกราฟระหว่าง $\ln(k_0)$ กับ $1/T$ ตามสมการ Arrhenius คือ

$$k_0 = k_{\infty} e^{(-E/RT)} \quad (4.20)$$

จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน เท่ากับ $-E/R$ และจุดตัดแกน เท่ากับ $\ln k_{\infty}$ ซึ่งจะนำมาคำนวณค่าพลังงานกระตุ้นและค่า k_{∞} ได้

ตารางที่ 4.30 และ 4.31 แสดงค่า $\ln(k_0)$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ และรูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ของกราฟระหว่าง $\ln(k_0)$ กับ $1/T$ และตารางที่ 4.32 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา และค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาตามสมการ Arrhenius

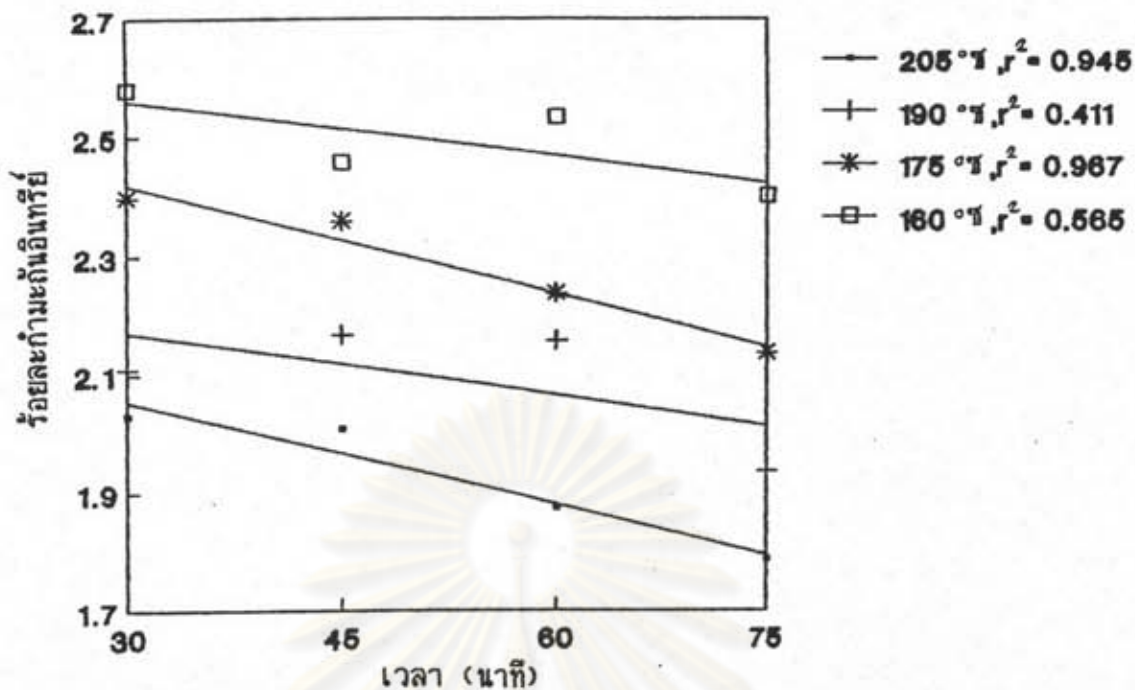
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าร้อยละการกัดกร่อนอินทรีย์ และสัดส่วนการเปลี่ยนแปลง (X) เมื่อใช้สารละลายโซเดียมเบนซอไซด์ (ขนาดถ่านหิน 250-850 ไมครอน ถ่านหิน 90 กรัม โลหะโซเดียม 3 กรัม อุณหภูมิ 205 °ซ สารละลาย 600 มิลลิลิตร) เวลา 15 30 45 60 75 และ 90 นาที

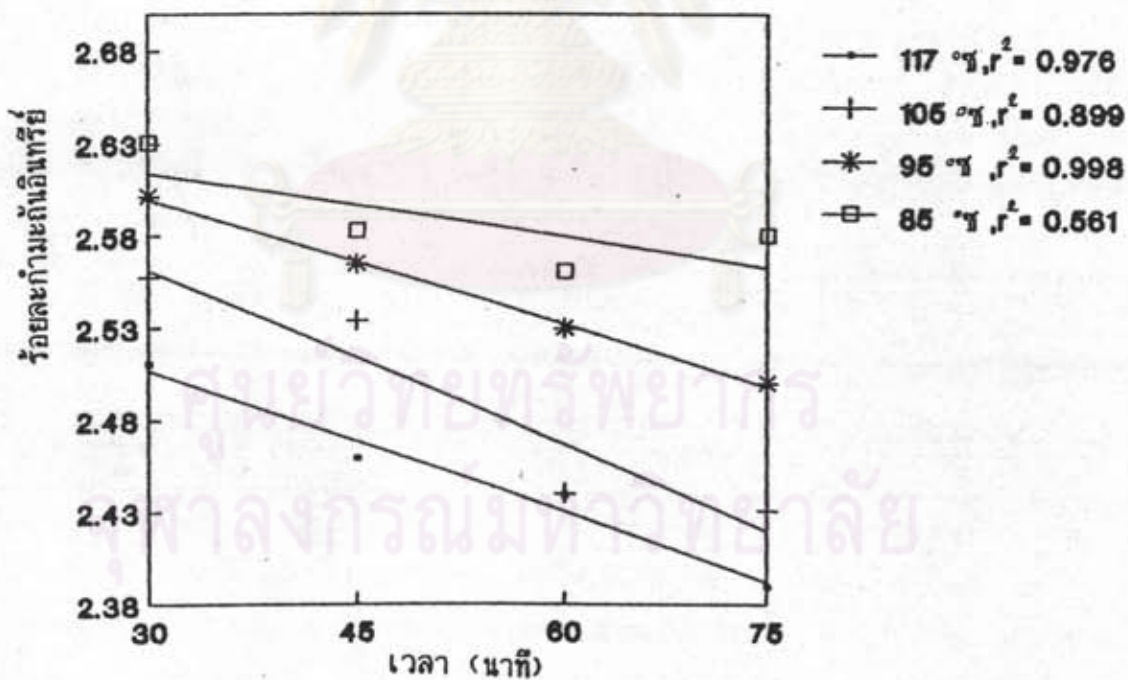
| เวลา (นาที) | อุณหภูมิ 205 °ซ | | อุณหภูมิ 190 °ซ | | อุณหภูมิ 175 °ซ | | อุณหภูมิ 160 °ซ | |
|------------------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|
| | ร้อยละการกัดกร่อนอินทรีย์ | X | ร้อยละการกัดกร่อนอินทรีย์ | X | ร้อยละการกัดกร่อนอินทรีย์ | X | ร้อยละการกัดกร่อนอินทรีย์ | X |
| 0 | 2.70 | - | | | | | | |
| 15 | 1.93 | 0.285 | 2.17 | 0.196 | 2.25 | 0.167 | 2.56 | 0.052 |
| 30 | 2.03 | 0.248 | 2.11 | 0.219 | 2.40 | 0.111 | 2.58 | 0.044 |
| 45 | 2.01 | 0.256 | 2.17 | 0.196 | 2.36 | 0.126 | 2.46 | 0.089 |
| 60 | 1.87 | 0.307 | 2.15 | 0.204 | 2.24 | 0.170 | 2.53 | 0.063 |
| 75 | 1.79 | 0.337 | 1.94 | 0.281 | 2.13 | 0.211 | 2.40 | 0.111 |
| 90 | 1.80 | 0.333 | 1.93 | 0.285 | 2.23 | 0.174 | 2.31 | 0.144 |

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าร้อยละการกัดกร่อนอินทรีย์ และสัดส่วนการเปลี่ยนแปลง (X) เมื่อใช้สารละลายโซเดียมบิวทอกไซด์ (ขนาดถ่านหิน 250-850 ไมครอน ถ่านหิน 90 กรัม โลหะโซเดียม 3 กรัม อุณหภูมิ 117 °ซ สารละลาย 600 มิลลิลิตร) เวลา 15 30 45 60 75 และ 90 นาที

| เวลา (นาที) | อุณหภูมิ 117 °ซ | | อุณหภูมิ 105 °ซ | | อุณหภูมิ 95 °ซ | | อุณหภูมิ 85 °ซ | |
|------------------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|
| | ร้อยละการกัดกร่อนอินทรีย์ | X | ร้อยละการกัดกร่อนอินทรีย์ | X | ร้อยละการกัดกร่อนอินทรีย์ | X | ร้อยละการกัดกร่อนอินทรีย์ | X |
| 0 | 2.70 | - | | | | | | |
| 15 | 2.45 | 0.093 | 2.49 | 0.078 | 2.60 | 0.037 | 2.67 | 0.011 |
| 30 | 2.51 | 0.070 | 2.56 | 0.052 | 2.60 | 0.037 | 2.63 | 0.026 |
| 45 | 2.46 | 0.089 | 2.53 | 0.063 | 2.56 | 0.052 | 2.58 | 0.044 |
| 60 | 2.44 | 0.096 | 2.44 | 0.096 | 2.53 | 0.063 | 2.56 | 0.052 |
| 75 | 2.39 | 0.115 | 2.43 | 0.100 | 2.50 | 0.074 | 2.58 | 0.044 |
| 90 | 2.40 | 0.111 | 2.50 | 0.074 | 2.55 | 0.056 | 2.57 | 0.048 |



ก. สารละลายโซเดียมเบนซอกไซด์



ข. สารละลายโซเดียมบิวทอกไซด์

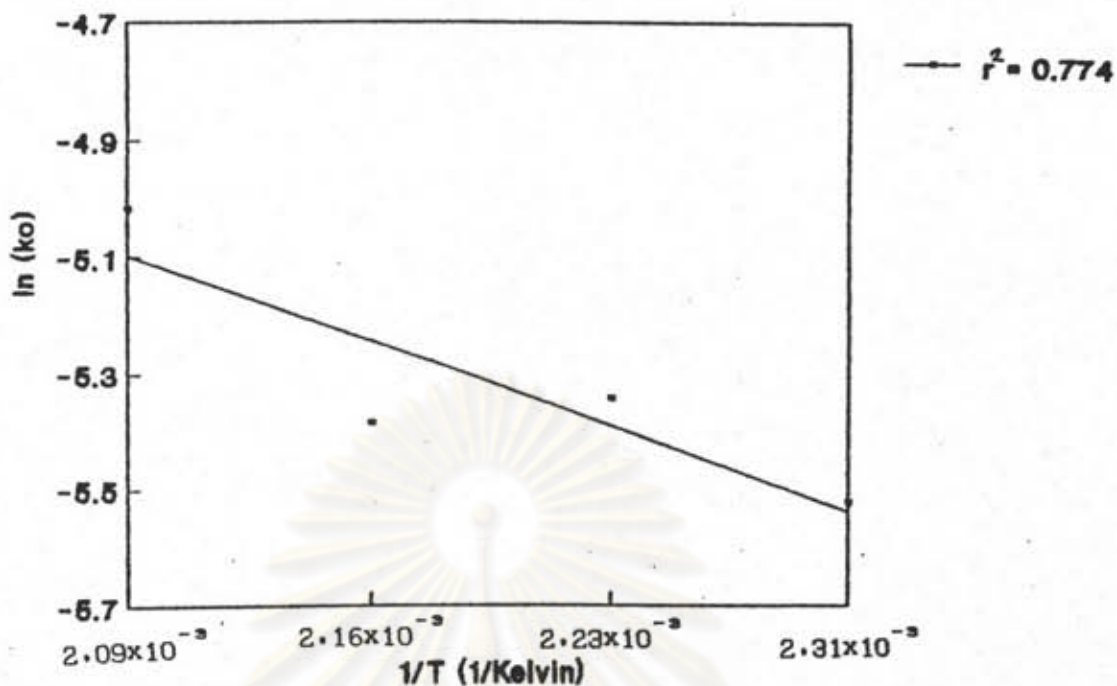
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละกำมะถันอินทรีย์ กับเวลา ที่อุณหภูมิต่าง ๆ
 ก. สารละลายโซเดียมเบนซอกไซด์ ข. สารละลายโซเดียมบิวทอกไซด์

ตารางที่ 4.30 ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา (k_0) และค่า $\ln(k_0)$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสารละลายไซเตียมเบนซิลแอลกอฮอล์

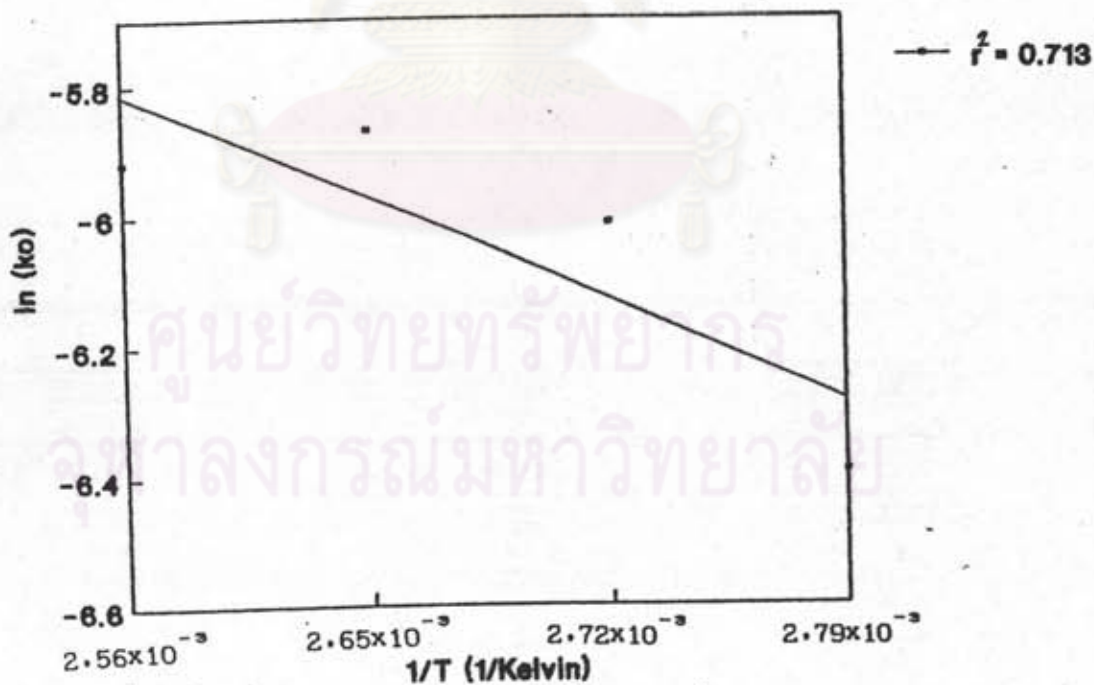
| อุณหภูมิ (T) (เคลวิน) | 1/T (K ⁻¹) | ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา (k_0) (เมตร ³ /กิโลโมล.วินาที) | $\ln(k_0)$ |
|--------------------------|---------------------------|---|------------|
| 478 | 2.09×10^{-3} | 6.62×10^{-3} | -5.02 |
| 463 | 2.16×10^{-3} | 4.58×10^{-3} | -5.39 |
| 448 | 2.23×10^{-3} | 4.78×10^{-3} | -5.34 |
| 433 | 2.31×10^{-3} | 4.00×10^{-3} | -5.52 |

ตารางที่ 4.31 ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา (k_0) และค่า $\ln(k_0)$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสารละลายไซเตียมบิวทอกไซด์

| อุณหภูมิ (T) (เคลวิน) | 1/T (K ⁻¹) | ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา (k_0) (เมตร ³ /กิโลโมล.วินาที) | $\ln(k_0)$ |
|--------------------------|---------------------------|---|------------|
| 390 | 2.56×10^{-3} | 2.69×10^{-3} | -5.92 |
| 378 | 2.65×10^{-3} | 2.82×10^{-3} | -5.87 |
| 368 | 2.72×10^{-3} | 2.44×10^{-3} | -6.01 |
| 358 | 2.79×10^{-3} | 1.67×10^{-3} | -6.40 |



ก. สารละลายไอเดียมเบนซอกลไซด์



ข. สารละลายไอเดียมบิวทอกไซด์

รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(k_o)$ กับ $1/T$ ของกัมมันต์อินทรีย์
 ก. สารละลายไอเดียมเบนซอกลไซด์ ข. สารละลายไอเดียมบิวทอกไซด์

ตารางที่ 4.32 ตารางแสดงจลนพลศาสตร์การจำกัดกำเนิดอินทรีย์ในถ่านหินแม่เมาะ 1 โมเดลปฏิกิริยาต่อเนื่อง

| ชนิดของสารละลาย | k_{∞} | $-E/R$ | จลนพลศาสตร์การจำกัดกำเนิดในถ่านหินแม่เมาะ 1 (โมเดลปฏิกิริยาต่อเนื่อง) | | |
|--------------------------------|-----------------------|--------|---|--|----------------------------|
| | | | อันดับปฏิกิริยา | ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา | พลังงานกระตุ้น จูล/กิโลโมล |
| โซเดียมเบนซอไซด์ 160–205 °ซ | 6.87×10^{-3} | -1857 | อินทรีย์ อันดับศูนย์ | $k_o = 6.87 \times 10^{-3} \exp(-15.4 \times 10^6/RT)$ | 15.4×10^6 |
| โซเดียมบิวทอไซด์ 85–117 °ซ | 3.85×10^{-3} | -2549 | อินทรีย์ อันดับศูนย์ | $k_o = 3.85 \times 10^{-3} \exp(-21.2 \times 10^6/RT)$ | 21.2×10^6 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย