

## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยเรื่องการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากขี้เลื่อยไม้สักโดยแกเลลิเฟอซันไอ้หน้า โดยใช้อ่านหินที่ผ่านการชะละลายเข้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

#### 4.1 สรุปผลการทดลอง

##### 1. การวิเคราะห์แบบประมาณ แบบแยกธาตุและค่าความร้อนสูงของขี้เลื่อยและถ่านหิน

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารของขี้เลื่อยพบว่าค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 20.71 โดยน้ำหนัก และสารระเหยได้ร้อยละ 70.96 โดยน้ำหนัก และจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุมีคาร์บอนร้อยละ 49.83 โดยน้ำหนัก ไฮโดรเจนและออกซิเจนเท่ากับร้อยละ 3.80 และ 44.56 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ขี้เลื่อยมีค่าความร้อนสูงเท่ากับ 4,458 แคลอรีต่อกรัม จากผลดังกล่าวแสดงถึงศักยภาพของขี้เลื่อยสามารถให้ผลิตภัณฑ์แก๊สสังเคราะห์ที่มีไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นองค์ประกอบ

จากการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารและค่าความร้อนสูงของถ่านหินพบว่า ถ่านหินมีปริมาณเถ้าสูงและสารระเหยได้ปานกลาง ส่วนปริมาณความชื้นและคาร์บอนคงตัวมีค่าต่ำ ซึ่งเถ้าเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่เจือปนในถ่านหิน ส่วนสารระเหยและคาร์บอนคงตัวเป็นสารอินทรีย์หรือส่วนที่เผาไหม้ได้ในถ่านหิน ดังนั้นความร้อนทั้งหมดจึงมาจากสองส่วนนี้ จากผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุพบว่า ถ่านหินลิกไนต์มีปริมาณคาร์บอนไม่สูงมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์แบบประมาณ เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านหินต่ำ และจากการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของถ่านหินลิกไนต์พบว่า ถ่านหินลิกไนต์มีค่าความร้อนสูงเท่ากับ 4,320 แคลอรีต่อกรัม

##### 2. ผลการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์ จากถ่านหินที่ผ่านและไม่ผ่านการชะละลาย

##### 2.1 ผลการชะละลายเถ้าของถ่านหิน

จากตาราง 3.2 พบว่า ที่ช่วงเวลาในการชะละลายคือ 60 นาที จะมีปริมาณเถ้ามากที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 17.06 โดยน้ำหนัก คิดเป็นร้อยละของการลดลงเท่ากับ 18.30 และที่เวลา 120 นาที จะมีปริมาณเถ้าน้อยสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 14.58 โดยน้ำหนัก คิดเป็นร้อยละของการลดลงเท่ากับ 30.19

ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกช่วงเวลา 60 และ 120 นาที ในการชะละลายแก้วของถ่านหินเพื่อเตรียมเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา

## 2.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุในถ่านหินและตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโลหะของถ่านหิน 3 ชนิด คือ ถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายแก้ว ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแก้ว 60 นาที และถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแก้ว 120 นาที และตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาจากถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายแก้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาจากถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแก้ว 60 นาที และตัวเร่งปฏิกิริยาจากถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแก้ว 120 นาที โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี พบว่าธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักในถ่านหินคือ Al, Fe และ Si โดยที่ Al มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อทำการชะละลายแก้วที่เวลา 60 นาที เทียบกับถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลาย เนื่องจาก Al เป็นส่วนประกอบแทรกอยู่ตามพื้นผิวหรืออยู่ในรากละ ซึ่งจะมีโครงสร้างที่แข็งแรง จึงทำให้การชะละลายธาตุโลหะได้น้อย และค่าไม่คงที่จึงมีการลดลงหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

สำหรับ Fe มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการชะละลายแก้ว ส่วน Si มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการชะละลายแก้ว และเมื่อพิจารณาผลรวมของปริมาณธาตุทั้งหมด พบว่ามีค่าลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการชะละลายแก้ว

ส่วนปริมาณธาตุโลหะของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักในตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดมีค่าที่ใกล้เคียงกับถ่านหินที่นำมาเตรียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ยกเว้นปริมาณของนิกเกิลที่มีค่ามากกว่า เนื่องจากผ่านการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน ส่วนพฤติกรรมของธาตุโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถอธิบายด้วยเหตุผลเดียวกับถ่านหิน

## 2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถ่านหินก่อนและหลังการเตรียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์

ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถ่านหิน 3 ชนิด คือ ถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายแก้ว ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแก้ว 60 นาที และถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแก้ว 120 นาที ตามลำดับ พบว่า ลักษณะพื้นผิวของถ่านหิน 3 ชนิด มีลักษณะผิวเรียบ ไม่มีรอยขรุขระที่ผิว เมื่อนำถ่านหินทั้ง 3 ชนิด มาเตรียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ทั้ง 3 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายแก้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแก้ว 60 นาที และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแก้ว 120 นาที พบว่าลักษณะพื้นผิวของตัวเร่ง

ปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะขรุขระคล้ายเกร็ดเกิดเป็นร่องอยู่ที่ผิว ซึ่งเกิดจากการเกิดผลึกของ นิกเกิลที่เกาะติดหรือสร้างพันธะกับถ่านหินที่บริเวณผิวของถ่านหิน

#### 2.4 ปริมาตรร้อยละของนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์

ผลการหาปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนักของนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน ลิกไนต์ที่เตรียมโดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายแล้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้ว 60 นาที และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจาก ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้ว 120 นาที มีปริมาณนิกเกิลร้อยละ 22.90, 23.80 และ 21.70 โดย น้ำหนัก ตามลำดับ จึงถือว่าเป็นปริมาณที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ในด้านบทบาทสำคัญในการ เพิ่มผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สและช่วยลดปริมาณน้ำมันทาร์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัญหาสำคัญใน กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันชีวมวล

#### 3. ผลการทดสอบอุณหภูมิของเครื่องระเหย

จากผลการศึกษาทดสอบอุณหภูมิเครื่องระเหยที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ ความร้อนเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าเครื่องระเหยใช้เวลาประมาณ 70 นาที อุณหภูมิของ เครื่องจึงจะถึงค่าที่ตั้งไว้โดยอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งเป็นผลดีต่อการแก๊สซิฟิเคชัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิคงที่ให้ได้มากที่สุดในการทำการทดลองแต่ละครั้ง

#### 4. ผลการหา heating zone ของท่อปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

จากการศึกษา heating zone ของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง พบว่าอุณหภูมิมีค่าคงที่ไม่ เปลี่ยนแปลงมากในจุดที่ห่างจากจากตะแกรงในท่อปฏิกรณ์เป็นระยะประมาณ 2 เซนติเมตร เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากับตัวเจือจางเบดรวมกันให้ได้ความสูงประมาณ 2 เซนติเมตร

#### 5. ผลการทดสอบอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ผลการทดสอบอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่ 500, 550, 600 และ 650 องศาเซลเซียส พบว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งจะใช้เวลาในการที่เครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้ แตกต่างกันไปคือ 10, 13, 24 และ 24 นาที ตามลำดับ โดยอุณหภูมิของเครื่องมีการเปลี่ยนแปลงไปจาก ค่าที่ตั้งไว้เล็กน้อย ซึ่งอุณหภูมิมิผลต่อการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการแตกต่างกันทำให้ผลิตภัณฑ์ที่

ได้มีความแตกต่างกันด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ให้ได้มากที่สุดเพื่อในการทดลองในแต่ละครั้งมีประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สได้ดีที่สุด

## 6. ผลการศึกษาการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากชี้เลี้ยงไม้สักโดยแกสิฟิเคชันไอน้ำ โดยใช้ถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายเข้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

### 6.1 ผลการทดลองการแกสิฟิเคชันชี้เลี้ยงโดยการใช้ไอน้ำและไม่ใช้ไอน้ำโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ไอน้ำการแกสิฟิเคชันของชี้เลี้ยงมีผลทำให้องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดคือไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้น เพราะ ไอน้ำเป็นแหล่งผลิตแก๊สในกระบวนการ Steam-gasification ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไอน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการแกสิฟิเคชันชี้เลี้ยงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้น

### 6.2 ผลการทดลองการแกสิฟิเคชันชี้เลี้ยงด้วยไอน้ำแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากับไม้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการทดลองเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากับไม้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินลิกไนต์ที่ไม่ผ่านการชะละลายเข้าซึ่งมีปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของนิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์เท่ากับ 22.90 พบว่าองค์ประกอบของแก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเพิ่มมากกว่าการไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์มีความสามารถในการแตกตัวน้ำมันทาร์และรีฟอร์มมิ่งมีเทนได้ดีจึงทำให้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้น

### 6.3 ผลการศึกษาการหาอัตราส่วนโดยมวลของชี้เลี้ยงต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากชี้เลี้ยงโดยแกสิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์

#### 6.3.1 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของชี้เลี้ยงต่อตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์ต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์

จากการทดลองเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนโดยมวลของชี้เลี้ยงต่อตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 1:1, 1:3 และ 1:5 พบว่าปริมาณชาร์คอนข้างคงที่ ปริมาณน้ำมันทาร์ลดลงและปริมาณแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนโดยมวลของชี้เลี้ยงต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ความสูงของเบคินท่อปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น

และตัวเร่งปฏิกิริยาทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของทาร์และรีฟอร์มมิ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยา

### 6.3.2 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน ลิกไนต์ต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจาก 1:1 เป็น 1:3 และ 1:5 มีผลทำให้ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 42.46 เป็น 55.09 และ 62.44 โดยโมล ตามลำดับ และคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่คาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มลดลง

### 6.3.3 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน ลิกไนต์ต่อผลรวมของไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $H_2+CO$ ) และอัตราส่วนร้อยละโดยโมล ของคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO/CO_2$ ) และไฮโดรเจนต่อคาร์บอนมอนอก- ไซด์ ( $H_2/CO$ )

ผลรวมของ  $H_2+CO$  มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ คือเมื่ออัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นค่า  $H_2+CO$  และ  $H_2/CO$  มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากซีลี้อยโดยการแกสซิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถให้ผลิตภัณฑ์แก๊สที่เป็นแก๊สสังเคราะห์คือ ไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ที่อัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

เมื่ออัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น พบว่าค่าของอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ  $H_2/CO$  มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นปริมาณไฮโดรเจนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วน  $CO$  มีปริมาณลดลงและอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ  $CO/CO_2$  มีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 1:5 แต่มีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1:3

#### 6.3.4 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของซีลีอต่อตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน ลิกไนต์ต่อร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของซีลีอและร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำ ปฏิกิริยาไปของผลิตภัณฑ์แก๊ส

จากการทดลองสรุปได้ว่า ร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของซีลีอที่อัตราส่วนโดยมวลของซีลีอต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1:1, 1:3 และ 1:5 มีปริมาณค่อนข้างคงที่ สำหรับการวิเคราะห์ผลของร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของซีลีอต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 1:1 เป็น 1:3 และ 1:5 ทำให้ปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สของแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณลดลง เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนโดยมวลของซีลีอต่อตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 1:1 เป็น 1:3 และ 1:5 โดยปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณลดลง

จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของซีลีอต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1:3 เป็นอัตราส่วนโดยมวลของซีลีอต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลรวมร้อยละโดยโมลของ  $H_2 + CO$  และอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ  $CO/CO_2$  มีค่ามากที่สุด แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนโดยมวลของซีลีอต่อตัวเร่งปฏิกิริยานี้มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับผลิตแก๊สผลิตภัณฑ์และมีแนวโน้มในการเพิ่มแก๊สผลิตภัณฑ์ให้มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ  $CO/CO_2$  มีค่ามากที่สุดสามารถที่จะเกิดปฏิกิริยา Water gas shift ได้อีก เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการแก๊สฟิเคชัน ดังนั้นงานวิจัยจึงได้เลือกอัตราส่วนโดยมวลของซีลีอต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1:3

### 6.4 ผลการศึกษาการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากซีลีอ โดยแก๊สฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์

#### 6.4.1 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งเพิ่มขึ้นปริมาณสารค่อนข้างคงที่ ปริมาณทาร์ลดลงและปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้น เนื่องจากทาร์และสารแตกตัวไปเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สได้มากขึ้นที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

#### 6.4.2 ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด

จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เพิ่มขึ้นปริมาณไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่คาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณลดลง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สามารถให้ผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนมากที่สุดคือ 700 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณไฮโดรเจนเท่ากับร้อยละ 64.30 คาร์บอนมอนอกไซด์เท่ากับร้อยละ 25.42 และคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 10.29 โดยโมล

#### 6.4.3 ผลของอุณหภูมิต่อผลรวมของไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $H_2+CO$ ) และอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $H_2/CO$ ) และคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO/CO_2$ )

ผลรวมของ  $H_2+CO$  เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากชีเลื่อยด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สสังเคราะห์คือไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ  $H_2/CO$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับผลรวมของ  $H_2+CO$  โดย  $H_2/CO$  มีค่ามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 2.57 โดยโมล ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แก๊สไฮโดรเจนที่อุณหภูมินี้มีค่ามากที่สุด ส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าน้อยที่สุด สำหรับค่า  $CO/CO_2$  มีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงและคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

#### 6.4.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของชีเลื่อยและร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของผลิตภัณฑ์แก๊ส

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของชีเลื่อยมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในขณะที่ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 83.81 แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ชีเลื่อยมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สไฮโดรเจนได้มากที่สุด

### 7. ผลการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้ว

#### 7.1 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

จากผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ในกระบวนการแกสซิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์ โดยใช้ตัวเร่ง

ปฏิกิริยา 3 ชนิด ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายแล้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้ว 60 นาที และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้ว 120 นาที พบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณเถ้าลดลง ปริมาณผลิตภัณฑ์ซาร์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สและทาร์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สและทาร์มีปริมาณลดลงและเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

## 7.2 ผลตัวเร่งปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด

จากผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดคือ ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโดยรวมของผลิตภัณฑ์แก๊สและองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณเถ้าลดลง จะทำให้แก๊สไฮโดรเจนมีค่าลดลง ส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยแก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณลดลงจากร้อยละ 64.30 เป็น 49.50 โดยโมล และมีปริมาณต่ำสุดที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านที่ผ่านการชะละลายแล้ว 120 นาที ซึ่งมีปริมาณเถ้าเหลืออยู่ร้อยละ 14.58 โดยน้ำหนัก ส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 25.42 เป็น 36.36 และจากร้อยละ 10.29 เป็น 14.15 โดยโมล ตามลำดับ

## 7.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลรวมของไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $H_2+CO$ ) และอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $H_2/CO$ ) และคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO/CO_2$ )

จากผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลรวมของผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $H_2+CO$ ) และผลตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ  $H_2/CO$  และ  $CO/CO_2$  พบว่าค่า  $H_2+CO$  มีแนวโน้มลดลงจากร้อยละ 89.72 เป็น 85.86 โดยโมล เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณเถ้าลดลง ส่วนผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ  $H_2/CO$  พบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณเถ้าลดลง อัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ  $H_2/CO$  ลดลงจากร้อยละ 2.53 เป็น 1.36 และมีค่าต่ำสุดที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านที่ผ่านการชะละลายแล้ว 120 นาที

สำหรับอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ  $CO/CO_2$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้ว 60 นาที และมีค่าลดลงเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้ว 120 นาที

#### 7.4 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของซีลีอและร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของผลิตภัณฑ์แก๊ส

จากผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของซีลีอและร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด พบว่าร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของซีลีอมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด พบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จากถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายเอาร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของแก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณมากที่สุดคือ 83.81 และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยที่สุด

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากซีลีอไม้สักโดยแก๊สฟิเคชันด้วยไอน้ำ โดยใช้ถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายเอาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์คือ ที่อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำ 30 กิโลปาสกาล อัตราส่วนโดยมวลของซีลีอต่อตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์เป็น 1:3 ปริมาณซีลีอประมาณ 1 กรัม และใช้ถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายเอาเตรียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์ เนื่องจากสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สไฮโดรเจนและมีค่าอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ  $H_2/CO$  ได้มากที่สุดเท่ากับ 2.53

จากรายงานการวิจัย พบว่าแก๊สสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนของ  $H_2/CO$  ค่อนข้างต่ำประมาณ 1.5-2.0 สามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเมทานอลหรือเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนได้ แก๊สสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วน  $H_2/CO$  ปานกลางประมาณ 2.87 – 4.45 สามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไดเมทิลอีเทอร์<sup>(53-54)</sup> และแก๊สสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วน  $H_2/CO$  ค่อนข้างสูงแสดงว่าแก๊สสังเคราะห์มีปริมาณของไฮโดรเจนมาก

#### 4.2 ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาและคิดค้นชีวมวลชนิดอื่นที่มีปริมาณมากในภาคการเกษตรหรือจากส่วนต่างๆ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการบริโภคของคนและสัตว์ มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากชี้อ้อยโดยแกสิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา
2. ปรับปรุงกระบวนการในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้โดยอาจเปลี่ยนแปลงสถานะที่ทำการทดลองหรือนำไปประยุกต์กับเครื่องปฏิกรณ์แบบต่าง ๆ เช่น ฟลูอิดไดซ์เบด ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน เป็นต้น
4. พัฒนาและคิดค้นตัวเร่งปฏิกิริยาตัวใหม่ในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากชีวมวลโดยการแกสิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีราคาถูก
5. ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากชี้อ้อยไม้สักโดยการแกสิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา