

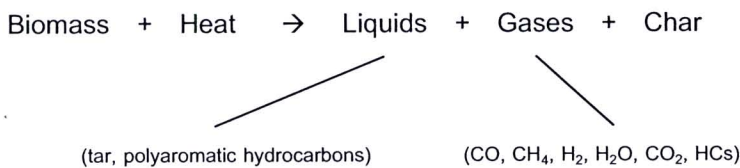
บทนำ

1.1 พลังงานชีวมวลและการแปลงสภาพเชิงเคมีความร้อน

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานและผลิตภัณฑ์จากเชื้อเพลิงฟอสซิลในปริมาณที่สูง มีการนำเข้าน้ำมันดิบและเคมีภัณฑ์มากในแต่ละปี เมื่อราคาน้ำมันปิโตรเลียมปรับตัวสูงขึ้นจึงส่งผลกระทบต่อภาวะของเศรษฐกิจโดยรวมและมีผลต่อความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ วิธีการบรรเทาหรือช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวแนวทางหนึ่ง คือ การพัฒนาพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพขึ้นภายในประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้ประโยชน์เชิงพลังงานจากชีวมวลซึ่งเป็นแหล่งพลังงานเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพันธุ์พืชต่างๆ ซึ่งทำให้การเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรเป็นพื้นฐานที่สำคัญในภาคเศรษฐกิจของประเทศ ผลผลิตส่วนใหญ่ได้จากภาคการเกษตร ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และปาล์ม เป็นต้น ดังนั้นจึงมีเศษวัสดุเหลือใช้หรือชีวมวลที่เกิดขึ้นหลังจากการเก็บเกี่ยวจำนวนมาก ได้แก่ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย ไม้พิน เหว้ามันสำปะหลัง กากและกะลามะพร้าว ชังข้าวโพด และกากปาล์ม เป็นต้น รวมถึงเศษวัสดุจากกระบวนการผลิตอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ชี้อ้อย เศษไม้ ขยะ และ มูลสัตว์ ซึ่งเศษวัสดุเหล่านี้มีประโยชน์สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานได้ จากการสำรวจศึกษาของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (Sajjakulnukit et al., 2005) พบว่า ศักยภาพของพลังงานที่ได้จากเศษวัสดุเหลือใช้หรือชีวมวลมีมากกว่า 16% ของปริมาณการบริโภคพลังงานทั้งหมดของประเทศ

พืชอีกกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า ไม้โตเร็ว มีศักยภาพในการที่จะนำมาผลิตเป็นพลังงานได้ เนื่องจากไม้โตเร็วเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในแทบทุกสภาพพื้นที่ ใช้น้ำน้อย สามารถเริ่มตัดใช้ภายในระยะสั้น (3-5) ปี และให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ในพื้นที่ชนบท ไม้ในกลุ่มนี้เช่น ยูคาลิปตัส กระถินณรงค์ และ กระถินเทพา เป็นต้น ไม้โตเร็วชนิด กระถินเทพา จะสามารถตัดได้ประมาณเมื่อปลูกครบ 3 ปี โดยจะให้ผลผลิตประมาณ 11.5 ตัน/ไร่ โดยมีค่าความร้อนประมาณ 20 MJ/kg สำหรับไม้โตเร็วชนิดอื่นๆ ก็ให้ผลผลิตและค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งการนำไม้โตเร็วไปใช้ประโยชน์ทางด้านเชื้อเพลิง ส่วนมากจะนิยมย่อยให้เป็นเศษไม้หรือเป็นผงเพื่อสะดวกในการป้อนเชื้อเพลิง ไม้ล้มลุกอื่นๆที่อาจนำมาใช้ประโยชน์เชิงพลังงานได้ เช่น ไม้จำพวกวัชพืชที่ขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นต้น

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล ส่วนใหญ่เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบสมบูรณ์เพื่อนำความร้อนที่เกิดขึ้นใช้ในการต้มน้ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงไปขับเคลื่อนไอน้ำในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะพบเห็นได้จากระบบของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก หรือใช้เทคโนโลยีที่สามารถผลิตได้ทั้งไฟฟ้าและพลังงานความร้อนร่วมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น ปัจจุบัน ในต่างประเทศได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าในอีกรูปแบบหนึ่ง โดยอาศัยหลักการการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทชีวมวลในที่จำกัดปริมาณอากาศด้วยการแปลงสภาพเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง หรือการแปลงสภาพให้เป็นน้ำมันชีวภาพของเหลวก่อน ดังแสดงในสมการปฏิกิริยาเคมี (รูปที่ 1.1) ต่อไปนี้

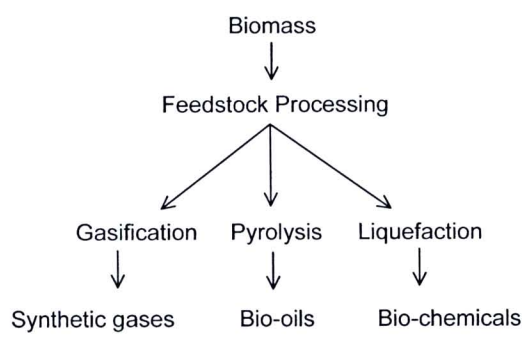


รูปที่ 1.1 ปฏิกิริยาการแปลงสภาพชีวมวลเชิงความร้อน

จากนั้นจึงนำเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ใช้โดยตรงในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในเพื่อผลิตไฟฟ้าแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล ไม่ว่าจะเป็นรูปของก๊าซ หรือ ของเหลว โดยระบบได้รับการวิจัยพัฒนาให้มีขนาดตั้งแต่ 5 กิโลวัตต์ ถึง 1.2 เมกะวัตต์ มีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซสูงถึงประมาณ 80 เปอร์เซนต์ และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลอยู่ในระหว่าง 0.7 ถึง 1.2 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง เทคโนโลยีนี้เป็นระบบที่สามารถปรับระดับขนาดให้เหมาะสมที่จะพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรม หรือชุมชนที่มีเศษวัสดุเหลือใช้ประเภทชีวมวลได้ จึงควรมีการศึกษาความเหมาะสมด้านเทคโนโลยีเพื่อใช้เป็นต้นแบบสาธิต และส่งเสริมให้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งจะสามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และเป็นการช่วยอนุรักษ์พลังงานของประเทศอีกด้วย อย่างไรก็ตาม การผลิตพลังงานและเชื้อเพลิงด้วยระบบแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) และไพโรไลซิส (pyrolysis) ได้มีการศึกษาและนำมาใช้กับชีวมวลหลายชนิดในต่างประเทศ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างออกไปจากที่หาได้ในประเทศ ซึ่งคุณสมบัติของชีวมวลตั้งต้นที่แตกต่างกันจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ ระบบเตาปฏิกรณ์ส่วนใหญ่เป็นแบบชั้นวัสดุนิ่ง (fixed bed) มีการเริ่มนำระบบเตาแบบชั้นของไหล (fluidized bed) มาใช้เพราะสามารถเพิ่มอัตราการให้ความร้อนได้สะดวกกว่า ก๊าซตัวกลางแก๊สซิฟิเคชันและไพโรไลซิสส่วนมากใช้อากาศ หรือ ก๊าซเฉื่อย อย่าง ไนโตรเจน มีการทดลองใช้ ออกซิเจน ไอน้ำ หรือ ก๊าซอื่นๆ ไม่แพร่หลายมากนัก นอกจากนี้ การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ในการช่วยสร้างผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดีขึ้นยังมีค่อนข้างน้อย เนื่องจากมีราคาแพง แต่ยังมีตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์บางจำพวกที่ทำงานได้และมีราคาไม่แพง ซึ่งผลรวมของประเด็นเหล่านี้ มีความสำคัญในการนำมาประยุกต์ใช้กับประเทศไทย ที่มีทรัพยากรชีวมวลมากมาย มีศักยภาพในการผลิตพลังงานชีวภาพ เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน และลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ การวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิต และอุปกรณ์การแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าชีวมวลขึ้นภายในประเทศจึงเป็นสิ่งสำคัญในการพึ่งพาตนเองและความมั่นคงทางพลังงาน กระบวนการทางเคมี

ความร้อนเป็นเทคนิคการแปลงสภาพชีวมวลให้กลายเป็นเชื้อเพลิงทั้งในรูปก๊าซ ของเหลว และของแข็ง โดยการย่อยสลายทางเคมีของวัตถุดิบด้วยความร้อนสูง ได้เป็นพลังงานและเชื้อเพลิงที่สะดวกต่อการใช้ และมีปริมาณมลพิษน้อยลง องค์ความรู้สำหรับกระบวนการ ปัจจัยการทำงาน และวัสดุอุปกรณ์ของเทคโนโลยีดังกล่าว จะมีส่วนสำคัญในการพัฒนาระบบการผลิตพลังงานและเชื้อเพลิงจากชีวมวลขึ้นได้เองภายในประเทศ ในระดับขนาดที่ใหญ่มากขึ้นเหมาะกับอุตสาหกรรมชุมชน ต่อไป

การแปลงสภาพชีวมวลสามารถแบ่งได้เป็นหลายวิธีพื้นฐาน ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ (การกดอัดเพื่อเพิ่มความหนาแน่น การเข้าทำปฏิกิริยา) กระบวนการทางเคมีความร้อน (การเผาไหม้ แกสซิฟิเคชัน ไพโรไลซิส ลิควิแฟคชัน และการแยกสารด้วยสภาวะเหนือวิกฤต) และ กระบวนการทางชีวเคมี (การย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ การหมักชีวภาพ การผลิตเอสเตอร์ด้วยจุลินทรีย์) ซึ่งรายละเอียดมีรวบรวมอยู่ใน (Bhattacharya, 1993; McKendry, 2002; Demirbas, 2007) โดยทั่วไปกระบวนการแปลงสภาพทางเคมีความร้อนที่คุ้นเคยจะเป็นดังแผนภาพ ที่ 1.2 ดังนี้



รูปที่ 1.2 กระบวนการแปลงสภาพชีวมวลทางเคมีความร้อนพื้นฐาน และผลิตภัณฑ์หลัก

ในโครงการวิจัยนี้จะเน้นที่ กระบวนการแกสซิฟิเคชัน และ ไพโรไลซิส สำหรับผลิตพลังงานและเชื้อเพลิงจากชีวมวล ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีความร้อนที่แปลงสภาพชีวมวลให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่มี CO, CO₂, CH₄, H₂, C₂H₆, C₂H₄ ไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ และความชื้น เป็นส่วนประกอบหลัก น้ำมันชีวภาพที่มีส่วนประกอบที่ซับซ้อนของน้ำและสารประกอบเคมีอินทรีย์ และถ่านชาร์ที่ประกอบไปด้วยกากถ่าน สารอินทรีย์ ซี้เถ้า และของแข็งอื่นๆที่เหลือจากปฏิกิริยา (Bridgwater, 2003; Yaman, 2004; Goyal et al., 2008) โดยการจำกัดปริมาณออกซิเจนให้ต่ำกว่าที่ต้องการทางทฤษฎี ที่อุณหภูมิสูง เกิดการแตกตัวของชีวมวล ซึ่งสัดส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับสภาวะและปัจจัยในกระบวนการ โดยหลักๆจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน และเวลาในการทำปฏิกิริยา (Bridgwater et al., 1999; Demirbas and Arin, 2002; Mohan et al., 2006) หากเน้นการผลิตน้ำมันชีวภาพ กระบวนการต้องควบคุมให้เกิดที่อุณหภูมิต่ำ อัตราการให้ความร้อนสูง และเวลาการทำปฏิกิริยาสั้น หากเน้นการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง กระบวนการต้องควบคุมให้เกิดที่อุณหภูมิสูง อัตราการให้ความร้อนต่ำ และเวลาการทำปฏิกิริยายาว (Demirbas, 2001) ซึ่งเตาปฏิกรณ์ที่ใช้ อาจจะเป็นแบบชั้นวัสดุนิ่ง (fixed bed)

ฟลูอิดไดซ์เบด (fluidized bed) สเปาเต็ดเบด (spouted bed) หรือ แบบไหลลอย (entrained flow) ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป โดยส่วนใหญ่จะเป็นแบบชั้นวัสดุหนึ่ง รูปแบบใหม่ขึ้นมาจะเป็นแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่เริ่มมีการยอมรับไปใช้อย่างแพร่หลายเพิ่มขึ้น

ชีวมวลหลากหลายชนิดถูกใช้ในการทดสอบการแปลงสภาพ เช่น ไม้โตเร็วจำพวกกระถิน ยูคาลิปตัส ไม้เนื้ออ่อน และไม้เนื้อแข็งต่างๆที่มีในประเทศที่ศึกษา เศษไม้ ชี้เลื่อย แกลบ ฟางข้าว กากอ้อย ชังข้าวโพด ต้นข้าวโพด เปลือกข้าวโพด เปลือกถั่วชนิดต่างๆ เปลือกปาล์ม เปลือกไม้ เมล็ดในของผลไม้ มะกอก ปาล์ม องุ่น ต้นหญ้าวัชพืช ใบยาสูบ เศษกระดาษ เศษไม้ กิ่งก้านและต้นองุ่น กากเมล็ดทานตะวัน กากเมล็ดเรพ กากปาล์ม เศษใบชา เศษเฟอร์นิเจอร์เก่า กากของเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษ ขยะชุมชน เศษวัสดุการเกษตร มูลสัตว์ กากตะกอน เป็นต้น (Yaman, 2004) หลายชนิดที่นำมาศึกษามาจากผลผลิตของพืชเศรษฐกิจในประเทศนั้นๆ เป็นหลัก ซึ่งยังไม่มีรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับชีวมวลอีกหลายชนิดที่มีศักยภาพของประเทศไทย

ก๊าซตัวกลาง (carrier gas) ในกระบวนการ ส่วนใหญ่ จะใช้ อากาศ หรือ ก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจนเข้าทำปฏิกิริยาแล้วพาทก๊าซร้อนออกจากเตาปฏิกรณ์ ในบางงานวิจัย ได้ศึกษาผลของการใช้ไฮโดรเจนแทน ซึ่งมีผลต่อส่วนประกอบทางเคมีของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Rocha et al., 1999) หลายๆงานวิจัยรายงานถึงการใช้นำไ้เป็นส่วนหนึ่ง หรือใช้ทั้งหมดในฐานะก๊าซตัวกลาง เพื่อช่วยในการส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาอีฟอรัมมิงของก๊าซ ให้ได้ไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้น ซึ่งเป็นก๊าซสังเคราะห์ที่มีค่าความร้อนสูง และสามารถนำไปเป็นสารตั้งต้นเพื่อใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงได้ ไอน้ำยังช่วยให้เกิดปฏิกิริยาชิฟ (water gas shift) ระหว่างไอน้ำกับก๊าซเพื่อผลิตไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งถือเป็นการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์วิธีหนึ่ง (Marquevich et al., 2000) ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นได้ในสภาวะที่หลากหลายและช่วยแปลงสภาพสารโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็น H_2 , CH_4 และคาร์บอนออกไซด์ ได้เกือบสมบูรณ์ นอกจากนี้ งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ยังไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าร่วมในกระบวนการมากนัก ซึ่งนับเป็นประเด็นที่น่าสนใจศึกษาในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ Gasification และ Pyrolysis นี้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ทดลองใช้ เช่น ซีโอไลต์ ZSM-5 (Horne and Williams, 1996; Williams and Nugranad, 2000) นิเกิล (Wang et al., 1996) นิเกิล-อลูมินา นิเกิล-อลูมินา/ซิลิกา (Demirbas, 2002) ไดโลไมท์ แคลไซต์ และ แมกนีไซต์ (Bridgwater, 1996; Delgado et al., 1997; Sutton et al., 2001) เทคโนโลยี Gasification และ Pyrolysis นี้ มีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์กับขยะชุมชนหลากหลายแบบ ดังรายละเอียดใน (Malkow, 2004) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีคล้ายที่ใช้กับชีวมวลอื่นๆ ทั่วไป

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 การสลายตัวเชิงความร้อน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวทางความร้อนของชีวมวลมีตัวอย่างงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Hanaoka และคณะ (2005) ได้นำเซลลูโลส ไซแลนและลิกนิน และไม้โอ๊คที่มีเซลลูโลสส่วนมาก เปรียบเทียบกับเปลือกไม้สนแดงที่มีลิกนินเป็นองค์ประกอบส่วนมาก เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบ พบว่า เซลลูโลสและไซแลนมีคาร์บอนประมาณ 43.8% และ 43.5% ใกล้เคียงกัน แต่ลิกนินจะมีคาร์บอน สูงกว่าประมาณ 63.9% โดยที่ลิกนินจะมีออกซิเจนประมาณ 30.3% น้อยกว่าเซลลูโลสและไซแลน ประมาณ 49.8% และ 49.9% โดยมีประมาณ ผลการศึกษา TG เมื่อใช้อากาศพบว่า พบว่าเซลลูโลสมี การสลายตัวในช่วงอุณหภูมิ 300-530 องศาเซลเซียส ไซแลน 200- 530 องศาเซลเซียส และลิกนิน 200-550 องศาเซลเซียส โดยระบุว่าเซลลูโลสสลายตัวเนื่องจากการไพโรไลซิส โดยสลายตัวประมาณ 90% ในช่วง 300-400 องศาเซลเซียส ส่วนที่เหลือสลายตัวช้าๆในช่วง 400-530 องศาเซลเซียส ส่วนไซ แลนและลิกนินสลายตัวเนื่องจากการไพโรไลซิสและการเผาไหม้ ไซแลนสลายตัวเกือบ 55% ในช่วง 200-300 องศาเซลเซียส คล้ายกับเฮมิเซลลูโลส และจะมีสลายตัวอย่างช้าๆ ในช่วง 300-500 องศา เซลเซียส คล้ายกับเซลลูโลส จนถึง 75% ส่วนที่เหลือโดยจะมีการสลายตัวอย่างรวดเร็วในช่วง 500-530 องศาเซลเซียส ในการไพโรไลซิสเซลลูโลสจะมีค่า gasification conversion (carbon conversion) มาก ที่สุด 67% ส่วนลิกนินน้อยที่สุด 17.2% ปริมาณก๊าซ CO และ CO₂ ของไม้โอ๊คจะใกล้เคียงกับเซลลูโลส ซึ่งไม้โอ๊คจะมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบเป็นส่วนใหญ่ และก๊าซที่ได้จากเปลือกไม้สนจะมีค่าใกล้เคียงกับ ลิกนิน ซึ่งจะมีลิกนินเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่

Park และคณะ (2009) ได้นำไม้โอ๊คมาทำการศึกษการสลายตัวด้วย TG พบว่าจะมีการสลายตัว ในช่วง 330 และ 370 องศาเซลเซียส เป็นส่วนมาก จึงได้มาทดลองในชุดทดสอบระดับห้องปฏิบัติการที่ อุณหภูมิดังกล่าวพบว่าจะได้ถ่านเป็นส่วนใหญ่ และเมื่อทิ้งไว้นานขึ้นที่อุณหภูมิเดียวกันนี้ ปริมาณถ่านจะ ลดลงและปริมาณก๊าซกับน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณน้ำมันจะมากกว่าก๊าซ จึงได้ทำการศึกษแบบจำลอง คณิตศาสตร์ของปฏิกิริยาโดยนำสมการการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุกรมมาใช้ร่วมกับแบบขนานเพื่อทำนาย กลไกการสลายตัวของไม้โอ๊ค จากสมการพบว่าการไพโรไลซิสไม้โอ๊คมีแนวโน้มจะได้น้ำมันมากกว่าก๊าซ

Worasuwannarak และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษการสลายตัวและวิเคราะห์ด้วย TG-MS และ FTIR โดยได้ใช้ฟางข้าว แกลบ ชังข้าวโพด ไซแลน ลิกนิน และเซลลูโลส ผลที่ได้พบว่าจะมีการ สลายตัวส่วนใหญ่ในช่วง 250-300 องศาเซลเซียส ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมินี้สำหรับ ลิกนินจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงในขณะที่ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์น้อยกว่ามาก ส่วนเซลลูโลส และไซแลนจะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณถ่านในลิกนินจะมีสูงที่สุดทำให้ฟางข้าวและแกลบจะมี ปริมาณถ่านสูงกว่าชังข้าวโพดเนื่องจากมีลิกนินมากกว่า ส่วนปริมาณทาร์ที่ได้จากชังข้าวโพดจะมีสูง กว่าฟางข้าวและแกลบเนื่องจากมีเซลลูโลสมากกว่า และเมื่อผสมลิกนินกับเซลลูโลสจะพบว่าเมื่อปริมาณ ของเซลลูโลสน้อยจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่วนก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และทาร์จะมีปริมาณ น้อย หากเพิ่มสัดส่วนของเซลลูโลสจะทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และทาร์เพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วน

แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังไม่เปลี่ยนแปลง หากเพิ่มเซลลูโลสมากกว่า 65% เหลือลิกนินน้อยกว่า 35% ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะมีปริมาณมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนการผสมไซแลนกับเซลลูโลสพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนนอกไซด์จากมีปริมาณใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มเซลลูโลสมากขึ้นจะทำให้ก๊าซทั้งสองอย่างมีแนวโน้มลดลง ส่วนทาร์จะมีปริมาณเพิ่มสูงมากกว่าการผสมเซลลูโลสกับลิกนินมากกว่า

Otero และคณะ (2010) ได้ศึกษาการสลายตัวของกากตะกอน พบว่าค่าพลังงานกระตุ้นของกากตะกอนของเสียประมาณ 129.1 kJ/mol มุสสัตว์ 132.5 kJ/mol และขยะอินทรีย์ 159.3 kJ/mol เปรียบเทียบกับถ่านหินจะมี 49.2 kJ/mol และพลาสติก PET 165.6 kJ/mol โดยที่กากตะกอนของเสีย มุสสัตว์และขยะอินทรีย์จะสลายตัวมากที่สุดในช่วง 200-400 องศาเซลเซียส ส่วนพลาสติก PET 350-450 องศาเซลเซียส และถ่านหิน 400-600 องศาเซลเซียส

Yu และคณะ (2009) ได้สรุปว่าการสลายตัวของฟางข้าวและฟางข้าวสาลีแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกอุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียส จะเป็นการสลายตัวส่วนใหญ่ประมาณ 65-75% และจะเกิดการเผาไหม้ของสารระเหยและช่วงสุดท้ายอุณหภูมิจาก 400-900 องศาเซลเซียส จะเป็นการเผาไหม้ของสารระเหยที่เหลืออยู่และถ่าน การสลายตัวและการเผาไหม้ภายใต้ก๊าซออกซิเจนที่มีความเข้มข้นสูงการสลายตัวและการเผาไหม้จะสูงไปด้วย ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วยและพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้อุณหภูมิของจุดติดไฟในลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งเพิ่มขึ้นอุณหภูมิจุดติดไฟก็จะลดลงอีกด้วย ทำให้สลายตัวและเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าหากเทียบกับการไม่ใช้ตัวเร่ง

Haykiri-Acma and Yaman (2008) ได้นำเมล็ดต้นเรพมาทดสอบภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน เช่นก๊าซไนโตรเจน ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศแห้งและก๊าซผสมของไอน้ำและก๊าซไนโตรเจน ไอน้ำกับอากาศ ไนโตรเจนกับไอน้ำกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พลังงานกระตุ้นที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Coats -Redfern ประมาณ 21.3- 96 kJ/mol. การสลายตัวที่สูงที่สุดจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 300-360 องศาเซลเซียส พบว่า โดยอากาศจะมีอุณหภูมิต่ำสุด ส่วนปริมาณการสลายตัวภายใต้ก๊าซไนโตรเจนจะน้อยที่สุด

Gani and Naruse (2007) ได้ทำการศึกษาการสลายตัวของเซลลูโลสและลิกนินและได้สรุปว่าการสลายตัวของชีวมวลแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือการสลายตัวของสารระเหยและถ่าน ในช่วงแรกการสลายตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาจากการสลายตัวของเซลลูโลส ในช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของลิกนิน จะได้สารระเหยและถ่าน และได้ทำการศึกษาส่วนผสมของเซลลูโลสกับลิกนินที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นการสลายตัวจะลดลงและอุณหภูมิในการสลายตัวจะเพิ่มขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเปลือกไม้ ขี้เลื่อย แกลบ ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ชานอ้อยและกากปาล์ม มาทำการเปรียบเทียบการสลายตัวพบว่าชีวมวลที่มีสัดส่วนของลิกนินสูง จะมีการสลายตัวช้าและต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้นในการสลายตัวอีกด้วย

Shen และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาของชีวมวลหลายชนิด และสรุปว่าการสลายตัวด้วยความร้อนของไม้ภายใต้สภาวะอากาศ แบ่งได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกจะเป็นสารระเหยและช่วงที่สองจะเป็นการเผาไหม้ของถ่านที่เกิดจากช่วงแรก การสลายตัวในช่วงแรกจะมีการสลายตัวแบ่งได้ออกเป็นสองส่วน

คือส่วน เอมิเซลลูโลสและส่วนเซลลูโลส ไม้สนที่มีปริมาณเอมิเซลลูโลสน้อยจะมีการสลายตัวเพียงช่วงเดียว พลังงานกระตุ้นของการสลายตัวในช่วงแรกของอัตราการให้ความร้อนต่างๆ จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงที่สองการสลายตัวของถ่าน หากใช้อัตราการให้ความร้อนต่ำจะต้องใช้พลังงานกระตุ้นสูงแต่หากใช้อัตราการให้ความร้อนสูงพลังงานกระตุ้นจะต่ำกว่า และการใช้อัตราการให้ความร้อนสูงจะใช้พลังงานกระตุ้นต่ำกว่าอัตราการให้ความร้อนต่ำอีกด้วย

1.2.2 กระบวนการแกสซิฟิเคชันกับเตาชั้นวัสดุหนึ่ง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เตาปฏิกรณ์แบบชั้นวัสดุหนึ่งมีจำนวนมาก ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Chen และคณะ (2003) ได้ศึกษาวิเคราะห์ตัวแปรในการดำเนินการต่อกระบวนการไพโรไลซิสชีวมวลที่ใช้คือ ฟางข้าวและขี้เลื่อย สภาวะที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิปฏิกิริยา ช่วงเวลาของสารระเหยที่อยู่ในเตา ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและเคมีของอนุภาค อัตราความร้อนของความร้อนภายในเตาและการปรับปรุงของความร้อนและความสามารถในการถ่ายเทมวลของเตาไพโรไลซิส ผลของเตาปฏิกรณ์ที่ใช้แตกตัว ในการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้แยกส่วนของเตาปฏิกรณ์ที่ใช้แตกตัวและเตาไพโรไลซิส ซึ่งผลการทดลองอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มพบว่าก๊าซที่ได้ก่อนเพิ่มขึ้นรวมถึงเมื่อเวลาในส่วนของการระเหยที่นานขึ้นก็ทำให้ได้ก๊าซเพิ่มขึ้นเช่นกันส่วนการปรับปรุงคุณสมบัตินั้นมีผลที่ต่างกันต่อก๊าซที่ผลิตได้แต่การปรับปรุงทางกายภาพนั้นเป็นจะมีส่วนสำคัญกว่าต่อการผลิตก๊าซ ในด้านการปรับปรุงของความร้อนและความสามารถในการถ่ายเทมวลของเตาพบว่าทำให้ก๊าซที่ได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามผลของอัตราความร้อนของความร้อนภายในเตาทำให้ก๊าซที่ได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และยังพบว่าก๊าซที่ได้ไวต่อการถูกกระตุ้นของอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ที่ใช้แตกตัวและมีความไวเล็กน้อยเมื่อเป็นเตาไพโรไลซิส อุณหภูมิที่ใช้เหมาะสมในเตาปฏิกรณ์ที่ใช้แตกตัวคือ 700 องศาเซลเซียส ส่วนค่าความร้อนที่ได้มีค่าสูงขึ้น 13-15 MJ/Nm³ ส่วนรูปร่างของเตาไพโรไลซิส พบว่ารูปร่างแบบฉากจะมีประโยชน์กว่ารูปร่างแบบทรงกระบอก ส่วนตัวเร่งพบว่าให้ผลที่ดีขึ้นแม้ว่ามันจะไม่ค่อยดีเท่าไรเนื่องจากเวลาจำกัดจึงไม่ได้ใช้ในงานนี้ อย่างไรก็ตามการพิจารณาควรวิเคราะห์ผลที่นอกเหนือจากตัวแปรที่กล่าวมาด้วย

Wei และคณะ (2007) ได้ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนด้วยแกสซิฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากชีวมวลได้แก่ ชังถั่วฝักยาวและขี้เลื่อย ในการทดลองมีการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 3 ชนิด คือ หินปูน โอลีวิน และโดโลไมท์ และใช้อุณหภูมิในกระบวนการช่วง 750-850 องศาเซลเซียส ใช้อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลช่วง 0.0-1.0 กรัมต่อกรัม ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะมีส่วนของแก๊ส ทาร์ และชาร์ สำหรับส่วนที่เป็นแก๊สจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี จากผลการทดลองสำหรับชังถั่วฝักยาวและขี้เลื่อย พบว่า เมื่ออุณหภูมิในกระบวนการและอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล มีค่าเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์แก๊สรวมและไฮโดรเจนจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของทาร์กับชาร์จะมีค่าลดลง โดยอุณหภูมิในกระบวนการ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลเป็น 0.6 และใช้โดโลไมท์เป็นตัวเร่งในเครื่องปฏิกรณ์ จะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สรวมและไฮโดรเจนมากที่สุด

Lv และคณะ (2007) ได้ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการแกสซิฟิเคชันโดยใช้
อากาศ และออกซิเจนต่อไอน้ำในเตาปฏิกรณ์แบบไหลลง ชีวมวลที่ใช้คือเศษไม้สน อัตราส่วนสมมูลใช้ที่
ค่า 0.25 โดยการทดลองนี้ใช้อากาศและออกซิเจนต่อไอน้ำเป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา ซึ่งการทดลอง
จะเปรียบเทียบกระบวนการแกสซิฟิเคชันโดยใช้อากาศเทียบกับการใช้ออกซิเจนต่อไอน้ำ จากการศึกษา
พบว่า ค่าความร้อนมีค่ามากที่สุดคือ 11.11 MJ/Nm^3 สำหรับกระบวนการที่ใช้ออกซิเจนต่อไอน้ำ
นอกเหนือจากช่วงที่ดำเนินการพบว่าไฮโดรเจนเพิ่มมากที่สุดเท่ากับ $45.16 \text{ g H}_2/\text{kg}$ ของชีวมวล สำหรับ
กระบวนการที่ใช้ออกซิเจนต่อไอน้ำพบว่ามีปริมาณ H_2 และ CO เพิ่มขึ้น $63.27\text{-}72.56\%$ และหากใช้
อากาศพบว่า ปริมาณ H_2 และ CO เพิ่มขึ้น $52.19\text{-}63.31\%$ และถ้าเทียบอัตราส่วนปริมาณ H_2/CO
พบว่าถ้าใช้ออกซิเจนต่อไอน้ำ อัตราส่วน H_2/CO เพิ่มขึ้น $0.70\text{-}0.90$ ซึ่งถ้าใช้อากาศอัตราส่วน H_2/CO จะ
อยู่ที่ $1.06\text{-}1.27$ ผลของการเปรียบเทียบก็พิสูจน์ได้ว่ากระบวนการแกสซิฟิเคชันโดยใช้ออกซิเจนต่อไอน้ำ
มีประสิทธิภาพแต่ก๊าซที่ได้ก็จะได้อำพลงานต่ำ

Kantarelis และ Zabaniotou (2009) ได้ศึกษากระบวนการ valorization ของลำต้นฝ้ายโดยใช้
เกิดไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วในเตาแบบหยดนิ่งด้วยกระบวนการแกสซิฟิเคชันเพื่อผลิตก๊าซสังเคราะห์
โดยการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำลำต้นของฝ้ายมาผลิตไฮโดรเจนและแก๊สสังเคราะห์กับ
ความสัมพันธ์ต่อการลด CO_2 โดยใช้กระบวนการไพโรไลซิสและแกสซิฟิเคชันในการวิเคราะห์ โดย
ปฏิกิริยาไพโรไลซิสจะเกิดที่ $400\text{-}760$ องศาเซลเซียส และศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการ
กระจายของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการไพโรไลซิส สภาวะในการทดสอบใช้ ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ
ใช้ช่วง $750\text{-}950$ องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ผลิตก๊าซได้ดีขึ้นในทั้งสอง
กระบวนการ ส่วนแก๊สสังเคราะห์ (CO และ H_2) จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิขณะที่ CO_2 จะให้ผลตรงกันข้าม
โดยพบว่ากระบวนการไพโรไลซิสได้ไฮโดรเจนสูงๆได้ประมาณ $39\% \text{ v/v}$ และที่กระบวนการเดียวกันนี้
จำนวนของ CO_2 ลดลงคล้ายกับกระบวนการแกสซิฟิเคชัน

Bhattacharya และคณะ (1999) ศึกษากระบวนการแกสซิฟิเคชันของไม้สำหรับการผลิตแก๊สที่มี
คาร์บอนน้อย โดยงานวิจัยได้เสนอวิธีการศึกษากระบวนการแกสซิฟิเคชันของไม้และพยายามลดปริมาณคาร์บอนใน
แก๊ส โดยพบว่าความชื้นในเศษไม้จะทำให้ CO_2 และ H_2 เพิ่มขึ้นแต่ทำให้ CO ลดลง โดยไม่มีผลต่อ
ปริมาณคาร์บอนในแก๊สที่ผลิตได้ สำหรับอัตราการป้อนอากาศครั้งแรก พบว่าการเพิ่มอากาศเข้าไปครั้งที่สอง
ของเตาแบบแบบ two-stage ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอน CO_2 และ H_2 ลดลงขณะที่ CO เพิ่มขึ้น ส่วนเตา
สำหรับถ่านชาร์และระบบถังเก็บแก๊สแบบลอยจะเชื่อมติดกับเตาแบบ two-stage โดยพบว่าสำหรับเตา
สำหรับถ่านชาร์ปริมาณคาร์บอนในแก๊สที่ผลิตได้อยู่ในช่วง $19\text{-}34 \text{ mg/Nm}^3$ ส่วนระบบถังเก็บแก๊สแบบลอยและ
รักษาเวลาในการเก็บไว้ 3.5 ชั่วโมง พบว่าปริมาณคาร์บอนลดลงถึง 9.24 mg/Nm^3 ซึ่ง 85% ต่ำกว่าที่ได้จาก
การใช้เตาแบบ two-stage อย่างเดียว

Midilli และคณะ (2001) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฮโดรเจนจากเปลือกถั่วโดยใช้
กระบวนการแกสซิฟิเคชันแบบ downdraft โดยใช้อากาศ โดยระหว่างการดำเนินการช่วงอุณหภูมิของ
เตาและความดันตกคร่อมถูกบันทึกเข้าเครื่องและแปลงเป็นสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์ทุกๆ 15 วินาที
ตัวแปรต่างๆ เช่นอัตราการไหลของแก๊สที่ผลิตได้ แก๊สที่เผาไหม้ได้ แก๊สไฮโดรเจนและเปอร์เซ็นต์ของ

แก๊สไฮโดรเจนในแก๊สผลิตภัณฑ์ ถูกกำหนดและแสดงไว้ในงานนี้แล้ว จากการศึกษาพบว่าแก๊สไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในช่วงออกซิเดชัน ส่วนอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงนั้นพบว่ามีผลต่ออุณหภูมิในช่วงการเกิดออกซิเดชันและไฮโดรเจนที่ผลิตได้ด้วย ซึ่งหากอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิในช่วงการเกิดออกซิเดชันและไฮโดรเจนที่ผลิตได้ลดลง โดยไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการมีค่า 2.4 kg/h ซึ่งปกติการผลิตไฮโดรเจนอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจะอยู่ระหว่าง 1.44 - 1.52 m³/kg ส่วนแก๊สที่ผลิตได้จากเปลือกก้อนนั้น พบว่าสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นแก๊สไฮโดรเจนได้ด้วยการบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบ downdraft และพบว่าเปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนที่ได้มีค่ามากกว่าแก๊สที่เผาไหม้ได้ถึง 2 เท่า

De Bari และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาระบวนการแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้อากาศในเตาปฏิกรณ์แบบหยดหนึ่ง โดยเปรียบเทียบผลการศึกษาของการกระจายตัวของสารอินทรีย์ (ทาร์) และสารอินทรีย์ (แอมโมเนีย ไฮโดรเจนไซนาไนต์) ที่ผลิตได้ ซึ่งงานวิจัยจะใช้ชีวมวลเป็นเปลือกอัลมอลและไม้ ทำที่อุณหภูมิสูง (850 องศาเซลเซียส) ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของชีวมวลที่จะป้อนและผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งพบว่าองค์ประกอบของชีวมวลที่ต่างกันมีความสำคัญบางส่วนต่อตัวแปรของกระบวนการ เช่นอัตราการเกิดแก๊สซิฟิเคชัน ปริมาณทาร์ และชาร์ที่ได้ในแก๊สเชื้อเพลิง เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ที่พบระหว่างจำนวนของอะลูมินาและหมู่ไซนาไนต์ ในแก๊สเชื้อเพลิงที่สภาวะดำเนินการของเตาปฏิกรณ์ โดยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโลหะของชีวมวลพบว่าในไม้จะมีปริมาณแคลเซียมมากกว่าในเปลือกอัลมอลแต่จะมีโพแทสเซียมต่ำกว่าในเปลือกอัลมอล โดยบทบาทนี้น้อยที่สุดซึ่งอาจจะส่งเสริมให้แคลเซียมเกิดแก๊สซิฟิเคชันขึ้นคือ การสลายตัวของอะลูมินา เหนียวทำให้เกิดการแตกตัวทาร์ และเมื่อวิเคราะห์อีกพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของลิทินและซิลินต่ำกว่าในเปลือกอัลมอล ซึ่งเปอร์เซ็นต์ลิทินที่ต่างกันชีวมวลแต่ละชนิดเป็นผลสะท้อนในความเข้มข้นของฟีนอลที่ต่างกัน แก๊สเชื้อเพลิงและอัตราการเกิดแก๊สซิฟิเคชันที่ต่างกัน ส่วนเปอร์เซ็นต์ซิลินในเปลือกอัลมอลที่มีมากกว่านั้นพบว่าเกี่ยวกับปริมาณกรดอะซิติกที่มีสูงมากในแก๊สเชื้อเพลิง

Skoulou และคณะ (2008) ได้ศึกษาการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากกิ่งและลำต้นของต้นมะกอกโดยใช้เตาเบดนิ่งแบบดาวนด์ราฟท์ อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วง 750-950 องศาเซลเซียส พบว่าแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สมีเทน อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 950 องศาเซลเซียสและปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของเตาแต่จะทำให้ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน สารไฮโดรคาร์บอนมวลเบาและทาร์จะลดลง นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณอากาศจะทำให้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์ และค่าความร้อนลดลง เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันระหว่างกิ่งและลำต้นของต้นมะกอกนั้นพบว่า แก๊สสังเคราะห์จากกิ่งต้นมะกอกที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ที่ อัตราส่วนสมมูลอากาศเท่ากับ 0.42 มีค่าความร้อน 9.41 MJ/Nm³ สูงกว่าค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ที่ได้จากลำต้นที่มีค่าความร้อน 8.60 MJ/Nm³ แต่ปริมาณชาร์ที่ได้จากการทำแก๊สซิฟิเคชันลำต้นมะกอกมีปริมาณสูงกว่ากิ่งมะกอก โดยเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงที่จะมีค่า 16.39% โดยน้ำหนัก

Dogru และคณะ (2002) ได้ศึกษาศักยภาพของการทำแกสซิฟิเคชันของเปลือกฮาเซลนัทโดยใช้เตาแบบดาวนัตรฟท์ พบว่าสภาวะการปฏิบัติการที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่เหมาะสมคือ $1.46 \text{ N m}^3/\text{kg}$ การป้อนสารตั้งต้น 4.02 kg/h จะได้แกสผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความร้อนประมาณ 5.15 MJ/m^3 ปริมาณถ่านชาร์ ประมาณ 0.201 kg/h ปริมาณน้ำมันดิน 0.023 kg/h และมีอัตราการไหลของแกสผลิตภัณฑ์ $8-9 \text{ Nm}^3/\text{h}$ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการศึกษา คือ $1,015$ องศาเซลเซียส แกสผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยแกสไฮโดรเจน แกสคาร์บอนมอนอกไซด์ แกสมีเทน แกสอะเซทิลีน และแกสอีเทน ประมาณ $24.8-36.23\%$ จากการศึกษาการทำแกสซิฟิเคชันของเปลือกฮาเซลนัททำให้ทราบว่าแกสผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีและเกิดมลพิษน้อย และแกสที่ได้สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์จรวดได้

Na และคณะ (2003) ได้ศึกษาการทำแกสซิฟิเคชันจากขยะที่เผาไหม้ได้ร่วมกับพลาสติกและวัสดุที่เป็นเซลลูโลส ขยะจะถูกทำให้แตกเป็นชิ้นๆ ขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตร และต้องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อน โดยใช้อุณหภูมิระหว่าง $1,100-1,450$ องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณแกสไฮโดรเจนอยู่ระหว่าง $30-40\%$ ปริมาณแกสคาร์บอนมอนอกไซด์ $15-30\%$ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของออกซิเจนและขยะที่ใช้ การทำแกสซิฟิเคชันขยะจะมีเรื่องของคุณสมบัติทางความร้อนของพลาสติกที่นำมาเกี่ยวข้องด้วย นอกจากนี้การเปลี่ยนอัตราการป้อนสารตั้งต้นจะส่งผลให้อุณหภูมิ และองค์ประกอบของแกสสังเคราะห์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปด้วย ปริมาณแกสสังเคราะห์ที่ได้ประมาณ $1-1.8 \text{ nl/g}$ โดยน้ำหนักขยะ เมื่ออัตราส่วนของแกสออกซิเจนต่อขยะอยู่ระหว่าง $0.4-0.5$ ค่าความร้อนของแกสผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ระหว่าง $2,800-3,200 \text{ kcal/Nm}^3$ การเพิ่มความสูงของเตาจะทำให้แกสไฮโดรเจน แกสมีเทน และแกสคาร์บอนมอนอกไซด์มีความเข้มข้นมากขึ้นแต่ความสูงของเตาไม่ควรเกิน 700 มิลลิเมตร

1.2.3 กระบวนการแกสซิฟิเคชันกับเตาชั้นของไหล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิโดไรซ์เบด มีจำนวนมาก ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Weerachanchai และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่มีผลต่อกระบวนการแกสซิฟิเคชันของเชื้อเพลิงไม้ในเตาปฏิกรณ์แบบ BFB โดยทำการศึกษาดัวแปรที่มีผล คือ ชนิดของเบดที่ใช้ คือ Silica sand, calcine limestone, calcine waste concrete, mixture of calcine limestone and calcine waste concrete อุณหภูมิของกระบวนการ 650 และ 750 องศาเซลเซียส และตัวกลางในการทำปฏิกิริยาใช้ในไฮโดรเจนบริสุทธิ์และไอน้ำ จากการทดลอง พบว่า เมื่อใช้ calcine limestone เป็นเบดปริมาณก๊าซรวมที่ผลิตได้นั้นจะมีค่ามากที่สุดโดยจะได้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก เมื่ออุณหภูมิของกระบวนการเพิ่มจาก 650 เป็น 750 องศาเซลเซียส ก๊าซทั้งหมดที่ได้ก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนต่ำก็มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ $23.14-29.05$ เปอร์เซนต์และปริมาณทาร์ก็ลดลงประมาณ $5.59-13.04$ เปอร์เซนต์ สำหรับตัวกลางในการทำปฏิกิริยา พบว่า เมื่อใช้ไอน้ำปริมาณก๊าซที่ได้จะมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับที่ใช้ในไฮโดรเจนบริสุทธิ์ และเมื่อทำการเปรียบเทียบเบด calcine limestone, calcine waste concrete, mixture of calcine limestone and calcine waste concrete โดยใช้ตัวกลางเป็นไอน้ำ

อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส พบว่า ก๊าซรวมที่ได้จาก mixture of calcine limestone and calcine waste concrete นั้นจะมีปริมาณมากที่สุดและค่าความร้อนต่ำที่สุดถึง 75.88 เปอร์เซ็นต์

Franco และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาที่มีผลต่อกระบวนการแกสซิฟิเคชันโดยใช้ไอน้ำในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไธซ์เบด โดยตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิของกระบวนการช่วง 700-900 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างไอน้ำต่อชีวมวล 0.4-0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และชีวมวลที่ใช้มี 3 ชนิด คือ สน ไม้โอ๊กและยูคาลิปตัส จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิ 830 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างไอน้ำต่อชีวมวล 0.6-0.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้ร้อยละผลผลิตของก๊าซ องค์ประกอบของก๊าซ ค่าความร้อน และการเปลี่ยนคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าปฏิกิริยา

Garcia และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาแกสซิฟิเคชันด้วยไอน้ำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของซีลีเนียมในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไธซ์เบด ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำหนักของตัวเร่งต่ออัตราการไหลของชีวมวล และอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซและองค์ประกอบของก๊าซที่ผลิตได้ โดยตัวแปรที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้ อัตราส่วนน้ำหนักของตัวเร่งต่ออัตราการไหลของชีวมวลเปลี่ยนแปลงช่วง 0-0.87 ชั่วโมง และอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล ช่วง 0.49-2.74 จากผลการทดลอง พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยทำให้ปริมาณไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ขณะที่มีเทนและอีเทน อีทีนและอีโท มีปริมาณลดลง ซึ่งเมื่ออัตราส่วนน้ำหนักของตัวเร่งต่ออัตราการไหลของชีวมวลเพิ่มขึ้นก็จะมีผลเหมือนกัน ส่วนอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล พบว่า เมื่ออัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์และมีเทนจะมีค่าลดลง

Turn และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจนจากชีวมวล คือ ซีลีเนียมด้วยแกสซิฟิเคชันโดยใช้แก๊สฟายแบบฟลูอิดไธซ์เบด และได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการทดลองคือ อุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ 750-950 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของไอน้ำต่อชีวมวล 0-0.37 และอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง 1.1-4.7 โดยก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปทำการวัดปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซโดยใช้ก๊าซโครมาโทกราฟี เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณไฮโดรเจน จากผลการทดลอง พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการทดลองเท่ากับ 850 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของไอน้ำต่อชีวมวลเป็น 1.7 และอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเป็น 1.0 จะได้ผลิตภัณฑ์ก๊าซรวมและผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจนสูงสุดซึ่งมีปริมาณ 128 กรัมไฮโดรเจนต่อกิโลกรัมของชีวมวล

Chen และคณะ (2008) ได้ศึกษาอิทธิพลของสภาวะในการดำเนินการและตัวเร่งปฏิกิริยาต่อกระบวนการแกสซิฟิเคชันชีวมวลในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไธซ์เบด ตัวแปรที่สนใจประกอบด้วย เชื้อเพลิงที่ต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ซีลีเนียม เปลือกถั่วลิสงและฟางข้าว อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ช่วง 750-850 องศาเซลเซียส อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงช่วง 0.15-0.35 ตัวเร่งที่ใช้มี 3 ชนิด คือ โดโลไมท์ แมกนีไซต์และโอโลวิน จากการศึกษา พบว่า ก๊าซที่ได้จากซีลีเนียมนั้นจะให้ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์มากที่สุดแต่ก็มีปริมาณคาร์บอนมากเช่นกัน ส่วนอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์นั้นพบว่ามีผลอย่างมากต่อกระบวนการผลิตก๊าซ โดยเมื่ออุณหภูมิเตาปฏิกรณ์เพิ่มขึ้นปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์และร้อยละผลผลิตของก๊าซผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น ปริมาณคาร์บอนลดลง รวมถึงคุณภาพของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น ซึ่งก็คล้ายกันเมื่ออัตราส่วนอากาศ

ต่อเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เดิมไปนั้นก็ช่วยลดปริมาณทาร์ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณ 48.1 ถึง 70.5 เปอร์เซ็นต์

Miccio และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาระบวนการแกสซิฟเคชันชีวมวลในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไธด์เบด ชีวมวลที่ใช้คือ ไม้อัดเม็ด สภาวะที่ใช้ในการทดลองคงที่ในทุกๆการทดสอบ คือ ความดัน 101 กิโลปาสกาล อุณหภูมิของหอตดลอง 780 องศาเซลเซียส ความเร็วในการเกิดฟลูอิดเซชัน 0.3 เมตรต่อวินาที อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 0.17 และอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล 0.65 ความสูงของเบด ในช่วง 0.18 ถึง 0.30 เมตร ในการศึกษาจะใช้ตัวเร่งที่ต่างกัน 3 ชนิดคือ ควอร์ช โอลีวิน โดโลไมท์และ นิกเกิล-อลูมินา จากการทดสอบเมื่อใช้ ควอร์ช เป็นตัวอ้างอิง พบว่า ตัวเร่งที่ต่างกัน มีผลต่อความเข้มข้นของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้ รวมทั้งประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงทาร์ด้วย โดยนิกเกิล-อลูมินา จะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มร้อยละผลผลิตของก๊าซไฮโดรเจนได้มากที่สุดและยังลดปริมาณทาร์ได้มากที่สุด ส่วนโอลีวินนั้นปริมาณก๊าซไฮโดรเจนจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอ้างอิงรวมถึงการเปลี่ยนแปลงทาร์ด้วย

Gil และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาผลของตัวกลางในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการผลิตก๊าซสังเคราะห์ที่ได้จากกระบวนการแกสซิฟเคชันในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไธด์เบดแบบลอย ชีวมวลที่ใช้คือ เศษไม้สนขนาดเล็ก อุณหภูมิที่ให้กับตัวกลางแต่ละชนิดดังนี้ อุณหภูมิ 750-780 องศาเซลเซียส (ไอน้ำ) และอุณหภูมิ 780-830 องศาเซลเซียส (สำหรับอากาศหรือไอน้ำผสมอากาศ) อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 0.18-0.45 (สำหรับอากาศ) 0 (สำหรับไอน้ำ) 0.24-0.51 (สำหรับไอน้ำผสมอากาศ) อัตราส่วนระหว่างไอน้ำต่อชีวมวล 0.08-0.66 (สำหรับอากาศ) 0.53-1.10 (สำหรับไอน้ำ) 0.48-1.11 (สำหรับไอน้ำผสมอากาศ) จากผลการทดลอง หากพิจารณาก๊าซที่ได้เป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก พบว่า การใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยาจะให้ก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณมากที่สุด แต่การใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางก็จะทำให้ได้ ปริมาณทาร์และร้อยละผลผลิตของทาร์ทั้งหมดมากที่สุดด้วย และเมื่อพิจารณาร้อยละผลผลิตของก๊าซทั้งหมด พบว่า การใช้ อากาศจะทำให้ได้ ร้อยละผลผลิตของก๊าซทั้งหมดมากที่สุดแต่การใช้ไอน้ำก็ถือว่าไม่แตกต่างกันมากนัก

Lv และคณะ (2003) ได้ออกแบบการทดลอง โดยใช้ ไอน้ำผสมอากาศในกระบวนการแกสซิฟเคชันภายในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไธด์เบด เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อ องค์ประกอบของก๊าซผลิตภัณฑ์ ร้อยละผลผลิตของก๊าซผลิตภัณฑ์ ค่าความร้อนของก๊าซผลิตภัณฑ์ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงคาร์บอน และการสลายตัวของไอน้ำ ชีวมวลที่ใช้คือขี้เลื่อยของสน ตัวแปรที่ทำการศึกษามี อุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์ช่วง 700-900 องศาเซลเซียส อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงช่วง 0.19-0.27 อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล 0-4.04 และขนาดอนุภาคชีวมวลช่วง 0.6-0.9 0.45-0.6 0.3-0.45 และ 0.2-0.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า เมื่ออุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์สูงขึ้น ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ ร้อยละผลผลิตของก๊าซผลิตภัณฑ์ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงคาร์บอน และการสลายตัวของไอน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์จะมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส สำหรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงค่าที่เหมาะสมคือ 0.23 ส่วนอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลค่าที่เหมาะสมคือ 1.35 และอนุภาคขนาดเล็กๆ จะทำให้ปัจจัยต่างๆเพิ่มขึ้น

Wei และคณะ (2007) ได้ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนด้วยแกสซิฟเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากชีวมวลได้แก่ ชังถั่วฝักยาวและซีลี้อยู่ ในการทดลองมีการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 3 ชนิด คือ หินปูน โอลิวิน และโดโลไมท์ และใช้อุณหภูมิในกระบวนการช่วง 750-850 องศาเซลเซียส ใช้อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลช่วง 0.0-1.0 กรัมต่อกรัม ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะมีส่วนของก๊าซ ทาร์ และชาร์ สำหรับส่วนที่เป็นก๊าซจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี จากผลการทดลอง สำหรับ ชังถั่วฝักยาวและซีลี้อยู่ พบว่า เมื่ออุณหภูมิในกระบวนการและอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล มีค่าเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ก๊าซรวมและไฮโดรเจนจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของทาร์กับชาร์จะมีค่าลดลง โดยอุณหภูมิในกระบวนการ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลเป็น 0.6 และใช้โดโลไมท์เป็นตัวเร่งในเครื่องปฏิกรณ์ จะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ก๊าซรวมและไฮโดรเจนมากที่สุด

Chaudhari และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษากระบวนการแกสซิฟเคชันโดยใช้ไอน้ำของชาร์ที่ได้จากชีวมวล เพื่อทำการผลิตก๊าซสังเคราะห์โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไธด์เบด ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 650-800 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนไอน้ำที่ 2.5-1.5 กรัมต่อชั่วโมงต่อกรัมของทาร์ เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 0.5-2 ชั่วโมง พบว่า ที่อัตราการป้อนไอน้ำต่ำ (ประมาณ 2.5 กรัมต่อชั่วโมงต่อกรัมของทาร์) และอุณหภูมิต่ำประมาณ 700 องศาเซลเซียส จะผลิตก๊าซสังเคราะห์ที่มีอัตราการป้อนไอน้ำสูงประมาณ 10 กรัมต่อชั่วโมงต่อกรัมของชาร์ และอุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส จะทำให้ก๊าซสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอนมอนอกไซด์สูงมากประมาณ 5-6 ซึ่งสภาวะนี้เหมาะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของชาร์ที่ได้จากชีวมวลผลิตก๊าซได้ถึง 350 ลิตรต่อ 100 กรัมของชาร์ที่ได้จากชีวมวล

Panigrahi และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซสังเคราะห์จากกระบวนการแกสซิฟเคชันของน้ำมันที่ได้จากชีวมวล ในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง สภาวะที่ทำการศึกษประกอบด้วย ตัวกลางในการทำปฏิกิริยา 3 ชนิด คือ ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนแปลงช่วง 0-18 มิลลิลิตรต่อนาที่ และน้ำ เปลี่ยนแปลงช่วง 2-10 กรัมต่อชั่วโมง ส่วนไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงช่วง 12-30 มิลลิลิตรต่อนาที่ อุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์คงที่เท่ากับ 800 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนน้ำมันที่ได้จากชีวมวล คงที่เท่ากับ 5 กรัมต่อชั่วโมง จากการทดลอง พบว่า เมื่อใช้น้ำในกระบวนการแกสซิฟเคชัน จะทำให้ก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตได้ มีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดโดยเพิ่มขึ้นจาก 75-80 เปอร์เซ็นต์โดยโมล และมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันที่ได้จากชีวมวล เพิ่มขึ้น 67 ถึง 81 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

Rapagna และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและขนาดอนุภาคที่มีผลต่อร้อยละผลผลิตและการกระจาย โดยแกสซิฟเคชันของเปลือกอัลมอนต์โดยใช้ไอน้ำในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไธด์เบด ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ช่วง 600-800 องศาเซลเซียส และขนาดอนุภาคเปลี่ยนแปลงช่วง 0.3-1.0 มิลลิเมตร จากการทดลอง พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจนได้เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของก๊าซผลิตภัณฑ์ โดยจะมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ส่วนขนาดอนุภาคขนาดเล็กนั้นจะทำให้ร้อยละผลผลิตของก๊าซทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังทำให้เกิดทาร์ลดน้อยลงด้วย

1.3 วัตถุประสงค์

เป้าหมายหลัก

- ✓ เพื่อการพัฒนาเทคโนโลยี กระบวนการ และ อุปกรณ์สำหรับการผลิตพลังงานและเชื้อเพลิงจากชีวมวล

โดยมีวัตถุประสงค์ของโครงการ คือ

- ✓ เพื่อออกแบบ สร้าง ทดสอบ และ พัฒนาระบบชุดทดลองการผลิตพลังงานและเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดไดซ์เบดระดับห้องปฏิบัติการ สำหรับการวิจัยและพัฒนา
- ✓ เพื่อศึกษาสภาวะและปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพลังงานและเชื้อเพลิงที่ต้องการจากการแปลงสภาพเชิงเคมีความร้อนของชีวมวลที่มีศักยภาพในประเทศ และการทำงานของระบบ