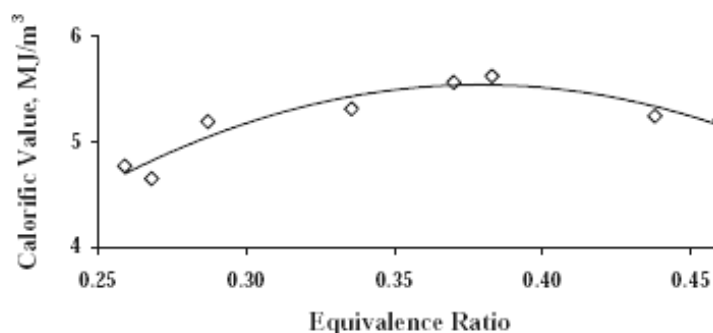


บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

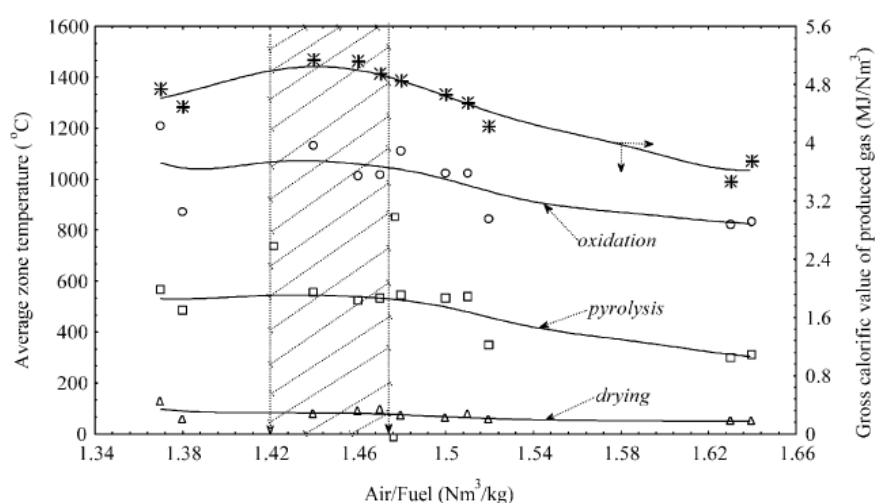
ในสถานการณ์ปัจจุบัน แหล่งพลังงานที่ใช้อยู่ได้ลดปริมาณลง จึงต้องมีการหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนพลังงานที่กำลังจะหมดไป กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการแปรรูปเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นเชื้อเพลิงก๊าซ เพื่อนำไปใช้ในรูปแบบต่างๆ การทดลองศึกษากระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลจึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นและมีการศึกษา ออกแบบและปรับปรุง รวมไปถึงการเพิ่มประสิทธิภาพอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน งานวิจัยเหล่านี้ได้แก่

Zainal [1] ศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเศษไม้จากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และเศษไม้ทั่วไป โดยใช้เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงและนำก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยทำการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนผสมที่มีผลต่อองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง ค่าความร้อน และ สมรรถนะของระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมนั้น จะมีผลต่อองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง และ ประสิทธิภาพของเตา โดยองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยประกอบด้วย O_2 1.69%, N_2 43.62%, H_2 24.04%, CO 14.05%, CO_2 14.66% และ CH_4 2.02% โดยมีค่าความร้อนทางสูงสูงที่สุด 5.62 MJ/Nm^3 ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 0.38 ดังแสดงในรูปที่ 2.1



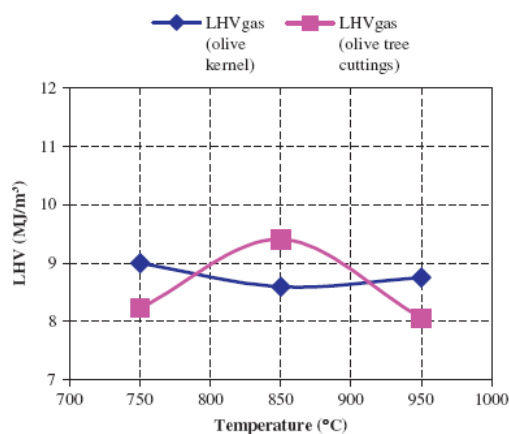
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนทางสูงของก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง [1]

Dogru [2] ศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเปลือกถั่วฮาเซล (Hazelnut shell) โดยใช้เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงขนาด 5 kW โดยเตามีความสูง 81 cm เส้นผ่านศูนย์กลางกลางเตา 45 cm ทดลองโดยใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงระหว่าง 1.7 - 5.5 kg/hr ทำการทดลองเพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงระหว่าง 1.44 - 1.47 Nm³/kg และมีอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงระหว่าง 4.06 - 4.48 kg/hr ส่วนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะมีค่าความร้อนทางสูงประมาณ 5 MJ/Nm³ และมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรระหว่าง 8 - 9 Nm³/hr ดังแสดงในรูปที่ 4.2

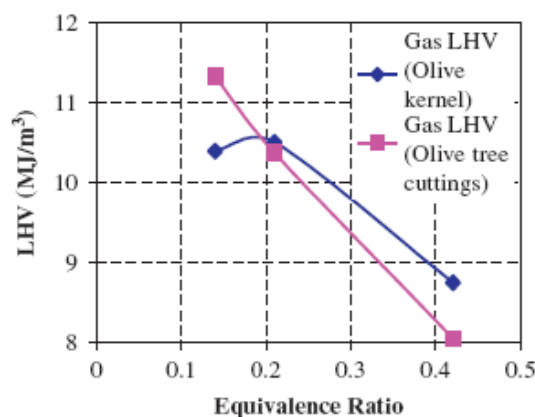


รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนทางสูงของก๊าซเชื้อเพลิงและอุณหภูมิภายในเตาที่ตำแหน่งโซนต่างๆ เปรียบเทียบกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่างๆ [2]

Skoulou และคณะ [3] ศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเศษไม้ของต้นโอลิฟและเมล็ดผลโอลิฟด้วยเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงและอิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล จากการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในเตาตั้งแต่ 750 - 950 °C โดยการทดลองได้กำหนดอัตราส่วนสมมูลลงที่ 0.42 พบว่าที่อุณหภูมิ 850 °C ก๊าซเชื้อเพลิงจากเศษไม้ของต้นโอลิฟมีค่าความร้อนทางต่ำมากที่สุดคือ 9.41 MJ/Nm³ และที่อุณหภูมิ 950 °C ก๊าซเชื้อเพลิงจากเมล็ดผลโอลิฟมีค่าความร้อนทางต่ำมากที่สุดคือ 8.60 MJ/Nm³ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และสำหรับการทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนสมมูลตั้งแต่ 0.14 - 0.42 โดยกำหนดอุณหภูมิทดลองคงที่คือ 950 °C พบว่าที่อัตราส่วนสมมูล 0.14 ก๊าซเชื้อเพลิงซึ่งผลิตจากเศษไม้ของต้นโอลิฟมีค่าความร้อนทางต่ำมากที่สุดคือ 11.33 MJ/Nm³ และที่อัตราส่วนสมมูล 0.21 ก๊าซเชื้อเพลิงจากเมล็ดผลโอลิฟจะมีค่าความร้อนทางต่ำมากที่สุดคือ 10.40 MJ/Nm³ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



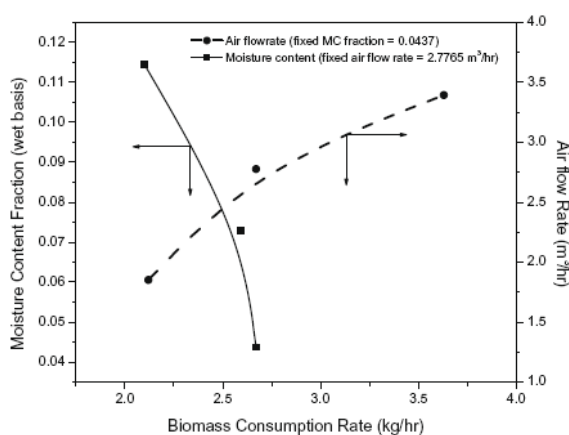
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนทางต่ำของก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง [3]



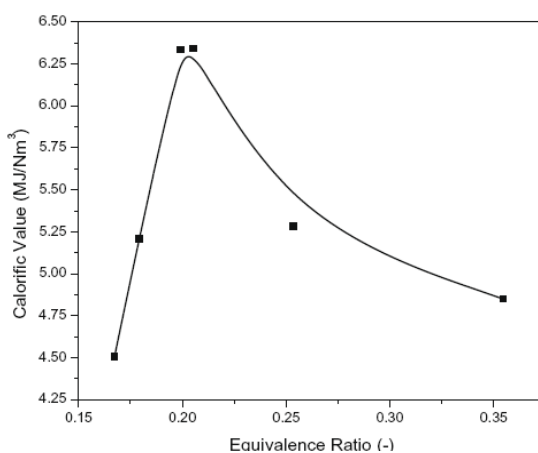
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนทางต่ำของก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราส่วนสมมูลที่ใช้ในการทดลอง [3]

Garcia-Bacaicoa และคณะ [4] ศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากไม้และพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูงผสมกัน โดยขนาดของไม้ที่ใช้ทดลองคือ 40 x 40 x 50 mm และขนาดของพลาสติกคือ 5 x 2 x 2 mm ทดลองโดยใช้เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.44 m สูง 2 m และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องสำหรับให้ก๊าซไหลผ่านภายในเตา (Throat diameter) 0.35 m โดยทำการป้อนเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง การศึกษานี้พบว่าพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูงมีผลต่ออุณหภูมิในโซนการเผาไหม้ต่างๆในเตา สภาวะที่สามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ค่าความร้อนสูงที่สุดคือ อัตราการป้อนของเชื้อเพลิง 30.9 kg/h โดยเชื้อเพลิงที่ใช้คือไม้ผสมพลาสติก 17.4% ของน้ำหนักไม้ และใช้อัตราการป้อนอากาศ 52.5 Nm³/h ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีองค์ประกอบของ H₂ 14.6%, O₂ 0.6%, N₂ 50.8%, CH₄ 3.0%, CO 22.5% และ CO₂ 7.3% ค่าความร้อนทางต่ำของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้คือ 6.9 MJ/Nm³

Sheth และคณะ [5] ศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเศษไม้อุตสาหกรรมฟอร์นิเจอร์โดยใช้เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเตา 31 cm สูง 1.1 m ขนาดของเศษไม้ที่นำมาทดลองมีขนาด 25.4 x 25.4 x 25.4 mm ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนสมมูลที่ 0.15 - 0.35 จากการทดลองพบว่าความชื้นภายในเชื้อเพลิงมีผลต่ออัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยอัตราการเผาไหม้มีอัตราลดลงเมื่อเพิ่มความชื้นในเชื้อเพลิง และอัตราการป้อนอากาศมีผลต่ออัตราการเผาไหม้เช่นกัน โดยอัตราการเผาไหม้มีอัตราเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอากาศ อุณหภูมิภายในเตาบริเวณโซนเผาไหม้เท่ากับ 900 – 1,050 °C และอุณหภูมิในโซนไฟไลซิส 260 – 550 °C จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนสมมูล 0.205 ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนทางสูงมากที่สุดคือ 6.34 MJ/Nm³ และประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเท่ากับ 56.87% ดังแสดงในรูป 2.5 และ 2.6

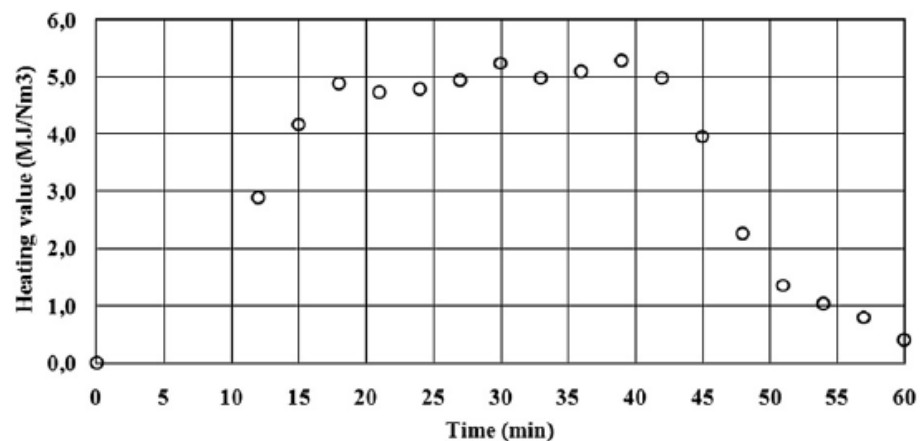


รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในเชื้อเพลิงและอัตราป้อนอากาศเปรียบเทียบกับอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง [5]

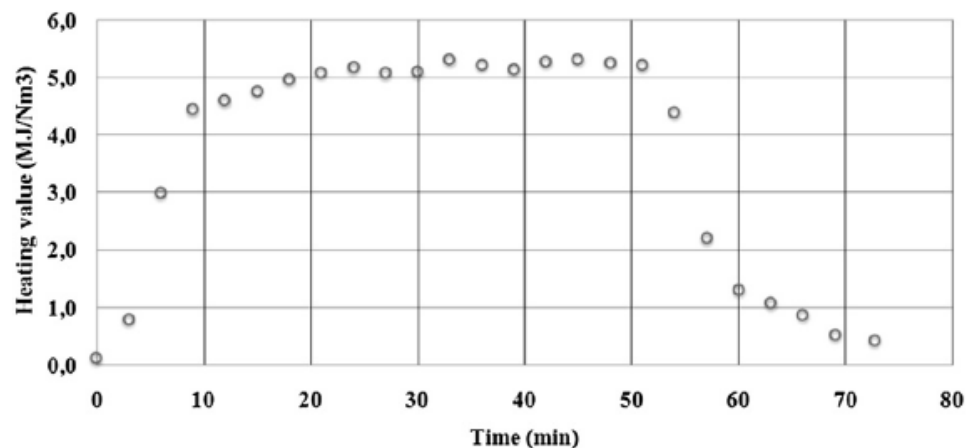


รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนทางสูงของก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราส่วนสมมูลที่ใช้ในการทดลอง [5]

Olgun และคณะ [6] ศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเศษไม้และเปลือกถั่วฮาเซลโดยเศษไม้ที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 10 - 30 mm และเปลือกถั่วฮาเซลมีขนาด 5 - 10 mm โดยใช้เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเตา 30 cm สูง 1.1 m ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนสมมูลระหว่าง 0.15 - 0.55 อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 10 kg ต่อครั้ง จากการทดลองพบว่า จุดที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงคือที่อัตราส่วนสมมูล 0.35 สำหรับทั้งเศษไม้และเปลือกถั่วฮาเซล โดยเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนทางสูง 5.5 MJ/Nm^3 เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8

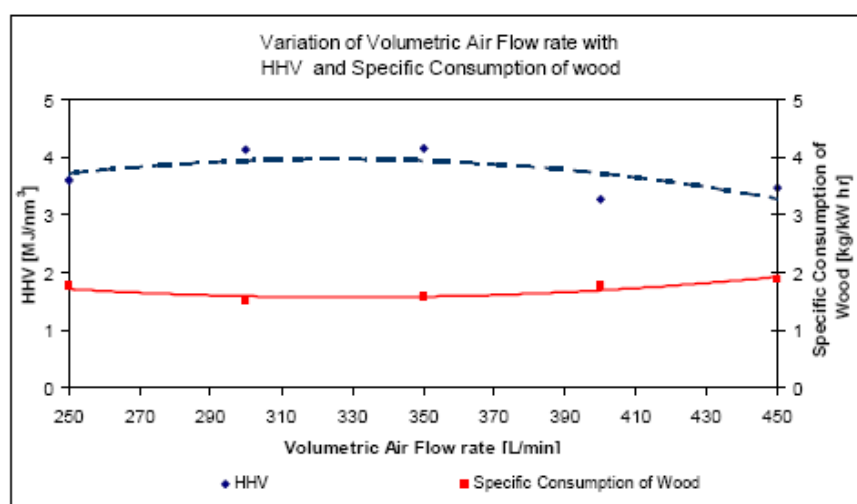


รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนทางสูงของก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง สำหรับเชื้อเพลิงเศษไม้ [6]

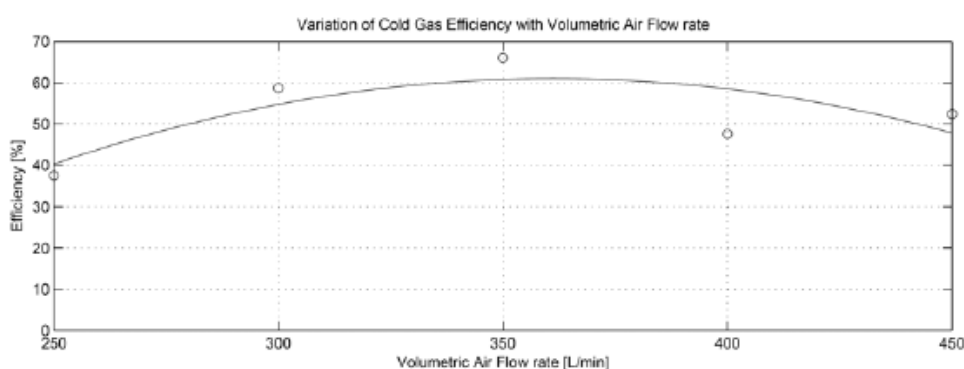


รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนทางสูงของก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง สำหรับเชื้อเพลิงเปลือกถั่วฮาเซล [6]

นิมิต นิพัทธ์ธรรมกุล [7] ศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากไม้จากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาตรอากาศที่อัตราการป้อน 250 - 450 L/min ที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในเตา องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง และค่าความร้อน จากการทดลองพบว่า ค่าความร้อนทางสูงของก๊าซเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในช่วง 3.27 - 4.15 MJ/Nm³ และประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง 58.67 - 66.05% โดยที่อัตราการป้อนอากาศ 350 L/min สามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากไม้ที่มีค่าความร้อนและประสิทธิภาพของเตาสูงที่สุดคือ 4.15 MJ/Nm³ และ 66.05% ตามลำดับ โดยก๊าซเชื้อเพลิงมีองค์ประกอบของ CO 19.99%, H₂ 10.34%, CH₄ 1.73%, CO₂ 15.12%, O₂ 1.62% และ N₂ 51.20% ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10

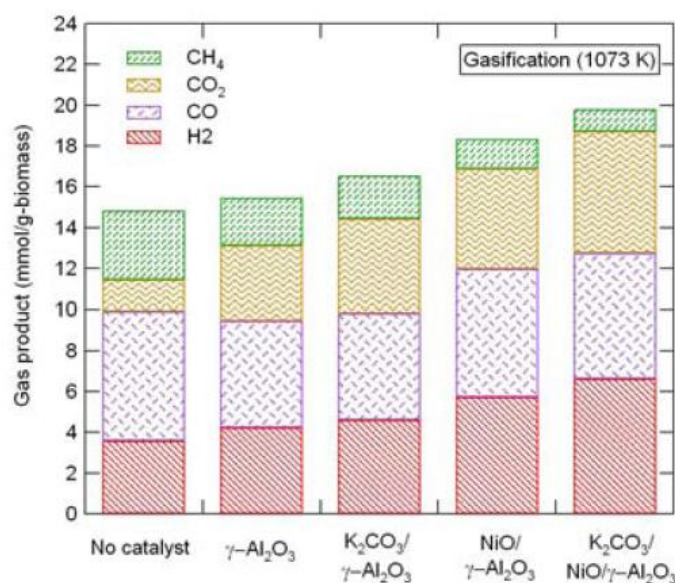


รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนทางสูงของก๊าซเชื้อเพลิงและอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศที่ใช้ในการทดลอง [7]



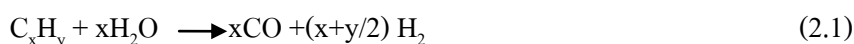
รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศที่ใช้ในการทดลอง [7]

ประพันธ์ และคณะ [8] พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลที่มีโลหะอัลคาไล สามารถช่วยเร่งปฏิกิริยาแตกตัวของทาร์ได้ดี และยังช่วยเพิ่มองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงโดยรวม โดยเฉพาะสัดส่วนองค์ประกอบของไฮโดรเจนในก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงได้แก่ H_2 , CO , CO_2 และ CH_4 จากรูปพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดช่วยเพิ่มปริมาณโดยรวมของก๊าซเชื้อเพลิงที่ภาวะการทดลองเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11



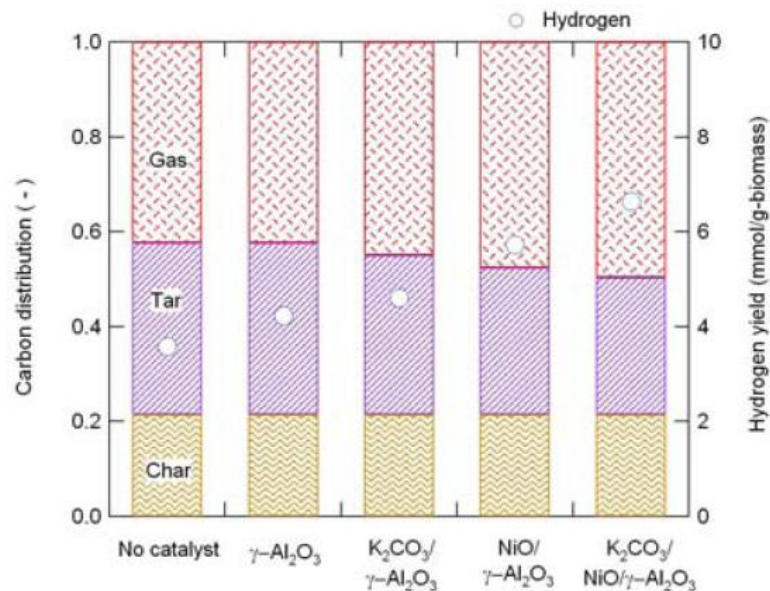
รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง [8]

เมื่อพิจารณาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ พบว่า เมื่อใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา 9%NiO/ Al_2O_3 มีผลต่อองค์ประกอบของก๊าซ โดยเฉพาะ H_2 และ CO_2 สูงกว่ากรณีที่ใช้ 9% K_2CO_3/Al_2O_3 แสดงว่า นิกเกิลสามารถช่วยเร่งปฏิกิริยาแตกตัวของคาร์บอนในทาร์ได้ดีและยังสามารถเร่งปฏิกิริยาออกเตอร์แก๊สชิฟ (water-gas shift) ดังสมการ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ



ปริมาณ CO ที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักนั้น อาจเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาแตกตัวของทาร์ ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ต่อการแตกตัวของทาร์ แสดงโดยใช้สัดส่วนการเปลี่ยนของคาร์บอนในชีวมวลเป็นสารผลิตภัณฑ์ จากการทดลองพบว่า 9% $K_2CO_3/9\%NiO/Al_2O_3$ มีผลต่อองค์ประกอบของก๊าซโดยรวมสูงกว่า 9%NiO/ Al_2O_3 แสดงว่าการเพิ่มโลหะอัลคาไลบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกระตุ้นปฏิกิริยาได้ดี และยังช่วยลดปริมาณทาร์ที่เกิดขึ้นโดยเปลี่ยนเป็นก๊าซมาก

ขึ้นด้วย โดยทั้งโลหะนิกเกิลและโลหะอัลคาไลมีผลส่งเสริมกันและช่วยเร่งปฏิกิริยาฟอर्मมิงของทาร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของคาร์บอนเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง [8]

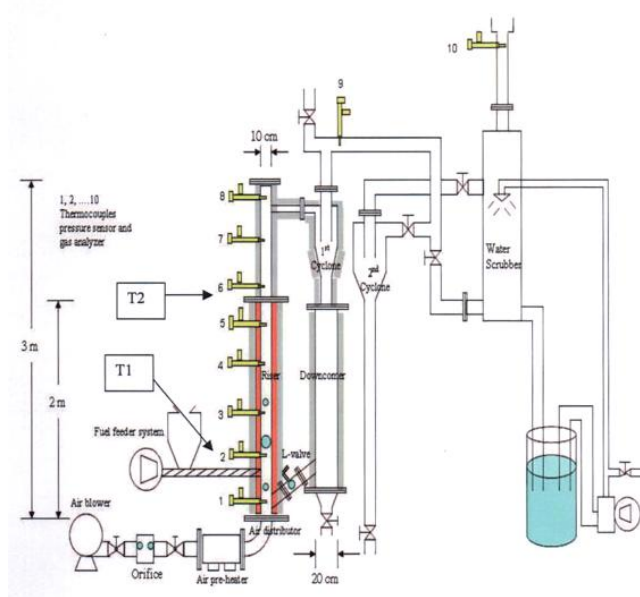
Jaffri และคณะ[9] ศึกษาอิทธิพลของ Ca และ Na – BL ซึ่งมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทำงานของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ทำการทดลองโดยการผสม Ca และ Na - BL เข้าด้วยกัน โดยใช้ความเข้มข้น 1%Ca, 3%Ca และ 5%Ca กับ 5%Na - BL ที่อุณหภูมิทดสอบ 900 °C โดยใส่สารเข้าไปผสมกับอากาศที่ปล่อยเข้าไปในระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้น 5%Ca กับ 5%Na-BL ให้อัตราการเร่งของปฏิกิริยาดีที่สุด และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทดสอบที่ 750, 800, 850, 900 °C พบว่า ที่อุณหภูมิสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ธราพงษ์ [10] ได้ทำการทดลองอิทธิพลของสาร GM - X (Titanium nano technology) ในการเผาไหม้ถ่านหินชนิดซับบิทูมินัส ในเตาเผาขนาด 1 kg ด้วยการติดถ่านด้วยก๊าซแอลพีจี และมีการป้อนอากาศส่วนล่างของตะแกรงอยู่ตลอดเวลา จากการทดลองพบว่า ถ่านหินที่เสปร์รสาร GM - X ที่อัตราส่วน 1:50,000 และ 1:100,000 ปลดปล่อย SO₂, NO, NO_x, CO ลดลงโดย SO₂ ลดลง 18.5 - 60%, NO ลดลง 14 - 30% และ CO ลดลง 74 - 90% และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ 10% และถ่านหินที่เสปร์รด้วย GM - X เมื่อถูกเผาไหม้ให้ปริมาณฝุ่นน้อยกว่าถ่านหินที่ไม่ได้เสปร์รประมาณ 5.5 เท่า โดยการเผาไหม้ที่มีปริมาตรอากาศเท่ากันดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินชนิดซับบิทูมินัสในเตาเผา
ขนาด 1 กิโลกรัม [10]

GM - X	SO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO _x (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
0	1189	64	67	5639	5.0	15.3
1:100,000	969	55	59	1455	7.0	13.0
1:50,000	461	45	47	561	7.4	12.5

และได้ทำการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยถ่านหินลิกไนต์ชนิดผง ทำการสเปรย์ด้วย GM - X และไม่ได้สเปรย์ ป้อนเข้าไปในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อศึกษาผลการปลดปล่อยก๊าซและประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยมีอัตราการป้อนถ่านหิน 7.4 kg/h อัตราการป้อนอากาศ 1.4 m/s มีการวัดอุณหภูมิ 2 ตำแหน่งคือ T1 และ T2 ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดไดซ์เบด [10]

จากการทดลองพบว่ากรณีไม่มี GM - X ให้อุณหภูมิที่สูงกว่าพร้อมทั้งปล่อย SO₂, NO, NO_x, CO และ CO₂ ที่มากกว่ากรณีใช้ GM - X ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบ
ฟลูอิดไคซ์เบด [10]

GM - X	Flame Temp.	Exit Temp	SO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO _x (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
0	748	807	1846	149	156	235	14.5	4.5
1:100,000	815	711	1010	107	112	199	12.9	6.2
1:50,000	820	693	979	132	138	193	13.9	4.1

วิรัช อรุณลักษณะดำรง [11] ศึกษาเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น เพื่อการเผาไหม้โดยตรงโดยใช้เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงสูง 175 cm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 65 cm ภายในเตาก่อด้วยอิฐทนไฟหนา 10 cm โดยรอบตลอดทั้งเตา ใช้ไม้โกงางเป็นเชื้อเพลิง พบว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดความยาวและการป้อนอัตราการไหลของอากาศสูง จะทำให้อุณหภูมิภายในเตาผลิตก๊าซที่ระยะความสูงต่างๆ มีค่าสูงขึ้นและเกิดกระบวนการต่างๆ ภายในเตาผลิตก๊าซเป็นบริเวณกว้างกว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดสั้น โดยเชื้อเพลิงที่มีขนาดสั้นจะให้เปอร์เซ็นต์ของ CO สูงกว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดยาว และการเปลี่ยนแปลงอัตราป้อนของอากาศมีผลต่อการผลิต CO ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดเชื้อเพลิง จุดที่เหมาะสมในด้านขนาดของเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงขนาดความยาวของเชื้อเพลิงคือ 2 - 3 cm และปริมาณอัตราการป้อนของอากาศที่เหมาะสมของเตาผลิตก๊าซเท่ากับ 0.44 - 0.51 kg/min ซึ่งสามารถผลิต CO ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 28.7

สุรพงษ์ คล้ายมุข [12] ได้ทำการหาอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง ซึ่งใช้ผักตบชวาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงจำนวน 12 kg จากผลการวิเคราะห์ก๊าซด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ พบว่าที่อัตราการป้อนอากาศเท่ากับ $3.42 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ สามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงสุด โดยค่าความร้อนทางสูงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.13 MJ/Nm^3 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับอัตราการไหลอีก 2 อัตราการไหลคือ $2.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ และ $4.66 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ และได้ทำการทดลองโดยใช้เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น โดยทำการทดลองที่อัตราการป้อนอากาศ 3 ระดับเช่นกัน คือ $3.09 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $4.31 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ และ $5.03 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ โดยใช้เชื้อเพลิงชนิดเดียวกัน จำนวนเท่ากัน ผลการทดลองพบว่าที่อัตราการป้อนอากาศเท่ากับ $4.31 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ เป็นอัตราการที่ให้ค่าความร้อนทางสูงโดยเฉลี่ยได้มากที่สุดคือ 4.5 MJ/Nm^3 ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมทำให้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาในชั้นต่างๆเหมาะสม ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จึงมีองค์ประกอบของก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้สูง