



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การกำจัดน้ำมันดินของไม้ยูคาลิปตัสในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลง

Mitigation of Tar from Synthetic Gas Produced from Eucalyptus Pellet by Downdraft Gasifier

นามผู้วิจัย นางสาวภัทชนก แก้วพงศธร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อภิญญา ดวงจันทร์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุจินณา กรรมสูตร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รักษาราชการแทน

(อาจารย์วีรชัย สุนทรรังสรรค์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

สืบศิริ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การกำจัดน้ำมันดินของไม้ยูคาลิปตัสในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลง

Mitigation of Tar from Synthetic Gas Produced from Eucalyptus Pellet by Downdraft Gasifier

โดย

นางสาวภัทชนก แก้วพงศธร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร้งสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภัทชนก แก้วพงศธร 2555: การกำจัดน้ำมันดินของไม้ยูคาลิปตัสในกระบวนการแก๊สซิฟิ-
เคชันแบบแก๊สไหลลง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: รองศาสตราจารย์อภิญญา ดวงจันทร์, Ph.D. 123 หน้า

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการกำจัดน้ำมันดิน (Tar) ที่ปนเปื้อนในแก๊ส
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นสลายไม้ยูคาลิปตัสด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลงด้วย
วิธีต่างๆ การควบคุมอัตราการป้อนอากาศ กระบวนการทางเคมี และกระบวนการทางความร้อน
(Thermal Cracking) การทดลองลดปริมาณน้ำมันดินโดยควบคุมปริมาณอากาศที่ป้อนให้แก๊สซิฟิ
เออร์ใช้อัตราการป้อนอากาศที่ 130, 140 และ 150 ลิตรต่อนาที การทดลองเพื่อแตกสลายน้ำมันดิน
ด้วยกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 700, 800, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส การทดลอง
แตกสลายน้ำมันดินด้วยกระบวนการทางเคมีโดยสารเติมแต่ง 3 ชนิด คือ เหล็กอะซิเตท
อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ อัตรา
การป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส โดยใช้เหล็กอะซิเตทเป็นสารเติม
แต่ง องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ร้อยละ 16.59 ของคาร์บอนมอนอกไซด์ ร้อยละ 12.46
ของไฮโดรเจน และร้อยละ 2.12 ของมีเทน ซึ่งมีปริมาณน้ำมันดินน้อยที่สุด เท่ากับ 4.74 กรัมต่อ
ลูกบาศก์เมตร

Patchanok Kaewpongsaton 2012: Mitigation of Tar from Synthetic Gas Produced from Eucalyptus Pellet by Downdraft Gasifier. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Apinya Duangchan, Ph.D. 123 pages.

The present study focuses on the mitigation of tar from gas produced by the thermal decomposition of Eucalyptus wood using downdraft gasifier. Various air flow rates, chemical and thermal tar cracking are experimented. Air flow rates of 130, 140 and 150 L/min and thermal cracking at temperatures of 700, 800, 900 and 1,000°C were tested. Iron acetate, aluminium hydroxide and sodium carbonate solutions have been used as additives for chemical tar cracking. The results obtained indicated that the conditions of 150 L/min air flow rate, 1,000°C and iron acetate solution as an additive provided the most desired gas products, i.e. 16.59% of carbon monoxide, 12.47% of hydrogen and 2.12% of methane with the lowest tar content of 4.74 g/Nm³.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

การที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ผู้วิจัยได้รับการอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์อภิญญา ดวงจันทร์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รวมทั้งอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมทุกท่าน คือ อาจารย์สุจินดา วรรณสุด และอาจารย์วีรชัย สุนทรรังสรรค์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทดลอง และช่วยเหลือผู้วิจัยในทุกๆด้าน ตลอดจนการสละเวลาในการตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีและออกมาสมบูรณ์ที่สุด

โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการอนุเคราะห์เครื่องมือการทดลอง ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และการช่วยเหลือจากพี่ๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ชนศ อุทิศธรรม คุณโสภณ พรหมสุวรรณ คุณมะนุ บุญแสร์ และพี่ๆ ที่สถาบันวิจัยฯทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยอย่างเต็มที่จนทำให้การทดลองในขั้นตอนต่างๆ ของผู้วิจัยดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องและสำเร็จตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

ขอบคุณ ศ.ดร.เกษม จันทรแก้ว และคณาจารย์ทุกท่านที่คณะวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ในด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมให้แก่ผู้วิจัย และสามารถนำความรู้ที่ได้นั้นไปใช้ประกอบกับการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่ให้การสนับสนุน คำชี้แนะและเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัย และขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือ ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ซึ่งมิได้เอ่ยนามในที่นี้ทุกท่าน

ภัทชนก แก้วพงศธร

กันยายน 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	43
ผลและวิจารณ์	49
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	83
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก ข้อมูลการวิเคราะห์	90
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง	105
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	123

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณพลังงานชีวมวลสำรองชนิดต่างๆที่ใช้ในแต่ละปี	9
2	ข้อดีและข้อเสียของแก๊สซิฟิเคชันแต่ละชนิด	23
3	ลักษณะและสมบัติของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบ Downdraft Gasifier	24
4	องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแหล่งชีวมวลที่แตกต่างกัน	26
5	ปริมาณน้ำมันดินและเถ้าที่ได้จากการใช้แหล่งชีวมวลที่แตกต่างกัน	29

ตารางผนวกที่

ก1	องค์ประกอบของไม้ยูคาลิปตัส	95
ข1	การใช้อัตราป้อนอากาศที่ 130 ลิตรต่อนาที	106
ข2	การใช้อัตราป้อนอากาศที่ 140 ลิตรต่อนาที	107
ข3	การใช้อัตราป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที	108
ข4	เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)	109
ข5	โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)	110
ข6	อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)	111
ข7	ให้ความร้อนอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)	112
ข8	ให้ความร้อนอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)	113
ข9	ให้ความร้อนอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)	114
ข10	ให้ความร้อนอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)	115
ข11	การใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส	116
ข12	การใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข13	การใช้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส	118
ข14	ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากอัตราการป้อนอากาศระดับต่างๆ	119
ข15	ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆที่อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที	120
ข16	ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆที่อัตราการป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที	121
ข17	ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ความร้อนที่ 1,000 องศาเซลเซียสรวมกับการใช้ตัวเร่งชนิดต่างๆ	122

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในบริเวณต่างๆ	17
2	แก๊สซีฟเอร์แบบแก๊สไหลขึ้น	20
3	แก๊สซีฟเอร์แบบแก๊สไหลด้านข้าง	21
4	แก๊สซีฟเอร์แบบแก๊สไหลลงทางเดียวกัน	22
5	การใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมควบคุมน้ำมันดิน	30
6	ไม้ยูคาลิปตัส	37
7	แก๊สซีฟเอร์แบบแก๊สไหลลง	39
8	เครื่องสลายน้ำมันดินด้วยความร้อน	40
9	ขวดเก็บแก๊ส	41
10	เข็มฉีดยา	42
11	องค์ประกอบแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่ 130 ลิตรต่อ นาที่	51
12	องค์ประกอบแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่ 140 ลิตรต่อ นาที่	52
13	องค์ประกอบแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อ นาที่	53
14	เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากการ ปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนอากาศที่ระดับต่างๆ	55
15	เปรียบเทียบแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากอัตราการป้อนอากาศที่อัตราต่างๆ ของไม้ยูคาลิปตัสในเครื่องแก๊สซีฟเอร์แบบแก๊สไหลลง	56
16	เปรียบเทียบแก๊สมีเทนที่ได้จากอัตราการป้อนอากาศที่อัตราต่างๆของไม้ยูคา ลิปตัสในเครื่องแก๊สซีฟเอร์แบบแก๊สไหลลง	57
17	เปรียบเทียบแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากอัตราการป้อนอากาศที่อัตราต่างๆของไม้ยูคา ลิปตัสในเครื่องแก๊สซีฟเอร์แบบแก๊สไหลลง	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	59
19	องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	60
20	องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้สอะลูมิเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	61
21	เปรียบเทียบแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆและไม่ใช้ตัวเร่ง	62
22	เปรียบเทียบแก๊สมีเทนที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆและไม่ใช้ตัวเร่ง	62
23	เปรียบเทียบแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆและไม่ใช้ตัวเร่ง	63
24	เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ	65
25	ร้อยละของแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	67
26	ร้อยละของแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส	68
27	ร้อยละของแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส	69
28	ร้อยละของแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส	70
29	ปริมาณน้ำมันดินที่เหลือหลังจากการทดลองให้ความร้อนแก่แก๊สผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	72
30	แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้เปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิระดับต่างๆ	73
31	แก๊สมีเทนที่ได้เปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิระดับต่างๆ	73
32	แก๊สไฮโดรเจนที่ได้เปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิระดับต่างๆ	74
33	แก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้อุณหภูมิที่ 1,000 องศาเซลเซียส	75
34	แก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้อุณหภูมิที่ 1,000 องศาเซลเซียส	76
35	แก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้อุณหภูมิที่ 1,000 องศาเซลเซียส	77
36	เปรียบเทียบแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆร่วมกับความร้อนที่ 1,000 องศาเซลเซียส	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	เปรียบเทียบแก๊สมีเทนที่ได้จากการใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆร่วมกับความร้อนที่ 1,000 องศาเซลเซียส	78
38	เปรียบเทียบแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากการใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆร่วมกับความร้อนที่ 1,000 องศาเซลเซียส	79
39	ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆร่วมกับความร้อน	80
40	การเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากวิธีการต่างๆ	82
ภาพผนวกที่		
ก1	เครื่องวิเคราะห์ห้องคัปประกอบธาตุ	97
ก2	เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ	98
ก3	แผนภาพอุปกรณ์ประกอบการทดลอง	102
ก4	เครื่องแก๊สซีไฟเออร์และอุปกรณ์ทดลองต่างๆ	103
ก5	การจุดไฟเพื่อทำการเดินระบบ	104
ก6	ของเหลวที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันและเครื่องระเหยด้วยไอน้ำ	105
ก7	เครื่องแก๊สซีไฟเออร์ที่มีการต่อเพิ่มเติมในส่วนเครื่องเทอร์มัลแครกกิ้ง	106

การกำจัดน้ำมันดินของไม้ยูคาลิปตัสในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลง

Mitigation of Tar from Synthetic Gas Produced from Eucalyptus Pellet by Downdraft Gasifier

คำนำ

พลังงานที่ใช้ในปัจจุบันนั้นส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ได้มาจากเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลแต่ปัญหา คือ เชื้อเพลิงประเภทนี้ได้ถูกคาดการณ์ว่ากำลังจะหมดไป จึงมีความจำเป็นในการหาพลังงานอื่นมาเพื่อใช้ทดแทน โดยพลังงานที่นำมาใช้ทดแทนจะอยู่ในรูปพลังงานหมุนเวียนประเภทต่างๆ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานจากชีวมวล ซึ่งพลังงานชีวมวลนับว่าน่าสนใจมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่ทำให้วัฏจักรคาร์บอน (Carbon cycle) ในโลกเสียสมดุลและจะช่วยให้การแก้ปัญหาโลกร้อนที่กำลังประสบอยู่ และในปัจจุบันมีการนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์ผ่านเทคโนโลยีประเภทต่างๆ เช่น ไพโรไลซิส เตาแก๊สชีวมวล ถ่านอัดแท่ง และแก๊สซิฟิเคชัน เป็นต้น โดยแก๊สซิฟิเคชันเป็นการนำชีวมวลมากลั่นสลายในแก๊สซิฟิเคเตอร์เพื่อแปรรูปให้แก๊สเชื้อเพลิงซึ่งสามารถควบคุมให้เผาไหม้ได้สมบูรณ์ได้ง่ายกว่าการนำชีวมวลมาเผาโดยตรง จึงนับว่าการกลั่นสลายชีวมวลด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันให้ผลผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีการนำพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันไปใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย แต่ปัญหาหรือข้อจำกัดที่สำคัญของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันคือ หากอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไม่สูงพอจะทำให้มีน้ำมันดิน (Tar) ปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงที่เป็นผลผลิตซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เนื่องจากทำให้คุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงลดลงนอกเหนือจากผลของอุณหภูมิแล้ว ความชื้น และขนาดของวัตถุดิบล้วนแล้วแต่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เช่น ไม้ ขี้เลื่อย ใบไม้ เป็นต้น ต้องมีความชื้นต่ำ (ระหว่างร้อยละ 15-20 โดยน้ำหนัก) ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับไม้เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะไม้ยูคาลิปตัสที่นิยมนำมาใช้อุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น อุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ โรงเลื่อยหรือแปรรูปไม้ เป็นต้น (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2548) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นไม้ที่โตเร็วสามารถเจริญเติบโตได้ในแทบทุกสภาพพื้นที่จึงนิยมปลูกกันมาก และในอุตสาหกรรมต่างๆ ที่กล่าวมานั้นจะมีบางส่วน of ไม้ยูคาลิปตัสที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ เช่น กิ่งก้านของไม้ยูคาลิปตัสหรือไม้ส่วนที่

ไม่ได้คุณภาพตามต้องการจึงได้มีแนวคิดที่จะนำวัตถุดิบเหลือใช้เหล่านี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เพราะหากปล่อยทิ้งไว้ก็จะกลายเป็นขยะที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำไปกำจัดทิ้ง แต่หากมีการนำมาเปลี่ยนให้กลายเป็นพลังงานเชื้อเพลิงก็จะเกิดประโยชน์และมูลค่าเพิ่มขึ้น (ชัยชาญ, 2547)

ด้วยคุณสมบัติของไม้ยูคาลิปตัสดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำไม้ยูคาลิปตัสมาเป็นวัตถุดิบในการกลั่นสลายหรือแปรรูปเป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Syngas) ด้วยแก๊สซิไฟเออร์แบบแก๊สไหลลง (Downdraft Gasifier) โดยแก๊สซิไฟเออร์แบบนี้จะทำให้ได้แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ค่อนข้างสะอาดและมีปริมาณเถ้าหลังการทำปฏิกิริยาต่ำ งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการศึกษาวิธีลดปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นและปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัสด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลง

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแก๊สซิฟเคชันแบบแก๊สไหลลงที่ใช้ไม้อยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ



การตรวจเอกสาร

1. ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล คือ สิ่งมีชีวิตหรือซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วที่มีความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ในรูปของสารอินทรีย์ (Organic Substance) ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ซึ่งชีวมวลที่กล่าวถึงนี้มีแหล่งกำเนิดทั้งจากพืช และสัตว์ เช่น มูลสัตว์ ซากสัตว์ ของเหลือใช้หรือวัสดุทางการเกษตร เช่น กะลาปาล์มที่ได้จากการบีบน้ำมันปาล์มออกแล้ว ฟางข้าว ชังข้าวโพด เศษไม้จากกระบวนการแปรรูปหรือจากสวนป่าที่ปลูกขึ้นอ้อยจากการผลิตน้ำตาล รวมทั้งเกลบจากการสีข้าว และกากของเสียอุตสาหกรรม เป็นต้น ชีวมวลที่เป็นพืชสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแป้งและน้ำตาลเก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานหรือใช้ในการเจริญเติบโตของพืชผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงนั่นเอง สัตว์เก็บสะสมพลังงานแสงอาทิตย์โดยการกินพืชหรือสัตว์ที่กินพืชเพื่อเป็นพลังงานหรือสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อเพื่อการเจริญเติบโต สัตว์ที่มีชีวิตหรือซากสัตว์ที่ตายแล้วจึงจัดเป็นชีวมวลชนิดหนึ่ง ดังนั้นเมื่อนำชีวมวลเหล่านี้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ก็จะสลายตัวได้พลังงานความร้อนสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ

1.1 คุณสมบัติของชีวมวลประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน ดังนี้

1.1.1 ความชื้น (Moisture) ความชื้น คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ในชีวมวลโดยชีวมวลส่วนมาก (ทั้งพืชและสัตว์) จะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะสิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักมากกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ถ้าต้องการนำชีวมวลมาใช้ผลิตพลังงานโดยการเผาไหม้ ควรมีกระบวนการในการทำให้ความชื้นลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ถึงจะเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

1.1.2 ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นสารระเหยลุกไหม้ได้ง่าย (Volatiles Matter) และส่วนที่เผาไหม้ยาก (Fixed Carbon) ดังนั้นชีวมวลใดที่มีปริมาณสารระเหย (Volatiles Matter) สูงจะมีคุณสมบัติติดไฟได้ง่าย

1.1.3 ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ (Incombustible Substance) คือ ขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบที่เป็นขี้เถ้าระหว่างร้อยละ 1-3 โดยน้ำหนัก ยกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมีองค์ประกอบที่เป็นขี้เถ้าระหว่างร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนัก ชีวมวลที่มีขี้เถ้าในปริมาณสูงจะมีปัญหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการเผาไหม้และกำจัดพอสสมควร

1.2 ในทางสิ่งแวดล้อมชีวมวลก็จัดอยู่ในมิติหนึ่ง โดยทางสิ่งแวดล้อมนั้นได้แบ่งมิติต่างๆ ออกเป็น 4 มิติ ดังนี้ (เกษม, 2551)

1.2.1 มิติทรัพยากร คือ สิ่งที่มีมนุษย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้ 3 ประเภท คือ ทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป เช่น แร่ธาตุ เป็นต้น ทรัพยากรที่ใช้แล้วไม่หมดไป เช่น น้ำ อากาศ แสงแดด เป็นต้น และทรัพยากรที่ใช้แล้วทดแทนได้ เช่น ป่าไม้ และไม้ยูคาลิปตัสก็จัดอยู่ในมิติทรัพยากรประเภทใช้แล้วทดแทนได้

1.2.2 มิติเทคโนโลยี สามารถแบ่งย่อยได้ 3 ประเภท คือ เทคโนโลยีธรรมชาติ เช่น กฎเขาเปรียบกับกำแพงในการกำบังหรือแบ่งเขต เป็นต้น เทคโนโลยีเลียนแบบธรรมชาติ เช่น กังหันลม รหัดวิดน้ำ เป็นต้น เทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้เครื่องแก๊สซิฟิเคชันและอุปกรณ์ในการทดลองต่างๆก็จัดอยู่ในเทคโนโลยีประเภทนี้

1.2.3 มิติมลพิษ คือ สามารถแบ่งย่อยได้อีก 4 ประเภท ได้แก่ ของแข็ง เช่น ขยะชุมชน ขยะติดเชื้อ กากสารพิษอันตราย เป็นต้น ของเหลว เช่น น้ำเสีย น้ำมัน และไขมัน เป็นต้น แก๊ส เช่น ท่อไอเสีย ควันท่อจากโรงงาน เป็นต้น และคลื่นทางฟิสิกส์ เช่น เสียงดัง แสง ความร้อน และการสั่นสะเทือน เป็นต้น สำหรับน้ำมันดินสิ่งที่ต้องบำบัดหรือควบคุมจัดอยู่ในมิติมลพิษที่เป็นของเหลว

1.2.4 มิติสังคม ได้แก่ วัฒนธรรม การศึกษา นันทนาการ และเศรษฐกิจ เป็นต้น หากงานวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์ คือ สามารถกำจัดหรือลดปริมาณน้ำมันดินจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันได้ก็จะทำให้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้มีประสิทธิภาพและส่งผลที่ดีต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ เนื่องจากใช้ชีวมวลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงจะช่วยลดการนำเข้าเชื้อเพลิงได้บางส่วน และสามารถนำแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้ารวมทั้งอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายหรือประหยัดค่าใช้จ่ายลงในส่วนนี้

2. ชีวมวลแหล่งพลังงานทดแทนในประเทศไทย

พลังงานถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญขั้นพื้นฐานที่ช่วยในการตอบสนองความต้องการหรือเพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจทั้งในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นในแต่ละประเทศจึงจำเป็นต้องมีการจัดหาพลังงานให้เพียงพอเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอยู่ตลอดเวลา สำหรับประเทศไทยพบว่าแหล่งพลังงานเชิงพาณิชย์มีอยู่อย่างไม่เพียงพอ จึงทำให้พลังงานส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ได้จากการนำเข้าจากต่างประเทศถึงร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานทั้งหมด แต่เนื่องจากพลังงานที่นิยมใช้เป็นพลังงานที่มาจากเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลเป็นส่วนใหญ่ และในปัจจุบันพบว่าแหล่งพลังงานประเภทนี้กำลังจะหมดไปในไม่อีกกี่ปีข้างหน้าจึงเกิดวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มที่พุ่งสูงขึ้นผนวกกับปัญหาภาวะโลกร้อนที่ส่งผลกระทบต่อทั่วโลกอย่างมากมายก็เป็นผลสืบเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลซึ่งเมื่อถูกเผาไหม้จะก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินสถานะสมดุลของวัฏจักรคาร์บอน ในปริมาณที่มาก ซึ่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินนี้เป็นตัวการสำคัญในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) จึงทำให้ทั่วโลกต่างมองหาพลังงานในรูปแบบใหม่เพื่อเข้ามาทดแทนพลังงานฟอสซิลที่กำลังจะหมดไปพร้อมกับคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมเป็นหลักด้วย

พลังงานทดแทนที่มีศักยภาพที่จะทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลส่วนมากก็จะเป็นพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ รวมทั้งพลังงานจากชีวมวลซึ่งเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่กำลังได้รับความสนใจเพราะถือว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนอย่างหนึ่ง ชีวมวลที่นิยมนำมาใช้ผลิตเชื้อเพลิง ได้แก่ แกลบ ชานอ้อย ฟิน ไม้ มูลสัตว์ กากของเสีย หรือแม้กระทั่งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นต้น โดยเฉพาะในประเทศไทยที่นับว่าเป็นประเทศที่มีแหล่งชีวมวลจำนวนมาก เพราะประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรม ชีวมวลนับเป็นแหล่งพลังงานที่ทุกคนให้ความสนใจเป็นลำดับต้นๆ การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงสามารถช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนที่ทั่วโลกต่างวิตกกังวลกัน เนื่องจากว่าชีวมวลเป็นแหล่งกักเก็บพลังงานโดยทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นส่วนประกอบต่างๆของพืช โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis Process) โดยพืชจะดูดกลืนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมาเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญ ดังนั้นการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงจึงเป็นการรักษาสมดุลคาร์บอนไว้ เนื่องจากเมื่อนำชีวมวลมาเผาไหม้ก็จะมีคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในปริมาณที่เท่ากับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชดูดกลืนมาใช้ใน

กระบวนการสังเคราะห์แสงจึงนับว่าไม่มีการเพิ่มแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

ชีวมวลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตรหรือกากของเสียจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมโดยของเหลือทิ้งเหล่านี้จะถูกเก็บรวบรวมไว้ที่แหล่งกำเนิดไม่ว่าจะเป็นโรงสีข้าว โรงแปรรูปไม้ โรงงานน้ำตาล เป็นต้น ซึ่งจะง่ายและสะดวกต่อการรวบรวมและยังถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งซึ่งนอกจากจะเพิ่มรายได้ให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมแล้วยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการนำสิ่งเหล่านี้ไปกำจัดหรือช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงมาผลิตพลังงานไปได้อีกส่วนหนึ่ง และการที่ชีวมวลเป็นหนึ่งในกลุ่มพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยมเพราะมีอยู่อย่างมากมายโดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งมีพื้นที่การเกษตรเป็นจำนวนมาก กระแสความต้องการใช้ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่เพิ่มมากขึ้นทำให้กรมป่าไม้จัดทำโครงการส่งเสริมการปลูกไม้โตเร็วเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยไม้ที่มีการส่งเสริมการปลูกก็มีอยู่อย่างหลากหลาย เช่น กระถินยักษ์, ยูคาลิปตัส, กระถินเทพา เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันออกไป เช่น กระถินยักษ์ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Leuceana lencecephala* (lam.) de wit เป็นไม้เนื้อบางเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการก่อสร้างได้เป็นอย่างดี อายุการตัดฟันไปใช้งานอยู่ระหว่าง 5-6 ปี สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น การทำเสา ทำรั้วหรือแม้กระทั่งการนำไปใช้เป็นไม้ฟืนหรือเผาเป็นถ่าน โดยในต่างประเทศได้มีการนำไม้กระถินยักษ์นี้ไปผลิตเป็นถ่าน ซึ่งพบว่าถ่านไม้กระถินยักษ์มีค่าความร้อนสูงถึงประมาณ 7,000 แคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งเทียบกับค่าความร้อนของน้ำมันเตา 0.7 ลิตร นอกจากนี้แม้แต่ใบของกระถินยักษ์ก็ยังสามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์ได้ด้วย เนื่องจากมีคุณค่าทางสารอาหารที่สูง และที่สำคัญกระถินยักษ์เป็นพืชตระกูลถั่วจึงทำให้มีความสามารถในการบำรุงดินได้ด้วยโดยแบคทีเรียที่มีอยู่ในปมรากสามารถตรึงไนโตรเจนได้มากกว่า 5,000 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 เฮกตาร์ (ณัฐพงศ์, 2551)

ชีวมวลแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ คุณลักษณะทางเคมีและคุณลักษณะทางกายภาพ ดังนั้นการเลือกใช้ชีวมวลเพื่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่จะนำไปใช้ด้วย เช่น กากมันสำปะหลังหรือส่าเหล้า มีความชื้นสูงระหว่างร้อยละ 80-90 โดยน้ำหนัก จึงไม่เหมาะที่จะนำไปเผาไหม้เพื่อให้ได้พลังงานโดยตรง และบางชนิดต้องมีการนำไปสับย่อยหรือทำให้มีขนาดเล็กลงก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น เศษไม้ เป็นต้น ในทางปฏิบัติชีวมวลบางส่วนจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตที่แหล่งกำเนิดอยู่แล้ว เช่น แกลบหรือกะลาปาล์มจะถูกนำไปใช้เป็น

เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้าหรือพลังงานกลในโรงสีข้าวหรือโรงงานน้ำมันปาล์ม และเศษไม้ยางพาราจะถูกนำมาเผาเพื่อให้เกิดความร้อนไว้ใช้ในอุตสาหกรรมอบไม้ยางพารา เป็นต้น ชีวมวลส่วนที่เหลือจากการใช้งานที่แหล่งกำเนิดก็ไม่ได้กลายเป็นของเหลือทิ้งอีกต่อไปแต่มีศักยภาพที่สามารถนำไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตเป็นไฟฟ้าได้ดังต่อไปนี้

2.1 ข้าวเปลือก 1 ตัน เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปหรือสีเป็นข้าวสาร จะมีวัสดุที่เหลือจากการผลิต คือ แกลบประมาณ 220 กิโลกรัม ซึ่งหากนำแกลบจำนวนดังกล่าวไปผลิตพลังงานจะเทียบเท่ากับพลังงานที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ระหว่าง 90-125 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2542)

2.2 อ้อย 1 ตัน เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อผลิตน้ำตาลแล้ว จะได้กากอ้อยออกมาประมาณ 290 กิโลกรัม ซึ่งหากนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานจะเทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้า 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

2.3 ผลปาล์ม 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อผลิตน้ำมันปาล์มแล้ว จะได้วัสดุเหลือทิ้ง คือ กะลา และ เปลือกกรวม 190 กิโลกรัม และทลายประมาณ 230 กิโลกรัม ซึ่งเทียบเท่ากับพลังงานที่ใช้ผลิตไฟฟ้าได้ 120 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

2.4 ไม้ 1 ลูกบาศก์เมตร เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปในโรงเลื่อย จะได้เศษไม้ประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตร เทียบเท่ากับพลังงานที่ใช้ผลิตไฟฟ้าได้ 80 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

นอกจากนี้ประเทศไทยยังได้มีการตรวจสอบพื้นที่สำหรับใช้เป็นพื้นที่ปลูกพืชที่มีผลผลิตหลักหรือผลผลิตรองเป็นชีวมวลที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองแต่ละชนิดเพื่อให้เพียงพอต่อการกำลังการผลิตที่มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นในอนาคต ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณพลังงานชีวมวลสำรองชนิดต่างๆที่ใช้ในแต่ละปี

ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณที่ใช้ (kg/kw)	150 kws ปริมาณ ที่ใช้ต่อปี (ตัน)	200 kws ปริมาณ ที่ใช้ต่อปี (ตัน)	300 kws ปริมาณ ที่ใช้ต่อปี (ตัน)	450 kws ปริมาณ ที่ใช้ต่อปี (ตัน)	700 kws ปริมาณ ที่ใช้ต่อปี (ตัน)
แกลบ	2	2,376	3,168	4,752	7,128	11,088
เหง้ามันส้มปะหลัง	1.94	2,305	3,073	4,609	6,914	10,755
ซังข้าวโพด	1.37	1,628	2,170	3,255	4,883	7,595
กะลามะพร้าว	1.47	1,746	2,328	3,493	5,239	8,150
ทางปาล์ม	1.4	1,663	2,218	3,326	4,990	7,762
ไม้กระถินยักษ์	1.28	1,521	2,028	3,041	4,562	7,096
ไม้ยูคาลิปตัส	1.45	1,723	2,297	3,445	5,168	8,039
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	1.73	2,055	2,740	4,110	6,166	9,591
ไม้ยางพารา	1.54	1,830	2,439	3,659	5,489	8,538
เปลือกมันสำปะหลัง	1.98	2,352	3,136	4,704	7,057	10,977
จีเลื่อย	1.72	2,043	2,724	4,087	6,130	9,536

ที่มา: กรมพลังงาน (2555)

งานวิจัยนี้ได้เลือกนำเอาไม้ยูคาลิปตัสมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลง เนื่องจากมีความชื้นที่เหมาะสม (ไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก) ซึ่งความชื้นนี้ถือเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตพลังงานด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

3. ไม้ยูคาลิปตัส

ยูคาลิปตัสในทางสิ่งแวดล้อมจัดว่าอยู่ในมิติทรัพยากรประเภทที่ใช้แล้วทดแทนได้ โดยยูคาลิปตัสเป็นพันธุ์ไม้ที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปออสเตรเลียซึ่งมีสายพันธุ์ที่แตกต่างกันมากกว่า 700 ชนิด ประเทศไทยได้นำมาทดลองปลูกประมาณปี พ.ศ. 2493 และเริ่มปลูกกันอย่างจริงจังในประมาณปี พ.ศ. 2519 ไม้ยูคาลิปตัสนั้นถือว่าเป็นไม้เศรษฐกิจและพืชพลังงานที่สำคัญ โดยยูคาลิปตัสถือว่าเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ความต้องการของไม้ยูคาลิปตัสในอุตสาหกรรม

กระดาษนั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยูคาลิปตัสยังจัดเป็นพืชพลังงาน เพราะสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิง เช่นการนำยูคาลิปตัสมาเผา เป็นต้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ไม้อูคาลิปตัสเป็นไม้ที่นิยมปลูกกันมากชนิดหนึ่งในปัจจุบัน

ข้อดีและคุณสมบัติที่สำคัญของไม้อูคาลิปตัส คือ เป็นไม้ที่เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว สามารถใช้ประโยชน์ได้ภายในระยะเวลา 4-5 ปี การลงทุนค่อนข้างต่ำและสามารถโตได้ในแทบทุกสภาพพื้นที่และดินทุกประเภท (ยกเว้นสภาพพื้นที่ที่มีสภาพเป็นหินปูนสูง) ทนทานต่อความแห้งแล้งติดต่อกันได้เป็นระยะเวลานานและดูแลรักษาค่อนข้างง่าย นอกจากนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ แปรูปไม้ อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ ใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ใช้ทำน้ำมันสกัดจากยูคาลิปตัส เป็นต้น จากคุณสมบัติที่ดี และสามารถใช้อย่างหลากหลายในปัจจุบันรัฐบาลได้มีการสนับสนุนให้มีการปลูกสวนป่าเอกชนหรือสวนยูคาลิปตัสทำให้ไม้อูคาลิปตัสเป็นไม้ที่นิยมมีการปลูกอย่างแพร่หลายมากในปัจจุบัน (ศิริพรและคณะ, 2554)

จากการสำรวจโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเชื้อกระดาษของไทยในปัจจุบันนี้ พบว่ายูคาลิปตัสยังคงเป็นวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้งานกันมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ชนิดอื่นๆ เพราะสามารถนำมาใช้ทำเป็นเชื้อกระดาษได้อย่างดีให้ผลผลิตสูงและยังสามารถส่งออกในรูปแบบไม้สับ (Wood Chip) ได้อีกด้วย กิ่งก้านและส่วนที่เหลือจากการนำไปผลิตเชื้อกระดาษซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากและสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงได้อีกด้วย และสำหรับไม้อูคาลิปตัสที่นำมาใช้งานวิจัยนี้เป็นไม้ในส่วนที่ไม่ได้ผ่านเกณฑ์ตามคุณภาพที่จะนำไปผลิตเชื้อกระดาษ

4. เทคโนโลยีการนำชีวมวลมาใช้ในรูปแบบต่างๆ

ในประเทศไทยและทั่วโลกนั้นมีการนำชีวมวลมาใช้ในรูปแบบต่างๆกันออกไปตามประโยชน์หรือวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ดังต่อไปนี้

4.1 การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง

การใช้ชีวมวลในการเผาไหม้โดยตรง (Direct Firing) เพื่อให้ได้พลังงานความร้อนมาใช้ประโยชน์ นับว่าเป็นการเปลี่ยนชีวมวลที่เป็นที่รู้จักกันดี ซึ่งนับว่าเป็นรูปแบบพลังงานที่มนุษย์

รู้จักใช้เป็นลำดับแรกๆ เนื่องจากตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์มนุษย์ได้อาศัยและเกี่ยวข้องกับป่า คือ ต้องพึ่งพาป่าในการดำรงชีวิต เช่น อาหาร ยา เครื่องนุ่งห่ม ก็ได้จากป่า นอกจากนี้มนุษย์ยังสามารถ นำไม้จากป่ามาทำเป็นฟืนเพื่อเป็นพลังงานในการให้ความอบอุ่นได้ด้วย โดยเป็นการใช้ไม้หรือหิน ในการเสียดสีกันเพื่อให้ได้แสงสว่างและใช้ในการประกอบอาหาร (สารานุกรมไทย, 2555)

4.2 การนำชีวมวลมาผลิตเป็นถ่าน

การนำชีวมวลมาทำเป็นถ่านก็ถือว่าเป็นวิธีการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงานขั้นพื้นฐานที่มนุษย์รู้จักกันดีเช่นกัน โดยสามารถนำเอากิ่งไม้หรือเศษไม้ที่ไม่ใช้แล้วมาทำการเผาให้กลายเป็นถ่านเพื่อเก็บไว้ใช้โดยถ่านไม้ คือ คาร์บอนนั่นเอง ซึ่งคาดว่ามนุษย์ยุคสมัยแรกๆ นั้นรู้จักถ่านจากการที่กิ่งไม้ใบไม้ในป่าถูกเผาไหม้กลายเป็นก้อนดำๆที่เราเรียกว่า “ถ่าน” แต่ในตอนนี้มนุษย์ยังไม่รู้วิธีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานจึงเพียงแต่นำมาเขียนภาพต่างๆตามผนังถ้ำ แต่ต่อมาชาวโรมันรู้จักการนำถ่านที่ได้นั้นมาใช้ประโยชน์ในการใช้เป็นเชื้อเพลิงและได้มีการใช้ถ่านมาจนถึงปัจจุบันนี้ สำหรับในปัจจุบันนี้ก็มีการใช้ถ่านกันอย่างแพร่หลาย นอกจากจะใช้เป็นเชื้อเพลิงแล้วยังสามารถช่วยดูดซับความชื้นและกลิ่นเหม็นต่างๆได้ด้วย เนื่องจากการผลิตถ่านที่มีการเผาที่มากกว่า 1,000 องศาเซลเซียส จะให้ถ่านที่มีความพรุนมากขึ้นนั่นเองจึงทำให้เกิดประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นและความชื้นได้อย่างดี (ชุมพล, 2554)

4.3 เชื้อเพลิงอัดแท่งหรือถ่านอัดแท่ง

เป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบของก้อน เช่น แกลบ ชานอ้อย มันสำปะหลัง เป็นต้น โดยขั้นตอนการทำคือจะนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ใส่เครื่องสับเพื่อสับให้ละเอียดแล้วนำวัสดุเหล่านี้มาผสมคลุกเคล้ากับตัวเชื่อมประสาน (Binder) ซึ่งอาจจะใช้แป้งมันหรือดิน ดังที่เคยทำกันตามชนบทในอดีตให้ได้สัดส่วนและมีความชื้นที่พอเหมาะนำไปอัดเป็นแท่ง หลังจากนั้นจึงนำไปตากแดดหรือเข้าตู้อบให้แห้งหรือนำไปเผาเป็นถ่านแท่งเชื้อเพลิงอัดชีวมวลที่ได้จะมีรูพรุนมากจึงมีพื้นที่ผิวสำหรับให้เผาไหม้มาก ทำให้จุดติดไฟได้ง่ายและให้ความร้อนสูง

4.4 แก๊สชีวภาพ (Biogas)

เป็นกระบวนการทางชีวภาพที่สามารถแปรรูปชีวมวลเป็นแก๊สเชื้อเพลิงอีกลักษณะหนึ่งที่สามารถทำได้โดยการนำมูลสัตว์ ขยะหรือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ ฟาร์มเลี้ยงสุกร เป็นต้น โดยนำของเหลือทิ้งหรือน้ำเสียเหล่านั้นมาหมักในสภาพที่ไม่มีอากาศ (Anaerobic Fermentation) ปล่อยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายชีวมวลหรือสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งจะทำได้แก๊สชีวภาพมีแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบระหว่างร้อยละ 50-60 โดยปริมาตร นอกนั้น ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ แก๊สชีวภาพเชื้อเพลิงได้ โดยมากมักจะมีการทำเป็นบ่อหมักที่มีขนาดแตกต่างกันไปแล้วจะใช้วัสดุประเภทพลาสติกหรือยางสังเคราะห์คลุมไว้ เมื่อมีการผลิตแก๊สมากผ้าที่คลุมไว้ก็จะพองขึ้นมีลักษณะเป็นโดม

4.5 แอลกอฮอล์

การผลิตเอธิลแอลกอฮอล์ถือเป็นอีกวิธีหนึ่งในการแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง โดยนำผลผลิตหรือผลพลอยได้จากการทำสีกรรมหรืออุตสาหกรรมเกษตร เช่น ข้าวโพด ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และกากน้ำตาล ซึ่งในประเทศไทยมีอยู่เป็นจำนวนมากมาใช้เป็นวัตถุดิบเอธิลแอลกอฮอล์ใช้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศเช่นเดียวกับการผลิตแก๊สชีวภาพ แต่ใช้ยีสต์ (Yeast) เป็นตัวย่อยสลายแป้งหรือน้ำตาลเพื่อเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ เอธิลแอลกอฮอล์สามารถนำไปผสมในเครื่องยนต์ นำไปใช้ทำยาฆ่าโรค นอกจากนี้เอธิลแอลกอฮอล์ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงด้วยตัวมันเองหรือนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเป็น “แก๊สโซฮอล์” เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ได้นับเป็นการเปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นพลังงานที่มีคุณค่าได้อย่างดี

4.6 เตาหุงต้มแบบอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง

เตาอั้งโล่เป็นอุปกรณ์สำคัญที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้พลังงานจากชีวมวลคนไทยคุ้นเคยกับเตาอั้งโล่มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน แม้จะมีการนำเตาแก๊สเข้ามาใช้ทดแทน แต่เตาอั้งโล่ก็ยังมิให้หั่นกันอยู่เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในชนบท จึงเป็นเหตุให้กระทรวงพลังงานได้นำเอาเตาหุงต้มที่ใช้กันทั่วไปหรือเรียกว่า “เตาอั้งโล่” มาพัฒนาเป็นเตาหุงต้มซูเปอร์อั้งโล่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและทันสมัยขึ้น โดยทำให้มีรูปทรงเพรียว น้ำหนักเบา สะดวกในการ

เคลื่อนย้าย และปากเตาเผาเอียง สามารถวางหม้อได้ถึง 9 ขนาด ตั้งแต่เบอร์ 16-32 ปรับปรุงให้ช่องใส่ถ่านมีขนาดพอเหมาะสำหรับการปรุงอาหาร เพื่อช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงมากเกินไปจนความจำเป็นส่วนขอบเตาเสมอกันโดยรอบ มีฉนวนกันความร้อนอย่างหนาอยู่ระหว่างตัวเตากับเปลือกเตา เพื่อลดการสูญเสีย ความร้อนไปยังอากาศภายนอกโดยเปล่าประโยชน์ รวมทั้งออกแบบและผลิตรูปร่างให้มีขนาดเล็ก และเร็ว เพื่อให้สามารถดูดอากาศได้ดี ช่วยให้ไฟติดง่ายและเร็ว เเผาไหม้สมบูรณ์ให้ความร้อนสูงอย่างต่อเนื่อง

4.7 เตาแก๊สชีวมวล

เป็นเตาที่พัฒนาขึ้นเพื่อการหุงต้มอาหารในครัวเรือน โดยใช้ชีวมวลประเภทเศษไม้ และเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง หลักการทำงานของเตาแก๊สชีวมวล คือ การเผาไหม้ที่จำกัดอากาศหรือกล่าวได้ว่าเป็นหลักการเดียวกับปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน โดยชีวมวลที่เป็นเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ในที่ที่จำกัดปริมาณอากาศให้เกิดความร้อนบางส่วนแล้วไปเร่งให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องอื่น ๆ เพื่อเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบหลักเป็นแก๊สติดไฟได้ ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สมีเทน (CH_4) เป็นต้น

4.8 แก๊สชีวมวลหรือแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthetic Gas or Syngas)

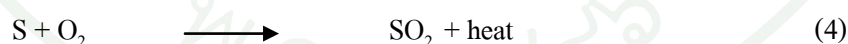
โดยการนำชีวมวลมาเผาไหม้ในอุปกรณ์ที่มีอากาศจำกัดซึ่งเรียกกระบวนการดังกล่าวว่ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เพื่อให้เกิดเป็นแก๊สเชื้อเพลิงแล้วนำแก๊สที่ได้ไปผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อกรองและขจัดสิ่งเจือปนหรือสิ่งที่ปนเปื้อนต่าง ๆ ออกก่อน โดยแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้มักเรียกว่า “แก๊สชีวมวล” หรือ “แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์” สามารถนำไปใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมหรือนำไปใช้ทดแทนแก๊สหุงต้มแอลพีจี (LPG) ในครัวเรือน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในได้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า

5. กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Process)

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันถือว่าเป็นเทคโนโลยีในการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่สะสมอยู่ในชีวมวลให้กลายเป็นพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจัดอยู่ในประเภทกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีการใช้ความร้อน (Thermochemical Conversion Process) ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยใช้ความร้อนนี้ก็ยังสามารถแยกออกมาได้อีก 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

5.1 กระบวนการเผาไหม้ (Combustion Process)

กระบวนการเผาไหม้เป็นกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลที่อยู่ในสถานะของแข็งให้เป็นพลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ กระบวนการเผาไหม้จะเกิดในสถานะที่มีออกซิเจนที่เพียงพอ (ในทางปฏิบัติจะต้องมีออกซิเจนมากเกินไปพอกระบวนการเผาไหม้จึงจะเกิดอย่างสมบูรณ์) โดยกระบวนการเผาไหม้จะมีปฏิกิริยาต่างๆเกิดขึ้นดังต่อไปนี้



ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้คือ พลังงานความร้อน และไอเสีย (Exhaust Gas) หรือแก๊สรวมที่เกิดจากปฏิกิริยา (4) – (5) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของไอเสียจัดเป็นแก๊สพิษที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในทางปฏิบัติควรมีการบำบัดหรือกำจัดแก๊สทั้งสองชนิดก่อนปล่อยไอเสียสู่บรรยากาศ

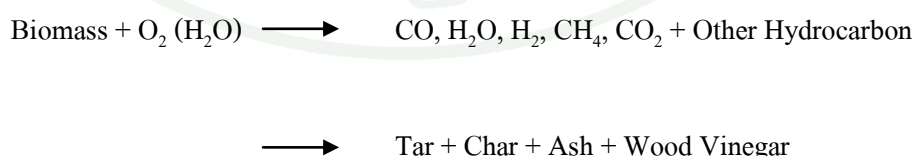
5.2 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process)

กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการกลั่นสลายสารอินทรีย์ โดยการให้ความร้อนแก่สารอินทรีย์เพื่อกลั่นสลายโมเลกุลของสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ให้แยกออกมาภายใต้สภาวะที่ไม่มีอากาศหรือออกซิเจน นอกจากน้ำมัน (สารระเหยที่ถูกควบแน่น) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักแล้วยังมีผลิตภัณฑ์รองทั้งส่วนที่เป็นของแข็งที่เรียกว่า ถ่าน (Char) และแก๊สเชื้อเพลิงที่เรียกว่าแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ และน้ำมันที่ได้นั้นจะเรียกว่า น้ำมันไพโรไลซิสหรือน้ำมันชีวภาพ (Bio-Oil) ที่มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลปนดำคล้ายน้ำมันดิบ กระบวนการไพโรไลซิสนี้สามารถควบคุมผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้ด้วยความต้องการผลิตภัณฑ์ในสถานะใดมากที่สุด ปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดชนิดและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา กระบวนการไพโรไลซิสแบบดั้งเดิมหรือแบบชานันทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิจนวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นมีอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้อยู่ในระบบเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง สารระเหยที่ถูกกลั่นสลายออกมาจะถูกควบแน่นกลายเป็นน้ำมัน สารระเหยส่วนที่ไม่สามารถควบแน่นได้ก็จะกลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิง และของแข็งส่วนที่เหลือจะกลายเป็นถ่าน และหากต้องการปริมาณถ่านมากขึ้นก็ต้องควบคุมให้อุณหภูมิต่ำและมีการให้ความร้อนอย่างช้าๆ (ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยานานเป็นชั่วโมง หรือเป็นวัน) ก็จะทำให้ได้ปริมาณถ่านมากขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์หลักเป็นถ่าน จึงมีการเรียกกระบวนการไพโรไลซิสแบบดั้งเดิม (แบบช้า) ว่าเป็นกระบวนการผลิตถ่าน (Carbonization)

กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) แตกต่างจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบดั้งเดิมที่อัตราการให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นหรือวัตถุดิบ และเวลาที่ใช้ในกระบวนการ โดยจะต้องทำให้สารตั้งต้นหรือวัตถุดิบมีอุณหภูมิสูงระหว่าง 400 – 500 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลาช่วง 0.5 – 2.0 วินาที ดังนั้นสารตั้งต้นหรือวัตถุดิบที่ใช้จะต้องมีขนาดเล็ก (0.5 – 3.0 มม.) และมีความชื้นต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก) นอกจากนี้จะต้องทำให้สารระเหยที่เกิดจากกระบวนการควบแน่นทันที ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นน้ำมันชีวภาพระหว่างร้อยละ 60-70 โดยน้ำหนัก นอกจากน้ำมันชีวภาพที่ได้เป็นหลักแล้วยังได้ถ่านชาร์ร้อยละ 15-25 และแก๊สเบาหรือสารระเหยที่ไม่ควบแน่นร้อยละ 10-20 แต่จะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของชีวมวล

5.3 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

ปัจจุบันแก๊สซิเคชันเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจในการผลิตพลังงานจากชีวมวลซึ่งให้ผลผลิตออกมาในรูปแก๊สเชื้อเพลิง ปฏิกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเรียกว่า แก๊สซิไฟเออร์ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิง โดยการทำให้อุณหภูมิเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลเผาไหม้ภายใต้สภาวะที่มีอากาศจำกัด (ประมาณ 1/3 ของปริมาณอากาศที่ใช้สำหรับการเผาไหม้ปกติ) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะมีทั้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักเรียกว่า ชาร์ (Char) หรือถ่านซึ่งสามารถนำไปแปรรูปต่อเพื่อเพิ่มมูลค่า เช่น การทำเป็นถ่านกัมมันต์ หรือนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานความร้อนสำหรับการหุงต้มในครัวเรือน หรือ ในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวนั้นจะประกอบไปด้วยน้ำและสารประกอบเคมีที่ละลายน้ำได้ (น้ำส้มควันไม้ หรือ Wood Vinegar) รวมทั้งน้ำมันดิน (Tar) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของน้ำมันชีวภาพปนออกมาด้วย โดยองค์ประกอบน้ำมันดินนั้นจะประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอนตั้งแต่ C₅-C₄₀ (Devi *et al.*, 2005) น้ำมันดินจะปนอยู่ในผลิตภัณฑ์ทั้งในส่วนที่เป็นของเหลว และแก๊ส น้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สมีผลต่อการนำแก๊สไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหากมีการนำไปใช้จำเป็นต้องกำจัดน้ำมันดินหรือทำความสะอาดก่อน ผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นแก๊สจะประกอบด้วยแก๊ส ไฮโดรเจน (H₂) แก๊ส คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) รวมกันประมาณร้อยละ 40 และ แก๊สมีเทนน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตรของแก๊สที่เป็นผลผลิตตามลำดับ แก๊สที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่สันดาปภายในหรือนำไปใช้ให้ความร้อนโดยตรงก็ได้ ซึ่งกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนชีวมวลให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ได้ดังสมการที่แสดงต่อไปนี้ (Li and Suzuki, 2009)



ในส่วนของผลพลอยได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เช่น แก๊สของชีวมวลสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ เนื่องจากแก๊สของชีวมวลนั้นมีสภาพเป็นด่างจึงนำไปปรับสภาพดินที่เป็นกรดได้ แต่ในกรณีที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นไม่สามารถนำแก๊สไปใช้ประโยชน์ได้ เพราะแก๊สจะมี

การปนเปื้อนกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโลหะปะปนอยู่ซึ่งในกรณีนี้ควรนำไปทำการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Security Landfill) และนอกจากนี้ยังมีน้ำส้มควันไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ เช่น นำไปผสมทำเป็นปุ๋ย ยาฆ่าแมลง เป็นต้น

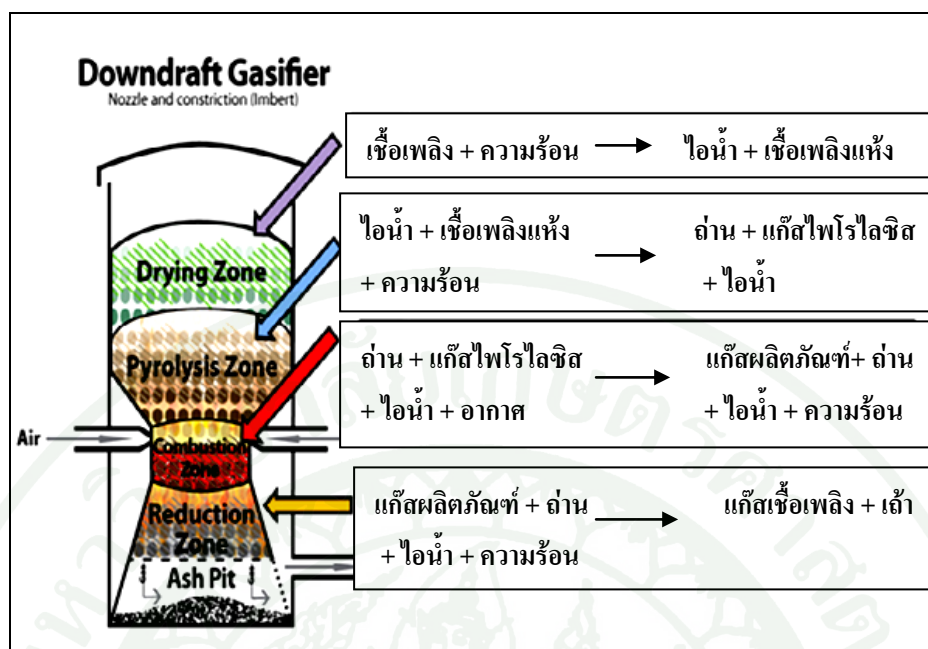
5.3.1 โซนต่างๆของการเกิดแก๊สชีวมนั้นจะมีการทำปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งแต่ละบริเวณจะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิของบริเวณนั้นๆ โดยจะแบ่งเป็น 4 โซน ดังนี้

5.3.1.1 โซนอบแห้ง (Drying Zone) เป็นขั้นตอนแรกของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวล อุณหภูมิในโซนนี้จะอยู่ในระหว่าง 100-135 องศาเซลเซียส ความชื้นของชีวมวลจะถูกระเหยออกไปเป็นส่วนใหญ่

5.3.1.2 โซนกลั่นสลาย (Pyrolysis Zone) อุณหภูมิในโซนนี้จะอยู่ในระหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส โครงสร้างของเชื้อเพลิงจะถูกสลายโดยความร้อนได้ผลผลิตที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมันดินและสารระเหยอื่นๆ และแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลบางส่วนจะเกิดขึ้นในปฏิกิริยานี้

5.3.1.3 โซนเผาไหม้ (Combustion Zone) หรือเรียกอีกอย่างว่า โซนออกซิเดชัน (Oxidation Zone) โดยอุณหภูมิจะอยู่ระหว่าง 900-1,200 องศาเซลเซียส อากาศจะถูกส่งผ่านเข้ามาในบริเวณนี้สัมผัสกับเชื้อเพลิงทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

5.3.1.4 โซนรีดักชัน (Reduction Zone) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลอุณหภูมิในโซนนี้จะอยู่ในระหว่าง 600-700 องศาเซลเซียส เกิดแก๊สเชื้อเพลิงได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H_2) และมีเทน (CH_4) (เขาวี, 2553) ซึ่งบริเวณโซนต่างๆของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะได้ผลิตภัณฑ์ ดังภาพที่ 1



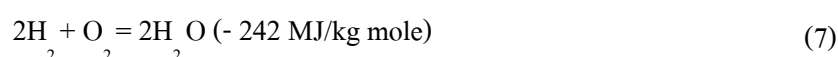
ภาพที่ 1 บริเวณโซนต่างๆและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

ที่มา: วิบูลย์ (2555)

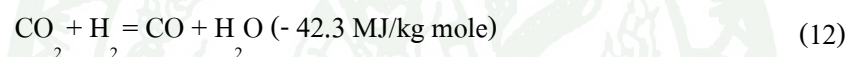
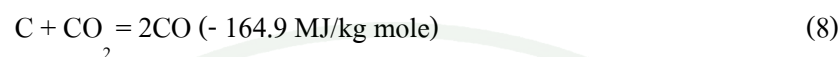
5.4 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

ปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนั้นจะเกิดอยู่ 2 โซนหลักๆ คือ โซนเผาไหม้ (Combustion Zone) และ โซนรีดักชัน (Reduction Zone)

โซนการเผาไหม้ (Combustion Zone) นั้นเมื่อเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงก็จะได้ธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะได้คาร์บอนไดออกไซด์จากคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุดิบ และได้ น้ำจากไฮโดรเจนที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุดิบเช่นกันแต่จะมักจะเป็นในรูปของไอน้ำ โดยโซนการเผาไหม้นี้จะเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (Exothermic) ซึ่งแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้



โซนรีดักชัน (Reduction Zone) พบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในโซนการเผาไหม้นั้นเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเพียงบางส่วนเท่านั้น (ที่ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ) ส่วนที่เหลือจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปในโซนของรีดักชันซึ่งแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้



โดยปฏิกิริยาที่ (8) และ (9) ถือว่าเป็นปฏิกิริยาหลักของโซนรีดักชันและมีความสามารถในการดูดความร้อน (Endothermic) โดยการลดอุณหภูมิที่เกิดแก่สผลิตภัณฑ์ลง โดยอุณหภูมิที่อยู่ในโซนนี้ในระดับปกติจะอยู่ที่ 800-1,000 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเกิดปฏิกิริยาการดูดความร้อนขึ้นก็จะทำให้อุณหภูมิในโซนนี้ลดลง (ประมาณ 700-800 องศาเซลเซียส)

5.4 การใช้แก๊สซิฟิเคชันในการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานมีข้อดีข้อเสียดังนี้

5.4.1 ข้อดี

5.4.1.1 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า 15-17% (วารสารนโยบายพลังงาน, 2546)

5.4.1.2 ราคาลงทุนไม่สูงมากและดูแลบำรุงรักษาได้ง่าย

5.4.1.3 เหมาะสมกับโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่น ระดับชุมชน

5.4.2 ข้อเสีย

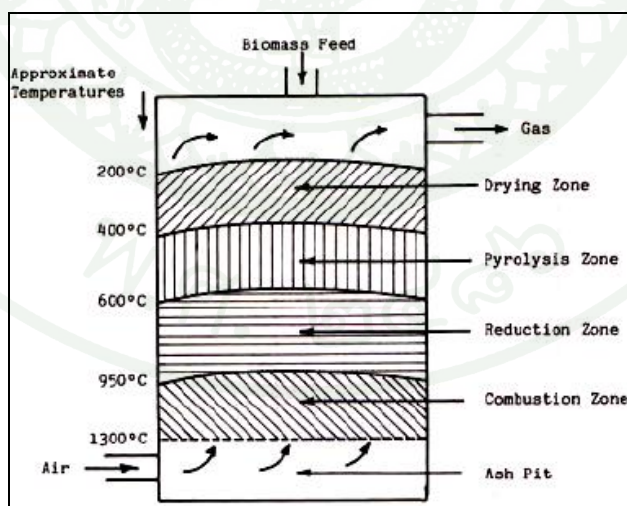
หากอุณหภูมิไม่สูงพอก็จะทำให้เกิดน้ำมันดินได้ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ และคุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้

5.5 ชนิดของแก๊สซิฟิเคเตอร์ที่พบในปัจจุบัน

แก๊สซิฟิเคเตอร์ที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเป็นแบบเชื้อเพลิงอยู่นิ่งกับที่ (Fixed Bed) ซึ่งขนาดของเชื้อเพลิงจะค่อนข้างใหญ่และหนักทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ การแบ่งชนิดของแก๊สซิฟิเคเตอร์แบบเบดนิ่งใช้วิธีแบ่งตามทิศทางการไหลของแก๊สผลิตภัณฑ์ได้ดังต่อไปนี้

5.5.1 ปฏิกรณ์ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบแก๊สไหลขึ้น (Updraft Gasifier)

เป็นแก๊สซิฟิเคเตอร์ชนิดหนึ่งโดยการทำงานของเครื่องนี้จะมีการปล่อยอากาศเข้าทางด้านล่างให้ไหลผ่านขึ้นมาจากด้านบนผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในโซนต่างๆและให้แก๊สผลิตภัณฑ์ออกมาทางด้านบน (ดังภาพที่ 2)

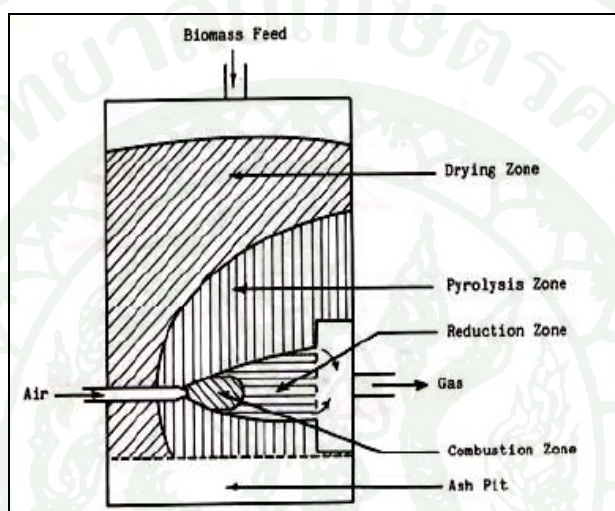


ภาพที่ 2 แก๊สซิฟิเคเตอร์แบบแก๊สไหลขึ้น

ที่มา: Rajvashi (1986)

5.5.2 ปฏิกรณ์ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลเข้าด้านข้าง (Crossdraft Gasifier)

แก๊สซิไฟเออร์ชนิดนี้จะต่างกับชนิดแรกที่เราได้กล่าวมาแล้ว คือ ช่องทางที่ใช้ในการป้อนอากาศเพื่อเข้าทำปฏิกิริยานั้นจะเป็นการป้อนอากาศเข้าทางด้านข้างของเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งจะมีการป้อนวัตถุดิบจากด้านบนและแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะออกทางด้านข้าง (ดังภาพที่ 3)

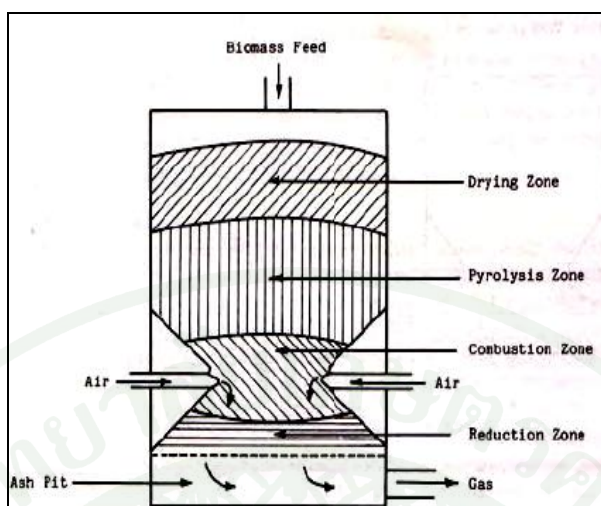


ภาพที่ 3 แก๊สซิไฟเออร์แบบแก๊สไหลด้านข้าง

ที่มา: Rajvashi (1986)

5.5.3 ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier Co-Current Gasifier)

แก๊สซิไฟเออร์ชนิดนี้จะเป็นการป้อนอากาศจากทางด้านบนในส่วนโซนการเผาไหม้ (Combustion Zone) ให้ไหลลงทางด้านล่างผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในโซนต่างๆ โดยจะป้อนวัตถุดิบทางด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์และได้แก๊สผลิตภัณฑ์ออกมาทางด้านล่าง (ดังภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 แก๊สซิไฟเออร์แบบแก๊สไหลลงทางเดียวกัน

ที่มา: Rajvashi (1986)

5.6 ข้อดีข้อเสียของแก๊สซิไฟเออร์แต่ละชนิด

เนื่องจากการเลือกใช้แก๊สซิไฟเออร์แต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป (ดังตารางที่ 2) ดังนั้นการนำไปใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

ตารางที่ 2 ข้อดีข้อเสียของแก๊สซิฟิเคชันแต่ละชนิด

ชนิดแก๊สซิฟิเคชัน	ข้อดี	ข้อเสีย (ข้อจำกัด)
แบบแก๊สไหลขึ้น (Updraft gasifier)	- ความดันค่อนข้างคงที่ - มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดี - มีแนวโน้มการเกิดตะกรันที่ต่ำ	- มีปริมาณทาร์ที่มาก - ใช้เวลาค่อนข้างนานในการเริ่มต้นกระบวนการในปฏิกรณ์ - มีความสามารถในการรับภาระการผลิตต่ำ
แบบแก๊สไหลลง (Downdraft gasifier)	- มีความสามารถในการรองรับภาระในการผลิตแก๊สผลิตภัณฑ์สูง - เกิดปริมาณเถ้าที่น้อยรวมทั้งแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างสะอาด เพราะมีทาร์น้อย	- ปฏิกรณ์มีขนาดค่อนข้างใหญ่ - ไม่เหมาะสำหรับวัตถุดิบ/เชื้อเพลิงขนาดเล็ก
แบบแก๊สไหลด้านข้าง (Crossdraft gasifier)	- มีขนาดไม่ใหญ่มาก - มีความสามารถในการรับภาระการผลิตแก๊สผลิตภัณฑ์สูง	- เกิดตะกรันค่อนข้างมาก - ใช้แรงดันค่อนข้างสูง

ที่มา: Rajvanshi (1986)

โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลงซึ่งแก๊สซิฟิเคชันในทางสิ่งแวดล้อมจัดว่าอยู่ในมิติเทคโนโลยีประเภทฮาร์ดแวร์ (Hardware) ส่วนองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาน้ำมันดินนั้นจัดว่าอยู่ในมิติเทคโนโลยีประเภทซอฟต์แวร์ (Software)

6. แก๊สชีฟเฟอร์แบบแก๊สไหลลง

คุณสมบัติและข้อจำกัดของระบบแก๊สชีฟเฟอร์แบบแก๊สไหลลง Downdraft Gasifier ที่เด่นๆ คือ ชีวมวลที่นำมาใช้ต้องมีความชื้นต่ำ (ประมาณน้อยกว่าร้อยละ 15-20) ปริมาณเถ้าชีวมวลหลังการเกิดปฏิกิริยาจะมีปริมาณต่ำ และแก๊สชีวมวลที่ได้ค่อนข้างสะอาด มีการปนเปื้อนของน้ำมันดินน้อยกว่าแก๊สที่ผลิตด้วยปฏิกิริยาแบบอื่น จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์สันดาปภายในได้ ลักษณะและคุณสมบัติของชีวมวลที่นำมาใช้ในระบบแก๊สชีฟเฟอร์แบบแก๊สไหลลง (ดังตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ลักษณะและสมบัติของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบ Downdraft Gasifier

สมบัติ/ลักษณะ	Downdraft Gasifier
ขนาดของชีวมวล (มม.)	20 - 100
ความชื้น (ร้อยละ)	<15 - 20
องค์ประกอบเถ้า (ร้อยละ)	<5
ความหนาแน่นของชีวมวลที่ใช้ได้(กก./ลบ.ม.)	>500
อุณหภูมิหลอมเหลวของเถ้า (องศาเซลเซียส)	>1,250
ปริมาณน้ำมันดินปะปนในแก๊สก่อนผ่านกระบวนการทำความ สะอาด)*(กรัม/ลบ.ม.-แก๊ส)	0 - 1

หมายเหตุ * คุณสมบัติของแก๊สชีวมวลที่สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในจะต้องมีน้ำมันดินปนเปื้อนไม่เกินกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลบ.ม.-แก๊ส (0.005 กรัมต่อลบ.ม.-แก๊ส)

เทคโนโลยีในการกำจัดหรือลดน้ำมันดินด้วยแก๊สร้อนของระบบแก๊สชีฟเฟอร์ถือว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจมากเพื่อให้ได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพและคุณภาพดี โดยได้นำเศษไม้หรือจี้เลื่อยมาเป็นวัตถุดิบโดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 0.005 MJ/kg และอุณหภูมิที่ 839 องศาเซลเซียส ได้

ปริมาณของไฮโดรเจนร้อยละ 9.27 คาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 9.25 และมีเทนร้อยละ 4.2 ซึ่งสามารถลดปริมาณน้ำมันดินได้ต่ำกว่า 10 mg/Nm^3 (Cao *et al.*, 2006) นอกจากนี้ข้อดีของการใช้แก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน คือ ลดปริมาณการใช้น้ำมันทำให้ช่วยลดภาวะโลกร้อนลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศได้และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และสำหรับประเทศจีนนั้นก็ให้ความสำคัญกับการนำชีวมวลมาผลิตเป็นแก๊สเชื้อเพลิงโดยระบบแก๊สซิฟิเคชันหรือกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเช่นกัน โดย Zang *et al.* (2010) ได้นำสาหร่ายที่ได้มาจากปรากฏการณ์ Eutrophication มาอบแห้งและนำไปเป็นวัตถุดิบ ในการทดลองมีการใช้ไอน้ำ ในอัตราการป้อนเท่ากับ 0.178 g/min เข้าในกระบวนการด้วยโดยมีการใช้วัตถุดิบในขนาดต่างๆต่อไปนี้ คือ < 0.15 , $0.15-0.30$, $0.30-0.45$, $0.45-0.90$ และ $0.90-3.00 \text{ mm}$ และใช้ระยะเวลา (Residence Time, RT) 3, 6, 9, 12 และ 15 นาที ส่วนอุณหภูมิที่ใช้คือ $600-850$ องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส โดยใช้ RT 15 นาที ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สสูงที่สุด คือ ร้อยละ 98.82 โดยได้ผลิตผลไฮโดรเจน (Hydrogen Yield) เท่ากับ $124.61 \text{ mol H}_2/\text{kg biomass}$ ที่ขนาดชีวมวลเท่ากับ $0.45-0.90 \text{ mm}$ และได้มีการนำแก๊สเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป นอกจากนี้แก๊สชีวมวลที่ผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรก็สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งพืชผลทางการเกษตรได้ด้วย แก๊สที่ผลิตได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะมีองค์ประกอบต่างกันไปตามชนิดของชีวมวลหรือวัตถุดิบที่ใช้ (ดังตารางที่ 4) แสดงชนิดของชีวมวลปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สชีวมวลและเถ้าที่เหลือจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลด้วยปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลง

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแหล่งชีวมวลที่ต่างกัน

วัตถุดิบ	ชนิด แก๊สซิฟิเคเตอร์	CO (% vol)	H ₂ (%vol)	CH ₄ (%vol)	ค่าความร้อน (MJ/m ³)
ถ่าน	แบบแก๊สไหลลง	28-31	5-10	1-2	4.60-5.66
ไม้ (ความชื้น 12-20%)	แบบแก๊สไหลลง	17-22	16-20	2-3	5.00-5.86
ฟางข้าว	แบบแก๊สไหลลง	14-17	17-19	-	4.50
เปลือกมะพร้าว	แบบแก๊สไหลลง	16-20	17-19.5	-	5.80
กะลามะพร้าว	แบบแก๊สไหลลง	19-24	10-15	-	7.20
ขานอ้อย	แบบแก๊สไหลลง	15-18	15-18	-	5.30
ซังข้าวโพด	แบบแก๊สไหลลง	30	19.7	-	5.98
แกลบ	แบบแก๊สไหลลง	16.1	9.6	0.95	3.25
ต้นนุ่น	แบบแก๊สไหลลง	15.7	11.7	3.4	4.32

ที่มา: Rajvanshi (1986)

เครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากระบบแก๊สซิฟิเคเตอร์ชนิดแก๊สไหลลง (Downdraft Gasifier) ที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาด 6.5 แรงม้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2.2 กิโลวัตต์ มีการทำงานเป็นแบบ Batch (3 – 4 ชั่วโมง) สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1 กิโลวัตต์ และสูบน้ำได้ในอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง 3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 40 แอมแปร์-ชั่วโมง แก๊สไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์มีปริมาณ CO₂ ต่ำ ประสิทธิภาพร้อยละ 2.83 ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบร้อยละ 10 (ศุภวิทย์, 2549) และนิตยา (2551) ทำการศึกษาการเผาไหม้ของแก๊สชีวมวลที่ผลิตจากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวลในเครื่องยนต์สันดาปภายในพบว่า ในภาระการทำงานที่เท่ากันเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 91 จะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาประมาณร้อยละ 8-9 แต่เครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สชีวมวลจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเพียงร้อยละ 2.38 ซึ่งจะช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ใน

อากาศที่จะทำให้เกิดปัญหาโลกร้อนได้ และเมื่อทำการทดลองใช้แก๊สชีวมวลกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็กที่มีความจุ 196 ซีซี 6.5 แรงม้า สามารถผลิตไฟฟ้าได้ถึง 1 กิโลวัตต์ และทำงานได้ต่อเนื่อง 3-4 ชั่วโมง โดยใช้ไม้ 4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งข้อดีของการใช้แก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน คือ ลดปริมาณการใช้น้ำมันทำให้ช่วยลดภาวะโลกร้อนลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศได้ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร นอกจากนี้ แก๊สชีวมวลที่ผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรก็สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งพืชผลทางการเกษตรได้ด้วย และการใช้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในการเปลี่ยนชีวมวลให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้นจำเป็นต้องพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในการบอกถึงคุณลักษณะของแก๊สเชื้อเพลิงที่ดี เช่น ความชื้น ผุ่น เถ้า และน้ำมันดิน ประกอบด้วยเพื่อประสิทธิภาพในการทำงานและผลผลิตที่ต้องการ

7. พารามิเตอร์ที่สำคัญต่อลักษณะของแก๊สเชื้อเพลิงจากแก๊สซิฟิเคชัน

ลักษณะของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่ได้นั้นควรมีลักษณะอย่างไรถึงจะเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับพัฒนาไปเป็นแหล่งผลิตพลังงานทดแทน

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนั้นสามารถทำได้หลายระดับตั้งแต่ขนาดเล็กในระดับในห้องปฏิบัติการจนถึงขนาดใหญ่ในระดับอุตสาหกรรม แต่การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในระดับอุตสาหกรรมต้องมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และเป็นกระบวนการผลิตที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการด้านปริมาณ และคุณภาพของผู้ประกอบการซึ่งมีเป้าหมายในการพัฒนาให้เป็นการผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ นอกจากค่าความร้อนซึ่งเป็นปัจจัยหรือตัวแปรที่ใช้พิจารณาคูณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแล้วยังมีตัวแปรอื่นๆดังต่อไปนี้

7.1 ความชื้น

แก๊สเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูง เมื่อนำไปใช้เผาไหม้เพื่อผลิตพลังงานความร้อน จะเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อน เนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในการระเหยน้ำที่มีอยู่ในแก๊ส

ดังนั้นเพื่อให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนสูงขึ้น จึงควรลดปริมาณความชื้นของแก๊สเชื้อเพลิงให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 20 โดยปริมาตร

7.2 ฟูน

ฟูนก็นับว่าเป็นปัญหาหรืออุปสรรคสำคัญในการใช้ประโยชน์จากแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตด้วยแก๊สซิฟิเคชัน เนื่องจากฟูนจะเข้าไปอุดตันในส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ ดังนั้นแก๊สเชื้อเพลิงที่นำไปใช้งานกับเครื่องยนต์สันดาปภายในจึงจำเป็นต้องมีการจำกัดปริมาณฟูนที่ปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงให้เหลือไม่เกิน 0.5 g/m^3 (Rajvanshi, 1986) ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้ตัวกรองเพื่อดักจับฟูนก่อนนำแก๊สไปใช้งานเพื่อประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น

7.3 เถ้า

หลังจากการเผาไหม้จะเหลือส่วนที่เป็นของแข็ง เรียกว่า เถ้า โดยปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงนั้นจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานด้วย คือ ถ้าเถ้าอยู่ในรูปของตะกอนก็จะไปหยุดหรือยับยั้งการทำงานการไหลของชีวมวลหรืออีกกรณีหนึ่งมีลักษณะเหมือนเม็ดยุงจะทำให้การทำปฏิกิริยาหรือการจุดติดของเชื้อเพลิงนั้นเกิดได้ยากขึ้น

7.4 น้ำมันดิน

น้ำมันดินหรือทาร์นั้นจัดว่าเป็นองค์ประกอบหลักที่ไม่พึงประสงค์สำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน น้ำมันดินจะเกิดในบริเวณโซนไพโรไลซิสซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน น้ำมันดินจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำและมีความหนืดค่อนข้างสูงมาก ซึ่งน้ำมันดินจะฟอร์มตัวในช่วงที่อุณหภูมิต่ำๆ โดยปกติจะพบว่าระบบแก๊สซิฟิเคชันประเภทแก๊สไหลลง (Downdraft Gasifier) นั้นจะให้ปริมาณน้ำมันดินออกมาน้อยกว่าแก๊สซิฟิเคชันประเภทอื่นๆ น้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สก่อให้เกิดปัญหาในการนำแก๊สไปใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยเฉพาะกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน น้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สจะจับตามส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ เมื่อมีการสะสมเป็นเวลานานอาจเกิดปัญหาอุดตันภายในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ น้ำมันดินที่มีความเป็นกรดจะกัดกร่อนเครื่องยนต์ แก๊สชีวมวลที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในควรมีน้ำมันดินปนเปื้อนไม่เกิน 0.005 กรัม.ต่อลบม. (FAO, 1986)

ในบรรดาตัวแปรที่กล่าวถึงข้างต้นน้ำมันดินและเถาถือเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการพัฒนากระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับภาคอุตสาหกรรมการผลิตและภาคการขนส่งมากที่สุด อย่างไรก็ตามการจัดการตัวแปรทั้ง 4 ตัวนั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการนำแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลไปใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับการพัฒนาระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งปริมาณน้ำมันดินและเถาที่ได้นั้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดชีวมวลที่ใช้ (ดังตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำมันดินและเถาที่ได้จากการใช้แหล่งชีวมวลที่ต่างกัน

แหล่งชีวมวล	ปริมาณน้ำมันดิน g/m ³	ปริมาณเถา %	ชนิดแก๊สซีไฟเออร์
Alfalfa straw	2.33	6	downdraft
Bean straw	1.97	10.2	downdraft
Barley straw (75% straw; 25% corn fodder and 6% orza binder)	0	10.3	downdraft
Coconut shell	3	0.8	downdraft
Corn cobs	7.24	1.5	downdraft
Cotton stalks	5	17.2	downdraft
Rice hulls	4.32	14.9	downdraft
Safflower	0.88	6.0	downdraft
Walnut shell	6.24	1.1	downdraft
Wood blocks	3.24	0.2	downdraft
Wood chips	6.24	6.26	downdraft

ที่มา: Rajvanshi (1986)

8. น้ำมันดินปัญหาหลักของแก๊สซิฟิเคชัน

ปัญหาส่วนใหญ่ที่สำคัญและพบในแก๊สซิฟิเคชัน คือ การเกิดน้ำมันดินขึ้นในกระบวนการ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพและประสิทธิภาพของผลผลิตที่เกิดขึ้นนั้นจะต่ำลง ซึ่งลักษณะของน้ำมันดินนั้นเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูงและมีฤทธิ์กัดกร่อน โดยทั่วไปน้ำมันดินมีสีน้ำตาลเข้ม ถึงดำองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดินนั้นประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอนที่เป็นวงจำนวนมากมีตั้งแต่ 1 วงถึง 5 วงอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเบนซีน แต่สมบัติของน้ำมันดินจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สัดส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอนลดลงทำให้น้ำมันดินเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปจาก Highly Oxygenate Pyrostate ไปเป็น Condense Aromatic หมายความว่าในสถานะที่อุณหภูมิสูงขึ้นนั้นจะทำให้ Complex Phenolics Furans หายไปและทำให้ Aromatic มีความคงตัวมากขึ้น (อาภาณี, 2538)

ในทางสิ่งแวดล้อมถือว่าจำเป็นต้องมีการควบคุมน้ำมันดิน (ดังภาพที่ 5) ที่เกิดจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันก่อนที่จะนำแก๊สผลิตภัณฑ์ไปใช้ประโยชน์ต่อไป เนื่องจากว่าหากมีการนำแก๊สผลิตภัณฑ์ที่มีการปนเปื้อนน้ำมันดินไปใช้นั้นจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อโครงสร้างหรือองค์ประกอบของเครื่องยนต์และส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์จนไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้



ภาพที่ 5 การใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเพื่อควบคุมน้ำมันดิน

ที่มา: เกษม (2551)

9. วิธีการกำจัดน้ำมันดิน

ทางสิ่งแวดล้อมน้ำมันดินถือว่าอยู่ในมิติมลพิษหรือของเสียจึงจำเป็นต้องกำจัดหรือบำบัดให้เหลือน้อยที่สุดก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เนื่องจากแนวโน้มการใช้พลังงานทดแทนจากชีวมวลโดยการแปรรูปชีวมวลเป็นแก๊สเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันมีเพิ่มมากขึ้น และนับว่าน้ำมันดินเป็นอุปสรรคที่สำคัญของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งน้ำมันดินมักจะพอร์มตัวกันได้ในอุณหภูมิที่ต่ำๆ ดังนั้นหากสามารถลดน้ำมันดินที่เกิดขึ้นได้จากกระบวนการก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีศักยภาพที่ดีและสามารถพัฒนาทางเศรษฐกิจต่อไปได้อย่างดีอีกด้วย (Attria, 2006) โดยวิธีการกำจัดน้ำมันดินมีอยู่หลากหลายวิธีสำหรับในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการกำจัดน้ำมันดินขั้นต้น คือ การกำจัดน้ำมันดินก่อนที่เกิดขึ้นและปนเปื้อนไปในแก๊สผลิตภัณฑ์ เช่น การปรับอัตราการป้อนอากาศ เป็นต้น และส่วนที่สอง คือ การกำจัดน้ำมันดินหลังจากน้ำมันดินเกิดขึ้นและปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์แล้ว เช่น การใช้ไอน้ำ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และการใช้ความร้อน เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีก็มีงานวิจัยต่างๆการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อกำจัดน้ำมันดินโดยได้ผลแตกต่างกันไป ดังต่อไปนี้

9.1 การปรับอัตราการป้อนอากาศ

การปรับอัตราการป้อนอากาศเป็นวิธีในการกำจัดหรือบำบัดน้ำมันดินในขั้นต้นเนื่องจากว่าได้มีการควบคุมอัตราการป้อนอากาศเพื่อลดปริมาณน้ำมันดินที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการลง โดยไม่ได้มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือความร้อนเข้าช่วย โดยจากงานวิจัยของ Sheth and Babu (2009) พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจะเป็นการเพิ่มออกซิเจนทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ในกระบวนการเกิดได้ดียิ่งขึ้น และในงานวิจัยของ Saravanakumar *et al.* (2007) พบว่าอัตราการผลิตแก๊สเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการป้อนอากาศเพิ่มขึ้นหรือกล่าวได้ว่าอัตราการป้อนอากาศที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดออกซิเจนหรือปฏิกิริยาออกซิเดชันในโซนการเผาไหม้ดี ซึ่งเป็นเหตุให้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสามารถเปลี่ยนชีวมวลให้กลายเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ได้มาก

9.2 การกำจัดน้ำมันดินโดยวิธีรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ (Steam Reforming)

การรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำจัดว่าเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีหนึ่งในการผลิตไฮโดรเจน โดยหลักการทำงานของกระบวนการ คือ การป้อนไอน้ำเข้าสู่ระบบเพื่อทำ

ปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในสถานะแก๊ส โดยไฮโดรเจนจะถูกดึงออกจากรีดิวซ์และไฮโดรคาร์บอนเป็นแก๊สไฮโดรเจน ส่วนออกซิเจนที่เหลือจากน้ำและคาร์บอนที่เหลือจากไฮโดรคาร์บอนจะรวมตัวกันเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (ไพศาล, 2550) โดยจากงานวิจัยของ Luo *et al.* (2009) ได้ทำการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลงโดยมีการใช้ไอน้ำและความร้อนเข้าช่วยเพื่อให้ได้แก๊สเชื้อเพลิงในปริมาณมากสะอาดและช่วยลดน้ำมันดินที่เกิดขึ้นด้วย ซึ่งได้ทำการทดลองโดยใช้อุณหภูมิต่างๆกัน คือ 600, 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B) ที่ใช้คือ 0, 0.73, 1.43, 2.10 และ 2.80 ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้คือ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B) เท่ากับ 1.43 ทำให้ได้แก๊สเชื้อเพลิงมากที่สุดและการลดปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นได้เท่ากับ $2.53 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1}$ และร้อยละ 92.59 ตามลำดับ แต่ถ้าต้องการปริมาณไฮโดรเจนมากที่สุดจะต้องใช้อัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวลเท่ากับ 2.10 ส่วนอุณหภูมิ คือ 900 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Pfeifer and Hofbauer (2008) ได้นำชีวมวลมาสับย่อยให้มีขนาดเล็กก่อนนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแก๊สเชื้อเพลิงและใช้ไอน้ำในการเร่งปฏิกิริยาด้วย อุณหภูมิที่ใช้ คือ 750, 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส และจากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นถูกย่อยสลายไปจนเกือบหมดและช่วยเพิ่มผลผลิตของแก๊สเชื้อเพลิงด้วย

ยังมีงานวิจัยของ Lv *et al.* (2007) ที่ได้ใช้ไอน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเช่นกันซึ่งได้มีการนำไม้สนมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลในแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลง และนอกเหนือจากไอน้ำยังมีการใช้อากาศเข้าช่วยเร่งปฏิกิริยาด้วย โดยกำหนดปริมาณไอน้ำที่ใช้ดังนี้ คือ 3.04, 3.35, 3.61, 3.81 และ 4.14 kg/h และอัตราส่วนไอน้ำต่อชีวมวล (S/B) ที่ใช้เท่ากับ 0.62 ส่วนอากาศที่ใช้เป็นดังนี้ 11.52, 12.20, 12.90, 13.55 และ 14.55 Nm^3/h พบว่าการใช้ไอน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลิตผลไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นซึ่งได้เท่ากับ $45.16 \text{ gH}_2/\text{kgbiomass}$ และปริมาณของไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์เท่ากับร้อยละ 63.27-72.56 คิดเป็นอัตราส่วนได้เท่ากับ 0.7-0.9 ส่วนการใช้อากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ปริมาณไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับร้อยละ 52.19-63.31 คิดเป็นอัตราส่วนได้เท่ากับ 1.06 - 1.27 ซึ่งจากผลทั้งหมดนี้สรุปได้ว่าการใช้ไอน้ำเข้าช่วยเร่งปฏิกิริยาทำให้ผลิตผลไฮโดรเจนสูงขึ้นมากกว่าใช้อากาศ

9.3 การกำจัดน้ำมันดินโดยวิธีการใช้ความร้อน (Thermal Cracking)

เป็นการแตกสลายสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ คือ โมเลกุลของน้ำมันดิน ด้วยความร้อนให้กลายเป็นโมเลกุลของแก๊สที่มีขนาดเล็กกว่า อุณหภูมิที่พบว่าสามารถกำจัดน้ำมันดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ตั้งแต่ 900 องศาเซลเซียส โดยงานวิจัยของ Han and Kim (2008) กล่าวถึงการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ในปฏิกรณ์แก๊สซิไฟเออร์ โดยมุ่งเน้นที่จะลดปริมาณน้ำมันดิน พร้อมทั้งต้องการเพิ่มผลผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วย ซึ่งในการทดลองได้ใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 900-1,250 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าอุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณน้ำมันดินลงได้ร้อยละ 98-99 โดยปริมาตร แต่อัตราส่วนอากาศต่อชีวมวลที่ใช้ต้องไม่เกิน 0.5 ในการทดลองของ Li and Suzuki (2009) ที่ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบน้ำมันดินโดยมีการใช้อุณหภูมิช่วยในกระบวนการระหว่างอุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูงใน Gasifier ดังนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือ การทำแก๊สซิฟิเคชันในบรรยากาศไอน้ำโดยทั่วไป (700-800 องศาเซลเซียส) องค์ประกอบของน้ำมันดินที่ได้เป็นพวก naphthalenes, acenaphthylenes, fluorenes, phenanthrenes, benzaldehydes, phenols, naphthofurans และ benzantracenes เป็นต้น ในส่วนที่สอง คือ การทำแก๊สซิฟิเคชันที่อุณหภูมิสูง (900 – 1,000 องศาเซลเซียส) องค์ประกอบของน้ำมันดินที่ได้เป็นพวก naphthalene, acenaphthylene, phenanthrene, fluoranthene, pyrene, acephenanthrylene, benzantracenes, benzopyrenes, 226 MW PAHs และ 276 MW PAHs

นอกจากนี้ Li and Suzuki (2009) ก็ยังได้ทำการทดลองต่อไปอีกเกี่ยวกับน้ำมันดิน โดยการใช้ไอน้ำและออกซิเจนในกระบวนการของระบบแก๊สซิฟิเคชันที่อุณหภูมิต่างๆทำให้ได้ปริมาณน้ำมันดินที่แตกต่างกันดังนี้ โดยได้มีการเติมไอน้ำ (Steam – Blown) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีน้ำมันดินเกิดขึ้นร้อยละ 15 โดยปริมาตร ถ้าใช้อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส มีน้ำมันดินเกิดขึ้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร และได้มีการทดลองเติมออกซิเจน (Oxygen – Blown) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส มีน้ำมันดินเกิดขึ้นร้อยละ 4.3 โดยปริมาตร ถ้าใช้อุณหภูมิ 810 องศาเซลเซียส มีน้ำมันดินเกิดขึ้นร้อยละ 1.5 โดยปริมาตร และในงานวิจัยของ Rezaiyan *et al.* (2005) ได้ทำการทดลองเพื่อลดมีเทนลงโดยเพิ่มอุณหภูมิและความดันซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณมีเทนน้อยลงและเป็นการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์แทน ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิจะอยู่ในช่วงระหว่าง 800-1,000 องศาเซลเซียส รวมทั้งพบว่าถ้ามีการใช้อุณหภูมิเข้าทำปฏิกิริยาดังกล่าวจะช่วยเพิ่มผลผลิตของแก๊สเชื้อเพลิง คือ ไฮโดรเจน อีกทางหนึ่งด้วย ดังนั้นอุณหภูมิและความดันจึงมีผลต่อประสิทธิภาพหรือผลผลิตของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน จากงานวิจัยของอาภาณี (2537) ได้มี

การนำแกลบมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันซึ่งเป็นแบบเบดนิ่ง (Fix Bed) ประเภทแก๊สไหลลง (Downdraft Gasifier) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สชีวมวล โดยใช้อุณหภูมิ 650-900 องศาเซลเซียส และอัตราการใช้แกลบ 0.12-0.32 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที่ ผลการทดลองที่ได้เมื่อนำแก๊สผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวมวล คือ อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส และอัตราการใช้แกลบ คือ 0.20 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที่ โดยใช้อัตราการใช้แกลบ 100-260 กรัมต่อนาที่ ได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 8.46 ไฮโดรเจนร้อยละ 7.78 และมีเทนร้อยละ 0.83

งานวิจัยของชโลมศักดิ์ และคณะ (2553) ได้มีการศึกษาวิจัยการออกแบบเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบปฏิกิริยาสามส่วนโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งปฏิกิริยาแบบสามส่วน คือ ปฏิกิริยาไพโรไลซิสปฏิกิริยาการเผาไหม้บริเวณคอคอด ปฏิกิริยารีดักชันบริเวณเบด โดยได้มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิในบริเวณต่างๆด้วย พบว่าอุณหภูมิของแต่ละช่วงปฏิกิริยาไพโรไลซิส ปฏิกิริยาการเผาไหม้ และปฏิกิริยารีดักชัน เป็น 400-600 องศาเซลเซียส 700-900 องศาเซลเซียส 500-700 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และแก๊สชีวมวลที่เกิดขึ้นนั้นได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน มีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับร้อยละ 11.925, 4.671, 2.873, 7.858, 16.308 และ 56.362 ตามลำดับโดยปริมาตร และมีปริมาณน้ำมันดินในแก๊สเชื้อเพลิงประมาณ 1050 mg/Nm³ และในงานวิจัยของ Barea and Leckner (2010) ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบโมเดลของกระบวนการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงที่อยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ของระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบฟลูอิดไคซ์เบด ให้มีการหมุนเวียนได้อย่างเหมาะสมเพื่อเป็นตัวช่วยที่ดีที่จะทำให้ระบบนี้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยคำนึงถึงคุณสมบัติและค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นด้วยในการทดลองมีการให้อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 700, 750, 800, 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาประมาณ 0.5 วินาทีจากการทดลองนี้พบว่าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณน้ำมันดินลงไปได้ร้อยละ 30-70 และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ลดปริมาณน้ำมันดินลงไปได้ร้อยละ 60-95

9.4 การกำจัดน้ำมันดินโดยวิธีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking)

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากำจัดน้ำมันดินในงานวิจัยของ Hurley *et al.* (2012) ได้มีการนำแร่เหล็กของประเทศแคนาดามาใช้ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้จี้เลียเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล จากผลการทดลองพบว่าแร่เหล็กมีความสามารถในการลดปริมาณน้ำมันดินได้อย่างดี นอกจากนี้

การใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยายังช่วยเพิ่มปริมาณแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอีกสองชนิด และในงานวิจัยของ Devi *et al.* (2009) ได้กล่าวถึงวิธีการลดน้ำมันดินว่าการแตกลำน้ำมันดินหรือกำจัดน้ำมันดินสามารถทำได้ด้วยการใช้อินน้ำเข้าร่วมในปฏิกิริยาหรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี เช่น นิเกิล เป็นต้น ซึ่งได้มีงานวิจัยที่กล่าวไว้คล้ายกันของ Warnecke (2000) ว่าหากใช้ Dolomite หรือ Nickel เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมในกระบวนการที่อุณหภูมิ 802 – 902 องศาเซลเซียส จะช่วยให้สามารถกำจัดน้ำมันดินได้ถึงร้อยละ 99 โดยปริมาตร รวมทั้งงานวิจัยของ Rapagna *et al.* (1998) ได้กล่าวถึงการใช้ Nickel-base เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของแก๊สซิฟิเออร์ที่อุณหภูมิในการทดลอง 677-852 องศาเซลเซียส ได้ผลิตผลไฮโดรเจนสูงสุด เท่ากับ 130.28 gH₂/kg biomass

10. วิเคราะห์น้ำมันดิน

Attra (2006) กล่าวว่า การวิเคราะห์ตามหลักวิทยาศาสตร์ของทาร์นั้นจะใช้การวิเคราะห์ด้วย GC – PID เป็นระบบ Photo – Ionization detector ซึ่งเป็นวิธีที่มีความละเอียดอ่อนมากกว่า GC – FID และ GC – TCD โดยเป็นเครื่อง Buck910GC ใช้ Column ชนิด Mxt – 530m.×0.53mm.I.D.×0.05µm. ใช้ Detector แบบ Photo Ionization (PID) Injector แบบ heated split/splitless 250 องศาเซลเซียส แก๊สตัวพา คือ ฮีเลียม (20 cm³/s) OVEN ใช้อุณหภูมิ 60-350 องศาเซลเซียส (อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส/นาที) และงานวิจัยของ Li and Suzuki (2009) ซึ่งได้กล่าวเกี่ยวกับการเก็บน้ำมันดินมาทำการวิเคราะห์ว่าในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้มีหลายสถาบันทำการพัฒนาวิธีเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำมันดิน ในรูปแบบวิธีออนไลน์-ออฟไลน์ (Online-Offline) ซึ่งการเก็บตัวอย่างวิธีออฟไลน์นั้นจะทำการดักจับน้ำมันดินโดยใช้กระบวนการควบแน่นน้ำมันดินหรือการกรอง และอีกวิธีในการเก็บน้ำมันดินนั้นจะใช้กระบวนการดูดซับด้วยตัวดูดซับสารละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม การวิเคราะห์น้ำมันดินส่วนใหญ่จะวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี และเมื่อเร็ว ๆ นี้วิธีออนไลน์ได้ถูกนำมาพัฒนาขึ้นทั้งยังได้รับความนิยมและยอมรับจากนักวิจัยทั้งหลายด้วย

ในงานวิจัยของชโลมศักดิ์ (2551) ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันดินแบบเปียก โดยวิธีการวัด คือ ให้น้ำมันดินละลายในสารทำละลายไอโซโพรพานอล (Isopropanal) โดยให้แก๊สเชื้อเพลิงไหลผ่านขวด 6 ขวดโดยใช้ปั๊มดูดที่อัตราการไหลค่าหนึ่ง ซึ่งขวดที่ 1 บรรจุ ไอโซโพรพานอลประมาณ 125 มิลลิลิตร ขวดที่ 2, 3, 4 และ 5 บรรจุ ไอโซโพรพานอลประมาณ 100 มิลลิลิตร

ส่วนขวดสุดท้ายเป็นขวดเปล่าทั้ง 6 ขวดถูกเชื่อมในที่อุณหภูมิต่ำเมื่อได้ไอโซโพรพานอลที่ผสมน้ำมันดินแล้วจะทำการระเหยไอโซโพรพานอลออกให้หมดเหลืออยู่แต่น้ำมันดินแล้วนำไปชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณเทียบกับปริมาณการไหลผ่านของแก๊สเชื้อเพลิง



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ไม้ยูคาลิปตัส

ในงานวิจัยนี้จะใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ โดยจะนำท่อนไม้ยูคาลิปตัสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 – 7 เซนติเมตร มาทำการตัดให้เป็นท่อนขนาดความยาว 3 – 4 เซนติเมตร (ดังภาพที่ 6) หลังจากนั้นก็จะนำไม้ยูคาลิปตัสที่ได้นั้นไปทำการตากแห้งเพื่อลดปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในไม้ก่อนประมาณ 2-3 วัน แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นซึ่งควรจะมีค่าระหว่างร้อยละ 15-20 โดยน้ำหนัก เพราะชีวมวลที่นำมาใช้ในระบบแก๊สซิไฟเออร์นั้นควรจะมีค่าความชื้นต่ำจึงจะเหมาะสมกับเทคโนโลยีนี้ ถ้าหากความชื้นยังไม่ได้ก็ควรนำไปตากเพิ่มแล้วค่อยนำไปใช้ในการทดลอง ไม้ยูคาลิปตัสที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นไม้ที่ถูกคัดออกจากการนำไปผลิตเยื่อกระดาษเนื่องจากคุณภาพไม่ได้ตามต้องการจึงเท่ากับว่าเป็นการนำของเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์



ภาพที่ 6 ไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

2. ถ่าน

ถ่านใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับในช่วงแรกเพื่อทำการจุดไฟให้ติด เพื่อให้ชีวมวลสามารถเกิดการเผาไหม้ต่อไปได้ เพราะหากใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียวจะเกิดปัญหาในการทดลองเนื่องจากชีวมวลจะติดไฟไม่ทั่วและไฟจะดับได้ระหว่างการทดลอง

3. สารเคมี (ตัวเร่งปฏิกิริยา)

สารเคมีจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และการสกัดน้ำมันดินจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ได้แก่ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต สารละลายอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ สารละลายเหล็กในกรดอะซิติก และสารละลายไดคลอโรมีเทน โดยในส่วนการทดลองการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดน้ำมันดินนั้นได้มีการนำไม้ยูคาลิปตัสไปแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต สารละลายอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายเหล็กในกรดอะซิติก เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง (ประมาณ 3 วัน) หลังจากนั้นก็นำไม้ยูคาลิปตัสไปทำการตากแดดประมาณ 2-3 วันเพื่อให้แห้งก่อนนำไปทำการทดลองต่อไป

4. แก๊สซิฟิเคอร์แบบแก๊สไหลลง

ปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคอร์แบบแก๊สไหลลง (Downdraft Gasifier) เป็นปฏิกรณ์ที่ใช้ในการแปรรูปชีวมวลที่เป็นของแข็ง (Biomass) ให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง (ดังภาพที่ 7) ระหว่างการเกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันภายในปฏิกรณ์จะเกิดโซนต่างๆทั้งหมด 4 โซน คือ โซนอบแห้ง (Drying Zone) โซนไพโรไลซิส (Pyrolysis Zone) โซนเผาไหม้ (Combustion Zone) และโซนรีดักชัน (Reduction Zone) ซึ่งแต่ละโซนก็เกิดกระบวนการทางกายภาพ หรือปฏิกิริยาเคมี-ความร้อน ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่างๆออกมาแต่ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ได้จะออกมาในรูปของแก๊สเชื้อเพลิง ปฏิกรณ์แบบนี้มีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือ เป็นปฏิกรณ์ที่ให้แก๊สเชื้อเพลิงที่เป็นผลผลิตไหลออกทางด้านล่าง แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างสะอาดเพราะมีปริมาณน้ำมันดินปนเปื้อนค่อนข้างน้อย ในการแปรรูปชีวมวลเป็นแก๊สเชื้อเพลิงนอกจากปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคอร์แล้วยังต้องอาศัยอุปกรณ์ประกอบอื่นๆดังต่อไปนี้



ภาพที่ 7 แก๊สซิไฟเออร์แบบแก๊สไหลลง

4.1 เครื่องดักจับฝุ่น (Cyclone) ทำหน้าที่ ในการดักจับฝุ่นจากแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้เพื่อให้แก๊สที่ได้มีความสะอาดเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่งก่อนที่จะเข้าไปสู่เครื่องควบแน่น

4.2 เครื่องควบแน่น (Condenser) ทำหน้าที่ ในการควบแน่นความชื้น สารระเหย หรือน้ำมันดินที่สามารถควบแน่น ได้ออกจากแก๊สผลิตภัณฑ์ ทำให้แก๊สองค์ประกอบที่เป็นเชื้อเพลิง (คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และ มีเทน) มีความเข้มข้นสูงขึ้น แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการควบแน่นจะกลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงกว่าแก๊สที่ไม่ผ่านการควบแน่น นอกจากนี้ การควบแน่นยังนับเป็นการทำความสะอาดเบื้องต้นให้แก่แก๊สผลิตภัณฑ์ ของเหลวที่ได้จากการควบแน่นเป็นสารประกอบทางเคมี เช่น น้ำส้มควันไม้ และสารเคมีอื่นๆ ตลอดจนน้ำมันดินซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกส่วนหนึ่ง

4.3 ระบบนิรภัยแบบถังน้ำกันไฟ ทำหน้าที่ เป็นอุปกรณ์ช่วยลดอันตรายจากการระเบิดเนื่องจากการอุดตันของท่อนำแก๊สผลิตภัณฑ์ออกจากปฏิกรณ์ การเดินระบบผลิตแก๊สอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ อาจทำให้มีน้ำมันดินจับเคลือบผิวท่อด้านในสะสมเพิ่มมากขึ้นๆ ในกรณีที่ไม่มี การทำความสะอาดเป็นเวลานาน ท่ออาจอุดตันที่ตำแหน่งใดๆ โดยไม่สามารถมองเห็นจากภายนอก การอุดตันของท่อนำแก๊สทำให้มีการสะสมของแก๊สเชื้อเพลิงในท่อเกิดเป็นแรงดันย้อนกลับ หากแรงดันดังกล่าวสูงกว่าแรงดันภายในปฏิกรณ์ แก๊สเชื้อเพลิงจะไหลย้อนกลับเข้าสู่ปฏิกรณ์ไปพบกับเปลวไฟในโซนเผาไหม้ก็จะเกิดการระเบิด ระบบนิรภัยแบบถังน้ำกันไฟ

ประกอบด้วยท่อนิรภัยที่เชื่อมต่อกับปฏิกรณ์และสามารถนำแก๊สออกจากปฏิกรณ์ได้โดยตรง ปลายท่อเปิด และจุ่มลงในถังสแตนเลสขนาด 80 ลิตรซึ่งบรรจุน้ำเกือบเต็ม เพื่อสร้างแรงดันไม่ให้แก๊สผลิตภัณฑ์ไหลออกทางท่อนิรภัยในกรณีที่เกิดการระเบิด แรงระเบิด และเปลวไฟจะพุ่งออกมาทางท่อนิรภัยที่อยู่ใต้น้ำ ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายของปฏิกรณ์ และช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานไม่เป็นอันตรายจากสะเก็ดไฟ

5. ปั๊มลม (Air Pump)

ปั๊มลมในงานวิจัยนี้มีหน้าที่ในการปรับอัตราการป้อนอากาศให้แก่ปฏิกรณ์แก๊สซิฟายเออร์ในระดับต่างๆตามที่ต้องการซึ่งถือว่าเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญในการทดลองนี้ด้วย

6. เครื่องสลายน้ำมันดินด้วยความร้อน (Thermal Tar Cracker)

เครื่องสลายน้ำมันดินด้วยความร้อนเป็นอุปกรณ์ผลิตความร้อนสำหรับติดตั้งภายนอกท่อที่แก๊สไหลผ่าน โดยมีการใช้ถ่านเป็นแหล่งความร้อนซึ่งถ่านที่ใช้นั้นเป็นถ่านอัดที่มีผงเหล็กผสมอยู่ด้วยจึงทำให้มีค่าความร้อนสูง และสามารถนำความร้อนได้ดี (ดังภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 เครื่องสลายน้ำมันดินด้วยความร้อน

7. ขวดเก็บแก๊ส

ในการทดลองนี้จะนำแก๊สเชื้อเพลิงที่เป็นผลผลิตของกระบวนการแปรรูปไม้ยูคาลิปตัสไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography : GC) จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ในการเก็บแก๊ส โดยจะใช้ขวดเก็บแก๊สขนาด 75 มิลลิลิตร ซึ่งในขวดเก็บแก๊สนั้นจะมีการเติมสารละลายที่เป็นน้ำโดยการปรับสถานะให้เป็นกรด ($\text{pH} \sim 2$) เพื่อที่จะควบคุมไม่ให้แก๊สที่เก็บได้นั้นละลายไปในน้ำ (ดังภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 ขวดเก็บแก๊ส

8. เข็มฉีดยาหรือหลอดฉีดยา

หลอดฉีดยาหรือเข็มฉีดยา (ดังภาพที่ 10) ทำหน้าที่ ในการดึงตัวอย่างแก๊สออกมาจากปฏิกรณ์แก๊สซิไฟเออร์แล้วนำมาฉีดใส่ในขวดเก็บแก๊สเพื่อนำไปวิเคราะห์อันดับต่อไป



ภาพที่ 10 หลอดและเข็มฉีดยาสำหรับดึงแก๊สตัวอย่างมาเก็บในขวด

9. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography : GC)

ในการทดลองนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในการตรวจวัดแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นว่ามีองค์ประกอบของแก๊สอะไรบ้าง โดยแก๊สองค์ประกอบหลักได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์, ไฮโดรเจน และมีเทน (ซึ่งเป็นแก๊สที่สามารถจุดติดไฟได้) โดยหลักการทำงานของเครื่อง ใช้เทคนิคการแยกสารเนื้อเดียวในสถานะแก๊สออกจากกัน โดยอาศัยหลักการที่ว่าสารแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับและละลายได้ต่างกันจึงทำให้สารแต่ละชนิดแยกจากกันได้ โดยวิธีการวิเคราะห์จะเป็นการฉีดสารตัวอย่างเข้าระบบ ซึ่งสารที่จะวิเคราะห์ต้องเป็นสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้และมีความเสถียรเมื่อถูกความร้อน โดยตัวอย่างที่เป็นไอจะถูกพาไปยังคอลัมน์ (Stationary Phase) ด้วยแก๊สเฉื่อยที่ทำหน้าที่ในการเป็นแก๊สตัวพา (Mobile Phase) เพื่อทำหน้าที่ในการวิเคราะห์แยกสารแต่ละชนิดออกจากกันและสารที่แยกไว้จะถูกบันทึกไว้ว่าเป็นสารชนิดใด

10. เครื่องระเหยด้วยไอน้ำ (Evaporator)

เครื่องระเหยด้วยไอน้ำทำหน้าที่ในการสกัดเอาตัวทำละลาย (สารละลายไดคลอโรมีเทน) ออกจากตัวถูกละลาย (น้ำมันดิน) โดยหลักการทำงานของเครื่องนี้ คือ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการ

ระเหยสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวโดยการกลั่นเพื่อแยกตัวทำละลายที่ผสมอยู่ออกจากน้ำมันดินและทำให้น้ำมันดินมีความเข้มข้นขึ้น โดยสารละลายน้ำมันดินในไดคลอโรมีเทนจะถูกทำให้กลายเป็นไอ ด้วยระบบสุญญากาศจากปั๊ม และให้ความร้อนแก่สารละลายเพื่อทำให้การกลายเป็นไอง่ายขึ้น จากนั้นไอสารละลายจะผ่านเครื่องควบแน่นที่มีระบบหล่อเย็นทำให้ไอสารควบแน่นกลายเป็นของเหลวไหลลงสู่ Receiving Flask (ภาชนะที่ใช้สำหรับรองรับไอระเหยของตัวทำละลาย คือ ไดคลอโรมีเทน)

วิธีการ

1. การเตรียมชีวมวล (ไม้ยูคาลิปตัส)

ทำการตัดไม้ยูคาลิปตัสให้ออกเป็นท่อนๆ (Pellet) ขนาดความยาวระหว่าง 4-5 เซนติเมตร เมื่อได้ขนาดไม้ตามต้องการแล้วก็นำไม้ที่ได้ไปทำการผึ่งแดด 1-2 วัน เพื่อไล่ความชื้นออกไปจากไม้ เพราะวัตถุดิบที่ใช้สำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันควรมีความชื้นระหว่างร้อยละ 15-20 โดยน้ำหนัก เมื่อตากแดดจนไม้แห้งแล้วก็นำมาใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้แล้วปิดฝาให้สนิทเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนำไปทดลอง

2. การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล

2.1 วิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis)

วิเคราะห์แบบประมาณตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D3172-3175 ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว

2.2 วิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)

วิเคราะห์แบบแยกธาตุเป็นการหาปริมาณองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และไนโตรเจน (N) ด้วยเครื่อง CHN Analysis

3. ขั้นตอนในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

เมื่อเตรียมวัตถุดิบต่างๆพร้อมแล้วในการทดลองได้มีการกำหนด และควบคุมสภาวะ (Condition) ของตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการลดปริมาณน้ำมันดิน โดยได้มีการแบ่งการทดลองออกเป็นช่วงต่างๆดังนี้

3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดน้ำมันดินโดยการปรับอัตราการให้อากาศ

3.1.1 ชั่งชีวมวลหนัก 3 กิโลกรัม (เนื่องจากปริมาตรของชีวมวลจะอยู่ในระดับการให้อากาศของปฏิกรณ์ได้พอดี) แล้วใส่ไว้ในภาชนะเพื่อเตรียมเทใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์

3.1.2 เตรียมน้ำใส่ถังหรือภาชนะขนาดใหญ่เพื่อเตรียมไว้เป็นระบบความปลอดภัย ในกรณีที่มีความดันสูงเกินไปนั้นความดันจะเกิดการดันออกทางได้น้ำทำให้ไม่เกิดการระเบิดหรืออันตรายแก่ผู้ทำการทดลอง

3.1.3 จุดเชื้อเพลิงถ่าน 1 กิโลกรัม ที่เตรียมไว้ลงในเครื่องปฏิกรณ์ร่อนพื้นก่อนใส่ไม้ยูคาลิปตัสเพื่อใช้เป็นแหล่งความร้อนตั้งต้นในปฏิกรณ์ (ควรดูให้ถ่านติดไฟแดงโดยทั่วกัน) หลังจากไฟติดจนทั่วแล้วก็นำชีวมวลที่ชั่งไว้มาใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์

3.1.4 ปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์ทั้งด้านบนและด้านล่าง คือ ช่องที่ใส่เชื้อเพลิงและชีวมวล และช่องที่นำถ่านถั่วออกมา

3.1.5 เตรียมภาชนะสำหรับรองรับตัวอย่างของเหลวที่ผ่านกระบวนการควบแน่นมา รองรับไว้ตรงเครื่องควบแน่น (Condensers)

3.1.6 เปิดปั๊มอากาศ (Air Pump) เข้าสู่ระบบเครื่องปฏิกรณ์เพื่อให้อากาศทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีขึ้นเป็นการรักษาสถานะของโซนเผาไหม้ให้คงที่ตลอดกระบวนการ โดยอัตราการให้อากาศใช้ตามที่กำหนดไว้ คือ 130 – 150 ลิตรต่อนาที

3.1.7 การเก็บแก๊สนี้จะเริ่มทำการเก็บหลังจากที่ปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์และเปิดปั๊มลมเรียบร้อยแล้ว โดยจะทำการเก็บแก๊สตัวอย่างทุกๆ 10 นาทีโดยประมาณ (การทดลองแต่ละครั้งจะใช้ระยะเวลาประมาณ 60 นาที) หลังจากนั้นนำแก๊สที่ได้ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (GC) และคอยทำการเก็บของเหลวที่ผ่านเครื่องควบแน่น (Condensers) ลงมา ซึ่งของเหลวที่ผ่านลงมานั้นจะประกอบไปด้วยน้ำมันดินและน้ำส้มควันไม้ปะปนกันอยู่ ดังนั้นจึงต้องมีการนำตัวอย่างของเหลวไปทำการแยกน้ำส้มควันไม้และน้ำมันดินออกจากกัน โดยการใช้เครื่องกรองสุญญากาศ และตัวทำละลายแยกน้ำมันดินจากน้ำส้มควันไม้ แล้วทำการ ระเหยตัวทำละลายออกจากร้ำมันดินในภายหลัง

3.1.8 เมื่อเครื่องปฏิกรณ์เย็นลงแล้วก็ทำการเก็บเข้าและผ่านที่เหลื่อจากการทดลองในห้องด้านล่าง (นำเข้าหรือถ่านออก) มาซึ่งน้ำหนัก

3.1.9 ทำความสะอาดเครื่องปฏิกรณ์โดยการนำเข้าและผ่านที่เหลื่อค้างไว้เพื่อให้หมดเพื่อเตรียมพร้อมในการทำการทดลองครั้งต่อไป

3.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการทดลองขั้นนี้จะต้องมีการนำไม้ยูคาลิปตัสไปผสมกับสารละลาย (ตัวเร่ง) ที่เตรียมไว้โดยการแช่ไม้ลงในสารละลายประมาณ 2 วัน เพื่อให้สารละลายซึมเข้าเนื้อไม้ หลังจากนั้นก็นำไม้ที่แช่ออกไปตากแดดเพื่อให้แห้งสำหรับการทดลองในลำดับต่อไป ซึ่งขั้นตอนในการทดลองนั้นก็เหมือนกันกับวิธีการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศทุกประการ เพียงแต่ต่างกันตรงวัตถุดิบมีการนำไปแช่ในตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปสารละลายก่อนเท่านั้น (เหมาะสมที่สุดจากการทดลองในขั้นแรก)

3.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดินโดยใช้ความร้อน

การทดลองในขั้นนี้เป็นการกำจัดน้ำมันดินโดยใช้ความร้อนเข้าช่วย โดยทำให้อุปกรณ์กำจัดน้ำมันดินด้วยความร้อนมีอุณหภูมิ 700, 800, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นจะใช้ถ่านที่ผสมผงเหล็กเป็นแหล่งให้ความร้อนและมีเทอร์โมคอปเปิ้ลในการวัด

อุณหภูมิเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ การทดลองในขั้นตอนนี้จะใช้อัตราการให้อากาศที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองในขั้นแรก

3.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดินโดยการใช้ความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา

สำหรับการกำจัดน้ำมันดินในขั้นตอนนี้นั้นเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองในข้อ 3.3 และจะนำเอาวัตถุดิบที่ได้มีการผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วนั้นมาทำการทดลองโดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด เพื่อจะดูว่าสามารถลดปริมาณน้ำมันดินลงได้เท่าไร

4. การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันดิน

การหาปริมาณน้ำมันดินนั้นใช้หลักการดูดซับด้วยตัวทำละลาย โดยในการทดลองมีการเก็บของเหลว (ที่ผ่านเครื่องควบแน่น) ไว้ในภาชนะ หลังจากนั้นนำภาชนะที่มีของเหลวอยู่นั้นมาแยกน้ำส้มควันไม้ออกจากน้ำมันดิน โดยนำมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศก่อนเพื่อแยกส่วนของแข็งออกส่วนที่เป็นน้ำจะไหลผ่านออกมาก่อน แต่เมื่อกรองจนส่วนของน้ำใกล้จะหมดแล้วจะเป็นส่วนที่จะผสมกันระหว่างน้ำส้มควันไม้กับน้ำมันดินก็จะมีการใช้สารละลายเข้ามาช่วยในการแยก ขั้นตอนการวิเคราะห์ต่าง ๆ ดังนี้

4.1 นำเอาตัวอย่างของเหลวที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันมาทำการแยกน้ำและเศษฝุ่นละอองออกจากส่วนที่เป็นน้ำมันดิน โดยแยกด้วยปั๊มสุญญากาศผ่านกระดาษกรอง

4.2 ส่วนที่เหลืออยู่ในภาชนะใช้สารละลายไดคลอโรมีเทนทำการละลายออกให้หมดเนื่องจากน้ำมันดินมีความหนืดและติดภาชนะอยู่มาก

4.3 เนื่องจากส่วนที่เหลืออยู่นั้นอาจมีส่วนที่เป็นน้ำปนอยู่บ้างจึงต้องมีการใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟตในการกรองน้ำออกให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นน้ำมันดินละลายในสารละลายไดคลอโรมีเทนอย่างเดียว แล้วนำไปใส่ในภาชนะขวดรูปชมพู่ที่เตรียมไว้โดยต้องมีการชั่งน้ำหนักภาชนะเปล่าก่อนและเมื่อใส่ตัวอย่างลงไปแล้วก็น้ำหนักภาชนะไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

4.4 นำส่วนที่ละลายอยู่ในสารละลายไคคลอโรมีเทนไปทำการระเหยไคคลอโรมีเทนออกเพื่อให้เหลือแต่ปริมาณน้ำมันดินอย่างเดียว ด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน ยี่ห้อ B"U"CHI Rotavapor รุ่น R-250 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดเดือดของไคคลอโรมีเทนที่ความเร็วรอบในการหมุน 90 รอบต่อนาที

4.5 หลังจากทำการระเหยเสร็จแล้วก็ทำการชั่งน้ำหนักภาชนะ ซึ่งน้ำหนักน้ำมันดินที่ได้นั้นจะนำมาคำนวณได้ดังสูตรนี้

$$\text{น้ำมันดิน} = [(\text{น้ำหนักภาชนะ} + \text{ตัวอย่าง}) - \text{น้ำหนักภาชนะเปล่า}] - \text{น้ำหนักหลังระเหย}$$

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

1. สถานที่ทำการวิจัย

สถานที่หลักที่ใช้ทดลองตลอดระยะเวลาทำการวิจัย ตั้งอยู่ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และห้องปฏิบัติการฝ่ายเทคโนโลยีและพลังงาน ชั้น 5 อาคารวิจัยและพัฒนา 2

2. ระยะเวลาทำการวิจัย

ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2554 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม 2555

ผลและวิจารณ์

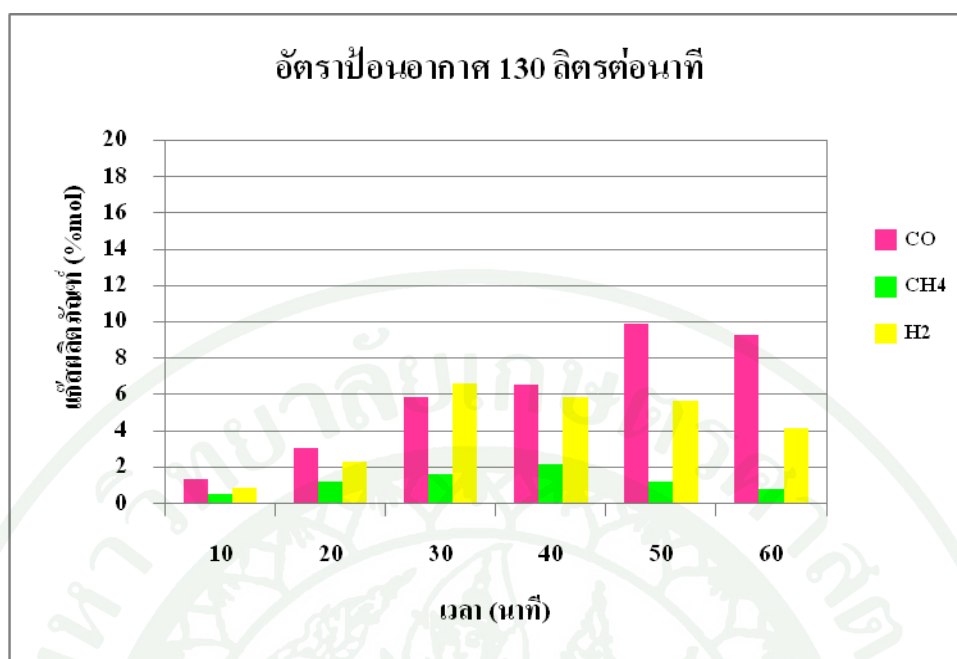
1. การหาสถานะที่เหมาะสมของการกำจัดน้ำมันดินโดยวิธีการปรับอัตราการป้อนอากาศ

การปรับอัตราการป้อนอากาศก็ถือว่าเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีการจำกัดอากาศที่เข้าไปทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีความร้อน (Thermo-chemical Reaction) ในกระบวนการจึงจำเป็นต้องหาสถานะการป้อนอากาศที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ได้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และปริมาณสูงสุดเท่าที่ขีดความสามารถของปฏิกรณ์จะผลิตได้ งานวิจัยนี้จึงได้ทดลองปรับอัตราการป้อนอากาศให้เข้าสู่กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่อัตราต่างๆดังนี้ คือ 130, 140 และ 150 ลิตรต่อนาที (การที่จำกัดอัตราการป้อนอากาศมากที่สุดที่อัตรา 150 ลิตรต่อนาทีก็เนื่องมาจากข้อจำกัดของระบบนิรภัยของเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งออกแบบให้รองรับอัตราการป้อนอากาศเข้าสู่ปฏิกรณ์ได้สูงสุดไม่เกิน 150 ลิตรต่อนาทีเท่านั้น) การแสดงผลที่ได้จากการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งสำหรับแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ และส่วนที่สองสำหรับปริมาณน้ำมันดินที่ได้ ผลการทดลองปรับอัตราการให้อากาศทั้ง 3 ระดับ แสดงได้ดังนี้

1.1 แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่ระดับต่างๆ

1.1.1 แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการป้อนอากาศในอัตรา 130 ลิตรต่อนาที

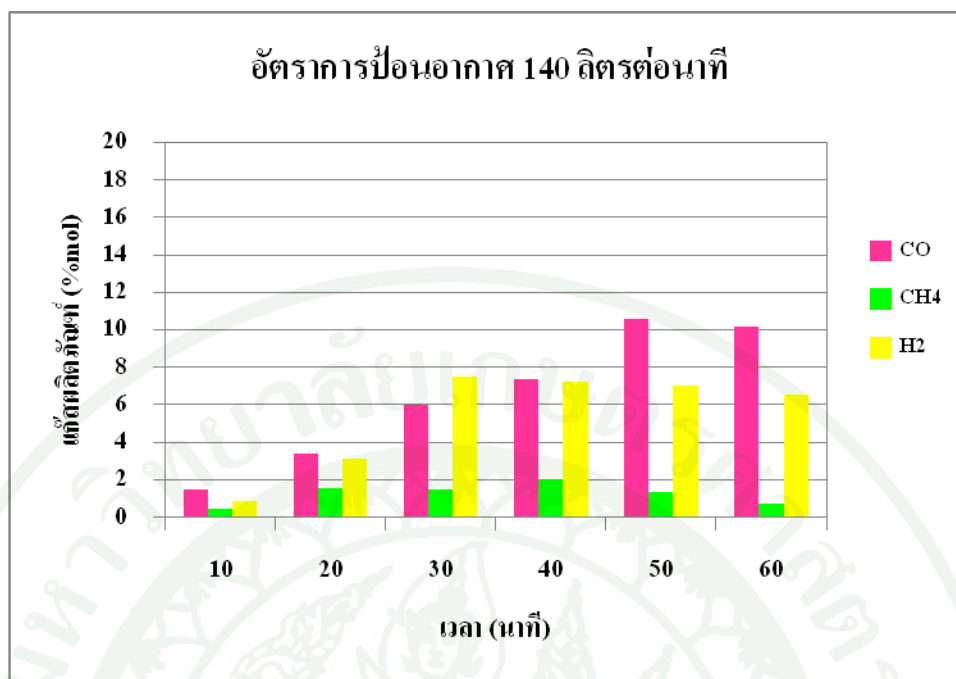
ดำเนินการทดลองป้อนอากาศในอัตรา 130 ลิตรต่อนาทีจำนวน 3 การทดลอง และนำแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแต่ละการทดลองทำการเก็บตัวอย่างแก๊สทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง (ดังภาพที่ 11) ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน เท่ากับร้อยละ 9.92, 6.63 และ 2.14 ตามลำดับ ส่วนแก๊สที่เหลือจะ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน (ซึ่งเป็นแก๊สที่ไม่ได้ให้ความสนใจ)



ภาพที่ 11 องค์ประกอบแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปรับอัตราป้อนอากาศที่ 130 ลิตรต่อนาทีในการลดปริมาณน้ำมันดินจากการทดลองการปรับอัตราการให้อากาศที่ระดับต่างๆ

1.1.2 แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการป้อนอากาศในอัตรา 140 ลิตรต่อนาที

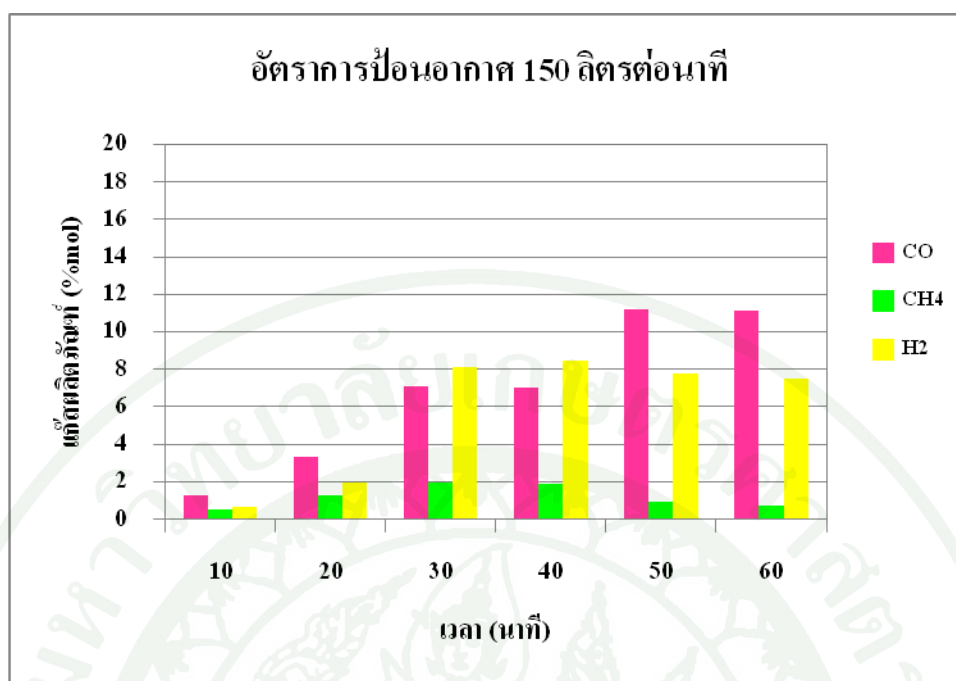
ดำเนินการทดลองป้อนอากาศในอัตรา 140 ลิตรต่อนาที และทำการเก็บข้อมูลวิธีเดียวกับที่กล่าวในหัวข้อ 1.1.1 พบว่าอัตราการป้อนอากาศในอัตรา 140 ลิตรต่อนาทีให้ร้อยละขององค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ส่วนมีเทนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (ดังภาพที่ 12) ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน มีค่าร้อยละ 10.55, 7.51 และ 2.02 ตามลำดับ



ภาพที่ 12 องค์ประกอบแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่ 140 ลิตรต่อนาที ในการลดปริมาณน้ำมันดิน จากการทดลองการปรับอัตราการให้อากาศที่ระดับต่างๆ

1.1.3 แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการป้อนอากาศในอัตรา 150 ลิตรต่อนาที

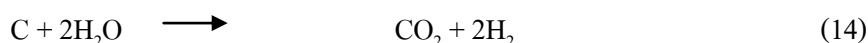
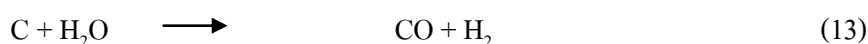
ดำเนินการทดลองป้อนอากาศในอัตรา 150 ลิตรต่อนาที และทำการเก็บข้อมูล เช่นเดียวกับวิธีการในหัวข้อ 1.1.1 และ 1.1.2 จากการทดลองพบว่าอัตราการป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาทีนั้นทำให้ได้ร้อยละขององค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นและมากกว่าอัตราการป้อนอากาศในสองการทดลองที่กล่าวข้างต้น พบว่าปริมาณร้อยละของคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนจะเพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณร้อยละของมีเทนที่ได้กลับมีแนวโน้มน้อยลง (ดังภาพที่ 13) และคิดเป็นปริมาณร้อยละที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 ระดับอัตราการป้อนอากาศ ค่าเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทนในแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้คิดเป็นร้อยละ 11.23, 8.49 และ 1.98 ตามลำดับ



ภาพที่ 13 องค์ประกอบแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศในอัตรา 150 ลิตรต่อ นาที ในการลดปริมาณน้ำมันดินจากการทดลองการปรับอัตราการให้อากาศที่ระดับต่างๆ

การปรับอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อปริมาณร้อยละขององค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยที่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอากาศมากขึ้นทำให้ปริมาณร้อยละของคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้น โดยจากการทดลองพบว่าอัตราการป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาทีนั้นให้ปริมาณโดยเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนมากที่สุด คือ ร้อยละ 11.23 และ 8.49 ตามลำดับ ในทางกลับกันเมื่อลดอัตราการป้อนอากาศลงทำให้ปริมาณร้อยละของมีเทนที่ได้เพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้ (Rezaiyan and Cheremisinoff, 2005)

การป้อนอากาศในอัตราสูง (140 และ 150 ลิตรต่อนาที) เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่โซนเผาไหม้ (Combustion Zone) ของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ทำให้กระบวนการมีอุณหภูมิสูงขึ้นจึงทำให้เกิดปฏิกิริยา Water-gas reactions (สมการที่ (13) และ (14)) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และเป็นปฏิกิริยาคูดกลืนพลังงานความร้อน (Endothermic Reaction) ที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง และความดันสูงด้วยเหตุนี้ การเพิ่มอัตราการป้อนอากาศ (ออกซิเจน) จึงทำให้ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้น



ในกรณีที่ลดอัตราการป้อนอากาศ เท่ากับเป็นการลดปริมาณออกซิเจนที่ป้อนเข้าสู่โซนเผาไหม้ อุณหภูมิของกระบวนการจะลดลงทำให้เกิดปฏิกิริยา Methanation Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ และ ไม่มีออกซิเจน (สมการที่ (15)) ทำให้ปริมาณมีเทนในแก๊สผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น (Rezaiyan and Cheremisinoff, 2005)



1.2 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่ระดับต่างๆ

1.2.1 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่ 130 ลิตรต่อนาที

จากการทดลองการปรับอัตราการป้อนอากาศที่ 130 ลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการให้อากาศที่น้อยที่สุด พบว่าปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์มีปริมาณเท่ากับ 7.8 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (จากการทดลองทั้งหมด 3 ชั่วโมง)

1.2.2 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่ 140 ลิตรต่อนาที

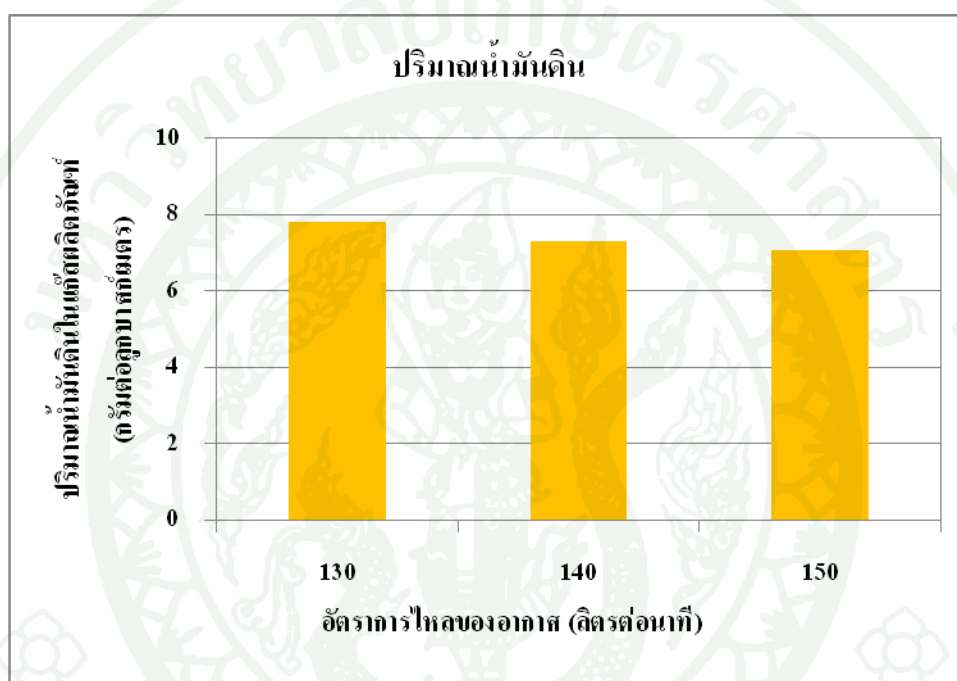
การปรับอัตราการป้อนอากาศที่ 140 ลิตรต่อนาที (ได้มีการทดลอง 3 ชั่วโมงเช่นกัน) พบว่าปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์มีปริมาณเท่ากับ 7.3 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งลดลงเล็กน้อยจากอัตราการป้อนอากาศที่ 130 ลิตรต่อนาที

1.2.3 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที

การปรับอัตราการป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที (จากผลการทดลองทั้งหมด 3 ชั่วโมง) เป็นอัตราการป้อนอากาศที่สูงสุดและมีปริมาณน้ำมันดินปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด

ด้วยเมื่อเทียบกันระหว่างอัตราการป้อนอากาศทั้งหมด โดยได้ปริมาณน้ำมันดินเท่ากับ 7.1 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนอากาศที่อัตราต่างๆ ดังภาพที่ 14

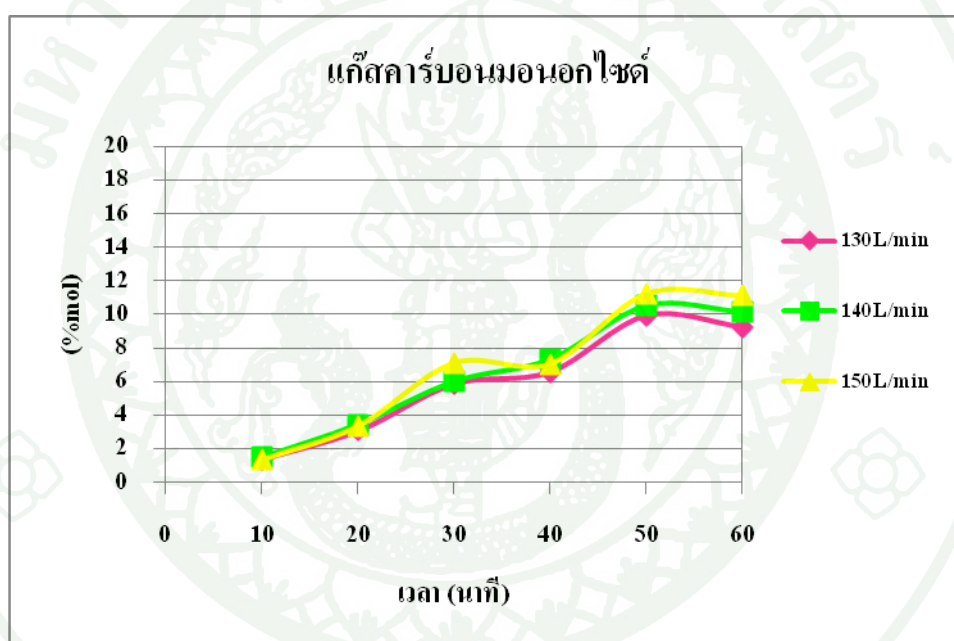


ภาพที่ 14 ปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนอากาศที่ระดับต่างๆ คือ 130, 140 และ 150 ลิตรต่อนาที

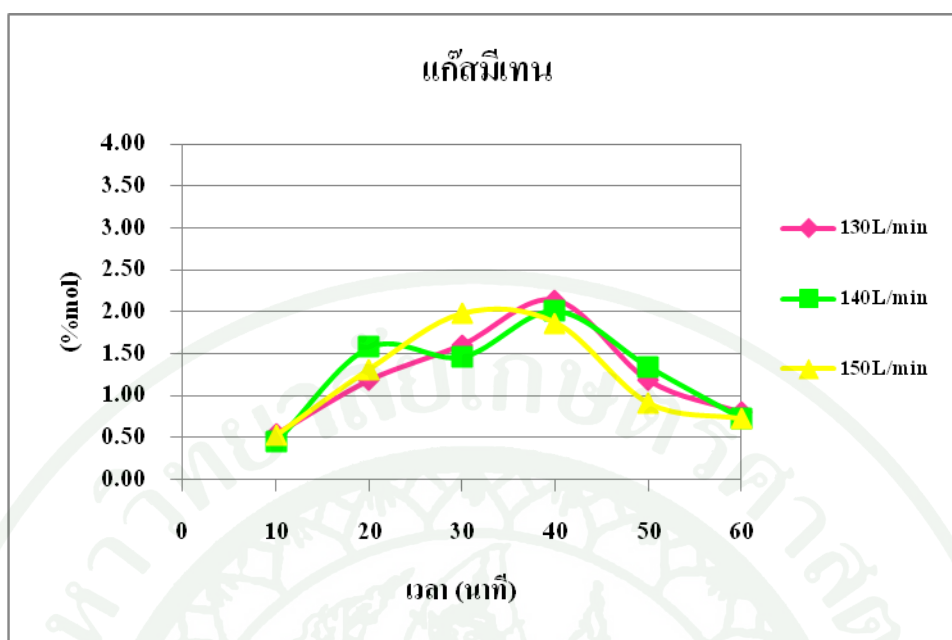
ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีอัตราการป้อนอากาศที่เพิ่มขึ้นหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์แปรผกผันกันกับอัตราการป้อนอากาศ จากผลการทดลองของทั้ง 2 ส่วน คือ คุณภาพ (ปริมาณแก๊สองค์ประกอบ) ของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้และปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์พบว่าอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดน้ำมันดินในงานวิจัยนี้ คือ อัตราการป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที ซึ่งผลการทดลองของทั้งสองส่วนนั้นก็มีความสอดคล้องกัน กล่าวคือเมื่อมีการปรับอัตราการป้อนอากาศเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้โซลเฝ้าไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้น

(Rezaiyan and Cheremisinoff, 2005) ทำให้เกิดปฏิกิริยา Water-gas reaction เพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Thermal Cracking ควบคู่ไปด้วย

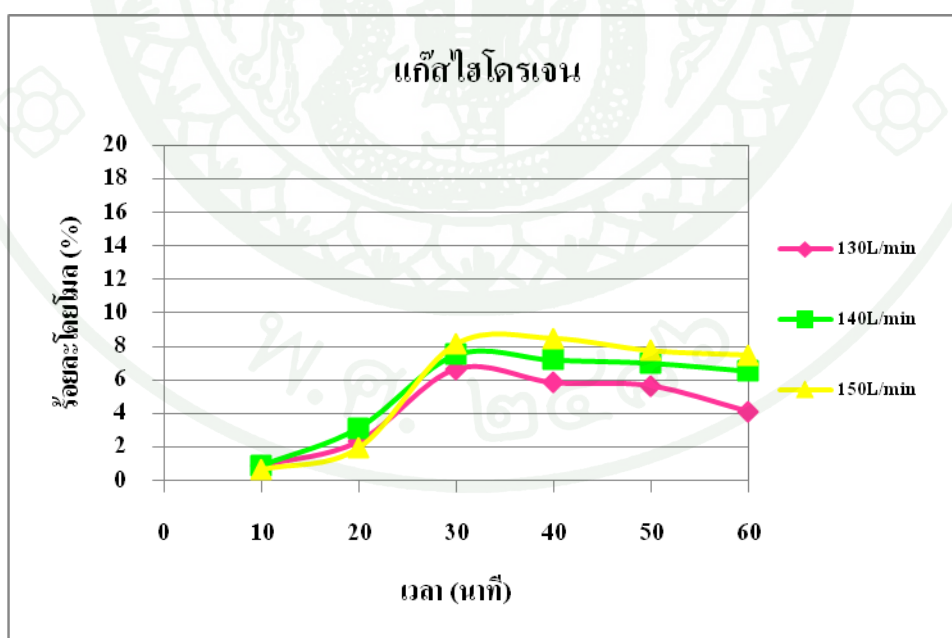
สรุปว่าอัตราการป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที เป็นอัตราการป้อนอากาศซึ่งทำให้ได้แก๊สผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง (ค่าความร้อนสูงเนื่องจากปริมาณร้อยละของแก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สผลิตภัณฑ์มีปริมาณสูง) และสะอาด (มีน้ำมันดินปนเปื้อนน้อย) ดังนั้นจะใช้อัตราการป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที ในการทดลองลำดับต่อไป และเพื่อให้เห็นได้อย่างชัดเจนจึงแสดงการเปรียบเทียบแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอัตราการป้อนอากาศต่างๆ ดังภาพที่ 15-17



ภาพที่ 15 เปรียบเทียบแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่อัตราต่างๆเข้าสู่กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของไม้ยูคาลิปตัสในเครื่องแก๊สซิไฟเออร์แบบแก๊สไหลลง



ภาพที่ 16 เปรียบเทียบแก๊สมีเทนที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่อัตราต่างๆเข้าสู่กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของไม้ยูคาลิปตัสในเครื่องแก๊สซิไฟเออร์แบบแก๊สไหลลง



ภาพที่ 17 เปรียบเทียบแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศที่อัตราต่างๆเข้าสู่กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของไม้ยูคาลิปตัสในเครื่องแก๊สซิไฟเออร์แบบแก๊สไหลลง

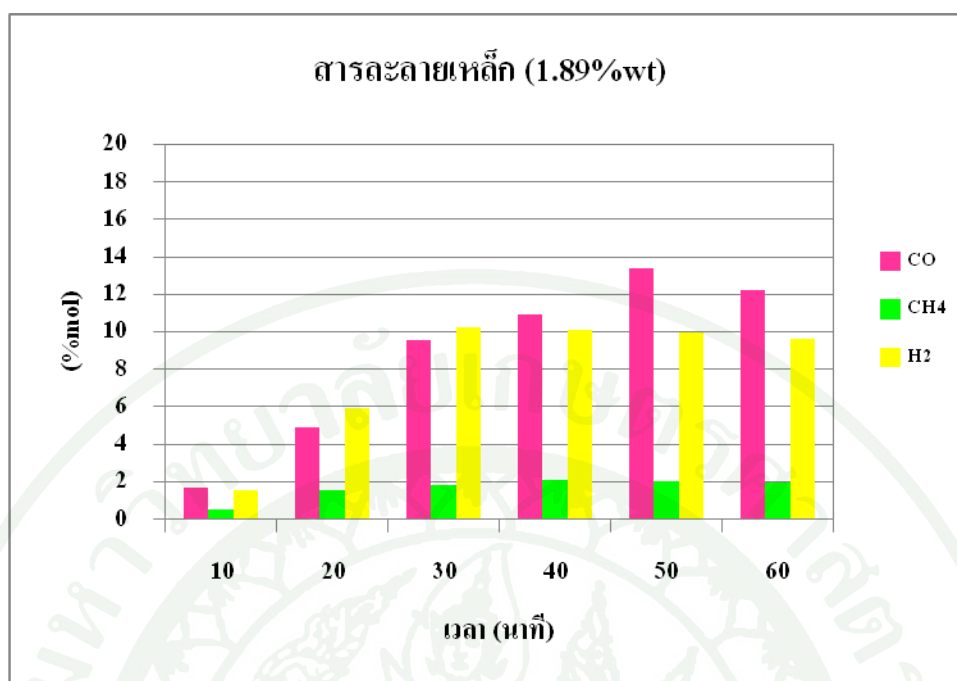
2. การหาสถานะที่เหมาะสมของการกำจัดน้ำมันดินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยการทดลองในส่วนนี้จะเป็นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เข้ามาช่วยในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เพื่อช่วยลดปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปของสารละลายของธาตุที่ราคาไม่แพง สามารถจัดหาหรือเตรียมได้ง่าย 3 ชนิด คือ เหล็ก (เหล็กในกรดอะซิติค) โซเดียม (สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต) และอะลูมิเนียม (สารละลายอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์) โดยสารละลายทั้ง 3 ชนิดมีความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนัก 1.89, 1.83 และ 1.79 ตามลำดับ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อคุณภาพแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ และส่วนที่สองศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ อัตราการป้อนอากาศที่ใช้ในการทดลองทั้งสองส่วนคือ 150 ลิตรต่อนาที การทดลองด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และ ทำการเก็บตัวอย่างแก๊สผลิตภัณฑ์ทุกๆ 10 นาที

2.1 แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ

2.1.1 การใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

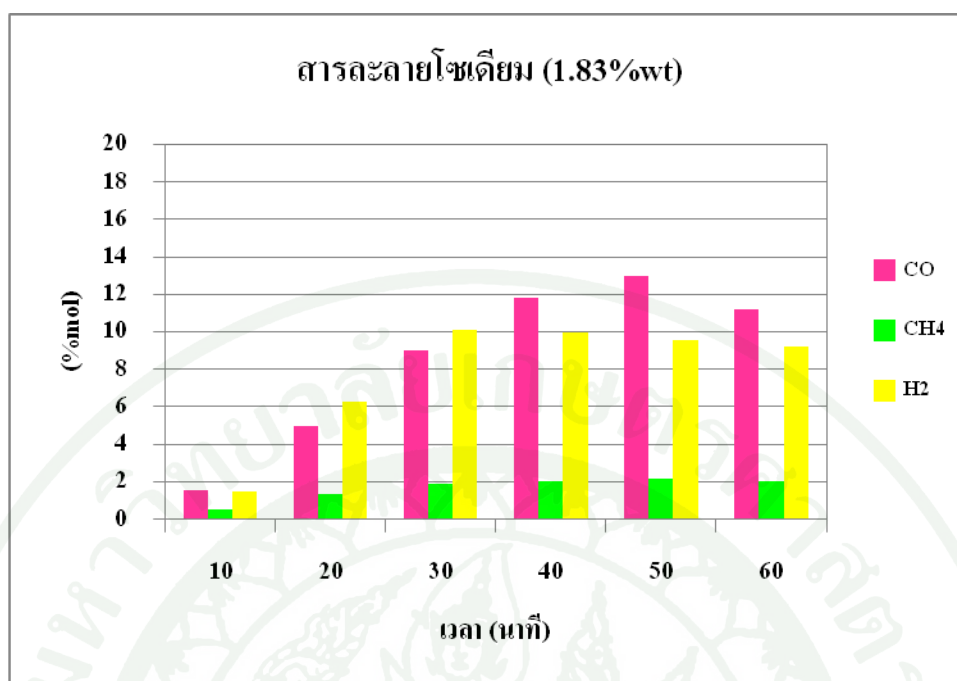
การทดลองโดยใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเหล็กมีผลต่อแก๊สผลิตภัณฑ์ โดยที่ค่าเฉลี่ยของปริมาณร้อยละของคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทนในแก๊สผลิตภัณฑ์ มีค่าเป็น 13.3, 10.2 และ 2.1 ตามลำดับ ที่เวลา 50 นาที ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีที่ปรับเพิ่มอัตราการป้อนอากาศอย่างเดียว ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราการป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที

2.1.2 การใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

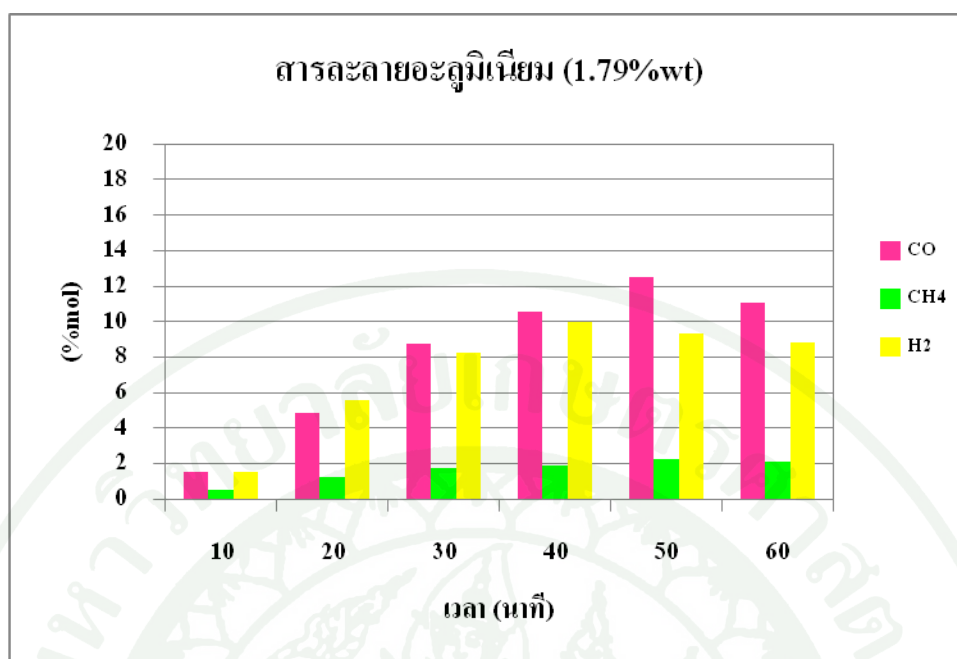
การทดลองของการใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณร้อยละของคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทนในแก๊สผลิตภัณฑ์มีค่าเป็น 12.9, 10.0 และ 2.16 ตามลำดับ ซึ่งสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการปรับอัตราการป้อนอากาศอย่างเฉียด แต่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบในแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 19 องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราการป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที

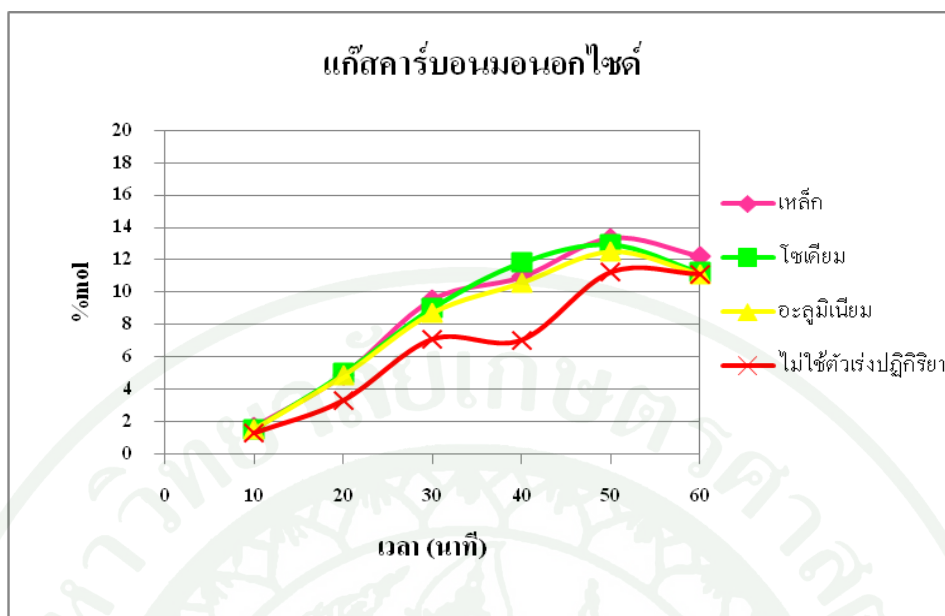
2.1.3 การใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการใช้อะลูมิเนียมในการเร่งปฏิกิริยา พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับเหล็ก และโซเดียม แต่อะลูมิเนียมให้ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบในแก๊สผลิตภัณฑ์น้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาตัวอื่นๆ โดยได้คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 12.50, 9.96 และ 2.22 ตามลำดับ ดังภาพที่ 20

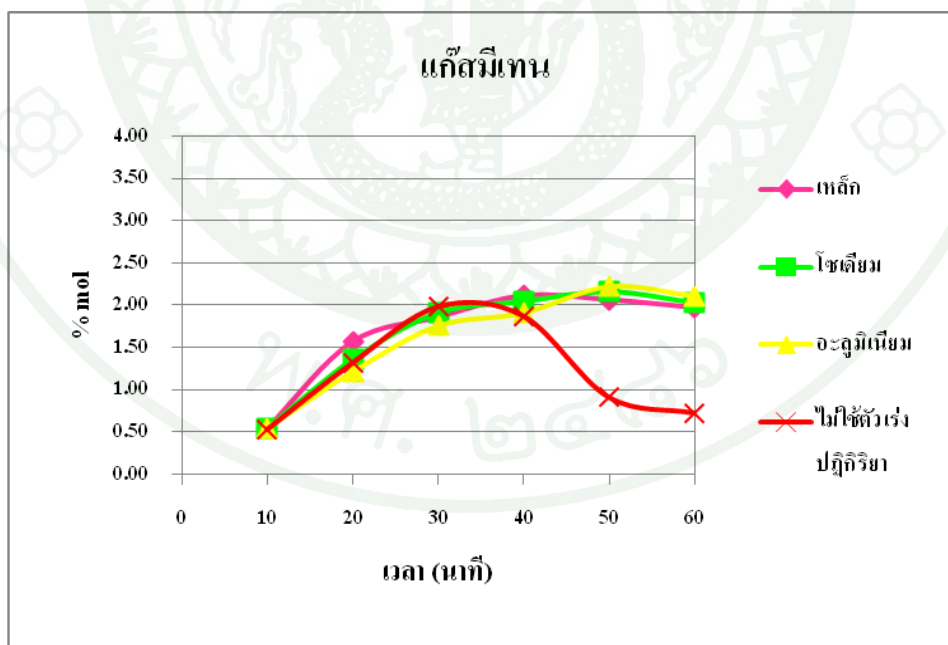


ภาพที่ 20 องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตรา
การป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที

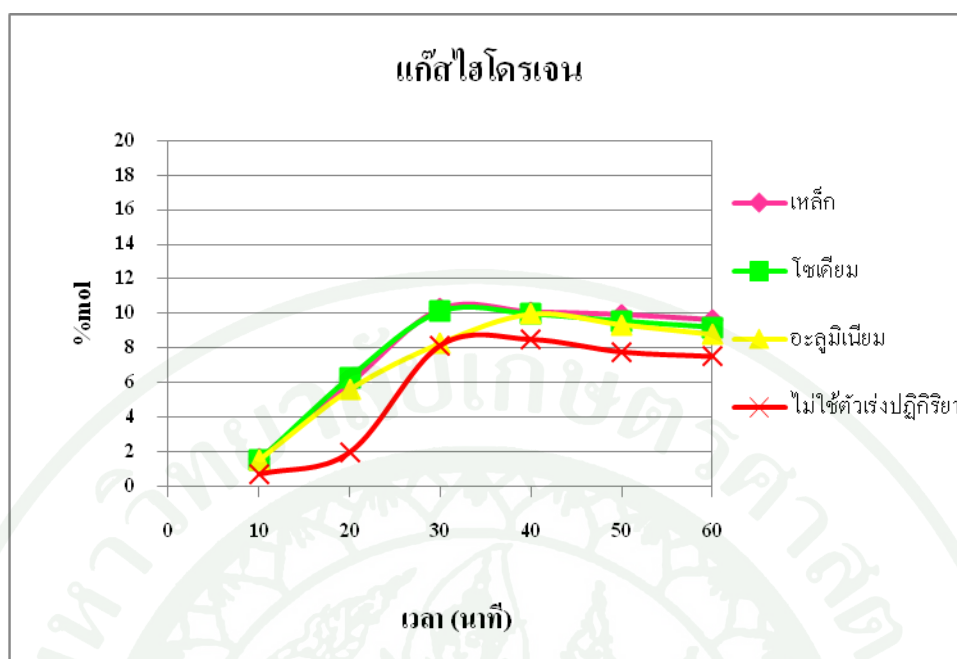
จากผลการทดลองเพื่อศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสามชนิดล้วนแล้วแต่ทำให้ปริมาณแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นกว่าการเพิ่มปริมาณการป้อนอากาศ โดยเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้ได้แก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์มากที่สุด รองลงมาได้แก่ โซเดียม และอะลูมิเนียมตามลำดับ ดังภาพที่ 21-23 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้สารเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดและเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราการป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบแก๊สมีเทนที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราการป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 23 เปรียบเทียบแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราการป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที

ภาพที่ 21-23 เปรียบเทียบปริมาณแก๊สสององค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ พบว่า การใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 13.36 และร้อยละ 10.25 ตามลำดับ ส่วนการใช้อะลูมิเนียมตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะให้มีเทนมากที่สุด (แต่เมื่อเทียบกับแก๊สผลิตภัณฑ์ 2 ตัวที่กล่าวมาถือว่าน้อยกว่า) เท่ากับร้อยละ 2.22 ที่เป็นเช่นนี้ อาจเนื่องมาจากว่าความเข้มข้นของเหล็กที่ได้นั้นมีความเข้มข้นมาก จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาในกระบวนการได้เป็นอย่างดีจึงทำให้ได้แก๊สผลิตภัณฑ์ออกมาครบทั้งเหล็กเป็นตัวนำความร้อนได้ดีจึงทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำมันดินได้อย่างดี ส่วนการใช้โซเดียมให้แก๊สผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ดีกว่าอะลูมิเนียมตามคุณสมบัติตารางธาตุ เนื่องจากโซเดียมเป็นธาตุหมู่ 1 ส่วนอะลูมิเนียมเป็นธาตุหมู่ 3 คือ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาจะลดลงตามหมู่ที่เพิ่มขึ้น (บุญรอด, 2552) แต่การที่อะลูมิเนียมทำให้เปอร์เซ็นต์ของมีเทนมากที่สุดนั้น อาจเป็นเพราะปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการไม่ดีพอ เพราะอะลูมิเนียมเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นจะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้น้อยกว่า และมีความเป็นโลหะน้อยกว่าตัวเร่งอื่นๆจึงทำให้ได้มีเทนแทนที่จะได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน

2.2 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ

การทดลองใช้อัตราการป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที แล้วเก็บตัวอย่างแก๊สผลิตภัณฑ์ทุกๆ 10 นาที ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งเพื่อยืนยันผลการทดลองกับตัวเร่งปฏิกิริยาทุกตัว

2.2.1 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

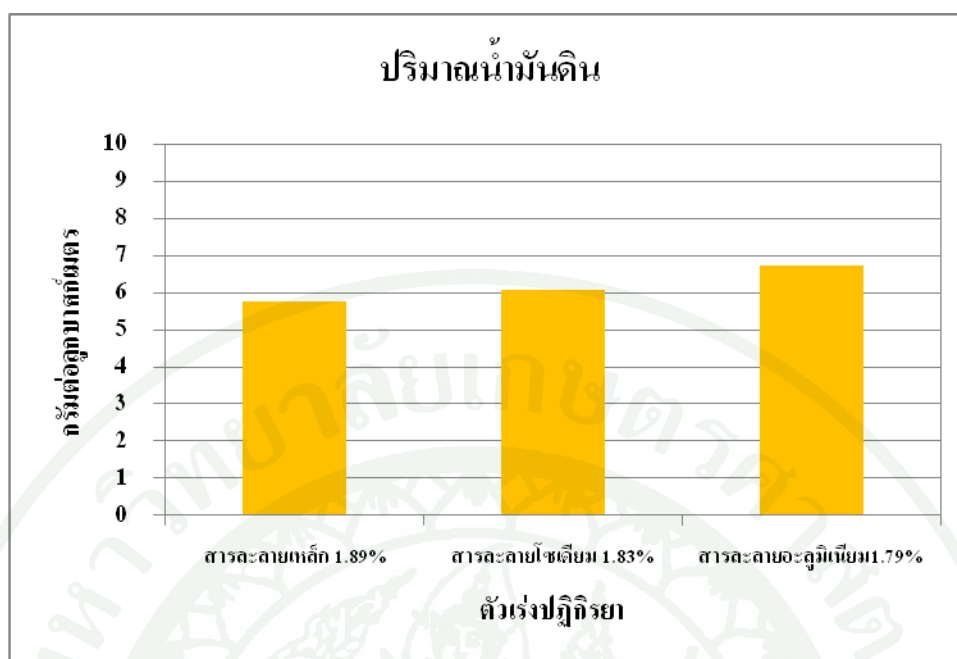
เมื่อใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์น้อยกว่าปริมาณที่ตรวจวัดได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศอย่างเดียว โดยปริมาณน้ำมันดินที่ได้เท่ากับ 5.8 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.2.2 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นจากการใช้โซเดียมนั้นก็เข้าไปในทิศทางเดียวกันกับการใช้เหล็กเมื่อเทียบกับการใช้อัตราการให้อากาศอย่างเดียว คือ มีปริมาณน้ำมันดินลดลง แต่เมื่อเทียบกับเหล็กนั้นปริมาณน้ำมันดินที่ได้มีปริมาณที่มากกว่า จากผลการทดลองที่ใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นให้ปริมาณน้ำมันดินเท่ากับ 6.1 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.2.3 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สำหรับการใช้อะลูมิเนียมในการเร่งปฏิกิริยานั้น พบว่าสามารถกำจัดน้ำมันดินได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาตัวอื่นๆ แต่หากเมื่อเทียบกับการปรับอัตราการป้อนอากาศอย่างเดียวนั้นพบว่าลดปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นได้ คือ มีปริมาณน้ำมันดินเท่ากับ 6.7 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร การเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ดังภาพที่



ภาพที่ 24 เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ

จากผลการทดลองเพื่อศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อปริมาณแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์และปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ พบว่าเหล็กสามารถลดปริมาณน้ำมันดิน และเพิ่มปริมาณแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าโซเดียม และอะลูมิเนียม โดยที่ใช้เหล็ก (มีความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนัก 1.89) ให้ปริมาณน้ำมันดินน้อยที่สุด (5.8 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hurley *et al.* (2012) ได้มีการนำแร่เหล็กของประเทศแคนาดามาใช้ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้ขี้เถ้าเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล จากผลการทดลองพบว่าแร่เหล็กมีความสามารถในการลดปริมาณน้ำมันดินได้ดี นอกจากนี้การใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยายังช่วยเพิ่มปริมาณแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอีกสองชนิด

แม้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยเพิ่มปริมาณแก๊สองค์ประกอบ และลดปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ขั้นตอนในการเตรียมเหล็กที่ต้องนำผงเหล็กไปต้มในกรดอะซิติก (Acetic Acid) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 98 เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของเหล็กตามต้องการ การนำวัตถุดิบไม้ยูคาลิปตัสไปแช่ในเหล็ก 72 ชั่วโมง นำวัตถุดิบไปตากแห้งก่อนใช้เป็นวัตถุดิบของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันล้วนแล้วแต่เป็นขั้นตอนที่

ใช้เวลาและพลังงานมาก ในทางปฏิบัติหากต้องการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ควรรวมค่าใช้จ่ายในการเตรียมสารละลายและวัตถุดิบเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนการผลิต เพื่อนำไปประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

3. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดินโดยวิธีการให้ความร้อน

ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนั้นปัญหาที่สำคัญที่พบของระบบ คือ น้ำมันดินที่เกิดขึ้น และในงานวิจัยต่างๆก็พบว่าความร้อนที่อุณหภูมิที่สูงจะช่วยกำจัด หรือลดปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ งานวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศมีการกล่าวอ้างถึงการใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป เช่น งานวิจัยของ Han and Kim (2008) กล่าวว่าการใช้อุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียสนั้นสามารถกำจัดน้ำมันดินได้ถึงร้อยละ 98-99 ซึ่งงานวิจัยของ Barea and Leckner (2010) พบว่าการใช้อุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนั้นช่วยลดปริมาณน้ำมันดินได้ถึงร้อยละ 30-70 ส่วนการใช้อุณหภูมิที่ 800 องศาเซลเซียส ลดปริมาณน้ำมันดินได้ถึงร้อยละ 60-95 และการใช้อุณหภูมิที่ 890 องศาเซลเซียส ลดปริมาณน้ำมันดินที่เหลือ 5 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ช่วยลดปริมาณน้ำมันดินเหลือ 19 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Wang *et al.*, 2008) นอกจากนี้ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส โดยใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะช่วยสลายปริมาณน้ำมันดินให้เหลือร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ซึ่ง Van der Hoeven (2007) ก็ได้กล่าวไว้ว่าการใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 900 องศาเซลเซียส ขึ้นไปจะช่วยทำให้น้ำมันดินแตกสลายตัวได้

งานวิจัยส่วนใหญ่ทำให้น้ำมันดินแตกตัวโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดน้ำมันดินโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 700, 800, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส การให้ความร้อนแก่แก๊สผลิตภัณฑ์เป็นการให้ความร้อนจากภายนอกโดยเดินท่อที่มีแก๊สผลิตภัณฑ์ให้ไหลผ่านผ่านเตาเผาที่ใช้ถ่านผสมผงเหล็กในการให้ความร้อนเพื่อทำให้แก๊สผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิตามที่ต้องการ

การศึกษาในหัวข้อนี้แบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนเช่นเดียวกับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดินโดยใช้วิธีอื่นๆที่กล่าวมาแล้ว คือ ส่วนที่หนึ่งทดลองเพื่อหาผลกระทบของความร้อนที่มีต่อแก๊สองค์ประกอบเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ และส่วนที่สอง คือ

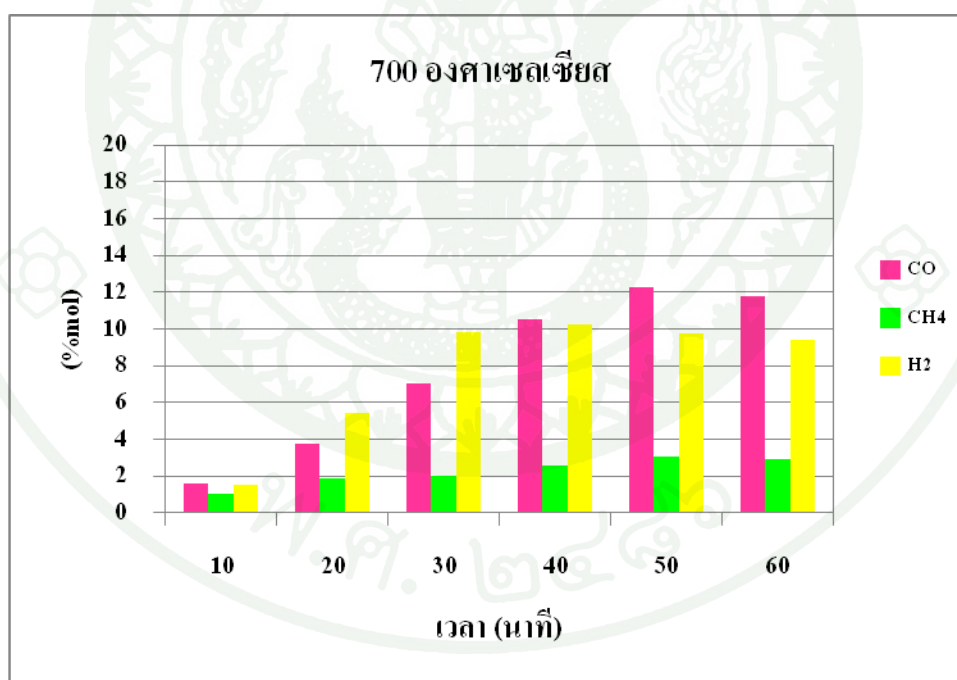
ผลกระทบที่มีต่อปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ การทดลองใช้อัตราการให้อากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที

3.1 แก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

3.1.1 การใช้อุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส

การใช้อุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียสในการกำจัดน้ำมันดิน พบว่าปริมาณร้อยละของแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมากกว่าปริมาณแก๊สองค์ประกอบที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและการปรับอัตราการป้อนอากาศ โดยค่าเฉลี่ยร้อยละของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทนที่ได้เท่ากับ 12.31, 10.26 และ 3.08 ตามลำดับ ดังภาพที่

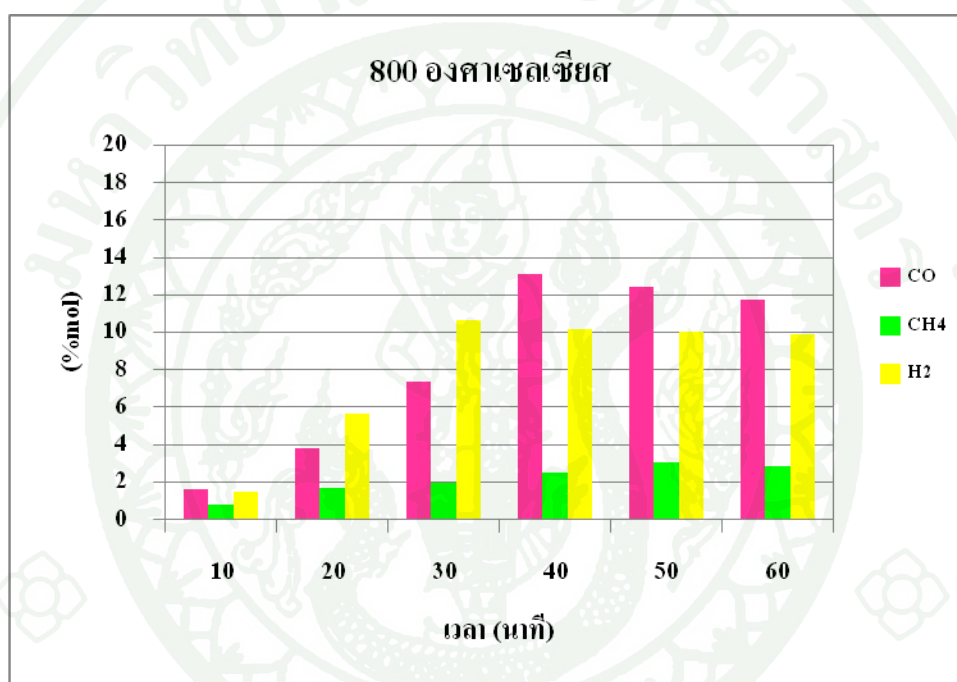
25



ภาพที่ 25 ร้อยละของแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

3.1.2 การใช้อุณหภูมิที่ 800 องศาเซลเซียส

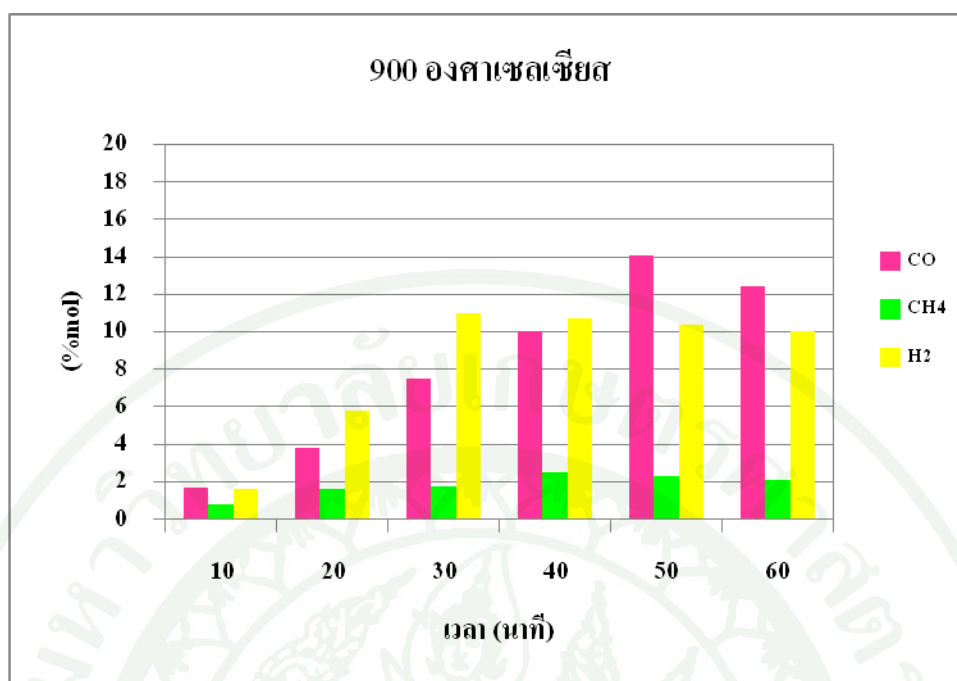
เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสกับที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสนั้น พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นแม้จะเพิ่มขึ้นไม่มากนักก็ตาม โดยค่าร้อยละโดยเฉลี่ยของการับอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทนของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 13.12, 3.03 และ 10.63 ตามลำดับ ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ร้อยละของแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

3.1.3 การใช้อุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส

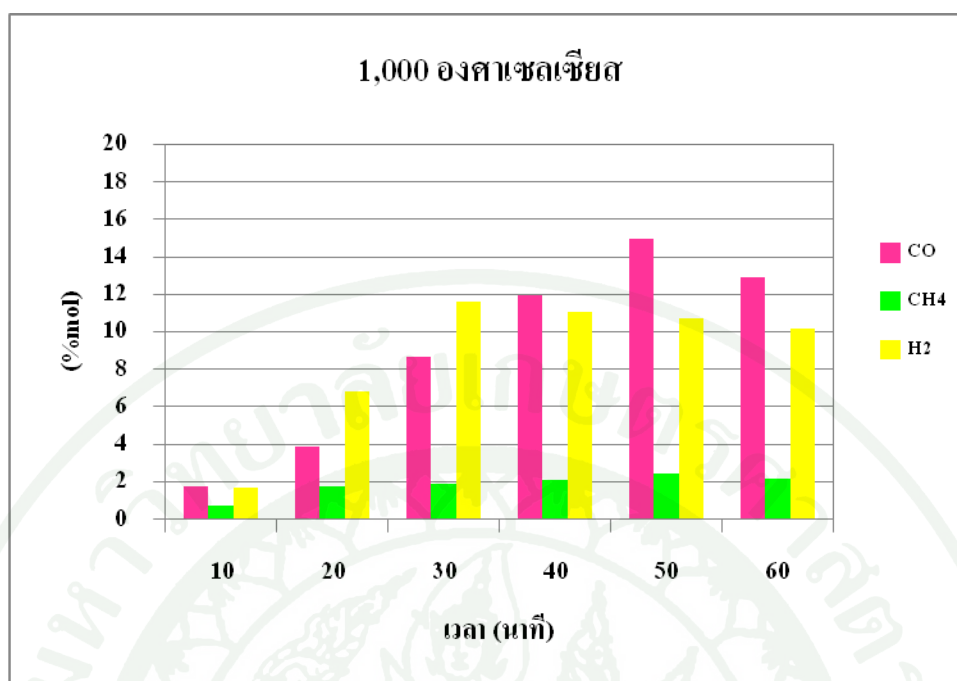
การทำให้อุณหภูมิแก๊สผลิตภัณฑ์สูงถึง 900 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่หลายงานวิจัยกล่าวว่าสามารถทำให้น้ำมันดินสลายตัวได้ดี และจากการทดลองพบว่าค่าร้อยละโดยเฉลี่ยของการับอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทนที่ได้เท่ากับ 14.07, 11.02 และ 2.48 ตามลำดับ ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ร้อยละของแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

3.1.4 การใช้อุณหภูมิที่ 1,000 องศาเซลเซียส

สำหรับในงานวิจัยนี้อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุดสำหรับการศึกษาความสามารถในการกำจัด หรือ ลดปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณและเพื่อความปลอดภัยในการทดลอง (เนื่องจากมีความร้อนค่อนข้างสูงมาก) ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละโดยเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน มีค่าเท่ากับ 14.98 11.61 และ 2.43 ตามลำดับ ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ร้อยละของแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำให้แก๊สผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ได้แก๊สองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นอาจใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงแนวโน้มที่ปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ลดน้อยลงเนื่องจากความร้อนไปสลายโมเลกุลขนาดใหญ่ของน้ำมันดินให้เป็นแก๊สองค์ประกอบซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดเล็กกว่า การทดลองที่กล่าวถึงในหัวข้อต่อไปเป็นการสอบทานว่าปริมาณแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ปริมาณที่ลดลงของน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สองค์ประกอบได้จริงหรือไม่

3.2 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้อุณหภูมิต่างๆ

3.2.1 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้อุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองโดยใช้อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 7.03 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณน้ำมันดินในแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปรับอัตราการป้อนอากาศ (7.10 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่

อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที) แต่มีปริมาณน้ำมันดินมากกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ตัว ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสที่ใช้นั้นยังไม่สูงพอที่จะสลายน้ำมันดิน หรือทำให้มันแตกตัวได้ในปริมาณที่มากจึงทำให้มีปริมาณน้ำมันดินปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ค่อนข้างมาก

3.2.2 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้อุณหภูมิที่ 800 องศาเซลเซียส

การทดลองที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ (7.00 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร) เท่ากับปริมาณที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส แต่มีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับผลการกำจัดน้ำมันดินโดยปรับอัตราการป้อนอากาศอย่างเดียวก็เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีปริมาณน้ำมันดินลดลง แต่ก็ยังมากกว่าปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วย

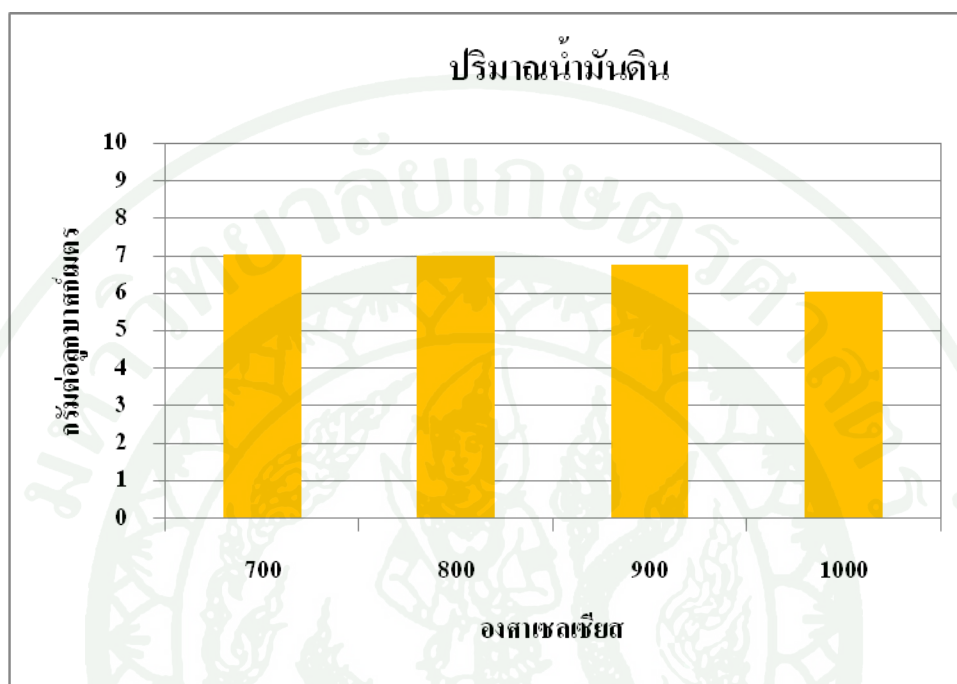
3.2.3 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้อุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของแก๊สผลิตภัณฑ์ถึง 900 องศาเซลเซียส แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำมันดินปนเปื้อน 6.76 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร กลุ่มนักวิจัยต่างประเทศหลายกลุ่มรายงานผลการทดลองที่สอดคล้องกันว่าหากให้ความร้อนจนแก๊สผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิตั้งแต่ 900 องศาเซลเซียสขึ้นไปจะสามารถทำให้น้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์สลายตัวได้ดี นอกจากนี้ การลดปริมาณน้ำมันดินในแก๊สผลิตภัณฑ์โดยการให้ความร้อนจนแก๊สผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงถึง 900 องศาเซลเซียสยังให้ผลใกล้เคียงกับการลดปริมาณน้ำมันดินโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำให้ปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือ 6.74 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.2.4 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้อุณหภูมิที่ 1,000 องศาเซลเซียส

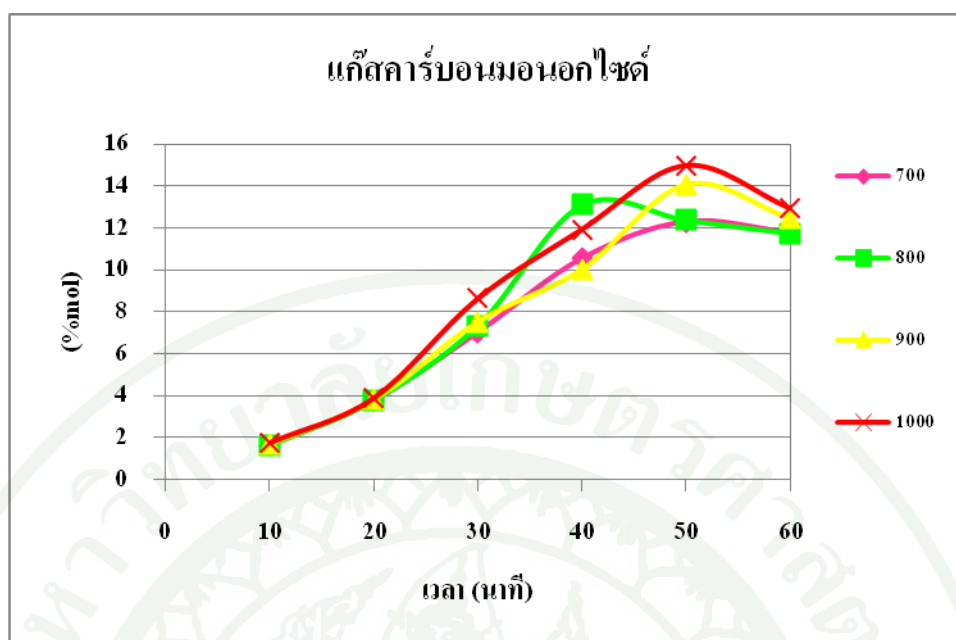
ผลการทดลองพบว่า เมื่อให้ความร้อนจนแก๊สผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือ 6.03 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณน้ำมันดินที่เหลือหลังจากการใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำให้ปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือ 6.08 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลสรุปของการ

ทดลองเพื่อกำจัด หรือลดปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีทำให้น้ำมันดินในแก๊สผลิตภัณฑ์สลายตัวที่อุณหภูมิสูง (Thermal Cracking) ดังภาพที่ 29

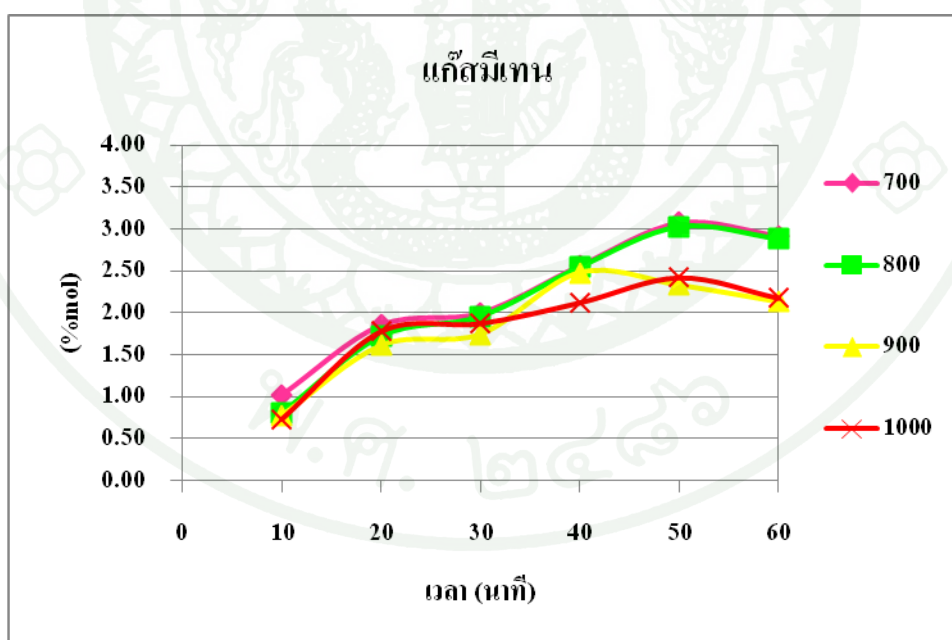


ภาพที่ 29 ปริมาณน้ำมันดินที่เหลือหลังจากการทดลองให้ความร้อนแก๊สผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

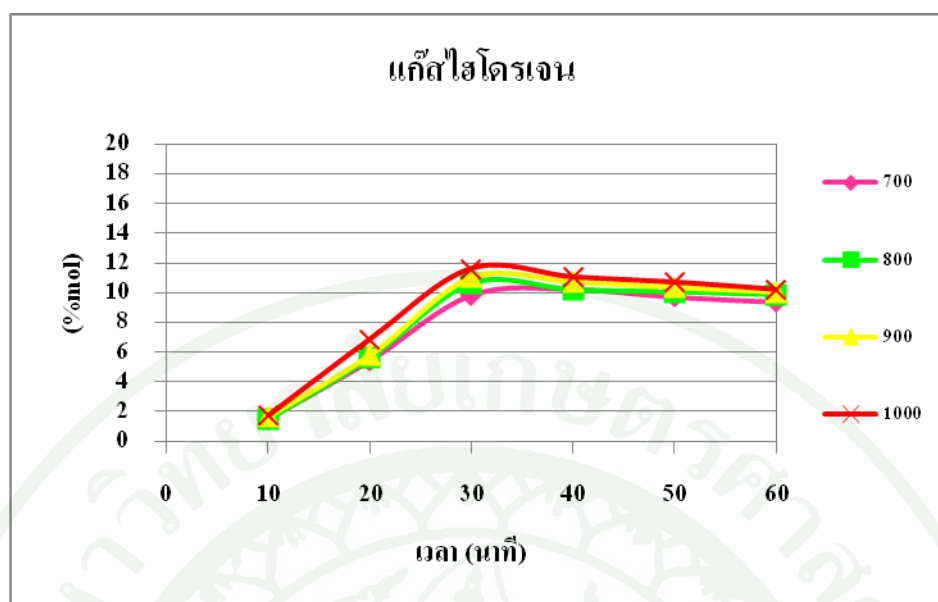
จากภาพที่ 29 ปริมาณน้ำมันดินเริ่มลดลงเมื่อแก๊สผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิตั้งแต่ 900 องศาเซลเซียสขึ้นไป สรุปได้ว่า การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้และมีผลต่อปริมาณน้ำมันดินที่ได้ด้วย โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะแปรผันตรงกับปริมาณแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ กล่าวคือ ถ้าทำให้อุณหภูมิของแก๊สผลิตภัณฑ์สูงขึ้นก็จะทำให้ปริมาณของแก๊สองค์ประกอบสูงตามไปด้วย แต่ในทางกลับกัน อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะแปรผกผันกับปริมาณน้ำมันดินที่ได้ กล่าวคือ ถ้าทำให้แก๊สผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงก็จะทำให้ปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนแก๊สผลิตภัณฑ์ลดต่ำลง เนื่องจากว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้น้ำมันดินสลายตัวกลายเป็นแก๊สองค์ประกอบในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในลำดับต่อไปใช้อุณหภูมิที่ 1,000 องศาเซลเซียสในการทดลอง และจากการใช้อุณหภูมิต่างๆที่กล่าวมาแล้วได้นำเสนอผลการเปรียบเทียบแก๊สผลิตภัณฑ์แต่ละตัวเพื่อแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ 1,000 องศาเซลเซียสนั้น น้ำมันดินสลายตัวเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ดังภาพที่ 30-32



ภาพที่ 30 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้เปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิระดับต่างๆ



ภาพที่ 31 แก๊สมีเทนที่ได้เปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิระดับต่างๆ



ภาพที่ 32 แก๊สไฮโดรเจนที่ได้เปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิระดับต่างๆ

4. การหาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและความร้อน

เนื่องจากการหาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดินนั้นมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามาช่วย จึงมีแนวคิดว่าจะหากนำตัวเร่งปฏิกิริยาและความร้อนมาใช้ร่วมกันก็จะทำให้สามารถลดปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นได้พร้อมทั้งน่าจะให้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้นด้วย เพราะเนื่องจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างเดียวยังคงพบว่าการทดลองพบว่าสามารถลดทั้งปริมาณน้ำมันดินและยังช่วยเพิ่มแก๊สผลิตภัณฑ์ด้วยซึ่งการใช้ความร้อนก็เป็นเช่นเดียวกัน จึงได้นำทั้ง 2 วิธีมาใช้ร่วมกันเพื่อดูแนวโน้มของผลการทดลองที่เกิดขึ้นว่าจะเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้หรือไม่

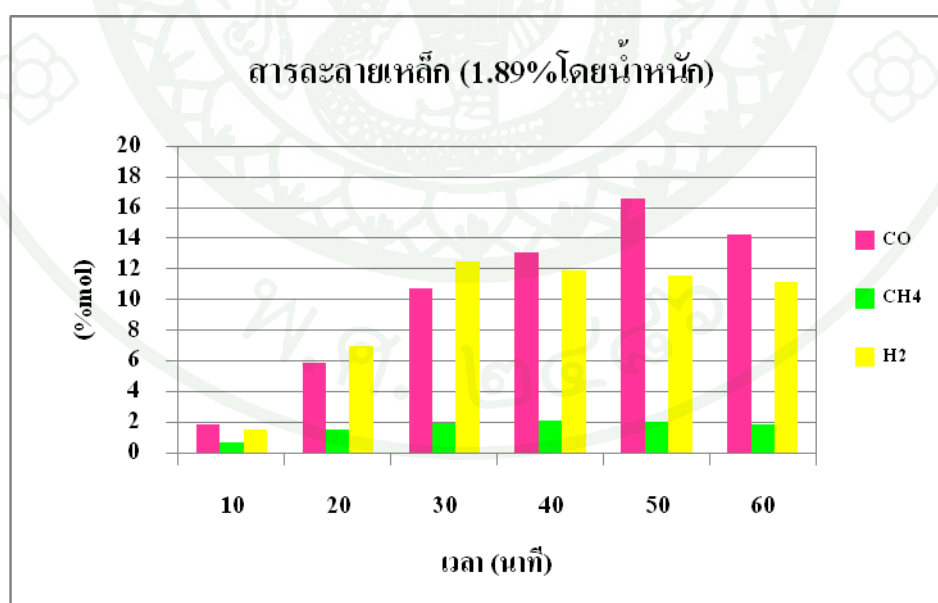
โดยในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกับการทดลองอื่นๆ คือ ส่วนที่หนึ่ง เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ และส่วนที่สอง เพื่อศึกษาผลในการลดปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ ในการทดลองนี้เลือกการเพิ่มอุณหภูมิของแก๊สผลิตภัณฑ์ให้ถึง 1,000 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลือกใช้ก็จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาตัวเดิมทั้งหมด 3 ตัว คือ เหล็ก (ความเข้มข้นร้อยละ 1.89 โดยน้ำหนัก) โซเดียมคาร์บอเนต (ความเข้มข้นร้อยละ 1.83 โดยน้ำหนัก) และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้นร้อยละ 1.79 โดยน้ำหนัก) ซึ่งการที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิด

แตกต่างกัน เนื่องจากได้วัดความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาหลักเป็นหลัก เพราะทางสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยได้มีตัวอย่างสารละลายหลักที่เหลือจากการทดลองในปริมาณมาก และจากการศึกษาก็พบว่าหลักมีประสิทธิภาพในการลดน้ำมันดินได้ จึงมีแนวคิดนำสารละลายหลักที่เหลือนั้นมาใช้ในการวิจัยนี้ โดยได้นำไปตรวจหาความเข้มข้นพบว่าได้เท่ากับร้อยละ 1.89 โดยน้ำหนัก จึงได้เตรียมความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออีก 2 ชนิด คือ โซเดียมและอะลูมิเนียมให้ใกล้เคียงกับหลักมากที่สุดเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน แต่เนื่องจากความสามารถในการละลายของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดต่างกันจึงทำให้ความเข้มข้นที่ได้ต่างกัน

4.1 แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้สารละลายเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการใช้ความร้อน

4.1.1 แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้หลักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

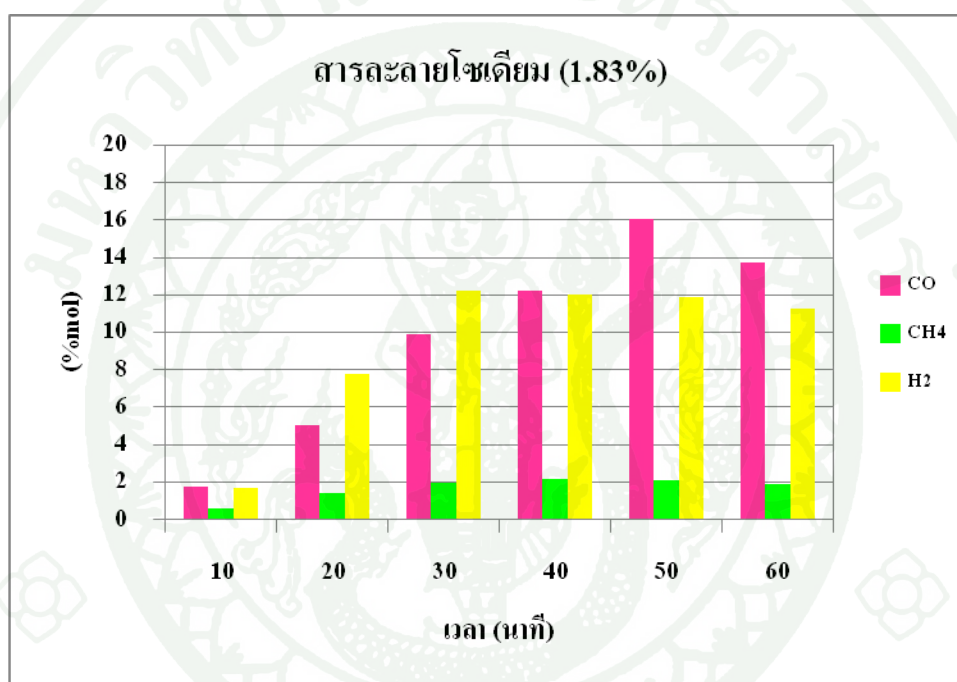
ผลการทดลองการใช้หลักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการทำให้อุณหภูมิของแก๊สผลิตภัณฑ์สูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณร้อยละโดยเฉลี่ยแก๊สองค์ประกอบซึ่งได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน เท่ากับ 16.59, 12.47 และ 2.12 ตามลำดับ ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้หลักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้อุณหภูมิที่ 1,000 องศาเซลเซียส

4.1.2 แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

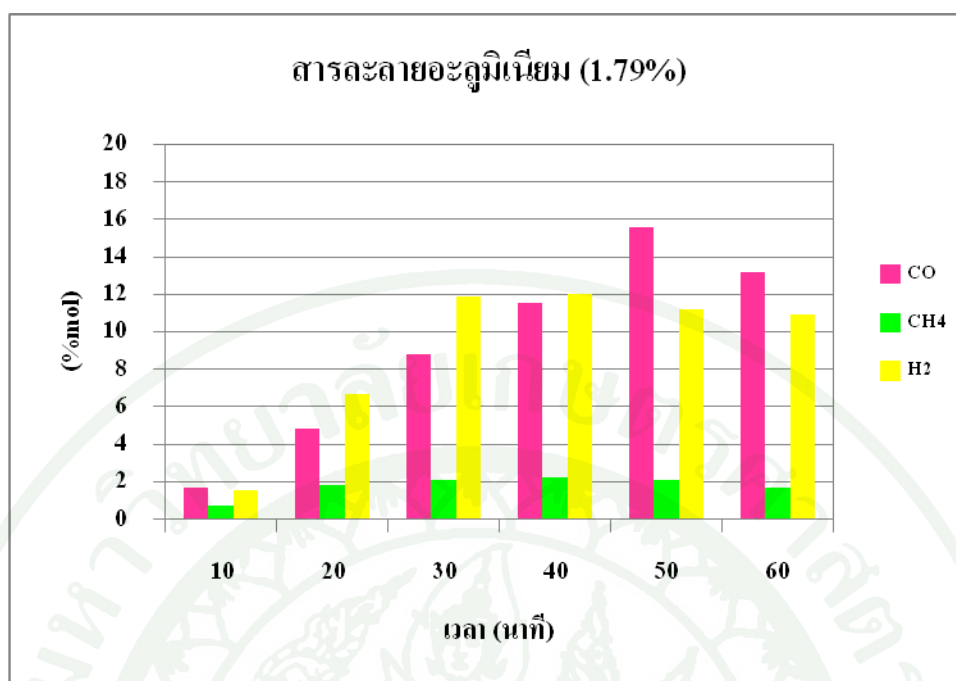
ผลการทดลองโดยใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการทำให้อุณหภูมิของแก๊สผลิตภัณฑ์สูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณร้อยละโดยเฉลี่ยแก๊สองค์ประกอบซึ่งได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน มีค่าเท่ากับ 16.05, 12.21 และ 2.17 ตามลำดับ ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้อุณหภูมิที่ 1,000 องศาเซลเซียส

4.1.3 แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้อะลูมิเนียม

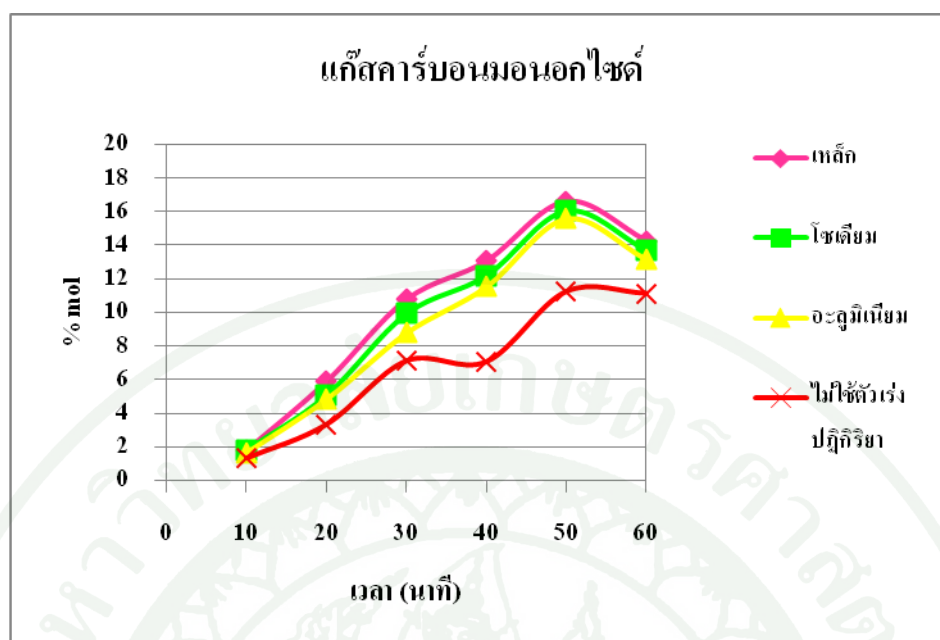
ผลการทดลองโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการทำให้อุณหภูมิของแก๊สผลิตภัณฑ์สูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณร้อยละโดยเฉลี่ยแก๊สองค์ประกอบซึ่งได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน มีค่าเท่ากับ 15.58, 12.04 และ 2.22 ตามลำดับ ดังภาพที่ 35



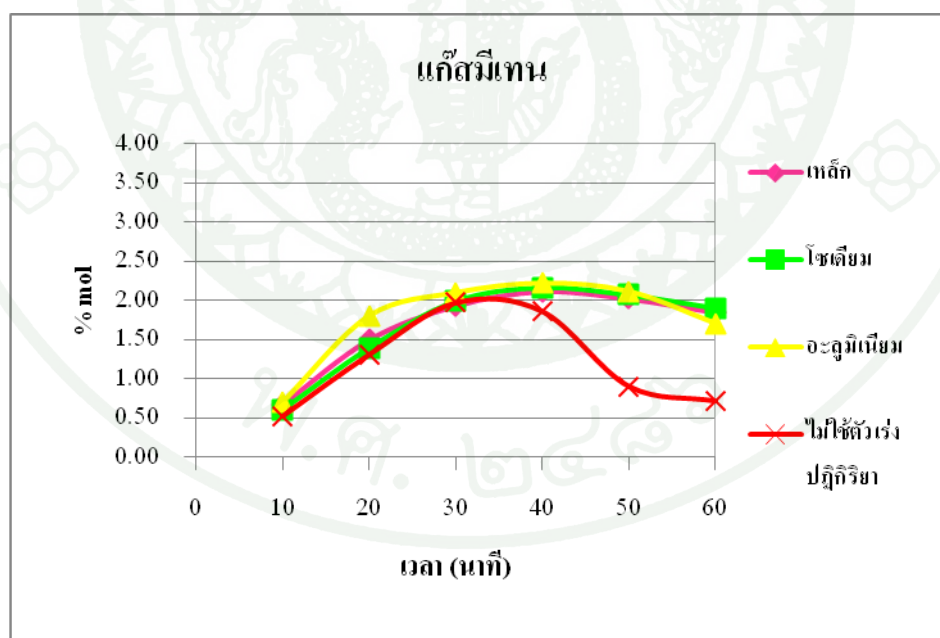
ภาพที่ 35 แก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้อุณหภูมิที่ 1,000 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ความร้อนหรืออุณหภูมิที่ 1,000 องศาเซลเซียสรวมกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้ปริมาณแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ซึ่งสนับสนุนสมมติฐานตามที่คาดการณ์ไว้ คือ การใช้เหล็กร่วมกับความร้อนสามารถให้ปริมาณแก๊สองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุดเช่นเดียวกันกับการใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ความร้อนนั่นเอง

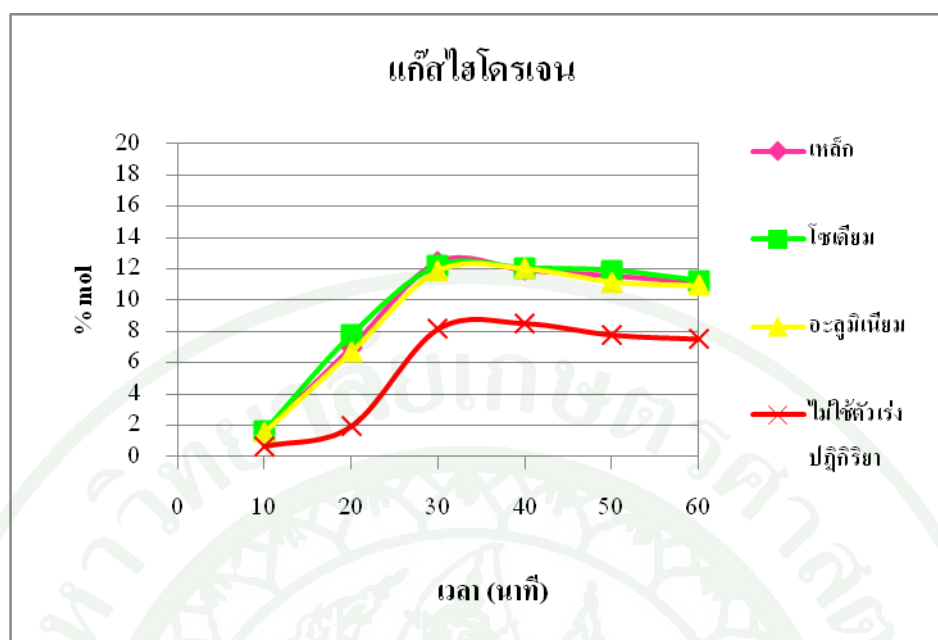
ดังนั้นจึงสามารถเรียงลำดับความสามารถในการให้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยารวมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสดังนี้ เหล็ก > โซเดียม > อะลูมิเนียม และจากแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้แต่ละตัวจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆมาเปรียบเทียบกันจะทำให้เห็นได้อย่างชัดเจนมากขึ้นถึงแนวโน้มของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้รวมทั้งได้มีการนำผลของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามาเปรียบเทียบเพื่อแสดงได้ถึงความแตกต่างจากผลของการใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ดังภาพที่ 36-38



ภาพที่ 36 เปรียบเทียบแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ได้จากการใช้ความร้อนปฏิกิริยาชนิดต่างๆ



ภาพที่ 37 เปรียบเทียบแก๊สมีเทนที่ได้จากการใช้ความร้อนปฏิกิริยาชนิดต่างๆ



ภาพที่ 38 เปรียบเทียบแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ

4.2 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการใช้ความร้อน

4.2.1 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

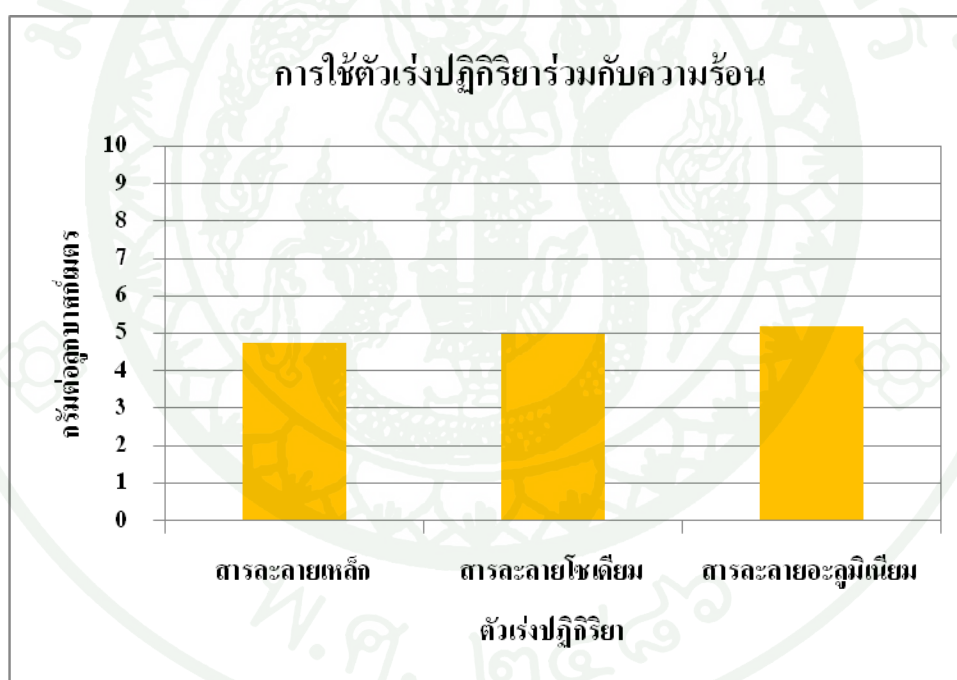
เมื่อใช้เหล็กร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เข้าร่วมกันในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนั้นพบว่า ปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆที่ได้ทดลองมา (สำหรับในงานวิจัยนี้) เพราะมีทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาและความร้อนที่เข้าไปช่วยในการแตกตัวของน้ำมันดินให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงจึงทำให้ได้น้ำมันดินที่น้อยลง และนับว่าการใช้เหล็กและความร้อนร่วมกันจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันดินน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆด้วย ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าได้ปริมาณน้ำมันดินเท่ากับ 4.74 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.2.2 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับความร้อน จากผลการทดลองพบว่า สามารถช่วยลดปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นได้เช่นเดียวกัน แต่เมื่อเทียบกับเหล็กแล้วจะมีปริมาณน้ำมันดินที่มากกว่า โดยปริมาณน้ำมันดินที่ได้นั้นเท่ากับ 4.97 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.2.3 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สำหรับการใช้อะลูมิเนียมในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับความร้อนนั้น ถือว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตัวสุดท้ายและเมื่อเทียบกันระหว่างการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับความร้อนทั้งหมด อะลูมิเนียมให้ปริมาณน้ำมันดินออกมามากที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นที่ใช้ได้นั้นน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอีก 2 ตัวที่กล่าวมาแล้ว แต่ก็มีความสมเหตุสมผลกันเมื่อกลับไปดูผลการทดลองในส่วนของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็พบว่าการใช้อะลูมิเนียมนี้ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ออกมาน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอีก 2 ตัว แต่ปริมาณน้ำมันดินที่ได้ได้นั้นยังถือว่าน้อยกว่าการใช้วิธีการอื่นๆทุกวิธียกเว้นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับความร้อน โดยปริมาณน้ำมันดินที่ได้ได้นั้นเท่ากับ 5.19 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังภาพที่ 39

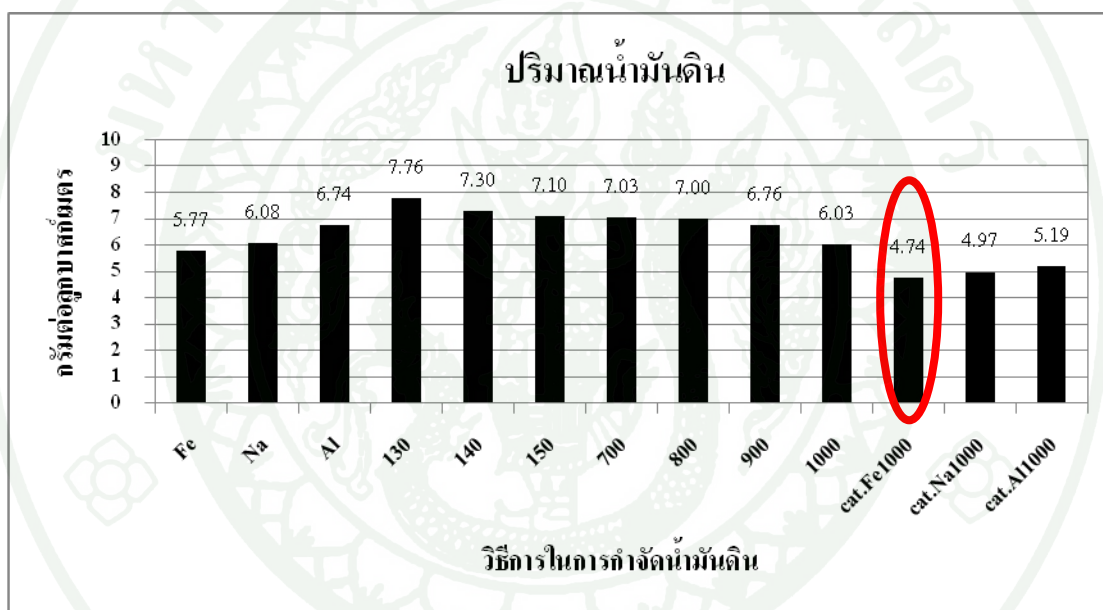


ภาพที่ 39 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆร่วมกับความร้อน

ในส่วน of ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ตัว ร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสนั้น สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ การใช้เหล็กร่วมกับความร้อนนั้น จะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันดินออกมาน้อยที่สุด คือ 4.74 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสอดคล้องกับแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ เนื่องจากการใช้เหล็กร่วมกับความร้อนนั้นก็จะทำให้ได้แก๊สผลิตภัณฑ์ออกมามาก

ที่สุดเช่นกัน โดยน้ำมันดินที่ลดลงไปนั้นกลายเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้นั่นเอง โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดินด้วยวิธีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับความร้อนนั้นของเรียงลำดับความเหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดินดังนี้ คือ เหล็กร่วมกับความร้อน > โซเดียมร่วมกับความร้อน > อะลูมิเนียมร่วมกับความร้อน

จากผลการทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันดินด้วยวิธีการต่างๆทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วจะขอนำเสนอผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากวิธีการต่างๆในรูปแบบของกราฟ ดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันดินที่ได้ด้วยวิธีการต่างๆ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาผลของการกำจัดน้ำมันดินของไม้ยูคาลิปตัสในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบ แก๊สไหลลง ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยแบ่งการทดลอง ออกเป็นช่วงต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การทดลองการลดปริมาณน้ำมันดินโดยใช้การปรับอัตราการป้อนอากาศในระดับต่างๆ คือ 130, 140 และ 150 ลิตรต่อนาที พบว่าการใช้อัตราการป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที สามารถ ลดปริมาณน้ำมันดินได้มากที่สุดเท่ากับ 7.1 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และให้แก๊สผลิตภัณฑ์ คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนมากที่สุด คือ ร้อยละ 11.23 และ 8.49 ตามลำดับ เมื่อ เปรียบเทียบกับอัตราการป้อนอากาศในระดับอื่น

2. การทดลองการลดปริมาณน้ำมันดินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สารละลายเหล็ก สารละลายโซเดียม และสารละลายอะลูมิเนียม โดยใช้อัตราการป้อนอากาศที่ดีที่สุด คือ 150 ลิตรต่อ นาที ผลการทดลองที่ได้พบว่า การใช้เหล็กช่วยลดปริมาณน้ำมันดินได้มากที่สุดและให้แก๊ส ผลิตภัณฑ์มากที่สุด เท่ากับ 5.8 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ร้อย ละ 13.3 และ 10.2 ตามลำดับ

3. การทดลองลดปริมาณน้ำมันดินโดยใช้ความร้อนเข้าช่วยในการแตกสลายน้ำมันดินซึ่ง ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆดังนี้ คือ 700, 800, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการ ป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาทีเช่นกัน ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสนั้น สามารถลดปริมาณน้ำมันดินได้มากที่สุด คือ 6.03 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยให้แก๊ส คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนมากที่สุดด้วย เท่ากับร้อยละ 14.98 และ 11.61

4. การทดลองลดปริมาณน้ำมันดินโดยใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเลือกเอา ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ใช้กับตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ตัว คือ เหล็ก สารละลาย โซเดียม และสารละลายอะลูมิเนียม ผลการทดลองที่ได้ คือ การใช้ความร้อนร่วมกับเหล็กนั้นช่วย

ลดปริมาณน้ำมันดินได้ดีที่สุดเท่ากับ 4.74 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจนเท่ากับร้อยละ 16.59 และ 12.47 ตามลำดับ

ผลการศึกษาการกำจัดน้ำมันดินของไม้อยูคาลิปตัสในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลงพบว่าการใช้อัตราการป้อนอากาศสูงจะช่วยลดปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นได้แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะช่วยในการแตกสลายน้ำมันดินให้กลายเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะมีส่วนช่วยในการลดปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน ในทางสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถช่วยลดมลพิษที่เกิดขึ้นได้ด้วยพร้อมทั้งเมื่อน้ำมันดินลดลงก็จะทำให้ได้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้นและเหมาะสมในการนำไปใช้งานด้านต่างๆ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลองพบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงที่ 1,000 องศาเซลเซียส ขึ้นไปนั้นมีแนวโน้มที่สามารถลดปริมาณน้ำมันดินได้มากขึ้น แต่เนื่องจากการทดลองนี้ได้ให้ความร้อนโดยการใช้ถ่านที่ผสมผงเหล็กเพื่อเป็นแหล่งให้ความร้อน เพราะฉะนั้นจำเป็นต้องใช้ถ่านจำนวนมากและอุณหภูมิก็ไม่สามารถทำให้สูงกว่า 1,100 - 1,200 องศาเซลเซียส และการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับคงที่ค่อนข้างลำบาก หากมีการศึกษาเพิ่มเติมในขั้นต่อไปการปรับเปลี่ยนแหล่งการให้ความร้อนเป็นระดับอัตโนมัติแทนถ่านก็จะทำให้การลดปริมาณน้ำมันดินมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิได้และน่าจะมีความคงที่กว่าการใช้ถ่าน และสำหรับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาก็มีความสามารถในการช่วยลดปริมาณน้ำมันดินได้เช่นกัน แต่หากนำไปใช้ในระดับสเกลที่ใหญ่ขึ้นอาจจำเป็นต้องใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้น ดังนั้นถ้าจะมีการพัฒนาในระดับที่ใหญ่ขึ้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเชิงเศรษฐศาสตร์ความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. ค่าความร้อนที่ได้จากชีวมวลแต่ละชนิด. กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2552. การส่งเสริมการใช้พลังงานจากชีวมวลในประเทศไทย. กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2548. อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไม้เป็นวัตถุดิบของประเทศไทย. กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว. 2551. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

จอมภพ แวศักดิ์. มารินา มะหนิ. ภรพนา บัวเพชร. ปิติ พานิชานุพนธ์ และ สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์. 2550. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลโดยอาศัยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา.

ชโลมศักดิ์ แต่งงาม. วิชัย ศิวะโกสิษฐ์ และ เกียรติไกร อายุวัฒน์. 2553. การออกแบบเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบสามส่วนโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชัยชาญ ฤทธิเกรียงไกร. 2547. พลังงานทดแทน: พลังงานชีวมวลกับศักยภาพของประเทศไทย สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ชุมพล พึ่งเรือง. 2554. การผลิตถ่านไม้ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส. สารานุกรมเกี่ยวกับถ่าน, กรุงเทพฯ.

ณัฐพงษ์ ประภากร. 2551. การศึกษาพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

นิตยา พัฒนรัชต์. 2551. การผลิตแก๊สจากไม้โดยใช้เครื่องแก๊สซิไฟเออร์และเครื่องยนต์. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์ปีที่ 8. สำนักส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยี. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2554. ความเป็นมาการใช้พลังงานของมนุษย์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

บุญรอด วงษ์สาวท. 2555. สมบัติบางประการของธาตุ. แผนการจัดการเรียนรู้เคมี. กรุงเทพฯ

ประลอง คำรงค์ไทย. 2555. การผลิตถ่านจากสวนไม้ยูคาลิปตัส. กรุงเทพฯ.

ปราณี สีสันต์. พรพนา โพธินาม และ วัชรภรณ์ จันทบุตร. 2551. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม ภายใต้สภาวะปลูกไม้ยืนต้นบนคันนา. กรุงเทพฯ.

ไพศาล นิรนาม. 2550. การผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน. บทความด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม. หนังสือพิมพ์โพสทูเดย์ ฉบับประจำวันจันทร์ที่ 3 ธันวาคม พ.ศ.2550 น. B6.

เขาวชิร อชวังกล. 2553. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Gasification). กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

ศิริพร วัฒนศรีรังกุลชูลีพร อรุณแสงสุริย์ และ สมวงษ์ ตรีภูมร่ง. 2554. ยูคาลิปตัสไม้เศรษฐกิจของโลก. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ.

ศุภวิทย์ ลวณะสกล. 2549. เครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ใช้ถ่านไม้. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี.

วารสารนโยบายพลังงาน. 2546. เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวลขนาดเล็ก. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. เมษายน-มิถุนายน. 60.

วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล. 2555. ชีวมวลเป็นพลังงานเชื้อเพลิง อีกทางเลือกพลังงานที่ยั่งยืนประเทศไทย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์. กรุงเทพฯ

วีรชัย ออาจหาญ. นิวัฒน์ คงกระพี. กฤษกร รับสมบัติ. ปกัศ ชนะโรค และ ทิพย์สุกินทร์ หินชูช. 2550. การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน. การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัย โรงไฟฟ้าต้นแบบขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 19-20 กรกฎาคม. นครราชสีมา. 235-244.

อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย. 2538. การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในเบดนิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Attra. K. 2006. Ultra-sensitive coal tar distillate analysis by GC-PID. **Originally published.**

Balat, M., E. Kirtay. and H. Balat. 2009. Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. **Energy Conversion and Management** 50: 3158–3168.

Barea, A.G. and B. Leckner. 2010. Modeling of biomass gasification in fluidized bed. **Progress in Energy and Combustion Science** 36: 444-509.

Canpoy, M., A. G. Barea, F. B. Vidal. and P. Ollero. 2009. Air–steam gasification of biomass in a fluidised bed: Process optimisation by enriched air. **Fuel Processing Technology** 90: 677–685.

Cao, Y., Y. Wang, Riley. J.T. and W.P. Pan. 2006. A novel biomass air gasification process for producing tar-free higher heating value fuel gas. **Fuel Processing Technology** 87: 343-353.

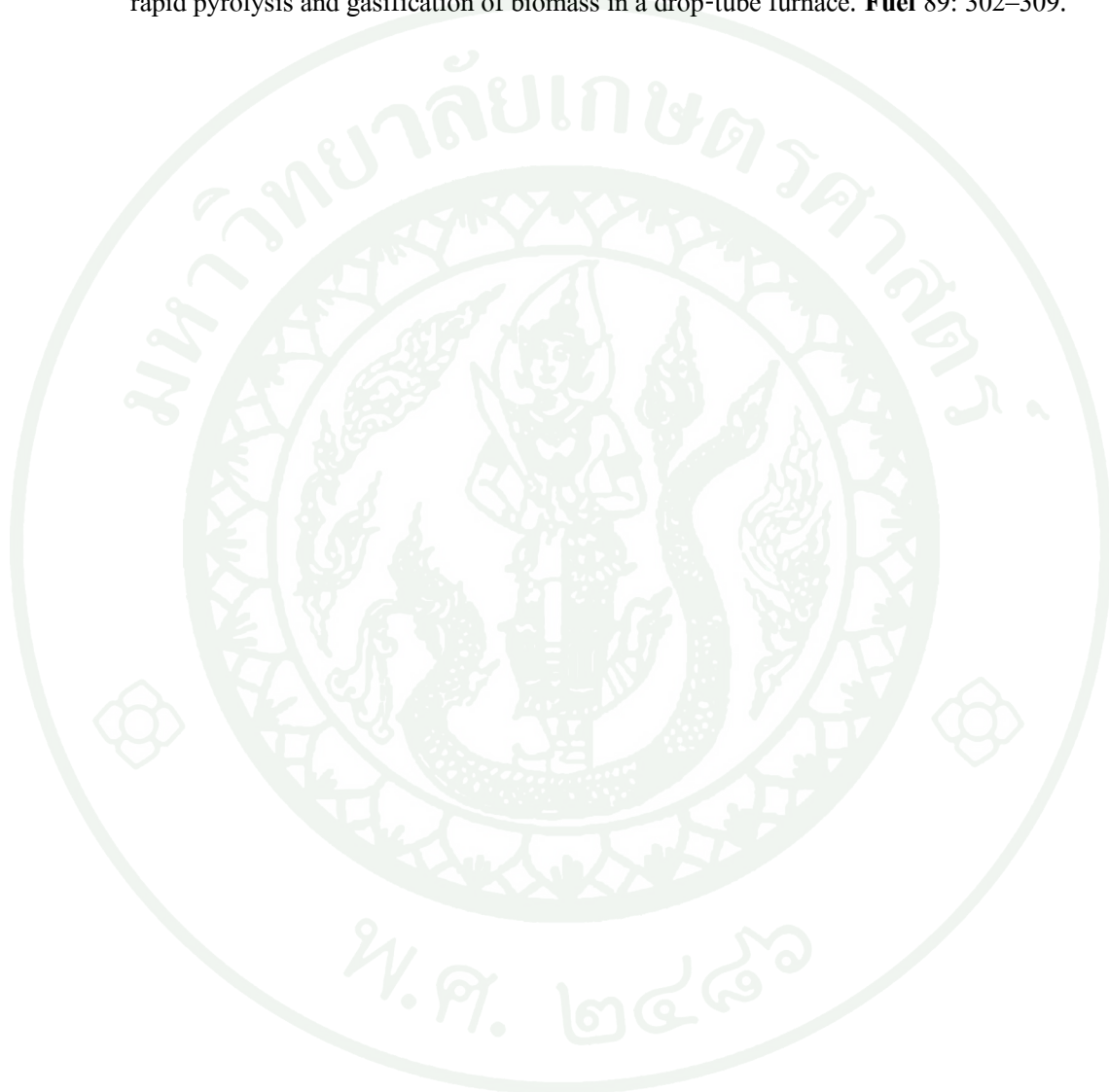
- Chaiprasert, P. and T. Vitidsant. 2009. Promotion of coconut shell gasification by steam reforming on Nickel-Dolomite. **American Journal of Apple Science** 6: 332–336.
- Devi, L., K. J. Ptasinli. and F. J. J. G. Janssen. 2005. Pretreated olivine as tar removal catalyst for biomass gasifiers: investigation using naphthalene as model biomass tar. **Fuel Process Technol** 86: 707–730.
- Elliott, C. D. and E. G. Baker. 1986. The Effect of Catalysis on Wood-Gasification Tar Composition. **Biomass** 9: 195-203
- FAO. 1986. Wood gas as engine fuel. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Forestry Paper** 72: 59
- Han, J. and Heejoon. K. 2008. The reduction and control technology of tar during biomass gasification/pyrolysis: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 12: 397-416.
- Hurley, S., Xu, C., Preto, F., Shao, Y., Li, H., Wang, J., and Tourigny, G. (2012). Catalytic gasification of woody biomass in an air-blown fluidized-bed reactor using Canadian limonite iron ore as the bed material. **Fuel** 91: 170-176.
- Klass, D.L. 1994. Biomass for Renewable Energy, Fuel and Chemical. **Academic Press**.
- Li. C. and K. Suzuku. 2009. Tar property, analysis, reforming mechanism and model for biomass gasification. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 13: 594–604.
- Luo, S., B. Xiao, Z. Hu, S. Liu, X. Guo and M. He. 2009. Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of biomass in a fixed bed reactor: Influence of temperature and steam on gasification performance. **International Journal of Hydrogen Energy** 34: 2191-2194.

- Midilli, A., Dogru. M, Howarth. C. R, Ling. M. J. and Ayhan. T. 2000. Combustible gas production from sewage sludge with a downdraft gasifier. **Energy Conversion & management** 42: 157-172.
- Pfeifer, C. and H. Hofbauer. 2008. Development of catalytic tar decomposition downstream from a dual fluidized bed biomass steam gasifier. **Powder Technology** 180: 9-16.
- Pnegmei, L., Z. Yuan, L. Ma, C. Wu. Y. Chen. and J. Zhu. 2007. Hydrogen-rich gas production from biomass air and oxygen/steam gasification in a downdraft gasifier. **Renewable Energy** 32: 2173-2185.
- Rajvanshi, A.K., 1986. Alternative Energy in Agriculture. **CRC Press**. Boca Raton.
- Rapagna S, J and N, Foscolo. 1998. Catalytic gasification of biomass to produce hydrogen rich gas. **Hydrogen Energy** 23: 551–557.
- Rezaiyan, J. and N. P.Cheremisinoff. 2005. Gasification Technology A Primer for Engineers and Scientists. **CPR Press, Taylor & Francis Group**. Florida.
- Saravanakumar, A., T.M. Haridasan. T.B. Reed. And R.K. Bai. 2007. Experimental investigation and modelling study of long stick wood gasification in a top lit updraft fixed bed gasifier. **Fuel** 86: 2846-2856.
- Sheth, P.N. and B.V. Babu. 2009. Experimental studies on producer gas generation from wood waste in a downdraft biomass gasifier. **Bioresource Technology** 100: 3127–3133.
- Wang, L. C.L. Weller, D.D. Jones and M.A. Hanna. 2008. Contemporary issues in thermal gasification of biomass and its application to electricity and fuel production. **Biomass and Bioenergy** 32: 573-581.

Warnecke, R. 2000. Gasification of biomass: comparison of fixed bed and fluidized bed gasifier.

Biomass Bioenergy 18: 489–497.

Zang, Y., S. Kajitami, M. Ashizawa, and Y. Oki. 2010. Tar destruction and coke formation during rapid pyrolysis and gasification of biomass in a drop-tube furnace. **Fuel** 89: 302–309.







วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวล

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis): ASTM D3172

1.1 ความชื้น (Moisture): ASTM D3173

1.1.1 วิธีการทดลอง

- 1) อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบ (Drying Oven) 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเดสิเคเตอร์ (Desiccator) ที่ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งแล้วบันทึกน้ำหนัก
- 2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง
- 3) นำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักตัวอย่างที่คงที่
- 4) นำถาดอลูมิเนียมออกมาทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำเข้าเดสิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที แล้วชั่งถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างอบแล้วอยู่ภายในบันทึกผล

1.1.2 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = 100(W_1 - W_2) / W$$

เมื่อ M = ร้อยละของความชื้น

W_1 = น้ำหนักถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาพร้อมกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น
ก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาพร้อมกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น
หลังอบ (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

1.2 เถ้า (Ash): ASTM D3174

1.2.1 วิธีการทดลอง

- 1) เผาครูชีเบิ้ลพร้อมฝาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (Desicator) ชั่งน้ำหนักครูชีเบิ้ล (Crusible) พร้อมฝา
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ครูชีเบิ้ลประมาณ 1 กรัม
- 3) นำไปเผาบนตะเกียงบนเซนจนควันระเหยหมด
- 4) ใส่ครูชีเบิ้ลพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่

- 5) นำครุชีเปิดออกจากเตาเผาวางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเคซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผล

1.2.2 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = 100(W_3 - W_4) / W$$

เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า

W_3 = น้ำหนักของครุชีเปิดพร้อมฝาที่มีเถ้า (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของครุชีเปลือยพร้อมฝา (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

1.3 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter): ASTM D3175

1.3.1 วิธีการทดลอง

- 1) เเผครุชีเปิด (Crusible) พร้อมฝาในเตาเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผาทำให้เย็นในเคซิเคเตอร์ (Desicator) แล้วชั่งน้ำหนักครุชีเปิดพร้อมฝา บันทึกผล
- 2) นำตัวอย่างใส่ในครุชีเปิดประมาณ 1 กรัม แล้วปิดฝาให้เรียบร้อย
- 3) นำไปให้ความร้อนโดยอยู่เหนือปากเตาเผา (Tubular Furnace) อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

- 4) หย่อนครุฑิเบิลให้อยู่บริเวณปากเตา ที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที
- 5) หย่อนครุฑิเบิลให้อยู่กลางเตา อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 นาที
- 6) นำครุฑิเบิลออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเคซิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

1.3.2 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = [100(W_5 - W_6) / W] - M$$

เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย

W_5 = น้ำหนักของครุฑิเบิลพร้อมฝาพร้อมกับน้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

W_6 = น้ำหนักของครุฑิเบิลพร้อมฝาพร้อมกับน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

M = ร้อยละความชื้น

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

1.4.1 สูตรที่ใช้การคำนวณ

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} = 100 - M - A - V$$

โดยผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของไม้ยูคาลิปตัสด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ ยี่ห้อ TruSpec CHN (ดังภาพผนวกที่ ก2) ซึ่งผลของการวิเคราะห์จะแสดงดังตารางผนวกที่ ก1



ภาพผนวกที่ ก1 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ

ตารางผนวกที่ ก1 องค์ประกอบของไม้ยูคาลิปตัส

Proximate Analysis (%wt)		Ultimate Analysis (%wt)	
องค์ประกอบ	ปริมาณ	องค์ประกอบ	ปริมาณ
Ash	2.90	Carbon	43.20
Moisture	13.07	Hydrogen	8.29
Volatile	62.73	Nitrogen	0.08
Fixed carbon	21.3	Oxygen	48.43

2. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องโครมาโตกราฟ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC 2014 (ดังภาพผนวกที่ ก2) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารผสมที่ระเหยง่าย โดยสารผสมจะถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์ (Column) ที่บรรจุด้วยสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดจับเรียกว่า Stationary Phase และมีแก๊สตัวพา (Carrier Gas) ทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่เรียกว่า Mobile Phase พาตัวอย่างให้เคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์ เข้าสู่เครื่องวัด

(Detector) และเมื่อเครื่องได้รับสัญญาณก็จะถูกส่งไปที่โครมาโตแกรม (Chromatogram) ที่ทำหน้าที่ในการบันทึกลงในเครื่องบันทึก (Recorder)



ภาพผนวกที่ ก2 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

2.1 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

2.1.1 แก๊สตัวพา (Carrier Gas)

2.1.2 ตัวควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส (Flow Controller)

2.1.3 ช่องสำหรับฉีดสารตัวอย่าง (Injector Port)

2.1.4 คอลัมน์ (Column)

2.1.5 ดีเทกเตอร์ (Detector)

2.1.6 เครื่องบันทึกผล (Recorder)

2.2 รายละเอียดขององค์ประกอบแต่ละส่วน

2.2.1 แก๊สตัวพา

แก๊สตัวพาเป็นแก๊สที่ทำหน้าที่ ในการพาสารตัวอย่างที่ถูกทำอยู่ในรูปแก๊สหรือไอแล้ว จากการที่ฉีดสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ ซึ่งแก๊สตัวพานี้จะต้องมีการควบคุมอัตราการไหล (Flow rate) ให้คงที่สม่ำเสมอ โดยสามารถเลือกใช้อัตราการไหลให้เหมาะสมตามต้องการ อัตราการไหลของแก๊ส นั้นจะมีความสำคัญหรือผลต่อการวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องควบคุมให้คงที่

สำหรับคุณสมบัติของแก๊สตัวพาโดยทั่วไปควรมีคุณสมบัติ คือ เป็นแก๊สเฉื่อย ไม่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง มีมวลโมเลกุลต่ำมีการแพร่กระจายเร็ว มีความบริสุทธิ์สูงและที่สำคัญราคาต้องไม่แพง โดยทั่วไปแก๊สตัวพาที่มักใช้กัน คือ แก๊สไนโตรเจน แก๊สฮีเลียม และแก๊สไฮโดรเจน

2.2.2 คอลัมน์ (Column)

คอลัมน์นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการแยกสาร เมื่อแก๊สหรือไอของสารผสมในสารตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ สารที่บรรจุในคอลัมน์เปล่านั้นจะทำหน้าที่แยกแก๊สของสารผสมออกจากกันเป็นส่วนๆ ดังนั้นคอลัมน์จึงสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องโครมาโทกราฟีได้ เพราะการแยกสารแต่ละชนิดออกจากกันจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของคอลัมน์

2.2.3 ดีเทคเตอร์ (Detector)

ดีเทคเตอร์ คือ ส่วนที่สามารถบ่งบอกทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้ของสารที่ต้องการวิเคราะห์หรือสารที่แตกต่างไปจากแก๊สตัวพา ดังนั้นเครื่องตรวจวัดจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณของสารต่างๆ ในลักษณะที่มีความเฉพาะเจาะจง มีสภาพไวเพียงพอ รวมทั้งมีความสามารถในการตอบสนองที่ดีพอในช่วงความเข้มข้นของสารที่กว้างพอ และมีความหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับ การเลือกใช้ตามความเหมาะสมของงาน โดยลักษณะเฉพาะที่ต้องการของดีเทคเตอร์ที่ดีนั้น ควรจะมีลักษณะเฉพาะในการตอบสนองต่อสารเคมีที่ต้องการวิเคราะห์ดังนี้

2.2.3.1 ให้สภาพความไวสูง (High sensitivity)

2.2.3.2 มีความสามารถเฉพาะต่อการตรวจหาสาร (Selectivity)

2.2.3.3 ให้ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณในช่วงความเข้มข้นที่กว้างพอที่จะวัดได้อย่างถูกต้อง

2.2.3.4 มีเสถียรภาพ (Stability) และความเที่ยงตรง (Reproducibility)

ดีเทคเตอร์ที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ Thermal Conductivity Detector (TCD) และ Flame Ionization Detector (FID) สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้ TCD

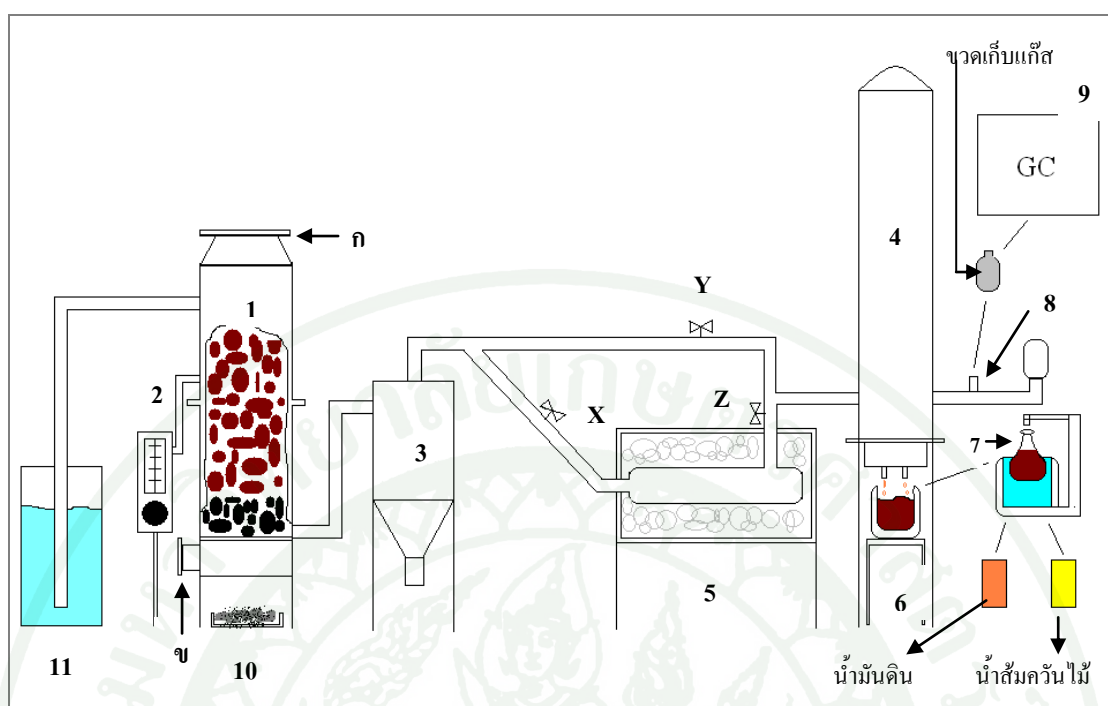
ดีเทคเตอร์แบบ TCD มีหลักการในการวิเคราะห์สารที่ออกมาจากแก๊สตัวพา คือ แก๊สตัวพาบริสุทธิ์ (Reference gas) กับแก๊สตัวพาที่มีสารตัวอย่างปนอยู่จะมีคุณสมบัติในการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ต่างกัน เมื่อสารตัวอย่างที่ถูกแยกจากคอลัมน์พร้อมด้วยแก๊สพาผ่านเข้าไปในเครื่องตรวจวัดและผ่านขดลวด (Filament) ซึ่งทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าในปริมาณหนึ่ง ขดลวดจะเสียความร้อนให้กับแก๊สตัวพาที่มีสารตัวอย่างเข้ามาในดีเทคเตอร์ แล้วดีเทคเตอร์ก็จะทำการปรับกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ขดลวดมีความร้อนเท่าเดิม กระแสไฟฟ้าที่ใช้การปรับความร้อนนี้จะเป็นสัญญาณส่งเข้าเครื่องบันทึกที่จะแปลสัญญาณออกมาเป็นโครมาโตแกรม

3. แผนผังองค์ประกอบของเครื่องมือทดลอง

จากขั้นตอนการทดลองที่กล่าวไว้ในส่วนของวิธีการทดลองดังขั้นตอนต่าง ๆ นั้น จึงจัดทำแผนภาพการทำงานของปฏิกรณ์แก๊สซีฟเฮอร์เพื่อให้เข้าใจในกระบวนการและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องได้มากขึ้น ซึ่งได้แยกอุปกรณ์ไว้ตามหมายเลขต่างๆ (ดังภาพผนวกที่ ก3) โดยหลักการทำงานของเครื่อง คือ เมื่อเริ่มต้นการทดลองได้นำถ่านปูลองพื้น 1 กิโลกรัมใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ (1) แล้ว ทำการจุดไฟด้วยหัวแก๊สที่ใช้เชื่อมเหล็กจนถ่านแดงทั่วแล้วหลังจากนั้นนำไปยูทาลิปดัส ที่เตรียม ไว้ใส่ลงไป 3 กิโลกรัม เนื่องจากถ่านใส่มากกว่านี้จะเผาไหม้ได้ไม่หมด และไม่บางส่วน จะค้างอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ได้ เมื่อใส่ไม้เสร็จแล้วก็ทำการปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์ทั้งด้านบน (ก) และ ด้านล่าง (ข) หลังจากนั้นทำการปรับอัตราการป้อนอากาศให้ได้ตามอัตราที่ต้องการด้วยเครื่อง

Flow Meter (2) ซึ่งแหล่งกำเนิดอากาศที่ใช้นั้นมาจากปั๊มลม ซึ่งเครื่องปฏิกรณ์ก็จะทำงานตามกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในการเปลี่ยนชีวมวลให้กลายเป็นแก๊ส แก๊สที่ได้ก็จะผ่านทางท่อเข้าไปสู่ไซโคลน (3) สำหรับดักฝุ่นที่ปนเปื้อนมากับแก๊สให้ตกลง ต่อจากนั้นแก๊สก็จะเดินทางเข้าสู่เครื่องควบแน่น (4) โดยทำการปิดวาล์ว (X) และ (Z) (ที่ต้องมีการปิดวาล์ว (X) และ (Z) เพื่อป้องกันไม่ให้แก๊สไหลผ่านส่วนที่ยังไม่ได้ใช้งานคือ เครื่องเทอร์มัลแครกกิง) เพื่อทำการควบแน่นแก๊สบางส่วนที่สามารถควบแน่นได้จะกลายเป็นของเหลวตกลงในภาชนะรองรับ (6) ซึ่งของเหลวที่ได้นี้จะนำไปวิเคราะห์เพื่อแยกน้ำมันดินออกจากน้ำส้มควันไม้ด้วยเครื่องระเหยด้วยไอน้ำ (7) หลังจากนั้นส่วนที่ไม่สามารถควบแน่นได้ก็จะกลายเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ออกมา โดยจะทำการเก็บแก๊สจากท่อที่มีสายยางต่อ (8) ใส่ขวดเก็บแก๊สเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีทุก 10 นาที เป็นระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองจะต้องมีการเก็บเก็บชีวมวลที่เหลือจากกระบวนการใส่ในภาชนะ (9) เพื่อเตรียมเครื่องให้พร้อมสำหรับการทดลองครั้งต่อไป ส่วนถึงน้ำนิรภัย (10) มีไว้เพื่อความปลอดภัยในการทดลอง ซึ่งก่อนการทดลองแต่ละครั้งจำเป็นต้องสำรวจน้ำในถังให้อยู่ในระดับที่ต้องการเสมอ

และสำหรับในส่วนของเครื่องเทอร์มัลแครกกิง (5) จะใช้เป็นอุปกรณ์ในการให้ความร้อนแก๊สที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันตามอุณหภูมิต่างๆที่ต้องการ เพื่อทำการแตกสลายน้ำมันดินที่ปนเปื้อนอยู่ในแก๊ส โดยใช้ถ่านผสมผงเหล็กเป็นแหล่งในการให้ความร้อนและมีเทอร์โมคอปเปิลชนิดเค (Thermocouple Type K) ในการวัดอุณหภูมิเพื่อให้ได้ตามต้องการ ซึ่งหากมีการทดลองในส่วนนี้จำเป็นต้องมีการปิดวาล์ว (Y) เพื่อให้แก๊สสามารถผ่านเข้าเครื่องเทอร์มัลแครกกิงก่อนที่จะผ่านเข้าสู่เครื่องควบแน่น โดยอุปกรณ์ต่างๆ (ดังภาพผนวกที่ ก3) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ



ภาพผนวกที่ ก3 แผนผังภาพอุปกรณ์ประกอบการทดลอง

3.1 องค์ประกอบของเครื่องมือ (ภาพผนวกที่ ก3)

หมายเลข 1 คือ แก๊สซิฟิเคอร์

หมายเลข 2 คือ Flow Meter ใช้ในการปรับอัตราการป้อนอากาศ

หมายเลข 3 คือ เครื่องดักจับฝุ่น (Cyclone)

หมายเลข 4 คือ เครื่องเทอร์มัลแคร์กึ่ง

หมายเลข 5 คือ เครื่องความดัน

หมายเลข 6 คือ ภาชนะรองรับของเหลวที่ได้จากการควบแน่น

หมายเลข 7 คือ เครื่องระเหยด้วยไอน้ำ

หมายเลข 8 คือ ท่อสายยางสำหรับเก็บแก๊ส

หมายเลข 9 คือ เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

หมายเลข 10 คือ ภาชนะในการรองรับน้ำที่ได้หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการ

หมายเลข 11 คือ ถังน้ำนํ้ารัย

4. เครื่องปฏิกรณ์แก๊สซีฟิเออร์และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ปฏิกรณ์แก๊สซีฟิเออร์ (ดังภาพผนวกที่ ก4) เป็นอุปกรณ์หลักทั้งหมดที่ใช้ ในการทดลอง ช่วงต้น คือ ยังไม่มีการเพิ่มเติมในส่วนเครื่องเทอร์มัลแคร์กึ่งเข้ามา ซึ่งในภาพได้แสดงส่วนที่ใช้สำหรับการปรับอัตราป้อนอากาศ และส่วนที่เป็นสายยางซิลิโคนไว้สำหรับการดึงแก๊สตัวอย่างด้วย เข็มฉีดยาเพื่อนำมาเก็บไว้ในขวดเก็บแก๊สสำหรับนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊สด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโตกราฟ



ภาพผนวกที่ ก4 เครื่องแก๊สซีฟิเออร์และอุปกรณ์การทดลองต่างๆ

5. การจุดไฟเชื้อเพลิงสำหรับการทดลอง

เมื่อเริ่มทำการทดลองจากที่กล่าวไว้ในส่วนวิธีการทดลอง คือ จะมีการใส่ถ่านลงไปก่อน 1 กิโลกรัม แล้วทำการจุดไฟในช่องด้านล่างด้วยหัวแก๊สที่ใช้เชื่อมเหล็ก (ดังภาพผนวกที่ ก5) โดยที่ฝาเครื่องปฏิกรณ์ด้านบนยังคงเปิดอยู่ จนสังเกตว่าถ่านแดงทั่วไปแล้วจึงทำการใส่ไม้ยูคาลิปตัสที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นก็ทำการปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์ทั้งด้านล่างและด้านบน



ภาพผนวกที่ ก5 การจุดไฟเชื้อเพลิงเพื่อทำการเดินระบบ

6. ของเหลวที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

ของเหลวที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน คือ เมื่อแก๊สที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์เดินทางผ่านเข้ามาสู่เครื่องควบแน่น ซึ่งมีความเย็นอยู่ที่ 5-7 องศาเซลเซียส และความเย็นที่ได้นั้นมาจาก

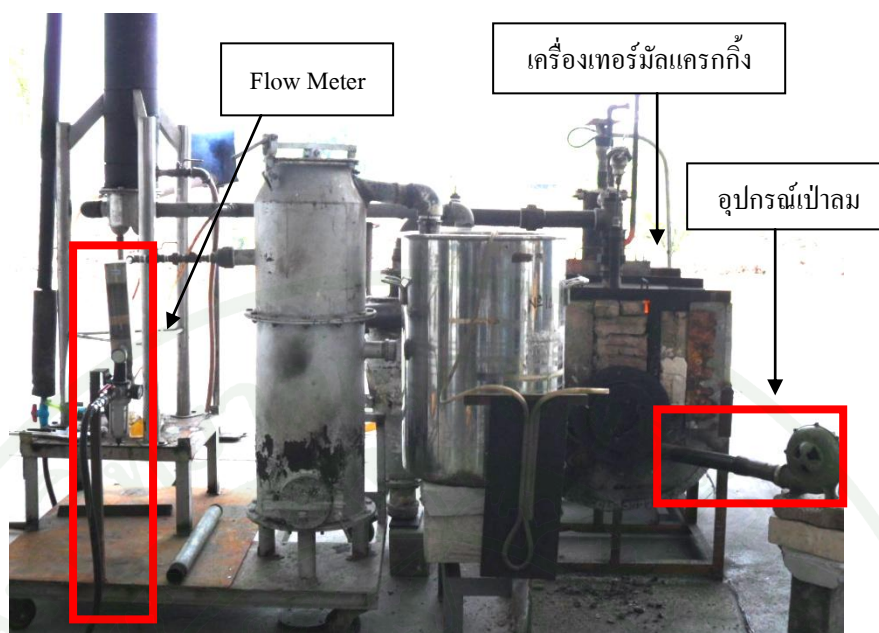
อุปกรณ์ทำความเย็น (Chiller) โดยส่วนที่สามารถควบแน่นได้ก็จะกลายเป็นของเหลวไหลลงสู่ภาชนะที่เตรียมไว้รองรับ ของเหลวที่ได้นั้นจะมีการปนกันอยู่ระหว่างน้ำส้มควันไม้และน้ำมันดิน จึงมีการนำของเหลวในส่วนนี้ไปทำการแยกด้วยเครื่องระเหยด้วยไอน้ำ ดังภาพผนวกที่ ก6



ภาพผนวกที่ ก6 ของเหลวที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันและเครื่องระเหยด้วยไอน้ำ

7. เครื่องแก๊สซิฟิเคชันที่มีการต่อเพิ่มในส่วนเครื่องเทอร์มัลแครกกิง

เครื่องแก๊สซิฟิเคชันและอุปกรณ์ต่างๆ (ดังภาพผนวกที่ ก7) เป็นส่วนที่มีการต่อเครื่องเทอร์มัลแครกกิงเพิ่มเติมสำหรับทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการกำจัดน้ำมันดิน ซึ่งในเครื่องเทอร์มัลแครกกิงนั้นจะมีการเติมถ่านผสมผงเหล็กลงไปเพื่อเป็นแหล่งให้ความร้อนและมีการใช้อุปกรณ์ในการเป่าลมเข้าช่วยเพื่อให้ถ่านลุกติดไฟได้ดีขึ้น และในภาพได้แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับอัตราป้อนอากาศ (Flow Meter) ที่ได้มีการต่อสายมาจากปั๊มลมซึ่งเป่าแหล่งให้อากาศด้วย



ภาพผนวกที่ ก7 เครื่องแก๊สซิไฟเออร์ที่ต่อเพิ่มในส่วนเครื่องเทอร์มัลแครกกิ้ง



ตารางผนวกที่ ข1 การใช้อัตราป้อนอากาศที่ 130 ลิตรต่อนาที

1.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.12	1.50	1.50	1.37	0.22
20	3.59	2.80	2.83	3.07	0.45
30	5.24	5.94	6.40	5.86	0.58
40	6.25	6.79	6.69	6.58	0.29
50	9.88	9.93	9.95	9.92	0.04
60	9.10	9.28	9.37	9.25	0.14

1.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.50	0.54	0.59	0.54	0.05
20	1.50	1.00	1.05	1.18	0.28
30	1.39	1.80	1.63	1.61	0.21
40	2.13	2.13	2.15	2.14	0.01
50	1.13	1.21	1.20	1.18	0.04
60	0.68	0.87	0.84	0.80	0.10

1.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.55	0.54	0.54	0.88	0.58
20	2.36	2.30	2.30	2.32	0.03
30	6.70	6.61	6.59	6.63	0.06
40	5.88	5.82	5.79	5.83	0.05
50	5.70	5.63	5.59	5.64	0.06
60	4.19	4.13	4.04	4.12	0.08

ตารางผนวกที่ ข2 การใช้อัตราป้อนอากาศที่ 140 ลิตรต่อนาที

2.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.54	1.40	1.45	1.46	0.07
20	4.05	3.10	3.15	3.43	0.53
30	6.04	6.00	5.97	6.00	0.04
40	7.30	7.69	7.03	7.34	0.33
50	10.51	10.55	10.59	10.55	0.04
60	10.09	10.25	10.17	10.17	0.08

2.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.50	0.45	0.40	0.45	0.05
20	1.53	1.50	1.71	1.58	0.11
30	1.70	1.32	1.38	1.47	0.20
40	2.03	2.00	2.02	2.02	0.02
50	1.15	1.19	1.70	1.35	0.31
60	0.81	0.70	0.68	0.73	0.07

2.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.50	0.60	0.55	0.88	0.53
20	3.10	3.12	3.20	3.14	0.05
30	7.59	7.42	7.52	7.51	0.09
40	7.27	7.15	7.19	7.20	0.06
50	7.07	7.01	6.98	7.02	0.05
60	6.54	6.49	6.59	6.54	0.05

ตารางผนวกที่ ข3 การใช้อัตราป้อนอากาศที่ 150 ลิตรต่อนาที

3.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.54	1.00	1.37	1.30	0.28
20	3.79	3.10	3.05	3.31	0.41
30	7.14	7.17	6.97	7.09	0.11
40	7.03	7.10	7.00	7.04	0.05
50	11.21	11.29	11.18	11.23	0.06
60	11.15	11.11	11.07	11.11	0.04

3.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.50	0.54	0.53	0.52	0.02
20	1.50	1.00	1.44	1.31	0.27
30	2.01	1.93	1.99	1.98	0.04
40	1.83	1.77	2.00	1.87	0.12
50	1.02	0.63	1.07	0.91	0.24
60	0.67	0.60	0.89	0.72	0.15

3.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.50	1.04	0.50	0.68	0.31
20	2.59	2.20	1.10	1.96	0.77
30	8.12	8.19	8.14	8.15	0.04
40	8.42	8.49	8.57	8.49	0.08
50	7.78	7.70	7.81	7.76	0.06
60	7.49	7.53	7.48	7.50	0.03

ตารางผนวกที่ ข4 เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)

4.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.65	1.68	1.68	1.67	0.02
20	4.96	4.80	4.90	4.89	0.08
30	9.54	9.69	9.42	9.55	0.14
40	10.83	11.03	10.99	10.95	0.11
50	13.38	13.33	13.37	13.36	0.03
60	12.25	12.28	12.20	12.24	0.04

4.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.54	0.55	0.54	0.54	0.01
20	1.50	1.65	1.55	1.57	0.08
30	1.87	1.90	1.80	1.86	0.05
40	2.11	2.07	2.15	2.11	0.04
50	2.05	2.06	2.08	2.06	0.02
60	1.93	2.00	1.98	1.97	0.04

4.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.54	1.60	1.58	1.57	0.03
20	5.98	5.83	6.00	5.94	0.09
30	10.22	10.26	10.28	10.25	0.03
40	10.05	10.10	10.13	10.09	0.04
50	9.85	9.97	9.98	9.93	0.07
60	9.59	9.61	9.71	9.64	0.06

ตารางผนวกที่ ข5 โซเดียมปั่นตัวเร่งปฏิกิริยา (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)

5.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.54	1.55	1.55	0.01
20	4.95	5.00	4.98	0.04
30	9.00	9.06	9.03	0.04
40	11.79	11.89	11.84	0.07
50	12.98	12.93	12.96	0.04
60	11.20	11.24	11.22	0.03

5.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.55	0.54	0.55	0.01
20	1.34	1.37	1.36	0.02
30	1.88	1.93	1.91	0.04
40	2.00	2.08	2.04	0.06
50	2.18	2.13	2.16	0.04
60	2.05	2.00	2.03	0.04

5.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.50	1.50	1.50	0.00
20	5.93	6.67	6.30	0.52
30	10.10	10.12	10.11	0.01
40	10.00	9.93	9.97	0.05
50	9.53	9.57	9.55	0.03
60	9.19	9.21	9.20	0.01

ตารางผนวกที่ ข6 อะลูมิเนียมป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)

6.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.50	1.54	1.55	1.53	0.03
20	4.80	4.83	4.89	4.84	0.05
30	8.68	8.70	8.78	8.72	0.05
40	10.53	10.61	10.59	10.58	0.04
50	12.49	12.48	12.53	12.50	0.03
60	11.09	11.13	11.07	11.10	0.03

6.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.54	0.55	0.55	0.55	0.01
20	1.20	1.21	1.23	1.21	0.02
30	1.75	1.73	1.78	1.75	0.03
40	1.90	1.92	1.90	1.91	0.01
50	2.28	2.26	2.11	2.22	0.09
60	2.12	2.13	2.07	2.11	0.13

6.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.50	1.50	1.54	1.51	0.02
20	5.60	5.57	5.63	5.60	0.03
30	8.25	8.28	8.30	8.28	0.03
40	9.92	9.97	9.99	9.96	0.04
50	9.34	9.40	9.29	9.34	0.06
60	8.89	8.69	8.79	8.79	0.10

ตารางผนวกที่ ข7 ให้ความร้อนอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)

7.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.60	1.60	1.60	0.00
20	3.50	4.00	3.75	0.35
30	6.97	7.07	7.02	0.07
40	10.53	10.56	10.55	0.02
50	12.29	12.32	12.31	0.02
60	11.96	11.59	11.78	0.26

7.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.00	1.05	1.03	0.04
20	1.86	1.86	1.86	0.00
30	2.01	2.00	2.01	0.01
40	2.58	2.56	2.57	0.01
50	3.09	3.07	3.08	0.01
60	2.91	2.94	2.93	0.02

7.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.50	1.50	1.50	0.00
20	5.55	5.35	5.45	0.14
30	9.84	9.89	9.87	0.04
40	10.24	10.27	10.26	0.02
50	9.79	9.67	9.73	0.08
60	9.41	9.39	9.40	0.01

ตารางผนวกที่ ข8 ให้ความร้อนอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)

8.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.65	1.60	1.63	0.04
20	3.80	3.76	3.78	0.03
30	7.34	7.35	7.35	0.01
40	13.09	13.15	13.12	0.04
50	12.90	11.89	12.40	0.71
60	11.65	11.87	11.76	0.16

8.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.80	0.80	0.80	0.00
20	1.74	1.70	1.72	0.03
30	1.91	2.00	1.96	0.06
40	2.51	2.58	2.55	0.05
50	3.01	3.04	3.03	0.02
60	2.87	2.89	2.88	0.01

8.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.50	1.50	1.50	0.00
20	5.60	5.65	5.63	0.04
30	10.65	10.60	10.63	0.04
40	10.17	10.21	10.19	0.03
50	10.03	10.09	10.06	0.04
60	9.88	9.85	9.87	0.02

ตารางผนวกที่ ข9 ให้ความร้อนอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที)

9.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมงที่ 1	ชั่วโมงที่ 2	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.70	1.70	1.70	0.00
20	3.80	3.84	3.82	0.03
30	7.55	7.51	7.53	0.03
40	10.00	10.05	10.03	0.04
50	14.10	14.03	14.07	0.05
60	12.45	12.47	12.46	0.01

9.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมงที่ 1	ชั่วโมงที่ 2	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.74	0.80	0.77	0.04
20	1.60	1.62	1.61	0.01
30	1.75	1.74	1.75	0.01
40	2.46	2.50	2.48	0.03
50	2.34	2.32	2.33	0.01
60	2.11	2.15	2.13	0.03

9.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมงที่ 1	ชั่วโมงที่ 2	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.65	1.63	1.64	0.01
20	5.69	5.87	5.78	0.13
30	11.04	10.99	11.02	0.04
40	10.75	10.72	10.74	0.02
50	10.37	10.35	10.36	0.01
60	10.09	10.01	10.05	0.06

ตารางผนวกที่ ข10 ให้ความร้อนอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส (อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อ
นาฬิกา)

10.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาฬิกา)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.76	1.77	1.77	0.01
20	3.89	3.91	3.90	0.01
30	8.65	8.63	8.64	0.01
40	11.90	11.97	11.94	0.05
50	15.00	14.96	14.98	0.03
60	12.99	12.89	12.94	0.07

10.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาฬิกา)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.70	0.75	0.73	0.04
20	1.58	1.98	1.78	0.28
30	1.75	2.00	1.88	0.18
40	2.10	2.15	2.13	0.04
50	2.39	2.46	2.43	0.05
60	2.12	2.24	2.18	0.08

10.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาฬิกา)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.70	1.70	1.70	0.00
20	6.90	6.79	6.85	0.08
30	11.59	11.63	11.61	0.03
40	11.01	11.06	11.04	0.04
50	10.64	10.74	10.69	0.07
60	10.18	10.21	10.20	0.02

ตารางผนวกที่ ข11 การใช้เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

11.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.85	1.80	1.83	0.04
20	5.96	5.85	5.91	0.08
30	10.53	11.00	10.77	0.33
40	13.13	12.98	13.06	0.11
50	16.58	16.60	16.59	0.01
60	14.25	14.26	14.26	0.01

11.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.64	0.70	0.67	0.04
20	1.50	1.50	1.50	0.00
30	1.92	1.95	1.94	0.02
40	2.10	2.14	2.12	0.03
50	2.05	2.00	2.03	0.04
60	1.83	1.87	1.85	0.03

11.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.54	1.50	1.52	0.03
20	6.98	7.00	6.99	0.01
30	12.45	12.49	12.47	0.03
40	11.92	11.94	11.93	0.01
50	11.59	11.57	11.58	0.01
60	11.12	11.13	11.13	0.01

ตารางผนวกที่ ข12 การใช้โซเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

12.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.74	1.79	1.77	0.04
20	5.00	5.10	5.05	0.07
30	9.89	9.94	9.92	0.04
40	11.99	12.39	12.19	0.28
50	16.00	16.10	16.05	0.07
60	13.20	14.21	13.71	0.71

12.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.55	0.65	0.60	0.07
20	1.34	1.45	1.40	0.08
30	1.99	2.00	2.00	0.01
40	2.16	2.18	2.17	0.01
50	2.09	2.06	2.08	0.02
60	1.89	1.92	1.91	0.02

12.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.64	1.68	1.66	0.03
20	7.79	7.81	7.80	0.01
30	12.21	12.20	12.21	0.01
40	12.03	12.07	12.05	0.03
50	11.92	11.88	11.90	0.03
60	11.23	11.27	11.25	0.03

ตารางผนวกที่ ข13 การใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

13.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.63	1.70	1.67	0.05
20	4.68	5.01	4.85	0.23
30	8.68	8.88	8.78	0.14
40	11.57	11.50	11.54	0.05
50	15.63	15.52	15.58	0.08
60	13.12	13.20	13.16	0.06

13.2 แก๊สมีเทน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	0.68	0.74	0.71	0.04
20	1.82	1.79	1.81	0.02
30	2.09	2.11	2.10	0.01
40	2.21	2.23	2.22	0.01
50	2.13	2.10	2.12	0.02
60	1.78	1.64	1.71	0.10

13.3 แก๊สไฮโดรเจน

แก๊สผลิตภัณฑ์ (นาทีก)	ชั่วโมง	ชั่วโมง	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.50	1.55	1.53	0.04
20	6.60	6.75	6.68	0.11
30	11.89	11.92	11.91	0.02
40	12.05	12.02	12.04	0.02
50	11.14	11.21	11.18	0.05
60	10.96	10.91	10.94	0.04

ตารางผนวกที่ ข14 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากอัตราการป้อนอากาศระดับต่างๆ

14.1 การทดลองปรับอัตราป้อนอากาศครั้งที่ 1

อัตราป้อนอากาศ (ลิตรต่อนาที)	น้ำมันดิน (กรัม)	ไม้ (กรัม)	น้ำมันดินป่นอยู่ (กรัม)	1%biomass=g/Nm ³	น้ำมันดิน (กรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
130	23.36	3000	0.78	10.01	7.8
140	21.92	3000	0.73	10.01	7.3
150	21.23	3000	0.71	10.01	7.1

14.2 การทดลองปรับอัตราป้อนอากาศครั้งที่ 2

อัตราป้อนอากาศ (ลิตรต่อนาที)	น้ำมันดิน (กรัม)	ไม้ (กรัม)	น้ำมันดินป่นอยู่ (กรัม)	1%biomass=g/Nm ³	น้ำมันดิน (กรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
130	23.27	3000	0.78	10.01	7.8
140	21.88	3000	0.73	10.01	7.3
150	21.29	3000	0.71	10.01	7.1

14.3 การทดลองปรับอัตราป้อนอากาศครั้งที่ 3

อัตราป้อนอากาศ (ลิตรต่อนาที)	น้ำมัน ดิน (กรัม)	ไม้ (กรัม)	น้ำมันดินป่นอยู่ (กรัม)	1%biomass=g/Nm ³	น้ำมันดิน (กรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
130	23.36	3000	0.78	10.01	7.8
140	21.92	3000	0.73	10.01	7.3
150	21.23	3000	0.71	10.01	7.1

ตารางผนวกที่ ข15 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆที่อัตราป้อนอากาศ 150 ลิตรต่อนาที

15.1 การทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆครั้งที่ 1

ตัวเร่งปฏิกิริยา	น้ำมันดิน (กรัม)	ไม้ (กรัม)	น้ำมันดินปนอยู่ (กรัม)	1%biomass=g/Nm ³	น้ำมันดิน (กรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
Fe	17.30	3000	0.58	10.01	5.8
Na	18.21	3000	0.61	10.01	6.1
Al	20.21	3000	0.67	10.01	6.7

15.2 การทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆครั้งที่ 2

ตัวเร่งปฏิกิริยา	น้ำมันดิน (กรัม)	ไม้ (กรัม)	น้ำมันดินปนอยู่ (กรัม)	1%biomass=g/Nm ³	น้ำมันดิน (กรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
Fe	17.25	3000	0.58	10.01	5.8
Na	18.29	3000	0.61	10.01	6.1
Al	20.17	3000	0.67	10.01	6.7

15.3 การทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆครั้งที่ 3

ตัวเร่งปฏิกิริยา	น้ำมันดิน (กรัม)	ไม้ (กรัม)	น้ำมันดินปนอยู่ (กรัม)	1%biomass=g/Nm ³	น้ำมันดิน (กรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
Fe	17.37	3000	0.58	10.01	5.8
Na	0.00	3000	0.00	10.01	0.0
Al	20.23	3000	0.67	10.01	6.8

ตารางผนวกที่ ข16 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆที่อัตราการป้อน
อากาศ 150 ลิตรต่อนาที

16.1 การทดลองการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆครั้งที่ 1

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการป้อนอากาศ 1 ชั่วโมง (ลิตรต่อนาที)	อัตราการป้อน อากาศรวม (ลิตรต่อนาที)	น้ำมัน ดิน (กรัม)	น้ำมันดิน (ลบ.ม.)	Nm ³	น้ำมันดิน (กรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
700	150	9000	17.78	9.0	2.53	7.03
800	150	9000	16.02	9.0	2.29	7.00
900	150	9000	14.15	9.0	2.09	6.76
1000	150	9000	11.64	9.0	1.93	6.03

16.2 การทดลองการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆครั้งที่ 2

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการป้อนอากาศ 1 ชั่วโมง (ลิตรต่อนาที)	อัตราการป้อน อากาศรวม (ลิตรต่อนาที)	น้ำมัน ดิน (กรัม)	น้ำมันดิน (ลบ.ม.)	Nm ³	น้ำมันดิน (กรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
700	150	9000	17.77	9.0	2.53	7.20
800	150	9000	16.03	9.0	2.29	7.00
900	150	9000	14.13	9.0	2.09	6.76
1000	150	9000	11.65	9.0	1.93	6.03

ตารางผนวกที่ ข17 ปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการใช้ความร้อนที่ 1,000 องศาเซลเซียสรวมกับการใช้ตัวเร่งชนิดต่างๆ

17.1 การลดปริมาณน้ำมันดินโดยใช้ความร้อนรวมกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆครั้งที่ 1

ตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราป้อน อากาศ 1 ชั่วโมง (ลิตรต่อนาที)	อัตราป้อนอากาศ รวม (ลิตรต่อนาที)	น้ำมัน ดิน (กรัม)	น้ำมัน ดิน (ลบ.ม.)	Nm ³	น้ำมันดิน (กรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
Fe	150	9000	9.14	9.0	1.93	4.74
Na	150	9000	9.60	9.0	1.93	4.97
Al	150	9000	10.02	9.0	1.93	5.19

17.2 การลดปริมาณน้ำมันดินโดยใช้ความร้อนรวมกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆครั้งที่ 2

ตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราป้อน อากาศ 1 ชั่วโมง (ลิตรต่อนาที)	อัตราป้อนอากาศ รวม (ลิตรต่อนาที)	น้ำมัน ดิน (กรัม)	น้ำมัน ดิน (ลบ.ม.)	Nm ³	น้ำมันดิน (กรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
Fe	150	9000	9.16	9.0	1.93	4.75
Na	150	9000	9.59	9.0	1.93	4.97
Al	150	9000	10.00	9.0	1.93	5.18

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวภัทชนก แก้วพงศธร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	8 กุมภาพันธ์ 2531
สถานที่เกิด	จ.นครปฐม
ประวัติการศึกษา	วท.บ. วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย