บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการทดสอบเตาปฏิกรณ์

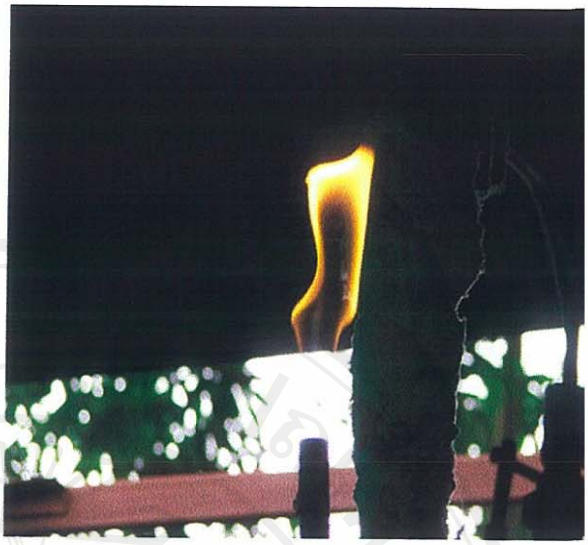
ผลการทดสอบเตาปฏิกรณ์จากเชื้อเพลิงทั้งหมด 3 ชนิด คือ กระดาษผสม ใบไม้ผสม และขยะผสมเหลือใช้พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งได้ 3 ชนิด คือ ควันหรือก๊าซร้อน น้ำมันดิน และ ถ่านชาร์ โดยที่ควันที่เกิดขึ้นเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการเก็บข้อมูลและอภิปรายผล โดยที่ลักษณะควันที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 3 ช่วง ดังนี้

เมื่อเริ่มจากการอุ่นเตาปฏิกรณ์จนถึงอุณหภูมิที่กำหนดจนถึงสภาวะคงตัวใส่เชื้อเพลิงแข็งเข้าสู่เตา เชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในช่วงแรกมีลักษณะเกิดเป็นฟิล์มควันสีขาวบาง พร้อมทั้งไอน้ำอัตราการไหลของก๊าซในช่วงนี้ต่ำช่วงการกระบวนไพโรไลซีสควันที่เกิดขึ้นตรงกลางมีหนามากขึ้นและมีฟิล์มบางกระจายล้อมรอบจำนวนไอน้ำมีมากขึ้นรวมทั้งอัตราการไหลของก๊าซสูงขึ้น ในช่วงนี้สามารถทดสอบจุดไฟควันสามารถลุกไหม้ได้เองและต่อเนื่อง ลักษณะเปลวไฟมีสีเหลืองคล้ายกับการเผาไหม้ของก๊าซมีเทนแสดงซึ่งแสดงถึงปฏิกิริยาไพโรไลติก และ ช่วงสุดท้ายควันออกมามีปริมาณที่น้อยขาดเป็นช่วงๆ มีอัตราการไหลต่ำ แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเกิดมีเทนมีน้อยลงสามารถจุดติดไฟได้บางครั้งลักษณะของเปลวไฟมีสีน้ำเงินปนสีเหลืองเพราะมีการเผาไหม้ก๊าซไนโตรเจนรวมอยู่ด้วย น้ำมันดินมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองข้นคล้ายขี้ผึ้ง สามารถเกิดขึ้นในตลอดกระบวนการจนถึงกระบวนการเกิดถ่านชาร์ และ ถ่านชาร์มีลักษณะเป็นสีดำคล้ายถ่านเกิดในกระบวนการสุดท้ายของปฏิกิริยาผลทดสอบเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่กำหนดภายในเตาพบว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดเกิดควัน น้ำมันดิน และ ถ่านชาร์เช่นกัน การเปรียบเทียบเปลี่ยนเชื้อเพลิงพบว่า ขยะผสมเกิดก๊าซและติดไฟนานที่สุด ใบไม้เกิดน้ำมันดิน และ ถ่านชาร์มากที่สุด ใบไม้ช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ไม่สามารถติดไฟได้เอง

ปัญหาที่พบในการทดสอบเตาน้ำมันเกิดการดินอุดตันในท่อ สิ่งนี้เป็นเกิดขึ้นทุกอุณหภูมิ ดังนั้นเมื่อมีการพัฒนาเตาปฏิกรณ์นี้ควรมีการออกแบบระบบระบายน้ำมันดิน หรือ ระบบจัดเพื่อไม่ให้เกิดการอุดตันตามท่อส่งก๊าซร้อน และ ควรมีระบบกวนภายในเตาเพื่อทำให้เชื้อเพลิงได้รับความร้อนและเกิดการคุกเคล้าจากเตาได้ทั่วถึง สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีสได้รวดเร็วขึ้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.1
ลักษณะของควันของการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส



รูปที่ 4.2
รูปลักษณะของการจุดติดไฟของการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซี

รูปที่ 4.3
ลักษณะของน้ำมันดิน

รูปที่ 4.4
ลักษณะของการถ่านชาร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

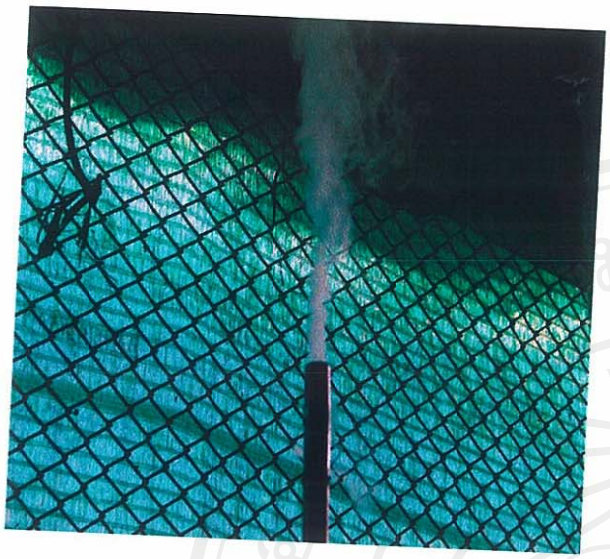
รูปที่ 4.5
ลักษณะของเชื้อเพลิงแข็งเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส

รูปที่ 4.6
ควันช่วงการก่อเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส

รูปที่ 4.7
ควันช่วงการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส

รูปที่ 4.8
ควันช่วงการเกิดฉ่านชาร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.9
การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีสของขยะผสม

รูปที่ 4.10
การจุดติดไฟของการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีสของขยะผสม

รูปที่ 4.11
การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีสของใบไม้
ผสมเหลือใช้ช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสแซียส

รูปที่ 4.12
การจุดติดไฟของปฏิกิริยาไพโรไลซีสของใบไม้
ผสมเหลือใช้ช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสแซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ผลของเชื้อเพลิง

จากตารางที่ 4.1 ถึง 4.2 แสดงถึงผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไพโรไลซีสจากเชื้อเพลิงแข็งแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 500 เซลเซียส ซึ่งมีส่วนประกอบของ คาร์บอน(C) ไฮโดรเจน(H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน(N) และ ความชื้น(H_2O) กระดาษผสมเหลือใช้ ณ สภาวะอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส พบว่าเตามีอัตราการเผาไหม้ 5.63 kg/hr จึงเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีสในระยะเวลานาที 160 นาที อัตราการเกิดไพโรไลซีสจำเพาะที่ 3.09 $kg.m^{-2}.h^{-1}$ ปริมาณก๊าซ 4.29 $Nm^3.kg^{-1}$ ปริมาณถ่านชาร์ 0.55 $kg.kg^{-1}$ ปริมาณการเกิดน้ำมันดิน 0.1 $kg.kg^{-1}$ องค์ประกอบของก๊าซมี CO , CO_2 , CH_4 , O_2 , H_2 และ N_2 ปริมาณ 10.72 , 43.53 , 0.99, 0.19 , 0.26 และ 23.65 โดยปริมาตร มีค่า HHV ของก๊าซ 0.886 MJ/kg พลังงานที่ได้จากน้ำมันดิน 0.131 MJ/kg และ ถ่านชาร์ 4.359 MJ/kg รวมพลังงานส่งออกที่ได้ 6.06 MJ/kg ดังนั้นมีค่าประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงเท่ากับ 67 เปอร์เซ็นต์ และ ด้านเอ็กเซอร์จีพบว่ามีค่า 45 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดสอบพบว่าเนื่องจากองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดไม่เหมือนกันเช่น ค่าความชื้น องค์ประกอบของธาตุในเชื้อเพลิงเช่น คาร์บอน(C) ไฮโดรเจน(H) และ ออกซิเจน(O) เป็นต้น ทำให้อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส ปริมาณก๊าซ น้ำมันดิน และ ถ่านชาร์ แต่ของเชื้อเพลิงละชนิดไม่เท่ากันดังนั้นการสลายตัวอันดับแรกเกิดจากอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง C ต่อ H มีค่า 6.72 ของการสลายของเชื้อเพลิงแข็ง และ C ต่อ O มีค่า 0.79 การสลายตัวอันดับสองคือการสลายตัว C ไปเป็น CH_4 , CO , CO_2 , H_2 และ N_2 สิ่งที่เหลือจากการสลาย คือ ถ่านชาร์ โดยมีเป็นธาตุคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบหลัก

จากรูป 4.13 ถึง 4.16 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์และ องค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้พบว่าใบไม้ผสมเหลือใช้มีก๊าซเกิดขึ้นมากที่สุด กระดาษผสมเหลือใช้เกิดน้ำมันดินมากที่สุด และ ขยะผสมเกิดถ่านชาร์มากที่สุด และ ด้านองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นเชื้อเพลิงขยะผสม มีปริมาณมีก๊าซ CH_4 มากที่สุด กระดาษผสมเหลือใช้เกิดก๊าซคาร์บอนออกไซด์มากที่สุด และ ใบไม้ผสมเหลือใช้เกิดก๊าซอื่นๆมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

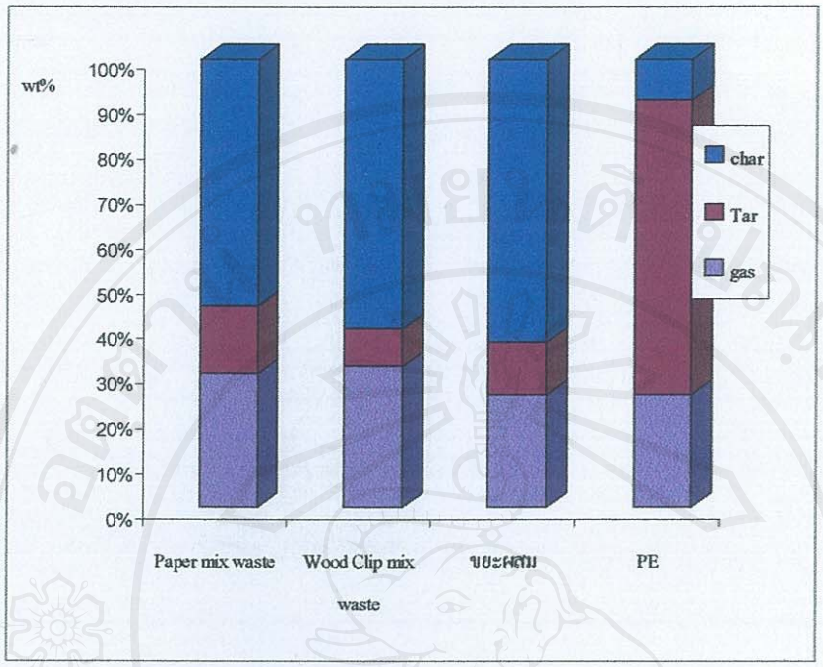
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของตัวอย่างเริ่มต้นและกากที่เหลือของเชื้อเพลิงแข็งที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

ตัวแปร	เชื้อเพลิงแข็ง					
	กระดาษผสมเหลือใช้		ใบไม้ผสมเหลือใช้		ขยะผสม	
	ค่าเริ่มต้น	ค่าสุดท้าย	ค่าเริ่มต้น	ค่าสุดท้าย	ค่าเริ่มต้น	ค่าสุดท้าย
C	41.28	9.07	49.07	29.44	63.41	38.05
H	6.14	0.047	5.70	3.42	10.07	6.042
O	52.47	3.37	45.02	27.9	26.12	15.61
N	0.1	0.07	0.22	0.132	0.4	0.24
Total(%)	100	-	100	-	100	-
C/H	6.72	-	8.61	-	6.30	-
C/O	0.79	-	1.09	-	2.43	-

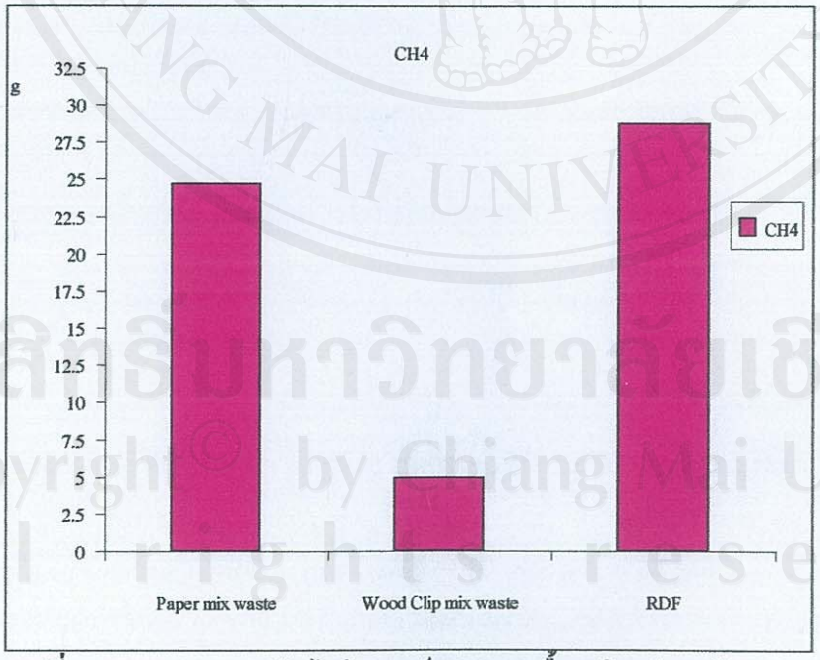
ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

ตัวแปรองค์ประกอบของก๊าซ	เชื้อเพลิงแข็ง					
	กระดาษผสมเหลือใช้		ใบไม้ผสมเหลือใช้		ขยะผสม	
	mg	%Vol	mg	%Vol	mg	%Vol
CO	8.89	10.81	4.27	7.88	9.52	10.81
H_2	0.00	0.07	0.00	0.11	0.00	30.80
CH_4	24.80	54.84	4.96	10.80	28.84	24.89
CO2	230.42	30.80	169.92	38.01	121.44	30.80
N2	33.87	33.43	138.89	43.20	91.07	33.43
R_{CO}	3.72	25.98	2.45	17.17	7.27	25.98

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

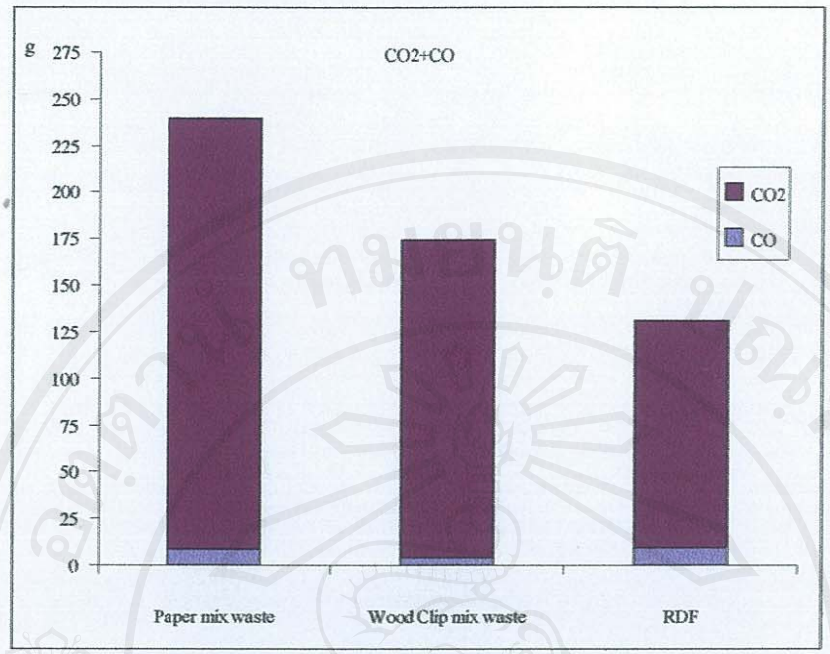


รูปที่ 4.13 อัตราส่วนของเชื้อเพลิงจากปฏิกิริยาไพโรไลซีส ที่ 500 องศาเซลเซียส

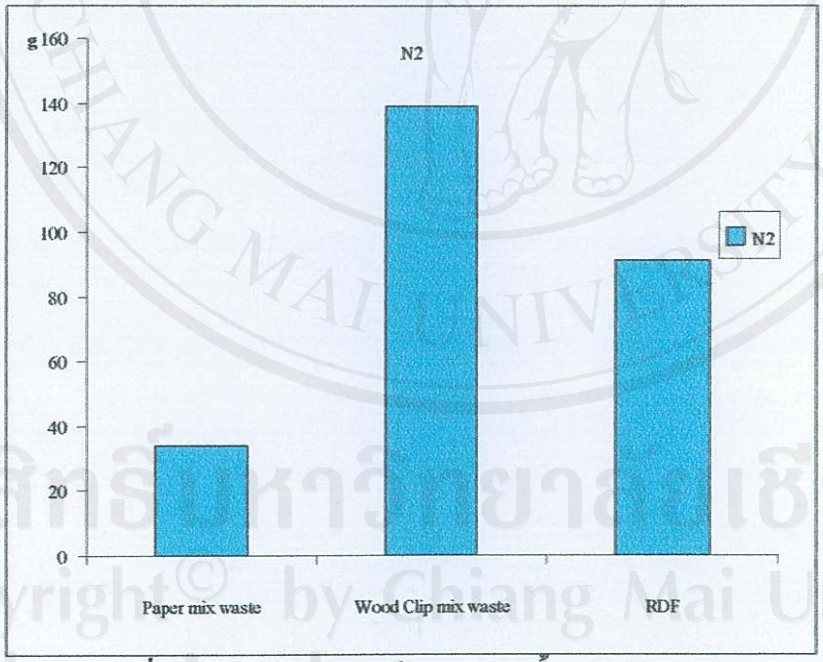


รูปที่ 4.14 ผลรวมการเกิดไฮโดรคาร์บอนจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ 500 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.15 ผลรวมการเกิดก๊าซ $CO+CO_2$ ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ 500 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 ผลรวมการเกิดก๊าซ N_2 ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ 500 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 ผลด้านอุณหภูมิ

4.3.1 ผลเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซีสเทียบกับอุณหภูมิ

รูปที่ 4.17 ถึง 4.20 เป็นกราฟแสดงลักษณะกระจายตัวของอุณหภูมิไพโรไลซีสผ่านเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 400 500 600 และ 700 องศาเซลเซียสกระดาษผสม เหลือใช้ พบว่าเวลาในการเผาไหม้ภายในเตาปฏิกรณ์มีระยะเวลา 160 นาที จาก 1 กิโลกรัมของเชื้อเพลิง จึงเริ่มเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ

ณ อุณหภูมิ 400 องศา

- ที่ตำแหน่ง20 เซนติเมตรจากตะแกรงช่วง 10 นาทีพบว่าอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เริ่มมีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ที่เวลา 100 นาที เริ่มลดลงเล็กน้อยและเข้าสู่สภาวะคงที่ ที่อุณหภูมิ 387 องศาเซลเซียส
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรจากตะแกรงเริ่มจากของเชื้อเพลิง 60 องศาเซลเซียส พบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอจนถึงเวลา 130 นาที อุณหภูมิเริ่มเขาใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส เมื่อเริ่มใส่เชื้อเพลิงเข้าสู่เตาช่วงการเกิดปฏิกิริยาอุณหภูมิผนังเริ่มมีค่าสูงขึ้นจนอุณภูมิ 135 องศาเซลเซียสภายในเตาเริ่มเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ
- อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส

ณ อุณหภูมิ 500 องศา

- ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตรจากตะแกรงพบว่ามีอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 497 องศาเซลเซียส ที่เวลา 100 นาที อุณหภูมิเริ่มคงที่
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรจากตะแกรงเริ่มจากของเชื้อเพลิง 60 องศาเซลเซียสพบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอจนถึงเวลา 130 นาที อุณหภูมิเริ่มเขาใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เมื่อเริ่มใส่เชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเริ่มเกิดปฏิกิริยาอุณหภูมิผนังเริ่มมีค่าสูงขึ้นจนอุณภูมิ 137 องศาเซลเซียส ภายในเตาเริ่มเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ
- อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 60 ถึง 80 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

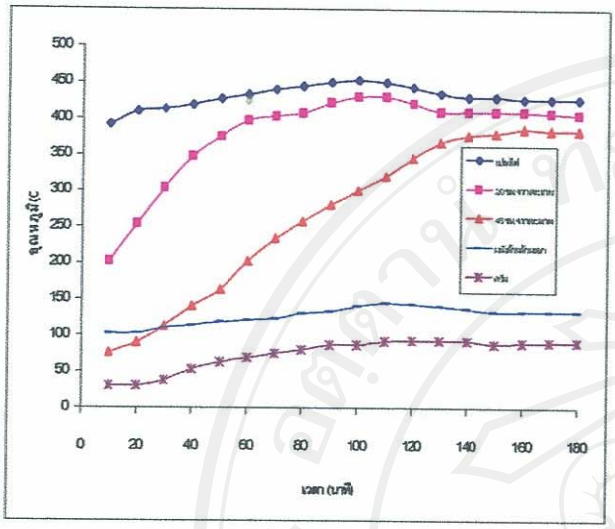
ณ อุณหภูมิ 600 องศา

- ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตรจากตะแกรงพบว่ามีอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 607 องศาเซลเซียส ที่เวลา 80 นาที อุณหภูมิเริ่มคงที่
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรที่ 10 นาทีจากตะแกรงเริ่มจากของเชื้อเพลิง 275 องศาเซลเซียส พบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างเร็วเร็วจนถึงเวลา 100 นาที อุณหภูมิเริ่มเข้าใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 195 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 95 ถึง 187 องศาเซลเซียส

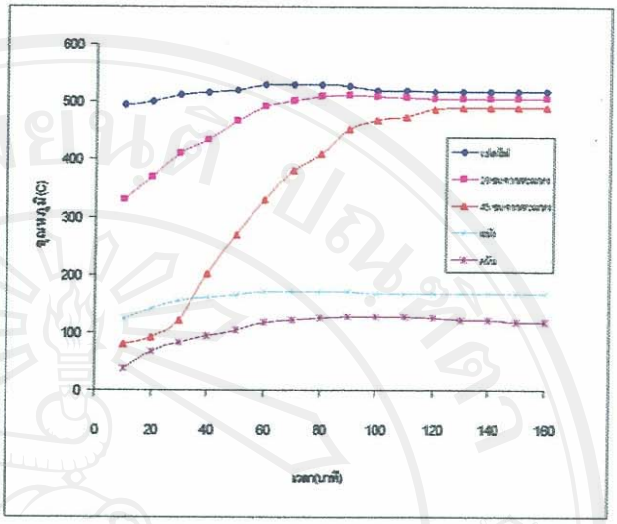
ณ อุณหภูมิ 700 องศา

- ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตรจากตะแกรง พบว่ามีอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 707 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที อุณหภูมิเริ่มคงที่
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรจากตะแกรงเริ่มจากของเชื้อเพลิง 320 องศาเซลเซียส พบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอจนถึงเวลา 80 นาที อุณหภูมิเริ่มเขาใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 197 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 110 ถึง 180 องศาเซลเซียส

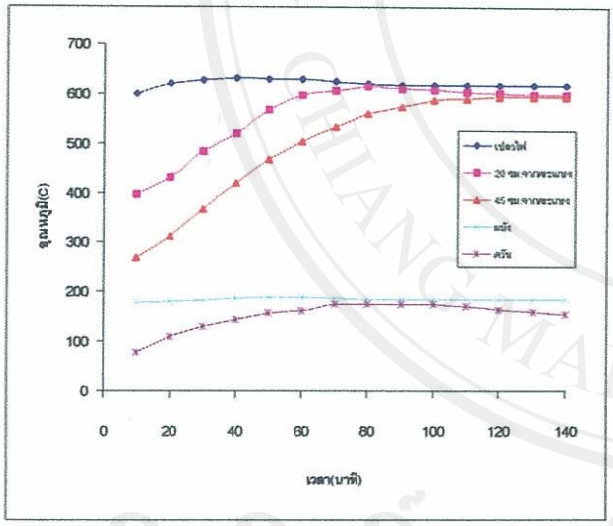
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



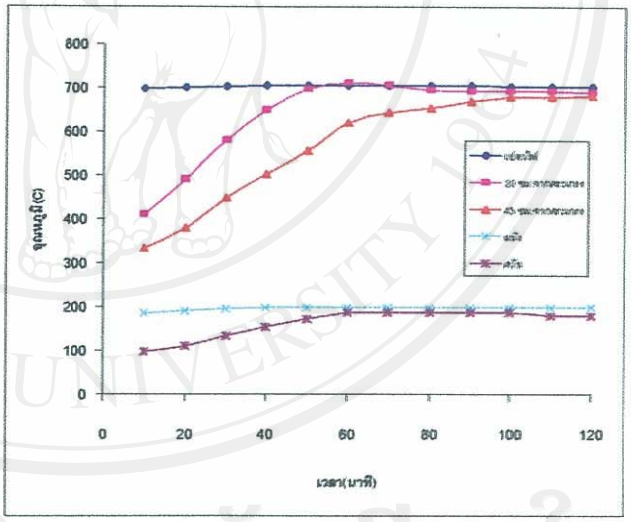
รูปที่ 4.17 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
กระดาษเหลือใช้ผสมที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.18 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
กระดาษเหลือใช้ผสมที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.19 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
กระดาษเหลือใช้ผสมที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.20 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
กระดาษเหลือใช้ผสมที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.2 ถึง 4.24 เป็นกราฟแสดงลักษณะโครงร่างอุณหภูมิไพโรไลซีสใบไม้เหลือใช้ พบว่าเวลาในการเผาไหม้ภายในเตาปฏิกรณ์มีระยะเวลา 80 ถึง 150 นาที จาก 1 กิโลกรัมของเชื้อเพลิงจึงเริ่มเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ

ณ อุณหภูมิ 400 องศา

- ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตรจากตะแกรง พบว่าอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ที่เวลา 120 นาที เริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรจากตะแกรง เริ่มจากของเชื้อเพลิง 50 องศาเซลเซียส พบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอจนถึงเวลา 160 นาที อุณหภูมิเริ่มเขาใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 45 ถึง 57 องศาเซลเซียส

ณ อุณหภูมิ 500 องศา

- ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตรจากพบว่ามีอุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 495 องศาเซลเซียส ที่เวลา 80 นาทีอุณหภูมิเริ่มคงที่
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรจากตะแกรงเริ่มจากของเชื้อเพลิง 75 องศาเซลเซียสพบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอจนถึงเวลา 120 นาที อุณหภูมิเริ่มเขาใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 องศาเซลเซียส

ณ อุณหภูมิ 600 องศา

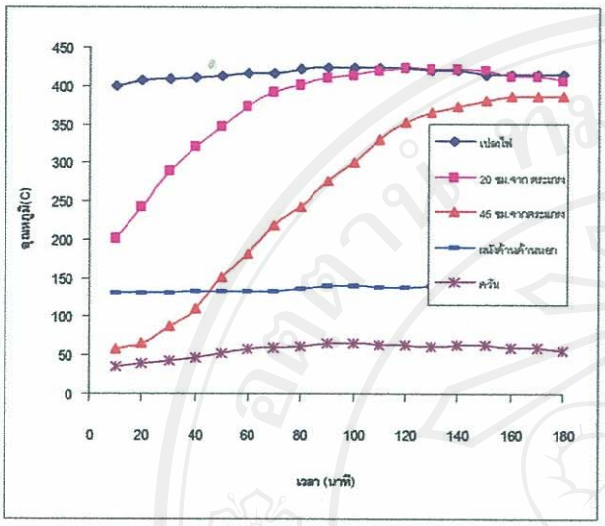
- ที่ตำแหน่ง20 เซนติเมตรจากตะแกรงพบว่ามีอุณหภูมิ 397 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่เวลา 80 นาที อุณหภูมิเริ่มคงที่
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรจากตะแกรงเริ่มจากของเชื้อเพลิง 245 องศาเซลเซียส พบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างเร็วเร็วจนถึงเวลา 110 นาที อุณหภูมิเริ่มเขาใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 187 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 97 ถึง 150 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ 700 องศา

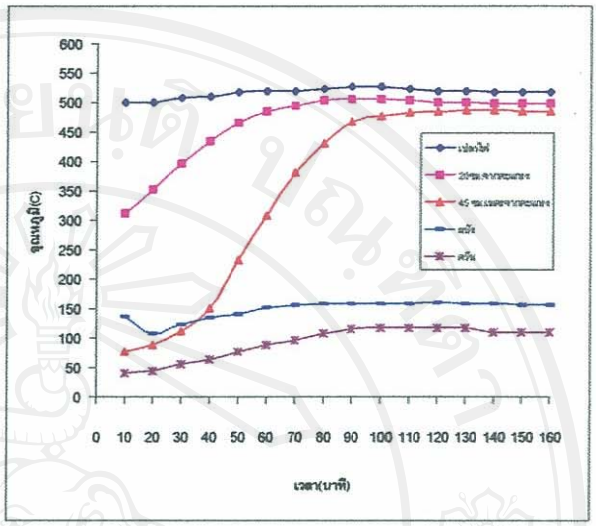
- ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตรจากตะแกรง พบว่ามีอุณหภูมิ 407 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 705 องศาเซลเซียส ที่เวลา 55 นาที อุณหภูมิเริ่มคงที่
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรจากตะแกรง เริ่มจากของเชื้อเพลิง 335 องศาเซลเซียส พบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอจนถึงเวลา 100 นาที อุณหภูมิเริ่มเขาใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 195 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

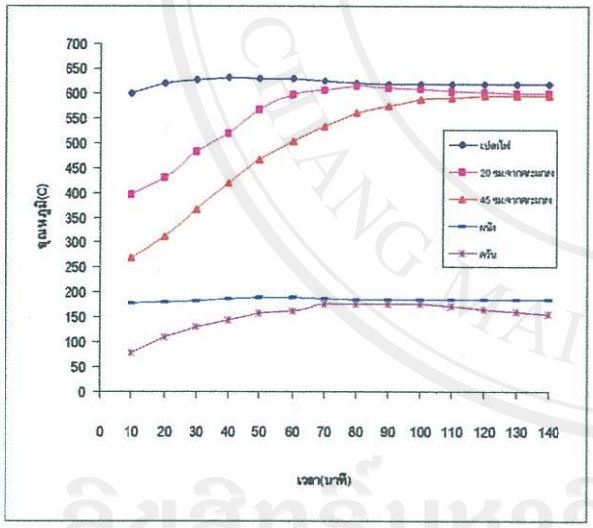
— อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 107 ถึง 187 องศาเซลเซียส



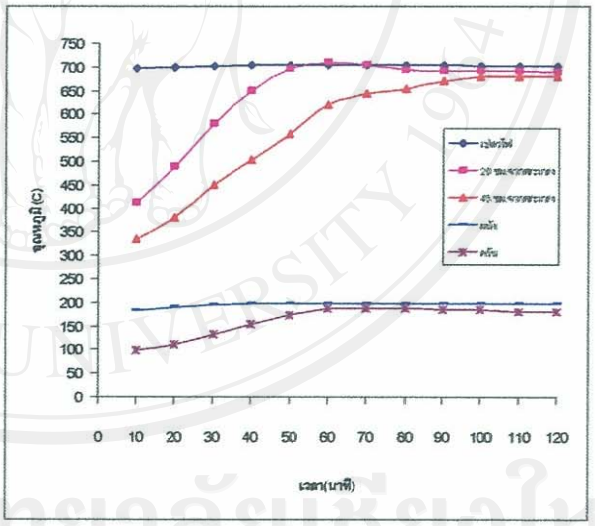
รูปที่ 4.21 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
ใบไม้ผสมที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.22 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
ใบไม้ผสมที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.23 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
ใบไม้ผสมที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.24 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
ใบไม้ผสมที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.25 ถึง 4.28 เป็นกราฟแสดงลักษณะโครงร่างอุณหภูมิไพโรไลซีส ขยะผสมพบว่าเวลาในการเผาไหม้ภายในเตาปฏิกรณ์มีระยะเวลา นาที จาก 1 กิโลกรัมของเชื้อเพลิง จึงเริ่มเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ

- ที่ตำแหน่ง20 เซนติเมตรจากตะแกรงพบว่าอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เริ่มมีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ที่เวลา 120 นาที เริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรจากตะแกรงเริ่มจากของเชื้อเพลิง 50 องศาเซลเซียสพบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอจนถึงเวลา 160 นาที อุณหภูมิเริ่มเขาใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 45 ถึง 57 องศาเซลเซียส

ณ อุณหภูมิ 500 องศา

- ที่ตำแหน่ง20 เซนติเมตรจากตะแกรงช่วง พบว่ามีอุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 495 องศาเซลเซียส ที่เวลา 80 นาทีอุณหภูมิเริ่มคงที่
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรจากตะแกรงเริ่มจากของเชื้อเพลิง 75 องศาเซลเซียสพบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอจนถึงเวลา 120 นาที อุณหภูมิเริ่มเขาใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 องศาเซลเซียส

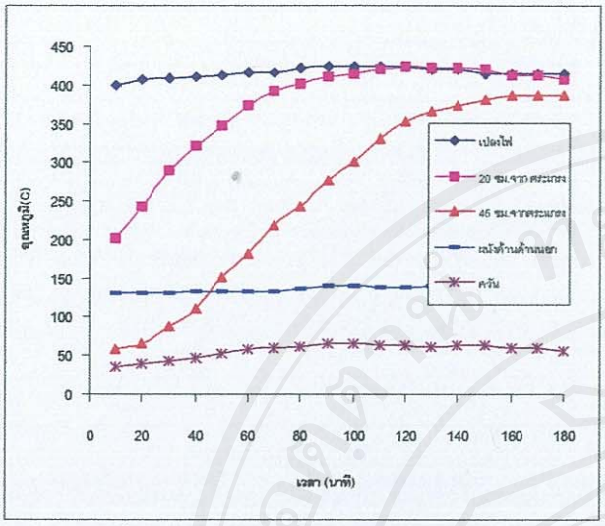
ณ อุณหภูมิ 600 องศา

- ที่ตำแหน่ง20 เซนติเมตรจากตะแกรงช่วง พบว่ามีอุณหภูมิ 397 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่เวลา 80 นาทีอุณหภูมิเริ่มคงที่
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรจากตะแกรงเริ่มจากของเชื้อเพลิง 245 องศาเซลเซียสพบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างเร็วเร็วจนถึงเวลา 110 นาที อุณหภูมิเริ่มเขาใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 187 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 97 ถึง 150 องศาเซลเซียส

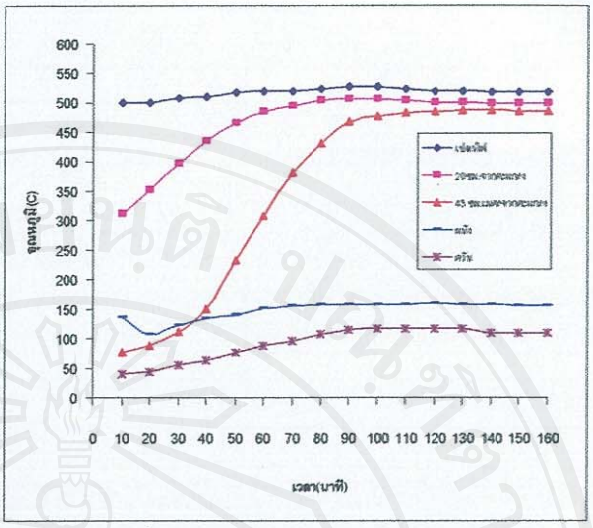
อุณหภูมิ 700 องศา

- ที่ตำแหน่ง20 เซนติเมตรจากตะแกรงพบว่ามีอุณหภูมิ 407 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 705 องศาเซลเซียส ที่เวลา 55 นาที นาทีอุณหภูมิเริ่มคงที่
- ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรจากตะแกรงเริ่มจากของเชื้อเพลิง 335 องศาเซลเซียสพบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอจนถึงเวลา 100 นาที อุณหภูมิเริ่มเขาใกล้อุณหภูมิเตา
- อุณหภูมิผนังมีค่าอุณหภูมิ 195 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของควันมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 107 ถึง 187 องศาเซลเซียส

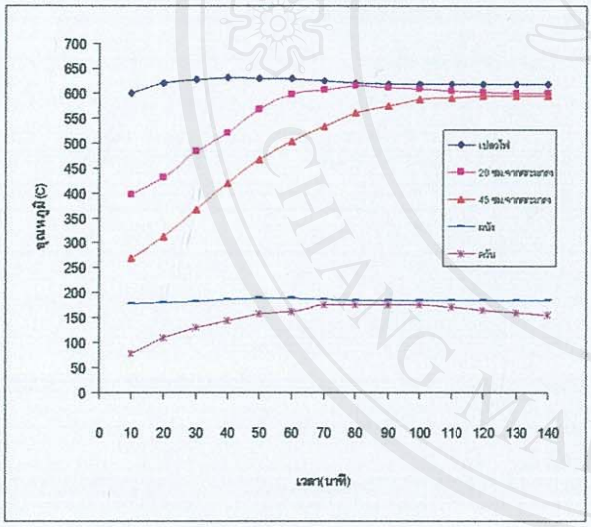
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



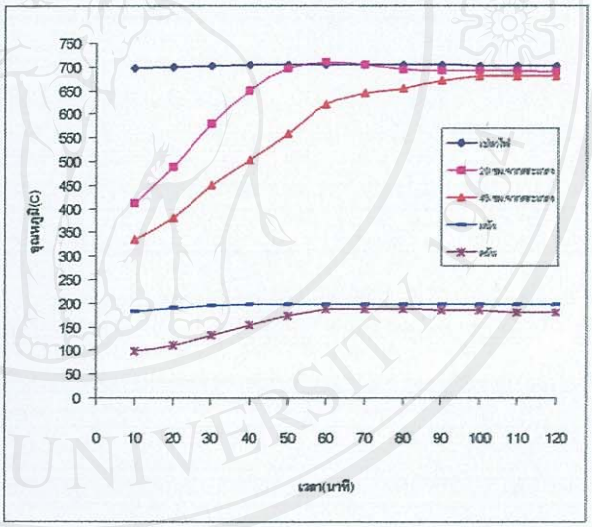
รูปที่ 4.25 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
ขยะผสม ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.26 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
ขยะผสม ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.27 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
ขยะผสม ที่อุณหภูมิ 600องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.28 กราฟรูปร่างอุณหภูมิการไพโรไลซีส
ขยะผสม ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลจากการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร และ ตำแหน่ง 45 เซนติเมตรห่างจากตะแกรงเป็นชั้นของเชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนด้านล่าง และ รอบเตา ทำให้ชั้นนี้เกิดปฏิกิริยาออกซิ-เดชั่นเป็นลำดับแรกได้รับพลังงานอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอย่างรวดเร็วทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ที่ตำแหน่ง 45 เซนติเมตร เริ่มร้อนขึ้นเชื้อเพลิงชั้นนี้ได้รับพลังงานความร้อนจากเชื้อชั้นแรก จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาช้ากว่า เมื่อชั้นแรกมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ตำแหน่งนี้มีอุณหภูมิขึ้นด้วยเช่นกันทั้งสองตำแหน่งนี้แสดงถึงอุณหภูมิภายในเตาที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของเชื้อเพลิง

ผลจากการวัดอุณหภูมิผนัง และ อุณหภูมิควัน สามารถแสดงการกระจายของอุณหภูมิจากเตาสู่สิ่งแวด-ล้อม อุณหภูมิดังกล่าวนี้เป็นการสูญเสียพลังงานความร้อนเนื่องจาก การแผ่รังสีความร้อน และ การสูญเสียพลังงานไปกับก๊าซเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และ ความชื้นภายในก๊าซ เป็นต้น ซึ่งในส่วนนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

การวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่ง 20 และ 45 เซนติเมตร สามารถแสดงให้ทราบได้ 2 ลักษณะคือ การนำความร้อน และ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น โดยที่การนำความร้อนของเชื้อเพลิงสามารถพิจารณาจากการกระจายของอุณหภูมิตัวเข้าสู่ชั้นเชื้อเพลิงแต่ละชั้นจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีการกระจายตัวไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความชื้นของเชื้อเพลิงทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้ไม้เท่ากัน และ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นสามารถพิจารณาจากอุณหภูมิของเชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้นพบผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นเช่น ก๊าซ น้ำมันดิน และ อุณหภูมิของผนังเตามีค่าสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

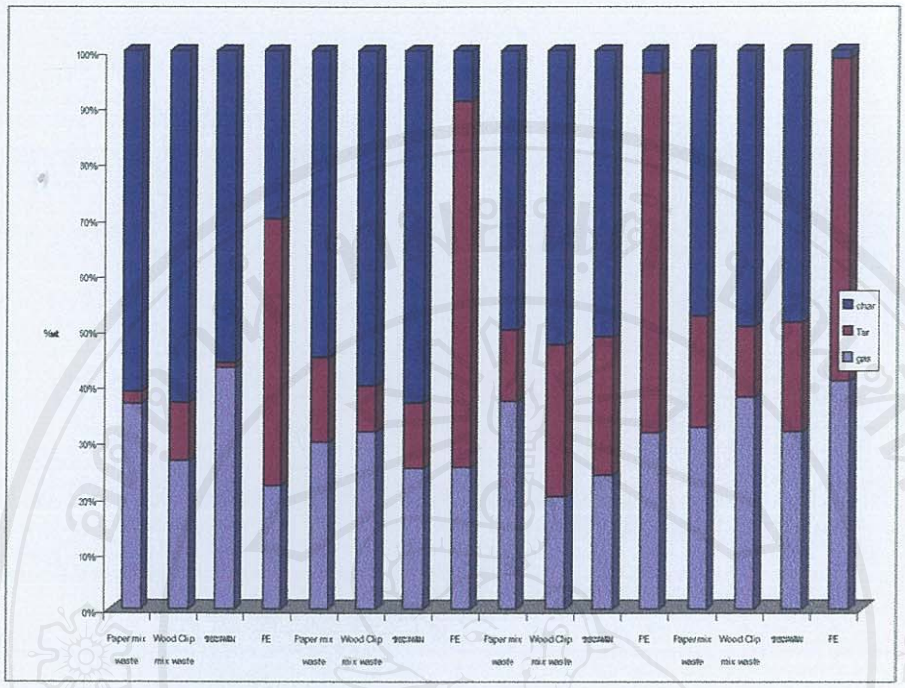
4.3.2 ผลของการเกิดก๊าซเทียบกับอุณหภูมิ

จากผลการทดสอบพบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส กระดาษผสมเหลือใช้มีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.3 ถึง 0.8 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.5 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 0.8 m^3/s จากนั้นมีค่าลดลง 0.3 m^3/s ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.3 ถึง 0.9 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.3 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 0.9 m^3/s จากนั้นมีค่าลดลง 0.3 m^3/s ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.5 ถึง 1 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.5 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 0.8 m^3/s จากนั้นมีค่าลดลง 0.3 m^3/s และ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.7 ถึง 1.1 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.7 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 1.1 m^3/s จากนั้นมีแนวโน้มลดลง

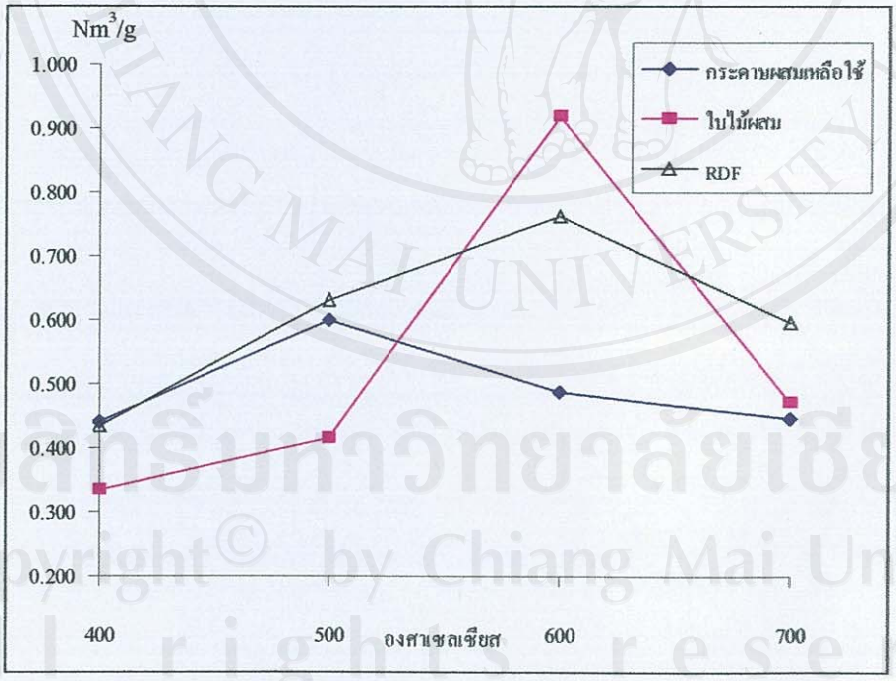
ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ใบไม้เหลือใช้มีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.3 ถึง 0.5 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.3 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 0.5 m^3/s จากนั้นมีค่าลดลง 0.3 m^3/s ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.3 ถึง 0.7 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.3 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 0.9 m^3/s จากนั้นมีค่าลดลง 0.5 m^3/s ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.5 ถึง 0.9 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.5 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 0.9 m^3/s จากนั้นมีค่าลดลง 0.3 m^3/s และ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.7 ถึง 1 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.7 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 1 m^3/s จากนั้นมีแนวโน้มลดลง

ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ขยะผสมมีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.3 ถึง 0.7 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.3 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 0.3 m^3/s จากนั้นมีค่าลดลง 0.3 m^3/s ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.3 ถึง 0.8 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.3 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 0.8 m^3/s จากนั้นมีค่าลดลง 0.5 m^3/s ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.7 ถึง 1 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.7 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 1 m^3/s จากนั้นมีค่าลดลง 0.4 m^3/s และ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของก๊าซอยู่ช่วง 0.7 ถึง 1.3 m^3/s มีค่าเริ่มต้นที่ 0.7 m^3/s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 1.3 m^3/s จากนั้นมีแนวโน้มลดลงสามารถแสดงดังจากรูปที่ 4.29 และ 4.30

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.29 อัตราส่วนของเชื้อเพลิงจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไพโรไลซีส



รูป 4.30 ปริมาณก๊าซจากการไพโรไลซีสเชื้อเพลิงแข็ง

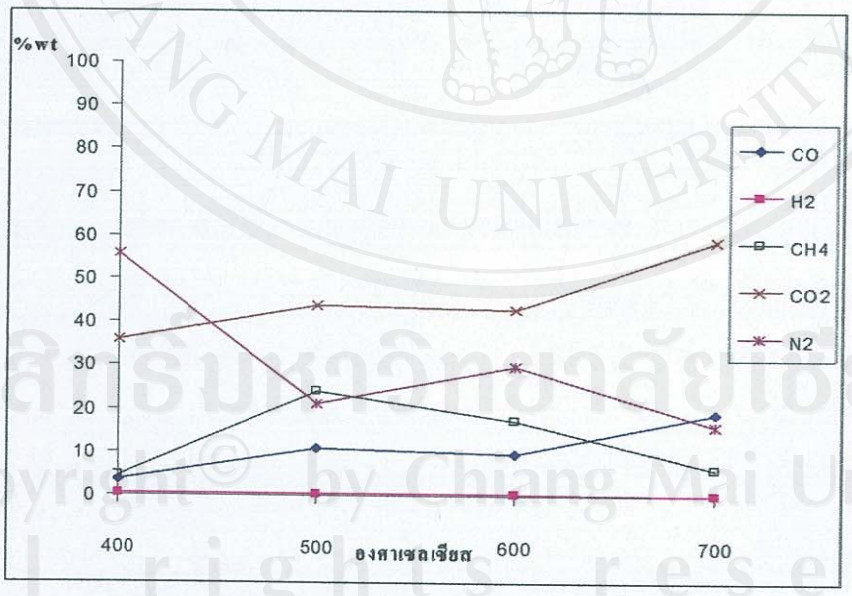
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าปริมาณการเกิดก๊าซและน้ำมันดินของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และ ถ่านชาร์มีแนวโน้มลดลง เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้น โดยที่กระดาษผสมเหลือใช้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมีปริมาณการเกิดก๊าซมากที่สุด 600 องศาเซลเซียส ใบไม้ผสมเหลือใช้มีปริมาณการเกิดก๊าซมากที่สุดที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และมีแนวโน้มลดลง และ ขยะผสมพบว่าปริมาณการเกิดก๊าซมีค่าน้อยในช่วงเริ่มต้นแต่มีแนวโน้มมากขึ้นจนถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จึงมีแนวโน้มลดลง

จากการกราฟเปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซพบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่า ขยะผสม มีปริมาณการเกิดก๊าซมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส พบว่า ขยะผสม มีปริมาณการเกิดก๊าซมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส พบว่า ใบไม้ผสมเหลือใช้มีปริมาณการเกิดก๊าซมากที่สุด และ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส พบว่า ขยะผสม มีปริมาณการเกิดก๊าซมากที่สุด

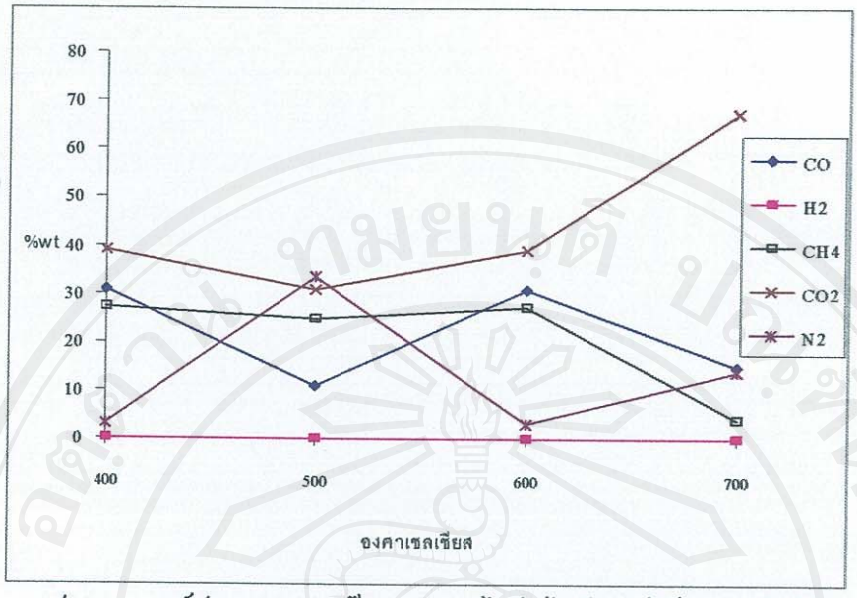
4.3.3 ผลขององค์ประกอบก๊าซเทียบกับอุณหภูมิ

ตัวอย่างของก๊าซที่ได้ทำการทดสอบจากเตาปฏิกรณ์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซโดยใช้ TCD gas chromatograph สามารถแสดงองค์ประกอบได้ 6 ชนิด คือ H_2 CO , CO_2 , CH_4 , O_2 และ N_2 สามารถแสดงได้ดังนี้

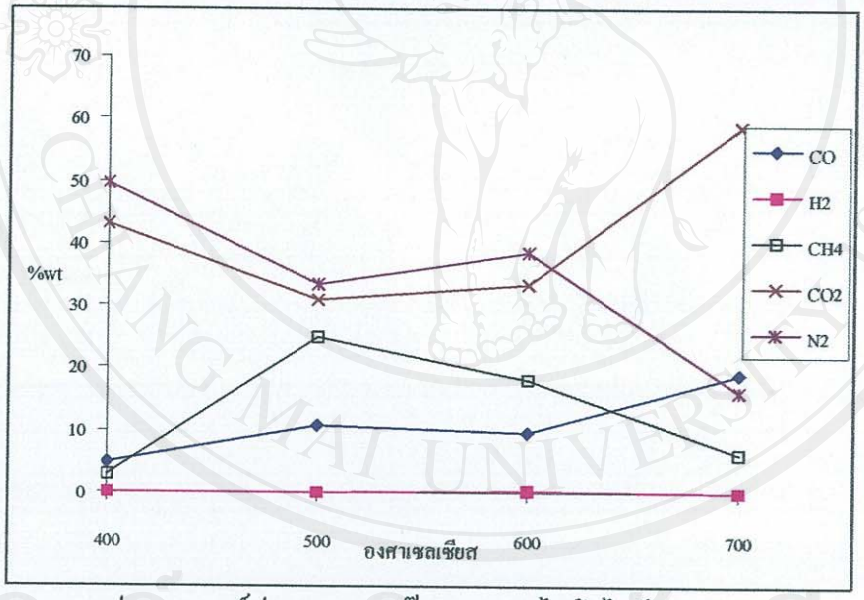


รูป 4.31 องค์ประกอบของก๊าซของการไพโรไลซีสกระดาษผสมเหลือใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.32 องค์ประกอบของก๊าซของการไพโรไลซีสใบไม้ผสมเหลือใช้



รูป 4.33 องค์ประกอบของก๊าซของการไพโรไลซีส ขยะผสม

โดยที่รูปที่ 4.31 แสดงถึงองค์ประกอบของก๊าซของการไพโรไลซีสกระดาษผสมเหลือใช้แต่ละอุณหภูมิ พบว่า CH_4 มีแนวโน้มมากขึ้นและมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส CO2 มีค่ามากที่สุดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และ CO มีค่าน้อยที่เริ่มมีแนวโน้มมากขึ้น

โดยที่รูปที่ 4.32 แสดงถึงองค์ประกอบของก๊าซของการไพโรไลซีสใบไม้ผสมเหลือใช้แต่ละอุณหภูมิ พบว่า CH_4 มีแนวโน้มมากขึ้นและมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส CO2 มีค่ามากที่สุดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และ CO มีค่าน้อยที่เริ่มมีแนวโน้มคงที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่รูปที่ 4.33 แสดงถึงองค์ประกอบของก๊าซของการไพโรไลซีส ขยะผสม พบว่า CH_4 มีแนวโน้มมากขึ้นและมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส CO_2 มีค่ามากที่สุดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และ CO มีค่าน้อยที่เริ่มมีแนวโน้มมากขึ้น

จากผลการทดลองหาพฤติกรรมของก๊าซที่เกิดขึ้นจากไพโรไลซีสเชื้อเพลิงแต่ละชนิด พบว่ามีสารระเหยที่มีองค์ประกอบคือ H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , O_2 และ N_2 สามารถแบ่งกลุ่มก๊าซเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่หนึ่งคือก๊าซไฮโดรคาร์บอน กลุ่มที่สองคือก๊าซคาร์บอนออกไซด์ และกลุ่มสุดท้ายคือ ก๊าซอื่นๆเช่น N_2 เป็นต้น ที่อุณหภูมิ 400 องศา ในเชื้อเพลิงกระดาษผสมเหลือใช้ ใบไม้ผสมเหลือใช้ และ ขยะผสม พบว่าพฤติกรรมขององค์ประกอบของก๊าซมีดังนี้ กลุ่ม CH_4 มีปริมาณที่เกิดขึ้นเล็กน้อย กลุ่ม $CO+CO_2$ เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจนถึงกระบวนการ ถ่านชาร์ และ กลุ่ม N_2 ก๊าซจำพวกนี้มีเกิดเพียงเล็กน้อยเนื่องจากมีการนำไปใช้ทำปฏิกิริยาจนหมด

ที่อุณหภูมิ 600 องศา ในเชื้อเพลิงกระดาษผสมเหลือใช้ ใบไม้ผสมเหลือใช้ และ ขยะผสม พบว่าพฤติกรรมขององค์ประกอบของก๊าซมีดังนี้ กลุ่ม CH_4 มีปริมาณที่เกิดขึ้นเล็กน้อย กลุ่ม CO+CO2 เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจนถึงกระบวนการ ถ่านชาร์ และ กลุ่ม N_2 กลุ่มนี้ H_2 O_2 และ N_2 ก๊าซจำพวกนี้มีเกิดเพียงเล็กน้อยเนื่องจากมีการนำไปใช้ทำปฏิกิริยาจนหมด ก๊าซ N_2 เกิดขึ้นมากในอุณหภูมินี้และมีแนวโน้มสูงขึ้นในกระบวนการเกิดถ่านชาร์

ที่อุณหภูมิ 700 ในเชื้อเพลิงกระดาษผสมเหลือใช้ ใบไม้ผสมเหลือใช้ และ ขยะผสม พบว่าพฤติกรรมขององค์ประกอบของก๊าซมีดังนี้ กลุ่ม CH_4 มีปริมาณที่เกิดขึ้นเล็กน้อย กลุ่ม CO+CO2 เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจนถึงกระบวนการ ถ่านชาร์ และ กลุ่ม N_2 กลุ่มนี้ H_2 O_2 และ N_2 ก๊าซจำพวกนี้มีเกิดเพียงเล็กน้อยเนื่องจากมีการนำไปใช้ทำปฏิกิริยาจนหมด

ตารางที่ 4.3 ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

ตัวแปรองค์ประกอบของก๊าซ	เชื้อเพลิงแข็ง		
	กระดาษผสมเหลือใช้	ใบไม้ผสมเหลือใช้	ขยะผสม
	mg	mg	mg
CO	0.904	54.171	1.267
H_2	0.000	0.000	0.000
CH_4	0.799	24.392	0.243
CO_2	143.667	137.393	169.017
N_2	221.875	50.651	260.299

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

ตัวแปรองค์ประกอบของก๊าซ	เชื้อเพลิงแข็ง		
	กระดาษผสมเหลือใช้	ใบไม้ผสมเหลือใช้	ขยะผสม
	mg	mg	mg
CO	5.422	42.950	6.405
H_2	0.000	0.000	0.000
CH_4	1.129	19.340	12.533
CO_2	340.361	108.935	119.537
N_2	25.260	30.530	100.435

ตารางที่ 4.5 ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

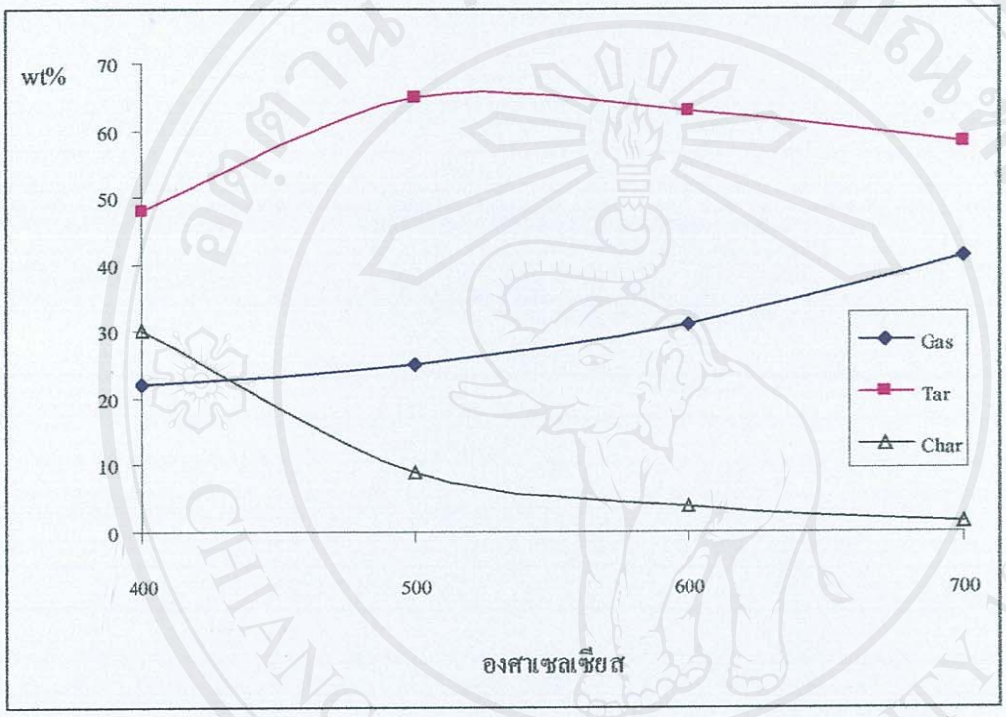
ตัวแปรองค์ประกอบของก๊าซ	เชื้อเพลิงแข็ง		
	กระดาษผสมเหลือใช้	ใบไม้ผสมเหลือใช้	ขยะผสม
	mg	mg	mg
CO	11.548	11.180	19.074
H_2	0.000	0.000	0.000
CH_4	0.963	0.426	1.159
CO_2	290.356	357.159	283.527
N_2	21.549	9.524	13.488

จากตาราง 4.3 ถึง 4.5 แสดงการเปรียบเทียบการเกิดทั้ง 3 กลุ่ม ดังนี้ CH_4 , $CO+CO_2$ และ N_2 ในเชื้อเพลิงแต่ละชนิดพบว่าช่วงอุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส มีCH_4 ที่เกิดขึ้นในเชื้อเพลิงใบไม้ผสมเหลือใช้มีค่ามากที่สุด และ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ขยะผสม มีค่ามากที่สุดก๊าซ $CO+CO_2$ ช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ขยะผสมมีค่ามากที่สุด ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงกระดาษผสมเหลือใช้มีค่ามากที่สุด 600 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงกระดาษผสมเหลือใช้มีค่ามากที่สุด และ 700 องศาเซลเซียส ใบไม้ผสมเหลือใช้มีค่ามากที่สุด และ ก๊าซ N_2 ช่วงอุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส ขยะผสมมีค่ามากที่สุด และ 700 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงกระดาษผสมเหลือใช้มีค่ามากที่สุด

จากรูปที่ 4.34 แสดงผลการทดสอบของ Demirbas (2004) ได้การศึกษาเกี่ยวกับการไพโรไลซีสของพลาสติกเหลือใช้จากขยะชุมชน ทดสอบช่วงอุณหภูมิ 220 ถึง 727 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 400 องศาเซลเซียส มีก๊าซ 22 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 500 องศาเซลเซียส จึงเริ่มมีค่าลดลง น้ำมันดินมีปริมาณเริ่มต้นที่ 10 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มมากขึ้น และ การ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สลายตัวของเชื้อเพลิงแข็งเริ่มจาก 65 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มลดลงจนถึงอุณหภูมิ 470 องศาเซลเซียส เริ่มคงที่ ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณของผลิตภัณฑ์จากพลาสติกเหลือใช้จากขยะชุมชนที่อุณหภูมิไพโรไลซีส พบว่าผลิตภัณฑ์ของพลาสติกจากการไพโรไรซีสเกิดไฮโดรคาร์บอนในรูปแบบของพาราฟิน โอลิฟิน เป็นต้น ซึ่งไม่พบก๊าซจำพวก CO CO_2 และ N_2 และ/หรือ เกิดขึ้นน้อยมากดังนั้นจึงไม่สามารถนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแข็งทั้งสามารถชนิดได้



รูป 4.34 ปริมาณการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ไพโรไลติกจากพลาสติกเหลือใช้ Demirbas (2004)

ตาราง 4.6 ปริมาณของผลิตภัณฑ์จากจากไพโรไลซีสพลาสติกเหลือใช้ Demirbas (2004)

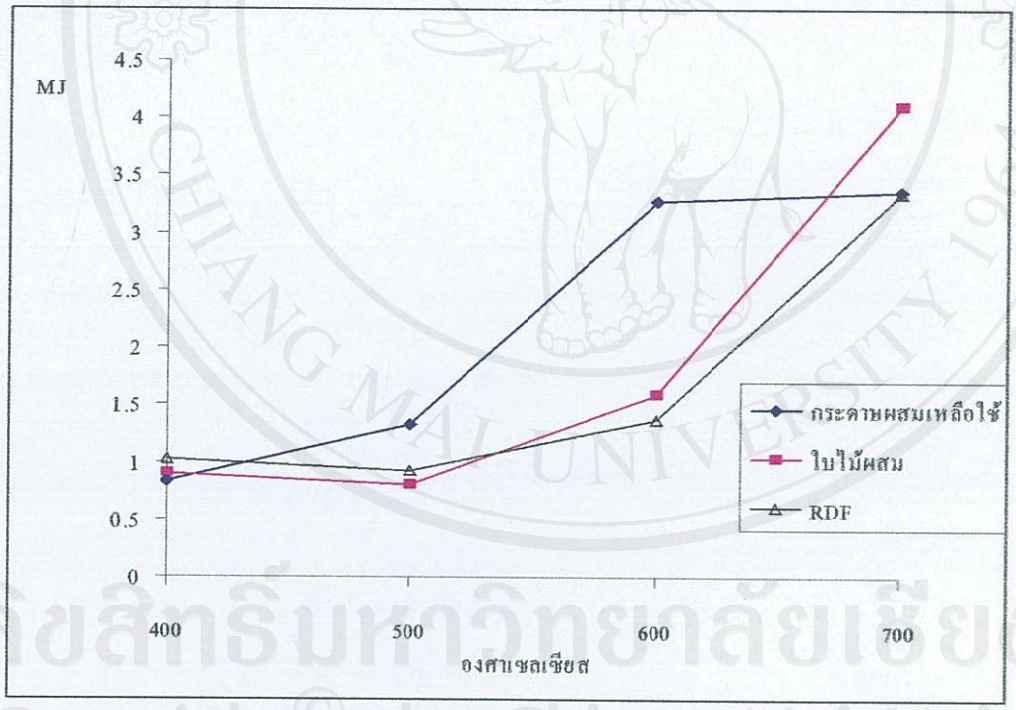
ตัวแปรองค์ประกอบของก๊าซ	พลาสติกเหลือใช้			
	402	452	527	603
พาราฟิน	32.5	31.4	31.1	33.2
โอรินฟิน	37.3	33.6	32.3	31.6
แนปทลีน	20.7	21.5	23.0	22.7
อโรมาติก	7.9	13.6	12.5	11.6
อื่นๆ	1.6	1.9	1.1	0.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.4 ค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไพโรไลติก

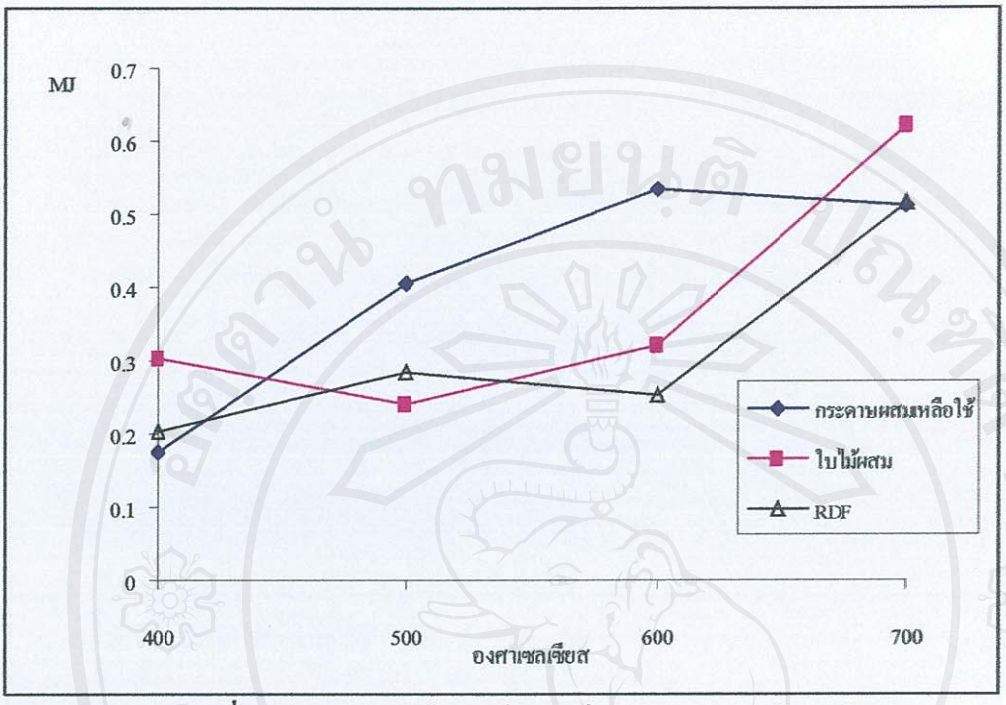
จากกราฟ 4.35 แสดงผลของค่าความร้อนของก๊าซได้จากคำนวณจากก๊าซ เช่น CH_4 CO CO_2 เป็นต้นที่ได้จากการไพโรไลซีสเชื้อเพลิงแข็ง พบว่าค่าความร้อนจำเพาะของกระดาษผสมเหลือใช้มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ และ มีค่ามากที่สุดที่ 600 องศาเซลเซียส ใบไม้ผสมเหลือใช้พบว่าค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซมีแนวโน้มมากขึ้น เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ ขยะผสมพบว่าค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซมีแนวโน้มมากขึ้น เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ มีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เช่นกัน

การเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นพบว่าที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ขยะผสมมีค่าความร้อนมากที่สุด อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส กระดาษผสมเหลือใช้มีค่าความร้อนจำเพาะมากที่สุด อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส กระดาษผสมเหลือใช้มีค่าความร้อนจำเพาะมากที่สุด และที่ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใบไม้ผสมเหลือใช้มีค่าความร้อนจำเพาะมากที่สุด



รูปที่ 4.35 แสดงค่าความร้อนของก๊าซของแต่ละอุณหภูมิไพโรไลซีส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.35 แสดงค่าเอ๊กเซอร์จีของก๊าซแต่ละอุณหภูมิไพโรไลซีส

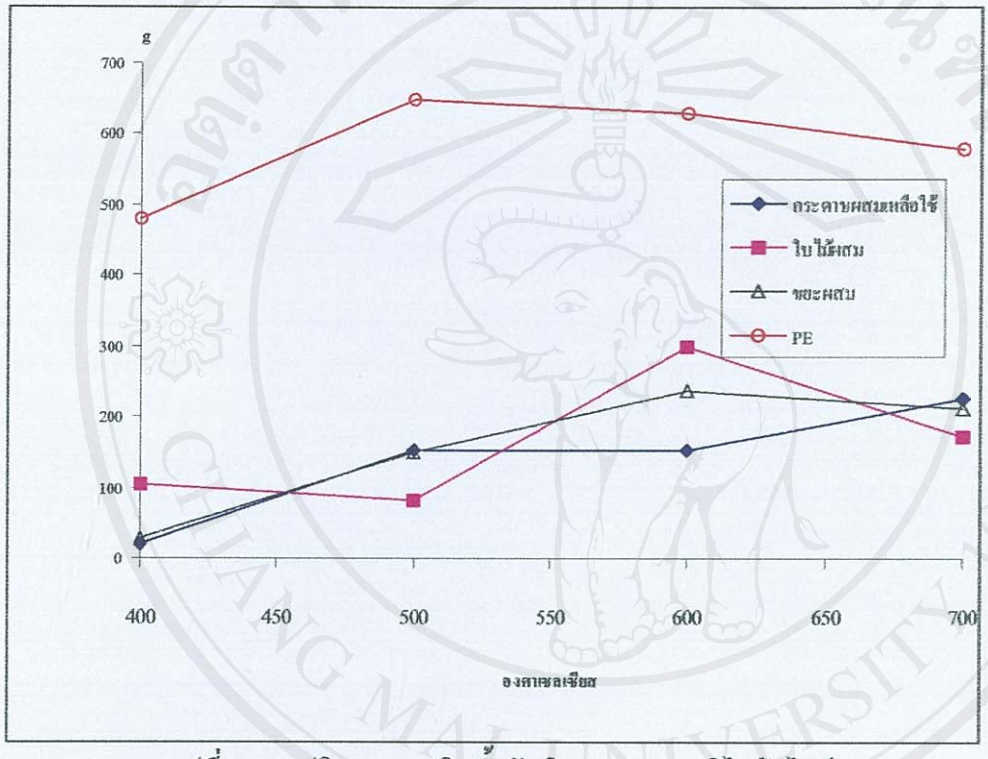
จากกราฟ 4.35 แสดงผลของค่าเอ๊กเซอร์จีของก๊าซที่ได้จากการไพโรไลซีส พบว่าค่าเอ๊กเซอร์จีของกระดาษผสมเหลือใช้มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ มีค่ามากที่สุดที่ 600 องศาเซลเซียส ใบไม้ผสมเหลือใช้พบว่าค่าเอ๊กเซอรจีของก๊าซมีแนวโน้มมากขึ้น เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ มีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ ขยะผสมพบว่าค่าเอ๊กเซอร์จีมีแนวโน้มมากขึ้น เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ มีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เช่นกัน

การเปรียบเทียบค่าเอ๊กเซอร์จีที่เกิดขึ้นพบว่าที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ใบไม้ มีค่าเอ๊กเซอร์จีที่สุด อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส กระดาษผสมเหลือใช้มีค่าเอ๊กเซอร์จีมากที่สุด อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส กระดาษผสมเหลือใช้มีค่าค่าเอ๊กเซอร์จีมากที่สุด และ ที่ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใบไม้ผสมเหลือใช้มีค่าเอ๊กเซอร์จีมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.5 ปริมาณของน้ำมันดิน

จากกราฟ 4.37 แสดงปริมาณการเกิดน้ำมันดินแสดงผลน้ำมันดินที่ได้จากการไพโรไลซีส พบว่ากระดาษผสมเหลือใช้มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ มีค่ามากที่สุดที่ 700 องศาเซลเซียส ใบไม้ผสมเหลือใช้พบว่ามีแนวโน้มมากขึ้น เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เริ่มมีแนวโน้มลดลงและ ขยะผสมพบว่ามีแนวโน้มมากขึ้น เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ มีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เช่นกัน



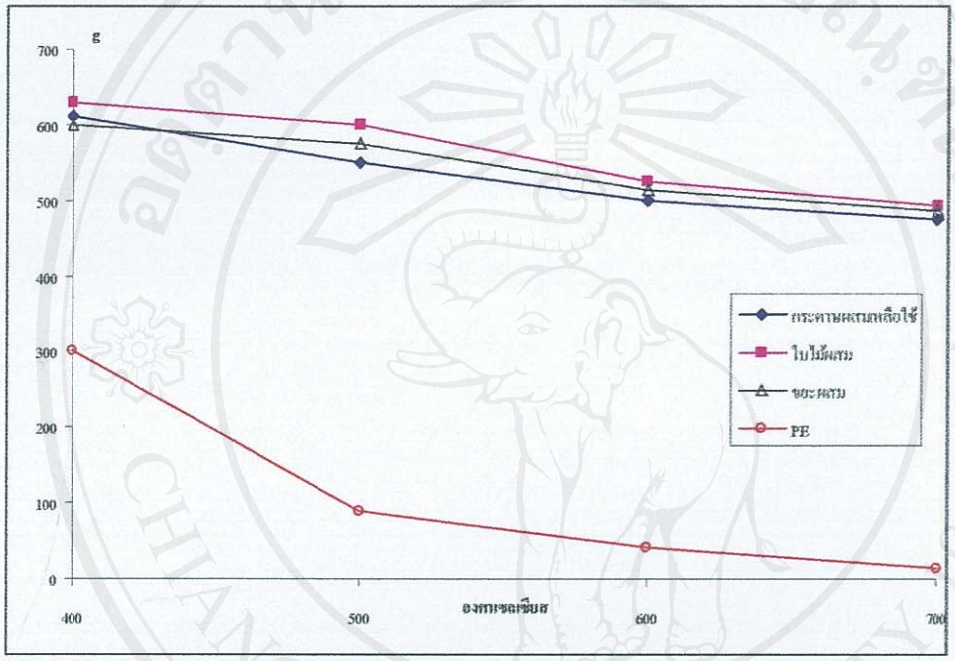
รูปที่ 4.37 ปริมาณการเกิดน้ำมันดินของอุณหภูมิไพโรไลซีส

การเปรียบเทียบน้ำมันดินที่เกิดขึ้นพบว่าที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ใบไม้มีน้ำมันดินมากที่สุด อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส กระดาษผสมเหลือใช้มีน้ำมันดินมากที่สุด อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใบไม้ผสมเหลือใช้มีค่ามากที่สุด และ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส กระดาษผสมเหลือใช้มีค่ามากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.6 ปริมาณของถ่านชาร์

จากถ่านชาร์ที่กล่าวถึงในหัวข้อก่อนหน้ามีความหมายของถ่านชาร์ คือ กากที่ประกอบด้วยคาร์บอนคงตัวจำนวนมากเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสารระเหยออกจากเชื้อเพลิงจนกระทั่งไม่สามารถเคลื่อนที่ออกเชื้อเพลิงได้อีก จากการทดสอบกระดาษผสมเหลือใช้ ใบไม้ และขยะผสมดังนี้



รูปที่ 4.38 ปริมาณการถ่านชาร์ของอุณหภูมิไพโรไลซีส

กราฟ 4.38 แสดงปริมาณการเกิดถ่านชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซีส พบว่ากระดาษผสมเหลือใช้ ใบไม้ผสมเหลือใช้ และ ขยะผสมมีแนวโน้มลดลงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ มีแนวโน้มลดลงอย่างเร็วช่วงอุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเริ่มมีค่าคงที่

การเปรียบเทียบถ่านชาร์ที่เกิดขึ้นพบว่าที่ทุกช่วงอุณหภูมิใบไม้มีถ่านชาร์มากที่สุด อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส กระดาษผสมเหลือใช้มีถ่านชาร์น้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 การสมดุลมวล

จากการทดสอบที่ผ่านแสดงให้ทราบถึงการสลายตัวของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดเกิดการสลายตัวเกิดเป็น ก๊าซ น้ำมันดิน และ ถ่านชาร์ ที่ช่วงอุณหภูมิ 400 ถึง 700 องศาเซลเซียส ซึ่งแต่ละเชื้อเพลิงมีการสลายตัวไม่เท่ากัน การสมดุลมวลเป็นการวิเคราะห์การสลายตัวของเชื้อเพลิงสามารถเขียนเป็นสมการเชิงคณิตศาสตร์เชิงผลการทดลองดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 สมการสมดุลมวลของเชื้อเพลิงแข็งในกระบวนการไพโรไลซีส

ชนิดเชื้อเพลิงแข็ง	สมการเชื้อเพลิง	อุณหภูมิ	สมการสมดุล
กระดาษผสมเหลือใช้	$2.99C_{3.25}9H_{0.477}O_{4.049}N_{0.08}$	400	$0.318CO+0.05CH_4+3.265CO_2+7.924N_2+1.93Char+1.53Tar+0.6H_2O$
		500	$0.318CO+1.55CH_4+8.237CO_2+1.21N_2+1.72Char+1.22Tar+0.5H_2O$
		600	$0.194CO+0.071CH_4+7.735CO_2+1.02N_2+1.5Char+0Tar+6.82H_2O$
		700	$0.412CO+0.06CH_4+6.599CO_2+0.77N_2+2.904Char+0.02Tar+11.98H_2O$
ใบไม้ผสมเหลือใช้	$2.93C_{3.89}9H_{0.48}O_{3.57}N_{0.02}$	400	$1.93CO+1.52CH_4+3.12CO_2+3.12N_2+1.81Char+0.05Tar+0.5H_2O$
		500	$0.17CO+1.52CH_4+3.84CO_2+4.96N_2+1.51Char+0.27Tar+0.53H_2O$
		600	$1.53CO+1.21CH_4+2.48CO_2+1.09N_2+1.63Char+0Tar+13.24H_2O$
		700	$0.4CO+0.3CH_4+8.12CO_2+0.34N_2+1.46Char+0.03Tar+7.87H_2O$
ขยะผสม	$3.96C_{3.73}9H_{0.592}O_{1.53}N_{0.024}$	400	$0.05CO+10.02CH_4+3.84CO_2+9.30N_2+4.21Char+0.12Tar+0.51H_2O$
		500	$0.34CO+1.8CH_4+2.76CO_2+3.25N_2+1.56Char+0.17Tar+0.884H_2O$
		600	$0.23CO+0.78CH_4+2.76CO_2+3.29N_2+4.08Char+0.11Tar+10.06H_2O$
		700	$0.68CO+0.09CH_4+6.44CO_2+0.48N_2+6.19Char+0.08Tar+9.43H_2O$

ตารางที่ 4.8 สมการทำนายอัตราเกิดผลิตภัณฑ์

เพลิงแข็ง	สมการเชื้อเพลิง	สมการ
กระดาษผสมเหลือใช้	$2.99C_{3.25}9H_{0.477}O_{4.049}N_{0.08}$	$(7.951-0.011T)CO+(1.23-143x10^{-3}T)CH_4+(7.951-0.011T)CO_2+(14.632-0.021T)N_2+$ $(7.951-0.011T)Char+(3.567-5.15x10^{-3}T)Tar+(-16.711-0.0395T)H_2O$
ใบไม้ผสมเหลือใช้	$2.93C_{3.89}9H_{0.48}O_{3.57}N_{0.02}$	$(2.784-3.23x10^{-3}T)CO+(10-0.016T)CH_4+(-3.112+0.0136T)CO_2+(9.093-0.012T)N_2+$ $(14.632-0.021T)Char+(0.269-0.3x10^{-3}T)Tar+(139.07-0.242T)H_2O$
ขยะผสม	$3.96C_{3.73}9H_{0.592}O_{1.53}N_{0.024}$	$(0.201-0.43x10^{-3}T)CO+(20.118-0.33T)CH_4+(0.34-7.80x10^{-3}T)CO_2+(18.611-0.026T)$ $N_2+(-0.643+8.45x10^{-3}T)Char+(14.632-0.021T)Tar+(131.35-0.229T)H_2O$

หมายเหตุ:อุณหภูมิใช้ในช่วง 400 ถึง 700 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 การสมดุลด้านพลังงาน

การวิเคราะห์จากข้อที่หนึ่งของกฎเทอร์โมไดนามิกส์ด้านพลังงานเชื้อเพลิงค่าพลังงานของประสิทธิภาพของการสูญเสียพลังงานกระบวนการไพโรไลซีส การวิเคราะห์ได้ทำการคำนวณหาค่าพลังงานของเชื้อเพลิงแข็ง และ พลังงานที่ได้จากก๊าซ น้ำมันดิน และ ถ่านชาร์ เป็นต้นจากตารางสมดุลมวลสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.9 ดังนี้

ตารางที่ 4.9 การสมดุลด้านพลังงานของเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิงแข็ง	พลังงานเชื้อเพลิงแข็ง (MJ)	อุณหภูมิ	พลังงานออก (MJ)	ประสิทธิภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิง $\eta_{(I,Fuel)}$
กระดาษผสมเหลือใช้	7.495	400	4.364	58.24
		500	5.371	71.67
		600	5.988	79.98
		700	6.307	84.18
ใบไม้ผสมเหลือใช้	7.913	400	6.125	77.44
		500	5.339	67.48
		600	7.751	97.96
		700	7.14	93.72
ขยะผสม	10.126	400	8.463	83.60
		500	6.33	80.72
		600	9.82	96.94
		700	8.493	90.84

จากตารางสามารถแสดงถึงค่าพลังงานของเชื้อเพลิงแข็งแต่ละชนิด และ พลังงานที่ได้จากก๊าซร้อน น้ำมันดิน และ ถ่านชาร์ โดยที่กระดาษผสมเหลือใช้มีค่าพลังงานส่งออกเริ่มที่ 4.364 MJ มีแนวโน้มของพลังงานมากขึ้น ใบไม้ผสมเหลือใช้มีพลังงานเริ่มต้นที่ 6.125 MJ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 7.751 MJ จึงมีค่าลดลง และ ขยะผสมมีการใช้พลังงานเริ่มต้นที่ 8.468 MJ มีแนวโน้มพลังงานเพิ่มขึ้นจนถึง 9.82 จึงมีค่าลดลง

การเปรียบเทียบพลังงานเข้า และ พลังงานออกพบว่าที่อุณหภูมิ 400 และ 500องศาเซลเซียส พบว่าใบขยะผสมเหลือใช้มีค่าประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงมากที่ ที่อุณหภูมิ 600 และ 800 องศาเซลเซียส พบว่าใบไม้ผสมเหลือใช้มีค่าประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6 การสมดุลด้านเอ็กเซอร์จี

การวิเคราะห์จากข้อที่สองของกฎเทอร์โมไดนามิกส์ด้านพลังงานเชื้อเพลิงค่าเอ็กเซอร์จีของประสิทธิภาพของการสูญเสียเอ็กเซอร์จีกระบวนการไพโรไลซีส การวิเคราะห์ได้ทำการคำนวณหาค่าเอ็กเซอร์จีของเชื้อเพลิงแข็ง เอ็กเซอร์จีส่งออกเช่น ก๊าซ น้ำมันดิน และ ถ่านชาร์ เป็นต้น ดังตารางสมดุลมวลสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.10 ดังนี้

ตารางที่ 4.10 การสมดุลด้านเอ็กเซอร์จีของเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิงแข็ง	เอ็กเซอร์จีเชื้อเพลิงแข็ง (MJ)	อุณหภูมิ	เอ็กเซอร์จีส่งออก (MJ)	ประสิทธิผลด้านเอ็กเซอร์จีของเชื้อเพลิง $\eta_{x,Fuel}$
กระดาษผสมเหลือใช้	6.97	400	2.96	42.47
		500	4.17	59.88
		600	2.81	38.85
		700	2.58	36.99
ใบไม้ผสมเหลือใช้	7.52	400	4.37	58.05
		500	4.90	65.13
		600	3.24	43.04
		700	3.21	42.63
ขยะผสม	9.63	400	6.73	69.97
		500	4.49	39.63
		600	6.95	72.20
		700	4.36	48.28

จากตารางสามารถแสดงถึงค่าเอ็กเซอร์จีของเชื้อเพลิงแข็งแต่ละชนิด และ เอ็กเซอร์จีที่ได้จากก๊าซร้อน น้ำมันดิน และ ถ่านชาร์ โดยที่กระดาษผสมเหลือใช้มีค่าเอ็กเซอร์จีออกเริ่มที่ 2.96 MJ มีแนวโน้มของเอ็กเซอร์จีมากขึ้นถึง 4.17 MJ จึงมีแนวโน้มลดลง ใบไม้ผสมเหลือใช้มีเอ็กเซอร์จีเริ่มต้นที่ 4.37 MJ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึง 4.90 MJ จึงมีแนวโน้มลดลง และ ขยะผสมมีการใช้เอ็กเซอร์จีเริ่มต้นที่ 6.73 MJ มีแนวโน้มเอ็กเซอร์จีเพิ่มขึ้นเช่นกัน

การเปรียบเทียบเอ็กเซอร์จีเข้า และ เอ็กเซอร์จีออกพบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่าขยะผสมเหลือใช้มีค่าประสิทธิผลของเชื้อเพลิงมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 5

00 องศาเซลเซียส พบว่า ขยะผสมมีค่าประสิทธิผลของเชื้อเพลิงมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส พบว่ากระดาษผสมเหลือใช้มีค่าประสิทธิผลของเชื้อเพลิงมากที่สุด และ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดทุกเชื้อเพลิง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปรียบเทียบด้านพลังงาน และ ด้านเอ็กเซอร์จีของเชื้อเพลิง ด้านพลังงานแสดงถึงปริมาณพลังงานเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น และ ด้านเอ็กเซอร์จีแสดงถึงคุณภาพของของพลังงานที่สามารถนำไปใช้ได้สูงสุด

ประสิทธิภาพด้านพลังงานไม่สามารถมีประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานไอน้ำในก๊าซ การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง และ ด้านประสิทธิผลของเชื้อมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพของพลังงานเนื่องจากมีการสูญเสียเอ็กเซอร์จีให้แก่ระบบเพิ่มขึ้น และ เอ็กเซอร์จีนี้ไม่สามารถย้อนกลับได้ซึ่งเรียกว่าสภาวะตาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved