



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากสบู่ดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

Bio - oil Production from Jatropha Cake via Two - stage Screw Pyrolyzer

นามผู้วิจัย นางสาวพรรณภา สมเชื้อเวียง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อภิญา ดวงจันทร์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุจินดา กรรณสูต, ประ.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์วีรัชย์ สุนทรรังสรรค์, Ph.D.)

รักษาราชการแทน
หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากสบู่ดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

Bio - oil Production from Jatropha Cake via Two - stage Screw Pyrolyzer

โดย

นางสาวพรรณภา สมเชื้อเวียง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พรรณภา สมเชื้อเวียง 2555: การผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากสับุดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: รองศาสตราจารย์อภิญญา ดวงจันทร์, Ph.D. 101 หน้า

การผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากสับุดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากสับุดำที่เป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งจากกระบวนการหีบน้ำมันสับุดำ โดยศึกษาความเร็วรอบของสกรูและอุณหภูมิ ทั้งในช่วงอบแห้ง และช่วงการไพโรไลซิส โดยขั้นตอนการทดลองช่วงอบแห้ง เลือกทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 250 ถึง 550 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบ 350 ถึง 650 รอบต่อนาที ขั้นตอนการทดลองช่วงไพโรไลซิสเลือกทดสอบความเร็วรอบที่ 800 ถึง 1,400 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสพบว่าสภาวะที่เครื่องมือสามารถผลิตน้ำมันชีวมวลมากที่สุดได้ร้อยละ 19.537 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาทีในช่วงอบแห้ง และ 650 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาทีที่ช่วงไพโรไลซิส ให้ค่าความร้อน 21.638 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม โดยที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาทีที่ช่วงอบแห้ง และ 650 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาทีที่ช่วงไพโรไลซิส สามารถผลิตน้ำมันชีวมวลได้ร้อยละ 16.126 ให้ค่าความร้อน 24.878 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันชีวมวลในสถานะของแข็ง (ถ่าน) ให้ค่าความร้อน 23 - 25 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และผลิตภัณฑ์ในสถานะแก๊สประกอบด้วย ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน เอทิลีน อีเทน และอื่นๆ ทั้งนี้ในส่วนของแก๊สและถ่านสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่อไปได้เช่นกัน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Phannapa Somchuewiang 2012: Bio - oil Production from Jatropha Cake via Two - stage Screw Pyrolyzer. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Apinya Duangchan, Ph.D. 101 pages.

Fast pyrolysis experiments have been conducted on jatropha cake for producing bio - oil. The purpose of the study was to determine thermochemical characteristics and pyrolysis behaviour of solid wastes obtained from jatropha oil extraction. The investigation of optimum process conditions for maximising bio - oil yield was included. A Two - stage Screw Pyrolyzer has been set up in order to investigate pyrolysis temperature and speed (round per minute) of drying stage and pyrolysis stage. The temperature of drying stage was varied between 250°C - 550°C and speed was varied between 350 – 650 rpm. Moreover the speed of pyrolysis stage was varied between 800 - 1400 rpm. Temperatures applied for both stages would no higher than 650°C due to the limitation of the screw pyrolyzer. Results obtained indicated that the maximum bio - oil yield of 19.537 % with 21.638 MJ/kg heating value could be reached via 450°C, 550 rpm and 650°C, 800 rpm configurations of drying and pyrolysis stages respectively. The 16.126 % yield of bio - oil with 24.878 MJ/kg heating value could also be reached via the second test when 350°C, 550 rpm and 650°C, 1000 rpm, configurations of drying and pyrolysis stages were set. By - product gases e.g. hydrogen, carbon monoxide, carbon dioxide, methane, acetylene and ethane. In addition bio - chars with 23 - 25 MJ/kg heating value, were also produced and could be utilized either for energy purposes or modified as value - added products.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ได้โดยการอุปการะและช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรศ.ดร.อภิญา ควงจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์สุจินดา กรรณสูต และดร.วีรัชย์ สุนทรรังสรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมถึง ดร. ธเนศ อุทิศธรรม คุณโสภณ พรหมสุวรรณ และ คุณมะนุ บุญแสร์ จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ได้กรุณาสละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะด้านการค้นคว้าวิจัย การปฏิบัติงาน ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมไปถึงอาจารย์ทุกท่านในสถาบันการศึกษาที่ได้ให้ความรู้ในศาสตร์ต่างๆเพื่อการนำมาปรับใช้ในงานวิจัย จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ภายใต้โครงการภาคีบัณฑิต ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน ผลการวิจัยในรายงานถือเป็นผลงานวิจัยร่วมกันในนามของผู้วิจัยและผู้สนับสนุนทุนวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด และเป็นกำลังใจให้เสมอมา ขอขอบคุณภักทชนก แก้วพงศธร ที่สละเวลามาเื้อความสะดวกในการทำวิจัย ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และญาติๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ รวมถึงบุคคลท่านอื่นๆ ที่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่มีส่วนร่วมทั้งทางตรงและทางอ้อมจนโครงการวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

พรรณภา สมเชื้อเวียง

กันยายน 2555

สารบัญ

หน้า

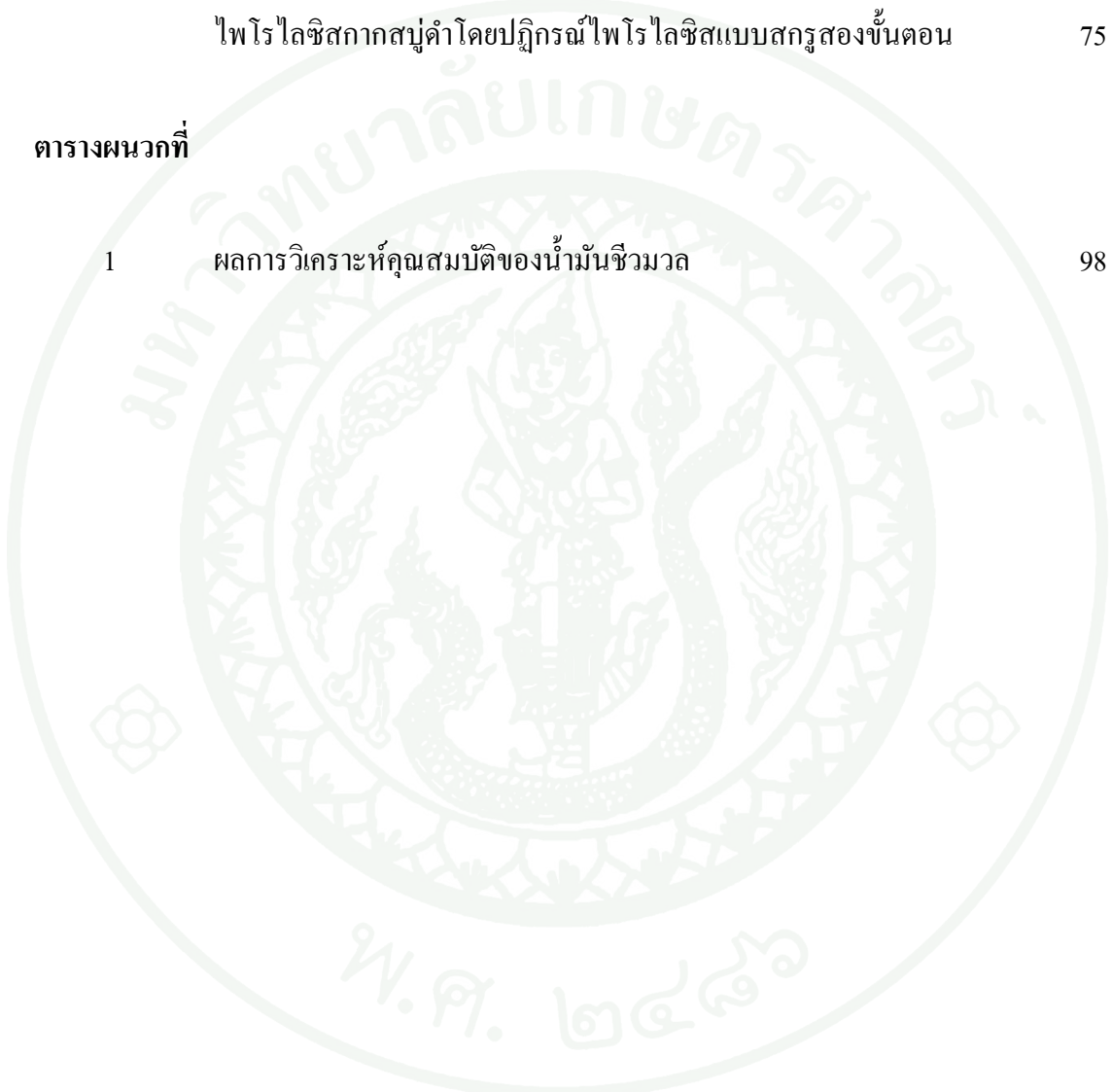
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	50
อุปกรณ์	50
วิธีการ	55
ผลและวิจารณ์	60
สรุปและข้อเสนอแนะ	76
สรุป	76
ข้อเสนอแนะ	77
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	78
ภาคผนวก	83
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	84
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางกายภาพของชีวมวล	92
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันชีวมวล	97
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	101

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายละเอียดพื้นที่ปลูก ผลผลิตพืชหลัก และไม้ยางพารา ปี 2551 และ 2552	8
2	ศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552	9
3	คุณสมบัติเบื้องต้นและค่าพลังงานความร้อนของชีวมวล	18
4	ส่วนประกอบของน้ำมันชีวมวล	26
5	สมบัติทางเคมีของน้ำมันชีวมวล	27
6	สมบัติทั่วไปของน้ำมันชีวมวลจากไม้เปรียบเทียบกับน้ำมันเตา	28
7	องค์ประกอบของแก๊สจากการสลายตัวของชีวมวลที่อุณหภูมิต่างกัน	34
8	ลักษณะของกระบวนการและผลผลิตที่สำคัญของกระบวนการไพโรไลซิสที่ต่างกัน	36
9	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของกากสับุดำ	60
10	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุและค่าความร้อนของกากสับุดำ	61
11	ความเร็วรอบของสกรูและระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในช่วงอบแห้ง	62
12	ความเร็วรอบของสกรูและระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในช่วงไพโรไลซิส	62
13	ผลวิเคราะห์ร้อยละของสารระเหยที่คงอยู่ในกากสับุดำที่อุณหภูมิและความเร็วรอบที่ต่างกันในช่วงอบแห้ง	64
14	ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนรวมของกากสับุดำจากกระบวนการไพโรไลซิสโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอนต่อหนึ่งครั้งการผลิต	70
15	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุของน้ำมันชีวมวลจากกระบวนการไพโรไลซิสกากสับุดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน	71
16	ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันชีวมวลและถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสกากสับุดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน	72
17	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสกากสับุดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน	73
18	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุของถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสกากสับุดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ผลวิเคราะห์ร้อยละองค์ประกอบของแก๊สจากกระบวนการ ไพโรไลซิสกากสับคั่วโดยปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน	75
ตารางผนวกที่		
1	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันชีวมวล	98



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	12
2	โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส	12
3	โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน	13
4	คุณลักษณะขององค์ประกอบชีวมวลหรือสสารทั่วไป	16
5	ต้นสับดูดำ (ซ้าย) และเมล็ดสับดูดำ (ขวา)	24
6	กระบวนการแปรรูปทางความร้อนและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ	29
7	กระบวนการแตกตัวทางความร้อนของชีวมวล	32
8	ปฏิกิริยาฟลูอิดิเซชันแบบพองอากาศ	44
9	ปฏิกิริยาฟลูอิดิเซชันแบบหมุนเวียนและเบดถ่ายโอน	44
10	ปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสูญญากาศ	45
11	ปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบให้ความร้อนด้วยการเสียดสี	46
12	ปฏิกิริยาแบบสกรู	46
13	ภาพถ่ายปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน	51
14	ส่วนประกอบปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน	52
15	สกรูชุดไพโรไลซิสของปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน	53
16	กากสับดูดำก่อนบด (ซ้าย) และกากสับดูดำหลังบด (ขวา)	55
17	ร้อยละของผลิตภัณฑ์เหลือจากกากสับดูดำที่อุณหภูมิและความเร็วรอบที่ต่างกันในช่วงอบแห้ง	63
18	กากสับดูดำตั้งต้น และกากสับดูดำในช่วงอบแห้ง	65
19	ร้อยละของผลิตภัณฑ์เหลือ ถ่านชาร์ และแก๊สที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอนในสภาวะที่แตกต่างกัน	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ร้อยละของผลิตภัณฑ์เหลือจากกากสบู่ดำที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาทีในช่วงอบแห้ง และอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 800 1000 1200 และ 1400 รอบต่อนาทีในช่วงไฟโรไลซิส	66
21	ร้อยละของผลิตภัณฑ์เหลือจากกากสบู่ดำที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาทีในช่วงอบแห้ง และอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 800 1000 1200 และ 1400 รอบต่อนาทีช่วงไฟโรไลซิส	67
22	ร้อยละของน้ำมันชีวมวลในผลิตภัณฑ์เหลือที่ช่วงอุณหภูมิทำให้แห้ง ความเร็วรอบของช่วงอบแห้งและความเร็วรอบช่วงไฟโรไลซิสที่สภาวะต่างๆ ในช่วงไฟโรไลซิสอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส	68
23	น้ำมันชีวมวลที่ความเร็วรอบช่วงอบแห้ง 550 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิช่วงไฟโรไลซิสที่ 650 องศาเซลเซียส	68
ภาพผนวกที่		
ก1	เครื่องบดชีวมวล	85
ก2	เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (เตาอบ)	86
ก3	เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ	87
ก4	(1) เตาเผาสำหรับวิเคราะห์ถ้ำ	88
ก4	(2) เตาเผาสำหรับวิเคราะห์สารระเหย	88
ก5	เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความร้อน	89
ก6	เครื่องกลั่นสลายด้วยไอน้ำ	90
ก7	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	91
ค1	ร้อยละองค์ประกอบของน้ำมันชีวมวล	99
ค2	องค์ประกอบของน้ำมันชีวมวล	100

การผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากสบู่ดำโดยปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

Bio - oil Production from Jatropha Cake via Two - stage Screw Pyrolyzer

คำนำ

สถานการณ์พลังงานในปัจจุบันกำลังประสบปัญหาด้านการขาดแคลนพลังงานเนื่องจากความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากร ประกอบกับแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด กำลังลดลงและมีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคต ซึ่งแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลหรือแหล่งน้ำมันดิบจัดเป็นหนึ่งในพลังงานที่มีความสำคัญและเป็นสิ่งจำเป็นต่อภาคอุตสาหกรรมและการขนส่งซึ่งเป็นผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศรวมถึงในระดับโลก แต่ในปัจจุบันพบว่าแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลหรือแหล่งน้ำมันดิบนั้นมีปริมาณลดน้อยลงทำให้แต่ละประเทศเกิดความพยายามที่จะหาแหล่งพลังงานแหล่งใหม่เพื่อทดแทนแหล่งพลังงานที่กำลังจะหมดสิ้นไป ทำให้ชีวมวลซึ่งเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกหนึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมากที่จะนำมาใช้ทดแทนพลังงานฟอสซิล

ภาวะราคาน้ำมันดีเซลในตลาดโลกที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ในประเทศไทยมีการเร่งพัฒนาพลังงานทดแทน มีการตั้งเป้าหมายในการส่งเสริมการใช้ น้ำมันชีวมวลที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 10 ทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2555 คิดเป็นปริมาณ 8.5 ลิตรต่อวัน โดยใช้ปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งปริมาณที่มียังไม่เพียงพอต่อความต้องการ เนื่องจากเป็นพืชพลังงานที่ใช้ร่วมกับการบริโภค จึงได้มีการศึกษาถึงศักยภาพของพืชชนิดอื่นที่สามารถผลิตเป็นน้ำมันชีวมวลได้ ซึ่งสบู่ดำก็เป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เมื่อนำน้ำมันสบู่ดำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มดิบพบว่ามีความเหมาะสมสำหรับการนำไปผลิตเป็นน้ำมันชีวมวล เพราะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าน้ำมันปาล์มดิบ ทำให้น้ำมันชีวมวลที่ได้มีค่าความหนืด จุดหมอกควัน และจุดไหลเทต่ำกว่าน้ำมันชีวมวลจากน้ำมันปาล์มดิบ ถือได้ว่าเป็นพืชพลังงานที่มีความเหมาะสมในการส่งเสริมใช้เป็นน้ำมันชีวมวลทดแทนพืชพลังงานที่บริโภคได้อย่างปาล์มน้ำมัน หากในอนาคตได้มีการส่งเสริมการปลูกและการผลิตน้ำมันสบู่ดำอย่างจริงจัง ก็ควรศึกษาถึงขั้นตอนการผลิตอย่างครบวงจร ทั้งนี้ในขั้นตอนของการผลิตน้ำมันชีวมวลจากสบู่ดำทำให้เกิดของเสียที่มาจากองค์ประกอบของพืชโดยธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมดังเช่นพืชพลังงานชนิดอื่น นอกจากเมล็ดที่สามารถนำไปหีบเป็นน้ำมันสบู่ดำ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงได้แล้วนั้น ของเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือกากที่เหลือจากการหีบน้ำมันนั้นก็ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาหุงต้ม ทำเป็นปุ๋ย และ

ใช้เป็นอาหารสัตว์ (ต้องกำจัดสารพิษก่อน) ได้เช่นกัน และนอกจากกากสบู่ดำจะสามารถใช้ในรูปของเชื้อเพลิงแข็งแล้วนั้น ด้วยองค์ประกอบชีวมวลของกากสบู่ดำก็สามารถนำมาพัฒนามาใช้ประโยชน์ในรูปของน้ำมันชีวมวลได้เช่นกัน

กระบวนการที่สามารถเปลี่ยนกากสบู่ดำเป็นพลังงานในรูปของน้ำมันชีวมวล เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่ากระบวนการหนึ่งคือกระบวนการไพโรไลซิส โดยเลือกใช้ปฏิบัติการไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน ที่สามารถทำให้วัตถุดิบแห้งได้ในขั้นตอนแรก เพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมก่อนเข้าสู่ขั้นตอนที่สองหรือขั้นตอนของกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งทั่วไปจะได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์หลัก 3 ชนิด ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่คือของเหลวและแก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของน้ำมันชีวมวล ที่สามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิลได้ ซึ่งน้ำมันชีวมวลจากกากสบู่ดำจัดเป็นเชื้อเพลิงทางชีวภาพที่ไม่ก่อให้เกิดการเสียดสมมูลของแก๊สเรือนกระจก อีกทั้งยังสามารถถลุงเพื่อผลิตเป็นน้ำมันชีวมวลที่มีคุณภาพที่สูงขึ้นได้ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแก๊สที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสก็สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้เช่นกัน และผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็งที่เกิดขึ้นยังสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือนำไปกระตุ้นต่อเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หรือนำมาใช้ในรูปของถ่านชีวมวล (Biochar) ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อกิจกรรมการลดปริมาณของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำมันสบู่ดำ โดยการนำของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ด้วยการนำชีวมวลเหลือใช้กากสบู่ดำมาใช้ประโยชน์ในรูปของน้ำมันชีวมวลนั่นเอง

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากสนุ่นดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน



การตรวจเอกสาร

สิ่งแวดล้อม

สิ่งแวดล้อม หมายถึง สิ่งต่างๆที่มีลักษณะทางกายภาพ ชีวภาพ และสังคมที่อยู่รอบตัวมนุษย์ ซึ่งเกิดขึ้น โดยธรรมชาติ และมนุษย์ได้ทำขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

การจัดการทรัพยากรสิ่งแวดล้อมเป็นกระบวนการสร้างศักยภาพการคงสภาพความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อมและการควบคุมกิจกรรมในการใช้ทรัพยากร การกำจัด/บำบัดต่อของเสีย/มลพิษ การฟื้นฟูความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมและการควบคุมกิจกรรมที่สามารถคงไว้ซึ่งศักยภาพทั้งโครงสร้างและบทบาทหน้าที่ เพื่อเอื้อประโยชน์ต่อมนุษย์ตลอดไป ซึ่งจะต้องทราบถึงสถานภาพศักยภาพ และปัญหาของสิ่งแวดล้อมนั้นๆ เพื่อดำเนินการวางแผนการจัดการและพึงระวังถึงจุดเปราะบางของสิ่งแวดล้อมนั้นๆ เพื่อให้การดำเนินการจัดการนั้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (เกษม, 2547)

1. มิติทางสิ่งแวดล้อม

มิติ (Dimension) หมายถึง ภาพที่แสดงบทบาท/หน้าที่ ซึ่งมีขนาด หรือวัดได้ การมองสิ่งแวดล้อมให้เป็นมิติหรือภาพแสดงบทบาท/หน้าที่เป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมาก เพราะเป็นพื้นฐานนำไปสู่การให้จำนวนทางสิ่งแวดล้อมที่แสดงมิติที่สามารถวัดขนาดได้ การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและบทบาท/หน้าที่ จะต้องสามารถให้ขนาดของการเปลี่ยนแปลงนั้น อีกทั้งต้องบ่งบอกให้ได้ว่าโครงสร้างและบทบาท/หน้าที่ที่ปรากฏอยู่ในปัจจุบันจะแตกต่างจากภาวะธรรมชาติหรือค่ามาตรฐานอย่างไร อันจะนำไปสู่การประเมินสถานภาพและศักยภาพของสิ่งแวดล้อมได้

1.1 กลไกการทำงานของมิติสิ่งแวดล้อม

1.1.1 มิติทรัพยากร

ก. ทรัพยากรธรรมชาติ

- 1) ใช้แล้วหมดไป เช่น น้ำมันดิบ แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน
- 2) ใช้แล้วทดแทนหมุนเวียนได้ เช่น ชีวมวลจากพืชและสัตว์

ข. ทรัพยากรมนุษย์สร้างขึ้น

ทรัพยากรมนุษย์สร้างขึ้น เช่น ไฟฟ้า ความร้อน น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน น้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันแก๊ส โซลาร์ แก๊ส LPG และแก๊สชีวภาพ

1.1.2 มิติเทคโนโลยี เช่น กระบวนการ อุปกรณ์ เครื่องมือเพื่อผลิตและใช้พลังงาน

1.1.3 มิติมลพิษและของเสีย เช่น มลพิษจากการใช้พลังงาน

1.1.4 มิติมนุษย์และสังคม เช่น การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เศรษฐศาสตร์การผลิตและการใช้พลังงาน

2. ปัญหาของทรัพยากรพลังงาน

2.1 แหล่งพลังงานสิ้นเปลืองมีจำนวนจำกัดและมีปริมาณน้อยลง มีแนวโน้มราคาสูงขึ้น และผันผวน

2.2 การเผาไหม้พลังงานเชื้อเพลิงเกิดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก

2.3 การให้ความสำคัญในการจัดการของเสียที่มีศักยภาพที่จะผลิตพลังงานหมุนเวียนได้อันจะนำไปสู่การผลิตที่ไร้ของเสีย (Zero waste) เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร น้ำเสียจากฟาร์มสุกร น้ำเสียจากโรงงานแป้งมัน เป็นต้น

2.4 ความต้องการพลังงานทำให้ฟังก์ชันการนำเข้าพลังงานเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ

2.5 การอนุรักษ์และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพยังไม่มากนัก

3. จุดเปราะบางในการจัดการทรัพยากรพลังงาน

3.1 วัตถุดิบ

ในการนำมาใช้เป็นพลังงานควรจะต้องเป็นวัตถุดิบที่สามารถหมุนเวียนได้ กล่าวคือ การเลือกใช้พลังงานที่ใช้แล้วสามารถกลับมาผลิตเพื่อใช้ใหม่ได้เพื่อลดปัญหาด้านราคา เนื่องจากความต้องการที่มีอย่างไม่สิ้นสุดได้ ทั้งนี้ก็ต้องคำนึงถึงวัตถุดิบที่สามารถเผาไหม้พลังงานแล้วปล่อยแก๊สเรือนกระจกในระดับที่สามารถบำบัด/กำจัดหรือถูกหมุนเวียนนำกลับมาใช้ได้ด้วยกระบวนการธรรมชาติและ/หรืออาศัยเทคโนโลยีจากมนุษย์

3.2 เทคโนโลยีการผลิต

การผลิตเชื้อเพลิงจะต้องอาศัยทั้งเทคโนโลยีทางธรรมชาติและเทคโนโลยีจากมนุษย์ เพื่อการผลิตเชื้อเพลิง ซึ่งจะต้องมีการศึกษาค้นคว้าหาวัตถุดิบ วิธีการและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงและป้องกันการเกิดปัญหาจากทรัพยากรพลังงานด้านต่างๆดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

3.3 เทคโนโลยีการใช้

การนำพลังงานไปใช้สามารถทำได้หลากหลายรูปแบบซึ่งขึ้นอยู่กับนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ควรเลือกเทคโนโลยีการใช้ที่เหมาะสมต่อวัตถุประสงค์ กล่าวคือ การเลือกประเภทของเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับเทคโนโลยี ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงและป้องกันการเกิดปัญหาจากทรัพยากรพลังงานด้านต่างๆดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล (Biomass) หมายถึงสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ โดยธาตุหลักของชีวมวลนั้นประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน รวมทั้งมีปริมาณของไนโตรเจนและธาตุอื่นๆอีกเล็กน้อย ชีวมวลนั้นมีอยู่มากมายที่ได้จากสิ่งมีชีวิต (ยกเว้นที่ได้กลายเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติ) และสิ่งต่างๆที่มีคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก

ทรัพยากรชีวมวล คือมวลสารของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจเป็น ป่าไม้ ผลผลิตสินค้าเกษตร และกากเหลือของผลผลิตทางการเกษตร เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กะลาปาล์ม หรือของเสียอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร ฯลฯ รวมทั้งมูลสัตว์ เช่น ไก่ หมู วัว เป็นต้น ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เช่น ในขั้นตอนของการเจริญเติบโตของพืชมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแสงอาทิตย์ มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกสะสมในรูปของแป้งและน้ำตาล กักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆของพืช เมื่อถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงสามารถให้พลังงานออกมาได้ (อุตสาหกรรม, 2546)

1. แหล่งที่มาของเชื้อเพลิงชีวมวล

1.1 พืชผลทางการเกษตร (Agricultural crops) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาล รวมถึงพืชน้ำมันต่างๆที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้

1.2 เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร (Agricultural residues) เช่น ฟางข้าว เศษลำต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง

1.3 ไม้และเศษไม้ (Wood and wood residues) เช่น ไม้โตเร็ว ยูคาลิปตัส กระจิฉัตร เศษไม้จากโรงงานผลิตเครื่องเรือน และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

1.4 ของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน (Waste streams) เช่น แกลบ ขี้เลื่อย กากน้ำตาล และชานอ้อยจากโรงงานผลิตน้ำตาล เส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม

2. ชีวมวลในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตการเกษตรก็คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กาก ใบ และทะลายปาล์ม เป็นต้น โดยปริมาณชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผลิตภายในประเทศจะแปรผันและขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ โดยรายละเอียดพื้นที่ปลูก ผลผลิตพืชหลัก และไม้ยางพารา ปี 2551 และ 2552 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดพื้นที่ปลูก ผลผลิตพืชหลัก และไม้ยางพารา ปี 2551 และ 2552

(หน่วย: พันไร่ / พันตัน)

ชนิด	2551		2552	
	พื้นที่เก็บเกี่ยว	ผลผลิต	พื้นที่เก็บเกี่ยว	ผลผลิต
อ้อย	6,588	73,502	6,023	66,816
ข้าว	66,772	31,651	68,519	31,508
ข้าวโพด	6,518	4,249	6,905	4,616
ปาล์มน้ำมัน	2,885	9,271	3,189	8,162
มันสำปะหลัง	7,397	25,156	8,584	30,088
ไม้ยางพารา	11,372	3,166	11,600	3,090

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)

สำหรับศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศไทยจะประเมินจากผลคูณของปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดชีวมวลนั้นๆ กับสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตเป็นปริมาณชีวมวลโดยศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552

ชนิด	ผลผลิต (tons)	ชีวมวล	ค่าเป็นชีวมวล	ปริมาณชีวมวลที่ได้ (tons)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	พลังงาน (GJ)	เทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
อ้อย	73,501,000	ชานอ้อย	0.30	22,050,300	16.21	357,435,363	8,461
		ยอดและใบ	0.24	17,640,240	16.24	289,652,741	6,857
ข้าว	29,000,000	แกลบ	0.23	6,877,000	15.56	107,006,120	2,533
		ฟางข้าว	1.19	35,581,000	15.51	551,810,992	13,064
ข้าวโพด	4,249,000	ซัง	0.19	807,310	16.63	13,425,565	318
น้ำมันปาล์ม	9,264,000	ทะลาย	0.23	2,130,720	19.41	37,221,547	881
		กากใย	0.15	1,389,600	19.94	27,708,624	656
		กะลา	0.06	555,840	21.13	11,744,899	278
		ทางใบ/ก้าน	0.27	2,501,280	17.87	44,697,873	1,058
มันสำปะหลัง	25,155,000	ลำต้น	0.12	301,860	13.38	4,038,887	96
		เหง้า	0.10	251,550	10.61	2,668,945	63
ยางพารา	3,166,000	ขี้เลื่อย	0.03	940,980	16.65	1,581,417	37
		เศษไม้	0.01	316,600	16.85	5,334,710	126
ยูคาลิปตัส	6,800,000	ไม้ฟืน	0.20	1,360,000	16.85	22,916,000	542

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)

จากภาพรวมของพลังงานประมาณร้อยละ 12 ของพลังงานของโลกมาจากพลังงานชีวมวล เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มูลสัตว์ และพืชให้พลังงาน เป็นต้น โดยประเทศอุตสาหกรรม ได้มีการนำเชื้อเพลิงเหล่านี้มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงงานกระดาษ โรงงานน้ำตาล เป็นต้น ในขณะที่ประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งยังไม่มีประสิทธิภาพที่เพียงพอสามารถทำให้เกิดเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้ (ชัยวัฒน์, 2547)

3. พืชชีวมวล

พืชชีวมวลในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด การนำมาใช้ประโยชน์ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของพืชแต่ละชนิด ซึ่งการศึกษาถึงศักยภาพของชีวมวลจะพิจารณาจากพืชที่มีการปลูกมากเป็นหลัก

3.1 พืชที่มีแนวโน้มการปลูกที่เพิ่มขึ้น

3.1.1 ข้าว มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 60 ล้านไร่ มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรคือ แกลบและฟางข้าว

3.1.2 ยางพารา มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 12 ล้านไร่ มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรคือ ชี้อ้อย ปีกไม้ ปลายไม้ กิ่งก้านและรากไม้

3.1.3 ข้าวโพด มีพื้นที่ปลูกประมาณ 8 ล้านไร่ มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรคือ ชังข้าวโพดและลำต้น

3.1.4 มันสำปะหลัง มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 7 ล้านไร่ มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรคือ กากมันสำปะหลัง เปลือกดิน เปลือกลำ และเหง้ามันสำปะหลัง

3.1.5 อ้อย มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 6 ล้านไร่ มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรคือ ชานอ้อย ใบอ้อย และยอดอ้อย

3.1.6 ไม้ยูคาลิปตัส มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 3 ล้านไร่ มีเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรคือ เปลือกไม้ กิ่ง ก้าน หรือ ลำต้นขนาดเล็กที่โตไม่ได้ขนาด

3.1.7 ปาล์มน้ำมัน มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 1.5 - 2 ล้านไร่ มีเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรคือ ไฟเบอร์ กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม ทางปาล์มและลำต้น

4. องค์ประกอบของชีวมวล

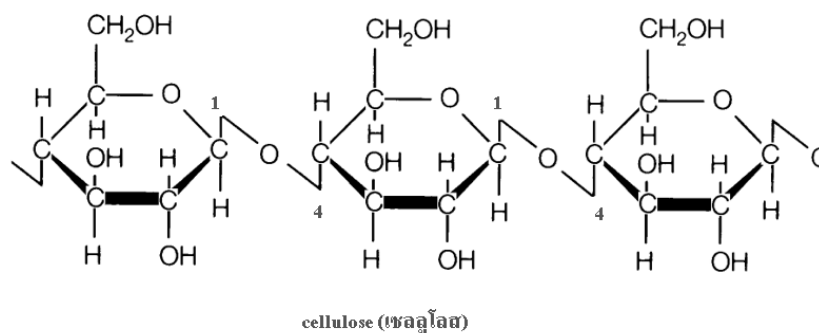
4.1 ภาพรวมขององค์ประกอบของชีวมวล

ชีวมวลนั้นมีหลากหลายชนิดแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่ต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบขั้นต้นของชีวมวลได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แป้ง และโปรตีน โดยทัศนคติด้านการใช้พลังงานชีวมวล ประกอบด้วย ลิกโนเซลลูโลส ที่ประกอบไปด้วยเซลลูโลสและลิกนินจำนวนมาก (Ogi, 2002)

4.2 องค์ประกอบทางโครงสร้างเคมีของชีวมวล

4.2.1 เซลลูโลส

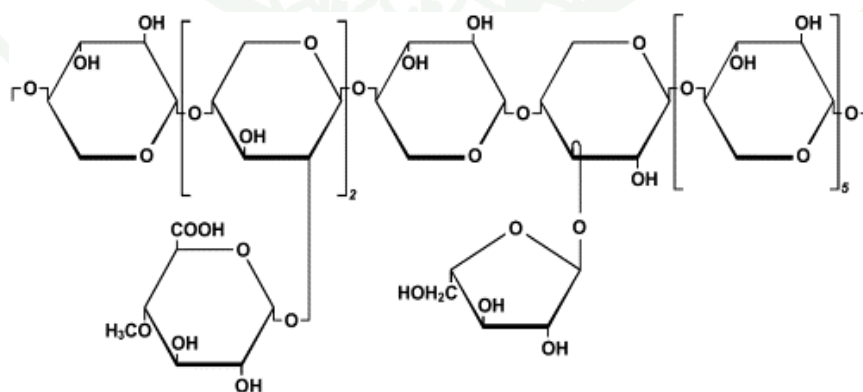
โพลีแซคคาไรด์ที่ดิกลูโคสถูกเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้ากลูโคซิดิกซึ่งมีสูตรโมเลกุล $(C_6H_{12}O_6)_n$, n คือ ดิกรีของพอลิเมอร์ไรเซชันซึ่งมีความกว้างตั้งแต่หลายพันจนถึงหลายหมื่น จำนวนผลลัพท์ของการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสคือ ดิกลูโคส (โมโนแซคคาไรด์) แต่บางส่วนให้ผลลัพท์เป็นไดแซคคาไรด์ (เซลลูไบโอส) และโพลีแซคคาไรด์ซึ่งมีลำดับ $n = 3$ ถึง 10 เซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นผลึกและต้านทานต่อการกรดและเบส ดังภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของเซลลูโลส



ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

4.2.2 เฮมิเซลลูโลส

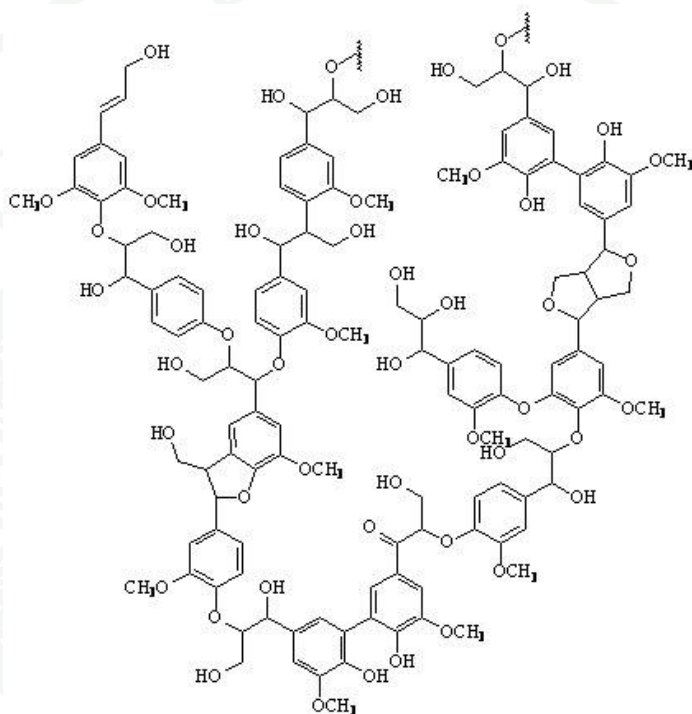
โพลีแซคคาไรด์ซึ่งมีจำนวนหน่วยคาร์บอนเท่ากับ 5 โมโนแซคคาไรด์รวมถึง ดีไซโลสและดีอะราไบโนส และคาร์บอนเท่ากับ 6 โมโนแซคคาไรด์รวมถึง ดีแมนโนส ดีกาแลคโตสและดีกลูโคส โมโนแซคคาไรด์ที่มีคาร์บอนเท่ากับ 5 มีจำนวนมากกว่าโมโนแซคคาไรด์ที่มีคาร์บอนเท่ากับ 6 สูตรโมเลกุลโดยเฉลี่ยคือ $(C_5H_8O_4)_n$ เนื่องจากดีกรีโพลิเมอร์ไรเซชันของเฮมิเซลลูโลสเท่ากับ 50 - 200 โดยมีขนาดเล็กกว่าเซลลูโลสจึงสามารถละลายพันธะได้ง่ายกว่าเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสเป็นจำนวนมากสามารถละลายได้ในสารละลายเบส เฮมิเซลลูโลสทั่วไปคือไซแลน ซึ่งประกอบด้วยไซโลส ด้วยพันธะ 1,4 ดังภาพที่ 2 แสดงสูตรโครงสร้างของไซแลน เฮมิเซลลูโลสอื่นๆ ได้แก่ กลูโคแมนแนนอย่างไรก็ตามเซลลูโลสทั้งหมดขึ้นกับชนิดและส่วนของพืช



ภาพที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส (Knabner, 2002)

4.2.3 ลิกนิน

สารที่ประกอบด้วย ยูนิตฟีนิล โพรเพนและอนุพันธ์ ซึ่งเชื่อมกันเป็นสามมิติ โครงสร้างนั้นซับซ้อนและยังไม่มีทางเข้าใจอย่างแท้จริง ดังภาพที่ 3 แสดงยูนิตที่ประกอบกันเป็น ลิกนิน โครงสร้างสามมิตินั้นยากที่จะสลายโดยจุลชีพและสารเคมี นอกจากนั้นยังมีความแข็งแรง ทางกลและการป้องกันร่วมด้วย



ภาพที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน (Alicia, 2007)

4.2.4 แป้ง

แป้งเป็น โพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยยูนิตของดีกลูโคส แต่ถูกเชื่อมกันโดย พันธะแอลฟาไกลูโคซิดิก เนื่องจากความต่างของโครงสร้างพันธะ เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ แต่ บางส่วนของแป้งจะละลายในน้ำร้อน (อะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000 จนถึง 50,000 ประมาณร้อยละ 10 – 20 ของแป้ง) และบางส่วนที่ไม่ละลาย (อะไมโลเพกซิน ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล ตั้งแต่ 50,000 ถึง 100,000 ประมาณร้อยละ 80 - 90 ของแป้ง) แป้งถูกพบในเมล็ด ราก และลำต้น ซึ่ง ถือเป็นส่วนของอาหาร

4.2.5 โพรตีน

เป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งกรดอะมิโนหลายตัวถูกโพลิเมอร์ไรซ์เข้าด้วยกัน คุณสมบัติต่างกันขึ้นกับชนิดของกรดอะมิโนและอัตราส่วนขององค์ประกอบของกรดอะมิโนและลำดับของโพลิเมอร์ไรซ์เช่นกัน โพรตีนไม่ใช่สารประกอบพื้นฐานของชีวมวลและมีสัดส่วนน้อยกว่าเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและแป้ง

4.2.6 สารอื่นๆ (สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์)

ปริมาณของสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ มีหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดสารอินทรีย์ที่มีจำนวนมากได้แก่ กลีเซอรอล (ตัวอย่างเช่น น้ำมันผักกาดก้านขาว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันพืชชนิดต่างๆ) และซูโครสน้อยกว่าในอ้อยและต้นบีท ตัวอย่างอื่นๆ เช่น อัลคาลอยด์ รังควัตถุ เทอร์ปีน และซีดีง สารเหล่านี้มีคุณค่ามาก เนื่องจากใช้เป็นส่วนผสมของยา ชีวมวลนั้นประกอบไปด้วยสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่ และยังประกอบด้วยสารอนินทรีย์ เช่น ซีลีไฟ ในจำนวนน้อย ธาตุโลหะพื้นฐาน ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม เหล็ก และโซเดียม สารและปริมาณขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบตั้งต้น

4.3 ผลขององค์ประกอบทางเคมีต่อพฤติกรรมการสลายตัว

องค์ประกอบทางเคมี (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ในชีวมวลต่างชนิดต่อพฤติกรรมการสลายตัวในไพโรไลซิสและการเผาไหม้ และหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปริมาณน้ำหนักที่เหลือเมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) พบว่าชีวมวลต่างชนิดกันจะมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละองค์ประกอบจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันด้วยจึงทำให้มีค่าการสลายตัวทางความร้อนที่แตกต่างกัน โดยองค์ประกอบที่เป็นเฮมิเซลลูโลสสลายตัวได้ง่ายที่สุด รองลงมาคือ เซลลูโลส ส่วนลิกนินสลายตัวได้ยากที่สุด โดยชีวมวลที่มีปริมาณลิกนินสูงทำให้อัตราการสลายในไพโรไลซิสช้ากว่าชีวมวลที่มีปริมาณลิกนินต่ำ องค์ประกอบหลักที่มีผลต่อพฤติกรรมการสลายตัวด้วยความร้อนในกระบวนการไพโรไลซิสคือ ลิกนินเทียบกับปริมาณรวมของลิกนินกับเซลลูโลส โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งสามารถทำนายพฤติกรรมการสลายตัวในกระบวนการไพโรไลซิสจากชีวมวลอื่นๆ ได้ โดยเฮมิเซลลูโลสกับลิกนินมีผลต่อพฤติกรรมการสลายตัวของเซลลูโลส แต่เฮมิเซลลูโลสกับลิกนินมีผลต่อการสลายตัว

ระหว่างกันน้อยมาก ส่วนพฤติกรรมการสลายตัวของชีวมวลในกระบวนการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของชาร์ที่เกิดขึ้น (นฤมล, 2550)

พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของฟางข้าว แกลบและซังข้าวโพด โดยใช้เทคนิค TG - MS ซึ่งให้ความสนใจกับแก๊สที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสน้ำหนักที่หายไปและอัตราการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์จะต่างกัน ถึงแม้ว่าสารตัวอย่างนั้นจะมีองค์ประกอบของธาตุที่เหมือนกัน พบว่าเซลลูโลสและลิกนินจะทำปฏิกิริยากันระหว่างการเกิดไพโรไลซิส โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำมันชีวมวลที่ได้ลดลงแต่มีปริมาณถ่านชาร์เพิ่มขึ้น จากข้อมูลของแก๊สที่ได้และการวิเคราะห์ถ่านชาร์ด้วย FTIR พบว่าองค์ประกอบทั้งสองสามารถลดน้ำมันชีวมวลในกระบวนการไพโรไลซิสได้อันเนื่องมาจากผลของการเกิดปฏิกิริยา Cross - link ระหว่างเซลลูโลสและลิกนินไปเป็นน้ำและหมู่เอสเทอร์ในกระบวนการไพโรไลซิส (Worasuwannarak *et al.*, 2007)

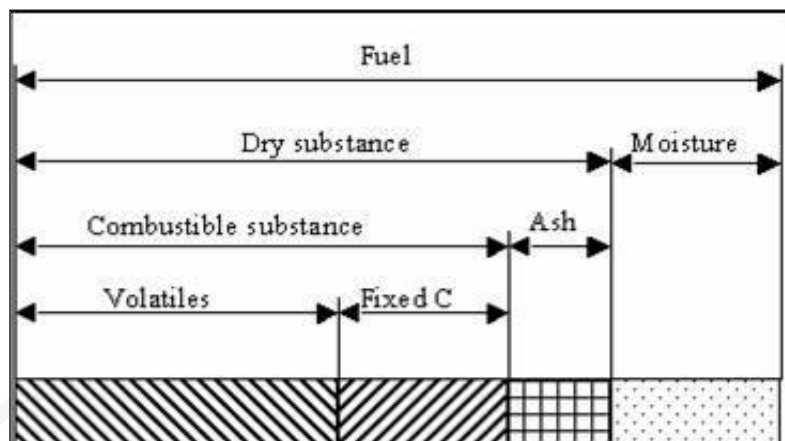
4.4 องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไป

องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักได้แก่ ความชื้น ส่วนที่เผาไหม้ได้ และขี้เถ้า ที่เกิดจากคุณลักษณะเฉพาะของชีวมวลหรือสสาร ดังภาพที่ 4

4.4.1 ความชื้น (Moisture) หรือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวลส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงเพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร หากต้องการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน ชีวมวลนั้นควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

4.4.2 ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ สารระเหย (Volatiles) และคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) โดยสารระเหยคือส่วนที่เผาไหม้ง่ายและสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนในที่ที่ไม่มีอากาศ ชีวมวลที่มีค่าสารระเหยสูงสามารถติดไฟได้ง่าย ส่วนคาร์บอนคงตัวคือของแข็งที่เป็นคาร์บอนที่เหลืออยู่

4.4.3 ขี้เถ้า (Ash) คือส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 1 - 3 โดยน้ำหนัก ยกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณร้อยละ 10 - 20 ซึ่งจะมีปัญหาการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร



ภาพที่ 4 คุณลักษณะขององค์ประกอบชีวมวลหรือสสารทั่วไป (มูลนิธิพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2552)

5. องค์ประกอบของชีวมวลที่มีผลต่อการแปรรูปเป็นพลังงาน

5.1 ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อน คือ พลังงานความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่อุณหภูมิอ้างอิง แล้วผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้มีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับอุณหภูมินี้ ค่าความร้อนที่ใช้มีทั้งค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานะของน้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ ค่าความร้อนต่ำคือ ค่าความร้อนที่ให้ออกมาหลังการเผาไหม้สมบูรณ์เมื่อน้ำที่อยู่ในเชื้อเพลิงและที่เกิดจากผลผลิตจากการเผาไหม้อยู่ในสถานะไอ ส่วนค่าความร้อนสูงคือ ค่าความร้อนที่ให้ออกมาหลังการเผาไหม้สมบูรณ์ เมื่อน้ำที่อยู่ในเชื้อเพลิงและที่เกิดจากผลผลิตจากการเผาไหม้อยู่ในสถานะของเหลว โดยค่าความร้อนสูงมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังสมการที่ 1

$$\text{HHV (MJ/kg)} = \text{LHV (MJ/kg)} + 0.02395 (9\text{H} + \text{MC}_i) \quad (1)$$

MC_i คือ ปริมาณร้อยละของความชื้น

ในการหาค่าความร้อนมักจะหาจากการทดลองโดยใช้บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ชีวมวลมีค่าความร้อนระหว่าง 10 - 20 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม โดยค่าความร้อนของชีวมวลกลุ่มไม้ (Woody biomass) จะมีค่าสูงกว่ากลุ่มไม้ใช้ไม้ (Non - woody biomass) เล็กน้อย ค่าความร้อนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสมบัติของเชื้อเพลิงในรูปของสัดส่วนคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) หรืออยู่ในสัดส่วนของคาร์บอนคงตัว (FC) สารระเหย (VM) ความชื้น (MC) และเศษเถ้าหรือได้จากการใช้สูตรอย่างง่ายคำนวณ เช่น สูตรของดูลอง (Dulong formular) ในสมการที่ 2 หรือสูตรของคูเมียสบาล ในสมการที่ 3 และ 4 (Dermibas, 1997)

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 33.585\text{C} + 141.924\text{H} + 12.908\text{S} + 15.327\text{O} - 3.538\text{O}^2 \quad (2)$$

สูตรของเดเมียสบาล

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 33.5\text{C} + 142.3\text{H} + 15.4\text{O} - 24.5\text{N} \quad (3)$$

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 31.2\text{FC} + 15.34\text{VM} \quad (4)$$

5.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปริมาณความชื้นแสดงออกมาเป็นสัดส่วนน้ำหนักของความชื้นต่อน้ำหนักมวลเชื้อเพลิงแห้งหรือน้ำหนักเชื้อเพลิงรวมทั้งหมดดังสมการที่ 5

$$\text{MC}_t = m_{\text{H}_2\text{O}}/m_{\text{total}} \quad (5)$$

5.3 การวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุ (Proximate analysis and Ultimate analysis)

ในการแสดงลักษณะของเชื้อเพลิงแข็งมักใช้การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) และแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) การวิเคราะห์แบบประมาณจะระบุปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณเศษเถ้า ตามสภาพของเชื้อเพลิงซึ่งแบ่งออกได้เป็นแบบพื้นฐานเปียก (Wet basis) แบบพื้นฐานที่รับมา (As - received basis) และแบบพื้นฐานแห้ง (Dry basis) ซึ่งเป็นการอบวัสดุเชื้อเพลิงโดยให้ความร้อนในภาชนะปิดภายใต้บรรยากาศของ

แก้สควบคุมเพื่อไล่ความชื้นออกให้หมด ซึ่งอัตราส่วนระหว่างสารระเหยต่อคาร์บอนคงตัวอยู่ที่ประมาณ 2.5 - 3.5 เท่าสำหรับไม้ และ 2.5 - 5.2 เท่าสำหรับเศษวัสดุการเกษตร ปริมาณเถ้าในชีวมวลเศษวัสดุการเกษตรมีแนวโน้มสูงกว่าชีวมวลประเภทไม้ (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2545)

6. ค่าพลังงานจากชีวมวล

ชีวมวลแต่ละประเภทจะให้พลังงานจากการเผาไหม้แตกต่างกัน ตามลักษณะองค์ประกอบต่างๆ ของชีวมวลแต่ละชนิด และสัดส่วนความชื้นที่สะสมอยู่ในชีวมวล โดยค่าความร้อนหรือพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวล จะแสดงได้เป็นค่าความร้อนต่ำและค่าความร้อนสูง โดยคุณลักษณะของชีวมวลประเภทต่างๆ จะมีคุณสมบัติเบื้องต้น และค่าพลังงานความร้อนที่ได้แตกต่างกันดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติเบื้องต้นและค่าพลังงานความร้อนของชีวมวล

คุณสมบัติชีวมวลต่างๆ	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	Higher Heating Value (kJ/kg)	Lower Heating Value (kJ/kg)
แกลบ (Rice Husk)	12.00	12.65	56.46	18.88	14,755	13,517
ฟางข้าว (Rice Straw)	10.00	10.39	60.70	18.90	13,650	12,330
ชานอ้อย (Bagasse)	50.73	1.43	41.98	5.86	9,243	7,368
ใบอ้อย (Cane Trash)	9.20	6.10	67.80	16.90	16,794	15,479
ไม้ยางพารา (Parawood)	45.00	1.59	45.70	7.71	10,365	8,600
เส้นใยปาล์ม (Palm Fiber)	38.50	4.42	42.68	14.39	13,127	11,400
กะลาปาล์ม (Palm Shell)	12.00	3.50	68.20	16.30	18,267	16,900
ทะลายปาล์ม (Empty Fruit Bunch)	58.60	2.03	30.46	8.90	9,196	7,240
ชังข้าวโพด (Cormcob)	40.00	0.90	45.42	13.68	11,298	9,615
ลำต้นข้าวโพด (Corn Stalk)	41.70	3.70	46.46	8.14	11,704	9,830
เหง้ามันสำปะหลัง (Tapioca Rhizome)	59.40	1.50	31.00	8.10	7,451	5,494

ตารางที่ 3 (ต่อ)

คุณสมบัติชีวมวลต่างๆ	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	Higher Heating Value (kJ/kg)	Lower Heating Value (kJ/kg)
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus Bark)	60.00	2.44	28.00	9.56	6,811	4,917
ทางปาล์ม (Palm Leaf)	78.40	0.70	16.30	4.60	3,908	1,760

ที่มา: ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล (2545)

7. ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์จากชีวมวล

ชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว โดยที่คุณสมบัติบางอย่างถือเป็นจุดเด่น และบางอย่างถือเป็นจุดด้อย การใช้ประโยชน์จากชีวมวลควรคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ เช่น การกระจายตัวของแหล่งชีวมวล ขนาด ความชื้น สิ่งเจือปน ปริมาณขี้เถ้า

7.1 การกระจายตัวของแหล่งชีวมวล

การกระจายตัวของแหล่งชีวมวล 2 ลักษณะ คือ การอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม และการอยู่อย่างกระจาย ซึ่งชีวมวลที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มคือ ชีวมวลที่ได้จากกระบวนการแปรรูป ณ ที่ใดที่หนึ่ง เช่น โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โรงสีข้าว โรงงานแปรรูปไม้ยางพารา โรงงานแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น ส่วนชีวมวลที่อยู่อย่างกระจายคือชีวมวลที่อยู่ตามพื้นที่เพาะปลูกหรือในที่ที่ไม่มีการรวบรวม เช่น การสีข้าวโพด โดยอาศัยอุปกรณ์สีข้าวโพดที่เคลื่อนที่ได้ เศษไม้หรือปลายไม้จากสวนป่ายางพารา เป็นต้น ซึ่งการใช้ชีวมวลที่อยู่อย่างกระจายมาใช้ประโยชน์นั้น จะมีข้อเสียเปรียบคือการเสียค่าใช้จ่ายในการรวบรวมเพิ่มขึ้น

7.2 ขนาดของชีวมวล

ขนาดของชีวมวลเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ควรพิจารณา ที่สามารถส่งผลกระทบต่อการนำไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เป็นเชื้อเพลิง หากขนาดของชีวมวลมีขนาดที่ใหญ่เกินไป จะไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงเพราะประสิทธิภาพการเผาไหม้จะต่ำ ดังนั้นจึงควรนำชีวมวลมาย่อยให้มีขนาดเล็ก เพื่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ทั้งนี้ก็จะมีค่าใช้จ่ายในการย่อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน

7.3 ความชื้นของชีวมวล

ความชื้นของชีวมวลเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณาก่อนการนำมาเป็นเชื้อเพลิง ชีวมวลในสภาพสดจะมีความชื้นสูง เช่น ทางปาล์ม ชังข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำมาเผาไหม้โดยตรง ดังนั้นจึงควรมีกระบวนการในการลดความชื้นก่อนการนำไปเผาไหม้ โดยที่ความชื้นนั้นสามารถลดลงได้ตามวิธีทางธรรมชาติ แต่ก็มีข้อเสียด้านการใช้พื้นที่ และหากเก็บไว้นานเกินไปก็มีโอกาสที่ชีวมวลนั้นจะเกิดการฟูหรือได้รับความเสียหายได้ ในทางกลับกันการลดความชื้นของชีวมวลโดยกระบวนการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆที่ใช้กันในเชิงพาณิชย์ สามารถลดความชื้นของชีวมวลได้เร็ว ชีวมวลที่ผ่านการอบแห้งมีคุณภาพดี แต่ค่าใช้จ่ายสูง

7.4 สิ่งเจือปน

ชีวมวลจะมีสิ่งแปลกปลอมและสิ่งเจือปนในชีวมวลหลากหลาย เช่น เศษดิน หิน กรวด ทราย และคราบน้ำมันปาล์ม เพราะเมื่อถูกความร้อนที่อุณหภูมิระดับหนึ่งจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดท่อในห้องเผาไหม้ได้

7.5 ปริมาณขี้เถ้า

ปริมาณขี้เถ้า คือ ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 1 - 3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าว ปริมาณขี้เถ้าของชีวมวลมีผลต่อการเผาไหม้เช่นกัน โดยเฉพาะแกลบจะมีขี้เถ้าร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ

8. ข้อดีและข้อจำกัดจากการใช้ชีวมวลเป็นพลังงาน

8.1 ข้อดีจากการใช้ชีวมวลเป็นพลังงาน

8.1.1 การเผาไหม้ถ่านหินและถ่านหิน เป็นการเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งถือเป็นแก๊สเรือนกระจก (Green house gas) ผู้ชั้นบรรยากาศของโลกที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ส่วนการเผาไหม้ชีวมวลไม่ถือเป็นการเพิ่มปริมาณแก๊สเรือนกระจกสู่บรรยากาศ เพราะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกพืช (ชีวมวล) นำกลับมาใช้ใหม่ตามวัฏจักรธรรมชาติ

8.1.2 การปล่อยให้ชีวมวลย่อยสลายไปตามธรรมชาติ โดยไม่นำชีวมวลมาเป็นพลังงาน จะทำให้เกิดแก๊สมีเทน ซึ่งถือว่าเป็นแก๊สเรือนกระจกชนิดหนึ่ง ที่มีคุณสมบัติการกักเก็บความร้อนในชั้นบรรยากาศสูงกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า

8.1.3 ในชีวมวลมีกำมะถันหรือซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบไม่เกินร้อยละ 0.2 ดังนั้นการนำชีวมวลมาเผาไหม้เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงจะไม่สร้างปัญหาเรื่องฝนกรด (น้ำมันเตามีปริมาณกำมะถันประมาณร้อยละ 2 ส่วนถ่านหินมีปริมาณกำมะถันประมาณร้อยละ 0.3 – 3.8 ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน)

8.1.4 ขี้เถ้าที่ได้จากการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงมีสภาพเป็นด่างที่มีความเหมาะสมที่นำไปใช้สารปรับสภาพดินที่เป็นกรดเพื่อให้สามารถใช้เพาะปลูกพืชได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก และซีเมนต์

8.1.5 การนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานสามารถลดภาระในการกำจัดได้ เช่น นำไปฝังกลบหรือเผาทิ้ง เป็นต้น

8.1.6 ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ เช่น น้ำมันเตาและถ่านหิน เป็นต้น

เมื่อพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์ การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลมีต้นทุน มากกว่าการใช้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล แต่หากพิจารณาในด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว เชื้อเพลิงชีวมวลมีข้อได้เปรียบมากกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล กล่าวคือเชื้อเพลิงชีวมวลมีน้ำหนักเบาที่เชื้อเพลิงฟอสซิล ให้พลังงานน้อยกว่าและยากในการจัดการมากกว่า แต่ไม่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก เพราะการเผาไหม้ชีวมวลให้แก๊ส

คาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกินกว่าที่พืชดูดซับไว้ระหว่างการเจริญเติบโต อีกทั้งยังมีกำมะถันน้อยกว่า จึงทำให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์น้อยกว่า และมีอุณหภูมิเผาไหม้ต่ำกว่าที่ช่วยลดแก๊สไนโตรเจนได้มากกว่า ทั้งนี้การใช้ชีวมวลจากแหล่งวัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศ ทั้งชีวมวลที่เป็นผลผลิตทางการเกษตรและชีวมวลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์อื่นๆ จัดเป็นการใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

8.2 ข้อจำกัดจากการใช้ชีวมวลเป็นพลังงาน

8.2.1 ชีวมวลมีน้ำหนักเบา หากขนส่งชีวมวลทางรถบรรทุก ต้องขนส่งจำนวนมาก ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้น และอาจส่งผลกระทบต่อชุมชน การจราจรและความปลอดภัยในการใช้ถนน

8.2.2 เนื่องจากชีวมวลมีความชื้นสูง การออกแบบเครื่องมือควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ลดความชื้นเพิ่มเติม ซึ่งทำให้เงินลงทุนมากขึ้น

8.2.3 ชีวแก๊สชีวมวลมีจุดหลอมเหลวต่ำ ดังนั้นถ้าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงเกินไป จะทำให้ชีวแก๊สไหลอมละลายติดในห้องเผาไหม้ได้

8.2.4 ชีวมวลบางประเภทมีส่วนผสมของอัลคาไลน์ซึ่งสามารถกัดกร่อนผนังวัสดุได้

8.2.5 ชีวมวลเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากการแปรรูปทางการเกษตร ทำให้มีปริมาณที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ

8.2.6 ราคาชีวมวลมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เนื่องจากมีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

8.2.7 ชีวมวลที่มีศักยภาพมักจะอยู่กระจัดกระจาย และบางชนิดมีความชื้นสูง จึงทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เช่น ใบอ้อยและยอดอ้อย ทะลายปาล์ม เป็นต้น

9. พืชน้ำมัน

น้ำมันชีวมวลจากพืชน้ำมัน คือน้ำมันที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ที่ได้จากน้ำมันหรือไขมันของพืช เช่น น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันละหุ่ง น้ำมันเมล็ดคางคาง น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันเรบสิด (พืชวงศ์เดียวกับผักกาดขาว) เป็นต้น อาจใช้ในรูปน้ำมันดิบโดยตรงหรือแปรรูปเป็นเอสเทอร์ (Ester) ซึ่งในการใช้น้ำมันชีวมวลกับเครื่องยนต์ดีเซลยังคงมีข้อจำกัดอยู่บ้าง กล่าวคือเมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง จะต้องมีการปรับแต่งห้องเผาไหม้ ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง หม้อกรองน้ำมันเชื้อเพลิงและระบบน้ำมันเชื้อเพลิง จึงจะทำให้การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลไม่เกิดการขัดข้อง

9.1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย โดยมีภาคใต้เป็นแหล่งผลิตหลักและมีบางส่วนอยู่ทางภาคตะวันออก เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่มีข้อจำกัดด้านสภาพภูมิอากาศ ต้องการอากาศร้อนชื้นและมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูง ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 3.20 ล้านไร่ และมีเนื้อที่ให้ผลผลิต 2.66 ล้านไร่ ได้ผลผลิตปาล์มทะลายสด 6.39 ล้านตัน มีผลผลิตเฉลี่ย 2.40 ตัน/ไร่ ในขณะที่พื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันของโลกมี 86.4 ล้านไร่ และให้ผลผลิต 190.5 ล้านตัน โดยการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทยนั้นมีวัตถุประสงค์ของการผลิตเพื่อบริโภคเป็นอาหาร ผลิตภัณฑ์หลักคือ น้ำมันปาล์ม เนยเทียม และมีบางส่วนนำไปผลิตเป็นสบู่และใช้ในอุตสาหกรรมอื่น (อรุณ, 2552) นอกจากนั้นปาล์มน้ำมันยังสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันชีวมวลได้ โดยใช้ผสมน้ำมันดีเซลหรือใช้แทนน้ำมันดีเซล ซึ่งการส่งเสริมให้ผลิตปาล์มน้ำมันเพื่อใช้เป็นพืชพลังงานอาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคน้ำมันปาล์มเป็นอาหารได้

9.2 น้ำมันสบู่ดำ

สบู่ดำจัดเป็นพืชพลังงาน โดยน้ำมันสบู่ดำสามารถละลายได้ดีในน้ำมันดีเซลและเบนซิน เมื่อเก็บไว้นานๆ จะไม่มีการแยกชั้น การนำน้ำมันสบู่ดำไปการผสมกับน้ำมันเบนซินสามารถทำให้เดินเครื่องยนต์เบนซินได้ดี นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปน้ำมันชีวมวลได้

สบู่ดำ

สบู่ดำมีชื่อภาษาอังกฤษว่า Physic nut หรือ Purging nut และชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* L. อยู่วงศ์เดียวกับกับยางพารา ละหุ่ง มันสำปะหลัง มะยม โป๊ยเซียน หนุมานั่งแทน เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางสูงประมาณ 2 - 7 เมตร อายุยืนไม่น้อยกว่า 20 ปี (ระพีพันธ์ และคณะ, 2525) สบู่ดำเป็นพืชพื้นเมืองแถบทวีป อเมริกากลาง อเมริกาใต้ และ แอฟริกาใต้ สำหรับในประเทศไทย คาดว่าถูกนำเข้ามาในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 18 หรือช่วงปลายสมัย กรุงศรีอยุธยาโดยพ่อค้าชาวโปรตุเกส รับประทานเมล็ดไปคั้นน้ำมันสำหรับทำสบู่ หลังจากนั้น ได้มีการปลูกกันแพร่หลายในทุกภาคของประเทศไทย และมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป สาเหตุที่เรียกว่า ต้นสบู่ดำ หรือต้นสบู่เพราะมีน้ำยางสีขาวคล้ายสบู่ บริเวณลำต้นและกิ่ง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ต้นสบู่ดำ (ซ้าย) และเมล็ดสบู่ดำ (ขวา)

น้ำมันสบู่ดำสามารถละลายได้ดีในน้ำมันดีเซลและเบนซิน เมื่อเก็บไว้นานๆ จะไม่มีการแยกชั้น อย่างไรก็ตาม มีการนำน้ำมันสบู่ดำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน ทำให้เครื่องยนต์เบนซินได้ดีขึ้น สบู่ดำจึงกลายเป็นพืชความหวังใหม่ในการนำมาผลิตน้ำมันชีวมวล เนื่องจากเป็นพืชพลังงานโดยตรง ไม่ใช่พืชอาหาร ทุกส่วนของสบู่ดำสามารถใช้ประโยชน์ได้ครบ ซึ่งปัจจุบันได้มีการวางแผนที่จะนำสบู่ดำและสาหร่ายมาผลิตน้ำมันชีวมวลมาเพื่อทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซลแต่ยังมีข้อจำกัดอยู่มากที่จะสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันชีวมวลได้อย่างเพียงพอ ดังนั้นจึงได้มีการจัดทำแผนปฏิบัติการ (พ.ศ. 2555 - 2559) เพื่อส่งเสริมงานวิจัยเกี่ยวกับเชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซลอนาคต โดยเป็นการบูรณาการการทำงานร่วมกันระหว่างกระทรวงพลังงานและกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการวิจัยและพัฒนา “เชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซลในอนาคต” โดยมีเป้าหมายการผลิต

เชื้อเพลิงใหม่ทดแทนน้ำมันดีเซลในปี 2564 ที่ 25.0 ล้านบาทต่อวัน ซึ่งสบู่ค่าถูกจัดอยู่ในพืชพลังงานที่ได้รับการส่งเสริมเช่นกัน (กระทรวงพลังงาน, 2554)

กากสบู่ดำที่เหลือจากการหีบน้ำมันแล้วนั้นก็มีความชื้นสูง เหมาะที่จะเป็นส่วนผสมของปุ๋ยและอาหารสัตว์ แต่กากสบู่ดำนั้นมีสารพิษชื่อเลคตินและเคอร์ซิน ซึ่งก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง คลื่นไส้ อาเจียนตลอดจนเป็นสารก่อมะเร็ง ทำให้การนำมาใช้ประโยชน์ดังกล่าว มีข้อกังวลถึงความปลอดภัย อย่างไรก็ตามการวิจัยและพัฒนาเพิ่มผลผลิตของต้นสบู่ดำเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทดแทนในอนาคตจะสามารถเป็นประโยชน์ต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของประเทศ ซึ่งได้มีการศึกษาการผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากเมล็ดสบู่ดำผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว ในชุดเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ พบว่าได้ปริมาณผลได้ของน้ำมันชีวมวลสูงสุดที่ร้อยละ 49.03 โดยมวล ความเป็นกรด - ต่าง 4.7 และค่าความหนืดจลน์อยู่ที่ 432.27 เซนติสโตก (cSt) (ศรายุทธ และคณะ, 2555) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสเมล็ดสบู่ดำที่ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 20 นาที พบว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือ สารประกอบอัลเคน และสารประกอบอัลคีน นอกจากนี้ยังมีสารประกอบเอสเทอร์ และสารประกอบแอลกอฮอล์เกิดขึ้นในปริมาณน้อย ซึ่งตรวจพบในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส (วิทยา, 2550)

การผลิตน้ำมันชีวมวล

1. ลักษณะทั่วไปของน้ำมันชีวมวล

น้ำมันชีวมวล (Bio - oil) อาจมีชื่อเรียกอื่นๆ ตามกระบวนการผลิต เช่น น้ำมันไพโรไลซิสของเหลวไพโรลิกเนียส กรดไพโรลิกเนียส ซึ่งเป็นของเหลวสีน้ำตาลดำที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ จะมีสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ แอลกอฮอล์ (Alcohols) อัลดีไฮด์ (Aldehydes) แอนไฮโดรซูการ์ (Anhydrosugars) ฟิวแรน (Furans) คีโตน (Ketones) และกรดอะซิติก (Acetic acid) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบรวดเร็วโดยการแตกสายโซ่พอลิเมอร์ (Depolymerizing) เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนินที่อุณหภูมิสูง ได้เป็นสารระเหย (Volatile) และผ่านการควบแน่นเป็นของเหลวซึ่งสามารถแยกได้เป็นน้ำมันเบา (Light oil) และน้ำมันหนัก (Heavy oil) น้ำมันไพโรไลซิสเกิดขึ้นจากการแตกตัวทางความร้อนและการลดระดับเชิงพอลิเมอร์อย่างรวดเร็วของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ตามด้วยการทำให้เย็นอย่างรวดเร็วเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาขั้นกลางให้ได้สารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างนี้ โดยไม่ให้

เกิดปฏิกิริยาแตกตัวต่อหากมีเวลามากขึ้น น้ำมันชีวมวลจึงมีองค์ประกอบที่เป็นสารเคมีที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาอยู่มากมาย ทำให้มีสมบัติที่โดดเด่น ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันชีวมวลขึ้นอยู่กับภาวะของกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งโดยทั่วไปแล้วนั้นน้ำมันชีวมวลเป็นสารผสมที่สามารถละลายน้ำได้ มีสารอินทรีย์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 75 - 80 โดยมวล และอีกร้อยละ 20 - 25 เป็นน้ำ แสดงดังตารางที่ 4 น้ำมันชีวมวลมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 45 - 50 โดยมวล ออกซิเจนเหล่านี้จะอยู่ในสารประกอบมากกว่า 300 ชนิดที่พบในน้ำมันชีวมวล (Boateng *et al.*, 2006)

น้ำมันชีวมวลที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสเป็นส่วนผสมที่ซับซ้อนระหว่างน้ำ ก๊าซ ไอออน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กรดไขมัน กรดอะมิโน กรดคาร์บอกซิลิกอื่น ๆ และสารประกอบกลุ่มหลักๆ เช่น ไฮดรอกซีแอลดีไฮด์ ไฮดรอกซีคีโตน น้ำตาล และสารประกอบฟีนอลิกส์ น้ำมันไพโรไลซิสอาจถือว่าเป็นสารประกอบแวนดอลอย โดยมีสารประกอบโมเลกุลใหญ่ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากกลีซินอลอยอยู่ในสารละลาย ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวของกลุ่มโพลีเอสเตอร์ สารผสมแวนดอลอยรักษาความเสถียรได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน และการเกิดนาโนมิเชล และไมโครมิเชล ในเชิงกายภาพน้ำมันไพโรไลซิสมีผงถ่านขนาดเล็กแวนดอลอยอยู่และมีกลุ่มโลหะแอลคาไลน์เป็นองค์ประกอบ

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของน้ำมันชีวมวล

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยมวล
น้ำ	20 - 30
คาร์บอน (C)	44 - 47
ไฮโดรเจน (H)	6 - 7
ออกซิเจน (O)	46 - 48
ไนโตรเจน (N)	0 - 0.02
ซัลเฟอร์ (S)	< 0.01
เศษเถ้า	0.1

ที่มา: Boateng *et al.* (2006)

2. สมบัติของน้ำมันชีวมวล

น้ำมันชีวมวลเป็นสารผสมละลายได้ในน้ำ เมทานอล และเอทานอล แต่ไม่ละลายในน้ำมัน ไฮโดรคาร์บอน น้ำมันชีวมวลสามารถกักเก็บได้ บีบส่งได้ และสามารถใช้ในการเผาไหม้ได้คล้ายกับน้ำมันปิโตรเลียม โดยสมบัติพื้นฐานของน้ำมันชีวมวลแสดงในตารางที่ 5 และตารางที่ 6 จะแสดงการเปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันชีวมวลจากชีวมวล (ไม้) กับน้ำมันเตา โดยน้ำมันชีวมวลไม่สามารถระเหยเป็นไอได้หมดในการกลั่น ที่อุณหภูมิเกิน 100 องศาเซลเซียส จะเกิดการทำปฏิกิริยาในตัวเอง ได้กากของแข็งออกมาเป็นจำนวนมาก อาจถึงร้อยละ 50 โดยมวลของน้ำมันตั้งต้น และเป็นสารเคมีที่ไม่เสถียร มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติตามเวลา เช่น ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น อาจจะมีการแยกชั้น ความสามารถในการระเหยน้อยลง และมีการฝังตัวของยางเหนียว เป็นต้น ความไม่เสถียรจะเพิ่มสูงขึ้นที่อุณหภูมิสูง ในการใช้งานจึงต้องกักเก็บที่อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 5 สมบัติทางเคมีของน้ำมันชีวมวล

สมบัติทางกายภาพ	น้ำมันชีวมวล
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	15 - 30
ค่ากรด - เบส	2.5
ความถ่วงจำเพาะ	1.2
คาร์บอน	54 - 58
ไฮโดรเจน	5.5 - 7.0
ออกซิเจน	35 - 40
ไนโตรเจน	0.02
เถ้า	0.02
ค่าความร้อน (เมกกะจูล/กิโลกรัม)	16 - 19
ค่าความหนืด (ที่ 50 องศาเซลเซียส) (เซนติสโตก)	40 - 100
ของแข็ง (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	0.2 - 1
กากของแข็งจากการกลั่น (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	สูงกว่า 50

ที่มา: Boateng *et al.* (2006)

ตารางที่ 6 สมบัติทั่วไปของน้ำมันชีวมวลจากไม้เปรียบเทียบกับน้ำมันเตา

สมบัติทางกายภาพ	น้ำมันชีวมวล	น้ำมันเตา
pH	2.5	-
ความถ่วงจำเพาะ	1.2	0.9
ค่าความร้อน (MJ/kg)	16 - 19	40
ความหนืด (cP) ที่ 40 องศาเซลเซียส	30 - 200	180
จุดไหลเท	-30	-18

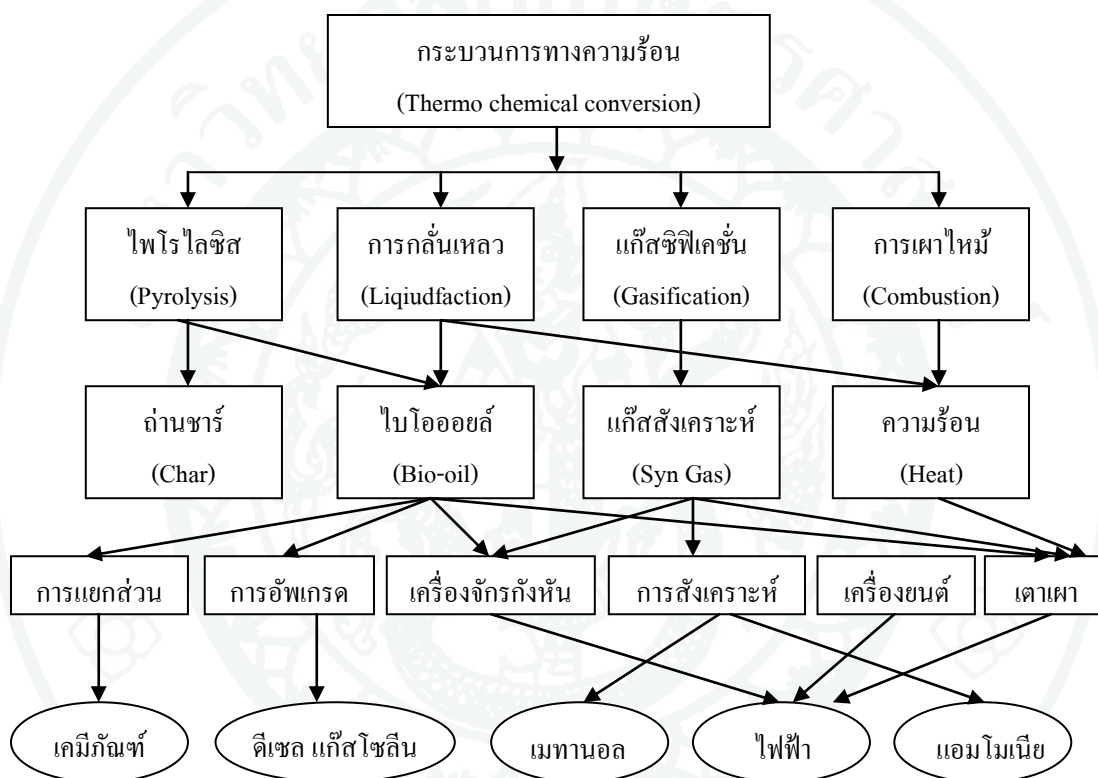
ที่มา: Boateng *et al.* (2006)

การแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงานสามารถทำได้โดยการอาศัยเทคโนโลยีเข้าช่วย ซึ่งเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมสามารถจำแนกได้เป็น 2 เทคโนโลยีหลักคือ กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมี (Biochemical conversion process) และกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีโดยใช้พลังงานความร้อน (Thermochemical conversion process) โดยที่กระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อนยังสามารถจำแนกออกเป็นกระบวนการย่อยได้อีก 4 กระบวนการ คือ การเผาไหม้ (Combustion) แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ลิควิเฟกชัน (Liquefaction) และไพโรไลซิส (Pyrolysis) ทั้งนี้ลักษณะความแตกต่างของแต่ละกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้ในการดำเนินการและวัตถุประสงค์หรือผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ

เทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน

การแปรรูปชีวมวลให้เป็นแหล่งพลังงานสามารถทำได้โดยใช้เทคโนโลยีการแปรรูป 2 เทคโนโลยีหลัก ได้แก่ กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมี และกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีโดยใช้พลังงานความร้อน ซึ่งลักษณะความแตกต่างของแต่ละกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้ในการดำเนินการและวัตถุประสงค์หรือผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ โดยกระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมีเป็นกระบวนการที่ใช้สภาวะในการดำเนินงานที่รุนแรงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อน แต่วิธีการนี้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวล ทำให้กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อนมีความน่าสนใจ

มากกว่าทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆที่มีความหลากหลายกว่ากระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมี ซึ่งการใช้วิธีเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีด้วยกระบวนการให้พลังงานความร้อนนั้นสามารถทำให้ชีวมวลถูกเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้หลากหลายดังภาพที่ 6 โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่ใช้พลังงานความร้อนยังสามารถจำแนกออกเป็นกระบวนการย่อย ได้อีก 4 กระบวนการ คือ การเผาไหม้ แก๊สซิฟิเคชัน ลิกวิดเฟคชัน และไพโรไลซิส



ภาพที่ 6 กระบวนการแปรรูปทางความร้อนและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ (กิริติณณ์ภู, 2553)

1. การเผาไหม้ (Combustion)

การเผาไหม้ เป็นกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ของเชื้อเพลิงในสถานะที่ใช้ออกซิเจน ซึ่งกระบวนการจะเกิดขึ้นสองช่วง ในช่วงแรกจะเป็นการเผาไหม้ของสารระเหยที่เกิดขึ้นในวัฏภาคแก๊ส เป็นปฏิกิริยาระหว่างแก๊สกับแก๊ส ช่วงหลังเป็นการเผาไหม้ของกากของแข็งที่เหลืออยู่คือ ถ่านชาร์ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ช้าและภาวะที่ใช้ดำเนินการคือ อุณหภูมิตั้งแต่ 800 - 1400 องศาเซลเซียส ระบบการเผาไหม้โดยทั่วไปจะใช้อากาศเกินพอเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ทั้งนี้ยังมีผลการ

สูญเสียความร้อน เนื่องจากการใช้อากาศน้อยเกินไปจนทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ไม่สมบูรณ์ เรียกว่า การสูญเสียศักยภาพทางความร้อน (Potential heat loss) ซึ่งอยู่ในรูปขององค์ประกอบแก๊ส คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) หรือคาร์บอน (C)

2. แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

แก๊สซิฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็ง (ชีวมวล) ไปเป็นแก๊ส คาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน โดยทำให้เชื้อเพลิงแข็งบางส่วนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (เผาไหม้) ที่อุณหภูมิสูง และควบคุมให้กระบวนการเกิดในสภาวะแวดล้อมที่มีปริมาณออกซิเจนเพียง 1 ใน 3 ของปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ผลลัพธ์ที่ได้คือแก๊สสังเคราะห์ ซึ่งการนำแก๊สสังเคราะห์ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเผาไหม้โดยตรงของเชื้อเพลิงแข็งที่ใช้เป็นสารตั้งต้น และสามารถเผาไหม้โดยตรงได้ภายในเครื่องยนต์หรือเปลี่ยนไปเป็นน้ำมัน ดีเซล หรือเบนซินสังเคราะห์ (Synthetic diesel/gasoline) โดยใช้กระบวนการ Fischer-Tropsch และแก๊สสามารถใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ กระบวนการ Fischer-Tropsch จะเร่งปฏิกิริยาในการ เปลี่ยนแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนไปเป็นไฮโดรคาร์บอนเหลวโดยใช้ตัวเร่ง ปฏิกิริยาของเหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) หรือ โคบอลต์ (Co)

3. ลิควิแฟกชัน (Liquefaction)

ลิควิแฟกชัน เป็นกระบวนการแปรรูปเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นน้ำมันชีวมวล (Liquid fuel) นิยมใช้ผลิตน้ำมันชีวมวลจากถ่านหินทำได้โดยการแยกคาร์บอนออกหรือการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) เรียกกระบวนการนี้ว่า “ลิควิแฟกชัน” น้ำมันชีวมวลที่ได้จากถ่านหินสามารถนำมา กลั่นในกระบวนการกลั่นน้ำมัน จะได้น้ำมันสำหรับรถยนต์และผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น พลาสติกและ สารละลายต่างๆ (Solvent) กระบวนการการผลิตน้ำมันชีวมวลสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือการ ผลิตน้ำมันชีวมวลโดยตรง (Direct liquefaction) เป็นการแปรรูปถ่านหินเป็นน้ำมันชีวมวล โดยใช้ กระบวนการเดียว (Single process) และการผลิตน้ำมันชีวมวลโดยทางอ้อม (Indirect liquefaction) เป็นการนำถ่านหินมาผ่านกระบวนการผลิตเป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ก่อน ในการพัฒนา เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันชีวมวลมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ เวลา อุณหภูมิ และความดันที่ใช้ในการทำ ปฏิกิริยา รวมถึงอาจมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้ รวดเร็ว และมีปริมาณมากขึ้นอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอยู่ที่ 350 ถึง 500 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 35 ถึง 275 บาร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการส่วนใหญ่

เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะและต้องให้อัตราการเพิ่มความร้อนอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการรวมตัวของโมเลกุลที่แตกตัวจากการให้ความร้อนกลายเป็นพอลิเมอร์

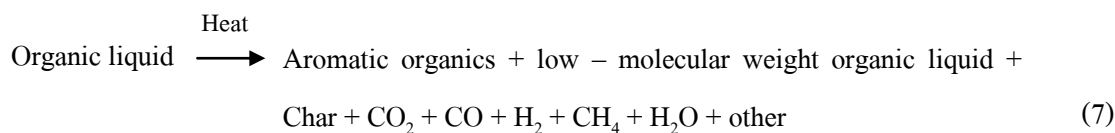
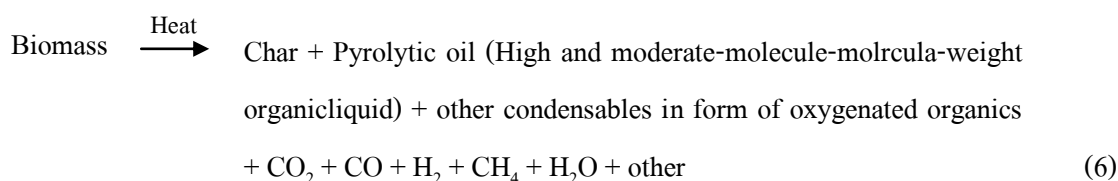
4. ไพโรไลซิส (Pyrolysis)

ไพโรไลซิส หมายถึง การทำปฏิกิริยาของสารใดสารหนึ่งกับความร้อน ซึ่งกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis process) เป็นกระบวนการที่สารจะถูกย่อยสลายทางเคมีด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงในที่อับอากาศ หรือในที่ที่มีการจำกัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนให้เหลือน้อยที่สุด ทำให้เกิดการสลายของวัสดุออกไปเป็นองค์ประกอบย่อยๆ ชนิดต่างๆ หรือองค์ประกอบที่มีขนาดเล็กกว่าเดิม

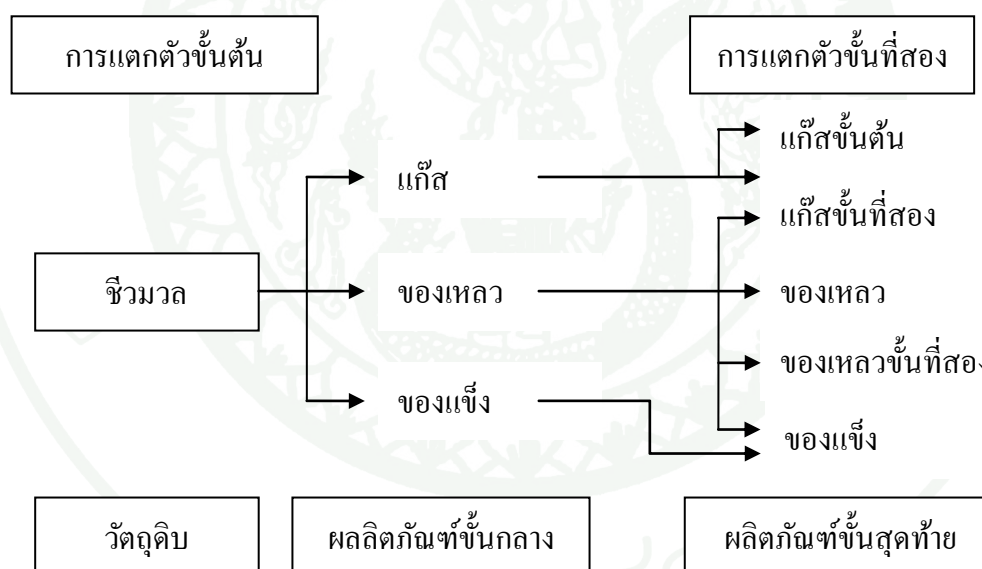
จากนิยามของกระบวนการไพโรไลซิสที่กล่าวมาจะพบว่า ไพโรไลซิสมีความหมายและเป็นกระบวนการเกี่ยวกับการสลายด้วยความร้อน แต่จะต่างกันเล็กน้อยตรงที่การเสื่อมสลายด้วยความร้อน เช่น พอลิเมอร์ เป็นการสลายตัวที่อุณหภูมิการใช้งานซึ่งไม่สูงมาก การสลายตัวจึงเป็นไปอย่างช้าๆ แต่กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนค่อนข้างสูง เร่งให้สารสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว

กระบวนการไพโรไลซิส

ไพโรไลซิส เป็นกระบวนการสลายตัวทางความร้อน (Thermal degradation) ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (ไม่มีการเติมไอน้ำ ไฮโดรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยา) ที่มีการถ่ายเทความร้อนโดยทางอ้อม ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือ ถ่านชาร์ (Charcoal) ของเหลว (Tar) และแก๊ส (Gas) (Jones, 1978) ปฏิกิริยาไพโรไลซิสอาจได้รับความร้อนทั้งทางตรงที่ได้จากการออกซิเดชันเพียงบางส่วน หรือในทางอ้อม (รีเทอร์ท) จากปฏิกิริยาอื่นๆ ที่เกิดขึ้นภายในปฏิกิริยา ซึ่งในปัจจุบันการสลายตัวทางความร้อนในภาวะที่มีออกซิเจนน้อย หรือในที่ที่มีการถ่ายเทความร้อนให้เกิดการไพโรไลซิสโดยตรงจากการเผาไหม้บางส่วนของชาร์และแก๊ส เรียกได้ว่าเป็นกระบวนการไพโรไลซิสเมื่อชีวมวลเกิดการสลายตัวทางความร้อนจะเกิดอนุกรมของปฏิกิริยาต่างๆ ได้แก๊สที่มีพลังงานปานกลาง น้ำมันที่มีองค์ประกอบซับซ้อน และถ่านชาร์ แสดงดังสมการที่ 6 และ 7 (Kohan and Barkordor, 1979)



กระบวนการไพโรไลซิสจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีแบบย้อนกลับไม่ได้ จะได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นส่วนของแก๊ส ของเหลว และของแข็ง ดังภาพที่ 7 สารระเหยที่สามารถควบแน่นได้ (condensable volatile) จะถูกทำให้เย็นลงเพื่อให้กลั่นตัวในทันที เพื่อป้องกันการแตกตัวของน้ำมันชีวมวล ส่วนสารระเหยที่ไม่สามารถควบแน่นได้ (Non - condensable volatile) จะปนออกไปกับแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์



ภาพที่ 7 กระบวนการแตกตัวทางความร้อนของชีวมวล

ของแข็งที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส เรียกว่า ถ่านชาร์ ซึ่งมีส่วนประกอบของวัสดุถ่านเป็นหลักและมีถ่านอนินทรีย์ผสมอยู่ด้วย ของเหลวที่ได้จากการควบแน่นเรียกว่า ของเหลวไพโรลิคเนียส (Pyrolytic liquid) หรือกรดไพโรลิคเนียส (Pyrolytic acid) หรือน้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis oil) ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลดำคล้ายน้ำมันดิบ บางครั้งเรียกว่า น้ำมันชีวมวล (Bio - oil) กระบวนการไพโรไลซิสสามารถควบคุมให้เกิดผลิตภัณฑ์สถานะใดสถานะหนึ่งมาก

ที่สุด โดยการควบคุมปัจจัยที่สำคัญต่างๆของกระบวนการเช่น อัตราการให้ความร้อน อุณหภูมิ เวลา ในการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น

1. กระบวนการทางเคมีของกระบวนการไพโรไลซิส

1.1 การถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนไปยังชีวมวลเพื่อเพิ่มอุณหภูมิข้างในชีวมวลให้สูงขึ้น

1.2 การเริ่มเกิดไพโรไลซิสขั้นต้นมีการปล่อยไอสารระเหยและเกิดเป็นถ่านชาร์

1.3 การไหลของไอสารระเหยร้อนผ่านชีวมวลที่ยังเย็นอยู่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างกัน

1.4 การควบแน่นของไอสารระเหยโมเลกุลใหญ่บางส่วนในเนื้อชีวมวลที่ยังเย็นอยู่และตามด้วยการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสขั้นที่สองที่สามารถเปลี่ยนสารระเหยขั้นต้นเป็นน้ำมันดิน

1.5 การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสขั้นที่สอง แบบเร่งปฏิกิริยาด้วยตัวเองไปพร้อมกับการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสขั้นต้นมีการแข่งขันแย่งสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา

1.6 การแตกตัวทางความร้อนเพิ่มขึ้น มีปฏิกิริยาร่วมเกิดขึ้น เช่น ปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งแก๊ส ปฏิกิริยาเปลี่ยน โมเลกุลของแข็งเป็นแก๊สด้วยน้ำ ปฏิกิริยาการรวมตัวของสารอนุภาค ปฏิกิริยาการไถ่ น้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาอุณหภูมิ และความดัน

ปริมาณการเกิดแก๊สและสารระเหยต่างๆจะแปรผันตามช่วงอุณหภูมิ โดยในช่วง 150 - 200 องศาเซลเซียสจะเป็นการระเหยของน้ำช่วงอุณหภูมิ 200 - 280 องศาเซลเซียส จะเป็นช่วงเริ่มการระเหยตัวของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ช่วงอุณหภูมิ 280 - 380 องศาเซลเซียส จะเป็นช่วงเริ่มการระเหยตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน แสดงดังในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 องค์ประกอบของแก๊สจากการสลายตัวของชีวมวลที่อุณหภูมิต่างกัน

Process	Temperature (°C)	H ₂ (mol%)	CO (mol%)	CO ₂ (mol%)	HCs (mol%)
Elimination of water	155 - 200	0	30.5	68.0	2.0
Evolution carbon oxides	200 - 280	0.2	30.5	66.5	3.3
Start hydrocarbon evolution	280 - 380	5.5	20.5	35.5	36.6
Evolution of hydrocarbon	380 - 500	7.5	12.3	31.5	48.7
Dissociation	500 - 700	48.7	24.5	12.2	20.4
Evolution of hydrogen	700 - 900	80.7	9.6	0.4	8.7

หมายเหตุ HCs คือ hydrocarbon

ที่มา: Worasuwanarak *et al.* (2007)

2. ประเภทของกระบวนการไพโรไลซิส

ประเภทของกระบวนการไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับภาวะปฏิบัติการที่ใช้ซึ่งหลักๆจะใช้เวลาหรืออัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นเกณฑ์ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

2.1 ไพโรไลซิสแบบช้า

กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าหรือแบบทั่วไป (Conventional pyrolysis) เป็นกระบวนการที่มนุษย์รู้จักกันมานานแล้วซึ่งก็คือกระบวนการที่ใช้ในการทำถ่าน (Carbonization) ในกระบวนการไพโรไลซิสทั่วไปชีวมวลจะถูกให้ความร้อนที่ประมาณ 500 องศาเซลเซียส ไอสารระเหยอยู่ในปฏิกิริยาเป็นเวลานาน 5-30 นาทีไม่หลุดออกไปเร็วจึงทำให้องค์ประกอบของไอสารระเหยยังคงเข้าทำปฏิกิริยากันอย่างต่อเนื่อง โดยได้เป็นถ่าน แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ และของเหลวออกมา กระบวนการจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงและมีอัตราการให้ความร้อนช้าหรือรักษาอุณหภูมิให้คงที่ จะมีผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สถานะออกมา หากควบคุมกระบวนการให้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำและมีอัตราการให้ความร้อนช้าจะส่งผลให้เกิดถ่านชาร์มากขึ้น

2.2 ไพโรไลซิสแบบเร็ว

ไพโรไลซิสแบบเร็วเป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลในระยะเวลาอันรวดเร็ว ในอัตราการให้ความร้อนสูงมากเมื่อเทียบกับแบบไพโรไลซิสแบบช้า หากกระบวนการไพโรไลซิสมีอัตราการให้ความร้อนสูงขึ้น ปริมาณการเกิดสารระเหย แก๊ส และของเหลว จะมากขึ้นด้วยกระบวนการลักษณะแบบนี้เรียกว่าไพโรไลซิสแบบเร็วหรือเร็วมาก (Fast/flash pyrolysis) ซึ่งอาจเรียกกระบวนการนี้ให้ถูกต้องยิ่งขึ้นว่า “Thermolysis process” กระบวนการนี้เป็นการทำให้วัสดุชีวมวลซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10 ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง (High heating rate) แต่มี Resident time สั้นมากระหว่าง 0.5 - 2.0 วินาที ชีวมวลจะเกิดการแยกตัวออกเป็นถ่าน แก๊ส ไอ และสารแขวนลอยในอากาศ เมื่ออุณหภูมิลดลงสารที่ระเหยง่ายจะกลั่นตัวเป็นของเหลวที่เรียกว่า “น้ำมันชีวมวล” ส่วนแก๊สที่ยังคงเหลืออยู่ไม่สามารถกลั่นตัวเป็นของเหลวได้ (Non - condensable gas) และมีค่าความร้อนปานกลาง ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยทั่วไปจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วจะได้น้ำมันชีวมวลประมาณร้อยละ 60 - 70 โดยน้ำหนัก ถ่านชาร์ร้อยละ 15 - 25 และแก๊สเบาที่ไม่ควบแน่นร้อยละ 10 - 20 ขึ้นกับชนิดของชีวมวล ไม่มีของเสียทิ้ง เนื่องจากแก๊ส ถ่าน และน้ำมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด ที่อัตราการให้ความร้อนสูงมากๆ ปริมาณชีวมวลทั้งหมดอาจแปลงสภาพเป็นสารระเหยเหล่านี้ได้เกือบหมด แล้วจึงควบแน่นมาเป็นน้ำมันชีวมวล และ/หรือสารเคมีภัณฑ์อื่นๆ

2.2.1 ขั้นตอนการของกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว

ก. การให้ความร้อนและการถ่ายเทความร้อนในอัตราที่สูงมาก

ข. การควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสให้คงที่ระหว่าง 400 - 650

องศาเซลเซียส

ค. การควบคุมให้อุณหภูมิของสารระเหยปล่อยออกมาเร็ว หรือให้สารระเหยมีเวลาอยู่ในเตาปฏิกรณ์สั้นๆ โดยปกติไม่ควรเกินกว่า 2 วินาที เพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยาต่อ

ง. ไอสารระเหยที่ได้ออกมาต้องถูกทำให้เย็นและควบแน่นโดยเร็ว (ป้องกันสารระเหยเกิดปฏิกิริยาต่อกลายเป็นแก๊ส) เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันชีวมวลสูงสุด

ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจะขึ้นอยู่กับกระบวนการ ระยะเวลาเกิดปฏิกิริยา อัตราการให้ความร้อน หรืออัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ลักษณะของกระบวนการและผลผลิตที่สำคัญของกระบวนการไพโรไลซิสที่ต่างกัน

กระบวนการ	เวลาปฏิกิริยา	อัตราความร้อน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ผลิตภัณฑ์หลัก
การทำถ่าน (Carbonization)	ชั่วโมง - วัน	ต่ำมาก	400	ถ่านชาร์
แบบช้า (Conventional)	5 - 30 นาที	ช้า	600	ทั้งสามชนิด
แบบเร็ว (Fast)	0.5 - 5 วินาที	สูงมาก	650	น้ำมันชีวมวล
แบบเร็ว (Fast)	< 1 วินาที	สูง	400 - 600	น้ำมันชีวมวล
แบบเร็ว (Fast)	< 1 วินาที	สูง	> 650	สารเคมีและแก๊ส
แบบเร็วมาก (Flash)	< 0.5 วินาที	สูงมาก	1000	สารเคมีและแก๊ส
สุญญากาศ (Vacuum)	1 - 30 วินาที	ปานกลาง	400	น้ำมันชีวมวล
น้ำ (Hydro-pyrolysis)	< 10 วินาที	สูง	< 500	น้ำมันชีวมวล
เมทานอล (Methano-pyrolysis)	< 10 วินาที	สูง	> 700	สารเคมี

ที่มา: Bridge and Bridgewater (1991)

3. ตัวอย่างงานวิจัยจากกระบวนการไพโรไลซิส

เกยูร และอดิศักดิ์ (2555) ศึกษาสมบัติของน้ำมันชีวมวลและถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของไบอ้อย ทำการทดลองที่อุณหภูมิไพโรไลซิส 550 องศาเซลเซียส อัตราการป้อน 150 กรัมต่อชั่วโมง และขนาดอนุภาคชีวมวล 250 - 425 ไมโครเมตร น้ำมันชีวมวลที่ได้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 1.50 ± 0.22 โดยมวล ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.88 ± 0.08 ค่าความหนาแน่น 1.13 ± 0.02 กรัมต่อมิลลิเมตร ปริมาณเถ้าในน้ำมันชีวมวลร้อยละ 0.04 ± 0.01 โดยมวล ค่าความหนืด 42.99 ± 0.43 เซนติสโตก (sCt) ค่าความร้อนสูงน้ำมันชีวมวล (HHV) 15.77 ± 1 เมกกะจูลต่อ

กิโลกรัม ขณะที่ถ่านมีปริมาณเถ้าร้อยละ 36.28 ± 0.47 โดยมวล ขนาดอนุภาคถ่านซาร์ระหว่าง 0 - 211 ไมโครเมตรคิดเป็นร้อยละ 43.05 โดยมวล และ ค่าความร้อนสูง (HHV) 14.23 ± 1 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม

Lu *et al.* (2008) ศึกษาสมบัติเชิงเคมีและสมบัติเชิงกายภาพของน้ำมันชีวมวลที่ได้จากการกลั่นสลายแกลบด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว พบว่าน้ำมันชีวมวลที่ได้มีองค์ประกอบของไนโตรเจนและธาตุอินทรีย์ การไหลจะเป็นการไหลแบบไม่เป็นนิวโตเนียน น้ำมันชีวมวลไม่เสถียรต่อความร้อน การเติมเมทานอลจะเพิ่มความเสถียรกับน้ำมันชีวมวล มีปริมาณน้ำ ของแข็ง และเถ้าสูง มีสมบัติในการกักความร้อน มีความเป็นพิษ และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการเพิ่มประสิทธิภาพก่อนนำไปใช้จริง

กิริติณัฐ (2553) ศึกษาตัวแปรในกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วจากฟางข้าวต่อปริมาณผลิตภัณฑ์และน้ำมันชีวมวล ที่อุณหภูมิช่วง 350 - 600 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาคอยู่ที่ 0.250 - 0.85 มิลลิเมตร อัตราการไหลแก๊สไนโตรเจน 0 - 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และอัตราการป้อนสารอยู่ที่ 1.76 - 2.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดอยู่ที่ 53.83 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาค 0.450 - 0.600 มิลลิเมตร อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และอัตราการป้อนสารที่ 2.11 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยองค์ประกอบทางด้านเคมีของน้ำมันชีวมวลจะทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) และทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของน้ำมันชีวมวล ผลจากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานหมุนเวียนในขณะที่ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งสามารถนำมาใช้แปรรูปเป็นถ่านกำมันต์ในกระบวนการดูดซับ

Zheng *et al.* (2008) ศึกษาการกลั่นสลายต้นฝ้ายด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วที่อุณหภูมิ 480 - 530 องศาเซลเซียส ในปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบด ได้น้ำมันชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ผลการทดลองได้ปริมาณน้ำมันชีวมวลสูงสุดร้อยละ 55 ที่อุณหภูมิ 510 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเครื่องมือวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยน้ำ กรด และสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก วิเคราะห์ค่าความร้อนอยู่ที่ 17.77 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม สภาพคงตัว การละลายและการกักความร้อนมีค่าที่ใกล้เคียงกันกับน้ำมันดีเซล สามารถนำไปใช้กับการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ หรือ เตาเผา

หรือนำไปกลั่นแยก ใช้ในยานพาหนะ นอกจากนี้ทำการปรับปรุงระบบไฟโรไลซิส โดยมีตัวป้อนสารสองชั้นเพื่อป้องกันการอุดตัน ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

Lee *et al.* (2005) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาการปรับสภาพ และระบบการกำจัดถ่านชาร์ตต่อการผลิตน้ำมันชีวมวลจากฟางข้าว โดยการไฟโรไลซิสแบบเร็วด้วยปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบด พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวมวลสูงสุดคือ 410 - 510 องศาเซลเซียส น้ำมันชีวมวลที่ได้มีปริมาณโลหะอัลคาไลน์ต่ำ และการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นจะลดปริมาณโลหะอัลคาไลน์ลงได้อีก การปรับสภาพทำให้น้ำมันชีวมวลที่ได้มีความบริสุทธิ์ ปลอดภัย และเพิ่มมูลค่าได้ง่าย น้ำมันชีวมวลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง ตัวอย่างเช่น น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันแก๊สโซลีน ซึ่งสามารถใช้โดยตรงหรือผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงทางการค้า ข้อดีของการประยุกต์ใช้น้ำมันชีวมวลไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงคือ ไม่มีกำมะถัน ผลิตภัณฑ์แก๊สหลักที่ได้ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ที่อุณหภูมิสูงปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และแก๊สอื่นๆ รวมถึงค่าความร้อนจะสูงขึ้น และผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์ตที่ได้มีความร้อนประมาณ 15 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม โดยสามารถนำไปเป็นแหล่งพลังงานหรือใช้เป็นตัวดูดซับแก๊ส ได้แก่ แอมโมเนีย

Jale *et al.* (2007) ศึกษาเกี่ยวกับการไฟโรไลซิสของเสี้ยนที่เกิดจากการเกษตร (ซังข้าวโพด, ฟางข้าว และต้นกระเพรา) ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ในปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบด ได้ปริมาณของถ่านชาร์ต ของเหลว และแก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้แยกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นน้ำและน้ำมัน ปริมาณน้ำมันที่ได้มีค่าประมาณร้อยละ 35-41 ขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวลแต่ละชนิด โดยทั้งหมดจะทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรเมตรี นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบของน้ำมัน องค์ประกอบทางเคมีของแก๊สและผลิตภัณฑ์ชาร์ตที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ได้

ธนัญญา และคณะ (2550) ศึกษาการผลิตน้ำมันชีวมวลจากกระบวนการไฟโรไลซิสหญ้าคา โดยศึกษาการสลายตัวของหญ้าคาด้วยเครื่อง TGA พบว่าช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของหญ้าคาที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 200 - 380 องศาเซลเซียส และค่าปริมาณความชื้นของหญ้าคามืออยู่ร้อยละ 10 โดยใช้ปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง อุณหภูมิสุดท้ายของการไฟโรไลซิสคือ 400 องศาเซลเซียส มีอัตราการให้ความร้อน 1.6 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน เมื่อทำการไฟโรไลซิสหญ้าคา พบว่าร้อยละของผลผลิตของน้ำมันชีวมวลเท่ากับ 39.3

Jung *et al.* (2008) ศึกษาการไพโรไลซิสของฟางข้าวและกากไม้ไผ่โดยปฏิกิริยาแบบฟลูอิดไคซ์เบดที่ประกอบด้วยระบบแยกถ่านชาร์ และศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการผลิตน้ำมันชีวมวล ได้ทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 415 - 540 องศาเซลเซียสสำหรับฟางข้าว และช่วงอุณหภูมิ 350 - 510 องศาเซลเซียสสำหรับกากไม้ไผ่ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิง อัตราการป้อนของเชื้อเพลิง และชนิดแก๊สตัวพา ผลการวิจัยพบว่า ช่วงอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมสามารถผลิตน้ำมันชีวมวลอยู่ได้มากกว่าร้อยละ 70 ของน้ำหนักกากไม้ไผ่ ในการศึกษาอิทธิพลของขนาดของเชื้อเพลิง อัตราการป้อนของเชื้อเพลิง พบว่าเมื่อให้อัตราป้อนเชื้อเพลิงเร็วและขนาดอนุภาคเล็กจะทำให้ได้ประสิทธิภาพของน้ำมันชีวมวลมากกว่าและการใช้แก๊สผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สตัวพา จะทำให้ปริมาณการผลิตน้ำมันชีวมวลมีมากขึ้น องค์ประกอบหลักของน้ำมันชีวมวล ประกอบไปด้วย ฟีนอลิก (Phenolics) เฟอร์ฟูรอล (Furfural) กรดอะซิติก (Acetic acid) เลโวกลูโคซาน (Levogluconan) กัวไกลคอล (Guaiacol) อัลคิลกัวไกลคอล (Alkyl guaiacol) คีโตน (Ketone) และอัลดีไฮด์ (Aldehydes) นอกจากนี้การทดลองยังสามารถผลิตน้ำมันชีวมวลคุณภาพสูง ซึ่งมีความความเข้มข้นของโลหะแอลคาไลน์ และแอลคาไลน์เอิร์ธต่ำ แสดงให้เห็นระบบแยกถ่านชาร์มีประสิทธิภาพดี

Asadullah *et al.* (2007) ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสของกากขานอ้อย ในระบบปฏิกิริยาแบบเบดนิ่ง โดยศึกษาที่อุณหภูมิต่างกันในช่วง 300 - 600 องศาเซลเซียส น้ำมันชีวมวลที่เก็บได้ที่คอนเดนเซอร์ สองส่วนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ปริมาณน้ำมันชีวมวลสูงสุดที่ได้ร้อยละ 66 แก๊สที่ไม่สามารถระเหยได้จะประกอบไปด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน อีเทน โพรเพน และโพพีน ความหนาแน่นและความหนืดอยู่ที่ 1,130 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 19.32 เซนติพอยส์ สำหรับน้ำมันชีวมวลที่ได้จากส่วนหนึ่งและ 1,150 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 4.25 เซนติพอยส์ สำหรับน้ำมันชีวมวลที่ได้จากส่วนที่สอง ค่าความร้อนสูงอยู่ที่ 17.25 pH 3.5 และ 19.91 เมกะจูลต่อกิโลกรัม pH อยู่ที่ 4.5 ตามลำดับ

สุพจน์ (2552) ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาในปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง พบว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาคที่ 425 - 600 ไมโครเมตร อัตราการป้อนที่ 1.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการไหลของไนโตรเจน 200 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการไพโรไลซิสแบบเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้แบ่งออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนที่เป็นผลิตภัณฑ์เหลวร้อยละ 38.23 แก๊สร้อยละ 43.36 และถ่านชาร์ร้อยละ 21.10 โดยที่ส่วนที่เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว แบ่งได้สองส่วน คือ น้ำมันเบาร้อยละ 22.98 และน้ำมันหนักร้อยละ 15.25 ค่าความร้อนน้ำมันเบาและน้ำมันหนัก 41.05 และ 31.0 เมกะจูลต่อกิโลกรัมตามลำดับ คุณสมบัติทาง

เคมีของน้ำมันชีวมวลพบปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจนในน้ำมันเบามากกว่าในน้ำมันหนัก และน้ำมันทั้งสองมีสภาพเป็นกรดและมีขี้ที่ที่สามารถละลายในอะซิโตนและไฮโดรฟูแรนได้ดี การคัดกรองแผ่นทองแดงของน้ำมันเบาและหนักอยู่ในระดับที่ไม่รุนแรง วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ไฮดรอกไซด์ อัลคีน คีโตน คาร์บอกซิลิก และอโรแมติก วิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโทรสโกปีพบองค์ประกอบหลักในน้ำมันเบาได้แก่ 1.3 ไชโคลเพนเทนไดโอน 2-เพนทาโนน, 4-ไฮดรอกซีล 4-ไดเมทิล และ 4-ไพเพอริไดโอน 2, 2, 6, 6-เตตระเมทิล-และในน้ำมันหนักพบ 2-เพนทาโนน 4, ไฮดรอกซีเมทิล 2-เพนทาโนน, 4-ไฮดรอกซี-และฟีนอล

4. ผลกระทบของตัวแปรต่างๆต่อการไพโรไลซิส

โดยส่วนใหญ่การไพโรไลซิสมักสนใจถึงอัตราและปริมาณของสารระเหยที่ได้ การกระจายของผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมถึงภาวะในการทดลอง โดยตัวแปรทางเคมีที่สำคัญคือ ธาตุองค์ประกอบของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในชีวมวลที่มีสมบัติแตกต่างกันไป นอกจากนี้ตัวแปรพื้นฐานทางกายภาพที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิ เวลา อัตราการให้ความร้อน (ชูตคี้, 2536) ซึ่งตัวแปรดังกล่าวจะส่งผลต่อการไพโรไลซิสดังนี้

4.1 องค์ประกอบของชีวมวล

ชีวมวลเป็นวัสดุซับซ้อนไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะมีโครงสร้างและองค์ประกอบแตกต่างกันไปตามส่วนต่างๆและชนิดของพืชนั้น ซึ่งแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางความร้อนและให้ผลิตภัณฑ์ที่ต่างกันไป ที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียสจะมีการแตกตัวของโพลีแซคคาไรด์ที่สายเชื่อมกลูโคสิดิก (Glucosidic linkage) ทำให้ได้น้ำมันชีวมวลที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของแอนไฮโดรซูการ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และถ่านชาร์จำนวนเล็กน้อย ในขณะที่ลิกนินส่วนใหญ่จะควบแน่นเป็นชาร์และสารประกอบฟีนอลบางส่วน ซึ่งความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของชีวมวลนั้นจะเป็นสิ่งกีดขวางการใช้ประโยชน์ทางเคมีเนื่องจากสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแต่ละองค์ประกอบจะได้น้อย ซึ่งจะมีผลกระทบต่อปริมาณถ่านชาร์ และเชื้อเพลิงอื่นๆที่ได้จากการไพโรไลซิสโดยตรง

4.2 อุณหภูมิในการไพโรไลซิส

ช่วงอุณหภูมิของการไพโรไลซิสจะมีผลกระทบต่อทั้งปริมาณ และองค์ประกอบของสารที่ระเหยได้ โดยการไพโรไลซิสแบ่งได้เป็น 3 ชั้นคือ ชั้นแรกที่อุณหภูมิมิระหว่าง 200 - 300 องศา

เซลเซียส จะมีการปลดปล่อยสารระเหยเล็กน้อย และแก๊สที่ได้ประกอบไปด้วยออกไซด์ของคาร์บอนและน้ำเป็นส่วนใหญ่ ชั้นที่สองอุณหภูมิระหว่าง 300 - 500 องศาเซลเซียส จะมีการสลายตัวที่ปล่อยสารระเหยออกมาประมาณสามในสี่ของสารระเหยทั้งหมด ชั้นที่สามอุณหภูมิระหว่าง 500 - 800 องศาเซลเซียส จะมีการไล่แก๊สออกอีกเป็นครั้งที่สอง พร้อมกับมีการเปลี่ยนแปลงของถ่านชาร์ รวมไปถึงการปลดปล่อยแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกไฮโดรเจน

4.3 อัตราการให้ความร้อน

ผลกระทบของอัตราการให้ความร้อนเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารระเหยที่ได้จากการไพโรไลซิส แต่เดิมสถานะในการให้ความร้อนถูกแบ่งได้ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อวินาที ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยออกอย่างรวดเร็ว ดังนั้นอัตราการให้ความร้อนต่ำจะนิยมใช้ในกรณีที่ต้องการให้มีผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับหรือน้อยกว่า 20 องศาเซลเซียสต่อวินาที และโดยทั่วไปอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลต่างของอุณหภูมิมากกว่า $10^3 - 10^5$ องศาเซลเซียสต่อวินาที

ในการทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสถ้าอัตราการให้ความร้อนเร็วทำให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ระเหยได้เป็นจำนวนมาก และได้ถ่านชาร์น้อย การให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิการสลายตัวของชีวมวลได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สและของเหลวมากกว่าการให้ความร้อนด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ช้าเนื่องจากชีวมวลถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหลวง่ายขึ้น (Zanzi *et al.*, 1996) และโมเลกุลของน้ำมันทาร์ที่อยู่ในสถานะแก๊สมีช่วงเวลาที่ได้รับความร้อนสั้นมากผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจึงเกิดปฏิกิริยาน้อย เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดส่วนใหญ่จะเกิดที่อุณหภูมิสุดท้ายซึ่งไม่ขึ้นกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก่อนหน้านั้น กล่าวคือไม่เกิดปฏิกิริยาทุติยภูมิ และเวลาในการเกิดการแตกตัวของทาร์น้อยทำให้ไม่ต้องสูญเสียปริมาณและคุณสมบัติของน้ำมันทาร์ จึงได้ทาร์ มีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาก แต่ไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรเจนลดลง โดยอัตราเร็วการเกิดแก๊สในแต่ละชนิดไม่แตกต่างกัน เมื่อเปลี่ยนอัตราการให้ความร้อนอาจเนื่องมาจากข้อจำกัดในการถ่ายโอนความร้อนในระบบการทดลอง (Tanaka *et al.*, 1997)

4.4 ขนาดของอนุภาค

ขนาดอนุภาคมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้เนื่องจากขนาดของอนุภาคมีความสัมพันธ์กับอัตราการให้ความร้อน กล่าวคือ การให้ความร้อนแก่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะเป็นไปได้ช้า ในขณะที่การให้ความร้อนแก่อนุภาคขนาดเล็กจะเป็นไปได้เร็วกว่า ซึ่งจะทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์สารระเหยที่ได้จากอนุภาคขนาดใหญ่ น้อยกว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอนุภาคขนาดเล็ก เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กได้รับความร้อนกระจายทั่วถึงและสม่ำเสมอว่านั่นเอง

4.5 ความดัน

ความดันเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์สารระเหยได้ กล่าวคือ เมื่อให้ความดันเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์สารระเหยที่ได้มีปริมาณลดลงในทางกลับกันถ้าให้ความดันต่ำจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สารระเหยเพิ่มมากขึ้นแต่อย่างไรก็ตามสำหรับปฏิกิริยาการแตกตัว (Cracking) จะเกิดขึ้นได้ดีที่ความดันสูงซึ่งจะมีผลให้เกิดแก๊สที่มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนได้เพิ่มขึ้นในขณะที่ถ้าให้ความดันต่ำปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นแก๊สจะลดลงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์จำพวกของเหลว ทาร์และถ่านเพิ่มมากขึ้น

4.6 ภาวะบรรยากาศ

ภาวะบรรยากาศของปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาไพโรไลซิสในบรรยากาศที่มีไฮโดรเจนหรือที่เรียกว่าไฮโดรไพโรไลซิส (Hydropyrolysis) สามารถทำให้เพิ่มผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารระเหยได้

4.7 เวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในกระบวนการไพโรไลซิส

เวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในกระบวนการไพโรไลซิสต้องนานเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ หากเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในกระบวนการไพโรไลซิสสั้นเกินไปการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบเริ่มต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ก็จะทำได้ไม่สมบูรณ์ แต่หากเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในกระบวนการไพโรไลซิสมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นถ่านมีแนวโน้มค่าของร้อยละคาร์บอนในองค์ประกอบลดลงและผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารระเหยมีปริมาณน้อยลง

5. ประเภทของปฏิกรณ์ที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมันชีวมวล

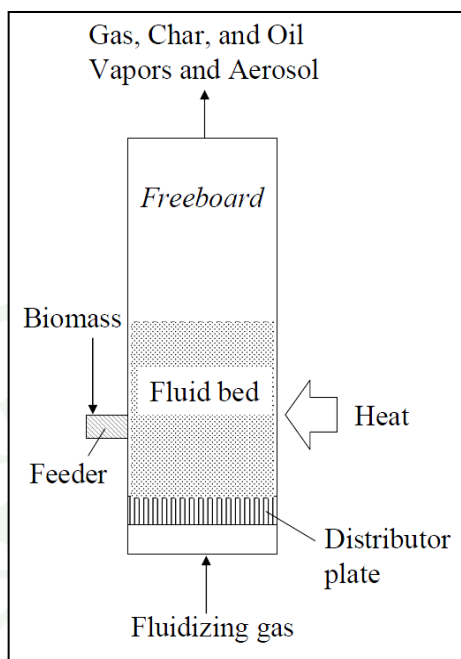
ปฏิกรณ์ที่ใช้มีหลายแบบ หลายขนาดและมีตัวแปรเงื่อนไขในการใช้ที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดของอนุภาค ลักษณะเฉพาะของตัวเครื่อง เป็นต้น (Olofsson *et al.*, 2005) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

5.1 ปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดแบบฟองอากาศ (Bubbling fluidized - bed reactor)

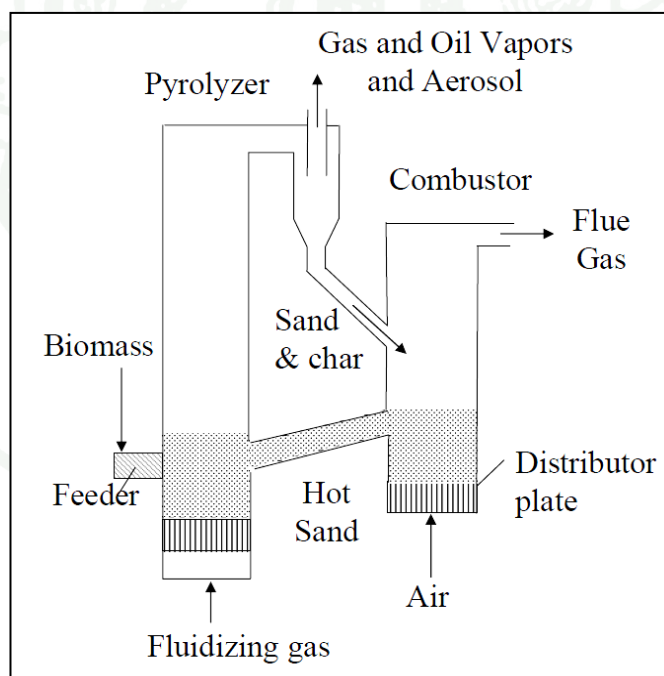
ปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดแบบฟองอากาศจากทางด้านล่างของเบด ความเร็วของอากาศจะช่วยดันให้เบดขยายตัวขึ้นจนกระทั่งอนุภาคอยู่ในภาวะแขวนลอยและหมุนวนอยู่ในกระแสน้ำอย่างสม่ำเสมอ แต่มีอีกส่วนหนึ่งรวมตัวกันแล้วก่อตัวกันเป็นฟองแก๊สลอยขึ้นมาจะทำให้เม็ดของแข็งลอยติดตามฟองแก๊สขึ้นมาด้วย ดังภาพที่ 8

5.2 ปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียนและเบดถ่ายโอน (Circulating fluidized beds and transported bed)

เป็นปฏิกรณ์ที่มีอนุภาคอยู่ในภาวะแขวนลอยหมุนวนอยู่ในกระแสน้ำที่สูงขึ้น จนเบดบางส่วนหลุดออกไป ดังนั้นจึงต้องติดตั้งไซโคลนเพื่อนำอนุภาคกลับมาในขณะที่แก๊สไหลผ่านไซโคลนออกไปทางด้านบนและกลับมาป้อนทางด้านล่างเบดอีกครั้งดังภาพที่ 9



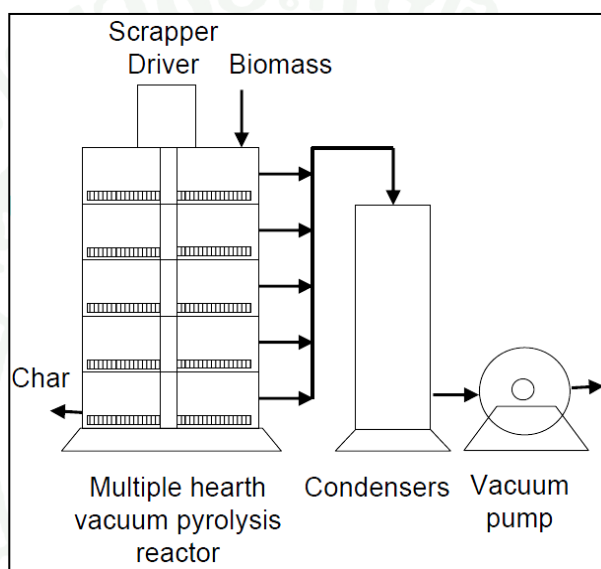
ภาพที่ 8 ปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดแบบฟองอากาศ (Bubbling fluidized - bed reactor)



ภาพที่ 9 ปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียนและเบดถ่ายโอน (Circulating fluidized beds and transported bed)

5.3 ปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสุญญากาศ (Vacuum pyrolysis reactor)

เป็นปฏิกรณ์ที่มีการให้อัตราการถ่ายโอนความร้อนในการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้ในการสลายตัวของชีวมวลภายใต้การลดความดันและใช้เวลาในปฏิกรณ์นาน ซึ่งไม่เหมือนกับการไพโรไลซิสแบบเร็ว อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสลายตัวเป็นไอกับกรณีของการไพโรไลซิสแบบเร็วแล้วจะเกิดได้เร็วเหมือนกัน ดังภาพที่ 10

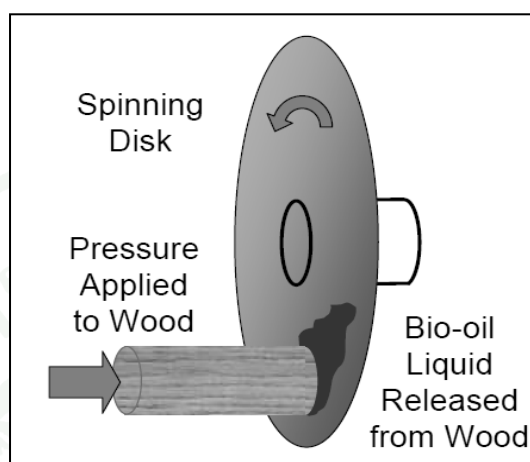


ภาพที่ 10 ปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสุญญากาศ (Vacuum pyrolysis reactor)

5.4 ปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบให้ความร้อนด้วยการเสียดสี (Ablative pyrolysis reactor)

เป็นปฏิกรณ์ที่อาศัยการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่อนุภาคชีวมวลกระทบหรือเคลื่อนที่ไปเสียดสีกับของแข็งซึ่งเป็นแหล่งให้ความร้อน ปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบให้ความร้อนด้วยการเสียดสีแตกต่างกับการไพโรไลซิสแบบเร็วด้วยวิธีอื่นๆ โดยมีการจำกัดอัตราการถ่ายโอนความร้อนของการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งต้องใช้อนุภาคที่มีขนาดเล็ก วิธีการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบให้ความร้อนด้วยการเสียดสีคล้ายกับการหลอมเหลวในกระทะ โดยการเคลื่อนที่ของเนยบนผิวกระทะที่ร้อนสามารถเพิ่มอัตราการหลอมเหลวของเนยได้ การถ่ายโอนความร้อนอย่างรวดเร็ว โดยจุดเด่นของกระบวนการไพโรไลซิสแบบให้ความร้อนด้วยการเสียดสี คือ การให้ความดันสูงในการป้อนอนุภาคชีวมวลบนผนังปฏิกรณ์ที่ร้อนซึ่งจะทำให้เกิดแรงหมุนเหวี่ยงหรือแรง

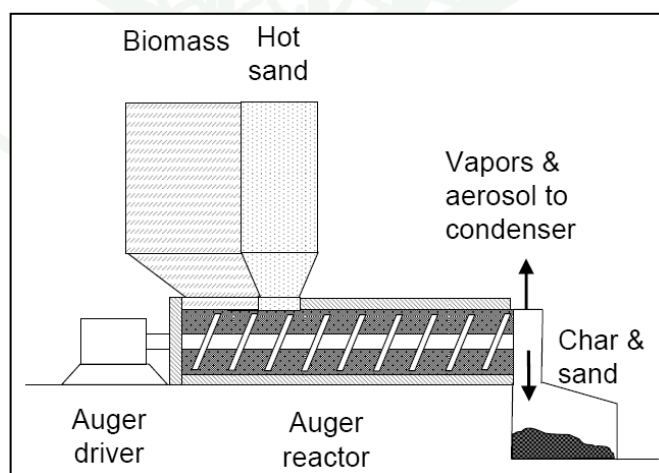
เชิงกล อนุภาคชีวมวลจะเคลื่อนที่ชนและเสียดสีกับผนังปฏิกรณ์ซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงกว่า 600 องศาเซลเซียสเกิดการถ่ายโอนความร้อนได้ดี ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบให้ความร้อนด้วยการเสียดสี (Ablative pyrolysis reactor)

5.5 ปฏิกรณ์แบบสกรู (Auger reactor)

เป็นปฏิกรณ์ที่ไม่ได้ใช้แก๊สเป็นตัวพาและใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียสทำงานแบบต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากปฏิกรณ์จะถูกควบแน่นกลายเป็นน้ำมันชีวมวล ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ปฏิกรณ์แบบสกรู (Auger reactor)

6. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจะได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่คือของเหลวและแก๊ส (Nugranad, 1997) โดยผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของน้ำมันชีวมวล ที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานฟอสซิลได้ หรือที่เรียกกันว่า “น้ำมันชีวมวล” และยังมีชื่อที่เรียกกันในชื่ออื่นๆอีก อาทิ เช่น Pyrolysis oil, Bio crude-oil, Bio-fuel-oil, Liquid smoke, Pyrolysis tar, Pyrolytic acid เป็นต้น (Bridgwater, 2003)

นอกจากจะสามารถใช้แทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในการสร้างกำลังงานและความร้อนในกังหันแก๊ส เครื่องยนต์ดีเซลและหม้อไอน้ำ ยังสามารถกลั่นเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงหรือสารเคมีได้เหมือนอย่างน้ำมันดิบอีกด้วย ส่วนผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแก๊สที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสนั้นสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้เช่นกัน และผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็งที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือนำไปกระตุ้นต่อเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หรือนำมาใช้ในรูปของถ่านชีวมวล (Biochar) เป็นต้น (เกื้ออนันต์, 2547)

เมื่อชีวมวลผ่านกระบวนการไพโรไลซิส จะมีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการระเหยไปของน้ำและสารระเหยรวมทั้งแก๊สต่างๆที่เกิดขึ้นด้วยองค์ประกอบของสารอินทรีย์และอนินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านกายภาพและเคมี ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นผลรวมของการสลายตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (ฉัตรชัย, 2541) โดยองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟและเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้มี 3 ประเภทได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

6.1 ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักเรียกว่าถ่านชาร์สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือผลิตสารเคมีอื่นได้อีก เช่น ถ่านกัมมันต์ แนฟทาลิน แอนทราซีน และสารประกอบไฮยาโนเจนแต่ส่วนใหญ่จะนำมาใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในบ้านเรือนและอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือกลางได้ดี เช่น เป็นเชื้อเพลิงให้หม้อไอน้ำ การเผาอิฐ การอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โรงงานผลิตหินปูนและซีเมนต์หรือใช้ในโรงงานถลุงเหล็กและทองแดง เพราะไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสภาพแวดล้อมจากกลิ่นหรือควันจากพวกสารระเหยและ

สารประกอบพวกไนโตรเจนและกำมะถัน เป็นเชื้อเพลิงชั้นดี เผาไหม้ให้อุณหภูมิสูง ไร้ควัน มีความบริสุทธิ์ของคาร์บอนมากกว่าแกรไฟต์ นอกจากนี้ถ่านชาร์ยังมีความร้อนในตัว วัตถุประสงค์การเกิดปฏิกิริยา และพื้นที่ผิวสัมผัสต่อมวลมาก จึงสามารถใช้เป็นตัวดูดซับได้

6.2 ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว ประกอบด้วยน้ำและสารประกอบที่ละลายน้ำอีกส่วนหนึ่ง จะเป็นน้ำมันทาร์องค์ประกอบของน้ำมันทาร์เป็นสารประกอบที่ซับซ้อนของไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างส่วนมากเป็นพวงวงแหวนแนพทาลินเชื่อมด้วยหมู่เอทิลีนโมเลกุลของน้ำมันทาร์มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนตั้งแต่ $C_5 - C_6$ ประกอบเป็นโครงสร้างของสารเคมีต่างๆ อาจมีมากกว่า 200 ชนิดแบ่งออกได้ตามอุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นเป็น 5 ส่วน ดังนี้

6.2.1 น้ำมันเบา (Light oil) ช่วงอุณหภูมิ < 200 องศาเซลเซียส ได้แก่ เบนซิน เบนโซลีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน ไซลีน

6.2.2 น้ำมันช่วงกลาง (Middle oil) ช่วงอุณหภูมิ $200 - 250$ องศาเซลเซียส ได้แก่ ฟีนอล ไพรีดีน

6.2.3 น้ำมันช่วงหนัก (Heavy oil) ช่วงอุณหภูมิ $250 - 300$ องศาเซลเซียส ได้แก่ ไดเมทิลแนพทาลิน

6.2.4 น้ำมันแอนทราซีน (Antracence) ช่วงอุณหภูมิ $300 - 350$ องศาเซลเซียส ได้แก่ ฟลูออรีน ฟิแนพทีน

6.2.5 พิตช์ (Pitch) ช่วงอุณหภูมิ > 350 องศาเซลเซียส ได้แก่ น้ำมันหนักบางประเภทพวกไข (Red wax) ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากการกลั่น

6.3 ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเป็นของผสมระหว่างแก๊สอินทรีย์และอนินทรีย์ แก๊สอินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และแอมโมเนีย ส่วนแก๊สอินทรีย์

ได้แก่ มีเทน อีเทน เอทิลีน เป็นต้น โดยแก๊สส่วนใหญ่จะเป็นแก๊สไฮโดรเจนและแอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์และมีเทน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงใน กระบวนการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อน หรือการผลิตกระแสไฟฟ้า แก๊สที่เผาไหม้ไม่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ออกซิเจน และสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียใน ปริมาณเล็กน้อย



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือ

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง ดังภาพผนวก ก

1.1.1 เครื่องบดชีวมวลยี่ห้อ Retsth รุ่น SM 2000 โดยบดกากสับุดำผ่านตะแกรงแยกขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการทดลอง โดยขนาดดังกล่าวเป็นขนาดที่มีเหมาะสมต่อเครื่องมือ Two - stage Screw Pyrolyzer ดังภาพผนวกที่ ก1

1.1.2 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (เตาอบ) สำหรับการวิเคราะห์วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต ยี่ห้อ Memmert ดังภาพผนวกที่ ก2

1.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ สำหรับการวิเคราะห์วัตถุดิบตั้งต้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้ ประกอบด้วย เครื่องมือวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนยี่ห้อ TrueSpec[®] CHN เครื่องมือวิเคราะห์กำมะถันยี่ห้อ TrueSpec[®] S และคอมพิวเตอร์ประมวลผล ดังภาพผนวกที่ ก3

1.1.4 เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ สำหรับการวิเคราะห์วัตถุดิบตั้งต้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้ ได้แก่ เตาอบวิเคราะห์ความชื้น เตาเผาสำหรับวิเคราะห์เถ้ายี่ห้อ Griffin & George Limited รุ่น phase 1 no. 8 - 65 - 178 ดังภาพผนวกที่ ก4 (1) และเตาเผาสำหรับวิเคราะห์สารระเหย ยี่ห้อ Carbolite ดังภาพผนวกที่ ก4 (2)

1.1.5 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความร้อน หรือ Bomb Calorimeter สำหรับการวิเคราะห์วัตถุดิบตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความร้อนยี่ห้อ Parr รุ่น 6300, Voltage stabilizer ยี่ห้อ Powercom และ Water recirculation ยี่ห้อ Parr รุ่น 6520 A ดังภาพผนวกที่ ก5

1.1.6 เครื่องกลั่นสลายด้วยไอน้ำ (Evaporator) ยี่ห้อ BÜCHI สำหรับการกลั่นสลายผลิตภัณฑ์เหลวเพื่อแยกน้ำมัน ประกอบด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Rotavapor) รุ่น R - 205 อ่างน้ำร้อน (Heating bath) รุ่น B - 490 เครื่องควบคุมสุญญากาศ (Vacumm controller) รุ่น V - 850 เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacumm pump) รุ่น V - 700 และเครื่องทำความเย็น (Condenser) ยี่ห้อ LAUDA รุ่น ALPHA RA 8 ดังภาพผนวกที่ ก6

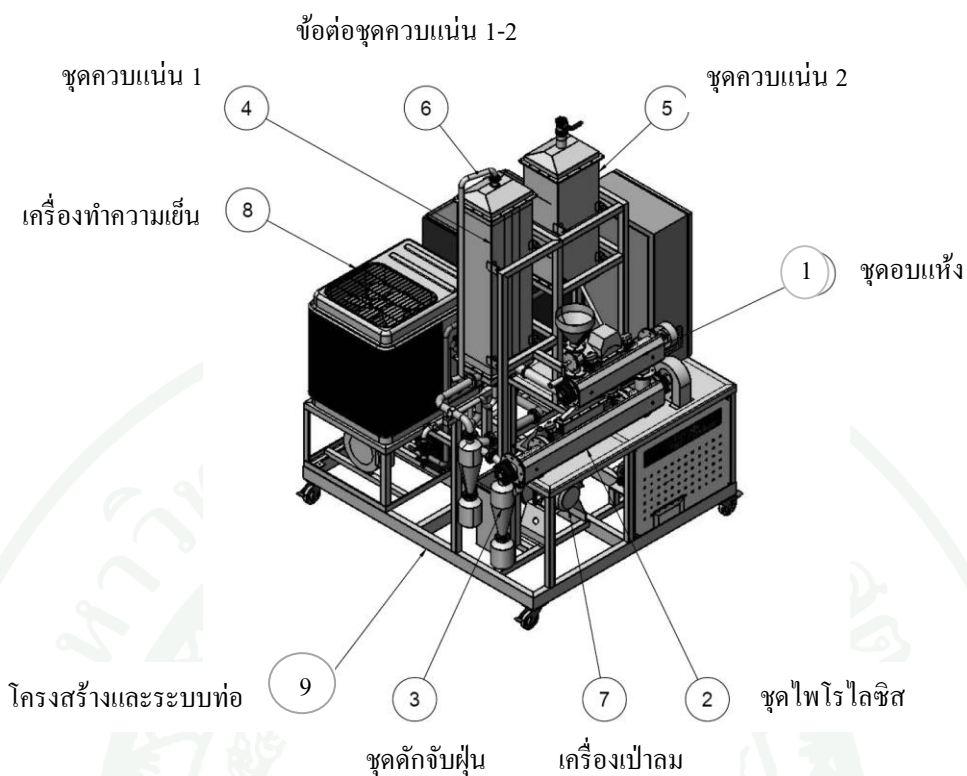
1.1.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (Gas Chromatograph) สำหรับวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ ยี่ห้อ Varian รุ่น 450 – GC ดังภาพผนวกที่ ก7

1.2 ปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

ภาพถ่ายปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน สำหรับการผลิตน้ำมันชีวมวลดังภาพที่ 13 ออกแบบโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และแสดงส่วนประกอบของปฏิกรณ์ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 13 ภาพถ่ายปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน



ภาพที่ 14 ส่วนประกอบอุปกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

1.2.1 ส่วนประกอบอุปกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน มีรายละเอียดดังนี้

หมายเลข 1 ชุดอบแห้ง (Drying set) 1 ชุด

หมายเลข 2 ชุดไพโรไลซิส (Pyrolysis set) 1 ชุด

หมายเลข 3 ชุดดักจับฝุ่น (Cyclone) 2 ชุด

หมายเลข 4 ชุดควบแน่น 1 (Condenser 1) 1 ชุด

หมายเลข 5 ชุดควบแน่น 2 (Condenser 2) 1 ชุด

หมายเลข 6 ข้อต่อชุดควบแน่น 1 - 2 (Joint condenser 1 - 2) 1 ชุด

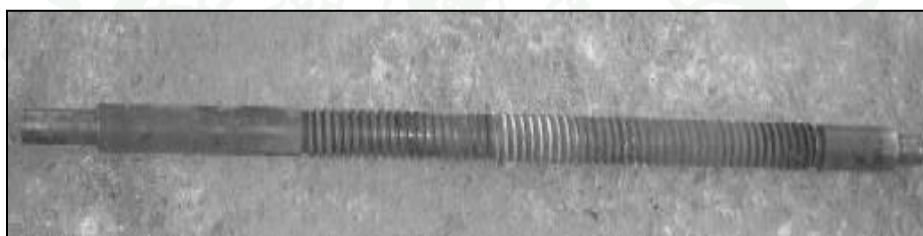
หมายเลข 7 เครื่องเป่าลม (Blower) 1 ชุด

หมายเลข 8 เครื่องทำความเย็น (Chiller unit) 1 ชุด

หมายเลข 9 โครงสร้างและระบบท่อ (Structure support and Piping) 1 ชุด

1.2.2 สกรูชุดไพโรไลซิส

สกรูชุดไพโรไลซิสของปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองชั้นตอนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร และระยะ Pitch 1 เซนติเมตร ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 สกรูชุดไพโรไลซิสของปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองชั้นตอน

1.3 เครื่องมือสำหรับห้องปฏิบัติการ

1.3.1 ถ้วยใส่ตัวอย่าง (Porcelain crucible)

1.3.2 Nickel - chromium alloy crucible + cover

1.3.3 เดซิเคเตอร์ (Desiccator) พร้อมซิลิกาเจลเพื่อดูดความชื้น

1.3.4 คีมจับถ้วย

1.3.5 ที่ตักสาร

1.3.6 บีกเกอร์

1.3.7 ขวดรูปหม้อ

1.3.8 อื่นๆ

2. สารตัวอย่างและสารเคมี

2.1 กากสนู้ดำ

2.2 ไดคลอโรมีเทน (CH_2Cl_2)

2.3 โซเดียมซัลเฟต (NaSO_4)

2.4 White mineral oil

2.5 EDTA

2.6 Residual fuel oil

วิธีการ

1. การเตรียมการทดลอง

1.1 บดคัดแยกขนาดกากสบูดำให้มีความละเอียดไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 กากสบูดำก่อนบด (ซ้าย) และกากสบูดำหลังบด (ขวา)

1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของกากสบูดำตั้งต้น ดังภาคผนวก ข

1.2.1 องค์ประกอบโดยประมาณ (ASTM 3172 – 75)

1.2.2 องค์ประกอบของกากสบูดำแบบแยกธาตุ (ASTM 5373)

1.2.3 วิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันรวม (ASTM 4239)

1.3 วิเคราะห์ค่าความร้อน (ASTM D2015)

2. ดำเนินการทดลอง

2.1 ก่อนการดำเนินการทดลอง

2.1.1 เปิดระบบปฏิบัติการไฟโรไลซิสแบบสกรูสองชั้นตอน

2.1.2 ตรวจสอบการทำงานของสกรู

2.1.3 เปิดระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น 5 องศาเซลเซียส

2.2 การทดสอบชุดอบแห้ง

2.2.1 เปิดเครื่องให้ความร้อนในชุดอบแห้งตามอุณหภูมิที่ต้องการศึกษาที่ 250, 350, 450 หรือ 550 องศาเซลเซียส

2.2.2 เปิดสกรูในชุดอบแห้งความเร็วรอบตามที่ต้องการศึกษาที่ 350, 450, 550 หรือ 650 รอบต่อนาที

2.2.3 เมื่อได้อุณหภูมิของชุดอบแห้งมีตามที่กำหนด นำกากสบู่ดำที่มีขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตรป้อนเข้าสู่ชุดอบแห้ง และทำการเก็บตัวอย่าง

2.2.4 วิเคราะห์สารระเหยของตัวอย่างและปริมาณของเหลวที่ได้จากชุดอบแห้ง

2.2.5 คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 กำหนดเป็นค่าที่ใช้ในการทดลองเพื่อนำมาทำการศึกษาในชุดไพโรไลซิสในขั้นตอนต่อไป

2.3 การทดสอบชุดไพโรไลซิส (ดำเนินการพร้อมกับชุดอบแห้งในสภาวะที่คัดเลือก)

2.3.1 เปิดเครื่องให้ความร้อนในชุดไพโรไลซิส 650 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถดำเนินการได้)

2.3.2 เปิดสกรูในชุดไพโรไลซิสความเร็วรอบตามที่ต้องการศึกษาที่ 800, 1000, 1200 หรือ 1400 รอบต่อนาที

2.3.3 เมื่ออุณหภูมิของชุดอบแห้งและชุดไพโรไลซิสมีค่าตามที่กำหนด นำเอากากสบู่ดำที่มีขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตรป้อนเข้าสู่ชุดอบแห้ง จำนวน 500 กรัมในแต่ละการทดลอง

2.3.4 เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์เหลว ของแข็ง (ผงถ่าน) และแก๊สที่ได้จากการทดลอง

2.4 หลังการดำเนินการทดลอง

2.4.1 เปิดชุดเครื่องเป่าลมเพื่อไล่ควันออกจากเครื่องมือ

2.4.2 ลดอุณหภูมิในชุดอบแห้งและชุดไพโรไลซิสให้ต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส

2.4.3 ปิดระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น เครื่องให้ความร้อน สกรูของทั้งสองชุด

2.4.4 ปิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

3. วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

3.1 ศึกษาร้อยละของผลิตภัณฑ์เหลวที่มากที่สุด

คำนวณหาร้อยละผลผลิต (%Yield) จากสมการ

$$\text{ร้อยละของผลผลิต (\% Yield)} = \frac{\text{ปริมาณผลผลิตที่ได้} \times 100}{\text{ปริมาณที่ใช้ผลิต}}$$

3.2 แยกน้ำมันชีวมวลจากผลิตภัณฑ์เหลวทั้งหมด ด้วยวิธีการกลั่นสลายด้วยไอน้ำ เพื่อตรวจสอบผลิตน้ำมันชีวมวลในสภาวะที่สามารถผลิตปริมาณน้ำมันชีวมวลที่ได้สูงสุด

3.3 วิเคราะห์สมบัติของน้ำมันชีวมวลที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสม

3.3.1 องค์ประกอบของกากสบูดำแบบแยกธาตุ (ASTM D5291)

3.3.2 วิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันรวม (ASTM 4239)

3.3.3 วิเคราะห์หาค่าความร้อน (ASTM D2015)

3.4 วิเคราะห์สมบัติของแข็ง (ผงถ่าน) ที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสม

3.4.1 องค์ประกอบโดยประมาณ (ASTM 3172 – 75)

3.4.2 องค์ประกอบของกากสับุดำแบบแยกธาตุ (ASTM 5373)

3.4.3 วิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันรวม (ASTM 4239)

3.4.4 วิเคราะห์หาค่าความร้อน (ASTM D2015)

3.5 วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatograph)

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

1. สถานที่ทำการวิจัย

สถานที่หลักที่ใช้ทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย ตั้งอยู่ที่ ชั้น 5 อาคารวิจัยและพัฒนา 2 และโรงงานชีวมวล ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 35 หมู่ 3 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

2. ระยะเวลาทำการวิจัย

ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2554 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2555

ผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากสับคั่วโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน โดยผลที่ได้มีรายละเอียดดังนี้

1. สมบัติเบื้องต้นของกากสับคั่ว

1.1 องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate analysis) ของกากสับคั่ว

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของกากสับคั่วที่ใช้ในการทดลองพบว่ากากสับคั่วมีองค์ประกอบของความชื้นร้อยละ 12.423 เถ้าร้อยละ 6.090 สารระเหยร้อยละ 74.352 และคาร์บอนคงตัวร้อยละ 7.135 ดังตารางที่ 9 จากผลวิเคราะห์พบว่าปริมาณค่าความชื้นที่มีอยู่ในกากสับคั่วเกิดการระเหยเมื่อได้รับความร้อนและถูกควบแน่นเป็นน้ำ ปริมาณสารระเหยและคาร์บอนคงตัวเป็นส่วนที่เมื่อได้รับความร้อนเกิดการสลายตัวได้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นน้ำมันชีวมวล และปริมาณของเถ้าแสดงถึงถ่านชาร์และเถ้าที่จะเหลือจากกระบวนการ (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2545)

ตารางที่ 9 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของกากสับคั่ว

ผลวิเคราะห์แบบประมาณ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น (Moisture)	12.423
เถ้า (Ash)	6.090
สารระเหย (Volatiles)	74.352
คาร์บอนคงตัว (Fix carbon)	7.135
รวมทั้งหมด (Total)	100.000

1.2 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) และค่าความร้อน (Heating value) ของกากสับุดำ

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุของกากสับุดำที่ใช้ในการทดลองพบองค์ประกอบของคาร์บอนร้อยละ 42.243 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.570 ไนโตรเจนร้อยละ 5.663 กำมะถันร้อยละ 0.369 ออกซิเจนร้อยละ 45.155 และค่าความร้อนของกากสับุดำมีค่าเท่ากับ 16.438 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 10 จากผลวิเคราะห์พบว่าองค์ประกอบหลักของกากสับุดำมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับชีวมวลชนิดอื่นๆ (Tsai, 2006) รวมไปถึงค่าความร้อนที่มีค่าใกล้เคียงกับชีวมวลชนิดอื่นๆเช่นกัน (Matsumura *et al.*, 2002) นอกจากนี้ในวัตถุดิบกากสับุดำพบปริมาณของกำมะถันน้อยมากเมื่อเทียบกับองค์ประกอบของธาตุอื่นๆ

ตารางที่ 10 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุและค่าความร้อนของกากสับุดำ

ผลวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
คาร์บอน (C)	42.243
ไฮโดรเจน (H)	6.57
ออกซิเจน* (O)	45.155
ไนโตรเจน (N)	5.663
กำมะถัน (S)	0.369
ค่าความร้อน (MJ/kg)	16.438

หมายเหตุ *คำนวณโดยใช้ผลต่าง

2. ความเร็วรอบของสกรูปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองชั้นตอน

ความเร็วรอบของสกรูสามารถบอกถึงระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในช่วงอบแห้งและช่วงไพโรไลซิสได้ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดเป็นน้ำมันชีวมวล โดยระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในสกรูสามารถกำหนดได้จากความเร็วรอบของสกรูที่ต่างกันทั้งในช่วงอบแห้งและช่วงไพโรไลซิส ดังตารางที่ 11 และ 12 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 ความเร็วรอบของสกรูและระยะเวลาที่วัตถุคิบบอยู่ในช่วงอบแห้ง

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	เวลา (นาที)
350	4.50
400	4.00
450	3.50
500	3.00
550	2.50
600	2.00
650	1.50

ตารางที่ 12 ความเร็วรอบของสกรูและระยะเวลาที่วัตถุคิบบอยู่ในช่วงไฟโรไลซิส

ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที)	เวลา (วินาที)
800	7.00
900	7.00
1,000	6.00
1,100	6.00
1,200	5.00
1,300	5.00
1,400	4.00
1,500	4.00

3. ผลของตัวแปรจากปฏิกรณ์ไฟโรไลซิสแบบสกรูสองชั้นต่อง่ายละของผลิตภัณฑ์

การศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ในกระบวนการไฟโรไลซิสจากสมุนไพรประกอบไปด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ ผลของอุณหภูมิในช่วงอบแห้ง (T1) ผลของความเร็วรอบในช่วงอบแห้ง (R1) และผลของความเร็วรอบในช่วงไฟโรไลซิส (R2) โดยกำหนดอุณหภูมิในช่วงไฟโรไลซิส (T2) ที่ 650 องศาเซลเซียสเนื่องด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือสามารถรองรับอุณหภูมิสูงสุดได้ที่อุณหภูมิดังกล่าว

3.1 ผลของอุณหภูมิในช่วงอบแห้ง (T1) ที่ 250 350 450 และ 550 องศาเซลเซียส

กากสับุดำหรือชีวมวลอื่นๆก่อนจะผ่านเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิส ต้องมีการไล่ความชื้นออกมาก่อน ซึ่งยิ่งมีความชื้นมาก ก็จำเป็นต้องใช้พลังงานและเวลามากเพื่อการขับไล่ โดยทำการศึกษาผลของ T1 ที่ 250 350 450 และ 550 องศาเซลเซียส ซึ่ง T1 มีความสัมพันธ์กับเวลาหรือ R1 ดังภาพที่ 17 และจากผลการทดลองพบว่า T1 ที่ 250 องศาเซลเซียส, R1 350 รอบต่อนาที มีร้อยละของสารระเหยเท่ากับ 73.979 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับกากสับุดำตั้งต้นที่มีร้อยละของสารระเหย 74.352 ดังตารางที่ 13 นอกจากนี้ที่ T1 550 องศาเซลเซียส, R1 550 รอบต่อนาที มีร้อยละของสารระเหยอยู่ที่ 67.197 เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับช่วง T1 450 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นช่วงที่เข้าใกล้อุณหภูมิสูงสุดที่ชุดอุปกรณ์อบแห้งจะรองรับได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่า T1 ที่ 350 และ 450 องศาเซลเซียสเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป



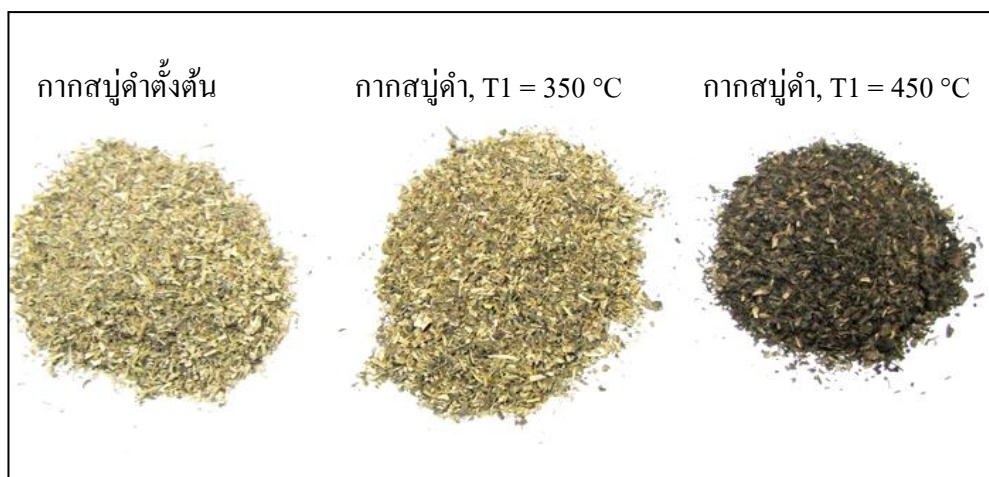
ภาพที่ 17 ร้อยละของผลิตภัณฑ์เหลวจากกากสับุดำที่อุณหภูมิและความเร็วรอบที่ต่างกันในช่วงอบแห้ง

ตารางที่ 13 ผลวิเคราะห์ร้อยละของสารระเหยที่คงอยู่ในกากสบู่ดำที่อุณหภูมิและความเร็วรอบที่ต่างกันในช่วงอบแห้ง

อุณหภูมิ (T1) (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ (R1) (รอบต่อนาที)	เวลา (นาที่)	ร้อยละของสารระเหย
กากสบู่ดำตั้งต้น	-	-	74.352
250	350	4.50	73.979
350	450	3.50	70.160
350	550	2.50	71.495
350	650	1.50	71.773
450	450	3.50	66.000
450	550	2.50	68.763
450	650	1.50	69.058
550	550	2.50	67.197

3.2 ผลของความเร็วยรอบในช่วงอบแห้ง (R1) ที่ 450 550 และ 650 รอบต่อนาที

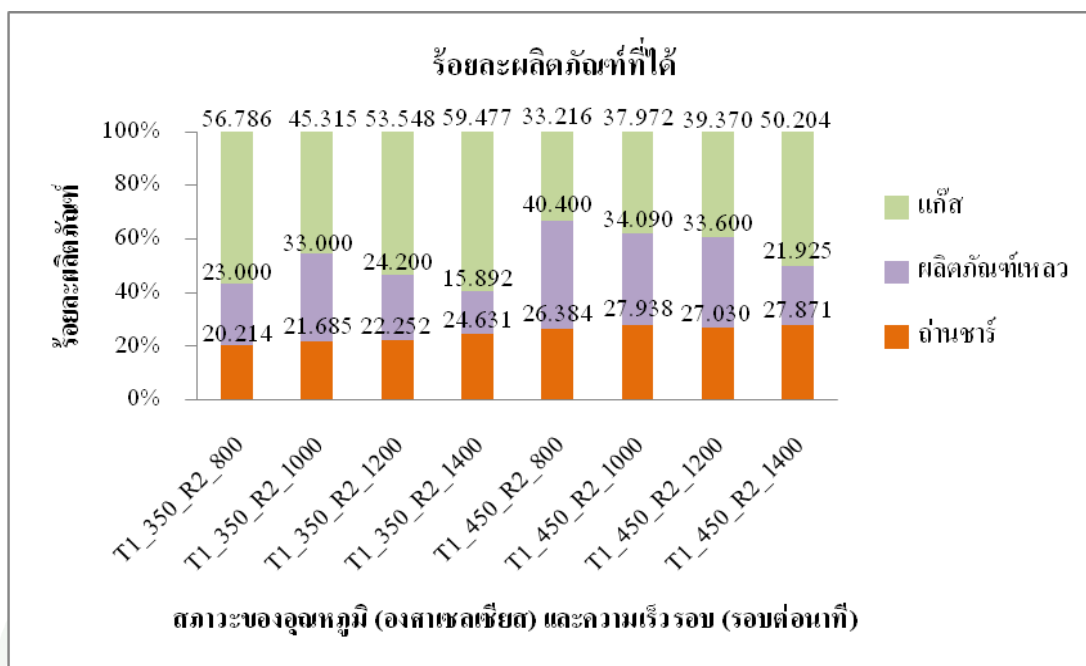
ผลของ R1 มีความสัมพันธ์กับ T1 ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งจากผลการทดลองที่ T1 350 และ 450 องศาเซลเซียส โดยกำหนด R1 ที่ 450 550 และ 650 รอบต่อนาที พบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันเมื่อพิจารณาถึงความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น ร้อยละผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้มีแนวโน้มลดลง โดย T1 ที่ 350 องศาเซลเซียส ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์เหลวน้อยกว่าที่ 450 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 17 และที่ความเร็วรอบเดียวกันเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกากสบู่ดำจะมีสีที่เข้มขึ้นจากการเผาไหม้ดังภาพที่ 18 แต่ T1 ที่ 450 องศาเซลเซียส, R1 450 รอบต่อนาที กากสบู่ดำที่ได้หลังจากช่วงอบแห้งนั้นมีลักษณะภายนอกที่ไหม้ มีร้อยละของสารระเหยเท่ากับ 66.000 สิ่งนี้ที่วัตถุดิบสลายตัวนั้นได้มากกว่าน้ำ จึงเป็นตัวแปรที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาทดลอง นอกจากนี้หากพิจารณาถึงร้อยละของสารระเหยที่คงอยู่ในกากสบู่ดำที่ T1 และ R1 ต่างๆแล้วนั้น สามารถแสดงให้เห็นได้ว่า T1 เป็นตัวแปรที่สำคัญในการทำให้เกิดการระเหยของเหลวมากกว่า R1 ดังตารางที่ 13 ดังนั้นจึงได้เลือกค่า R1 ที่ 550 รอบต่อนาที ซึ่งให้ค่าร้อยละของสารระเหยใกล้เคียงกับเฉลี่ยของร้อยละสารระเหยที่ได้ทำการทดลองจากความเร็วยรอบทั้งหมด



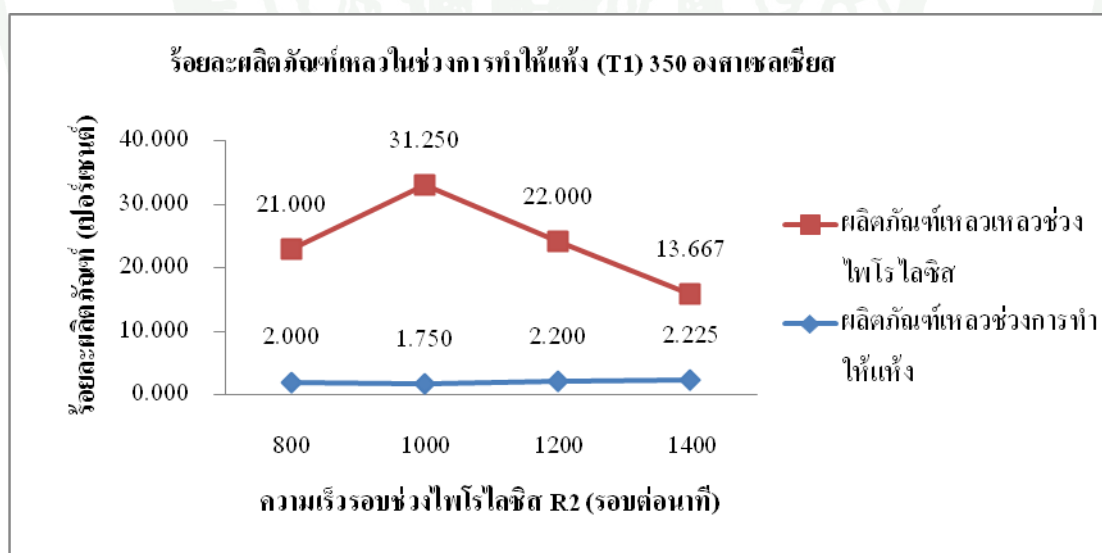
ภาพที่ 18 กากสับุดำตั้งต้นและกากสับุดำในช่วงอบแห้ง

3.3 ผลของความเร็วยอบในช่วงไพโรไลซิส (R2) ที่ 800 1000 1200 และ 1400 รอบต่อ นาที

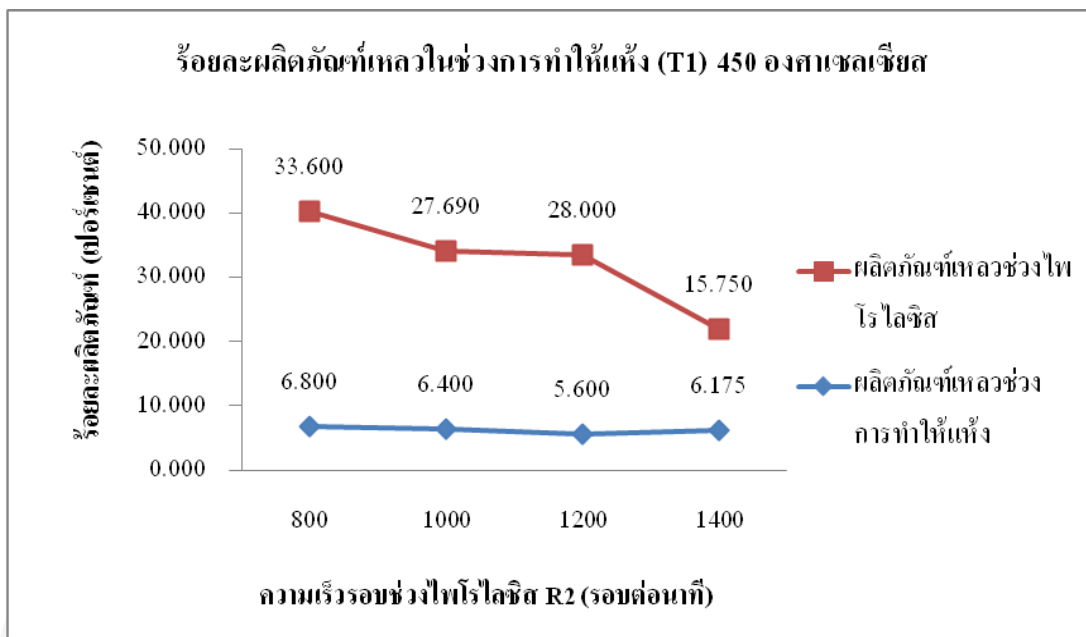
กากสับุดำผ่านการอบแห้งในสถานะที่ T1 และ R1 ต่างๆดังที่ได้ทำการทดลองข้างต้น มีความสัมพันธ์กับ T2 และ R2 ที่จะทำให้ได้ปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์เหลวที่แตกต่างกัน รวมถึงคุณสมบัติของผลผลิตที่แตกต่างกันด้วย การศึกษาในช่วงของการไพโรไลซิสได้กำหนด T1 ที่ 350 และ 450 องศาเซลเซียส ที่ R1 550 รอบต่อนาที และกำหนด T2 ที่ 650 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาตัวแปร R2 เป็นสำคัญ โดยทำการทดลอง R2 ที่ 800 1000 1200 และ 1400 รอบต่อนาที ซึ่งให้ร้อยละผลผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เหลวรวม ถ่านชาร์ และแก๊สที่แตกต่างกันดังภาพที่ 19 และเมื่อพิจารณาถึงผลิตภัณฑ์เหลวในช่วงไพโรไลซิสพบว่าที่ T1 350 องศาเซลเซียส, R2 1000 รอบต่อนาที ให้ผลิตภัณฑ์เหลวสูงสุดที่ร้อยละ 31.250 และที่ T1 450 องศาเซลเซียส, R2 800 รอบต่อนาที ให้ผลิตภัณฑ์เหลวสูงสุดที่ร้อยละ 33.600 ดังภาพที่ 20 และ 21 ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ที่ T1 350 และ 450 องศาเซลเซียส, R1 550 รอบต่อนาที และ T2 650 องศาเซลเซียส, R2 1400 รอบต่อนาที ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์เหลวน้อยที่สุด อีกทั้งยังเป็นของเหลว สีน้ำตาลใส ไม่มีความหนืด ที่มีลักษณะต่างจากผลิตภัณฑ์เหลวในสถานะอื่นๆ จึงไม่ทำการคัดเลือกตัวแปรดังกล่าวมาพิจารณาในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันชีวมวลในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 19 ร้อยละของผลิตภัณฑ์เหลว ถ่านชาร์ และแก๊สที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอนในสภาวะที่แตกต่างกัน



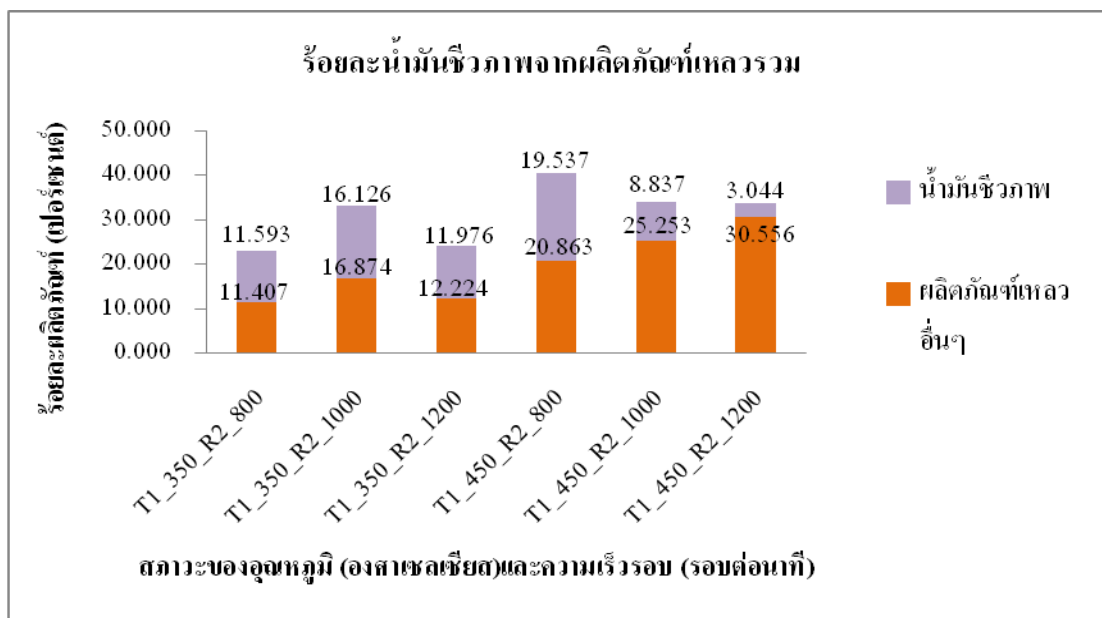
ภาพที่ 20 ร้อยละของผลิตภัณฑ์เหลวจากกากสับคั่วที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาทีในช่วงอบแห้ง และอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 800 1000 1200 และ 1400 รอบต่อนาทีในช่วงไพโรไลซิส



ภาพที่ 21 ร้อยละของผลิตภัณฑ์เหลวจากกากสบู่ดำที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาทีในช่วงอบแห้ง และอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 800 1000 1200 และ 1400 รอบต่อนาทีช่วงไฟโรไลซิส

4. ร้อยละของน้ำมันชีวมวลในผลิตภัณฑ์เหลว

จากการศึกษาร้อยละของน้ำมันชีวมวลที่ได้จากการไฟโรไลซิสจากกากสบู่ดำที่ T1 350 และ 450 องศาเซลเซียส, R1 550 รอบต่อนาทีในช่วงอบแห้ง และ T2 650 องศาเซลเซียส, R2 800 1000 และ 1200 รอบต่อนาที พบว่ามีร้อยละของน้ำมันชีวมวลสูงสุดที่ T1 450 องศาเซลเซียส, R2 800 รอบต่อนาทีในช่วงอบแห้ง โดยร้อยละของน้ำมันชีวมวลรองลงมาอยู่ที่ T1 350 องศาเซลเซียส, R2 1000 รอบต่อนาทีในช่วงอบแห้ง มีร้อยละของน้ำมันชีวมวลอยู่ที่ 19.537 และ 16.126 ตามลำดับ ดังภาพที่ 22 และผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้มีลักษณะขุ่นหนืด เป็นสีดำ ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 22 ร้อยละของน้ำมันชีวมวลในผลิตภัณฑ์เหลวที่ช่วงอุณหภูมิทำให้แห้ง ความเร็วรอบของช่วงอบแห้งและความเร็วรอบช่วงไพโรไลซิสที่สภาวะต่างๆในช่วงไพโรไลซิสอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส



(1)

(2)

ภาพที่ 23 น้ำมันชีวมวลที่ความเร็วรอบช่วงอบแห้ง 550 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิช่วงไพโรไลซิสที่ 650 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ (1) ที่อุณหภูมิช่วงอบแห้ง 350 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

(2) อุณหภูมิช่วงอบแห้ง ที่ 450 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที

5. องค์ประกอบพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ที่ได้

ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไพโรไลซิสของกากสับุดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรู สองขั้นตอนที่นำมาพิจารณาองค์ประกอบ ได้จากการทดลองสองสภาวะ สภาวะที่ 1 ทำการทดลองที่ T1 350 องศาเซลเซียส, R2 1000 รอบต่อนาที และ สภาวะที่ 2 ทำการทดลองที่ T1 450 องศาเซลเซียส, R2 800 รอบต่อนาที

5.1 องค์ประกอบของน้ำมันชีวมวล

5.1.1 ค่าความร้อนของน้ำมันชีวมวล

ค่าความร้อนของน้ำมันชีวมวลที่ได้ นำมาวิเคราะห์ค่าความร้อนได้ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) พบว่า ค่าความร้อนของน้ำมันชีวมวลที่สภาวะที่ 1 และ สภาวะที่ 2 มีค่าความร้อนเท่ากับ 24.878 และ 21.638 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยค่าความร้อนของน้ำมันชีวมวลทั่วไปจะมีค่าความร้อนอยู่ที่ 15 -20 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม (Keith, 2000) แสดงให้เห็นว่าน้ำมันชีวมวลที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสกากสับุดำนั้นให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าน้ำมันชีวมวลทั่วไป

จากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันชีวมวลพบว่าในสภาวะที่ 1 ได้ น้ำมันชีวมวลที่มีค่าความร้อนสูงกว่าค่าความร้อนของน้ำมันชีวมวลจากสภาวะที่ 2 แต่ร้อยละของน้ำมันชีวมวลในสภาวะที่ 1 ที่สามารถผลิตได้ต่อครั้งอยู่ที่ร้อยละ 16.126 โดยสภาวะที่ 2 มีร้อยละของน้ำมันชีวมวลอยู่ที่ 19.537 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงค่าพลังงานความร้อนรวมจากร้อยละน้ำมันชีวมวลที่ได้จากการผลิตต่อครั้ง ในสภาวะที่ 1 สามารถให้ค่าความร้อนได้ 401.183 เมกกะจูล ส่วนในสภาวะที่ 2 นั้นให้ค่าความร้อนได้ 422.742 เมกกะจูล ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนรวมของกากสบู่ดำจากกระบวนการไพโรไลซิสโดยปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอนต่อหนึ่งครั้งการผลิต

สภาวะที่	ค่าความร้อน (เมกกะจูลต่อกิโลกรัม)	ร้อยละของ น้ำมันชีวมวล	ค่าความร้อนรวมต่อหนึ่งครั้ง การผลิต (เมกกะจูล)
1	24.878	16.126	401.183
2	21.638	19.537	422.742

หมายเหตุ สภาวะที่ 1 คือ T1 350 องศาเซลเซียส, R2 1000 รอบต่อนาที
สภาวะที่ 2 คือ T1 450 องศาเซลเซียส, R2 800 รอบต่อนาที

5.1.2 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของน้ำมันชีวมวล

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบแบบแยกธาตุของน้ำมันชีวมวล พบองค์ประกอบของ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และออกซิเจน โดยร้อยละองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนในน้ำมันชีวมวลมีค่าสูงสุดทั้งในสภาวะที่ 1 และสภาวะที่ 2 โดยมีค่าสูงสุดที่ 58.497 และ 46.911 ตามลำดับ ดังตารางที่ 15 โดยปริมาณองค์ประกอบที่ได้นั้นเป็นผลจากองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำมันชีวมวล ที่เกิดจากความแตกต่างในการได้รับความร้อนของชีวมวล ทำให้เกิดการสลายตัวทางด้านเคมีของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินต่างกัน (Antal, 1982) โดยพบของแข็งในน้ำมันชีวมวลที่ได้จากการทดลองสภาวะที่ 1 และสภาวะที่ 2 เป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 0.50 และ 0.41 ตามลำดับ ซึ่งในส่วนประกอบของน้ำมันชีวมวลทั่วไป มีค่าร้อยละโดยน้ำหนักของแข็งในช่วง 0.2 -1 (Boareng *et al.*, 2006)

ตารางที่ 15 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุของน้ำมันชีวมวลจากกระบวนการไพโรไลซิส
ภาคสนามโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

องค์ประกอบ	ร้อยละ โดยน้ำหนัก	
	สถานะที่ 1	สถานะที่ 2
คาร์บอน (C)	58.479	46.911
ไฮโดรเจน (H)	7.483	7.494
ออกซิเจน (O)	31.072	43.302
ไนโตรเจน (N)	2.251	1.816
กำมะถัน (S)	0.715	0.477
รวม	100.000	100.000

หมายเหตุ สถานะที่ 1 คือ T1 350 องศาเซลเซียส, R2 1000 รอบต่อนาที
สถานะที่ 2 คือ T1 450 องศาเซลเซียส, R2 800 รอบต่อนาที

น้ำมันชีวมวลที่ได้จัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ปริมาณไฮโดรเจนและคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันชีวมวลเป็นตัวบอกคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง น้ำมันชีวมวลที่มีปริมาณไฮโดรเจน และคาร์บอนสูงแสดงถึงคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่ดี หรือมีค่าความร้อนสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง โดยการทดลองสถานะที่ 1 ที่ T1 350 องศาเซลเซียส, R1 550 รอบต่อนาทีช่วงอบแห้ง และ T2 650 องศาเซลเซียส, R2 1000 รอบต่อนาทีช่วงไพโรไลซิส มีองค์ประกอบไฮโดรเจนร้อยละ 7.483 คาร์บอนร้อยละ 58.479 ให้ค่าความร้อน 24.878 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และการทดลองสถานะที่ 2 ที่ T1 450 องศาเซลเซียส, R1 550 รอบต่อนาทีช่วงอบแห้ง และ T2 650 องศาเซลเซียส, R2 800 รอบต่อนาทีช่วงไพโรไลซิส มีองค์ประกอบไฮโดรเจนร้อยละ 7.494 คาร์บอนร้อยละ 46.911 มีค่าความร้อนที่ 21.638 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุนี้ยังไม่สามารถบ่งชี้ได้อย่างแน่ชัดว่าน้ำมันชีวมวลที่มีปริมาณคาร์บอนและค่าความร้อนที่สูงนั้นเป็นน้ำมันชีวมวลที่ดี ควรต้องมีการวิเคราะห์ในรายละเอียดเป็นกลุ่มชนิดน้ำมันหรือแต่ละชนิดของธาตุองค์ประกอบจึงจะสามารถยืนยันได้ โดยคุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันชีวมวลที่ได้จากการทดลองแสดงในภาคผนวก ค

นอกจากนี้ การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ว่า ต้องการคุณภาพของผลผลิต ความคุ้มค่า หรือ ประโยชน์ใช้สอย เช่น จะต้องพิจารณาว่าจะเลือกการผลิตตามสภาวะที่ 1 หรือ สภาวะที่ 2 จึงจะบรรลุวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เป็นต้น

5.2 องค์ประกอบพื้นฐานของถ่าน

5.2.1 ค่าความร้อนของถ่าน

ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสถ่านสับดำโดยปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน พบว่า ถ่านที่ผลิตที่สภาวะที่ 1 และสภาวะที่ 2 มีค่าความร้อนเท่ากับ 23.479 และ 24.930 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 16 แสดงให้เห็นว่าการที่อุณหภูมิในช่วงอบแห้ง และอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสถ่านสับดำในสภาวะที่ 2 ซึ่งสูงกว่าในสภาวะที่ 1 ทำให้สารระเหยในถ่านสับดำเกิดการสลายตัวทางความร้อนได้มากกว่า จึงมีสารระเหยเหลืออยู่ในถ่านต่ำ และมีปริมาณของคาร์บอนคงตัวที่สูงกว่า โดยค่าคาร์บอนคงตัวถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบหลักที่ส่งผลต่อความร้อนของถ่าน (Demirbas, 1997) ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 16 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนน้ำมันชีวมวลและถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสถ่านสับดำโดยปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

สภาวะที่	ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	
	น้ำมันชีวมวล	ถ่าน
1	24.878	23.479
2	21.638	24.930

หมายเหตุ สภาวะที่ 1 คือ T1 350 องศาเซลเซียส, R2 1000 รอบต่อนาที
สภาวะที่ 2 คือ T1 450 องศาเซลเซียส, R2 800 รอบต่อนาที

ตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสกากสับ
ค่าโดยปฏิบัติการไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

ผลวิเคราะห์แบบประมาณ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	
	สถานะที่ 1	สถานะที่ 2
ความชื้น (Moisture)	0.000	0.000
เถ้า (Ash)	20.699	21.040
สารระเหย (Volatiles)	22.311	18.880
คาร์บอนคงตัว (Fix carbon)	56.990	60.777
รวมทั้งหมด (Total)	100.000	100.000

หมายเหตุ สถานะที่ 1 คือ T1 350 องศาเซลเซียส, R2 1000 รอบต่อนาที
สถานะที่ 2 คือ T1 450 องศาเซลเซียส, R2 800 รอบต่อนาที

5.2.2 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของถ่าน

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบแบบแยกธาตุในส่วนของถ่านพบว่าในสถานะที่ 1 และสถานะที่ 2 มีร้อยละองค์ประกอบของคาร์บอนที่ 63.364 และ 67.660 ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนของไฮโดรเจนค่อนข้างคงที่เฉลี่ย 2.645 ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุของถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสจากสับุดำ โดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

องค์ประกอบ	ร้อยละ โดยน้ำหนัก	
	สถานะที่ 1	สถานะที่ 2
คาร์บอน (C)	63.364	67.660
ไฮโดรเจน (H)	2.860	2.430
ออกซิเจน (O)	29.290	24.952
ไนโตรเจน (N)	4.195	4.695
กำมะถัน (S)	0.291	0.263
รวม	100.000	100.000

หมายเหตุ สถานะที่ 1 คือ T1 350 องศาเซลเซียส, R2 1000 รอบต่อนาที
สถานะที่ 2 คือ T1 450 องศาเซลเซียส, R2 800 รอบต่อนาที

ถ่านเป็นผลผลิตรองที่ได้จากการทดลองที่มีค่าสารระเหยและคาร์บอนคงตัวที่แปรผกผันต่อกัน โดยค่าความร้อนที่สูงแสดงคุณสมบัติเป็นถ่านที่ดี เนื่องจากค่าไฮโดรเจนค่อนข้างคงที่ จึงมีเพียงค่าคาร์บอนที่มีผลโดยตรงต่อค่าความร้อน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับองค์ประกอบคาร์บอน โดยถ่านที่ได้จากการผลิตในสถานะที่ 1 มีองค์ประกอบคาร์บอนร้อยละ 63.364 ให้ค่าความร้อน 23.479 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และ ถ่านที่ได้จากการผลิตในสถานะที่ 2 มีองค์ประกอบคาร์บอนร้อยละ 67.660 มีค่าความร้อนที่ 24.930 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม

ผลิตภัณฑ์ถ่านที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในบ้านเรือนและอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือกลางได้ เช่น เป็นเชื้อเพลิงให้หม้อไอน้ำ การเผาอิฐ การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โรงงานผลิตหินปูนและซีเมนต์หรือใช้ในโรงงานหลอมเหล็กและทองแดงเพราะไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสภาพแวดล้อมจากกลิ่นหรือควันจากพวกสารระเหย นอกจากนี้ถ่านยังมีความพรุนในตัว ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา และพื้นที่ผิวสัมผัสต่อมวล จึงสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับได้

5.3 องค์ประกอบของแก๊สที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสกากสับุดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

องค์ประกอบของแก๊สที่ได้จากการทดลองทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าในสภาวะที่ 1 และ สภาวะที่ 2 มีร้อยละองค์ประกอบของแก๊สที่ได้ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลวิเคราะห์ร้อยละองค์ประกอบของแก๊สจากกระบวนการไพโรไลซิสกากสับุดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอน

สภาวะที่	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	H ₂	CO	CO ₂	Other
1	3.960	0.990	0.484	0.465	12.455	4.709	76.947
2	3.759	0.909	0.474	0.684	11.252	4.755	78.167

หมายเหตุ สภาวะที่ 1 คือ T1 350 องศาเซลเซียส, R2 1000 รอบต่อนาที
สภาวะที่ 2 คือ T1 450 องศาเซลเซียส, R2 800 รอบต่อนาที

วิธีทดลองทั้งในสภาวะที่ 1 และสภาวะที่ 2 ให้ความร้อนช่วงไพโรไลซิสเท่ากับ 650 องศาเซลเซียส ต่างกันที่อุณหภูมิในช่วงอบแห้ง ซึ่งองค์ประกอบของแก๊สที่ได้เป็นของผสมระหว่างแก๊สอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยแก๊สอินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ส่วนแก๊สอนินทรีย์ ได้แก่ มีเทน เอทิลีน และอีเทน ที่สามารถนำไปใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนหรือการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ (Xianwen *et al.*, 2000) โดยองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจากกากสับุดำมีองค์ประกอบของแก๊สโดยเฉลี่ย คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 11.854 คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 4.732 ไฮโดรเจนร้อยละ 0.575 มีเทนร้อยละ 3.860 เอทิลีนร้อยละ 0.950 และอีเทนร้อยละ 0.479

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการศึกษารผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากสบู่ดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสอง
ขั้นตอนสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันชีวมวลที่ให้ค่าความร้อนสูง คือ อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาทีในช่วงอบแห้ง และอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาทีในช่วงไพโรไลซิส ค่าความร้อนของน้ำมันชีวมวลที่ได้มีค่า 24.878 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม

2. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันชีวมวลที่มีร้อยละของผลผลิตสูง คือ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาทีในช่วงอบแห้ง และอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาทีในช่วงไพโรไลซิส ได้น้ำมันชีวมวลร้อยละ 19.537

ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงระบบการควบคุมแน่นของปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำมันชีวมวลได้
2. ปฏิกรณ์ไพโรไลซิสควรทำการเปิดเครื่องมือเพื่อการอุ่นเครื่องในระยะเวลาที่เท่ากันทุกครั้งก่อนการผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณและคุณสมบัติของผลผลิตตามที่ต้องการ
3. วัตถุดิบชีวมวลที่เลือกใช้ควรมีขนาดและความแข็งที่เหมาะสมต่อการนำเข้าสู่ปฏิกรณ์ไพโรไลซิส หากวัตถุดิบมีขนาดใหญ่หรือมีความแข็งมากเกินไปเครื่องมืออาจติดขัดหรือไม่สามารถทำงานได้
4. ถ่านที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นตัวดูดซับหรือทำเป็นถ่านกัมมันต์ อีกทั้งยังนำไปปรับสภาพดินให้ร่วนซุย มีความพรุนถ่ายเทอากาศได้ดี หรือนำไปขึ้นรูปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงแข็งได้
5. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณแก๊สที่เป็นผลพลอยได้จากปฏิกรณ์ไพโรไลซิสเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ประโยชน์จากแก๊สให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
6. นำชีวมวลชนิดอื่นๆมาทำการทดลองผลิตน้ำมันชีวมวลและเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลจากการทดลองในงานวิจัยนี้
7. ควรมีการศึกษาและส่งเสริมด้านการใช้พลังงานทางเลือกอย่างจริงจังเพื่อผลักดันให้ใช้ประโยชน์น้ำมันจากชีวมวลได้จริง
8. ข้อมูลจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการพัฒนาพลังงานทางเลือกจากชีวมวลได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2555. พ.ร.บ. กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมลพิษ.
แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_envi.html, 3 กรกฎาคม 2555.
- กระทรวงพลังงาน. 2554. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555 - 2564). แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>, 9 สิงหาคม 2555.
- กิริติณัฐ์ ธนกิจธรรมกุล. 2553. การผลิตน้ำมันชีวมวลจากฟางข้าวโดยไฟโรไลซิสแบบเร็ว.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกยูร ดวงอุปมา และอดิศักดิ์ ปัตติยะ. 2555. สมบัติของไบโอออยล์และถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการไฟโรไลซิสแบบเร็วของใบอ้อย. น. RE - 49 (1 - 7). ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม.
- เกษม จันท์แก้ว. 2547. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 6. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกื้ออนันต์ เตชะโต. 2547. ไบโอออยล์. แปลและเรียบเรียงจากวารสาร Renewable Energy World May - June 2004. แหล่งที่มา: www2.dede.go.th/bhrd/Download/DocOther/articles/ไบโอออยล์.pdf, 8 ธันวาคม 2553.
- ฉัตรชัย ธนศรีสุข. 2541. การกำจัดกำมะถันจากถ่านหินโดยไฟโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์. 2547. การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิดซ์เบดแบบหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชูศักดิ์ โทกษานุทรานนท์. 2536. การคาร์บอนไนซ์เกลบในฟลูอิดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนิฎา ฤกษ์หิรัญโชติ, ศุภนันท์ โชคเสงตระกูล และอภิญา ดวงจันทร์. 2550. น้ำมันชีวมวลจากการสลายมวลชีวภาพประเภทหญ้าคาด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤมล ชูบัวทอง. 2550. ผลขององค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลต่อไพโรไลซิสและการเผาไหม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มูลนิธิพลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2552. ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง. แหล่งที่มา: <http://www.efe.or.th>, 9 กรกฎาคม 2555.

ระพีพันธ์ ภาสบุตร, สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์, ไพจิตร จันทร์วงศ์, วีระศักดิ์ อนันบุตร, มาลี ประภาวัต, วิไล กาญจนภูมิ และอรวรรณ หวังดีธรรม. 2525. การใช้น้ำมันสบูดำดินเครื่องยนต์ดีเซล. แหล่งที่มา: <http://www.doa.go.th>, 3 กรกฎาคม 2555.

วิทยา บัณฑิตสุวรรณ. 2550. ไพโรไลซิสของเมล็ดสบูดำ. ใน รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 (สาขาวิทยาศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล. 2545. การส่งเสริมการใช้พลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย. แหล่งที่มา: <http://charcoal.snmcenter.com>, 20 กันยายน 2554.

ศรายุทธ ชาเสน, นุชิตา สุวแพทย์ และอดิศักดิ์ ปัตติยะ. 2555. ผลของอุณหภูมิต่อผลได้และสมบัติของไบโอออยล์จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วโดยใช้กากสบูดำในเตาปฏิกรณ์แบบตกลอิสระ. น. RE - 53 (1 - 6). ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม.

สุพจน์ แหวนเพชร. 2552. การผลิตน้ำมันชีวมวลจากผักตบชวาโดยไพโรไลซิสแบบเร็ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. การใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่างปี 2551 – 2552.

แหล่งที่มา: www.aoe.go.th, 3 กรกฎาคม 2555.

อรัญ หันพงศ์กิตติกุล. 2552. ป่าลมน้ำมัน: พืชพลังงาน หรือ พืชอาหาร ?. ใน รายงานการประชุม
 ประชามติวิจัย ฉบับที่ 82 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. สงขลา.

อุตสาห์ บุญบำรุง. 2546. พลังงานชีวมวล. แหล่งพลังงานสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

Alicia, P.G. 2007. **Green Energy**. Available Source:

http://www.research.uky.edu/odyssey/winter07/green_energy.html, May 23, 2012.

Antal Jr. M.J. 1982. Biomass Pyrolysis: A Review of Literature Part 1 - Carbohydrate Pyrolysis.
 Part 2 - Lignocellulose Pyrolysis. **Advance in Solar Energy**, 1982.

Asadullah M., Rahman M.A., Ali M.M., Rahman M.S. and Motin M.A. 2007. Production of bio
 - oil from fixed pyrolysis of bagasse. **Fuel** 86: 2514 - 2520.

Dermibas A. 1997. Calculation of higher heating values of biomass fuels. **Fuel** 76: 431 - 434.

Boateng A.A., Jung H.G. and Alder P.R. 2006 . Pyrolysis of energy crops including
 alfalfastems, reed canarygrass. **Fuel** 85: 2450 - 2457.

Bridge S.A. and Bridgwater A.V. 1991. Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilization.
Elsevier Applied Science 11.

Bridgwater A.V., 2003. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass.
Chemical Engineering Journal 91: 87 - 102.

Jale, Y., Christoph K., Mehmet S. and Mithat Y. 2007. Fast pyrolysis of agricultural waste:
 Characterization of pyrolysis product. **Fuel Processing Technology** 88: 942 - 947.

Jones J.L. 1978. Converting Solid Wastes and Residue to Fuel. **Chemical Engineering Journal** 2.

Jung S.H. Kang B.S. and Kim J.S. 2008. Production of Bio - oil from rice straw and bamboo sawdust under various reaction conditions in a fast pyrolysis plant equipped with a fluidized bed and a char separation system. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** 82: 240 - 247.

Keith O. 2000. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy** 19: 1 - 15.

Knabner I. K. 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as input to soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry** 34: 139 - 162.

Kohan S.M. and Barkhordor P.M. 1979. Misstion Analysis for Federal fuels from Biomass program, Product of oil and char Pyrolysis of wood. **Thermochemical Conversion of Biomass to Fuels and Chemistry** 4.

Lee K.H., Kang B.S., Park Y.K. and Kim JS. 2005. Influence of reaction temperature, pre-treatment and a char removal system on the production of Bio - oil from rice straw by fast pyrolysis, using a fluidized bed. **Energy & Fuels** 19: 2179 - 2184.

Lu Q., Yang X.L. and Zhu X.F. 2008. Analysis on chemical and properties of Bio - oil pyrolyzed from rice husk. **Journal Analytical and Applied Pyrolysis** 82: 191 - 198.

Matsumura Y. and Yokoyama S. 2008. **The Asian Biomass Handbook**. The Japan Insitute of Energy, Japan.

Nugranad, N. 1997. **Pyrolysis of biomass**. Ph. D. Dissertation, University of Leeds., Leeds.

Ogi T., 2002. **Biomass Handbook**. Japan Instiute of Ed., Japan.

- Olofsson I., Nordin A. and Soderlind U. 2005. Initial review and evaluation of process technologies and systems suitable for cost-efficient medium-scale gasification for biomass to liquids fuels. **ETPC Report**.
- Tanaka H., Putalun W., Tsuzaki C., Shoyama Y., Seebauer V., Perek J. and Stadinger G. 1997. Effects of particle size, heating rate and pressure on measurement of pyrolysis kinetics by thermogravimetric analysis. **Fuel** 76: 1277 - 1282.
- Tsai W.T., Lee M.K., and Chang Y.M. 2006. Fast pyrolysis of rice straw, sugarcane bagasse and coconut shell in an induction-heating reactor. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** 76: 230 - 237.
- Worasuwannarak N., Sonobe T. and Tanthpanichakoon W. 2007. Pyrolysis behavior of rice straw, rice husk and corncob by TG-MS technique. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 78: 265 - 271.
- Xianwen D., Chuangzhi W., Haibin Li, and Yong C. 2000. The Fast Pyrolysis of Biomass in CFB Reactor. **Energy Fuels** 14: 552 – 557.
- Zanzi R., Sjoström K. and Bjornbom E. 1996. Rapid high-temperature pyrolysis of biomass in a free-fall reactor. **Fuel** 75: 545 - 550.
- Zheng J.L., Yi W.M. and Wang N. 2008. Bio - oil production from cotton stalk. **Energy Conversion and Management** 49: 172 - 1730.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องบดชีวมวล

เครื่องบดชีวมวลยี่ห้อ Retsth รุ่น SM 2000 ดังภาพผนวกที่ ก1



ภาพผนวกที่ ก1 เครื่องบดชีวมวล

2. เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (เตาอบ) ดังภาพผนวกที่ ก2



ภาพผนวกที่ ก2 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (เตาอบ)

3. เครื่องมือวิเคราะห์ห้องค์ประกอบแบบแยกธาตุ

ประกอบด้วย เครื่องมือวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนยี่ห้อ TrueSpec[®] CHN เครื่องมือวิเคราะห์กำมะถันยี่ห้อ TrueSpec[®] S และคอมพิวเตอร์ประมวลผล ดังภาพผนวกที่ ก3



ภาพผนวกที่ ก3 เครื่องมือวิเคราะห์ห้องค์ประกอบแบบแยกธาตุ

4. เครื่องมือวิเคราะห์ห้องค์ประกอบแบบประมาณ

4.1 เตาเผาสำหรับวิเคราะห์ถ้ำยี่ห้อ Griffin & George Limited รุ่น phase 1 no. 8 - 65 - 178
ดั่งภาพผนวกที่ ก4 (1)

4.2 เตาเผาสำหรับวิเคราะห์สารระเหย ยี่ห้อ Carbolite ดั่งภาพผนวกที่ ก4 (2)



(1)



(2)

ภาพผนวกที่ ก4 (1) เตาเผาสำหรับวิเคราะห์ถ้ำยี่ห้อ

(2) เตาเผาสำหรับวิเคราะห์สารระเหย

5. เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความร้อน

ประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความร้อนยี่ห้อ Parr รุ่น 6300, Voltage stabilizer ยี่ห้อ Powercom และ Water recirculation ยี่ห้อ Parr รุ่น 6520 A ดังภาพผนวกที่ ก5



ภาพผนวกที่ ก5 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความร้อน

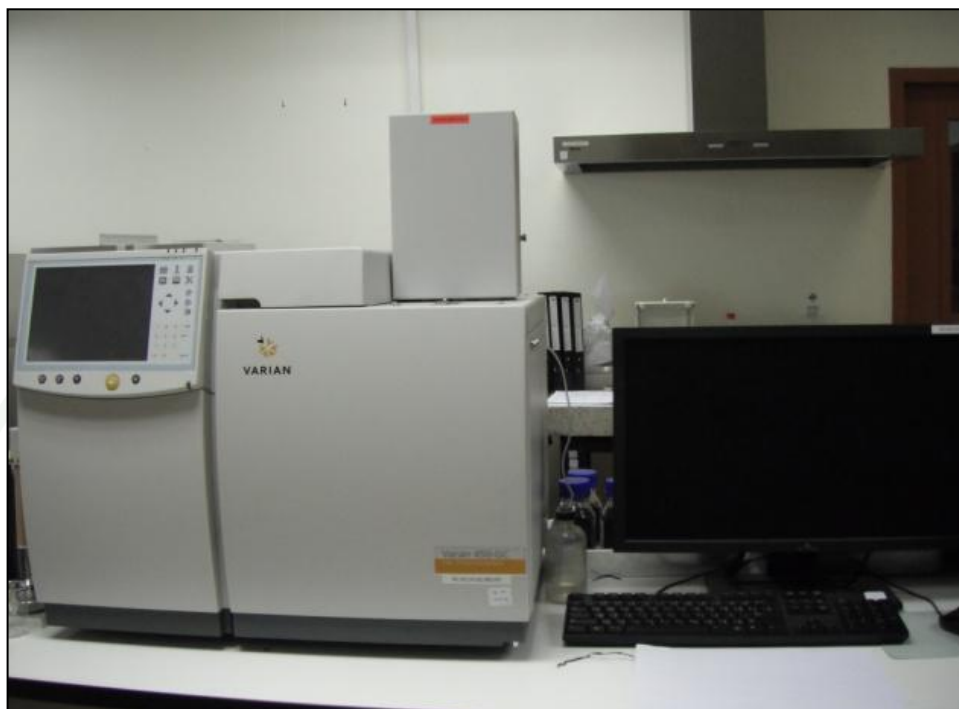
6. เครื่องกลั่นสลายด้วยไอน้ำ

ยี่ห้อ BÜCHI สำหรับการกลั่นสลายผลิตภัณฑ์เหลวเพื่อแยกน้ำมัน ประกอบด้วยเครื่อง หมุนเหวี่ยง (Rotavapor) รุ่น R - 205 อ่างน้ำร้อน (Heating bath) รุ่น B - 490 เครื่องควบคุม สูญญากาศ (Vacumm controller) รุ่น V - 850 เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacumm pump) รุ่น V - 700 และเครื่องทำความเย็น (Condenser) ยี่ห้อ LAUDA รุ่น ALPHA RA 8 ดังภาพผนวกที่ ก6



ภาพผนวกที่ ก6 เครื่องกลั่นสลายด้วยไอน้ำ

7. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ยี่ห้อ Varian รุ่น 450 – GC ดังภาพผนวกที่ ก7



ภาพผนวกที่ ก7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ



ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของชีวมวล

การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis)

1. ความชื้น (Moisture): ASTM D3173

1.1 วิธีการทดลอง

1.1.1 อบด้วยไฟตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 - 30 นาที จากนั้นนำเข้าเตาเคเตอร์ เพื่อให้เย็นเป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักบันทึกผล

1.1.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถ้วยใส่ตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

1.1.3 อบตัวอย่างพร้อมถ้วยใส่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา ประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักตัวอย่างที่คงที่

1.1.4 นำถ้วยใส่ตัวอย่างออกจากเตาอบและทำให้เย็นในเตาเคเตอร์ เป็นเวลา 30 นาที บันทึกผล

1.2 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

เมื่อ M = ร้อยละของความชื้น

W_1 = น้ำหนักถ้วยใส่ตัวอย่างกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักถ้วยใส่ตัวอย่างกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นหลังอบ (กรัม)

$W =$ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

2. เถ้า (Ash): ASTM D3174

2.1 วิธีการทดลอง

2.1.1 อบด้วยไฟตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 - 30 นาที จากนั้นนำเข้าเตาเคเตอร์ เพื่อให้เย็นเป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักบันทึกผล

2.1.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถ้วยใส่ตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

2.1.3 นำไปเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

2.1.4 นำออกจากเตาเผาวางทิ้งไว้ให้เย็นนำเข้าในเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก บันทึกผล

2.2 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

เมื่อ $A =$ ร้อยละของเถ้า

$W_3 =$ น้ำหนักของครุชิลพร้อมฝาที่มีเถ้า (กรัม)

$W_4 =$ น้ำหนักของครุชิลพร้อมฝา (กรัม)

$W =$ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

3. ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter): ASTM D3175

3.1 วิธีการทดลอง

3.1.1 อบครุชิลเบลพร้อมฝา (Nickel - chromium alloy crucible + cover) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 - 30 นาที จากนั้นนำเข้าเตาเคเตอร์ เพื่อให้เย็นเป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักบันทึกผล

3.1.2 ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ลงในครุชิลเบลที่ทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

3.1.3 เผาตัวอย่างในครุชิลเบลที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียสในเตาเผาเป็นเวลา 40 นาที (หรือเมื่ออุณหภูมิถึง 950 องศาเซลเซียส)

3.1.4 นำครุชิลเบลออกจากเตาเผาวางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผล

3.2 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย

W_5 = น้ำหนักของครุชิลเบลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

W_6 = น้ำหนักของครุชิลเบลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

M = ร้อยละความชื้น

4. ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

สูตรที่ใช้การคำนวณ

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

เมื่อ M = ร้อยละความชื้น

A = ร้อยละของเถ้า

V = ร้อยละของสารระเหย





ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันชีวมวล

ภาคผนวก ค

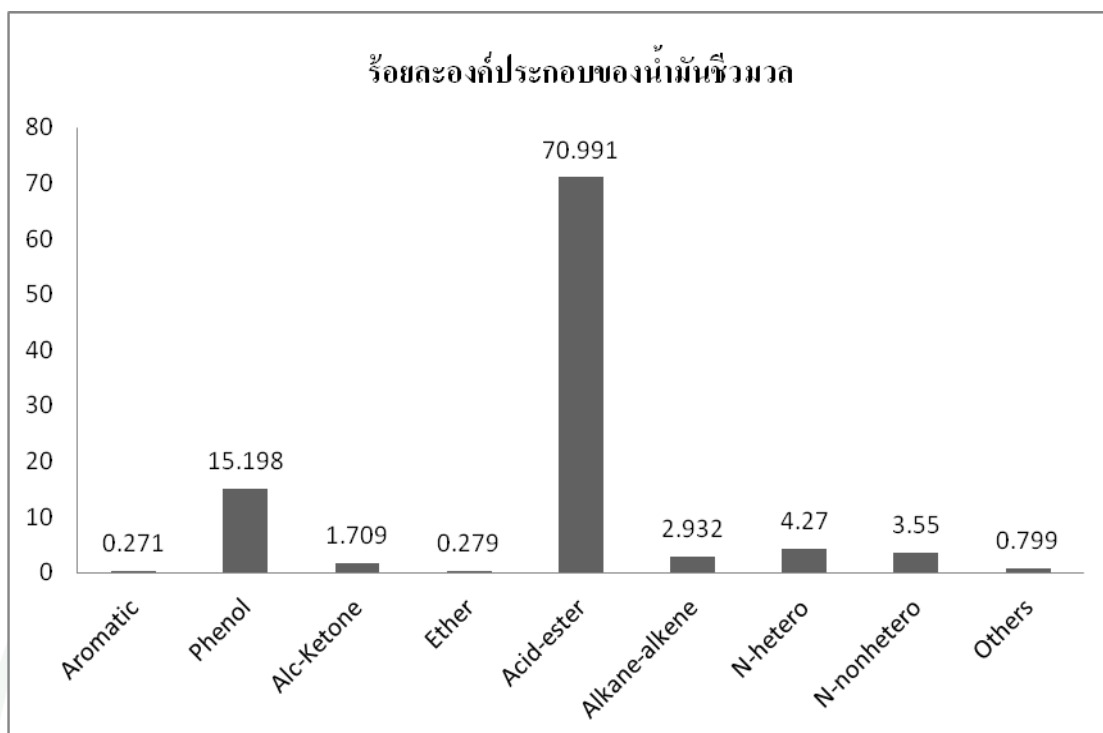
ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันชีวมวล

จากการทดลองผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากสบู่ดำโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบสกรูสองขั้นตอนที่อุณหภูมิช่วงอบแห้ง 350 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาที อุณหภูมิช่วงไพโรไลซิส 650 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที และอุณหภูมิช่วงอบแห้ง 450 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาที อุณหภูมิช่วงไพโรไลซิส 650 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันชีวมวล ร้อยละองค์ประกอบของน้ำมันชีวมวล และองค์ประกอบของน้ำมันชีวมวล ดังตารางผนวกที่ 1 ภาพผนวกที่ ค1 และภาพผนวกที่ ค2 ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันชีวมวล

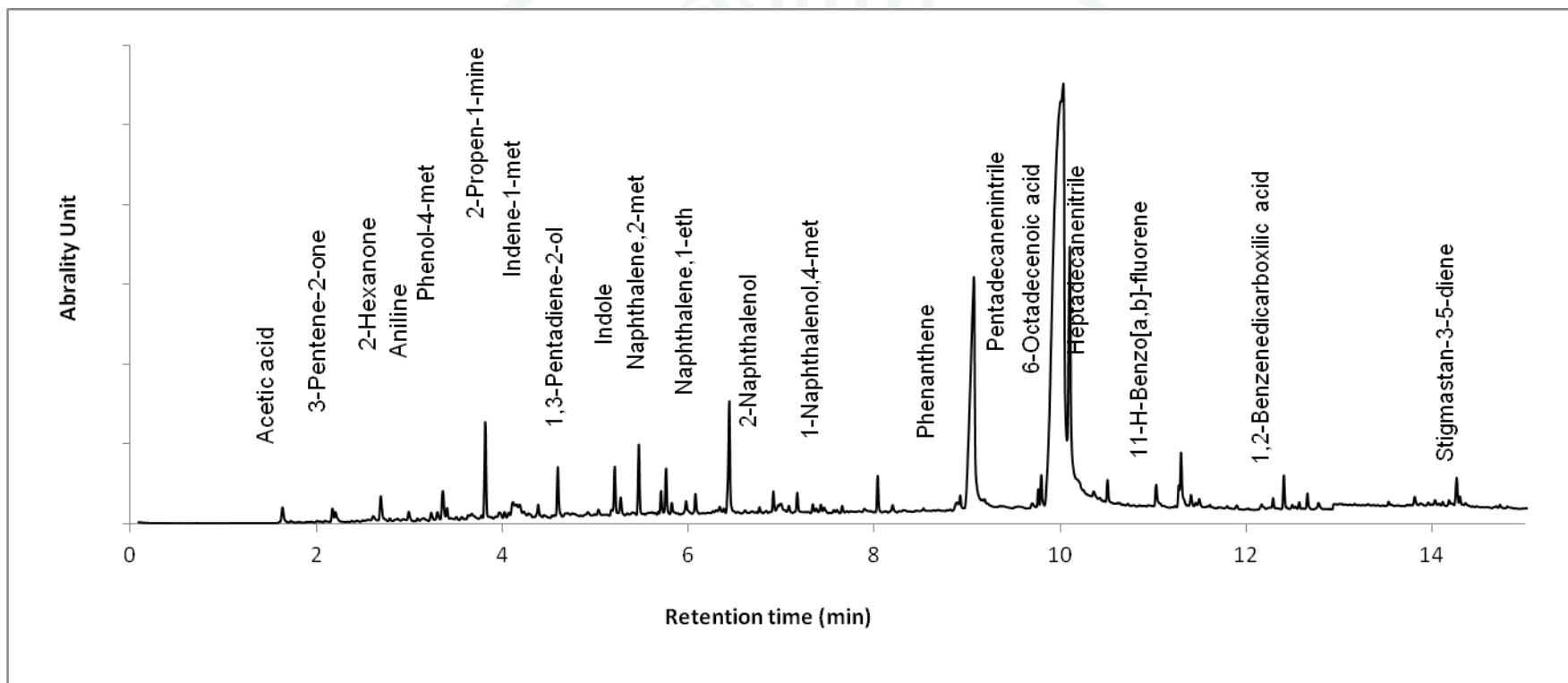
Properties	Conditions			
	Dry - 350°C 550 rpm, Pyrolysis - 650°C 1000 rpm		Dry - 450°C 550 rpm, Pyrolysis - 650°C 800 rpm	
	Light Phase	Heavy Phase	Light Phase	Heavy Phase
Density at 15 °C (g/cm ³)	1.07	1.13	1.09	1.12
Water content (wt%)	73.7	7.2	63.4	5.0
Acidity (mg KOH/g oil)	26.64	9.67	19.47	9.57
Viscosity at 40 °C (cP)	N/A	1981.88	N/A	1036.56
pH value	9.02	8.74	8.93	9.31

หมายเหตุ ผลวิเคราะห์จาก NSTDA/MTEC



ภาพผนวกที่ ๑1 ร้อยละองค์ประกอบของน้ำมันชีวมวล

หมายเหตุ ผลวิเคราะห์จาก NSTDA/MTEC



ภาพผนวกที่ ค2 องค์ประกอบของน้ำมันซีมวล

หมายเหตุ ผลวิเคราะห์จาก AIST, Japan

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวพรรณภา สมเชื้อเวียง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	12 ตุลาคม 2531
สถานที่เกิด	39/96 หมู่บ้านพิพรพงษ์ 2 ซอยวิภาวดีรังสิต 84 ถนน วิภาวดีรังสิต แขวงสนามบึง เขตดอนเมือง จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)