



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากไขมันภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง

Bio-oil Production from Grease Wastes under High Pressure and Temperature

นางสาววิลาสินี พรหมศิลา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อภิญญา ดวงจันทร์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุจินดา กรรณสูตร, ป.ร.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ธเนศ อุทิศธรรม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อุณาโลม เวทย์วัฒนะ, Ph.D.)

รักษาราชการแทน
หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากไขมันภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง

Bio-oil Production from Grease Wastes under High Pressure and Temperature

โดย

นางสาววิลาสินี พรหมศิลา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรุ่งสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. ๒๕๕๕

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิลาสินี พรหมศิลา 2555: การผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากไขมันภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: รองศาสตราจารย์อภิญญา ดวงจันทร์, Ph.D. 65 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการนำกากไขมันมาผลิตเป็นน้ำมันชีวมวลภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง โดยการนำกากไขมันที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 80 มาทำปฏิกิริยาในปฏิกรณ์ขนาด 0.5 ลิตร โดยทำการศึกษาผลของความดันสุดท้ายโดยการเติมกากไขมัน 25, 50, 100 และ 150 กรัม ที่ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ ซึ่งทำให้ความดันสุดท้ายภายในปฏิกรณ์เมื่ออุณหภูมิภายในปฏิกรณ์สูงขึ้นเป็น 420 องศาเซลเซียส มีค่า 74.46, 119.97, 210.98 และ 234.42 บาร์ ตามลำดับ และภายหลังจากที่อุณหภูมิภายในปฏิกรณ์ถึง 420 องศาเซลเซียสแล้ว ให้เวลาในการทำปฏิกิริยา (หน่วยเวลา) ที่อุณหภูมิและความดันนั้นๆ ไว้อีก 30, 60 และ 90 นาที พบว่า เมื่อความดันสุดท้ายเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมันชีวมวลเพิ่มขึ้น ส่วนก๊าซ และถ่านคาร์บอนลดลง เช่นเดียวกับคุณภาพของน้ำมันชีวมวลที่ดีขึ้นเมื่อความดันสุดท้ายเพิ่มขึ้นคือ ค่า H/C และค่าความร้อนเพิ่มขึ้น ส่วน O/C ลดลง เวลาในการหมักไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณและคุณภาพผลิตภัณฑ์ การทดลองที่ผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากไขมัน 100 กรัม มีความดันสุดท้ายในปฏิกรณ์ 210.98 บาร์ และเวลาหมักนาน 30 นาที ได้ น้ำมันชีวมวลร้อยละ 95.32 ของกากไขมันที่เติม ซึ่งมีองค์ประกอบของไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนในน้ำมัน คิดเป็นร้อยละ 9.87, 28.65 และ 61.49 ตามลำดับ และมีค่าความร้อน 32.52 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ 220, 260, 300, 340, 380 และ 420 องศาเซลเซียส โดยเติมกากไขมันเท่ากันที่ 100 กรัม และใช้ช่วงเวลาหมัก 30 นาที พบว่า ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ให้ความดันสุดท้าย 33.09 บาร์ ซึ่งมีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม ได้น้ำมันชีวมวลร้อยละ 80.28 ของกากไขมันที่เติม มีองค์ประกอบของไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน ในน้ำมัน คิดเป็นร้อยละ 8.47, 34.32 และ 57.21 ตามลำดับ มีค่าความร้อน 30.25 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังนั้น น้ำมันชีวมวลจากกากไขมันมีศักยภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในอนาคต

Wilasinee Phromsila 2012: Bio-oil Production from Grease Wastes under High Pressure and Temperature. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Apinya Duangchan, Ph.D. 65 pages.

In this research, conversion of grease into bio-oil has been studied under high pressure and temperature. A grease waste with moisture content more than 80% was placed in a 0.5 liter autoclave reactor. Each feed of grease of 25, 50, 100 and 150 g was pressurized with nitrogen gas with initial pressure of 7 bar. After the temperature reach 420°C the final pressure of each run was raised to 74.46, 119.97, 210.98 and 234.42 bar, respectively. The 30, 60 and 90 minutes of residence time were also studied. The experimental results showed that the increase of final pressure increased bio-oil yield and reduced the gas and char contents. The quality of bio-oil was also improved as shown by the increase of H/C and the high heating values and the lower value of O/C when the final pressure was increased. The residence time of 30, 60 and 90 minutes showed no significant effect on both yield and quality. 100 g of feed with a final pressure of 210.98 bar and 30 minutes of residence time to produce bio-oil of 95.32 wt% of the feed. The bio-oil consisted of 9.87 wt% hydrogen, 28.65 wt% oxygen and 61.49 wt% carbon providing a heating value as 32.52 MJ/kg.

The effect of temperature of 420, 380, 300, 260, and 220°C on a feed of 100 g and a residence time of 30 minutes were studied. The results showed that temperature affected the quality and yield of bio-oil significantly. However at the temperature of 220°C the pressure was raised up to 33.09 bar and it was feasible in engineering practice. Under these conditions it produced the bio-oil of 80.28 wt% which consisted of 8.47 wt% hydrogen, 34.32 wt% oxygen and 57.21 wt% carbon and 30.25 MJ/kg heating value. The bio-oil from grease could be a potential fuel used to substitute a fuel oil.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร.อภิญา ดวงจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้ช่วยเหลือ แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สุจินดา วรรณสูต กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาการ ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ธเนศ อุทิศธรรม ให้การสนับสนุน และให้คำปรึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.อุณาโลม เวทย์วัฒนะ ที่ได้ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ รศ. อิทธิพล ราศรีเกรียงไกร ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณ ดร. เสนีย์ ส่องศรี ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรม และให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

วิลาสินี พรหมศิลา

กันยายน 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	15
อุปกรณ์	15
วิธีการ	18
ผลและวิจารณ์	23
สรุปและข้อเสนอแนะ	42
สรุป	42
ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	44
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	48
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ ในงานประชุมวิชาการครั้งที่ 50	
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	56
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบน้ำมันและไขมันจากร้านอาหาร	4
2 สมบัติเชื้อเพลิงด้านปริมาณกลุ่มสารและธาตุของกากไขมันจากบ่อดักไขมัน	23
3 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำมันชีวมวลและความดันสุดท้ายในปฏิกรณ์	33
ตารางผนวกที่	
ก1 ผลของปริมาณกากไขมันที่ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ เวลาหนึ่ง 30 นาที	52
ก2 ผลของปริมาณกากไขมันที่ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ เวลาหนึ่ง 60 นาที	53
ก3 ผลของปริมาณกากไขมันที่ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ เวลาหนึ่ง 90 นาที	54
ก4 ผลของอุณหภูมิ โดยใช้กากไขมัน 100 กรัม ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ เวลาหนึ่ง 30 นาที	55

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 บ่อดักไขมันในโรงอาหารคณะวนศาสตร์ (ก) และ กากไขมันในบ่อดัก (ข)	3
2 มิติทางสิ่งแวดล้อม	5
3 การแปรรูปกากไขมันหรือของเสียเป็นพลังงานรูปอื่นๆ	8
4 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูง	9
5 แผนผังของปฏิกริยา hydrothermal liquefaction	10
6 สมการการย่อยสลายผ่านปฏิกริยาไฮโดรไลซิสของสารประกอบเอสเทอร์และเอไมด์ในชีวมวล และสมการการย่อยสลายและรวมตัวของน้ำมันหรือไขมัน	11
7 ปฏิกริยาสังเคราะห์น้ำมันชีวมวล	15
8 เครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic)	16
9 เครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator)	17
10 เครื่องวิเคราะห์ธาตุ (CHNS analyzer)	17
11 เครื่องวัดค่าความร้อน (bomb calorimeter)	18
12 ขั้นตอนการแยกน้ำมันชีวมวล	20
13 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อร้อยละผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส	25
14 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส	26
15 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อปริมาณไฮโดรเจนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส	27
16 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อปริมาณคาร์บอนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส	28
17 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อสัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (ก) และ สัดส่วนโดยโมลออกซิเจนต่อคาร์บอน (ข) ในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส	29
18 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อค่าความร้อนของน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
19 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่ผนังต่อร้อยละผลผลิตถ่านคาร์บอน ที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส	31
20 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่ผนังต่อร้อยละผลผลิตก๊าซ ที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส	32
21 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที	34
22 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจน เริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที	35
23 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณไฮโดรเจนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจน เริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที	36
24 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณคาร์บอนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที	37
25 ผลของอุณหภูมิต่อสัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (ก) และสัดส่วน โดยโมลออกซิเจนต่อคาร์บอน (ข) ในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที	38
26 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความร้อนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที	39
27 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลผลิตถ่านคาร์บอนที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที	40
28 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลผลิตก๊าซที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่

หน้า

- ก1 ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส (ก) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส (ข) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส (ค) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (ง) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส (จ) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส (ฉ) ที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ เวลาหน่วง 30 นาที

49

การผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากไขมันภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง

Bio-oil Production from Grease Wastes under High Pressure and Temperature

คำนำ

เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก และมีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นทุกปี มีการผันผวนของราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในตลาดโลก นอกจากนี้ปริมาณการใช้น้ำมันดิบของโลกยังเพิ่มขึ้นโดยตลอด พลังงานทดแทนจากชีวมวล เป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูงต่อการนำมาใช้ในปัจจุบันมาก สามารถ การผลิตน้ำมันจากเศษผัก ผลไม้ และเศษอาหาร การนำกากไขมันจากน้ำเสียโรงอาหารเป็นแหล่งพลังงานทดแทนจากชีวมวลมีความน่าสนใจมาก เนื่องจากกากไขมันเหล่านี้ทำให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม กล่าวคือ กากไขมันส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำเสีย ซึ่งหากระบายลงสู่ธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัด จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ เนื่องจากชั้นไขมันจะลอยปิดผิวหน้าของระดับผิวน้ำ ทำให้ออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถละลายผ่านลงสู่ชั้นผิวน้ำด้านล่างได้ ยังผลให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีระดับลดลง ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทั้งพืช และ สัตว์ และยังส่งผลให้แหล่งน้ำและบริเวณโดยรอบเกิดความเสื่อมโทรมลง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบ เนื่องจากกากไขมันเหล่านี้ส่งกลิ่นเหม็นได้รวดเร็วไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) การนำกากไขมันที่มีความชื้นสูงเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ มาผลิตเป็นน้ำมันชีวมวล ทำได้หลายวิธี เช่น esterification, gasification, pyrolysis และ กระบวนการ hydrothermal liquefaction

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการนำกากไขมันจากน้ำเสียโรงอาหารมาเปลี่ยนรูปให้เป็นพลังงานทดแทนในรูปของน้ำมันชีวมวล เพื่อลดปริมาณกากไขมันและเพิ่มมูลค่าของเสียให้อยู่ในรูปของน้ำมันชีวมวลที่สามารถใช้งานได้ง่าย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของประชากร คุณภาพสิ่งแวดล้อม และความมั่นคงทางด้านพลังงานทดแทนของประเทศไทยในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการกำจัดกากไขมันโดยนำมาผลิตน้ำมันชีวมวลด้วยกระบวนการ hydrothermal liquefaction
2. ศึกษาปริมาณและสมบัติน้ำมันจากกากไขมันที่ผลิตได้ภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิต่างๆ

ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนกากไขมันจากโรงอาหารคณะวนศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ ให้เป็นน้ำมันชีวมวล ด้วยกระบวนการ hydrothermal liquefaction ภายใต้สภาวะความดันประมาณ 33 ถึง 234 บาร์ และอุณหภูมิระหว่าง 220 ถึง 420 องศาเซลเซียส โดยใช้ปฏิกรณ์แบบกะ (batch reactor)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปริมาณกากไขมันในบ่อดักไขมัน เพื่อให้ชุมชนและสิ่งแวดล้อมดีขึ้น
2. น้ำมันชีวมวลจากกากไขมันสามารถนำไปเป็นพลังงานทดแทนได้ในอนาคต
3. เพิ่มมูลค่าของกากไขมันซึ่งเป็นของเสียที่ไม่มีประโยชน์เหล่านี้ให้มากขึ้น

การตรวจเอกสาร

1. กากไขมัน

1.1 กากไขมันจากถังดักไขมันบำบัดน้ำเสีย (trap grease)

กากไขมันจากถังดักไขมันบำบัดน้ำเสีย (trap grease) เป็นน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนกับน้ำเสียที่ถูกกักเก็บโดยถังดักไขมันบำบัดน้ำเสียที่มีการใช้แพร่หลายทั้งในครัวเรือนและร้านอาหาร จำหน่ายอาหาร เพื่อใช้ในการบำบัดไขมันในน้ำเสียก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบระบายน้ำทิ้งของชุมชน โดยกากไขมันจากถังดักไขมันบำบัดน้ำเสียมีระดับของกรดไขมันอิสระและมีน้ำปนเปื้อนในปริมาณที่ค่อนข้างสูงแสดงดังภาพที่ 1



(ก) บ่อดักไขมัน



(ข) กากไขมันในบ่อดัก

ภาพที่ 1 บ่อดักไขมันในโรงอาหารคณะวนศาสตร์ (ก) และ กากไขมันในบ่อดัก (ข)

ดังนั้นจึงสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องมีการบำบัดและกำจัดกากไขมัน เพื่อป้องกันการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม วิธีการบำบัดที่นิยม คือ การนำกากไขมันมาผลิตเป็นน้ำมันชีวมวล ดังนั้นหากมีการนำกากไขมันเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนของกำจัดกากไขมัน และยังช่วยลดมลพิษที่อาจเกิดขึ้นจากการกำจัดกากไขมันที่ไม่ถูกวิธีอีกด้วย

กากไขมันดังกล่าวประกอบด้วยไขมันและน้ำมันที่เน่าเสีย มีกลิ่นเหม็น อย่างไรก็ตามไขมันและน้ำมันเหล่านี้ให้พลังงานความร้อนได้ดี ดังนั้นถ้ามีการนำไปผสมกับวัสดุอื่น เช่น วัสดุเหลือทิ้ง

ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมวลและปริมาณของแข็ง ทำให้ได้ของผสมในลักษณะของแข็งที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

1.2 ลักษณะสมบัติและปริมาณของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากร้านอาหาร

น้ำมันและไขมัน (oil and grease) เป็นสารอาหารที่มีอยู่ในธรรมชาติได้มาจากพืชและสัตว์ เป็นของเหลือทิ้งที่พบมากในน้ำเสียชุมชน ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมประกอบอาหาร และจากสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ตารางที่ 1 ได้แสดงองค์ประกอบสำคัญของน้ำมันและไขมันจากร้านอาหาร

ตารางที่ 1 องค์ประกอบน้ำมันและไขมันจากร้านอาหาร

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น
ความเป็นกรดต่าง (pH)	-	5-7
สภาพการนำไฟฟ้า (conductivity)	$\mu\text{S/cm}$	300-2,500
สี (color)	ADMI	60-700
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	mg/L	9-106
กรดไขมันอิสระ (free fatty acid)	%	0.02-85
ไขมันและน้ำมัน* (grease and oil)	g/kg wet	140-850
ไขมันและน้ำมัน** (grease and oil)	mg/L	14-38,000
ฟอสฟอรัสรวม (total phosphorus)	mg/L	0.13-100

หมายเหตุ * กรณีตัวอย่างกากไขมัน มีลักษณะเป็นตะกอน (sludge)

** กรณีตัวอย่างกากไขมัน มีลักษณะเป็นของเหลว (liquid)

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2546)

ถ้าน้ำมันและไขมันเหล่านี้ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ดังนี้

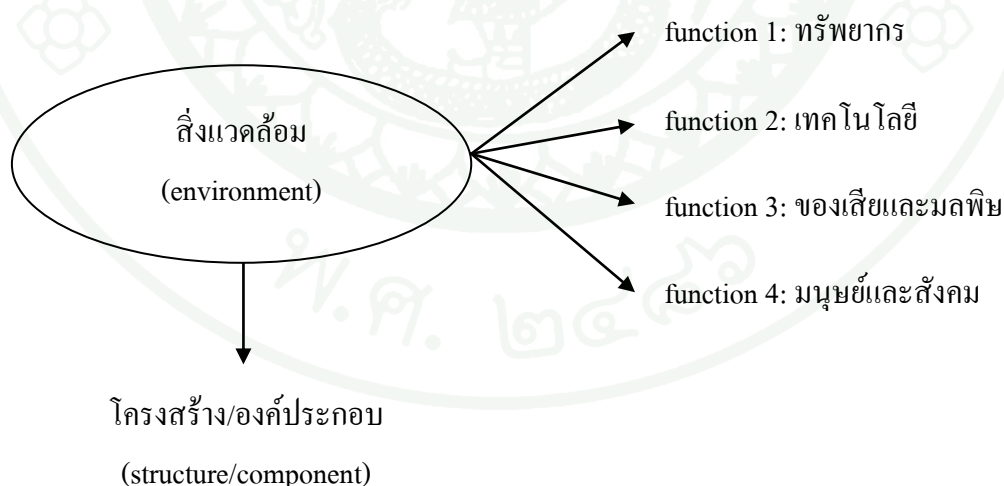
1) ดิน และน้ำใต้ดิน การขุดหลุมฝังกากไขมัน จะทำให้น้ำและอากาศไม่สามารถซึมสู่ดินได้ ทำให้พืชขาดน้ำตาย นอกจากนี้แล้วน้ำชะกากไขมันอาจซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้

2) อากาศ การสั่นสะเทือนทำให้เกิดการหมักแบบไร้อากาศ ทำให้เกิดก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก ส่วนการกำจัดด้วยวิธีเผา เตาเผาต้องมีการติดตั้งส่วนดักจับควันพิษด้วย เนื่องจากกากไขมันมีสารระเหยปริมาณสูง

น้ำมันและไขมัน ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากร้านอาหาร มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่ร้านอาหาร โดยค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในบ่อดักไขมันสำหรับร้านอาหารขนาดเล็ก (น้อยกว่า 100 ตารางเมตร) ขนาดกลาง (100-200 ตารางเมตร) และขนาดใหญ่ (มากกว่า 200 ตารางเมตร) เท่ากับ 1,300, 2,400 และ 6,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ประสิทธิ์, 2545) ดังนั้นมวลแห้งเฉลี่ยของน้ำมันและไขมันจากร้านอาหารขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ เท่ากับ 1.5 4.2 และ 19.2 กิโลกรัมต่อวันต่อร้านตามลำดับ

1.3 มิติทางสิ่งแวดล้อมของกากไขมัน

มิติ (dimension) หมายถึง ภาพที่แสดงบทบาท/หน้าที่ ต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งมิติทางสิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งเป็น 4 มิติ คือ มิติทรัพยากร มิติเทคโนโลยี มิติของเสียและมลพิษ และมิติมนุษย์ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 มิติทางสิ่งแวดล้อม

ที่มา: เกษม (2547)

ปริมาณกากไขมันที่ได้จากบ่อดักไขมันนั้นมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษ และปริมาณน้ำที่ใช้ กากไขมันมีปริมาณมากที่สุดในน้ำทิ้งจากกลุ่มโรงแรมและมีปริมาณน้อยที่สุดในน้ำทิ้งจากกลุ่มบ้านเรือน

1) บ้านเรือน มีปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำทิ้ง 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกิดจากการประกอบอาหาร และปริมาณไขมันที่ได้จากถังดักไขมันอยู่ที่ 0.8 และ 0.2 กิโลกรัมต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2) สถานประกอบการร้านอาหารทั่วไป น้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียด้านอาหารมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ปริมาณกากไขมัน ประมาณ 2.5 กิโลกรัมต่อวัน และค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่ (ประสิทธิ์, 2545)

3) สถานประกอบการร้านอาหารในโรงแรม ปริมาณกากไขมัน ประมาณ 21 กิโลกรัมต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

1.3.1 มิติทรัพยากร

มิติทรัพยากร (resources dimension) คือ สิ่งแวดล้อมที่มีบทบาทและหน้าที่เป็นทรัพยากรทั้งที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติ และทรัพยากรที่มนุษย์สร้างขึ้น (เกษม, 2547) ซึ่งกากไขมันจากบ่อดักไขมันเหล่านี้ถือเป็นมิติทรัพยากร ประเภททรัพยากรธรรมชาติที่ทดแทนได้ (renewable natural resources) กล่าวคือ กากไขมันเหล่านี้เมื่อมนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ เช่น ผลิตเป็นน้ำมันชีวมวลแล้ว กากไขมันยังสามารถเกิดขึ้นได้ใหม่จากการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์

1.3.2 มิติเทคโนโลยี

เทคโนโลยี คือ การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้เพื่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ ซึ่งเทคโนโลยี มี 3 รูปแบบ คือ เทคโนโลยีธรรมชาติ เทคโนโลยีเลียนแบบธรรมชาติ และเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างขึ้น (เกษม, 2547) การนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันมาผลิตเป็นน้ำมันชีวมวลโดยกระบวนการ hydrothermal liquefaction นี้ ถือเป็นเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างขึ้น

1.3.3 มิติทางของเสียและมลพิษทางสิ่งแวดล้อม

มิติสิ่งแวดล้อมทางด้านของเสียและมลพิษสิ่งแวดล้อมเป็นมิติที่แสดงให้เห็นถึงผลของการใช้ทรัพยากรซึ่งเกิดจากการนำเทคโนโลยีมาใช้ กากไขมันเป็นของเสียที่เกิดจากการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ และเกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม เช่น กากไขมันส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำทำให้เกิดน้ำเสีย เนื่องจากกากไขมันลอยปิดผิวหน้าของระดับน้ำ ทำให้ออกซิเจนในอากาศไม่สามารถละลายลงสู่ด้านล่างได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ทำให้สัตว์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในแหล่งน้ำได้

1.3.4 มิติมนุษย์และสังคม

มิติมนุษย์ (human dimension) เป็นมิติที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ กล่าวคือ กากไขมันจากบ่อดักไขมันส่งผลกระทบต่อมนุษย์ด้านต่างๆ ดังนี้คือ

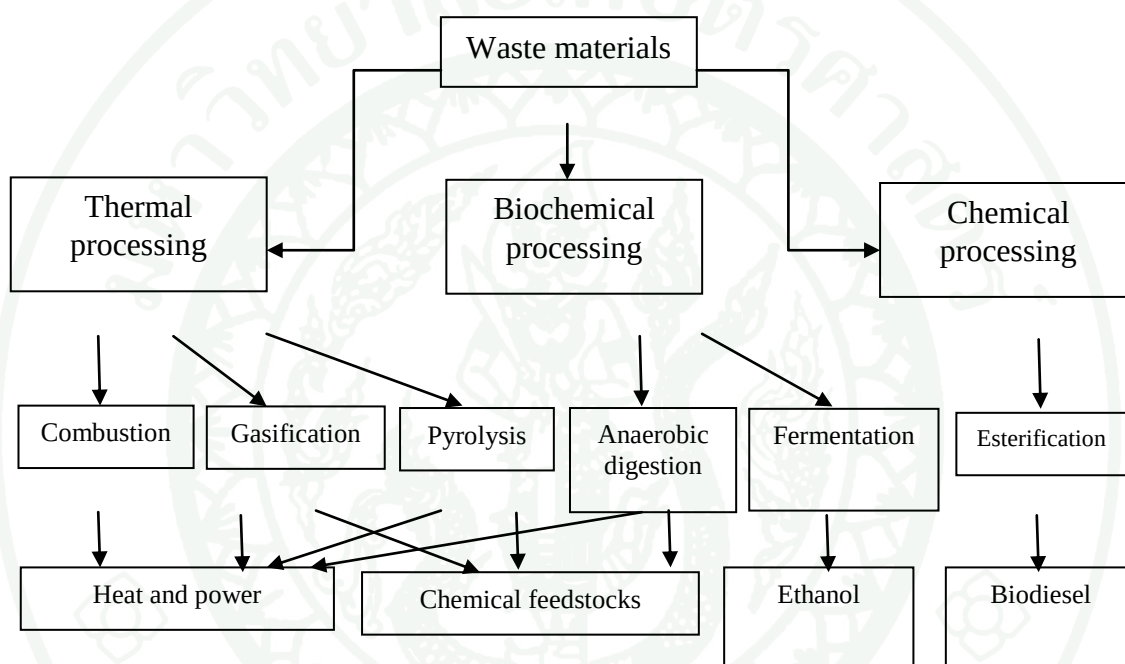
- 1) ด้านสุขภาพอนามัย เนื่องจากกากไขมันส่งกลิ่นเหม็น ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์
- 2) ด้านเศรษฐกิจ กล่าวคือ หากมีบ่อดักกากไขมันอยู่ในพื้นที่เศรษฐกิจเช่น สถานที่ทำงาน สถานที่ท่องเที่ยว กลิ่นจากบ่อดักกากไขมันจะไปรบกวนการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ ทำให้สถานที่แห่งนั้นไม่สะดวกต่อการดำเนินกิจกรรมทางเศรษฐกิจ และทำให้การหมุนเวียนทางเศรษฐกิจลดน้อยลง

1.4 การนำกากไขมันไปใช้ประโยชน์

กากไขมันที่ได้จากบ่อดักไขมันของแหล่งกำเนิดมลพิษต่างๆ สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เทียนหอมหรือเทียนแฟนซี สบู่เหลว เพื่อการซักล้าง ไบโอดีเซล บิโอยักษ์ เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) อีกทั้งยังสามารถนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันมาผลิตเป็นพลังงาน เช่น ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ผลิตเป็นน้ำมันชีวมวลด้วยกระบวนการ hydrothermal liquefaction ได้อีกด้วย

2. การผลิตพลังงานจากกากไขมัน

ในประเทศไทยมีเทคโนโลยีการจัดการและกำจัดกากไขมัน (grease waste) ให้เหลือหลายแบบดังภาพที่ 3 แต่แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ คือ กระบวนการทางความร้อน (thermal processing) กระบวนการทางชีวเคมี (biochemical processing) และกระบวนการทางเคมี (chemical processing) ซึ่งกระบวนการแปรรูปทั้งสามนี้อาศัยเทคโนโลยีแตกต่างกันออกไป



ภาพที่ 3 การแปรรูปกากไขมันหรือของเสียเป็นพลังงานรูปอื่นๆ

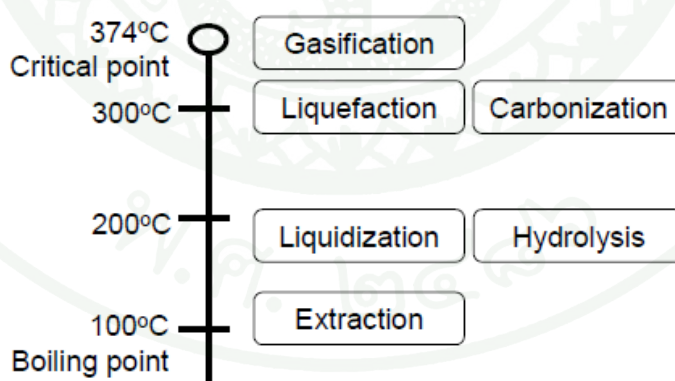
การกำจัดกากไขมัน/กากของเสียเพื่อใช้เป็นพลังงานที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันคือ

การนำไปผลิตเป็นน้ำมันชีวมวลโดยกระบวนการ hydrothermal liquefaction ซึ่งสามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงมากกว่าร้อยละ 80 ทั่วไปแล้ว กระบวนการอื่นๆ เช่น แก๊สซิฟิเคชัน วัตถุดิบจะมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 30

กระบวนการ hydrothermal liquefaction คือ กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) แบบใช้น้ำร่วม ที่ความดันสูงประมาณ 100 บาร์ และอุณหภูมิสูงประมาณ 300 องศาเซลเซียส สารชีวมวลจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซ ของเหลว และของแข็ง ซึ่งคล้ายกับไพโรไลซิสแบบทั่วไปที่ใช้ก๊าซร่วม ด้วย

กระบวนการนี้ ทาร์ (tar) ที่มีน้ำหนักเบาสามารถละลายในน้ำออกมาได้ ทาร์ที่มีน้ำหนักมากจะออกมาในรูปของผสมกับชาร์ (char) ดังนั้น ผลิตภัณฑ์จึงได้แก่ ก๊าซ สารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ และสารจำพวกน้ำมัน

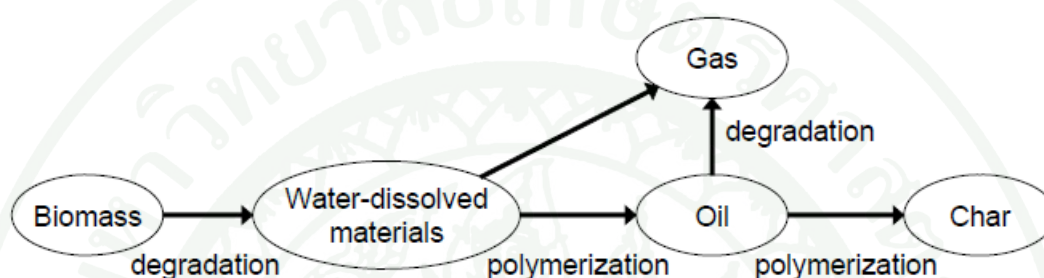
คุณลักษณะเด่นของ hydrothermal liquefaction คือ การทำปฏิกิริยากับน้ำ วัตถุดิบตั้งต้นไม่ต้องผ่านกระบวนการอบแห้ง ดังนั้นจึงเหมาะกับสารชีวมวลที่มีปริมาณความชื้นสูง เช่น สารชีวมวลน้ำ ขยะ กากอินทรีย์และอื่นๆ นอกจากนั้นปฏิกิริยาหลายชนิดสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4 แสดงปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูงที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส สารที่ละลายน้ำได้จะถูกสกัด (extraction) ออกมา ต่อมาที่อุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส เกิดการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และสารชีวมวลจำพวกพอลิเมอร์ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส โปรตีน และอื่นๆ จะถูกย่อยเป็นมอนอเมอร์ จากนั้นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 10 บาร์ ของแข็งในชีวมวลจะถูกทำให้เหลวเป็น slurry (liquidization) แต่น้ำมันจะยังไม่เกิดขึ้น จนกระทั่งที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความดัน 100 บาร์ ปฏิกิริยา liquefaction จึงจะเกิดขึ้นและได้สารจำพวกน้ำมัน เมื่อเงื่อนไขของปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเช่น เวลาในการทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์หลักสามารถเปลี่ยนเป็นชาร์ ด้วยกระบวนการ carbonization นอกจากนี้ ที่จุดวิกฤตของน้ำ (374 องศาเซลเซียส) และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สารชีวมวลยังสามารถเปลี่ยนไปเป็นก๊าซสังเคราะห์ (gasification) ได้อีก



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูง

ที่มา: Yokoyama (2008)

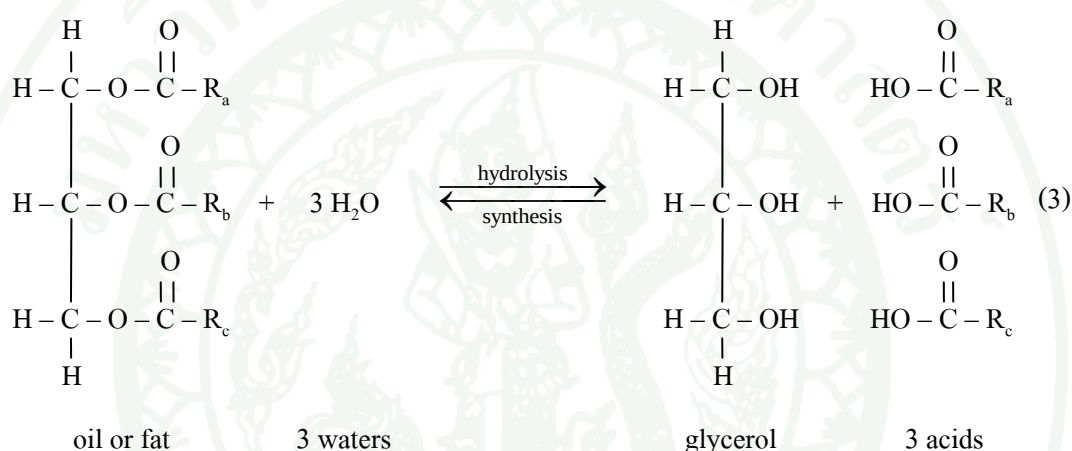
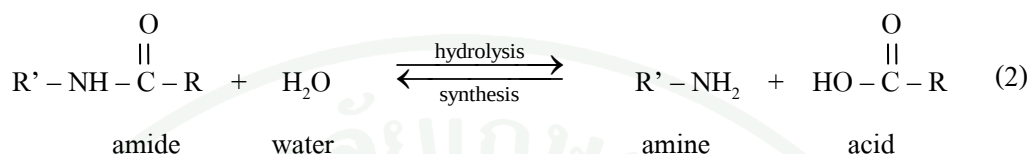
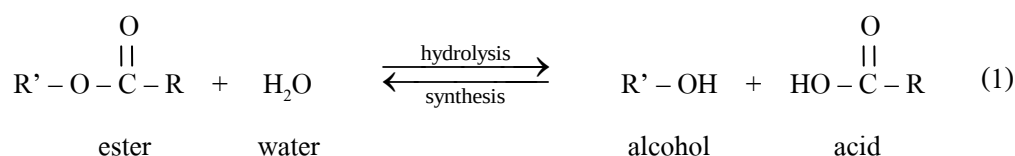
เนื่องจาก hydrothermal liquefaction เป็นกระบวนการไพโรไลซิสชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงประกอบด้วยทั้งปฏิกิริยาการย่อยสลาย (degradation) ของพอลิเมอร์และปฏิกิริยาการรวมตัว (polymerization) เป็นพอลิเมอร์ แผนผังปฏิกิริยาแบบง่ายแสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งในขั้นตอนแรก สารชีวมวลบางส่วนจะถูกสลายเป็นสารที่ละลายน้ำได้ จากนั้นสารที่ละลายน้ำได้บางส่วนจะเกิดการรวมตัวเป็นน้ำมัน และเมื่อให้ทำปฏิกิริยานานขึ้น น้ำมันที่เกิดขึ้นบางส่วนจะรวมตัวเปลี่ยนเป็นชาร์อีกชั้นหนึ่ง



ภาพที่ 5 แผนผังของปฏิกิริยา hydrothermal liquefaction

ที่มา: Yokoyama (2008)

โดยทั่วไป สามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของชีวมวลเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ การย่อยสลายได้โดยแสง (photo degradation) การย่อยสลายทางกล (mechanical degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic degradation) และการย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation) (เขาวพา, 2554) ปฏิกิริยาการย่อยสลายของชีวมวลกลายเป็นสารที่ละลายน้ำได้ ในกระบวนการ hydrothermal liquefaction ในภาพที่ 5 จัดอยู่ในประเภทการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดขึ้นกับพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ (ester) หรือหมู่เอไมด์ (amide) ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกิดขึ้นกับไขมันที่มีหมู่เอสเทอร์จำนวนมาก ดังสมการที่ (3)



ภาพที่ 6 สมการการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารประกอบเอสเทอร์และเอไมด์ในชีวมวล และสมการการย่อยสลายและรวมตัวของน้ำมันหรือไขมัน

ที่มา: Anonymous (n.d.)

ส่วนปฏิกิริยาการรวมตัวของสารที่ละลายน้ำได้ กลายเป็นน้ำมันในกระบวนการ hydrothermal liquefaction ในภาพที่ 5 คือ หลังจากชีวมวลบางส่วนถูกย่อยสลายได้กลีเซอรอล (glycerol) และ กรด (acid) จากนั้นเกิดการรวมตัวกันใหม่ระหว่างกลีเซอรอลและกรด กลายเป็นน้ำมันชีวมวล ดังปฏิกิริยาย้อนกลับของสมการที่ 3

สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการใช้เทคโนโลยีนี้เพื่อการบำบัดของเสียหรือผลิตเป็นพลังงาน โดยเทคโนโลยีนี้มีข้อดีคือ รองรับกับวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง ใช้กับวัตถุดิบได้แทบทุกประเภท และได้พลังงานจากก๊าซร้อนที่เหลือออกมา อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ยังมี

ข้อจำกัดที่ต้องใช้ความดันและความร้อนค่อนข้างสูง จึงเหมาะกับการกำจัดขยะหรือของเสียอันตราย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

He *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาการกำจัดของเสียจากมูลสุกรด้วยกระบวนการทางความร้อนเคมี ทดสอบที่อุณหภูมิระหว่าง 275 ถึง 350 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ความดันสุดท้าย 55 ถึง 180 บาร์ ตามลำดับ โดยป้อนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไปเป็นตัวรีดิวซ์ด้วยความดัน 3.4 ถึง 27.6 บาร์ ตามลำดับ ผลที่ได้พบว่า ผลได้ของน้ำมันมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 76.2 ของมวลที่ระเหยได้ในของแข็ง น้ำมันที่ได้มีสัดส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอนเท่ากับ 1.53 มีค่าความร้อนต่ำเฉลี่ย 34.94 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และพบว่ามีคุณภาพคล้ายกับน้ำมันสังเคราะห์จากชีวมวลชนิดอื่นที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส ส่วนน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการนี้ มีค่าซีโอดีลดลงถึงร้อยละ 75.4 นอกจากนี้ มีผลิตภัณฑ์พลอยได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเหลือของแข็งเพียงร้อยละ 3.3 ของมวลทั้งหมดของของแข็ง

Itoh *et al.* (1994) ได้ศึกษาการนำสลัดจ์ในน้ำเสียมผ่านกระบวนการทางความร้อนเคมีให้กลายเป็นของเหลว ในโรงงานสาธิตที่สามารถป้อนสลัดจ์แห้งได้ 5 ตันต่อวัน ภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง ที่ 100 บาร์ และ 300 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ได้ผลว่า ร้อยละ 48 ของสารอินทรีย์ทำปฏิกิริยากลายเป็นน้ำมันหนักอยู่ในของผสม และเมื่อนำของผสมที่ได้นำมาผ่านหอกลั่นความดันสูงแบบต่อเนื่อง สามารถแยกน้ำมันหนักออกมาได้หนึ่งในสี่ส่วนหรือคิดเป็นร้อยละ 11 ของสารอินทรีย์ น้ำมันหนักที่ได้มีค่าความร้อนประมาณ 37-39 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และจากการคำนวณดุลพลังงานในระดับปฏิบัติการ พบว่า ถ้าการกำจัดสลัดจ์แห้งขนาด 60 ตันต่อวัน สามารถผลิตน้ำมันหนักออกมาได้ 1.5 ตันต่อวัน ซึ่งจะให้พลังงานมากกว่าพลังงานที่ใช้ในการกำจัด

Yin *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษาผลได้ของน้ำมันชีวมวลจากของเสียในฟาร์มปศุสัตว์ผ่านกระบวนการทำให้เป็นของเหลวภายใต้สภาวะไดวิฤติน้ำ (subcritical hydrothermal liquefaction) ที่ใช้ไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์เป็นส่วนผสม โดยมีอุณหภูมิ ความดันเริ่มต้น ชนิดของก๊าซที่ป้อน เวลาในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนโดยมวลระหว่างของเสียกับน้ำ เป็นตัวแปรที่ได้ทำการศึกษา ผลที่ได้พบว่า ผลได้ของน้ำมันขึ้นกับอุณหภูมิและชนิดของก๊าซที่ใช้เป็นหลัก แต่ผลของความดันเริ่มต้นที่สูงขึ้น เวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานกว่า และอัตราส่วนที่มีของเสียมากกว่า กลับทำให้ผลได้ของน้ำมันลดลง ค่าความร้อนสูงของน้ำมันมีค่าเฉลี่ย 35.53 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ในน้ำมันมีโทลูอิน

เอทิลเบนซีน และไซลีน เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นองค์ประกอบเดียวกับในน้ำมันดิบ น้ำมันเบนซีน และน้ำมันดีเซล

Minowa *et al.* (1995) ได้ทำการศึกษาการผลิตน้ำมันด้วยกระบวนการทางความร้อนเคมีจากขยะมูลฝอยซึ่งนำเศษกระดาษรีไซเคิล ข้าวสาลี ปลาสด ผักแห้ง เนยแข็ง และเปลือกหอยลายมาผสมกัน ขยะผสมซึ่งมีน้ำอยู่ถึงร้อยละ 90 ถูกนำไปทำปฏิกิริยาในปฏิกรณ์ที่อัดแรงดันด้วยก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 250, 300 และ 340 องศาเซลเซียส ที่เวลานาน 0.1, 0.5 และ 2.0 ชั่วโมง แบบทั้งที่ไม่ใส่และใส่โซเดียมคาร์บอเนตปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักขยะแห้ง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลที่ได้พบว่า ผลได้และคุณสมบัติของน้ำมันขึ้นกับผลของการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิเป็นหลัก ส่วนเวลาที่ใส่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ โดยการทดลองที่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส ความดันสุดท้าย 180 บาร์ และที่เวลานาน 0.5 ชั่วโมง น้ำมันที่ได้มีผลได้สูงที่สุดร้อยละ 27.6 ของมวลสารอินทรีย์ มีค่าความร้อน 36 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ความหนืด ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่า 53,000 เมกะปาสกาล และในน้ำมันประกอบด้วยปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจนร้อยละ 73.6, 9.1, 4.6 และ 12.7 ตามลำดับ

Zou *et al.* (2010) ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันชีวมวลจากสาหร่ายขนาดเล็กพันธุ์ *Dunaliella tertiolecta* ผ่านกระบวนการทำให้เป็นของเหลวภายใต้สภาวะได้และเหนือวิกฤติ (sub- and supercritical hydrothermal liquefaction) โดยมีอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา และสัดส่วนระหว่างสาหร่ายกับน้ำในวัตถุดิบ เป็นตัวแปรที่ได้ทำการศึกษา พบว่า ผลได้ของน้ำมันชีวมวลมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 36.9 ของมวลวัตถุดิบซึ่งมีสัดส่วนระหว่างสาหร่ายกับน้ำเท่ากับ 1 : 10 ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที น้ำมันที่ได้มีสูตรเอมพิริคัล (empirical formula) เป็น $\text{CH}_{1.38}\text{O}_{0.43}\text{N}_{0.07}$ มีค่าความร้อน 26.62 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

Zhou *et al.* (2010) ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันชีวมวลจากสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่พันธุ์ *Enteromorpha prolifera* ผ่านกระบวนการทำให้เป็นของเหลวในปฏิกรณ์แบบกะ (batch reactor) ที่อุณหภูมิระหว่าง 220 ถึง 320 องศาเซลเซียส โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา และผลของการใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต่อผลได้ของน้ำมันชีวมวล พบว่าการใช้โซเดียมคาร์บอเนตผสมลงไปร้อยละ 5 โดยมวล ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ให้ผลได้ของน้ำมันชีวมวลสูงสุดที่ร้อยละ 23.0 ของมวลวัตถุดิบ น้ำมันต่างๆ ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีค่าความร้อนประมาณ 28-30 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

Anastasakis and Ross (2011) ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันชีวมวลจากสาหร่ายสีน้ำตาลขนาดใหญ่พันธุ์ *Laminaria saccharina* ผ่านกระบวนการทำให้เป็นของเหลวในปฏิกรณ์แบบกะ โดยมีสัดส่วนระหว่างสาหร่ายกับน้ำในวัตถุดิบ อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา และปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นตัวแปรที่ได้ทำการศึกษา พบว่า วัตถุดิบที่ประกอบด้วยสาหร่ายและน้ำในอัตราส่วน 1 : 10 ทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่ง ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ให้ผลได้ของน้ำมันชีวมวลสูงสุดที่ร้อยละ 19.3 ของมวลวัตถุดิบ น้ำมันที่ได้มีค่าความร้อน 36.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับบิทูเมน (bitumen) หรือน้ำมันหนักที่อยู่ในน้ำมันดิบ

Vardon *et al.* (2011) ได้เปรียบเทียบการผลิตน้ำมันชีวมวลจากสิ่งต่างๆ ที่พบในน้ำเสีย คือสาหร่ายพันธุ์ *Spirulina* มูลสุกร และสลัดจ์ที่ถูกย่อยสลายแล้ว ด้วยกระบวนการทำให้เป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 10-12 เมกะปาสกาล นาน 30 นาที พบว่า สลัดจ์ที่ถูกย่อยสลายแล้วให้ผลได้ของน้ำมันชีวมวลน้อยสุดที่ร้อยละ 9.4 ของมวลวัตถุดิบ ส่วนสาหร่ายพันธุ์ *Spirulina* ให้ผลได้ของน้ำมันชีวมวลมากที่สุดที่ร้อยละ 32.6 ของมวลวัตถุดิบ และแม้ว่าน้ำมันที่ได้จากวัตถุดิบต่างๆ มีค่าความร้อนใกล้เคียงกันที่ระหว่าง 32.0-34.7 เมกะจูลต่อกิโลกรัม แต่มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลจากวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน นอกจากนี้พบว่า น้ำมันมีมวลโมเลกุล จุดเดือด และสัดส่วนของไฮโดรคาร์บอนชนิดสายยาวที่มีกิ่งก้านสาขา (branched aliphatic) เรียงจากน้อยไปมาก คือ จากสาหร่ายพันธุ์ *Spirulina* จากมูลสุกร และจากสลัดจ์ที่ถูกย่อยสลายแล้ว ตามลำดับ

Wang *et al.* (2011) ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันชีวมวลจากฟางข้าวสาลีผ่านกระบวนการทำให้เป็นของเหลวภายใต้สภาวะได้อัตราดัน โดยศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วง 300 ถึง 374 องศาเซลเซียส และผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 1 ถึง 15 นาที ต่อผลได้ของน้ำมันชีวมวล พบว่าที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสและทำปฏิกิริยานาน 5 นาที เป็นสภาวะที่ดีที่สุด น้ำมันที่ได้จากการทดลองต่างๆ มีค่าความร้อนประมาณ 32-38 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำมันที่ได้จากสาหร่ายขนาดเล็ก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.1 กากไขมัน

1.2 ไคลอโรโรมีเทน (CH_2Cl_2) สมบัติความบริสุทธิ์ 99.8% บริษัท Merck (AR grade)

1.3 เทตระไฮโดรฟูแรน ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$) สมบัติความบริสุทธิ์ 99.5% บริษัท Ajax (laboratory grade)

1.4 โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) สมบัติความบริสุทธิ์ 99.0% บริษัท Ajax (AR grade)

2. อุปกรณ์การทดลอง

2.1 ปฏิกรณ์ (Reactor) รุ่น 4843 ผลิตโดย Parr Instrument Company มีปริมาตร 500 มิลลิลิตร ทำจากสแตนเลส SUS 316 ประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิลพร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) อุปกรณ์วัดความดันแบบตัวเลข ใบกวนพร้อมอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ ทำงานที่อุณหภูมิสูงสุด 500 องศาเซลเซียส และความดันสูงสุด 5,000 psi ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ปฏิกรณ์สังเคราะห์น้ำมันชีวมวล

2.2 เครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic) Elmasonic S 30 H ดังแสดงในภาพที่ 8 สำหรับทำการสกัดของเหลวด้วยตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran) จากของแข็ง ด้วยเทคนิคการสกัดแบบอัลตราโซนิก



ภาพที่ 8 เครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic)

2.3 เครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator) ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้ ได้แก่ heating bath รุ่น Buch, Heating Bath B 490, rotavapor ของ Buch Rotavapor R205, vacuum ของ Buch Vacuum Controller V 850 และ cooling ของ Lauda ALPHA RA 8 ดังแสดงในภาพที่ 9

2.4 อุปกรณ์การกรองพร้อมกระดาศกรอง Whatman glass microfiber filters (GF/C)

2.5 เตาอบ (oven) ของ Memmert



ภาพที่ 9 เครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator)

3. เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเชิง

3.1 เครื่องวิเคราะห์ธาตุ CHNS (CHNS analyzer) ใช้หาค่าคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจน ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 เครื่องวิเคราะห์ธาตุ CHNS (CHNS analyzer)

3.2 เครื่องวัดค่าความร้อน (bomb calorimeter) ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 เครื่องวัดค่าความร้อน (bomb calorimeter)

วิธีการ

1. การเตรียมกากไขมัน

นำกากไขมันจากบ่อดักไขมันโรงอาหารคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้กากไขมันมีสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป

2. การวิเคราะห์สมบัติกากไขมัน

นำกากไขมันที่แช่เย็นไว้ มาชั่งตามจำนวนที่ต้องการ จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิง ด้านปริมาณกลุ่มสาร (proximate analysis) และปริมาณธาตุ (ultimate analysis)

3. การทำ hydrothermal liquefaction

นำตัวอย่างกากไขมันใส่ในปฏิกรณ์ปริมาณที่ต้องการ คือ 25, 50, 100 และ 150 กรัม ทำการไล่อากาศภายในปฏิกรณ์ด้วยก๊าซไนโตรเจน โดยป้อนก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในปฏิกรณ์จนความดันถึง 7 บาร์ จากนั้นปล่อยก๊าซไนโตรเจนออก ทำซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง จากนั้นป้อนก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ปฏิกรณ์ ตามความดันที่ต้องการ เปิดสวิตช์เตาให้ความร้อนพร้อมกับควบคุมอุณหภูมิภายใน

ปฏิกรณ์ตามต้องการ เมื่ออุณหภูมิภายในปฏิกรณ์ถึง ตามที่ต้องการทำการหน่วงเวลาไว้ที่ ระยะเวลาหนึ่ง และปิดเครื่อง เมื่ออุณหภูมิภายในปฏิกรณ์เท่ากับอุณหภูมิห้อง เปิดวาล์วก๊าซออก นำผลผลิตออกไปแยกน้ำมันชีวมวล และถ่านคาร์บอนออก

3.1 การทดสอบผลของความดัน

ทำการทดสอบผลของความดันโดยการปรับปริมาณกากไขมันที่ป้อนเข้าปฏิกรณ์ นำตัวอย่างกากไขมันใส่ในปฏิกรณ์ปริมาณต่างๆได้แก่ 25, 50, 100 และ 150 กรัม โดยใช้ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ หลังจากอุณหภูมิสูงถึง 420 องศาเซลเซียส ทำการหน่วงเวลาตามที่ต้องการ ความดันสุดท้ายของปฏิกรณ์เพิ่มตามปริมาณกากไขมันที่เติมลงไป

3.2 การทดสอบผลของอุณหภูมิ

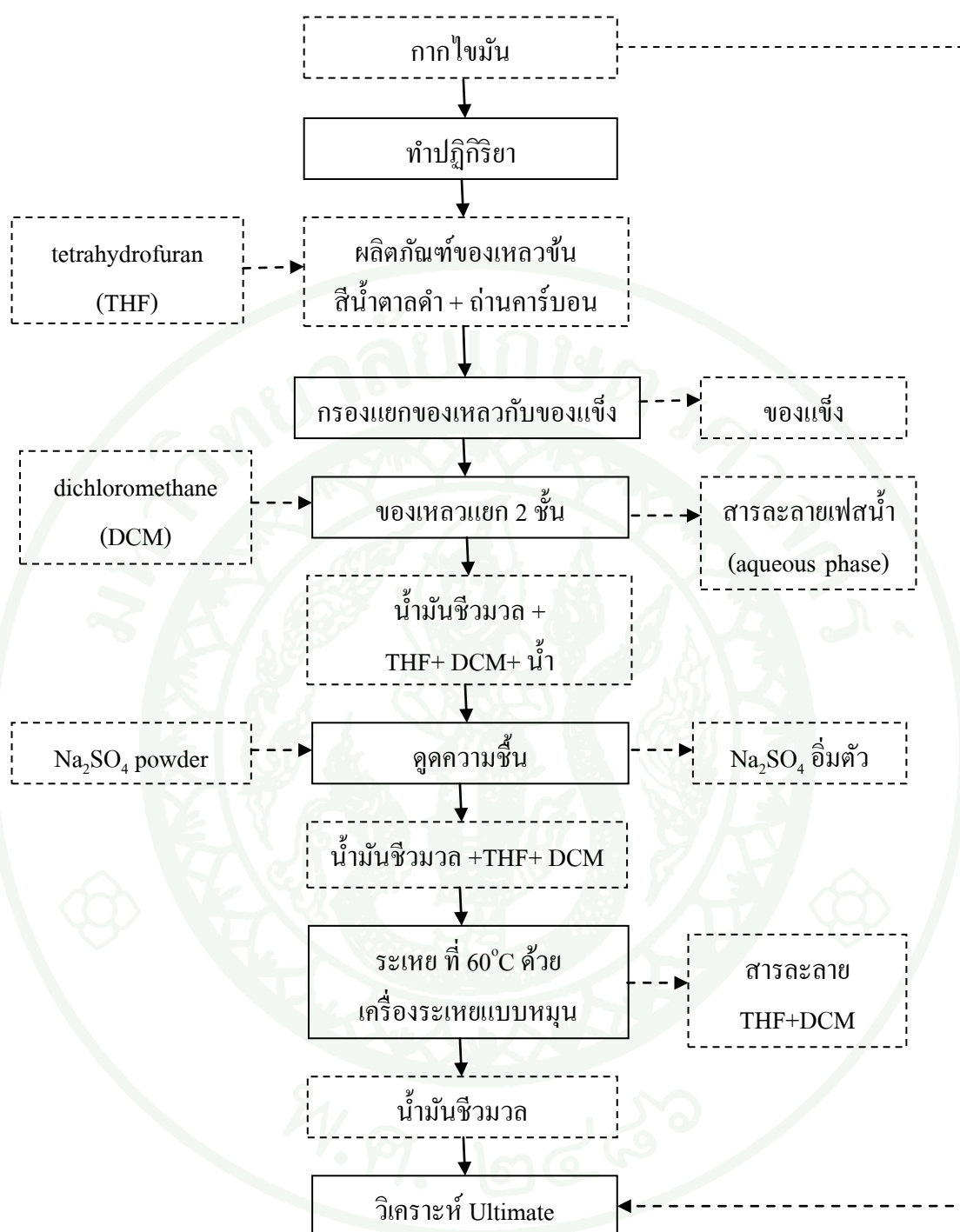
นำตัวอย่างกากไขมันใส่ในปฏิกรณ์ 100 กรัม โดยใช้ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ เพิ่มอุณหภูมิถึง 220, 260, 300, 340, 380 และ 420 องศาเซลเซียส และทำการหน่วง 30 นาที

3.3 การทดสอบผลของเวลา

นำตัวอย่างกากไขมันใส่ในปฏิกรณ์ปริมาณตามที่ต้องการ โดยใช้ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ หลังจากอุณหภูมิสูงถึง 420 องศาเซลเซียส ให้เวลาในการทำปฏิกิริยา (หน่วงเวลา) อีก 30, 60 และ 90 นาที

4. วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

ผลผลิตที่ได้ประกอบด้วย น้ำมันชีวมวล ถ่านคาร์บอน และ ก๊าซ นำน้ำมันชีวมวลและถ่านคาร์บอนไปแยกออกจากกันตามที่แสดงในแผนผังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการแยกน้ำมันชีวมวล

- 1) ใช้ tetrahydrofuran (THF) ล้างผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากปฏิกิริยา
- 2) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman glass microfiber filters (GF/C) เบอร์ 42 นำของแข็งที่ได้ไปทำให้แห้ง ทิ้งให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก

3) ใส่ dichloromethane ลงในของเหลวที่ได้จากการกรอง เพื่อแยกเฟสน้ำมันออกจากสารละลายเฟสน้ำ (aqueous solution)

4) ใส่ Na_2SO_4 ลักษณะเป็นผงสีขาว บนกระดาษกรองที่อยู่ในกรวยแก้ว เพื่อดูดความชื้นออกจากน้ำมันชีวมวล โดยเทน้ำมันชีวมวลให้ไหลผ่านผง Na_2SO_4 ออกไปทางก้นกรวย

5) นำน้ำมันชีวมวลมา ระเหยไล่ THF, DCM และสารละลายที่ตกค้าง ที่ 60°C ด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนออก นำน้ำมันชีวมวลมาชั่งน้ำหนัก

4.1 การวิเคราะห์น้ำมันชีวมวล

$$\text{ร้อยละของน้ำมันชีวมวล} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันชีวมวลที่ได้} \times 100}{\text{น้ำหนักของกากไขมันที่เดิม}}$$

4.1.1 วิเคราะห์ ultimate

นำน้ำมันชีวมวลมาใส่แคปซูลและชั่งน้ำหนักไม่เกิน 1 กรัม และใส่ ethylene diamine tetra-acetic acid (EDTA) ลงไปในแคปซูล แล้วนำไปเข้าเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ CHN

4.1.2 วิเคราะห์หาค่าความร้อน

นำน้ำมันชีวมวลใส่ถ้วยและชั่งน้ำหนักไม่เกิน 0.5 กรัม แล้วนำไปเข้าเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D 5865

4.2 การวิเคราะห์ถ่านคาร์บอน

ปริมาณถ่านคาร์บอนในงานวิจัยนี้มาจากการกรองแยกของเหลวออกจากของแข็งนำของแข็งที่ได้มาชั่งน้ำหนัก

$$\text{ร้อยละของถ่านคาร์บอน} = \frac{\text{น้ำหนักของของแข็งที่กรองได้} \times 100}{\text{น้ำหนักของกากไขมันที่เดิม}}$$

4.3 การวิเคราะห์ก๊าซ

$$\text{ร้อยละของก๊าซ} = 100 - \text{ร้อยละของน้ำมันชีวมวล} - \text{ร้อยละของถ่านคาร์บอน}$$

ปริมาณก๊าซที่ได้ในงานวิจัยนี้ คำนวณจากปริมาณกากไขมันที่เดิมหักออกด้วยปริมาณน้ำมันชีวมวลและถ่านคาร์บอน



ผลและวิจารณ์

1. สมบัติของกากไขมัน

นำกากไขมันจากบ่อดักไขมันไปทำการวิเคราะห์สมบัติเชิงปริมาณกลุ่มสารตามมาตรฐาน ASTM D 3172 วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุตามมาตรฐาน ASTM D 5373 และวิเคราะห์หาค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D 5865 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงปริมาณปริมาณกลุ่มสารและธาตุของกากไขมันจากบ่อดักไขมัน

รายการ	น้ำกากไขมัน	กากไขมัน
Proximate analysis, %		
ความชื้น	nd*	nd
สารระเหย	nd	nd
คาร์บอนคงตัว	nd	nd
เถ้า	nd	nd
Ultimate analysis, %		
ไฮโดรเจน	11.370	nd
คาร์บอน	8.1658	nd
ออกซิเจน	80.4642	nd
ค่าความร้อนต่ำ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	nd	nd

หมายเหตุ * ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (not determined)

การนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันไปวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงปริมาณกลุ่มสารตามมาตรฐาน ASTM D 3172 พบว่า ในขั้นตอนการอบไล่ความชื้นของกากไขมันที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ไม่สามารถไล่ความชื้นออกจากกากไขมันได้ทั้งหมดเนื่องจากกากไขมันมีความชื้นสูงและไม่สามารถวิเคราะห์กลุ่มสารอื่นๆ ต่อได้

เนื่องจาก เครื่องวิเคราะห์ CHN ที่ใช้หาองค์ประกอบธาตุ ตามมาตรฐาน ASTM D 5373 ต้องใช้ตัวอย่างที่เป็นของแข็งและของเหลว เท่านั้น จึงวิเคราะห์ได้แต่น้ำที่ละลายออกมาจากกาก

ไขมัน พบว่า มีสารประกอบไฮโดรเจน คาร์บอน และออกซิเจน ร้อยละ 11.370, 8.1658 และ 80.4642 ตามลำดับ

ส่วนการวิเคราะห์ค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D 5865 ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจาก กากไขมันไม่ติดไฟภายในเครื่องวัดค่าความร้อน (bomb calorimeter)

2. กระบวนการไฮโดรเทอมอลลิควิแฟคชัน (hydrothermal liquefaction)

2.1 กระบวนการไฮโดรเทอมอลลิควิแฟคชัน ที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส

ทำการเติมกากไขมันจำนวน 25, 50, 100 และ 150 กรัม โดยที่ป้อนในโตรเจนที่ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ กำหนดให้อุณหภูมิภายในปฏิกรณ์คงที่ที่ 420 องศาเซลเซียส ค่าของความดันสุดท้ายภายในปฏิกรณ์เมื่ออุณหภูมิภายในปฏิกรณ์ 420 องศาเซลเซียส เป็น 74.46, 119.97, 210.98 และ 234.42 บาร์ ตามลำดับ ภายหลังจากที่อุณหภูมิภายในปฏิกรณ์ถึง 420 องศาเซลเซียสแล้ว ทำการหน่วงที่อุณหภูมิและความดันนั้นๆไว้เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที เมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละครั้ง ผลผลิตที่ได้ คือ น้ำมันชีวมวล ถ่าน และก๊าซ ผลการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ก1 ถึง ก3

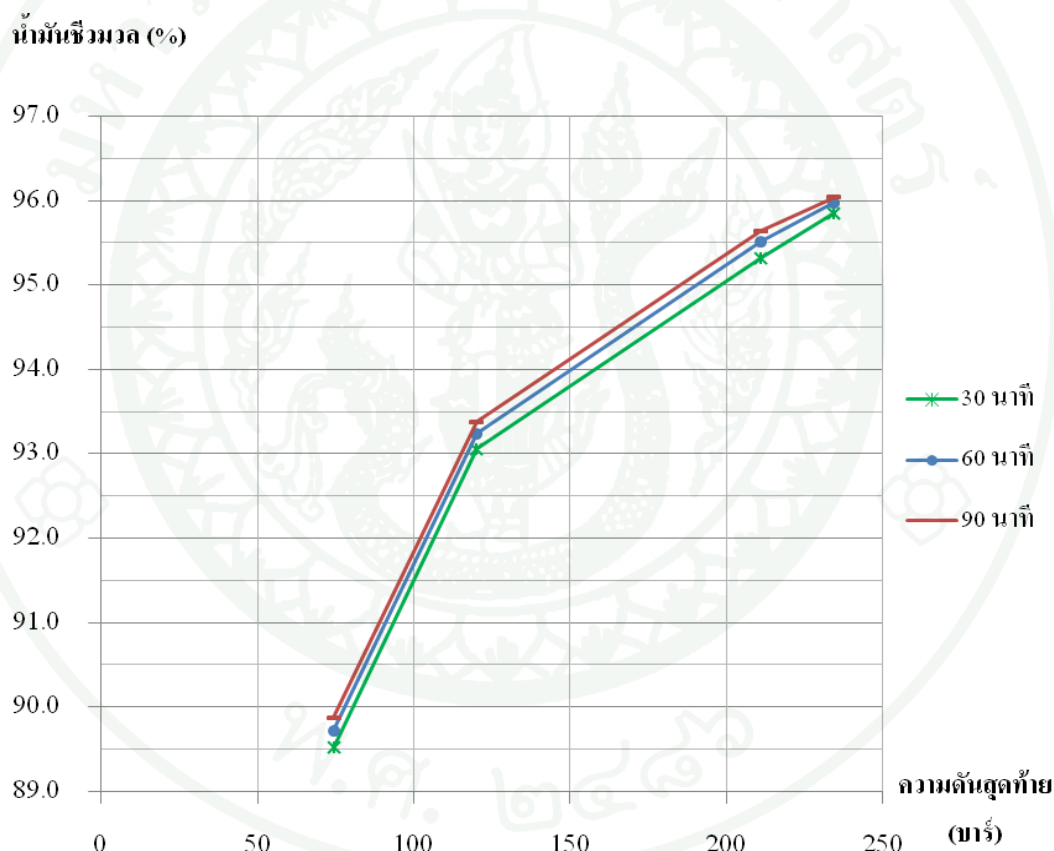
2.1.1 น้ำมันชีวมวล (bio-oil)

2.1.1.1 ผลของความดันสุดท้ายต่อร้อยละน้ำมันชีวมวล

ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่ได้แสดงดังภาพที่ 13 พบว่า ที่ทุกช่วงเวลาที่หน่วง ปริมาณกากไขมัน 25-150 กรัม ทำให้ความดันสุดท้ายเพิ่มขึ้นจาก 74.46 – 234.42 บาร์ การเติมกากไขมันที่ปริมาณ 150 กรัม ทำให้ความดันสูงถึง 234.42 บาร์ การผลิตน้ำมันชีวมวลที่ความดันสูงเป็นการลงทุนค่าเครื่องจักรและการบำรุงรักษาที่สูงเช่นกัน ดังนั้น จึงเลือกค่าความดันสูงสุดของการผลิตน้ำมันชีวมวลที่ค่าความดันสุดท้ายของปฏิกรณ์ที่ 210.98 บาร์ โดยการเติมกากไขมันปริมาณ 100 กรัม ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ เพื่อใช้ทดลองหาตัวแปรอื่นๆต่อไป

2.1.1.2 ผลของเวลาต่อร้อยละน้ำมันชีวมวล

พิจารณาช่วงการหน่วงเวลาที่ 30, 60 และ 90 นาที พบว่า ผลผลิตน้ำมันชีวมวลมีค่าร้อยละ 95.32, 95.52 และ 95.64 ตามลำดับ มีค่าไม่ต่างกันมากนัก จึงเลือกใช้ช่วงเวลาที่หน่วง 30 นาที ซึ่งจะใช้สำหรับการทดลองครั้งต่อไป นอกจากนี้พบว่าเมื่อนำกากไขมันมาผลิตเป็นน้ำมันชีวมวล ให้ผลผลิตดีกว่า ของเสียจากมูลสุกรในงานวิจัยของ He *et al.* (2000) สลัดจ์ในน้ำเสียในงานวิจัยของ Itoh *et al.* (1994) และ ขยะมูลฝอยในงานวิจัยของ Minowa *et al.* (1995) ได้น้ำมันชีวมวลร้อยละ 18.24, 48 และ 27.6 ตามลำดับ



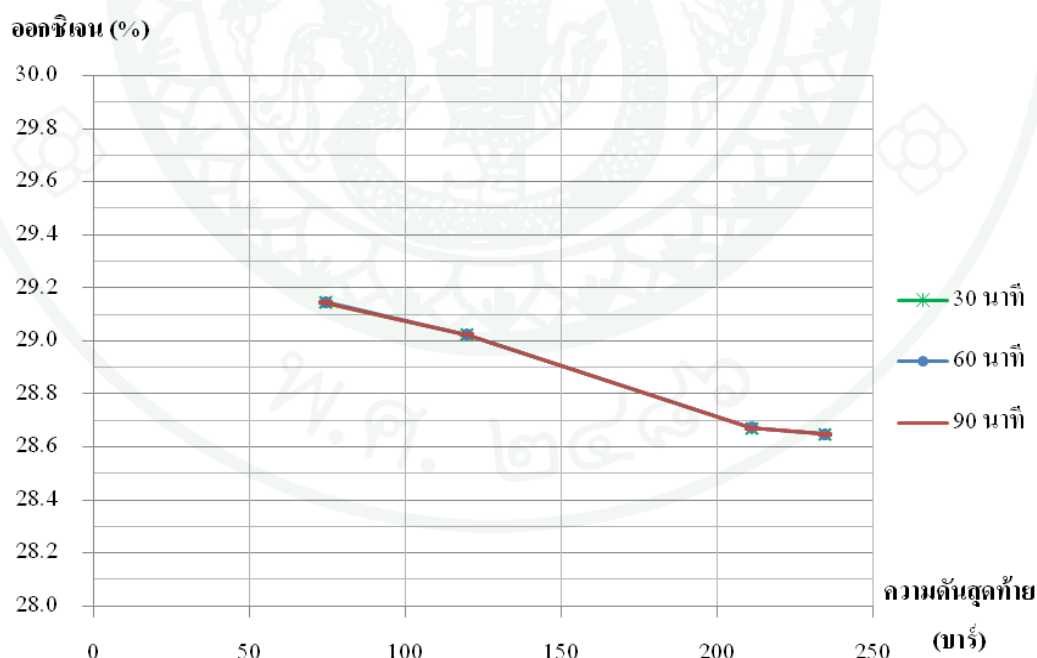
ภาพที่ 13 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อร้อยละผลผลิตน้ำมันชีวมวล ที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส

2.1.2 คุณสมบัติน้ำมันชีวมวล

เนื่องจากน้ำมันชีวมวลเป็นผลผลิตหลักของการทดลองนี้ จึงได้นำไปวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงที่เป็นธาตุองค์ประกอบ และค่าความร้อน ธาตุองค์ประกอบที่วิเคราะห์คือ ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ส่วนปริมาณซัลเฟอร์นั้นไม่นำไปตรวจวิเคราะห์เนื่องจากกากไขมันไม่มีธาตุองค์ประกอบนี้

2.1.2.1 ปริมาณออกซิเจน

ปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวมวลเป็นส่วนบ่งชี้ถึงความไม่เสถียร เพราะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำมันชีวมวลนั้นเสื่อมสภาพ ดังนั้น ถ้ายังมีปริมาณออกซิเจนมากแสดงว่าปฏิกิริยาการสลายกากไขมันยังไม่สมบูรณ์ดี แสดงถึงความสามารถในการเผาไหม้ต่ำ ดังนั้น น้ำมันชีวมวลจึงต้องมีปริมาณออกซิเจนต่ำ แต่มีสารไฮโดรคาร์บอนสูง จากการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวมวลได้ผลดังภาพที่ 14

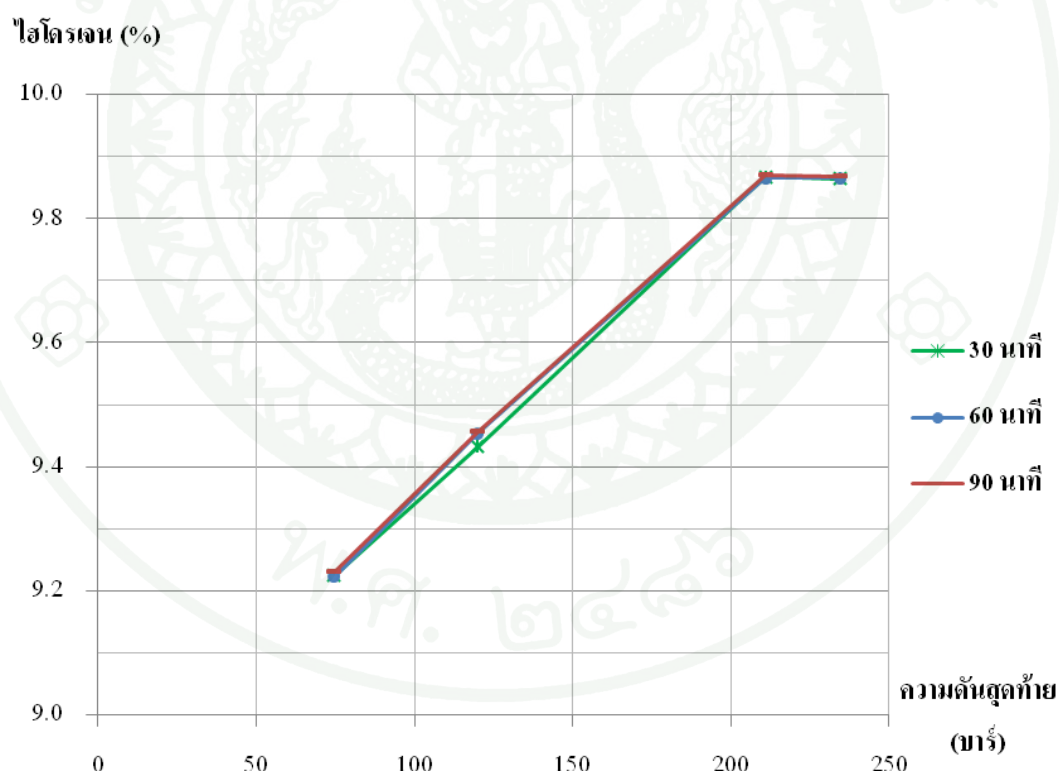


ภาพที่ 14 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 14 พบว่า ที่ทุกช่วงเวลาที่หน่วงไม่มีผลใดๆต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวมวล แต่ความดันสุดท้ายมีผลอย่างมากต่อปริมาณออกซิเจน โดยมีค่าลดลงอย่างมากในช่วงความดันสุดท้าย 74.46 - 210.98 บาร์ และลดลงเล็กน้อยในช่วงความดันสุดท้าย 210.98 – 234.42 บาร์

2.1.2.2 ปริมาณไฮโดรเจน

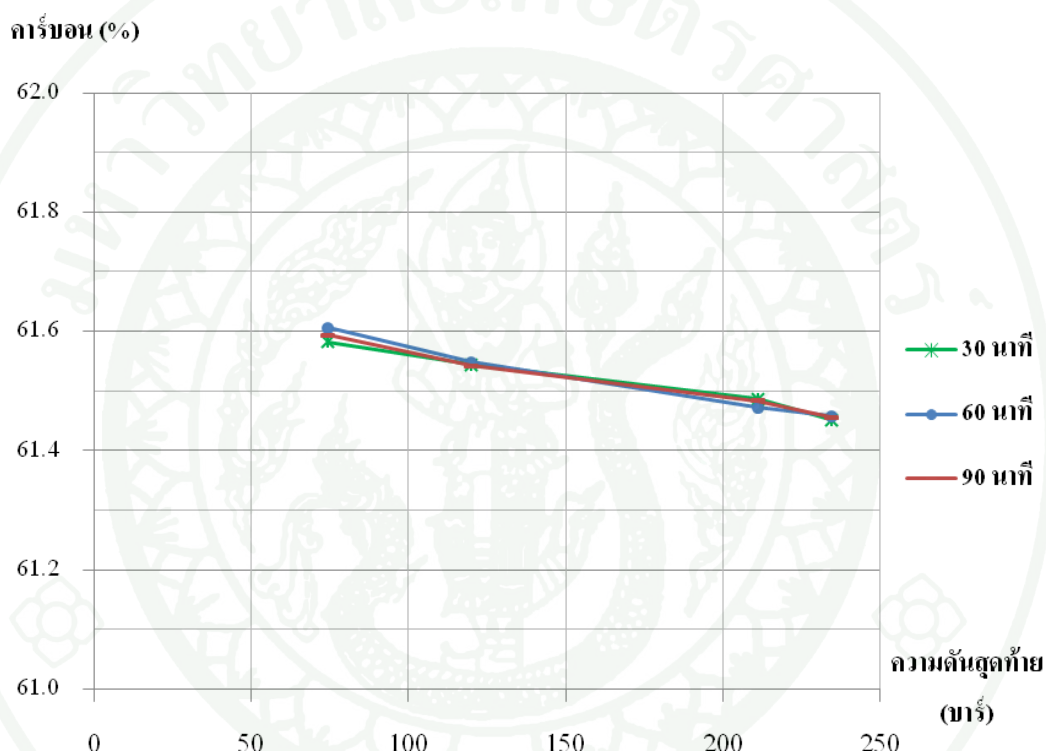
สารไฮโดรคาร์บอนมีองค์ประกอบหลักเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอน น้ำมันชีวมวลที่มีปริมาณไฮโดรเจนสูงจึงเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ค่าความร้อนสูง จากผลการทดลองตามภาพที่ 15 พบว่า ที่ทุกช่วงเวลาที่หน่วงไม่มีผลใดๆต่อปริมาณไฮโดรเจนในน้ำมันชีวมวล แต่ความดันสุดท้ายมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไฮโดรเจนโดยเฉพาะในช่วงความดันสุดท้าย 74.46 - 210.98 บาร์ และค่อนข้างคงที่ในช่วงความดันสุดท้าย 210.98 – 234.42 บาร์



ภาพที่ 15 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อปริมาณไฮโดรเจนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส

2.1.2.3 ปริมาณคาร์บอน

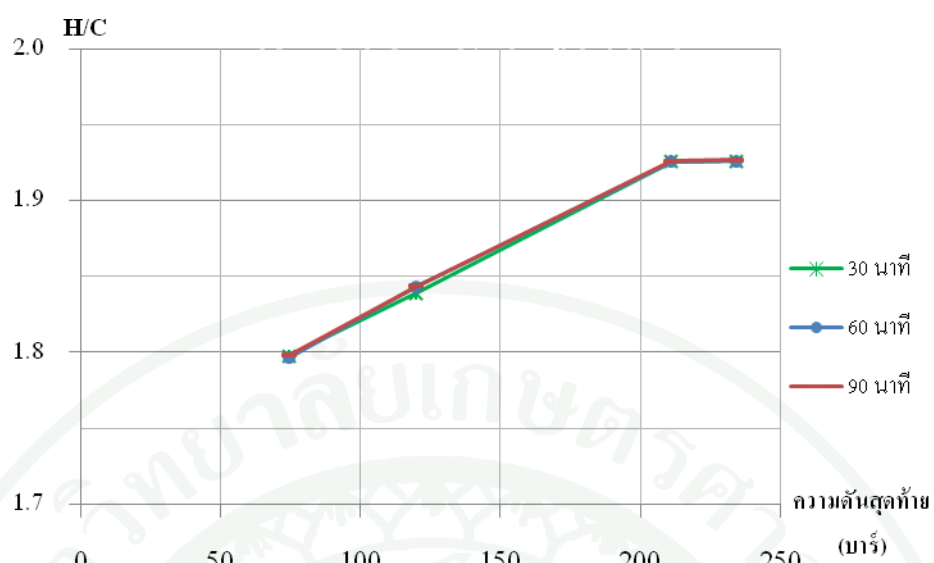
จากผลการทดลอง ปริมาณคาร์บอนมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าความดันสุดท้ายเพิ่มขึ้นในทุกช่วงเวลาที่หน่วงตามภาพที่ 16 โดยเวลาที่หน่วง 30 นาที มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 61.582, 61.544, 61.487 และ 61.452 ที่ความดันสุดท้าย 74.46, 119.97, 210.98 และ 234.42 บาร์ ตามลำดับ



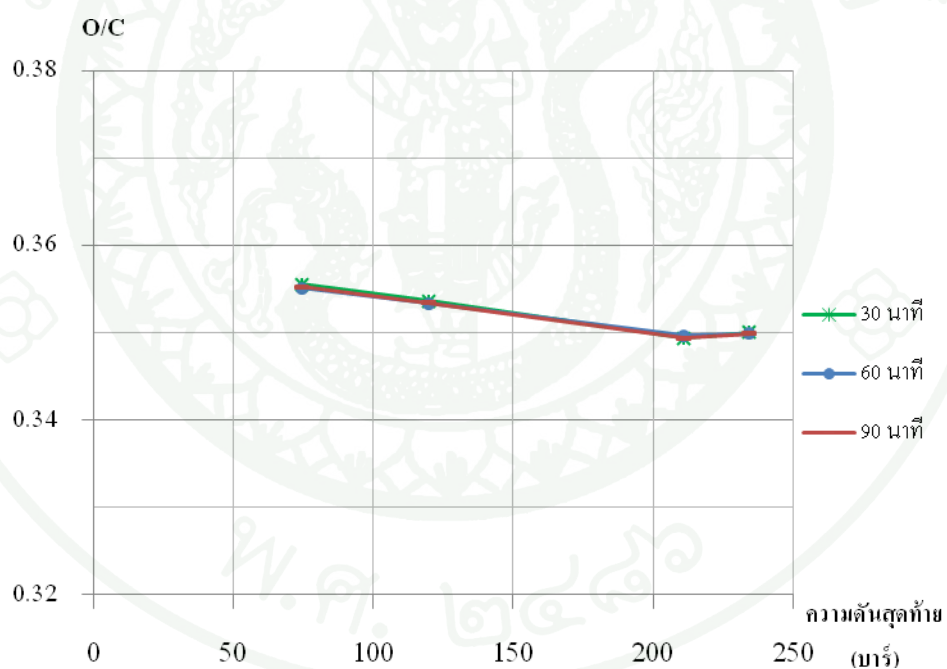
ภาพที่ 16 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อปริมาณคาร์บอนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส

2.1.2.4 สัดส่วน H/C และ O/C

สารไฮโดรคาร์บอนที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอนโดยโมล (H/C) สูง จะมีค่าความร้อนสูงกว่า สารไฮโดรคาร์บอนที่มีสัดส่วน H/C ต่ำกว่า สำหรับน้ำมันชีวมวลที่ได้ เมื่อความดันสุดท้ายสูงขึ้น สัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นมาก ดังแสดงภาพที่ 17 (ก) และ O/C ลดลงเมื่อความดันสุดท้ายเพิ่มขึ้น ดังแสดงภาพที่ 17 (ข)



(ก) สัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอน

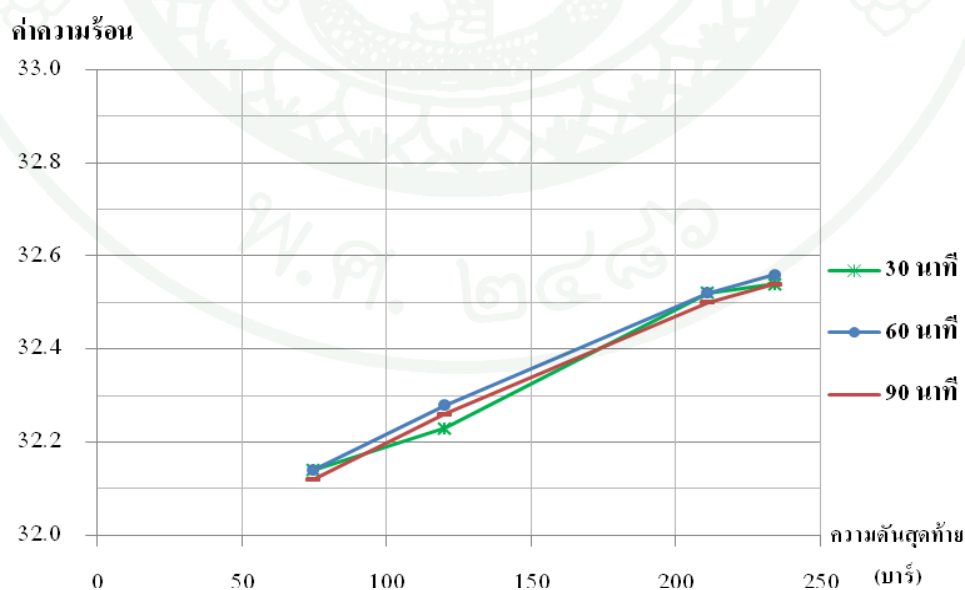


(ข) สัดส่วนโดยโมลออกซิเจนต่อคาร์บอน

ภาพที่ 17 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อสัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (ก) และ สัดส่วนโดยโมลออกซิเจนต่อคาร์บอน(ข) ในน้ำมันชีวมวลที่ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส

2.1.2.5 ค่าความร้อน

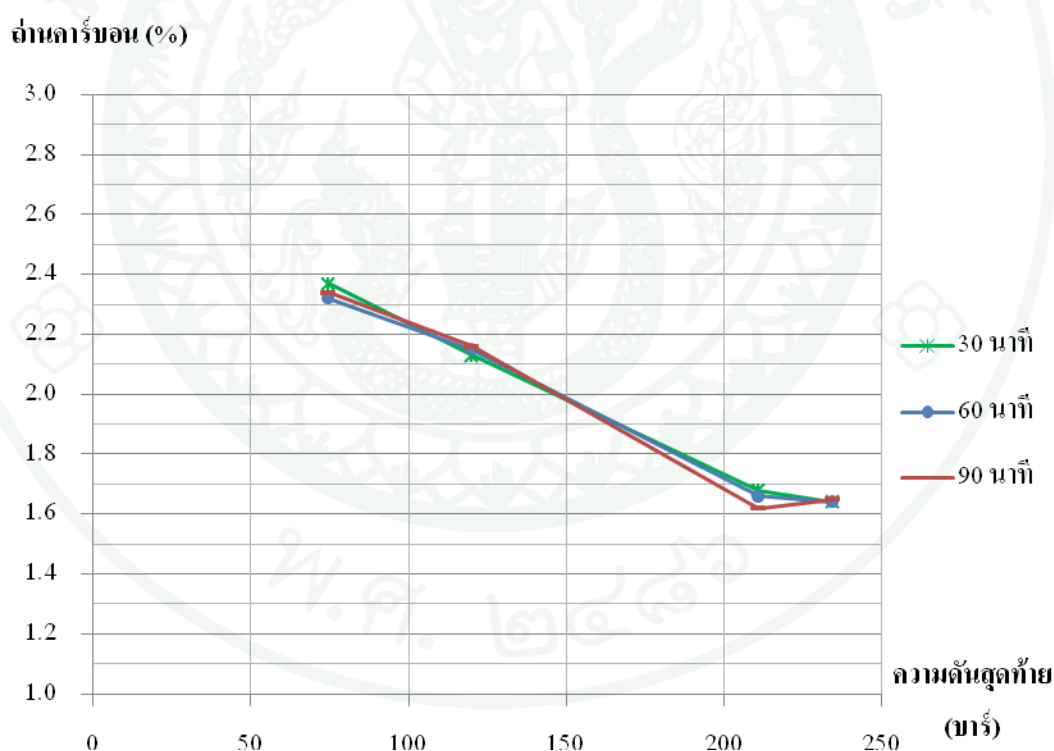
ค่าความร้อนมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยที่เวลาหน่วงต่างกัน แต่มีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันสุดท้ายเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 18 ดังนี้ โดยเวลาที่หน่วง 30 นาที มีค่าความร้อน 32.14, 32.23, 32.52 และ 32.54 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ที่ความดันสุดท้าย 74.46, 119.97, 210.98 และ 234.42 บาร์ ตามลำดับ จากการพิจารณาองค์ประกอบธาตุในน้ำมันชีวมวล ซึ่งพบว่า เมื่อความดันสุดท้ายสูงขึ้น สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อคาร์บอน(H/C) เพิ่มขึ้นแต่สัดส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน(O/C) ลดต่ำลง ในทุกช่วงเวลาที่หน่วง ซึ่งสอดคล้องกับค่า น้ำมันชีวมวลที่มีค่าความร้อนสูงขึ้นตามความดันสุดท้าย ดังภาพที่ 18 ดังนั้น การผลิตน้ำมันชีวมวลที่ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ในงานวิจัยนี้ มีความเหมาะสมคือ ที่ความดันสุดท้าย 210.98 บาร์ เวลาที่หน่วง 30 นาที น้ำมันชีวมวลมีค่าความร้อน 32.52 เมกะจูลต่อกิโลกรัม นอกจากนี้พบว่าเมื่อนำกากไขมันมาผลิตเป็นน้ำมันชีวมวลให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับ ของเสียจากมูลสุกรในงานวิจัยของ He *et al.* (2000) สัตว์ในน้ำเสียในงานวิจัยของ Itoh *et al.* (1994) ของเสียในฟาร์มปศุสัตว์ในงานวิจัยของ Yin *et al.* (2010) และ ขยะมูลฝอยในงานวิจัยของ Minowa *et al.* (1995) ซึ่งได้ค่าความร้อนเท่ากับ 34.94, 37-39, 35.53 และ 36 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่น้ำมันชีวมวลจากกากไขมันมีค่าความร้อนน้อยกว่าน้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ก๊าซโพรเพน และ น้ำมันแก๊ซโซลีน ซึ่งมีค่าความร้อน 44.16, 45.56, 49.73, 50.42 และ 47 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (นิรนาม, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 18 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อค่าความร้อนของน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส

2.1.3 ถ่านคาร์บอน

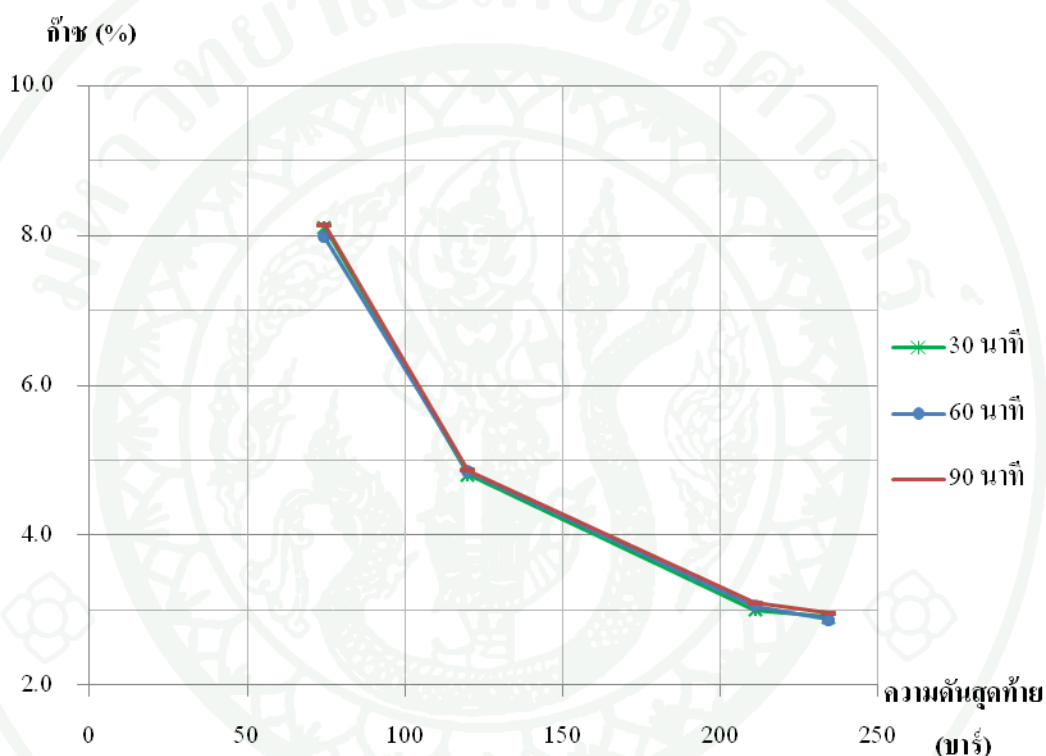
ภายหลังการสังเคราะห์น้ำมันชีวมวลจากกากไขมันแล้ว ได้ถ่านคาร์บอน และก๊าซเป็นผลพลอยได้ ค่าผลผลิตถ่านคาร์บอนแสดงดังภาพที่ 19 เป็นที่น่าสังเกตว่า ที่ทุกช่วงเวลาที่หน่วง ปริมาณถ่านคาร์บอนที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันแต่ปริมาณถ่านคาร์บอนมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อความดันสุดท้ายเพิ่มขึ้นจาก 74.46 – 210.98 บาร์ และมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงความดันสุดท้าย 210.98 – 234.42 บาร์ ซึ่งผกผันกับปริมาณน้ำมันชีวมวลที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 13) คือ เมื่อได้ปริมาณน้ำมันชีวมวลน้อยจะได้ปริมาณถ่านคาร์บอนมาก และเมื่อได้ปริมาณน้ำมันชีวมวลมากขึ้นจะได้ถ่านคาร์บอนปริมาณน้อยลงตามลำดับ แสดงว่าปฏิกิริยาการสลายกากไขมันได้เกือบสมบูรณ์แล้วที่ความดัน 210.98 บาร์ สรุปได้ว่า ที่ความดันสุดท้าย 210.98 บาร์ และเวลาที่หน่วง 30 นาที ได้ผลผลิตถ่านคาร์บอนร้อยละ 1.68 ของปริมาณกากไขมันที่เติม



ภาพที่ 19 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อร้อยละผลผลิตถ่านคาร์บอน ที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส

2.1.4 ก๊าซ

ปริมาณก๊าซ แสดงผลในภาพที่ 20 ปริมาณก๊าซที่ได้มีผลในลักษณะเดียวกับปริมาณถ่านคาร์บอนที่ได้ (ภาพที่ 19) กล่าวคือ ทุกช่วงเวลาที่หน่วง ปริมาณก๊าซที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันและลดลงอย่างมากตามความดัน โดยเฉพาะในช่วงความดันสุดท้าย 74.46 – 210.98 บาร์ และลดลงน้อยมากในช่วงความดันสุดท้าย 210.98 – 234.42 บาร์



ภาพที่ 20 ผลของความดันสุดท้ายและเวลาที่หน่วงต่อร้อยละผลผลิตก๊าซที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส

2.2 สภาวะที่ได้ผลผลิตที่เหมาะสมในเชิงวิศวกรรม

จากการทดลองที่กำหนดให้อุณหภูมิภายในปฏิกรณ์คงที่ที่ 420 องศาเซลเซียส โดยทำการเติมกากไยมันจำนวน 25, 50, 100 และ 150 กรัม ค่าความดันสุดท้ายภายในปฏิกรณ์เมื่ออุณหภูมิภายในปฏิกรณ์ที่ 420 องศาเซลเซียส เป็น 74.46, 119.97, 210.98 และ 234.42 บาร์ ตามลำดับภายหลังจากที่อุณหภูมิภายในปฏิกรณ์ถึง 420 องศาเซลเซียสแล้ว ทำการหน่วงที่อุณหภูมิและความ

ดังนั้นจึงใช้เวลา 30, 60 และ 90 นาที การทดลองสามารถสรุปได้ว่า การผลิตน้ำมันชีวมวลที่มีความเหมาะสมเป็นความดันสุดท้าย 210.98 บาร์ เวลาที่หน่วง 30 นาที ได้ผลผลิตน้ำมันชีวมวลร้อยละ 95.32 ของปริมาณกากไขมันที่เดิม มีสัดส่วนไฮโดรเจน คาร์บอน และออกซิเจนร้อยละ 9.87, 61.49 และ 28.67 ตามลำดับ และมีค่าความร้อน 32.52 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

อย่างไรก็ตาม สภาวะการผลิตน้ำมันชีวมวลตามข้างต้นนั้น ไม่มีการคำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางวิศวกรรมหรือทางด้านการลงทุน โดยเฉพาะการหาวัสดุที่ทนทานความดันที่สูงขนาด 200 บาร์ แทบจะเป็นไปไม่ได้เลยในทางวิศวกรรม และถ้ามีการวิเคราะห์การลงทุนแล้วย่อมสูงมากเช่นกัน ดังนั้น การทดลองเพื่อหาตัวแปรอุณหภูมิและความดันสุดท้ายที่มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรมและการลงทุนที่ได้ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่มีปริมาณและคุณภาพสูง โดยกำหนดให้เดิมกากไขมันคงที่ 100 กรัม และใช้ช่วงเวลาที่หน่วง 30 นาที ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ 220, 260, 300, 340, 380 และ 420 องศาเซลเซียส ในแต่ละช่วงอุณหภูมิให้ใช้ความดันเริ่มต้นที่ 7 บาร์ พบว่า ปริมาณน้ำมันชีวมวลที่ได้และค่าความดันสุดท้ายดังที่แสดงในตารางที่ 3

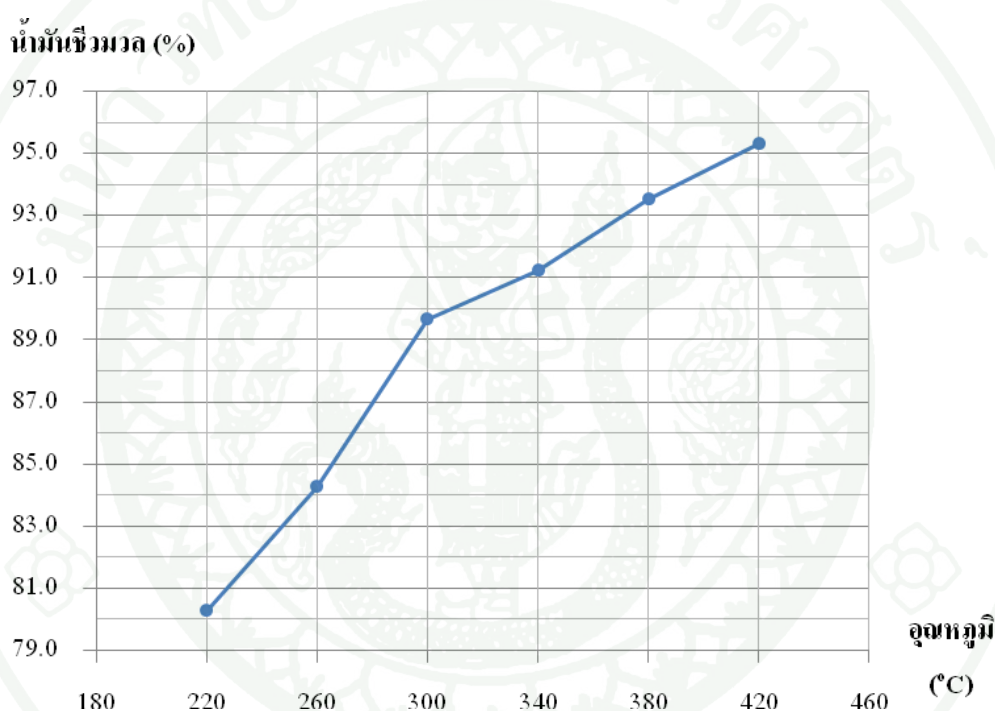
ตารางที่ 3 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันชีวมวลและความดันสุดท้ายในปฏิกรณ์

อุณหภูมิ (°C)	ความดันสุดท้าย (บาร์)	ผลผลิตน้ำมันชีวมวล (%)
220	33.09	80.28
260	56.54	84.27
300	93.77	89.67
340	129.62	91.24
380	177.20	93.53
420	210.98	95.32

2.2.1 ผลของอุณหภูมิต่อน้ำมันชีวมวล (bio-oil)

จากการทดลองนำกากไขมันเดิมเข้าไปในปฏิกรณ์ 100 กรัม โดยที่ป้อนความดันเริ่มต้น 7 บาร์ ช่วงเวลาที่หน่วง 30 นาที โดยให้ตัวแปรอุณหภูมิเป็น 220, 260, 300, 340, 380 และ 420 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า น้ำมันชีวมวลที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ 220-420 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 21 แต่เนื่องจากปฏิกรณ์สามารถทนอุณหภูมิสูงสุด 500 องศาเซลเซียส จึงกำหนดการทดลองให้ใช้อุณหภูมิสูงสุดที่ 420 องศาเซลเซียส สภาวะที่

เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้ คือ สภาวะที่กากไขมันเปลี่ยนรูปเป็นน้ำมันชีวมวลได้ทั้งหมดโดยพิจารณาที่ความดันสุดท้ายที่ต่ำที่สุด พบว่า ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ความดันสุดท้าย 33.09 บาร์ และเวลาที่หน่วง 30 นาที ได้น้ำมันชีวมวลร้อยละ 80.28 ของปริมาณกากไขมันที่เดิม เป็นสภาวะที่เหมาะสมในด้านวิศวกรรม เนื่องจากสามารถจัดหาวัสดุเพื่อการสร้างประกอบและการใช้งานจริงมีความเป็นไปได้มากกว่าที่จะพิจารณาที่ผลผลิตน้ำมันชีวมวลสูงสุด แต่ไม่มีความเป็นไปได้ในด้านวิศวกรรม เช่น พิจารณาที่ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่ได้สูงสุดร้อยละ 95.32 ของปริมาณกากไขมันที่เดิม ที่ความดันสุดท้าย 210.98 บาร์



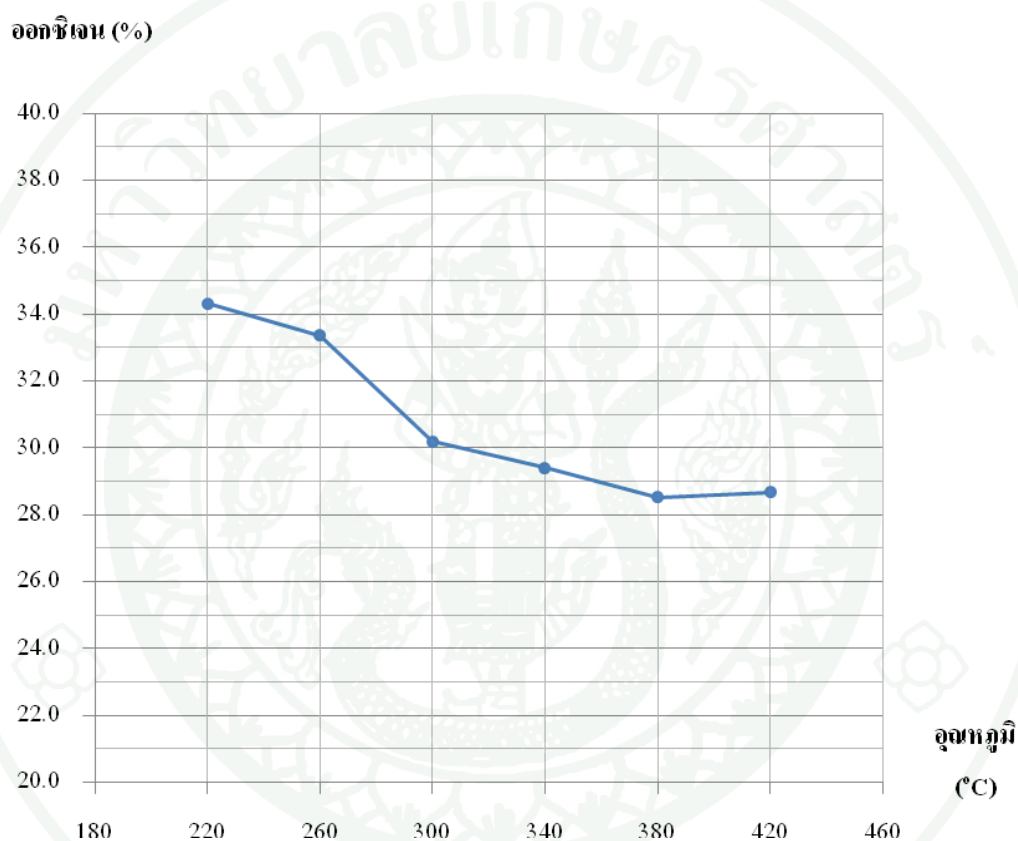
ภาพที่ 21 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาหน่วง 30 นาที

2.2.2 คุณสมบัติน้ำมันชีวมวล

ภายใต้การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในด้านวิศวกรรม น้ำมันชีวมวลเป็นผลผลิตหลักของการทดลองนี้ จึงได้นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่เป็นธาตุองค์ประกอบและค่าความร้อน คือ ตรวจวัดปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ส่วนปริมาณซัลเฟอร์นั้นเนื่องจากกากไขมันไม่มีธาตุองค์ประกอบนี้จึงไม่มีการวิเคราะห์

2.2.2.1 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวมวล

จากภาพที่ 22 พบว่า ปริมาณออกซิเจนมีค่าลดลงอย่างมากในช่วงอุณหภูมิ 220 - 420 องศาเซลเซียส แต่ภายใต้การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในด้านวิศวกรรมน้ำมันชีวมวลที่มีค่าปริมาณออกซิเจนเหมาะสมที่สุดร้อยละ 34.32

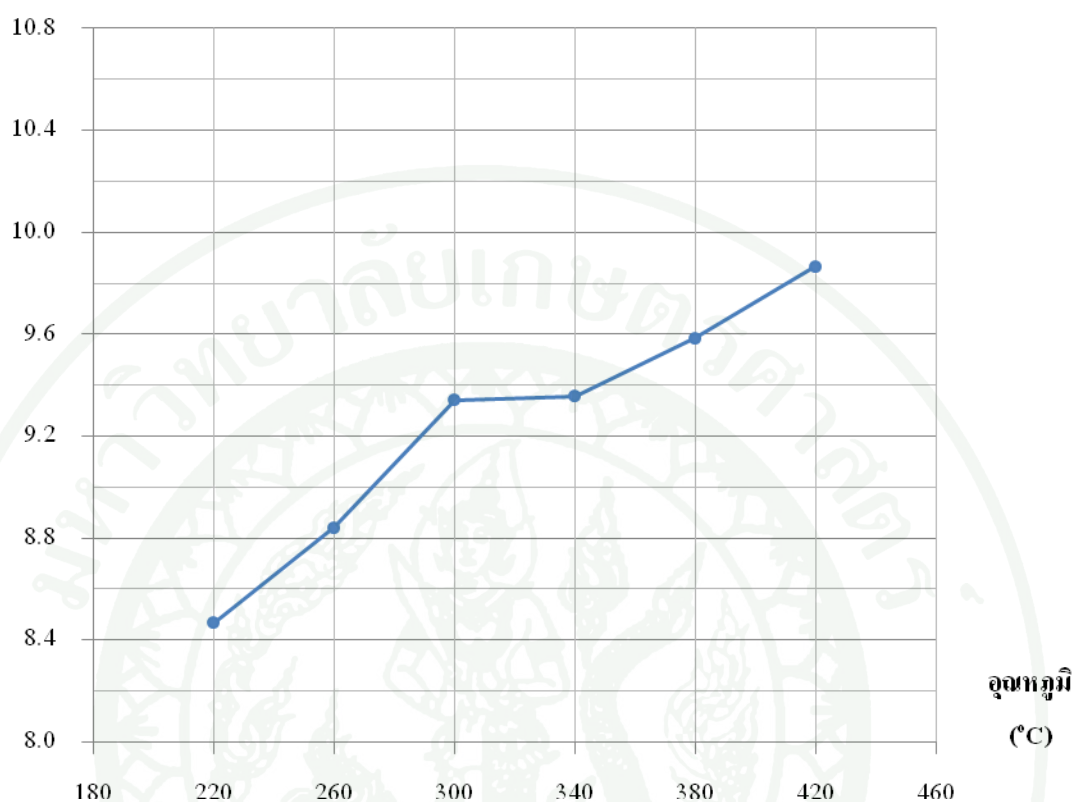


ภาพที่ 22 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที

2.2.2.2 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณไฮโดรเจนในน้ำมันชีวมวล

จากผลการทดลองตามภาพที่ 23 พบว่า คุณภาพน้ำมันชีวมวลที่ได้มีปริมาณไฮโดรเจนแปรผันตามอุณหภูมิอย่างชัดเจน ตรงข้ามกับปริมาณออกซิเจน (ภาพที่ 22) พิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในด้านวิศวกรรมนั้น พบว่าน้ำมันชีวมวลมีค่าปริมาณไฮโดรเจนร้อยละ 8.47

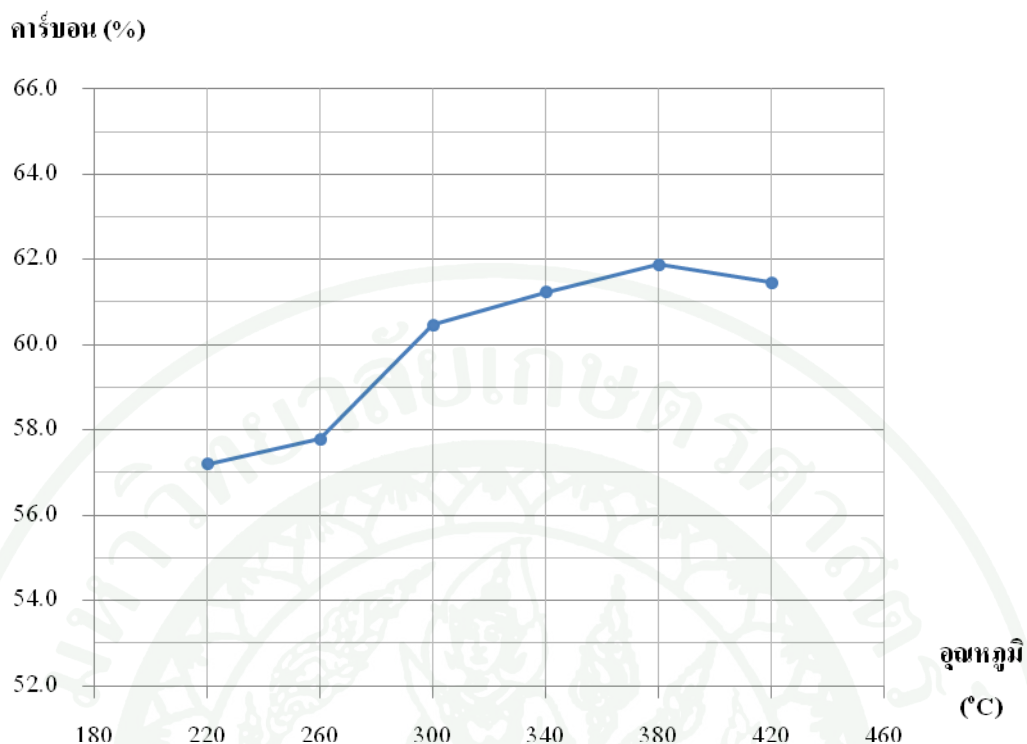
ไฮโดรเจน (%)



ภาพที่ 23 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณไฮโดรเจนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาหนึ่ง 30 นาที

2.2.2.3 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณคาร์บอนในน้ำมันชีวมวล

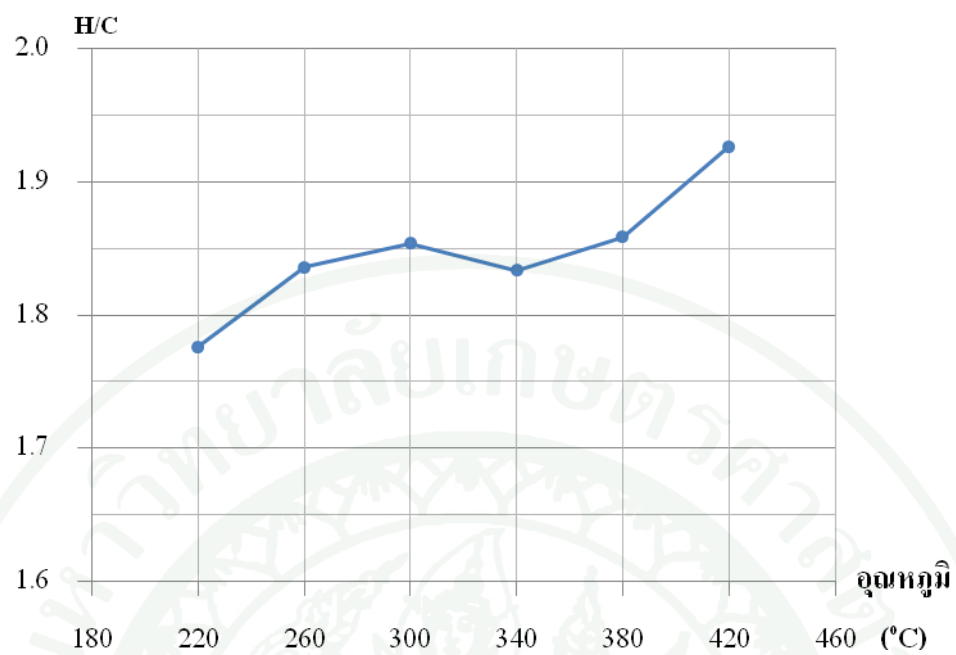
จากผลการทดลองตามภาพที่ 24 พบว่า คุณภาพน้ำมันชีวมวลที่ได้ มีปริมาณคาร์บอนแปรผันตามอุณหภูมิเช่นเดียวกับปริมาณไฮโดรเจน พิจารณาที่สภาวะที่เหมาะสม ในด้านวิศวกรรมนั้น น้ำมันชีวมวลมีค่าปริมาณคาร์บอนร้อยละ 57.21



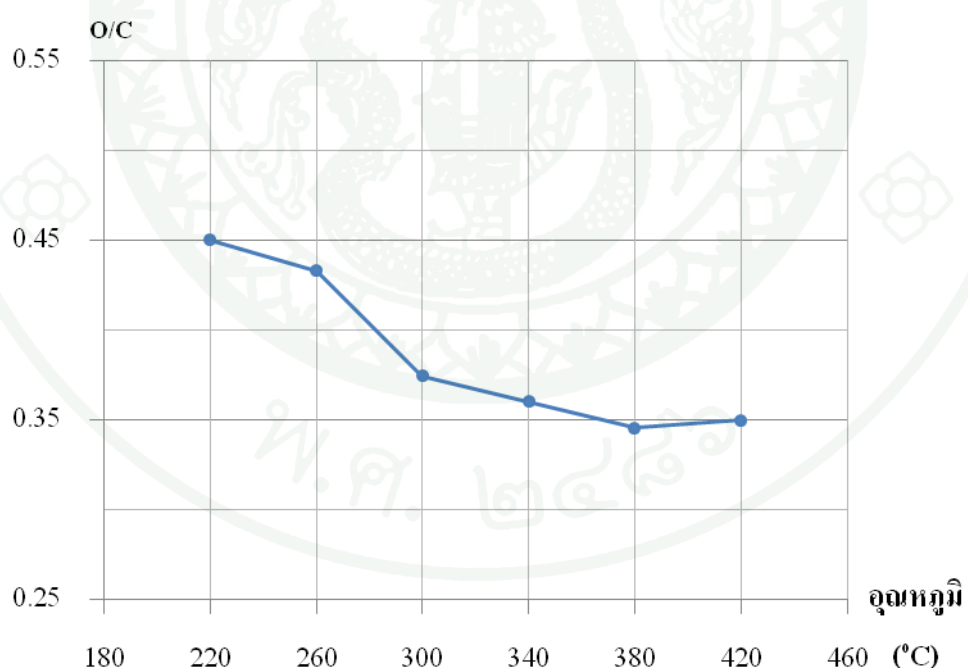
ภาพที่ 24 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณคาร์บอนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที

2.2.2.4 ผลของอุณหภูมิต่อสัดส่วน H/C และ O/C ในน้ำมันชีวมวล

สารไฮโดรคาร์บอนที่มีสัดส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอนโดยโมล (H/C) สูง จะมีค่าความร้อนสูงกว่า สารไฮโดรคาร์บอนที่มีสัดส่วน H/C ต่ำกว่า สำหรับน้ำมันชีวมวลที่ได้ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงภาพที่ 25 (ก) และ O/C ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงภาพที่ 25 (ข)



(ก) สัดส่วนโดยโมลไฮโดรเจนต่อคาร์บอน

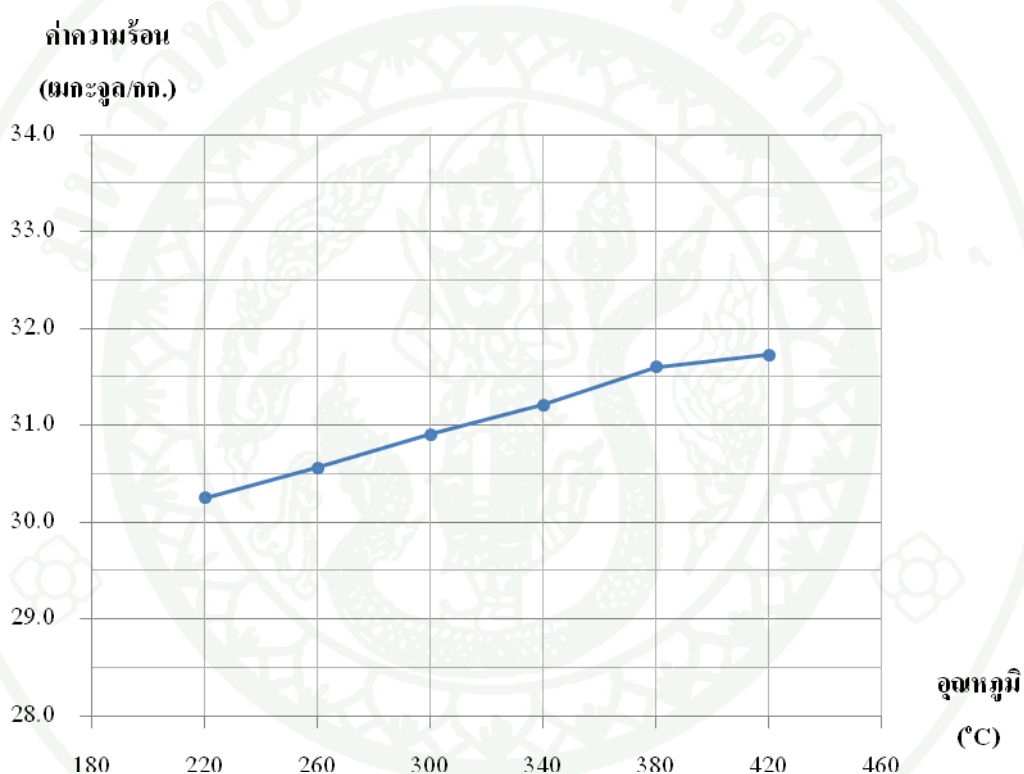


(ข) สัดส่วนโดยโมลออกซิเจนต่อคาร์บอน

ภาพที่ 25 ผลของอุณหภูมิต่อสัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (ก) และ สัดส่วนโดยโมลของออกซิเจนต่อคาร์บอน (ข) ในน้ำมันชีวมวลที่ความดันไอน้ำเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที

2.2.2.5 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความร้อนในน้ำมันชีวมวล

พิจารณาสถานะที่เหมาะสมในด้านวิศวกรรมนั้น น้ำมันชีวมวลที่ได้มีค่าสัดส่วนคาร์บอนและไฮโดรเจนต่ำ เนื่องจากการย่อยสลายกากไขมันยังสมบูรณ์ภายใต้ อุณหภูมิและความดันสุดท้ายต่ำ (ภาพที่ 24 และ 23 ตามลำดับ) แต่ตรงข้ามกับสัดส่วนออกซิเจนที่สูงขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิและความดันสุดท้าย ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในด้านวิศวกรรมนั้น น้ำมันชีวมวลที่ได้มีคุณภาพค่อนข้างต่ำ มีค่าความร้อนเพียง 30.25 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังภาพที่ 26



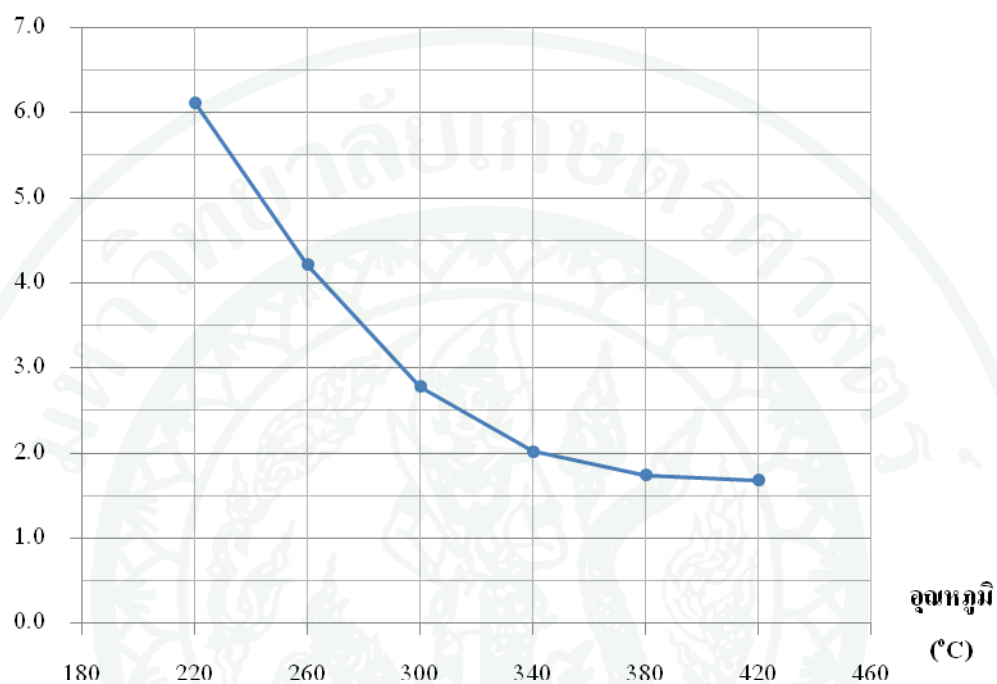
ภาพที่ 26 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความร้อนในน้ำมันชีวมวลที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาแห้ง 30 นาที

2.2.3 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณถ่านคาร์บอน

ถ่านคาร์บอนเป็นกากของแข็งที่เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาการย่อยสลาย กากไขมัน ภายใต้การพิจารณาที่สภาวะที่เหมาะสมในด้านวิศวกรรม โดยพิจารณาจากสภาวะที่ กากไขมันเปลี่ยนรูปเป็นน้ำมันชีวมวลได้ทั้งหมด พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 220-420 องศาเซลเซียส ปริมาณถ่านคาร์บอนลดลงตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ความดันสุดท้าย

33.09 บาร์ และเวลาที่หน่วง 30 นาที ได้ผ่านคาร์บอนร้อยละ 6.12 ของปริมาณกากไขมันที่เดิม (ภาพที่ 27)

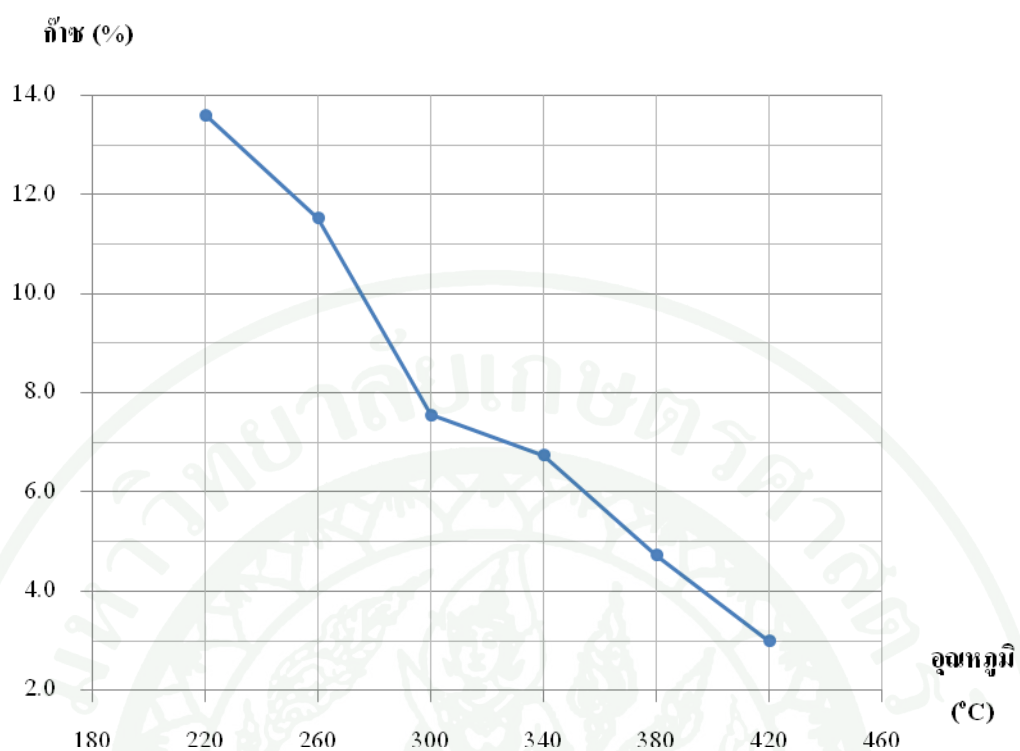
ผ่านคาร์บอน (%)



ภาพที่ 27 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลผลิตผ่านคาร์บอนที่ความดันในโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาหน่วง 30 นาที

2.2.4 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณก๊าซ

ก๊าซเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต สามารถหาได้จากการนำปริมาณกากไขมันที่เดิมลบด้วยปริมาณน้ำมันชีวมวลและผ่านคาร์บอนที่ได้ ตามที่แสดงผลในภาพที่ 28 ปริมาณก๊าซที่ได้ไปในทิศทางเดียวกับปริมาณผ่านคาร์บอนที่ได้ (ภาพที่ 27) ภายใต้การพิจารณาสถานะที่เหมาะสมในด้านวิศวกรรม คือ ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ความดันสุดท้าย 33.09 บาร์ และเวลาที่หน่วง 30 นาที ได้ก๊าซร้อยละ 13.60 ของปริมาณกากไขมันที่เดิม



ภาพที่ 28 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลผลิตก๊าซที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์
ปริมาณกากไขมัน 100 กรัม เวลาหั่น 30 นาที

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความดันสุดท้าย เวลาการหน่วงปฏิกิริยา และอุณหภูมิต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยเติมกากไขมันจำนวน 25, 50, 100 และ 150 กรัม ที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ กำหนดให้อุณหภูมิภายในปฏิกรณ์คงที่ที่ 420 องศาเซลเซียส ค่าของความดันสุดท้ายภายในปฏิกรณ์คือ 74.46, 119.97, 210.98 และ 234.42 บาร์ ตามลำดับ ภายหลังจากที่อุณหภูมิภายในปฏิกรณ์ถึง 420 องศาเซลเซียสแล้ว ทำการหน่วงที่อุณหภูมิและความดันนั้นๆ ไว้เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที เมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละครั้ง ผลผลิตที่ได้ คือ น้ำมันชีวมวล ถ่าน และก๊าซ ต่างแปรผันตามตามความดันสุดท้ายอย่างมากในช่วง 74.46 – 210.98 บาร์ และแปรผันตามน้อยลงในช่วง 210.98 - 234.42 บาร์ ส่วนเวลาที่ใช้น้ำมันไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความดันสุดท้าย 210.98 บาร์ และเวลาหน่วง 30 นาที ได้ผลผลิตหลักคือ น้ำมันชีวมวลสูงถึงร้อยละ 95.32 ของปริมาณกากไขมันที่เติม ส่วนผลผลิตรองคือ ถ่านและก๊าซ ได้ร้อยละ 1.68 และ 3.00 ตามลำดับ นำน้ำมันชีวมวลที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง ได้แก่ ธาตุองค์ประกอบและค่าความร้อน พบว่า ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนแปรผกผันกับความดันสุดท้าย ส่วนปริมาณไฮโดรเจนแปรผันตามความดันสุดท้าย เมื่อพิจารณาสัดส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอนโดยโมล (H/C) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อน ต่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามความดันสุดท้าย ส่วนสัดส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนโดยโมล (O/C) ลดลง ซึ่ง ณ ความดันสุดท้ายที่ 210.98 บาร์ มีปริมาณออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอน ร้อยละ 28.65, 9.87 และ 61.49 ตามลำดับ สัดส่วน H/C มีค่า 1.926 สัดส่วน O/C มีค่า 0.350 และ มีค่าความร้อน 32.52 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ศึกษาผลของอุณหภูมิ โดยเติมกากไขมันเท่ากันที่ 100 กรัม เวลาหน่วง 30 นาที ใช้อุณหภูมิที่ 220, 260, 300, 340, 380 และ 420 องศาเซลเซียส เป็นตัวแปรในการศึกษา ได้ค่าความดันสุดท้าย 33.09, 56.54, 93.77, 129.62, 177.20 และ 210.98 บาร์ ตามลำดับ พบว่า ผลผลิตที่ได้ ได้แก่ น้ำมันชีวมวล แปรผันตามอุณหภูมิ ส่วนถ่านและก๊าซ แปรผกผันกับอุณหภูมิ คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของน้ำมันชีวมวล ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนแปรผกผันกับอุณหภูมิ ส่วนปริมาณไฮโดรเจน ปริมาณคาร์บอน แปรผันตามอุณหภูมิ เมื่อพิจารณาสัดส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอนโดยโมล (H/C) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อน ต่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ส่วนสัดส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนโดยโมล (O/C) ลดลง จากความดันสุดท้ายที่แปรผันตามอุณหภูมิ พบว่า ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ให้ความดันสุดท้าย 33.09 บาร์ ซึ่งมีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม ได้น้ำมันชีวมวล ถ่านคาร์บอน

และ ก๊าซ ร้อยละ 80.28, 6.12 และ 13.60 ตามลำดับ มีองค์ประกอบของไฮโดรเจน ออกซิเจน และ คาร์บอนในน้ำมัน คิดเป็นร้อยละ 8.47, 34.32 และ 57.21 ตามลำดับ สัดส่วน H/C มีค่า 1.776 สัดส่วน O/C มีค่า 0.450 และ มีค่าความร้อน 30.25 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ข้อเสนอแนะ

1. กากไขมันที่ใช้ทดลองได้จากการเก็บที่โรงอาหารคณะวนศาสตร์เพียงที่เดียว จึงควรศึกษาโดยใช้กากไขมันจากบ่อบำบัดที่อื่น นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกันกับงานวิจัยนี้ เพื่อให้การนำไปใช้ประโยชน์มีความถูกต้องมากขึ้น
2. ควรศึกษาหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมมาทดลองเพื่อลดความดันและอุณหภูมิในปฏิกิริยา รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำมันชีวมวล รวมทั้งมีความเหมาะสมทางวิศวกรรม
3. นำน้ำมันชีวมวลที่ได้ไปศึกษาคุณสมบัติด้านความเหมาะสมกับเครื่องยนต์ชนิดต่างๆ เพิ่มเติม เพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันให้ใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2546. คู่มือแนวทางการจัดการกาก ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย โครงการจัดทำหลักเกณฑ์และแนวทางการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย. กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_water.cfm?task, 12 มกราคม 2554.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2551. คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์จากชุมชน. แนวทางการนำกากไขมันไปใช้ประโยชน์. แหล่งที่มา: <http://wqm.pcd.go.th/public/oil/solution2.html>, 5 กันยายน 2555.
- เกษม จันทร์แก้ว. 2547. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 6. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- นิรนาม. ม.ป.ป. ค่าความร้อนเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ และพลังงานเทียบเท่าก๊าซธรรมชาติ. ค่าความร้อนของก๊าซธรรมชาติ. แหล่งที่มา: http://www.pttplc.com/Files/Document/Pdf/energy/nc_en_ee-01_01.pdf, 7 ตุลาคม 2555.
- ประสิทธิ์ เหลืองรุ่งเกียรติ. 2545. ความรู้ความเข้าใจและทัศนคติของผู้ประกอบการที่จำหน่ายอาหารและปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของบ่อดักไขมันในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารการส่งเสริมสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม ปีที่ 25 (2): 1-3
- เขวพา สุวดี. 2554. พลาสติกชีวภาพ. วารสารเพื่อการวิจัยและพัฒนา องค์การเกษตร ปีที่ 18 (4): 1-2
- Anastasakis, K and A. B. Ross. 2011. Hydrothermal liquefaction of the brown macro-alga *Laminaria Saccharina*: Effect of reaction conditions on product distribution and composition. **Bioresource Technology**, 102 (7): 4876-4883.

Anonymous. n.d. **Fat and Oil**. Chemical of the week. Available Source:

http://classes.mhcc.edu/web/ch221_mr/COTW/fats_and_oils/FatsANDOils.html,

September 15, 2010.

He, B. J., Y. Zhang, T. L. Funk, G. L. Riskowski and Y. Yin. 2000. Thermochemical conversion of swine manure an alternative process for waste treatment and renewable energy production. **American Society of Agricultural Engineers**, 43 (6): 1827-1833

Itoh, S. A. Suzuki, T. Nakamura and S. Yokoyama. 1994. Production of heavy oil from sewage sludge by direct thermochemical liquefaction. **Desalination**, 98: 127-133

Minowa, T., M. Murakami, Y. Dote, T. Ogi and S. Yokoyama. 1995. Oil production from garbage by thermochemical liquefaction. **Biomass and Bioenergy**, 8 (2): 117-120.

Wang, Hui., X. J. Liu, Y. X. Liu, P. Chen and J. Sun. 2011. Hydrothermal liquefaction of wheat straws for bio-oil and related analyses. **Advanced Materials Research**, 347-353: 2419-2422.

Yin, S., R. Dolan, M. Harris and Z. Tan., 2010. Subcritical hydrothermal liquefaction of cattle manure to bio-oil: Effects of conversion parameters on bio-oil yield and characterization of bio-oil. **Bioresource Technology**, 101 (10): 3657-3664.

Yokoyama, S. 2008. **The Asian Biomass Handbook A Guide for Biomass Production and Utilization**. The Japan Institute of Energy, Tokyo, Japan.

Zhou, Dong., L. Zhang, S. Zhang, H. Fu and J. Chen. 2010. Hydrothermal liquefaction of macroalgae *Enteromorpha prolifera* to bio-oil. **Energy Fuels**, 24: 4054-4061.

Zou, Shuping., Y. Wu, M. Yang, C. Li and J. Tong. 2010. Bio-oil production from sub- and supercritical water liquefaction of microalgae *Dunaliella tertiolecta* and related properties. **Energy & Environmental Science**, 3 (8): 1073-1078.

Vardon, D. R., B. K. Sharma, J. Scott, G. Yu, Z. Wang, L. Schideman, Y. Zhang and T. J. Strathmann. 2011. Chemical properties of biocrude oil from the hydrothermal liquefaction of *Spirulina* algae, swine manure, and digested anaerobic sludge. **Bioresource Technology**, 102 (7): 8295-8303



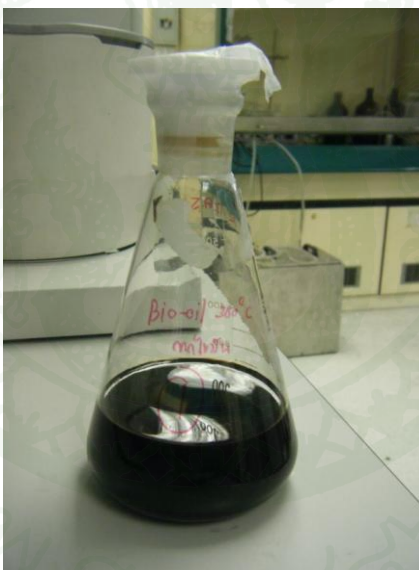




ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง



(ก) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส

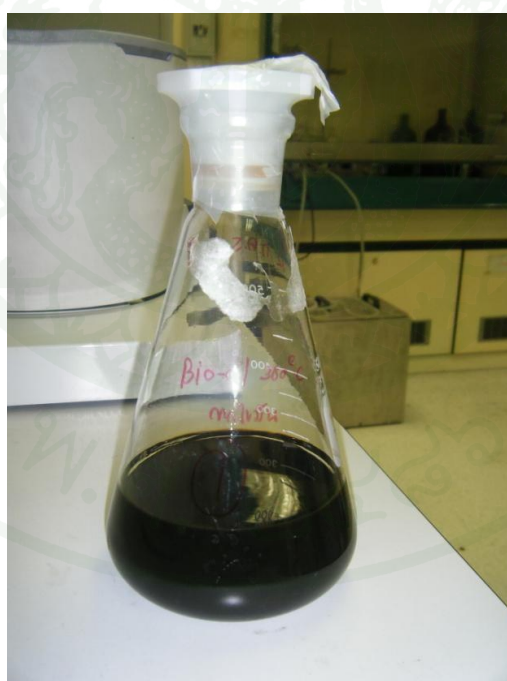


(ข) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส

ภาพผนวกที่ ก1 ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส (ก) ผลผลิตน้ำมันชีวมวล ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส (ข) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส (ค) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (ง) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส (จ) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส (ฉ) ที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 7 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที



(ค) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส



(ง) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)



(จ) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส



(ข) ผลผลิตน้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตารางผนวกที่ ก1 ผลของปริมาณกากไขมันที่ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ เวลาหนึ่ง 30 นาที

กากไขมัน (กรัม)	ความดันสุดท้าย (bar)	ปริมาณผลผลิต						องค์ประกอบของน้ำมัน			ค่าความร้อน (MJ/kg)
		น้ำมัน (g)	ของแข็ง (g)	แก๊ส (g)	น้ำมัน (%)	ของแข็ง (%)	แก๊ส (%)	O (%)	C (%)	H (%)	
25	74.46	22.38	0.593	2.027	89.52	2.37	8.11	29.1932	61.582	9.2248	32.14
50	119.97	46.53	1.065	2.405	93.06	2.13	4.81	29.0236	61.544	9.4324	32.23
100	210.98	95.32	1.683	2.997	95.32	1.68	3.00	28.6456	61.487	9.8674	32.52
150	234.42	143.78	2.462	3.758	95.85	1.64	2.51	28.6839	61.452	9.8641	32.54

ตารางผนวกที่ ก2 ผลของปริมาณกากไขมันที่ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ เวลาหั่น 60 นาที

กากไขมัน (กรัม)	ความดันสุดท้าย (bar)	ปริมาณผลผลิต						องค์ประกอบของน้ำมัน			ค่าความร้อน (MJ/kg)
		น้ำมัน (g)	ของแข็ง (g)	แก๊ส (g)	น้ำมัน (%)	ของแข็ง (%)	แก๊ส (%)	O (%)	C (%)	H (%)	
25	74.46	22.43	0.580	1.990	89.72	2.32	7.96	29.1716	61.606	9.2224	32.14
50	119.97	46.62	1.076	2.304	93.24	2.15	4.61	28.9984	61.548	9.4536	32.28
100	210.98	95.52	1.661	2.819	95.52	1.66	2.82	28.6628	61.472	9.8652	32.52
150	234.42	143.97	2.458	3.572	95.98	1.64	2.38	28.6762	61.458	9.8658	32.56

ตารางผนวกที่ ก3 ผลของปริมาณกากไขมันที่ อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ เวลาหั่น90 นาที

กากไขมัน (กรัม)	ความดันสุดท้าย (bar)	ปริมาณผลผลิต						องค์ประกอบของน้ำมัน			ค่าความร้อน (MJ/kg)
		น้ำมัน (g)	ของแข็ง (g)	แก๊ส (g)	น้ำมัน (%)	ของแข็ง (%)	แก๊ส (%)	O (%)	C (%)	H (%)	
25	74.46	22.47	0.584	1.946	89.87	2.34	7.79	29.1759	61.594	9.2301	32.12
50	119.97	46.69	1.082	2.228	93.38	2.16	4.46	29.0013	61.542	9.4567	32.26
100	210.98	95.64	1.619	2.741	95.64	1.62	2.74	28.6459	61.484	9.8701	32.50
150	234.42	144.06	2.477	3.463	96.04	1.65	2.31	28.6751	61.456	9.8689	32.54

ตารางผนวกที่ ก4 ผลของอุณหภูมิ โดยใช้กากไขมัน 100 กรัม ความดันเริ่มต้น 7 บาร์ เวลาหั่น 30 นาที

กากไขมัน (กรัม)	ความดันสุดท้าย (bar)	ปริมาณผลผลิต						องค์ประกอบของน้ำมัน			ค่าความร้อน (MJ/kg)
		น้ำมัน (g)	ของแข็ง (g)	แก๊ส (g)	น้ำมัน (%)	ของแข็ง (%)	แก๊ส (%)	O (%)	C (%)	H (%)	
420	210.98	95.32	1.683	2.997	95.32	1.68	3.00	28.6716	61.461	9.8674	31.72
380	177.20	93.53	1.742	4.728	93.53	1.74	4.73	28.5285	61.887	9.5845	31.60
340	129.62	91.24	2.017	6.743	91.24	2.02	6.74	29.4128	61.231	9.3562	31.21
300	93.77	89.67	2.780	7.550	89.67	2.78	7.55	30.1879	60.471	9.3411	30.90
260	56.54	84.27	4.209	11.521	84.27	4.21	11.52	33.3657	57.793	8.8413	30.56
220	33.09	80.28	6.124	13.596	80.28	6.12	13.60	34.3236	57.209	8.4674	30.25



การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากกากไขมันภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง
Bio-oil Production from Grease Wastes under High Pressure and Temperature

วิลาสินี พรหมศิลา¹ อภิญญา ดวงจันทร์² สุจินณา กรรณสูตร¹ ธเนศ อุทิศธรรม³ และ
 อุณาโลม เวทย์วัฒนะ⁴

Wilasinee Phromsila¹ Apinya Duangchan² Sujinna Karnasuta¹ Thanee Utistham³ and
 Unalome Wetwatana⁴

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Environmental Science, Faculty of College of Environment, Kasetsart University,
 Bangkok 10900.

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering Kasetsart University, Kasetsart University,
 Bangkok 10900.

³ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ปทุมธานี 10210

³Energy Technology Department, Thailand Institute of Scientific and Technological Research,
 Pathum Thani 12120.

⁴ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและกระบวนการ คณะบัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

⁴Department of Chemical and Process Engineering, Faculty of The Sirindhorn Thai-German International
 Graduate School of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำกากไขมันมาผลิตเป็นน้ำมันชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน
 เชื้อเพลิงจากฟอสซิล โดยการนำกากไขมันที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 80 มาทำปฏิกิริยาภายใต้
 สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง ปฏิกรณ์ขนาด 0.5 ลิตร อัตราการเติมกากไขมัน 100 กรัม ใน
 สภาวะอุณหภูมิ 420, 380, 340, 300, 260 และ 220 องศาเซลเซียส และเวลาหน่วงนานอีก 30 นาที
 ภายหลังจากที่อุณหภูมิภายในถึงปฏิกรณ์ถึง 420 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่
 เหมาะสมที่สุดในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากกากไขมัน คือที่อัตราการเติมกากไขมัน 100 กรัม ความ
 ดันสุดท้ายในถึงปฏิกรณ์ 210.98 บาร์ และเวลาหน่วงนาน 30 นาที พบว่าได้น้ำมันชีวภาพ 95.32 %

ของกากไขมันที่เดิม ซึ่งมีองค์ประกอบของไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน คิดเป็นร้อยละ 9.88, 28.67 และ 61.49 ตามลำดับ มีค่าความร้อน 32,521.35 กิโลจูลต่อกิโลกรัม น้ำมันชีวภาพที่ได้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้

ABSTRACT

In this research, the utilization of grease in form of bio-oil have been studied and promoted to be a sustainable fuel instead of fossil fuels. A grease waste with moisture content > 80% was used in the reaction under High Pressure and Temperature and in 0.5 liter reactor. A feed rate of grease 100 g and temperature as 420, 380, 300, 260, and 220°C were obtained, while a retention time as 30 minute was added after a temperature increased to 420 °c. The experimental results showed that the optimal conditions as 210.98 bar and a retention as 30 min were obtained. A 95.32 % bio-oil of the 100 g grease waste was produced. Bio-oil was composed of 9.88% hydrogen, 28.67% oxygen and 61.49% carbon with heating value of 32,521.35 KJ/Kg. Then, a bio-oil from grease could be potentially used to substitute a fuel oil.

Key Words: Supercritical water, Grease waste, Bio-oil

e-mail address: Another-part-of-air@hotmail.com, w.phromsila@gmail.com

คำนำ

เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมากและเพิ่มขึ้นทุกปี เช่นเดียวกับอัตราการใช้น้ำมันของโลกที่มีอัตราเพิ่มขึ้นโดยตลอด ประกอบกับสถานะการผันผวนของราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในตลาดโลก น้ำมันดิบเป็นพลังงานเชื้อเพลิงจากธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดสิ้นไป คาดว่าในรอบศตวรรษนี้ยังมีน้ำมันใช้อยู่ตลอด แต่จะค่อยๆลดบทบาทลงเพราะมีการนำพลังงานทางเลือก ได้แก่ ไบโอดีเซล พลังงานไฟฟ้า แก๊สธรรมชาติ LPG และ NGV มาใช้ทดแทน หนึ่งในเชื้อเพลิงที่ใช้กันในขณะนี้คือ เชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเป็นพลังงานที่นิยมใช้ในปัจจุบันอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น การผลิตน้ำมันจากเศษผัก ผลไม้ และเศษอาหาร นอกจากนี้ยังมีการนำกากไขมันที่ดูเหมือนไม่มีประโยชน์นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว เพราะกากไขมันเหล่านี้

เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม กล่าวคือ กากไขมันส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำเสีย ซึ่งหากระบายลงสู่ธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัด จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ เนื่องจากชั้นไขมันจะลอยปิดผิวหน้าของระดับผิวน้ำ ทำให้ออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถละลายผ่านถ่ายเทลงสู่ชั้นผิวน้ำด้านล่างได้ ยังผลให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีระดับลดลง ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทั้งพืช สัตว์น้ำ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ และยังส่งผลให้แหล่งน้ำและบริเวณโดยรอบเกิดความเสื่อมโทรมลง และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณกว้างขึ้น (ประสิทธิ์ , 2545) อีกทั้งกากไขมันเหล่านี้ยังส่งกลิ่นเหม็นได้รวดเร็วไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ดังนั้น การนำกากไขมันที่มีความชื้นสูงเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น Esterification, Gasification, Pyrolysis หรือโดยกระบวนการ Hydrothermal ซึ่งเป็นวิธีที่ผลิตน้ำมันได้อย่างที่นิยมและมีประสิทธิภาพ วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสมกับวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงเกิน 80 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำกากไขมันมาเปลี่ยนรูปให้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบเชื้อเพลิงเหลว (น้ำมันชีวภาพ) เพื่อลดปริมาณกากไขมันและเพิ่มมูลค่าของเสีย ซึ่งจะส่งผลดีและเป็นประโยชน์ต่อคุณภาพชีวิต คุณภาพสิ่งแวดล้อม และงบประมาณของประเทศไทยในระดับต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

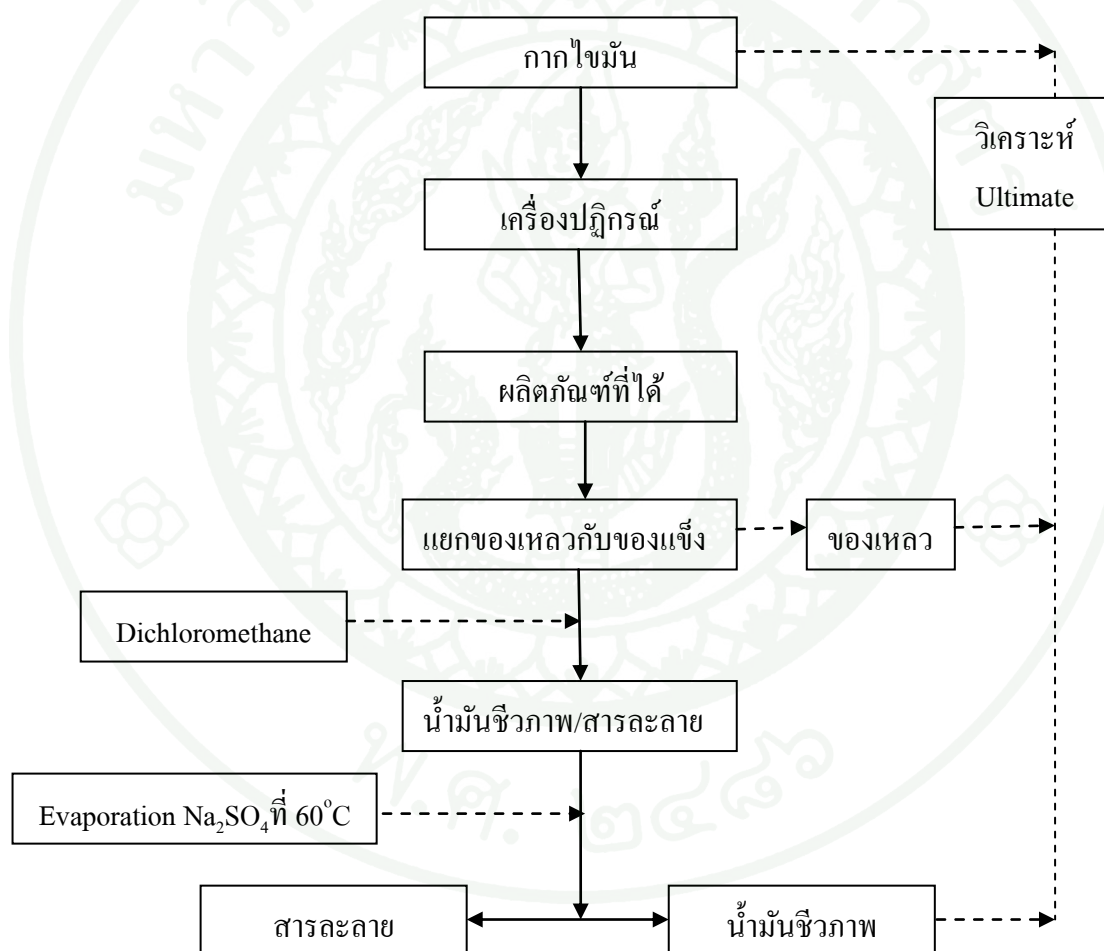
เครื่องปฏิกรณ์รุ่น 4843 ผลิตโดย Parr Instrument Company มีปริมาตร 500 มิลลิลิตร เครื่องวัดค่าความร้อน (Bomb calorimeter) เครื่องวิเคราะห์ธาตุ (CHNS analyzer) เตาอบ (Oven) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง และเครื่องแก้ว

การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง

กากไขมันที่เก็บมาจากโรงอาหารคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยการนำกากไขมันไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุ (Ultimate analysis) ได้แก่ C, H, N, O, S และค่าความร้อน (Heating value)

ขั้นตอนการวิจัย

นำกากไขมันบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์ จำนวน 150 กรัม ก่อนการทดลองจะทำการไล่อากาศและแก๊สอื่นๆ ที่อาจติดค้างในระบบด้วยแก๊สไนโตรเจนไม่น้อยกว่า 3 ครั้ง จากนั้นกำหนดอุณหภูมิเป็น 420, 380, 340, 300, 260 และ 220 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงถึงค่าที่กำหนดจะหน่วงเวลาไว้อีก 30 นาที ผลผลิตที่ได้นำมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณน้ำมันชีวภาพ ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ และค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ ดังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันชีวมวล

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลผลิตที่ได้

ผลผลิตที่ได้ประกอบไปด้วย น้ำมันชีวภาพ ถ่านคาร์บอน ของเหลวและแก๊ส ผลผลิตหลักที่ต้องการนี้คือ น้ำมันชีวภาพ สภาวะของอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 380 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณกากไขมัน 150 กรัม ความดันสุดท้าย 195.811 บาร์ และระยะเวลาที่หน่วงภายหลังจากที่อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกิริยาถึง 380 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้ผลิตน้ำมันชีวภาพ 123.56 กรัม (ตารางที่ 1, ภาพที่ 2)

สมบัติด้านเชื้อเพลิงของผลผลิตที่ได้

ผลผลิตน้ำมันชีวภาพถูกนำไปวิเคราะห์หาสมบัติปริมาณธาตุและค่าความร้อน ตามวิธีวิเคราะห์ ASTM D 5373 และ ASTM D 5865 ซึ่งเป็นตัวชี้วัดชี้วัดสมบัติด้านเชื้อเพลิง ค่าปริมาณซัลเฟอร์จะไม่มีการวิเคราะห์เนื่องจากชีวมวลเหล่านี้ไม่มีหรือมีน้อยมาก

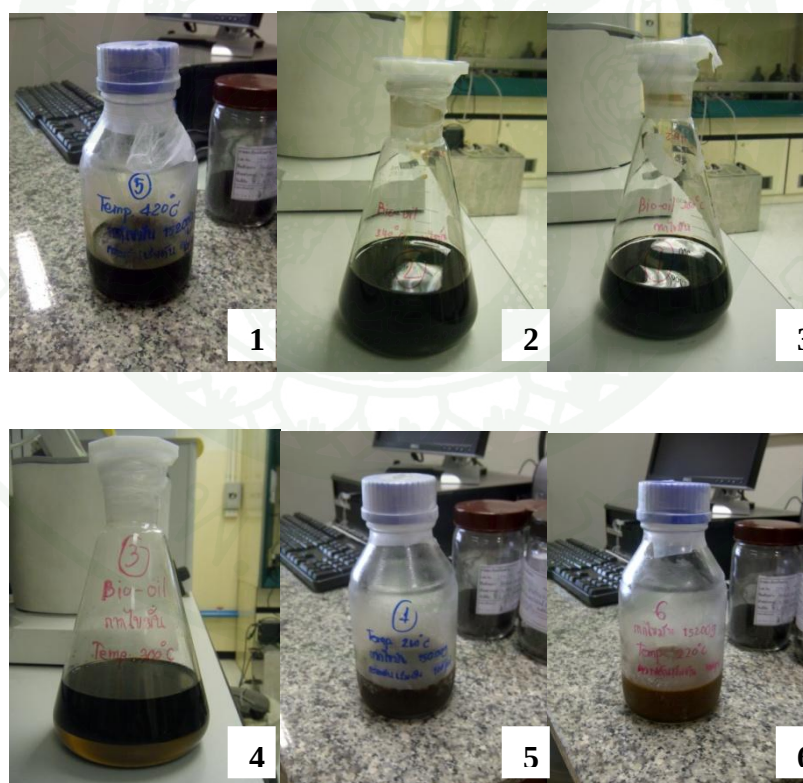
สัดส่วนสารไฮโดรคาร์บอนที่สูง (คาร์บอนและไฮโดรเจน) แสดงถึงค่าความร้อนสูงในน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด ถ้ามีสารไฮโดรคาร์บอนมาก แสดงถึงค่าความร้อนที่สูง

ค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพ มาจากสัดส่วนคาร์บอนและไฮโดรเจนโดยตรง ส่วนออกซิเจนไม่มีผลต่อค่าความร้อน น้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการนี้มีค่าความร้อน 32,551.33 กิโลจูลต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1)

การวิเคราะห์หาสมบัติปริมาณธาตุของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการนี้ พบว่ามีองค์ประกอบของไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน คิดเป็นร้อยละ 10.02, 28.49 และ 61.49 ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำมันชีวมวล (g), ความดันสุดท้าย (bar), สัดส่วนของธาตุ C, O และ H ในน้ำมันชีวมวล และค่าความร้อน (KJ/kg)

No.	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Bio-oil (g)	oxygen (%)	carbon (%)	hydrogen (%)	heating value (KJ/kg)
1	420	234.42	132.77	29.2816	60.918	9.8004	32,450.36
2	380	195.81	123.56	28.489	61.487	10.024	32,551.33
3	340	139.96	123.04	29.9991	60.315	9.6859	31,756.67
4	300	90.32	116.13	31.0234	59.274	9.7026	31,498.41
5	260	51.02	111.27	31.6129	59.302	9.0851	31,012.58
6	220	24.82	106.36	31.9933	58.182	9.8247	30,911.64



ภาพที่ 2 น้ำมันชีวมวลที่อุณหภูมิ (1) 420°C, (2) 380°C, (3) 340°C, (4) 300°C, (5) 260°C และ (6) 220°C

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางการนำกากไขมันมาผ่านเทคโนโลยีการย่อยสลายภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้ผลผลิตเป็นน้ำมันชีวภาพและผลพลอยได้ถ่านคาร์บอน ในการทดลองนี้ใช้กากไขมันจำนวน 150 กรัม เดิมเข้าไปในปฏิกรณ์ ในสภาวะอุณหภูมิต่างๆและเวลาหน่วงที่ 30 นาที โดยกำหนดให้การทดลองอยู่ภายใต้ภาวะน้ำเหนือวิกฤต เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อผลผลิตที่ได้ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการทดลองคือ ที่ 380 องศาเซลเซียส ความดันสุดท้ายในปฏิกรณ์ 195.811 บาร์ ได้ผลิตก้น้ำมันชีวภาพ 123.56 กรัมของกากไขมันที่เดิม มีไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน เป็นองค์ประกอบ คิกเป็นร้อยละ 10.02, 28.49 และ 61.49 ตามลำดับ และมีค่าความร้อน 32,551.33 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนของน้ำมันเบนซิน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ได้ คุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณเจ้าหน้าที่กองยานพาหนะ อาคาร และสถานที่ และ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยเก็บกากไขมันจากบ่อคักไขมันเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2546. คู่มือแนวทางการจัดการกาก ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย โครงการจัดทำหลักเกณฑ์และแนวทางการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย. กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย. แหล่งที่มา:
http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_water.cfm?task, 12 มกราคม 2554.

ประสิทธิ์ เหลืองรุ่งเกียรติ. 2545. ความรู้ความเข้าใจและทัศนคติของผู้ประกอบการที่จำหน่ายอาหารและปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของบ่อคักไขมันในเขตกรุงเทพมหานคร วารสารการส่งเสริมสุขภาพอนามัย และสิ่งแวดล้อม ปีที่ 25 ฉบับที่ 2 (เมษายน - มิถุนายน)

อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย. 2551. **ปิโตรเลียมและปิโตรเคมี**. ไบโอดีเซล. แหล่งที่มา:

<http://www.vcharkarn.com/vnews/>, 12 มกราคม 2554.

Canakci, M. 2007. The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. **Bioresource Technology**, 98: 183–190.

Demirbas, A. 2005. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods. **Progress in Energy and Combustion Science**, 31: 466–487

Issariyakul, T., M. Kulkarni, A. Dalai. and N. Bakhshi. 2007. Production of biodiesel from waste fryer grease using mixed methanol/ethanol system. **Fuel Processing Technology**, 88: 429–436.

Liang, Y., Y. Cui, J. Trushenski. and J. Blackburn. 2010. Converting crude glycerol derived from yellow grease to lipids through yeast fermentation. **Bioresource Technology**, 101: 7581–7586.

Schulte, B. 2008. Chicken fat converted into biodiesel using supercritical methanol. **Science Daily**. Available Source: http://www.clinictech.psu.ac.th/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=2, April 06, 2008.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-สกุล

นางสาววิลาสินี พรหมศิลา

วัน เดือน ปีเกิด

11 พฤศจิกายน พ.ศ.2530

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

มัธยมศึกษาปีที่ 1-3 โรงเรียนสตรีนครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ พ.ศ.2545
มัธยมศึกษาปีที่ 4-6 โรงเรียนนครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ พ.ศ. 2548

ระดับปริญญาตรี

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2552

ระดับปริญญาโท

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2555

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

วิลาสินี พรหมศิลา, อภิญญา ดวงจันทร์, สุจินณา กรรณสูต, ธเนศ อุทิศธรรม และ อุณาโลม เวทย์วัฒนะ. 2555, “การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากกากไขมันภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง”, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 50 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 31 มกราคม-2 กุมภาพันธ์ 2555, อาคารสารนิเทศ 50 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์