การศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก้อนจากของผสมระหว่างส่วนที่เหลือของกากไขมันกับวัสดุทิ้งเสียทางการเกษตร

The study of heating value of fuel mass mixing between residue of fat dregs and agricultural wastes

สำรวม โกศลานันท์[1] พิพัฒน์ ปราโมทย์[2] และณัฐสิทธิ์ พัฒนะอิ่ม[3]

บทคัดย่อ

ไขมันจากพืชและสัตว์มีความสามารถในการจุดติดไฟได้ น้ำมันพืชโดยทั่วไปให้ค่าพลังงานความร้อนประมาณ 35,000 kJ/kg ไขมัน และน้ำมันจากสัตว์ให้ค่าพลังงานความร้อนประมาณ 37,000 kJ/kg ส่วนน้ำมันเตา (Burner fuel oil no.2) ให้ค่าพลังงานความร้อนประมาณ 39,000 kJ/kg จะเห็นได้ว่ากากไขมันจากบ่อดักไขมันของสถานที่จำหน่ายอาหาร ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างไขมันพืช และสัตว์มีค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าน้ำมันเตาเล็กน้อย อย่างไรก็ตามการผสมวัสดุทิ้งเสียทางการเกษตรเข้าด้วยกันอาจช่วยเพิ่มค่าพลังงานความร้อนขึ้นได้ นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยทำให้ไขมันจับตัวเป็นก้อนได้ด้วย ซึ่งเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของแข็งนั้น มีความสะดวกต่อการขนส่ง และการอุปโภคตามครัวเรือนมากกว่าเชื้อเพลิงเหลว งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก้อน จากของผสมระหว่างส่วนที่เหลือของกากไขมันภายหลังการผลิตไบโอดีเซลกับวัสดุทิ้งเสียทางการเกษตร เพื่อให้ก้อนเชื้อเพลิงนี้สามารถจุดติดไฟได้อย่างต่อเนื่อง

คำสำคัญ : กากไขมัน, แกลบ, ขี้เลื่อย, เหง้ามันสำปะหลัง, ซังข้าวโพด

Abstract

Fat from vegetable and animal are able to light the fire. Generally, vegetable oil gives the value of heating energy about 35,000 kJ/kg. fat and animal oil give the value of heating energy about 37,000 kJ/kg while burner fuel oil gives 39,000 kJ/kg. This can be seen that fat dregs from grease traps in food courts mixed between vegetable and animal fat give the value of heating energy slightly lower than burner fuel oil. However, mixing of agricultural wastes may increase the heating energy value. Apart from this, these wastes also make the fat becoming solid. This research aims to study the heating energy value of fuel mass which is mixed between residue of fat dregs remained from fat dregs after producing bio-diesel with agricultural wastes in order to light the fire continuously.

Keywords : fat dregs, rice husks, saw dust, cassava roots, corn cobs

[1]อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[2]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[3]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1.บทนำ

เนื่องจากสภาวะสังคมเมืองที่ชุลมุนในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองหลวง ประกอบกับการจราจรที่ติดขัดทำให้ผู้คนส่วนใหญ่ต่างมีความเร่งรีบโดยเฉพาะต่อการดำรงชีวิต ในเรื่องของการเดินทาง การประกอบอาชีพ การแสวงหาอาหารเพื่อการดำรงชีวิต จะเห็นได้ว่าตามศูนย์การค้าหลายแห่ง จะแน่นขนัดไปด้วยผู้คนที่ต่างก็มาหาซื้ออาหารรับประทานมากกว่าการทำอาหารทานเองที่บ้าน เพราะความสะดวกรวดเร็ว ความหลากหลายของอาหาร ศูนย์อาหารเหล่านี้เองที่ก่อให้เกิดปัญหาจากการประกอบอาหาร โดยทิ้งกากไขมัน และเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคในแต่ละวันค่อนข้างมาก จนก่อให้เกิดมลพิษในการทำลายสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะก่อให้เกิดน้ำเน่าเสียเพราะกากไขมันที่จะกลายเป็นฟิลม์บนผิวน้ำทำให้ออกซิเจนไม่สามารถละลายลงไปในน้ำได้ และเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อมต่างๆ ทั้งนี้อาจจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำลายค่อนข้างสูง เช่นการฝังกลบ โดยเฉลี่ยค่าใช้จ่ายประมาณลูกบาศก์เมตรละ 1,000 บาท ซึ่งยังไม่คิดรวมค่าขนส่ง

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 การผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลคือเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมซึ่งสามารถผลิตได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่ายเป็นต้น ไบโอดีเซลมีการผลิตใช้ในเมืองไทยแล้วมีทั้งที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ และจากน้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้ว

ในทางเคมีไบโอดีเซลคือสารอินทรีย์ประเภทเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากไขมันของสิ่งมีชีวิตโดยใช้กระบวนการทรานซีสเตอริฟิเคชั่น (transesterification) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (ไตรกลีเซอไรด์) กับแอลกอฮอล์ที่ได้จากชีวมวล (คือเอทานอลและเมทานอล ส่วนใหญ่จะใช้เมทานอลเพราะราคาถูกกว่าเอทานอล) ได้เป็นเอสเทอร์และกรีเซอรอล

ไตรกลีเซอร์ไรด์จะทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่ผสมด่างแก่ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (โซเดียมไฮดรอกไซด์, โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนใหญ่จะใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์) ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังนั้นจึงต้องใส่แอลกอฮอล์ให้มากด้วยเพื่อผลักดันการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์การผลิตด้วยวิธีนี้สามารถให้เอสเทอร์ได้ถึง 98 % เมื่อปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้วสามารถแยกกรีเซอรีนซึ่งหนักกว่าเอสเทอร์ออกมาได้โดยการตั้งทิ้งไว้หรือใช้เครื่องปั่นแยกก็ได้ ในส่วนที่เป็นเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลจะมีแอลกอฮอล์ที่เหลือจากปฏิกิริยาผสมอยู่ด้วยจนต้องทำการแยกแอลกอฮอล์เหล่านี้ออกก่อนโดยการระเหยหรือกลั่นนั่นเอง แอลกอฮอล์ที่แยกได้สามารถที่จะเก็บกลับมาใช้ใหม่ได้

ข้อควรระวังในการผลิต

การผสมเมทานอลกับด่างแก่ก่อนที่จะใส่ลงไปทำปฏิกิริยากับไขมัน ต้องระวังการสัมผัส เนื่องจากสารตัวกลางที่ได้มีความไวในการเกิดปฏิกิริยามาก นอกจากสารตัวกลางที่ต้องระวังแล้ว เมทานอลและด่างแก่เองก็มีอันตรายด้วยเช่นกัน ประการสำคัญเมทานอลที่เหลือจากปฏิกิริยาซึ่งแยกออกจากไบโอดีเซลภายหลังด้วยการระเหยนั้น พบว่าในการผลิตทั่วไปมักจะปล่อยเมทานอลทิ้งให้ระเหยไปสู่บรรยากาศ ถ้าเป็นการผลิตปริมาณน้อยในสถานที่ซึ่งอากาศถ่ายเทสะดวกก็อาจไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ แต่หากเป็นการผลิตปริมาณมาก เมทานอลที่ปล่อยทิ้งจะมากตามไปด้วย ควรเก็บเมทานอลกลับมาใช้ใหม่ เพราะเมทานอลเองเป็นสารที่ไวไฟสูง เป็นพิษต่อร่างกายหากสูดดม สัมผัสผิวหนังหรือรับประทาน นอกจากนี้ในระยะยาวยังสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ดีอีกด้วย

2.2 สมบัติของวัสดุทิ้งเสียทางการเกษตร

ของทิ้งเสียทางการเกษตร เช่น แกลบ ขี้เลื่อย ชานข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง วัสดุเหล่านี้มีสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดี และสามารถนำไปใช้ให้พลังงานความร้อน

การนำวัสดุทิ้งเสียทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์เป็นการลดขยะทางการเกษตร สามารถผลิตเชื้อเพลิงอัดก้อนสำเร็จรูปพร้อมใช้ วัสดุทิ้งเสียทางการเกษตรเป็นโครงการนำร่องการผลิตสำหรับชุมชน เพื่อการพึ่งพาตนเองในลักษณะเศรษฐกิจพอเพียงทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดก้อนในแง่ การให้พลังงาน และเป็นพลังงานทางเลือกใหม่สำหรับประชาชนทั้งในเขตเมืองและชนบท

การเลือกวัสดุทิ้งเสียที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย ซางข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง นั้น ภายหลังการวางแผนทำโครงงาน โดยประกอบด้วย การทดลองและระยะเวลาของการทดลอง การเตรียมวัตถุดิบทางการเกษตร แล้วทำการทดลองผสมวัตถุดิบกับตัวเชื่อมประสานในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อชั่งน้ำหนักแล้วให้นำเข้าเครื่องอัด

ตารางที่ 1 ปริมาณความร้อนของวัสดุทิ้งเสียทางการเกษตร

ชนิดของวัสดุทิ้งเสียทางการเกษตร	ปริมาณความร้อน *(kJ/kg)*
แกลบ	3,296
ขี้เลื่อย	2,600
ซางข้าวโพด	2,125
เหง้ามันสำปะหลัง	3,029

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บอมบ์แคลอริมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับทดลองหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง โดยอาศัยหลักการทำงานด้วยกระบวนการปริมาตรคงที่ เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปแล้วจะให้พลังงานความร้อนออกมา ซึ่งจะกำหนดให้อยู่ในรูปของค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนัก เช่น บีทียู/ปอนด์ กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และกิโลจูล/กิโลกรัม

ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิง คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิง เนื่องจากการสันดาปเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ โดยปกติการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวกสารไฮโดรคาร์บอน เมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจนแล้ว ผลของการสันดาปจะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ซึ่งอยู่ในสถานะของไอน้ำ) ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ได้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ได้จะให้ค่าความร้อนสูงสุด แต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัว ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงจะเป็นค่าความร้อนต่ำ การหาค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงโดยใช้บอมบ์-แคลอริมิเตอร์ เป็นการนำเอาเชื้อเพลิงที่จะทำการทดสอบไปชั่งน้ำหนัก แล้วมาเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์ ภายใต้ความดันภายในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นรอบตัวบอมบ์-แคลอริมิเตอร์ ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิของน้ำได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ และปริมาณความร้อนสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$Q = mc\Delta T \qquad (1)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน *(kJ)*

m คือ มวลของน้ำในแคลอริมิเตอร์ *(kg)*

c คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ *(kJ/kg K)*

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง *(K)*

ปริมาณความร้อนที่คำนวณได้จากสมการยังมิใช่ความร้อนที่ถูกต้อง เพราะตัวของบอมบ์แคลอริมิเตอร์ยังสามารถดูดค่าความร้อนบางส่วนไว้ในตัวมันเอง และความร้อนบางส่วนก็สูญเสียไปให้กับบรรยากาศรอบๆ ไอน้ำบางส่วนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้และยังกลั่นตัวไม่หมด ซึ่งไอน้ำดังกล่าวจะดูดความร้อนเอาไว้ นอกจากนั้นยังมีความร้อนบางส่วนที่มาจากขดลวดขณะจุดติดเชื้อเพลิง และการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศของออกซิเจน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิสูงมาก และจะรวมตัวเป็นกรดไนตริกและกรดซัลฟูริก

จากลักษณะดังกล่าว เพื่อให้ทราบค่าความร้อนที่แท้จริงของเชื้อเพลิงควรปรับข้อผิดพลาดดังต่อไปนี้

1.ต้องตรวจสอบค่าน้ำสมบูรณ์ของเครื่องทดสอบ

2.ให้อุณหภูมิของน้ำต่ำกว่าบรรยากาศโดยรอบประมาณครึ่งหนึ่งของอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการเผาไหม้

3.ต้องหยดน้ำลงบนบอมบ์แคลอริมิเตอร์ เพื่อให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้

4.หาปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ของขดลวดแล้วนำไปลบออก

5.ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงทดสอบน้อย เพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นเพียง 2 - 3 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีความผิดพลาดน้อยที่สุด

ดังนั้นการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ควรใช้สมการดังต่อไปนี้

$$Q = mc\Delta T - C_1 - C_2 - C_3 \qquad (2)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน *(kJ)*

m คือ มวลของน้ำในแคลอริมิเตอร์ *(kg)*

c คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ *(kJ/kg K)*

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง *(K)*

C_1 คือ ค่าความร้อนที่เกิดจากกรดไนตริก *(kJ)*

C_2 คือ ค่าความร้อนที่เกิดจากกรดซัลฟูริก *(kJ)*

โดยทั่วไปค่า C_1 กับ C_2 จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 ในทางปฏิบัติ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในขณะคำนวณจะทำให้ค่า ΔT ที่ได้ไม่แน่นอน ΔT ดังสาเหตุที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อให้ค่า ΔT มีค่าที่ถูกต้องจึงใช้สมการดังต่อไปนี้

$$T = T_c - T_a - r_1(b - a) - r_2(c - b) \qquad (3)$$

เมื่อ a คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ *(s)*

b คือ เวลาตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นจนถึง 60% ของอุณหภูมิสูงสุด *(s)*

c คือ เวลาที่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจนกระทั่งคงที่ (สูงสุด – ต่ำสุด) *(s)*

T_a คือ อุณหภูมิเริ่มการเผาไหม้ *(K)*

T_c คือ อุณหภูมิสูงสุด *(K)*

r_1 คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงก่อนการ เผาไหม้ *(K)*

r_2 คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงหลังจุดบอมบ์ *(K)*

4. ลำดับขั้นและวิธีการทดลอง

4.1 นำกระป๋องแคลอริมิเตอร์เปล่าไปชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกค่าไว้ ใส่น้ำลงไป 2000 ซม^3 อุณหภูมิของน้ำควรต่ำกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 2°C แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักสุทธิของน้ำ จดบันทึกค่าไว้

4.2 นำบอมบ์ที่อยู่ภายในใส่เชื้อเพลิง และพันขดลวดทำให้เกิดความร้อน จากนั้นปิดฝาให้แน่น และนำไปบรรจุออกซิเจน โดยเปิดลิ้นบรรจุอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันออกซิเจนที่เข้าไปเป่าเชื้อเพลิงหกจากถ้วย จนกระทั่งออกซิเจนมีความดันประมาณ 23 บาร์ (ก่อนบรรจุออกซิเจนให้ปิดลิ้นระบายให้แน่นก่อน)

4.3 ใส่บอมบ์ลงไปในถังแคลอริมิเตอร์ สังเกตฟองอากาศที่รั่วออกจากฝาบอมบ์ ถ้ามีให้รีบแก้ไข

4.4 ต่อสายไฟเข้าตัวบอมบ์ลงไปในถัง แคลอริมิเตอร์ ใส่เทอร์โมมิเตอร์เข้าที่ ปรับเครื่องกวนน้ำให้ถูกตำแหน่ง แล้วจึงเดินเครื่องกวนน้ำ จนกระทั่งสังเกตว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสม่ำเสมอ ตอนนี้อ่านค่าอุณหภูมิทุก 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที บันทึกค่าไว้

4.5 เมื่อครบ 5 นาที แล้วให้กดสวิทช์จุดระเบิดเพื่อจุดเชื้อเพลิงให้ลุกไหม้ จากนั้นให้อ่านค่าอุณหภูมิทุก 10 วินาที ไปจนกว่าอุณหภูมิจะขึ้นสูงสุด และอุณหภูมิเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง ตอนนี้ให้อ่านค่าอุณหภูมิทุก 1 นาที ต่อไปอีก 5 นาที ให้บันทึกค่าไว้

4.6 ถ้าอุณหภูมิไม่ขึ้นเลยแสดงว่าเชื้อเพลิงไม่เกิดการลุกไหม้ จากนั้นเอาบอมบ์ออกทำความสะอาด

4.7 ถ้าอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น อ่านค่าอุณหภูมิตามข้อ 4.5 แล้วให้นำบอมบ์ออกมาจากแคลอริมิเตอร์ แล้วเปิดลิ้นลดความดันจนเท่ากับความดันบรรยากาศ จึงเปิดฝาบอมบ์ออก แล้วสังเกตดูภายในว่ามีสภาพเป็นอย่างไร ถ้ามีเชื้อเพลิงเหลือจากการเผาไหม้ การทดลองนี้ก็ใช้ไม่ได้ ให้ทำการทดลองใหม่

4.8 แกะลวดความร้อนที่เหลือในบอมบ์ออกมาวัดความยาว แล้วนำค่าที่ได้ไปลบออกจากความยาวเดิม เพื่อหาความยาวของลวดที่ใช้ไปในการทดลอง

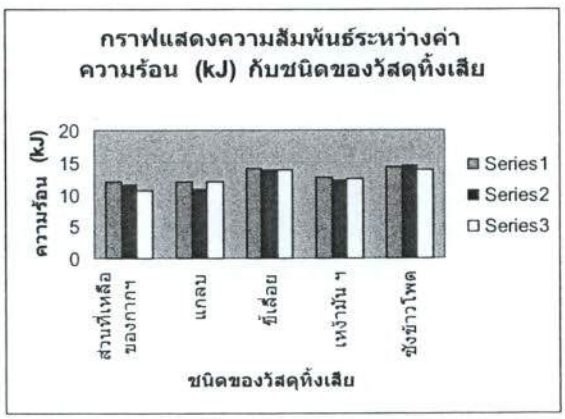
4.9 ทำความสะอาดอุปกรณ์ทดลอง เทน้ำออกจากถังแคลอริมิเตอร์ จัดเก็บอุปกรณ์เข้าที่ให้เรียบร้อย

4.10 นำผลที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าความร้อน

5. ผลการทดลอง

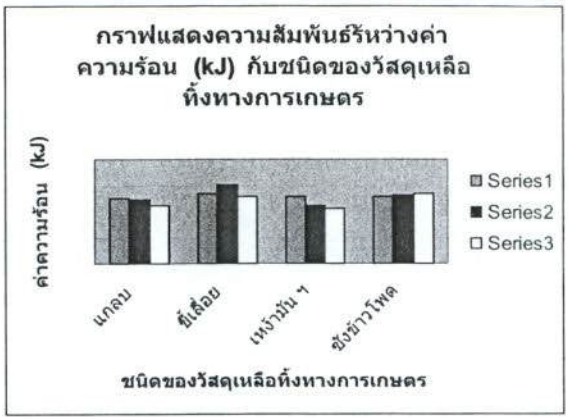
ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ค่าความร้อนของวัสดุกากและทิ้งเสียทางการเกษตรทดลองผสม 3 ครั้ง ในอัตราส่วนผสม 100% โดยมวล

	1 (kJ)	2 (kJ)	3 (kJ)	เฉลี่ย (kJ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ส่วนที่เหลือของกากฯ	11.87	11.53	10.53	11.31	0.70
แกลบ	12.03	10.70	11.87	11.53	0.732
ขี้เลื่อย	14.04	13.87	13.87	**13.93**	0.10
เหง้ามัน ฯ	12.54	12.20	12.37	12.37	0.17
ซังข้าวโพด	14.21	14.37	13.87	**14.15**	0.25



ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์ค่าความร้อนของวัสดุกากและทิ้งเสียทางการเกษตรทดลองผสม 3 ครั้ง ในอัตราส่วนผสม 50% โดยมวลกับส่วนที่เหลือของกากไขมัน

	1 (kJ)	2 (kJ)	3 (kJ)	เฉลี่ย (kJ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
แกลบ	12.54	12.20	11.20	11.98	0.70
ขี้เลื่อย	13.54	15.21	12.87	**13.87**	1.20
เหง้ามัน ฯ	12.87	11.03	10.70	11.53	1.17
ซังข้าวโพด	12.87	13.04	13.37	13.09	0.26



6. สรุปผล

การวิจัยได้ทำการทดลองหาส่วนที่เหลือของกากไขมันโดยที่ 100 % จะให้ค่าความร้อนน้อยกว่าวัสดุทิ้งเสียทางการเกษตรที่ระดับเดียวกัน ถ้านำกากของกากไขมันมาทำการผสมในอัตราส่วน 50 : 50 โดยน้ำหนักจะให้ค่าความร้อนมากกว่าวัสดุทิ้งเสียทางการเกษตรบางชนิด อีกทั้งยังช่วยทำลายส่วนที่เหลือของกากไขมันให้หมดไป โดยทำให้เกิดประโยชน์ เสียค่าใช้จ่ายในการทำลายน้อยมาก และช่วยลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกานต์ นิตยพัธน์ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดร. พิพัฒน์ ปราโมทย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณัฐสิทธ์ พัฒนะอิ่ม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพศาล เหลืองตระกูล สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในการสนับสนุนสถานที่และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กัญจนา บุณยเกียรติ, 2544. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] ประเสริฐ เทียนนิมิตร และคณะ, 2539. เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

[3] สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2538. การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรม. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[4] ASHRAE, 1993. Pocket Guide for Air Conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration. SI ed. USA: The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

[5] Bohl, Willi, 1971. Technische Stromungslehre. Germany: Vogel Verlag und Druck Gmbh.

[6] Borgnakke Claus and Richard E. Sonntag, 1997. Thermodynamic and Transport Properties. USA: John Wiley & Sons, Inc.

[7] Parr, -. Analytical Methods for Oxygen Bombs. USA: Parr Instrument Company.

[8] www.chemtrack.org