

## การศึกษาความเป็นไปได้ของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มีส่วนประกอบของขยะ ที่ผ่านกระบวนการบำบัดเชิงกลชีวภาพ และกากตะกอนน้ำมันดิบ

### Feasibility of Refuse Derived Fuel 5 Composed of the Mechanical Biological Waste Treatment (MBT) and Crude Oil Sludge

วีระ พันอินทร์, สมชาย มณีวรรณ<sup>\*</sup>, ศิรินุช จินดารักษ์ และ ฉันทนา พันธุ์เหล็ก  
<sup>1</sup>หน่วยวิจัยพลังงานทางด้านความร้อนและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิษณุโลก 65000  
โทร 0-5596-3553 โทรสาร 0-5596-3552 \* อีเมลล์ somchaim@nu.ac.th

Weera Punin, Somchai Maneewan<sup>\*</sup>, Sirinuch Chindaruksa and Chantana Punlek  
<sup>1</sup>Thermal Energy and Energy Conservation Promotion Research Unit  
Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand  
Tel : 0-5596-3553 Fax : 0-5596-3552 \* Corresponding author : somchaim@nu.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มีส่วนประกอบของกากตะกอนน้ำมันดิบ และขยะที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีเชิงกลชีวภาพ (MBT) โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วนกากตะกอนน้ำมันดิบต่อขยะ MBT ที่ 5:95, 10: 90, 15: 85 และ 20:80 วิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ดังนี้ ค่าความร้อนตามมาตรฐาน (ASTM D 240), ค่าความชื้นตามมาตรฐาน (ASTM E 3173), ปริมาณแถ้ตามมาตรฐาน (ASTM E 3174) และค่าความหนาแน่นตามมาตรฐาน (ASTM E 75) ผลการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ที่นำขยะ MBT และกากตะกอนน้ำมันดิบที่อัตราส่วน 20:80 มาผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 เนื่องจากมีค่าความร้อนสูง 11,260 kcal/kg ค่าความชื้นร้อยละ 5.93 (ค่าความร้อนมาตรฐานของเชื้อเพลิงแข็งที่ 5,000 kcal/kg และความชื้นไม่เกินร้อยละ 10) ปริมาณแถ้ร้อยละ 4.74 และมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 805.59 kg/m<sup>3</sup> ผลประเมินทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ต้นทุนทางด้านของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำมันดิบร่วมกับขยะ MBT ที่อัตราส่วน 20:80 มีค่าเท่ากับ 0.013 บาท/เมกะจูล ที่ราคาขยะ 500 บาท/ตัน ดังนั้นเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำมันดิบร่วมกับขยะ MBT ที่อัตราส่วน 20:80 มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน

**คำสำคัญ :** เชื้อเพลิงขยะ (RDF-5), กากตะกอนน้ำมันดิบ, การบำบัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีเชิงกลชีวภาพ, เศรษฐศาสตร์

#### ABSTRACT

This paper is to investigate the feasibility of refuse derived fuel 5 (RDF-5) composed of crude oil sludge and the Mechanical Biological Waste Treatment (MBT). The ratio of crude oil sludge: MBT was 5:95, 10: 90, 15:85 and 20:80 respectively. The optimal mixing ratios between crude oil sludge and MBT were tested by ASTM standards. During the process, the analysis of thermal value is based on ASTM D 240, moisture contents is based on ASTM D 3173, ash is based on ASTM D 3174, and density is based on ASTM E 75. The results showed that crude oil sludge and the MBT is feasibility to produce the RDF-5. Because of RDF-5 having a high value 11,260 kcal/kg, % of moisture or equal to 5.93 % (RDF-5 have a high heating value (HHV > 5,000 kcal/kg) and the percentage of moisture content not exceeding 10 percent according to production of solid fuels standards) and the ash value was 4.74, and the density value was 805.59 kg/m<sup>3</sup>. Economics estimate results showed that the optimal mixing ratios between crude oil sludge and MBT was 20:80. The cost of the optimal of RDF-5 was 0.013 Bath/kW. When the compared with coal fuel.

**Key words:** Refuse Derive Fuel 5 (RDF-5), Crude Oil Sludge, Mechanical Biological Waste Treatments, Economic.

## 1. บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันความต้องการพลังงานต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งในภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่ง และภาคที่อยู่อาศัย มีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง ขยับตัวสูงขึ้น จนก่อให้เกิดวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงาน ส่งผลกระทบให้การขยายตัวของเศรษฐกิจชะลอตัว ด้วยเหตุที่ต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ ทำให้ประเทศไทยได้รับผลกระทบโดยตรงทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม [1, 2] จากปัญหาราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงปีที่ผ่านมา นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มที่จะเกิดการขาดแคลนแหล่งพลังงานดังกล่าวในอนาคต อันเนื่องมาจากปริมาณสำรองน้ำมันดิบของโลกที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการสำรวจแหล่งพลังงานที่มีอยู่ภายในประเทศ เพื่อนำมาทดแทนการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ซึ่งจะเป็นการเสริมความมั่นคงทางด้านพลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากปัญหาด้านวิกฤตพลังงาน หลายประเทศต้องประสบกับปัญหาอีกอย่างหนึ่งนั่นคือ "ปัญหาขยะมูลฝอย" ซึ่งนับวันจะเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนประชากร และระดับการพัฒนาประเทศ ถ้ายังไม่มียุทธศาสตร์ กำจัดขยะที่ถูกต้องตามหลักวิชาการแล้วจะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมา [3] สำหรับวิธีการแก้ปัญหาขยะอย่างยั่งยืนนั้น จำเป็นต้องสร้างระบบ ตั้งแต่ในระดับชุมชนให้มีความเข้าใจในการคัดแยกขยะอย่างมีประสิทธิภาพ และวิธีการนำขยะที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน คือนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาขยะมูลฝอย เพราะสามารถช่วยกำจัดขยะและลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศได้ ที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายๆ ท่านได้ให้ความสนใจกับการพัฒนาเชื้อเพลิง RDF เช่น Antonio C. Caputo, et al [4]. (2004) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบเพื่อค้นหาความเป็นไปได้ในการนำ RDF มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า และสำหรับการผลิตความร้อนและพลังงาน (CHP) เพื่อใช้ในอิตาลี และ R. Marsh., et al [5]. (2007) ทำการศึกษาเรื่องการวัดค่าการถ่ายเทความร้อนและการเปลี่ยนแปลงความแรงการอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีผลต่อการกำจัดสารระเหยเพื่ออรรถกภาพความเป็นไปได้ในการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาทดแทนถ่านหินในระบบแก๊สซิไฟเออร์ เป็นต้น

พลังงานทางเลือกเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะมูลฝอยจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยประมาณ 15.04 ล้านตันต่อปีหรือวันละ 41,213 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2551 ประมาณ 0.32 ล้านตัน หรือร้อยละ 2.18 ด้านการจัดการขยะมูลฝอยพบว่า มีขยะที่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องประมาณ 15,444 ตันต่อวัน หรือร้อยละ 37 ของปริมาณขยะทั่วประเทศ [6] ปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นก่อให้เกิดภาวะ ส่งผลให้หน่วยงานที่มีหน้าที่ต้องรับผิดชอบทั้งภาครัฐและเอกชนจะต้องสูญเสียงบประมาณเป็นจำนวนมากในการกำจัด ซึ่งส่วนใหญ่ยังไม่มีระบบการจัดการขยะมูลฝอยที่ดี จึงอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนหรือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งสุขภาพอนามัยและคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชน ซึ่งขยะมูลฝอยที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นพลังงานมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 60 ของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

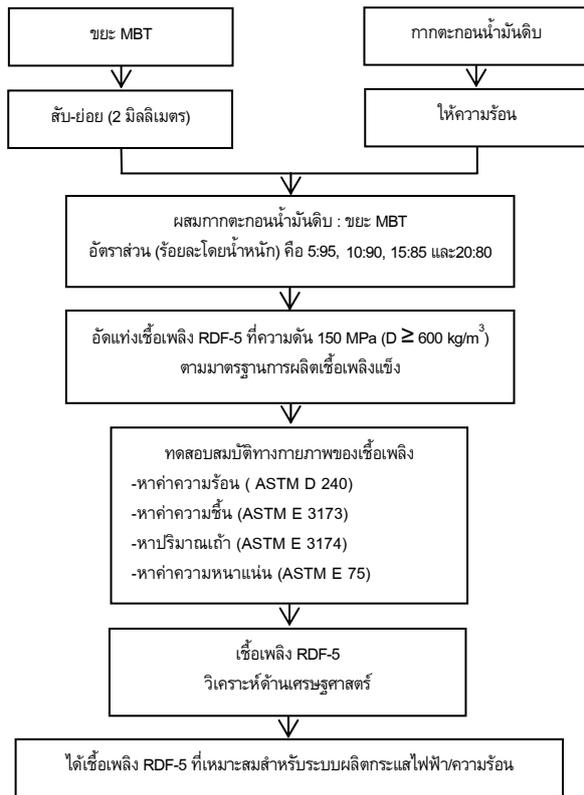
ทั้งหมด จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่า ขยะที่นำมาผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีเชิงกลชีวภาพ (Mechanical Biological Waste Treatment: MBT) มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นขยะเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากว่ามีค่าความร้อนสูงประมาณ 9,627 kcal/kg และมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ตามมาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง [7, 8]

ทั่วโลกมีการใช้น้ำมันดิบในอัตราที่เพิ่มขึ้นโดยตลอด จากวันละ 63.2 ล้านบาร์เรล ในปี 2531 และ International Energy Agency: IEA ได้คาดการณ์ไว้ว่าอุปสงค์ของน้ำมันโลกจะเพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ระดับ 90 ล้านบาร์เรลต่อวันในปี 2553 และเพิ่มขึ้นถึง 120.9 ล้านบาร์เรลต่อวัน [9] เมื่อกระบวนการการกลั่นน้ำมันสิ้นสุดลงจะก่อให้เกิดของเสียจากการกลั่นน้ำมัน นั่นคือ "ตะกอนน้ำมันดิบ" ซึ่งตะกอนน้ำมันดิบนี้ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์และยังไม่มีการศึกษาค้นคว้าความเป็นไปได้ที่จะนำตะกอนน้ำมันดิบกลับไปใช้ประโยชน์ นับเป็นสิ่งที่น่าเสียดายเพราะปริมาณตะกอนน้ำมันที่ตกค้างมีปริมาณมาก ด้วยสมบัติของน้ำมันดิบที่มีสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบและมีความสามารถในการติดไฟได้ดี อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นตัวก่อกองในการผลิตเชื้อเพลิงต่างๆ จึงมีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำตะกอนน้ำมันดิบมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองเพื่อนำตะกอนน้ำมันดิบมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งร่วมกับขยะ MBT เป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้มาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนและยังเป็นการนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ มีประสิทธิภาพอย่างคุ้มค่า [10, 11] รวมทั้งยังเป็นแนวทางหนึ่งที่มีส่วนช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่ตกค้างและเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

ดังนั้นนักวิจัยจึงมีแนวคิดในการนำกากตะกอนน้ำมันดิบและขยะ MBT มาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Refuse Derived Fuel 5: RDF-5) เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิง RDF-5 เพื่อเพิ่มค่าความร้อน และใช้เป็นตัวประสานในการอัดแท่ง ซึ่งเชื้อเพลิง RDF-5 มีข้อดี คือ ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง เพื่อผลิตไฟฟ้า พลังงานความร้อน หรือนำไปใช้เผาพร้อมกับถ่านหิน เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหินลง อุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมซีเมนต์ ได้มีการนำเชื้อเพลิงอัดแท่ง RDF-5 ไปใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ทำให้ลดการใช้ถ่านหินลงไปได้ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ [12-17]

## 2. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มีส่วนประกอบของกากตะกอนน้ำมันดิบร่วมกับขยะ MBT เพื่อเป็นการพัฒนาและปรับปรุงเชื้อเพลิง RDF-5 ให้มีความเหมาะสมสำหรับนำมาเป็นเชื้อเพลิงในระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน โดยมีรายละเอียดการศึกษาดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3. การวิเคราะห์สมบัติด้านกายภาพของเชื้อเพลิง RDF-5

#### 3.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3174 นำตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (Drying Oven) ที่อุณหภูมิประมาณ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำระเหย ค่าความชื้น (M, %) มาตรฐานเปียก ที่ได้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$M = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \dots (1)$$

เมื่อ M = ค่าความชื้น (%)  
A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (g)  
B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังอบ (g)

#### 3.2 การหาปริมาณเถ้า (Ash Content)

ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3174 นำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และค่อยๆ เพิ่มความร้อนเป็น 700-750 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของถ้วยทนไฟรวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือพร้อมฝาปิด จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้า (N, %) สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาแล้ว

$$N = \frac{(C-D)}{E} \times 100 \dots (2)$$

เมื่อ N = ปริมาณเถ้า (%)  
C = น้ำหนักภาชนะพร้อมเถ้า (g)  
D = น้ำหนักของภาชนะ (g)  
E = น้ำหนักตัวอย่างทดลองที่ใช้ (g)

#### 3.3 การหาค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value)

ทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อนสูงตามมาตรฐาน ASTM D 240 ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยตรงทำได้โดยการนำตัวอย่างเชื้อเพลิงไปทดสอบหาค่าความร้อนจากเครื่อง Bomb Calorimeter โดยนำตัวอย่างเชื้อเพลิงมาเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในตู้ Bomb ที่มีออกซิเจนอยู่ในปริมาณเกินพอ โดยกระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านฟิวส์ไปสัมผัสตัวอย่างเชื้อเพลิง เมื่อเกิดการเผาไหม้ตัวอย่างเชื้อเพลิงจนหมดเครื่อง Bomb Calorimeter จะอ่านค่าความร้อนผ่านสายไฟทั้งสองโดยมีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม



รูปที่ 2 เครื่อง Bomb Calorimeter

#### 3.4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น (Density)

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยนำเชื้อเพลิง RDF-5 ไปชั่งน้ำหนัก และวัดความสูงของเชื้อเพลิง RDF-5 คำนวณจากสูตรหาปริมาตรทรงกระบอก แล้วจึงนำผลที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่นจากสูตร

$$D = \frac{M}{V} \dots (3)$$

เมื่อ D = ค่าความหนาแน่น (kg/m³)  
M = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (g)  
V = ปริมาตรของตัวอย่าง (m³)

### 4. ผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสองส่วนหลักๆ คือ ทางด้านเทคนิคเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิง RDF-5 พร้อมทั้งวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงและวิเคราะห์ต้นทุนของเชื้อเพลิง RDF-5 ซึ่งผลการศึกษาดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลของภาคตะกอนน้ำมันดิบต่อผลิตเชื้อเพลิง RDF-5

จากผลการวิจัยพบว่าการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ที่อัตราส่วนต่างๆ กันได้ผลแสดงในตาราง 1 พบว่าการจับตัวกันเป็นแท่งเชื้อเพลิงนั้นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของภาคตะกอนน้ำมันดิบ เมื่อพิจารณาเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตขึ้นแล้วพบว่า เชื้อเพลิง RDF-5 สามารถผลิตได้ 2 อัตราส่วน โดยอัตราส่วนที่สามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ได้โดยเชื้อเพลิงออกมาเป็นเนื้อเดียวกัน และคงรูปอยู่ได้ คือ อัตราส่วน 15:85 และ 20:80 แต่ในอัตราส่วน 5:95 และ 10:90 พบว่าไม่สามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ได้ (มีการเกาะตัวของส่วนผสมเชื้อเพลิงน้อยกว่าร้อยละ 10) เพราะไม่สามารถคงรูป ส่วนที่อัตราส่วน 25:75 มีความอ่อนตัวมากไม่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 ผลการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5

ตัวอย่างเชื้อเพลิง	อัตราส่วน	ลักษณะของเชื้อเพลิง RDF-5
ตะกอนน้ำมันดิบ	5:95	ไม่สามารถอัดแท่งได้
	10:90	อัดเป็นแท่งได้แต่ฟูเล็กน้อย
ต่อ	15:85	อัดแท่งได้ดี
ขยะ MBT	20:80	อัดแท่งได้ดี
	25:75	อัดแท่งได้แต่มีความอ่อนตัวสูง

จากตารางที่ 1 พบว่าอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ได้ โดยเชื้อเพลิงออกมาเป็นเนื้อเดียวกัน และคงรูปอยู่ได้ คือ อัตราส่วน 15:85 และ 20:80 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมระหว่างภาคตะกอนน้ำมันดิบกับขยะ MBT จึงทำให้เชื้อเพลิงที่ออกมามีการเกาะตัวของส่วนผสมมากกว่าร้อยละ 50 ทำให้เชื้อเพลิงสามารถคงรูปอยู่ได้ ซึ่งทำให้สะดวกแก่การจัดเก็บและการขนส่งในกรณีนี้ที่โรงงานผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 อยู่คนละพื้นที่กับโรงงานแปรรูปพลังงาน แสดงดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ตามลำดับ



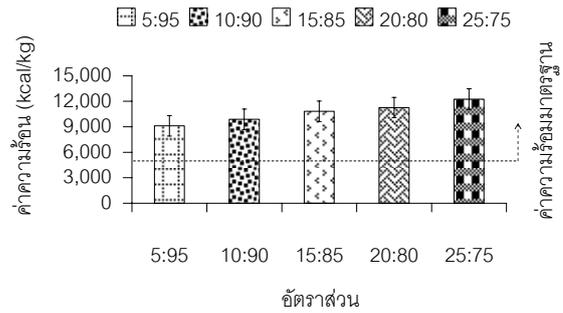
รูปที่ 3 RDF-5 (15:85)



รูปที่ 4 RDF-5 (20:80)

#### 4.2 ผลจากอัตราส่วนผสมต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิง RDF-5

พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณภาคตะกอนน้ำมันดิบคือ เมื่ออัตราส่วนของภาคตะกอนน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก็จะเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนสูงสุดคือ อัตราส่วนที่ 25:75 รองลงมาคือ 20:80, 15:85 และ 10:90 มีค่าความร้อนเท่ากับ 12,261 kcal/kg, 11,260 kcal/kg, 10,831 kcal/kg และ 9,877 kcal/kg ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนต่ำสุดคืออัตราส่วนที่ 5:95 มีค่าความร้อนเท่ากับ 9,106 kcal/kg แสดงดังรูปที่ 5

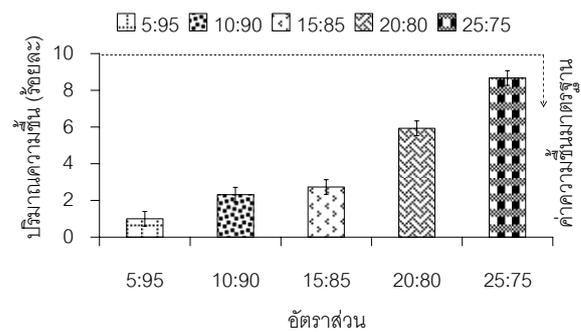


รูปที่ 5 ค่าความร้อน (kcal/kg)

จากรูปที่ 5 พบว่าทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิง RDF-5 มีค่าความร้อนสูงเกินค่ามาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงแข็งที่ 5,000 kcal/kg ดังนั้นสามารถนำเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ได้

#### 4.3 ผลจากอัตราส่วนผสมต่อปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิง RDF-5

ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณภาคตะกอนน้ำมันดิบเช่นเดียวกับค่าความร้อน เนื่องจากภาคตะกอนน้ำมันดิบมีความชื้นร้อยละ 23.9 และค่าความร้อน 8,946 kcal/kg [18] เมื่ออัตราส่วนของภาคตะกอนน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเชื้อเพลิงจะต้องมีปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งเป็นมาตรฐานในการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนของเชื้อเพลิงทั้ง 5 อัตราส่วนมีปริมาณความชื้นเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเชื้อเพลิงได้ แสดงดังรูปที่ 6

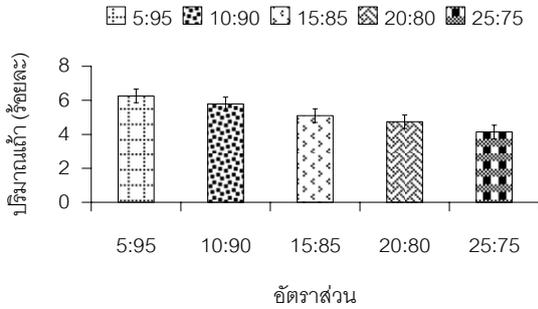


รูปที่ 6 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

จากรูปที่ 6 พบว่าทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงแข็งคือ มีปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงไม่เกินร้อยละ 10 สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 ได้

#### 4.4 ผลจากอัตราส่วนผสมต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิง RDF-5

ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงจะมีปริมาณลดลงเมื่ออัตราส่วนของกากตะกอนน้ำมันดิบที่ใช้ผสมกับขยะ MBT มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณเถ้าของกากตะกอนน้ำมันดิบมีเพียงร้อยละ 0.02 หลังผ่านการเผาไหม้แล้ว ดังนั้นปริมาณเถ้าจะมีปริมาณมากหรือน้อยจึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของขยะ MBT ที่เพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 7

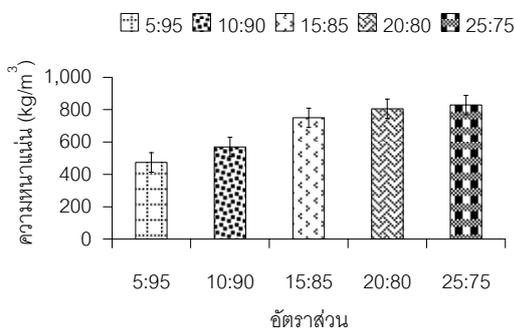


รูปที่ 7 ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)

จากรูปที่ 7 พบว่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วน มีปริมาณเถ้าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 4.14-6.26 สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้

#### 4.5 ผลจากอัตราส่วนผสมต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง RDF-5

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงจะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของกากตะกอนน้ำมันดิบที่ใช้ผสมกับขยะ MBT มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกากตะกอนน้ำมันมีความหนาแน่นสูง โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเชื้อเพลิงจะต้องมีค่า  $D \geq 600 \text{ kg/m}^3$  ตามเงื่อนไขการผลิต RDF-5 ผลการวิจัยพบอัตราส่วนที่ผ่านเงื่อนไขการผลิต RDF-5 มีเพียง 3 อัตราส่วนคือ อัตราส่วนที่ 15:85, 20:80 และ 25:75 ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความหนาแน่น (kg/m³)

จากรูปที่ 8 พบว่าค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วนแปรผันตรงกับปริมาณกากตะกอนน้ำมันดิบเช่นเดียวกับค่าความร้อนเมื่ออัตราส่วนของกากตะกอนน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นและค่า

ความร้อนของเชื้อเพลิงก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเพราะกากตะกอนน้ำมันดิบมีความหนาแน่นและค่าความร้อนสูง อัตราส่วนที่มีปริมาณความหนาแน่นสูงที่สุดคือ 25:75 รองลงมาคือ 20:80 เท่ากับ  $828.74 \text{ kg/m}^3$  และ  $805.59 \text{ kg/m}^3$  ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีปริมาณความหนาแน่นต่ำที่สุดที่ผ่านมาตรฐานการผลิต คือ อัตราส่วนที่ 15:85  $\text{kg/m}^3$  โดยมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ  $749.68 \text{ kg/m}^3$

#### 4.5 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ในการวิเคราะห์ในกรณีศึกษาจะคิดเฉพาะต้นทุนของเชื้อเพลิง RDF-5 จากการศึกษพบว่าเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำมันดิบร่วมกับขยะ MBT ที่อัตราส่วน 15:85 และอัตราส่วน 20:80 มีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.014 บาท/เมกะจูล และ 0.013 บาท/เมกะจูล ตามลำดับ ที่ราคาขยะ 500 บาท/ตัน ซึ่งราคาเชื้อเพลิง RDF-5 มีราคาต้นทุนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับราคาต้นทุนของเชื้อเพลิง แกลบ, กากอ้อย, ถ่านหินลิกไนต์ และถ่านหินบิทูมินัส เป็นต้น แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ต้นทุนเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	ราคาเชื้อเพลิง (฿/ton)	HHV (kJ/kg)	ราคาต่อหน่วยความร้อน (฿/MJ)
RDF-5 (20:80)	613.40	47,112	0.013
กากอ้อย [18]	806.90	31,131	0.033
แกลบ [19]	1,150.00	28,390	0.049
ถ่านหินลิกไนต์ [20]	750.00	16,748	0.045
ถ่านหินบิทูมินัส [21]	1,300.00	25,104	0.053

ดังนั้นถ่านเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำมันดิบร่วมกับขยะ MBT ที่อัตราส่วน 20:80 มีราคาต่อหน่วยความร้อนเท่ากับ 0.013 บาท/เมกะจูล เป็นราคาต่อหน่วยความร้อนที่ต่ำกว่าอัตราส่วน 15:85 ซึ่งมีราคาต่อหน่วยความร้อน 0.014 บาท/เมกะจูล ที่ราคาขยะ 500 บาท/ตัน นอกจากนี้ยังมีราคาต่อหน่วยความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ (ดังตารางที่ 2) มาใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตไฟฟ้าหรือความร้อนนับว่ามีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง

#### 5. สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่มีส่วนประกอบของกากตะกอนน้ำมันดิบและขยะ MBT คือ อัตราส่วนที่ 15:85 และ 20:80 เนื่องจากเชื้อเพลิง RDF-5 ทั้งสองอัตราส่วนสามารถแปรรูปได้ดี มีค่าความร้อนเท่ากับ 10,831 kcal/kg และ 11,260 kcal/kg ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนสูงเกินค่ามาตรฐานของการผลิตเชื้อเพลิงแข็งที่ 5,000 kcal/kg ค่าความชื้นร้อยละ 2.73 และ 5.93 ตามลำดับ คือมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ของมาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง มีปริมาณเถ้าร้อยละ 5.10

และ 4.74 ตามลำดับ และค่าความหนาแน่น 749.68 kg/m<sup>3</sup> และ 805.59 kg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ

การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ราคาต่อหน่วยความร้อนของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำมันดิบร่วมกับขยะ MBT ที่อัตราส่วน 20:80 มีราคาต่อหน่วยความร้อนเท่ากับ 0.013 บาท/เมกะจูล เป็นราคาต่อหน่วยความร้อนที่ต่ำกว่าอัตราส่วน 15:85 มีราคาต่อหน่วยความร้อนเท่ากับ 0.014 บาท/เมกะจูล ที่ราคาขาย 500 บาท/ตัน นอกจากนี้ยังมีราคาต่อหน่วยความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิง กากอ้อย, แกลบ ถ่านหินลิกไนต์ และถ่านหินบิทูมินัส (ตั้งตารางที่ 2) ซึ่งมีราคาต่อหน่วยความร้อนเท่ากับ 0.033 บาท/เมกะจูล, 0.049 บาท/เมกะจูล, 0.045 บาท/เมกะจูล และ 0.053 บาท/เมกะจูล ตามลำดับ ดังนั้นเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำมันดิบร่วมกับขยะ MBT ในอัตราส่วน 20:80 จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน ซึ่งนับว่ามีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักประสานงานโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สัญญาเลขที่ (MRG-WI525S102) บริษัท ฟาเบอร์ เทคโนโลยีส์ จำกัด ที่สนับสนุนงบประมาณในการศึกษาวิจัย บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม สยาม จำกัด จังหวัดกำแพงเพชร ที่ให้ข้อมูลและตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันดิบ เพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (ตุลาคม 2550). แผนพลังงานทดแทนปี 2551-2554. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2552, จาก <http://www.dede.go.th/>
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (ธันวาคม 2551) การแปรรูปขยะเป็นพลังงาน. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2552, จาก <http://www.dede.go.th/>
3. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (ธันวาคม 2551) ศึกษาวิจัยและพัฒนาการผลิตขยะเชื้อเพลิง (RDF). สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2552, จาก <http://www.dede.go.th/>
4. Antonio C. Caputo, Mario Palumbo, Federica Scacchia. (2004). Perspectives of RDF use in decentralized areas: comparing power and co-generation solutions. *Journal of Applied Thermal Engineering*. 24 (2004): 2171-2187
5. R.Marsh, A.J.Griffiths, K.P.Williams. (2007). Measurement of heat transfer and change in compressive strength of waste derived solid fuels due to devolatilisation. *Journal of Fuel*. 87 (2008): 1724-1733
6. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (ตุลาคม 2550).สถานการณ์พลังงานในปี 2551 และแนวโน้มปี 2552. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2552, จาก <http://www.eppo.go.th/index-T.html>

7. Antonio C. Caputo, Pacifico M. Pelagagge. (2002). RDF production plants: I Design and costs. *Journal of Applied Thermal Engineering*. 22 (2002): 423-437.
8. Antonio C. Caputo, Pacifico M. Pelagagge. (2004). RDF production plants: II Economics and profitability. *Journal of Thermal Engineering*. 22 (2002): 439-448.
9. กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ. (ตุลาคม 2550). การผลิตปิโตรเลียม. กรุงเทพฯ: กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2552, จาก <http://www.dmf.go.th/>
10. Antonio C. Caputo, Mario Palumbo, Federica Scacchia. (2004). Perspectives of RDF use in decentralized areas: comparing power and co-generation solutions. *Journal of Applied Thermal Engineering*. 24 (2004): 2171-2187.
11. Arun K. Tripathi, P.V.R. Iyer and Tara Chandra Kandpal. (1998). A Thchno-economic evaluation of biomass briquetting in India. *Journal Biomass and bioenergy* Vol.14, Nos. 5/6, pp. 479-488, 1998.
12. Bhattacharya S.C.,et al.(1988).State of the art for Biocoal Technology.Bangkok:Asian Institute of Technology
13. Chalita Liamsanguan and Shabbir H. Gheewala. (2007). The holistic impact of integrated solid waste management on greenhouse gas emissions in Phuket. *Journal of Cleaner Production*. 16 (2008): 1865-1871.
14. Cheng-Yuan Chang, Chu-FangWang, D.T. Mui, Man-Ting Cheng, Hung-Lung Chiang. (2008). Characteristics of elements in waste ashes from a solid waste incinerator in Taiwan. *Journal of Hazardous Materials*. 165 (2009): 766-773.
15. Dennis Y.C. Leung. (2003). A review on the development and commercialization of biomass gasification technologies in China. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 8 (2004): 565-580.
16. Francisco D. Hernandez-Atonal, Changkook Ryu, Vida N. Sharifi, Jim Swithenbank. (2007). Combustion of refuse-derived-fuel in a fluidised bed. *Journal of Chemical Engineering Science*. 62 (2007): 627-635.
17. Gabriele Janikowski, Gernod Dilewski and Joachm Stretz. (2003).Status report on progress of the FABER AMBRA<sup>®</sup> - Pilot project in Phitsanulok. Germany: Phitsanulod PN: 97.2204.2-001.00
18. สำนักงานกรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. กระทรวงอุตสาหกรรม. (มีนาคม 2553). ราคากากอ้อย.สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2553, จาก <http://www.ocsb.go.th/>

19. บริษัท เอ.ที. ไปโอพาวเวอร์ จำกัด. (ตุลาคม 2552). ราคาซื้อเพลิงแกลบเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า. สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2553, จาก [http://www.atbiopower.co.th/index\\_t.htm](http://www.atbiopower.co.th/index_t.htm)
20. โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง. (กุมภาพันธ์ 2553). ราคาถ่านหินลิกไนต์. สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2553, <http://maemoh.egat.com>
21. บริษัท ยูนิค ไมนิ่ง เซอร์วิส เซส จำกัด (มหาชน). ราคาถ่านหินบิทูมินัส. สืบค้นเมื่อ 4 กุมภาพันธ์ 2553, <http://www.ums.co.th>