

การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน : กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

Production of Refuse-Derived Fuel-5 (RDF-5) from Municipal Waste: A Case Study involving Rajabhat Mahasarakham University

วสันต์ ปินะเต^{1*} และดวงกมล ดังโพนทอง²

^{1*}สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาสารคาม 44000

โทรศัพท์ : 043 - 742620, 043 - 754333 ต่อ 621 โทรสาร : 043 - 742620

E-mail : kaapplied@hotmail.com, E-mail: ob_kmitl@hotmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาสารคาม 44000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและดำเนินการนำขยะชุมชนมาแปลงเป็นเชื้อเพลิงแข็งในรูป RDF-5 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบสาหิตการผลิตเชื้อเพลิงชนิด RDF-5 จากขยะที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม รวมทั้งการศึกษาด้านทุนการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ผลการวิจัยพบว่าสามารถผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ได้ และมีคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิง เป็นไปตามค่ามาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 เป็นการนำขยะภายในมหาวิทยาลัยมาผลิตเป็นก้อนเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ซึ่งขยะที่นำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ประกอบด้วย พลาสติก ใบไม้ และกระดาษ โดยใช้แป้งมันและปูนขาวเป็นตัวประสาน โดยทำการศึกษา 5 อัตราส่วน คือ 1:1:1/0.0:0.2, 1.5:1:1/0.1:0.1, 1:1.5:1/0.1:0.1, 1:1:1.5/0.1:0.1, 1:1:1/0.1:0.1 จากการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงขยะ RDF-5 อัตราส่วนที่ 1:1:1/0.1:0.1 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนสูงสุดที่ 26.352 MJ/kg ซึ่งไม่ควรน้อยกว่า 19.00 MJ/kg ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน มก.-ฉ.ก.ส. และมาตรฐาน ASTM และพบว่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย ของเชื้อเพลิง RDF-5 อยู่ที่ 2.645 บาท/กิโลกรัม

คำสำคัญ : เชื้อเพลิงขยะ, RDF-5, พลังงานทดแทน

Abstract

This project focuses on the production of refuse-derived fuel-5 (RDF-5) made from university waste and the cost of its production. The study found that the waste could be used to produce RDF-5 and the characteristics of RDF-5 are in the standard range. The production process consists of the selection of waste produced on the university campus, including plastic materials, leaves and paper with tapioca flour and lime used as a binder. The wastes were mixed at 5 ratios 1:1:1/0.0:0.2, 1.5:1:1/0.1:0.1, 1:1.5:1/0.1:0.1, 1:1:1.5/0.1:0.1 and 1:1:1/0.1:0.1. The result showed that the mixture of 1:1:1/0.1:0.1 produced the highest amount of heating, at 6,619.46 kcal/kg. The amount is in the standard range of BAAC and ADTM, which state that the heat produced should not be less than 5,500 or 5,000 calories/gram. The cost of RDF-5 production is 2.645 Baht/kg.

Keywords : Refuse Derived Fuel, RDF-5, Renewable Energy

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม เป็นมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่ในจังหวัดมหาสารคามที่มีปัญหาขยะที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยอย่างต่อเนื่อง มีหอพักนักศึกษาอยู่ในเขตพื้นที่ของมหาวิทยาลัย มีปริมาณขยะเกิดขึ้นประมาณ 1 – 1.5 ตันต่อวัน การจัดการขยะในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ซึ่งในปัจจุบันทางมหาวิทยาลัยได้จ้างผู้รับเหมา (เทศบาลเมืองมหาสารคาม) ในการกำจัดขยะซึ่งทิ้งในบ่อฝังกลบที่อยู่นอกพื้นที่ โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยปีละประมาณ 120,000 บาท และมีแนวโน้มจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องดำเนินการจัดการขยะในมหาวิทยาลัย โดยการจัดการที่เหมาะสมควรมุ่งเน้นที่การลดปริมาณขยะด้วยเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นเทคโนโลยีที่มหาวิทยาลัยสามารถดำเนินการได้เองและก่อให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุดการสร้างโรงงานสาธิตการเปลี่ยนขยะชุมชนให้เป็นพลังงานในรูปความร้อน จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรเร่งดำเนินการ ซึ่งโครงการสาธิตดังกล่าวเป็นโครงการวิจัยเพื่อดำเนินการศึกษาและสาธิตการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 โดยเป็นการศึกษาและดำเนินการนำขยะชุมชนมาแปลงเป็นเชื้อเพลิงแข็งในรูป RDF-5 เชื้อเพลิงที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนถ่านหินในอุตสาหกรรม หรือในกระบวนการทางความร้อนอื่น ๆ และ เป็นการนำขยะเชื้อเพลิง RDF-5 มาผลิตผลิตก๊าซเชื้อเพลิง โดยการทำปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ (Partial Combustion) ซึ่งสามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ข้อมูลสมรรถนะของอุปกรณ์ คุณภาพเชื้อเพลิง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือต้นทุนพลังงานที่ใช้ประโยชน์ จะถูกวิเคราะห์เพื่อใช้ในการขยายผลต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อสร้างต้นแบบสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2.2 เพื่อศึกษาต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5

3. ขอบเขตของงานวิจัย

3.1 งานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะขยะในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามเท่านั้น

3.2 งานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะขยะที่เป็นกระดาษ ถุงพลาสติก (พลาสติกเนื้ออ่อน) ใบไม้แห้งเท่านั้น

3.3 ในการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำการศึกษา 5 อัตราส่วน

4. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับขยะเชื้อเพลิง

ขยะเชื้อเพลิง หรือ Refuse Derived Fuel ที่นิยมเรียกว่า RDF หมายถึง ขยะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการจัดการต่าง ๆ เช่น การคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ได้ออกมา การฉีกหรือตัดขยะมูลฝอยออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อเป็นการปรับปรุงและแปลงสภาพขยะให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้นขนาด และความหนาแน่นที่เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิง

สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าหรือสำหรับการผลิตพลังงานความร้อน ข้อดีของการนำขยะมาผ่านกระบวนการเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะนี้ นอกจากจะทำให้มีองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพที่ค่อนข้างสม่ำเสมอแล้ว ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงยังมีค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมาในตอนแรก และเมื่อนำขยะมาแปลงสภาพให้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงแข็งจะช่วยให้ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง และการจัดการต่าง ๆ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานและมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2551)

ขยะเชื้อเพลิง RDF สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแบ่งตามลักษณะของขยะเชื้อเพลิงและกระบวนการใช้ในการจัดการขยะ

ตารางที่ 1 ประเภทของขยะเชื้อเพลิง RDF

ชนิด	กระบวนการจัดการ
RDF 1 MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกด้วยมือรวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่
RDF 2 Coarse RDF	มีการบดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบ ๆ
RDF 3 Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ออก เช่น โลหะ แก้วและอื่น ๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ร้อยละ 95 ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว
RDF 4 Dust RDF	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น
RDF 5 Densified RDF	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่งโดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m ³
RDF 6 RDF Slurry	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงเหลว และ Slurry
RDF 7 RDF Syngas	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syngas ที่ใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงได้

ที่มา : (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2553)

4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สายวสันต์ วิชาติ (2548) ศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะเทศบาลนครเชียงใหม่ โดยใช้หลักการวิเคราะห์โครงการภายใต้สมมติฐานของโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำที่ใช้แท่งเชื้อเพลิง RDF ซึ่งมีประสิทธิภาพรวมของระบบเท่ากับร้อยละ 20.3 ขนาดกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษาคือ ได้แก่ ขนาด 1, 3, 6 และ 10 เมกะวัตต์ ผลการศึกษาพบว่า รายการต้นทุนหลัก ๆ ได้แก่ การลงทุนในเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต ค่าที่ดิน และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างส่วนรายได้หลักมาจากรายได้ค่าธรรมเนียมในการจัดการขยะ รายได้จากการจำหน่ายขยะรีไซเคิล และรายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ผลการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์พบว่า โรงไฟฟ้าขนาดกำลังผลิต 1 เมกะวัตต์ มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิประมาณ 151 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนภายในมีค่าร้อยละ 36.16 มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3 ปี และมีต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้า

เท่ากับ 11.90 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) สำหรับโรงไฟฟ้าขนาดกำลังผลิต 3, 6 และ 10 เมกะวัตต์ พบว่าไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2548) ประเมินศักยภาพของขยะชุมชนในประเทศไทยและศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสม ในส่วนของเทคโนโลยีขยะเชื้อเพลิงอัดแท่ง (RDF) ในขณะที่ทำการศึกษาค้นคว้า ยังไม่มีการใช้ในประเทศไทย ดังนั้นข้อมูลที่น่าสนใจจึงอ้างอิงจากต่างประเทศ พบว่า การใช้ขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้เพื่อนำมาเผาไหม้โดยตรงมักก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งาน เนื่องจากความไม่แน่นอนในองค์ประกอบต่าง ๆ ของขยะมูลฝอยซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามชุมชนและตามฤดูกาล อีกทั้งขยะมูลฝอยเหล่านี้มีค่าความร้อนต่ำและมีปริมาณแฉะและความชื้นสูง

Jidapa Nithikul (2007) ศึกษาศักยภาพการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF จากขยะชุมชนในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าขยะเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ประกอบด้วยพลาสติกมากกว่าร้อยละ 40 ขยะจากการเกษตรร้อยละ 30 กระดาษไม่เกินร้อยละ 10 และเศษอาหารร้อยละ 10 ทนงเกียรติเกียรติศิริโรจน์ และคณะ (2554) สำรวจปริมาณและองค์ประกอบของขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เพื่อหาศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 และพัฒนาเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตรวมทั้งวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุน ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่า เท่ากับ 3.58 บาทต่อกิโลกรัม จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าปัจจุบันยังไม่มีการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ในลักษณะอุตสาหกรรมในประเทศไทยและงานวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตและส่วนผสมของขยะเชื้อเพลิงที่เหมาะสมยังไม่มีมากนักงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาศักยภาพขยะชุมชนในพื้นที่กรณีศึกษา คือ เทศบาลตำบลฟ้าฮ่าม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อนำมาผลิตเป็นขยะเชื้อเพลิงและทำการทดลองผลิตที่ส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานต่อไป รวมทั้งยังมีการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นในการนำเชื้อเพลิงดังกล่าว ไปผลิตไฟฟ้าในระบบ Gasified เพื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป

วรารณ ทุมชาติ (2557) ได้ศึกษาการผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สจากเตาแบบ Inverted Downdraft โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบ Inverted Downdraft สามารถผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สหรือแก๊สชีวพลได้โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงด้วยการจำกัดอากาศหรือออกซิเจน ให้เหมาะสมลักษณะห้องเผาไหม้เป็นทรงกระบอกเพื่อการวางหัวเตาที่เหมือนกับหัวเตาแก๊สหุงต้ม LPG บรรจุเชื้อเพลิงแกลบได้ประมาณ 1.3 กิโลกรัม เป่าอากาศเข้าห้องเผาไหม้ด้วยพัดลมจากด้านล่าง จุดติดเชื้อเพลิงจากด้านบน นำไปทดลองใช้ในครัวเรือนของชุมชนบ้านร่มเย็น หมู่ 8 ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง จำนวน 5 ครัวเรือน จากการศึกษาพบว่าโปรตีนเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จากเตาแบบ Inverted Downdraft ให้อุณหภูมิสูง มีเปลวไฟที่ใกล้เคียงแก๊สหุงต้ม LPG การเผาไหม้ขึ้นอยู่กับความเร็วลมพัดลมของเตา มีการปรับความเร็วลม 4 ระดับที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้คือ 3, 6, 9 และ 12 โวลต์ มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยตามลำดับคือ 4.89, 7.41, 9.41 และ 10.21 เมตรต่อวินาที น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 60, 97, 97 และ 97 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาประมาณ 60, 14, 12 และ 8 นาที รักษาระดับอุณหภูมิได้ยาวนานประมาณ 6, 20, 20 และ 23 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.11 แอมแปร์กำลังไฟฟ้า 9, 14, 20 และ 25 วัตต์ และเตาแก๊สซิไฟเออร์ มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 ปี

ศศิธร จิตต์ปราณี และ สหทัย ลาตปาละ (2552) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดการขยะอินทรีย์ในบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวรสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ภายในมหาวิทยาลัยนเรศวรสำหรับประยุกต์ใช้งานทางด้านความร้อนหรือผลิตไฟฟ้าใช้ จากการศึกษพบว่าปริมาณขยะอินทรีย์ภายในมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ได้มาจากเศษอาหารของโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยซึ่งมีปริมาณถึง 333 กิโลกรัมต่อวัน และอีกส่วนหนึ่งได้จากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งเมื่อแยกขยะอินทรีย์ออกจากขยะทั้งหมดแล้วพบว่าร้อยละ 20 เป็นปริมาณขยะอินทรีย์คิดเป็น 546.57 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้นปริมาณขยะอินทรีย์ทั้งหมดที่จะรวบรวมได้ในมหาวิทยาลัยนเรศวรคือ 879.57 กิโลกรัมต่อวัน และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ถึง 88 ลูกบาศก์เมตรต่อวันคิดเป็นค่าความร้อนได้ 1,841.84 เมกะจูล สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 38,544 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี และก๊าซหุงต้ม 14,775 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงเป็นโครงการนรณรงค์เพื่อสาธิต ในการเปลี่ยนขยะเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นแนวทางในการเปลี่ยนรูปขยะมาเป็นพลังงานความร้อน รวมถึงการลดปริมาณขยะภายในมหาวิทยาลัยทั้งยังช่วยเพิ่มรายได้ในการขายเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ให้แก่มหาวิทยาลัยได้อีกทางหนึ่งรวมถึงการศึกษการทำงานภายใต้สภาพจริง และการยอมรับของอาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัย

5. วิธีดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- ถังขนาด 200 ลิตร
- อุปกรณ์บันทึกข้อมูล
- เครื่องบดขยะ (3 แรงม้า)
- เครื่องอัดขึ้นรูปถ่าน (3 แรงม้า)

วิธีการดำเนินการวิจัย การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม สามารถแยกออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักได้แก่ การหาอัตราส่วนที่เหมาะสม และการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 รายละเอียดของขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

1. การผลิตขยะเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

1.1) เริ่มจากการรวบรวมขยะมูลฝอยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จากนั้นคัดแยกขยะที่สามารถผลิตขยะเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ได้คือ กระดาษ ใบไม้ และพลาสติก ซึ่งสามารถเผาไหม้ได้ จากนั้นนำขยะเข้าสู่ขบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 (ภาพที่ 1)



(ก) พลาสติก

(ข) ใบไม้กิ่งไม้แห้ง

(ค) กระดาษ

ภาพที่ 1 การคัดแยกขยะเบื้องต้น

1.2) การลดขนาด นำขยะทั้ง 3 ชนิด นำไปเข้าเครื่องบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดแบบแฮมเมอร์ ความละเอียดกำหนดไว้ที่ 5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 2)



(ก) เทขยะลงเครื่องบด

(ข) เครื่องทำการบดเพื่อให้ขยะมีขนาดเล็ก

ภาพที่ 2 การตัด/บด/ย่อย เพื่อให้ขยะมีขนาดเล็ก

1.3) ทำการชั่งขยะตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการเตรียมขยะเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

1.4) นำกระดาษ ใบไม้ พลาสติก ผสมให้เข้ากันให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้ปูนขาว และแบ่งเป็นตัวอย่างประสาณ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับขยะเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 (ภาพที่ 4)



(ก) ใส่แ่งและปูนขาว



(ข) ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน

ภาพที่ 4 การผสมส่วนผสมของขยะเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

1.5) ผสมส่วนผสมให้เข้ากันแล้วใส่ตัวอย่างประสาณ ตามอัตราส่วน แบ่งมันทำหน้าที่เป็นตัวประสาณ เมื่อแบ่งมันเมื่อถูกสารเคมีหรือโดนความร้อนจะมีความเหนียวสูง และมีคุณสมบัติสามารถรักษาสภาพความเหนียวได้เหมือนเดิม ไม่มีการคืนตัว ปูนขาว (ชนิดฆ่าเชื้อ) ทำหน้าที่เป็นตัวประสาณ มีคุณสมบัติ ฆ่าเชื้อโรค นำไฟได้ดีและมีราคาถูก (ภาพที่ 5)



(ก) นำส่วนผสมที่ผสมเข้ากันแล้วใส่ลงในเครื่องอัดแท่ง



(ข) แท่งเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

ภาพที่ 5 การอัดแท่ง ด้วยเครื่อง Extruder

1.6) การอัดแท่ง ทำได้โดยใช้เครื่องอัดแบบสกรู และแท่งเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่ออกมาจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 - 30 มิลลิเมตร ยาวไม่เกิน 30 - 150 มิลลิเมตร ซึ่งแท่งขยะตอนนี้จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 25 เชื้อเพลิงขยะ RDF-5 จะมีรูปทรงกระบอกมีครี 5 ครีรอบด้าน ขนาดเส้นผ่าน รูปทรงมีลักษณะรูกลวงระบายอากาศตลอดแท่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกลวงขนาด 0.5 เซนติเมตร ทั้งนี้ขนาดและรูปร่างนั้นจะขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งานและความต้องการของกลุ่มชุมชนผู้ใช้ ขั้นตอนในการอัดส่วนผสมเป็นแท่งนี้เป็นขั้นตอนในการกำหนดรูปร่างและความแน่นของเนื้อเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 การกำหนดรูปทรงเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่มีทั้งด้านกว้าง ด้านยาว และด้านลึก เป็นลักษณะรูปที่มีด้าน 3 ด้าน หรือเรียกว่า 3 มิติ



ภาพที่ 6 แสดงเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ทั้ง 5 อัตราส่วนนำไปตากแดด 7 วัน

1.7) นำเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ทั้ง 5 สูตร ทำการชั่ง บันทึกลงแล้วนำไปตากแดดให้แห้งสนิทบนพื้นคอนกรีต ประมาณ 7 วัน (ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ) เพื่อไม่ให้มีความชื้นไม่ควรมากกว่าร้อยละ 8 หรือ มีความชื้นประมาณร้อยละ 25 (ภาพที่ 6) จากนั้นตัดตามขนาดที่ต้องการและนำไปตากแดดประมาณ 1 วัน เพื่อลดความชื้นและค่าความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8

2.2 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

ตารางที่ 2 การทดสอบอัตราส่วนของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

อัตราส่วนที่	พลาสติก(กก.)	ใบไม้(กก.)	กระดาส(กก.)	แป้ง(กก.)	ปูนขาว(กก.)
A	1	1	1	0	0.2
B	1.5	1	1	0.1	0.1
C	1	1.5	1	0.1	0.1
D	1	1	1.5	0.1	0.1
E	1	1	1	0.1	0.1

ตอนที่ 2 การหาค่าความร้อน

1. เตรียมก้อนเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 จากส่วนผสมต่าง ๆ
2. นำก้อนเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ไปทดสอบโดยหาค่าพลังงานความร้อนโดยใช้เครื่อง

Bomb Calorimeter

นำเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ในแต่ละอัตราส่วน มาวิเคราะห์หาสมรรถนะของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 และผลภาวะตามวิธีมาตรฐาน ASTM ดังนี้ ค่าความร้อน (heating value), ASTM D 5865 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (volatile matter), ASTM D 3172 ปริมาณเถ้า (ash), ASTM D 3174 และปริมาณความชื้น (moisture), โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ณ ห้องปฏิบัติการตรวจวัดคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งการหาค่าความร้อนเป็นการวิเคราะห์โดยตรง โดยการนำตัวอย่างขยะเชื้อเพลิงมาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์โดยวิธี Bomb Calorific Method ค่าความร้อนที่ได้เรียกว่า Dry Solid Calorific Value (DSCV) เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ผลการตรวจวัดค่าความร้อนของขยะเชื้อเพลิง (ภาพที่ 7)



(ก) ภาพชิ้นตัวอย่างขนาด 7 มิลลิเมตร (ข) ภาพ Bomb Calorimeter
ภาพที่ 7 ภาพการวิเคราะห์หาค่าความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

3. การทดสอบหาสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางความร้อน

3.1 วิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ทั้ง 5 ส่วนผสม โดยนำเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ส่วนผสมละ 5 ก้อน มาชั่งมวลและคำนวณปริมาตรของ RDF-5 และวิเคราะห์ความหนาแน่น ของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 จากอัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

3.2 หาค่าความชื้นของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ทั้ง 5 ส่วนผสม หาค่าความชื้นเฉลี่ยของเชื้อเพลิงแต่ละส่วนผสม

3.3 หาเวลาการเผาไหม้ทั้งหมดของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 และเถ้าของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 โดยทำการทดสอบทั้ง 5 ส่วนผสม แล้วบันทึกผล

3.4 หาเวลาการเผาไหม้ทั้งหมดให้ความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ทั้ง 5 ส่วนผสม (ทำการทดลองซ้ำ ส่วนผสมละ 3 ครั้ง) เทียบกันทั้ง 5 ก้อน แต่ละครั้ง ครั้งละ 1 กิโลกรัมเท่ากัน ในเตาอังโล่ที่แบ่งครึ่งเตาโดยใช้แผ่นสังกะสีกั้นกลางในที่โล่งแจ้ง (เพื่อให้เป็นการเผาไหม้แบบสมบูรณ์) บันทึกเวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด เมื่อระบบเย็นตัวลง นำซีเถ้าที่เหลือไปชั่งมวล เพื่อหาปริมาณเถ้าเฉลี่ยของถ่านแต่ละส่วนผสม

3.5 วิเคราะห์หาค่าความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 โดยใช้ Bomb calorimeter ด้วยการนำเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 แต่ละตัวอย่างมาบดให้ละเอียด แล้วอบเพื่อไล่ความชื้นแล้วอัดเป็นแท่ง ที่มีขนาดประมาณ 7 มิลลิเมตร ก่อนนำเข้าเครื่องวิเคราะห์ (ภาพที่ 7)

4. วิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 โดยจุดคุ้มทุนคือจุดที่ไม่มีผลกำไรหรือขาดทุน ในการดำเนินการผลิต พิจารณาจากความสัมพันธ์ค่าใช้จ่ายในการผลิตและรายได้จากการขายเชื้อเพลิง ดังนี้ (ทงนเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ, 2552)

4.1 ค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงคำนวณจาก

$$C = F + VN \quad (1)$$

เมื่อ C คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 (บาท)

F คือ ต้นทุนคงที่ของราคาเครื่องจักรในการผลิตทั้งหมด (บาท) ได้แก่ เครื่องบด และเครื่องอัด

V คือ ต้นทุนแปรผัน (บาท/กิโลกรัม) ที่เกิดขึ้นในการผลิตต่อหน่วยกิโลกรัมของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ได้แก่ ค่าแรง ค่าไฟฟ้าและค่าวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิต

N คือ ปริมาณเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่ผลิตได้ (กิโลกรัม)

4.2 รายได้จากการขายเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 คำนวณจาก

$$R = IN \quad (2)$$

เมื่อ R คือ รายได้จากการขายเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

I คือ ราคาขายต่อกิโลกรัม

N คือ จำนวนกิโลกรัม ของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่ผลิตขายจุดคุ้มทุนเกิดขึ้นเมื่อสมการที่ (1) เท่ากับสมการที่ (2) ซึ่งทำให้เกิดจุดคุ้มทุน

4.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

การศึกษาหาต้นทุนการผลิตในอนาคตอาศัยการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกระบบการผลิต วิธีการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าต้นทุนการผลิตอาศัยวิธีการ Life Cycle Cost Analysis (LCC) ซึ่งเป็นวิธีการที่คิดค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ โดยสามารถคำนวณค่าต้นทุนการผลิตได้ดังสมการ

$$C_{pu} = \frac{C_p}{E_p} \quad (3)$$

เมื่อ C_{pu} = ต้นทุนต่อหน่วยการผลิต (บาท/หน่วยการผลิต)

P_C = ต้นทุนรวมรายปี (บาท/ปี)

P_E = การผลิตที่ผลิตได้ต่อปี (หน่วยการผลิต/ปี)

การหาต้นทุนรวมของการผลิตจะทำการคำนวณจากการทำสมมูลต้นทุน ดังสมการ

$$C_P = C_C + C_E + C_{O\&M} \quad (4)$$

เมื่อ C_P = ต้นทุนรวมรายปี (บาท/ปี)

C_C = มูลค่าเงินลงทุนสุทธิ (มูลค่าเงินลงทุนที่หักมูลค่าซากแล้ว) (บาท/ปี)

C_E = ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในการผลิต (บาท/ปี)

$C_{O\&M}$ = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา (บาท/ปี)

เกณฑ์ในการพิจารณาความเหมาะสมเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

พิจารณาจากมาตรฐาน มก-ธ.ก.ส, มาตรฐานชุมชน, ASTM D 240 จากนั้นพิจารณาที่ค่าความร้อนถ้าหากเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานก็จะถือว่ามีความเหมาะสม และพิจารณาที่ค่าความร้อนโดยอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนสูงสุดก็จะมีเหมาะสมมากที่สุด

6. สรุปผลและอภิปรายผล

6.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และทางความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

สมบัติทางฟิสิกส์และทางความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 แต่ละส่วนผสมที่ทดสอบมีทั้งหมด 6 ส่วน ได้แก่ ส่วนผสมที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น ค่าเวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด ปริมาณเถ้า และค่าความร้อน



ภาพที่ 8 การตรวจสอบค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

มาตรฐานเชื้อเพลิงขยะ RDF ของยุโรป กำหนดค่าความหนาแน่นของขยะเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ว่าต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 600 kg/m^3 ผู้วิจัยจึงทำการตรวจสอบค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ โดยการชั่งน้ำหนัก ดังภาพที่ 8 และทำการคำนวณค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงตัวอย่างซึ่งพบว่า ค่าความหนาแน่นของขยะเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่ผลิตได้ทุกส่วนผสม มีค่าความหนาแน่นสูงกว่า 600 kg/m^3 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

คณะผู้วิจัยได้นำตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่ผลิตได้ทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน โดยการตรวจวัดค่าความร้อน ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งการหาค่าความร้อนเป็นการวิเคราะห์โดยตรง โดยการนำตัวอย่างขยะเชื้อเพลิงมาบดให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์โดยวิธี Bomb Calorific Method ค่าความร้อนที่ได้เรียกว่า Dry Solid Calorific Value (DSCV) เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่ผลิตได้นั้นผ่านมาตรฐาน ASTM D240 มาตรฐาน มก.-ธ.ก.ส. และมาตรฐานชุมชน ทุกอัตราส่วน แต่อัตราส่วนที่มีค่าความร้อนสูงสุดคือ 26.35 MJ/kg อัตราส่วน E เนื่องจากในเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 มีค่าความชื้นน้อยจึงทำให้มีค่าความร้อนมากกว่าอัตราส่วนอื่น ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง RDF-5 อัตราส่วน D คือ 1103.71 kg/m^3 มีความหนาแน่นมากที่สุดเนื่องจากค่าความชื้นในเชื้อเพลิงมีค่าน้อยจึงทำให้เชื้อเพลิงมีความหนาแน่นมากที่สุด อัตราส่วนที่ A-E มีค่าความชื้นที่เป็นไปตามมาตรฐาน มก.ธ.ก.ส. และมาตรฐานชุมชน ที่กำหนดไว้ว่าค่าความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก และในอัตราส่วนที่ E เหลือร้อยละ 1.82 มีค่าความชื้นที่น้อยที่สุด เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงขยะมีน้อยจึงทำให้มีความชื้นน้อย เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเผาไหม้ทั้งหมดของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 1 กิโลกรัม พบว่าอัตราส่วนที่ E มีการเผาไหม้ทั้งหมดของเชื้อเพลิงนานที่สุดคือ 159 นาที/กก. เนื่องมาจากส่วนผสมและตัวประสานรักษาสภาพความเหนียวของเชื้อเพลิงได้ใช้เวลาในการเผาไหม้จึงใช้เวลานานที่สุด

เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 คณะผู้วิจัยได้เผาเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่ผลิตขึ้นทั้ง 5 อัตราส่วนมีเขม่าสีดำขึ้นเล็กน้อย ไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็นและไม่มีกลิ่นมีปริมาณเถ้าเฉลี่ยคงตัวที่ร้อยละ 2.5 ส่วนเชื้อเพลิงทั้งห้าสูตรมีปริมาณเถ้าลดลงตามแต่ละสูตร และมีค่าอยู่ประมาณร้อยละ 2.37 ถึงร้อยละ 1.72 ดังนั้นอัตราส่วนที่ B มีปริมาณเถ้าที่มากที่สุดเนื่องจากการเผาไหม้

ของเชื้อเพลิงต่ำจึงทำให้มีปริมาณต่ำกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ สรุปผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ดังนี้

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

อัตราส่วน	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ค่าความหนาแน่น (kg/m ³)	ความชื้น (ร้อยละ)	เวลาจุดติดไฟ (นาทิต)	เถ้า (ร้อยละ)
A	25.44	1035.07	2.06	141	1.95
B	20.17	1101.21	1.81	98	2.37
C	22.88	1042.52	2.45	119	2.23
D	24.09	1103.71	2.36	132	2.10
E	26.35	1035.07	1.82	159	1.72

6.2 ผลการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนของการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน แยกเป็นสองส่วนของรายรับและรายจ่าย มีรายละเอียดต่อไปนี้

1) รายรับ มาจากการขายเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 กำหนดให้

- อัตราการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 สูงสุดเป็น = 240 กิโลกรัม/วัน
- ราคาขายเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 เป็น = 4.50 บาท/กิโลกรัม
- เวลาในการผลิต = n วัน

$$\text{ดังนั้น รายได้จากการขายถ่าน } R = (n \text{ วัน}) (4.50 \text{ บ./กก.}) (240 \text{ กก./วัน}) \\ = 1,080 n \text{ (บาท)}$$

ราคาขายเชื้อเพลิงอ้างอิงจากโรงงานน้ำตาลวังขนาย อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม

2) รายจ่าย เป็นต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่แยกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันดังนี้

2.1) ต้นทุนคงที่ เป็นต้นทุนการซื้อเครื่องบด เครื่องอัดแท่ง ที่มีราคารวมโดยประมาณ คิดเป็นเงินรวม 60,000 บาท

2.2) ต้นทุนแปรผัน ประกอบด้วย (1) ค่าวัตถุดิบในการผลิต คือ กระดาษและพลาสติก (ไม่คิดราคาใบไม้/กิ่งไม้แห้ง) แป้งและปูนขาว

(1) ประมาณราคากระดาษที่รับซื้อในอัตรา 1.50 บาท/1 กิโลกรัมราคาพลาสติกประมาณราคาแป้ง 12 บาท/กิโลกรัม และปูนขาวราคา 8 บาท/กิโลกรัม ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงใช้สมมติฐาน ว่าเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 1 กิโลกรัมใช้แป้งและปูนขาวเพียง 0.4/7 กิโลกรัมของเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ซึ่งคิดเป็นเงินประมาณ 1 บาท ต่อมวลเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 1 กิโลกรัม

2.3) ค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องบด และเครื่องอัดถ่านแท่ง รายละเอียดของการคำนวณมีดังนี้

(1) ค่าแรงงาน 300 บาท/วัน/คน อ้างอิงจากสถาบันการจัดการงานบุคคลปี 2555/2556

(2) ค่าพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ในเครื่องบด และเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 คิดในอัตราค่าใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 3.76 บาทต่อหน่วย หรือ 3.76 บาท/kW-h อ้างอิงจากการไฟฟ้านครหลวง ปี พ.ศ.2556 ดังนั้นหากประมาณการใช้ไฟฟ้าในหนึ่งวันของอุปกรณ์ทั้งสอง เป็น 8 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ทำให้สามารถคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า ที่แต่ละเครื่องใช้ได้ ดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า

เครื่อง	กำลังไฟฟ้า (KW)	เวลา (hr)	พลังงาน (kW-hr)	ค่าใช้ไฟฟ้า (บาท/วัน)
1. เครื่องบด	2.1	8	16.8	63.16
2. เครื่องอัดขึ้นรูป	2.1	4	8.4	31.58
รวม				94.74

ผลการวิเคราะห์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่า

(1) ค่าวัตถุดิบ (ผลรวมข้อ (1) จาก 2.2) = 1 บาทต่อกิโลกรัม

(2) ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต (ข้อ (1) จาก 2.3) = 94.74 บาทต่อวัน

นั่นคือหากทำการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ทั้งสิ้น n วัน

ต้นทุนแปรผัน = (n วัน)[(1 บาท/กก.) (240กก./วัน) + (300/วัน/คน)(94.74 บาท/วัน)]

= n [240 + 94.74 + 300] บาท

= n [634.74] บาท

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเบื้องต้น พิจารณาจากความเท่ากันของรายรับ และรายจ่ายดังสมการต่อไปนี

$$\begin{aligned} \text{รายรับ} &= \text{รายจ่ายรวม} \\ &= \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนแปรผัน} \end{aligned}$$

$$1,080 n = 60,000 + 634.74n \quad (5)$$

สมการที่ (5) สามารถวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนได้โดยใช้การแทนค่า n ที่แปรค่าตั้งแต่ 0 จนถึงประมาณ 3,650 วัน (หรือ 10 ปี) ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 และเมื่อนำไปเขียนกราฟการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนและรายได้ เทียบกับเวลา สามารถสรุปได้ว่า ตลอดเวลาการผลิต รายรับมีค่าสูงกว่ารายจ่ายแปรผัน 445.26 บาทต่อวัน (มาจาก 1,080 - 634.74) และเวลาที่ผลิต และได้จุดคุ้มทุนเบื้องต้นคือ 200 วัน หรือ ประมาณ 6 - 7 เดือน และพบว่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย ของเชื้อเพลิง RDF-5 อยู่ที่ 2.645 บาท/กิโลกรัม

7. สรุปผลและอภิปรายผล

7.1 จากผลการศึกษาอัตราส่วนของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่าเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ที่ผลิตได้ทั้ง 5 อัตราส่วน ซึ่งประกอบด้วย พลาสติก ใบไม้ กระจก โดยมีตัวประสานคือแป้งมันและปูนขาว อัตราส่วนที่ทำการศึกษานี้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วน E (1:1:1/0.1:0.1) เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนสูงสุด สีดำสม่ำเสมอ ไม่เปราะ เมื่อติดไฟไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควัน

และกลืน เวลาในการเผาไหม้นานที่สุดคือ 159 นาทีในขณะที่ค่าความชื้นน้อยที่สุดคือร้อยละ 1.82 ค่าความหนาแน่นคือ 1,035.07 kg/m³ และปริมาณเถ้าเหลือร้อยละ 1.72 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน มก. ๕.ก.ส. และมาตรฐานชุมชน ซึ่งกำหนดให้ถ่านอัดแท่งควรมีความหนาแน่นไม่เกิน 8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความชื้นไม่ควรมากกว่าร้อยละ 8 เวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่ง 1 กิโลกรัม ต้องไม่ควรต่ำกว่า 1 ชั่วโมง ปริมาณเถ้าไม่ควรเกินร้อยละ 5 และค่าความร้อนสูงสุดไม่ควรต่ำกว่า 26.35 MJ/kg ตาม มาตรฐาน มก.๕.ก.ส. และมาตรฐานชุมชน

7.2 จากการศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้พบว่าอัตราส่วนที่ E ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงที่สุดคือ 26.35 MJ/kg ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D240, มาตรฐาน มก.๕.ก.ส. และมาตรฐานชุมชน นอกจากนี้การผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ยังเป็นแนวทางในการสร้างรายได้ให้กับชุมชนและลดปัญหาด้านการจัดการขยะได้อีกด้วย

7.3 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย ของเชื้อเพลิง RDF-5 อยู่ที่ 2.645 บาท/กิโลกรัม ซึ่งตลอดเวลาการผลิต รายรับมีค่าสูงกว่ารายจ่ายแปรผัน 445.26 บาทต่อวัน และจุดคุ้มทุนเบื้องต้นคือ 200 วัน หรือ ประมาณ 6 -7 เดือน

8. ข้อเสนอแนะ

ในเชื้อเพลิงพลาสติก (Plastic) หากมีการเผาไหม้โดยตรง อาจเป็นอันตรายได้เนื่องจากพลาสติกมีสาร Dioxin ปนเปื้อน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นเชื้อเพลิง RDF-5 ควรใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ซึ่งจะมีอุณหภูมิในการเผาไหม้ที่สูงและปลอดภัย

9. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศ.ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้เสนอแนวคิดในการทำงานวิจัยพร้อมให้คำปรึกษาชี้แนะมาโดยตลอด ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยแก่คณะผู้วิจัย และช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการทำงานด้วยความเอาใจใส่ตั้งแต่ต้นจนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ที่ยังไม่ได้กล่าวถึงด้วย คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูง ประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ขอบแต่บิดามารดาและบุคลากรที่กล่าวมาข้างต้น

10. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2548) **โครงการศึกษาและ**

สาธิตการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากขยะชุมชน, รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 1.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน และบริษัท ปัญญา คอนซัล

แตนท์ จำกัด. (2551). **โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนการผลิตขยะเชื้อเพลิง (RDF).**

- ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ. (2552) รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิเคราะห์
แนวทางการจัดการขยะในการผลิตไฟฟ้าในระดับอำเภอ, ชุดโครงการ การศึกษาเชิง
นโยบายและการยอมรับของประชาชนในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล, โครงการที่ 2, สำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.).
- ทุน สกว. – บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ทุนวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
ประจำปีการศึกษา 2551. (2551). โครงการแปรรูปขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal
Waste) ให้เป็นแหล่ง Refuse Derived Fuel (RDF) เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานความ
ร้อนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์.
- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (2552). online available for <http://www.effe.or.th>
- วรารณณ์ พุมชาติ. (2557). การผลิตโปรตีนเคอร์แกนจากเตาแบบ Inverted Downdraft โดยใช้
กากเป็นเชื้อเพลิง, วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏ
ลำปาง, ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม 2557 – มิถุนายน 2557, หน้า 26-39.
- ศศิธร จิตต์ปราณี และสัทยา ลาตปาละ. (2552). ศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดการขยะอินทรีย์ใน
บริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวรสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ, วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เมษายน 2552 – กันยายน
2552, หน้า 37-43.
- สายวสันต์ วิชาดี. (2548). การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะเทศบาลนคร
เชียงใหม่, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน,
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Jidapa Nithikul. (2007). POTENTIAL OF REFUSES DERIVED FUEL PRODUCTION FROM
BANGKOK MUNICIPAL SOLID WASTE, School of Environment, Resources
and Development, Asian Institute of Technology, THAILAND.