

การศึกษาและปรับปรุงคุณสมบัติของถ่านอัดเม็ดจากมูลวัว  
เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง

STUDY AND MODIFICATION OF THE SOLID FUEL OF CHAR PELLETS  
FROM COW MANURE

สุพัตรา บุตรเสรีชัย<sup>1</sup>, วราภรณ์ จันทร์เวียง<sup>1</sup> และ ธาณิตา คล่องวาจา<sup>2</sup>

<sup>1</sup>อาจารย์, วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000

<sup>2</sup>นักศึกษา, วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000

Supattra Budsareechai<sup>1</sup>, Waraporn Chanwiang<sup>1</sup> and Thanita klongvaja<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lecturer, Engineering, Chaiyaphum Rajabhat University

167 Nafai Subdistrict, Muang District, Chaiyaphum 36000, Thailand

<sup>2</sup>Student, Engineering, Chaiyaphum Rajabhat University

167 Nafai Subdistrict, Muang District, Chaiyaphum 36000, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและปรับปรุงคุณสมบัติของถ่านอัดเม็ดจากมูลวัว เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง โดยศึกษาผลของขนาดและความดันในการอัดเม็ดมูลวัว อุณหภูมิและเวลาในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดจากมูลวัว ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้จะถูกอัดเม็ดโดยไม่ใช้ตัวประสาน ด้วยแบบอัดเม็ดสามขนาด คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm 1.5 cm และ 2 cm ที่ความยาว 1 cm ด้วยระบบไฮดรอลิก พบว่า เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการศึกษาครั้งนี้ คือ 30 min อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส 400 °C และยังพบว่าความดันในการอัดเม็ดมูลวัว มีผลต่อค่าความร้อนของถ่านอัดเม็ด โดยเมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm ที่ความดันในการอัดเม็ดมูลวัวที่ 30 40 50 60 และ 70 bar ถ่านอัดเม็ดมูลวัวมีค่าความร้อนคือ 9,750 9,820 10,430 10,520 และ 10,782 kJ/kg ตามลำดับ และเมื่อความดันในการอัดเม็ดมูลวัว 70 bar ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm 1.5 cm และ 2 cm ถ่านอัดเม็ดมูลวัวมีค่าความร้อนคือ 10,782 11,279 และ 11,682 kJ/kg ตามลำดับ โดยที่ความดันในการอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส คือ 70 bar โดยที่ไม่ใช้ตัวประสาน ทำให้ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้ และค่าความร้อนของชีวมวลและถ่าน

อัดเม็ดที่ได้กับเชื้อเพลิงแข็งจากงานวิจัยอื่นๆ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น มูลวัวมีความเหมาะสมที่สามารถนำมาเป็นแหล่งพลังงานเนื่องจากหาได้ง่าย และราคาถูก [1-4]

**คำสำคัญ:** เชื้อเพลิงแข็ง, ชีวมวลอัดเม็ด, มูลวัว, ไพโรไลซิส, ค่าความร้อน

### ABSTRACT

This research aims to study and modification of the solid fuel of char pellets from cow manure. The effects of size, pressure, temperature and time of pyrolysis by pellets from cow manure. These raw materials are pelletized without the use of binder. With three pellets of diameter 1 cm, 1.5 cm and 2 cm at 1 cm length, with hydraulic system, it was found that the optimum time and temperature in this study were 30 min, pyrolysis temperature 400 °C. It also found that the pressure in the pellets influence of heat on char pellets from cow manure, which the diameter of 1 cm at the pellet pressure of 30, 40, 50, 60 and 70 bar the char pellets from cow manures had the heating values of 9,750, 9,820, 10,430, 10,520 and 10,782 kJ/kg, respectively. And the pellet pressure of diameter 70 bar at pellets of diameter 1 cm, 1.5 cm and 2 cm the char pellets from cow manures had the heating values of 10,782 11,279 and 11,682 kJ/kg, respectively. The optimum pellet pressure is 70 bars without the use of binder. It saves energy and costs. And biomass heating and solid fuel pellets obtained with other solid fuels were similar. As a result, cow manure is suitable as a source of energy because it is easily available and cheap. [1-4]

**KEYWORDS:** solid fuel, pellet, cow manure, pyrolysis, heating value

### 1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการทางด้านพลังงานมีความต้องการสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากการดำรงชีวิตที่มีความสะดวกสบายยิ่งขึ้น และความต้องการใช้มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของปริมาณประชากรและเศรษฐกิจ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แนวโน้มของราคาด้านพลังงานมีค่าสูงขึ้นตามความต้องการ ดังนั้นประเทศไทยจึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกมากขึ้น ซึ่งการสนับสนุนให้มีการใช้ชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือก จึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญ โดยชีวมวล คือ วัสดุหรือสารที่ได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น ชานอ้อย แกลบ รำ และฟางข้าว เป็นต้น เพื่อลดการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งปัจจุบันทรัพยากรป่าไม้มีจำนวนลดลง จึงจำเป็นต้องลดการใช้ไม้จากธรรมชาติ การนำชีวมวลและเศษวัสดุที่ใช้แล้วจากธรรมชาติกลับมาใช้ประโยชน์และสร้างทางเลือกที่ดีต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันความต้องการใช้สอยในรูป

ของถ่านอัดแท่งชีวมวลมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ทดแทนไม้จริงจากป่าไม้ที่มีปริมาณลดน้อยลง หรืออีกนัยความหมายหนึ่งของชีวมวลคือ แหล่งกักเก็บพลังงาน เนื่องจากพืชอาศัยแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตจากนั้นจะถูกแปรเปลี่ยนสภาพเป็นแป้งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช เมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิงเราจึงได้พลังงานออกมาการใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวลสามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า ดังนั้นชีวมวลจึงเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูกที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย กระบวนการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงานแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ วิธีทางเคมี วิธีทางชีวเคมี และวิธีการใช้พลังงานความร้อน โดยวิธีการใช้พลังงานความร้อนนี้ ยังแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ คือ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) และกระบวนการลิกวิแฟกชัน (Liquefaction) โดยกระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการให้ความร้อนกับวัสดุที่อุณหภูมิปานกลาง (300-700 °C) ในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระบวนการไพโรไลซิสประกอบไปด้วย ของแข็งหรือถ่านชาร์ ของเหลว และแก๊ส [1]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล โดยการอัดเม็ดแบบไม่ใช้ตัวประสานด้วยระบบไฮดรอลิก และเปลี่ยนชีวมวลอัดเม็ดที่ได้ให้เป็นพลังงานด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเดิมทีแล้วมีงานวิจัยที่หลากหลายที่ทำการศึกษาถ่านอัดเม็ดจากชีวมวลต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ฟางข้าว มูลไก่ และมูลวัว แต่ทุกงานวิจัยที่กล่าวมานั้นต้องใช้ตัวประสานในการอัดเม็ด ได้แก่ น้ำ น้ำแป้ง น้ำมันพืช กากน้ำตาล และดินขาว เป็นต้น [1-5] วัสดุชีวมวลที่นำมาใช้ในโครงการนี้ คือ มูลวัว ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย และพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาพลังงานเชื้อเพลิงของชีวมวลอัดเม็ดจากมูลวัว เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง เพื่อลดและ/หรือหักค่าใช้จ่ายในส่วนวัสดุที่ต้องนำมาทำเป็นตัวประสาน ปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตแท่งชีวมวลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และเพื่อเป็นการส่งเสริมนโยบายการใช้พลังงานทดแทนเพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงานในประเทศต่อไป

## 2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการอัดเม็ดชีวมวลจากมูลวัวด้วยระบบไฮดรอลิกแบบไม่ใช้ตัวประสาน จากนั้นทำกระบวนการไพโรไลซิสชีวมวลอัดเม็ดที่ได้ ซึ่งมีรายละเอียดของการเตรียมวัตถุดิบและการอัดเม็ด อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

### 2.1 การเตรียมวัตถุดิบและการอัดเม็ด

มูลวัวได้มาจากพื้นที่ในชุมชนท้องถิ่นจังหวัดชัยภูมิ ซึ่งมูลวัวที่ใช้ในโครงการนี้ได้ จะต้องนำไปตากให้แห้งเพื่อไล่ความชื้นเป็นเวลา 3 วัน หรือนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 hr หลังจากนั้นนำไปบดโดยใช้เครื่องบด และร่อนด้วยตะแกรงร่อน

จากรูปที่ 1 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการอัดเม็ด โดยรูปที่ 1 (ก) เป็นตัวอย่างบล็อกอัดเม็ดที่ทำด้วยเหล็ก ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 และ 2 cm โดยในงานวิจัยนี้ไม่ใช้ตัวประสาน แต่จะใช้เครื่องไฮดรอลิก เพื่อเป็นเครื่องช่วยเพิ่มความดันในการอัดเม็ดมูลวัวให้แน่นมากยิ่งขึ้น ด้วยเกจวัดความดัน มีย่านในการวัด 0 ถึง 400 bar หรือ 0 ถึง 5,800 psi ดังรูปที่ 1(ข)



(ก) บล็อกอัดเม็ดที่ทำด้วยเหล็ก

(ข) เครื่องไฮดรอลิก

รูปที่ 1 เครื่องมือที่ใช้ในการอัดเม็ด

## 2.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสม

2.2.1 นำมูลวัวที่ผ่านกระบวนการร่อนแล้ว มาบรรจุลงในบล็อกอัดเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm

2.2.2 นำตัวอย่างเข้าเครื่องไฮดรอลิกเพื่ออัดเม็ดด้วยความดัน 40 bar ใช้เวลาในการอัด 5 min หลังจากนั้นนำมูลวัวอัดเม็ดที่ได้ออกจากบล็อกอัดเม็ด

2.2.3 ชั่งมูลวัวอัดเม็ดที่เตรียมได้ 100 g บรรจุภายในเตาปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 2 (ก) ทำจากเหล็ก โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 cm สูง 35 cm เพื่อทำการไพโรไลซิส ด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูงระบบไฟฟ้าควบคุมอัตโนมัติ ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ วัดค่าอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล รุ่น SPL T\_S/107 Type K , J, PT100 ดังรูปที่ 2 (ข) ที่สภาวะปราศจากก๊าซออกซิเจน โดยการปล่อยก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 100 cm<sup>3</sup>/min ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่ 500 °C เป็นเวลา 30 min

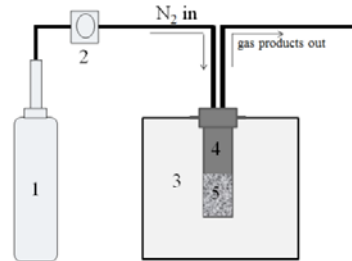
2.2.4 จากนั้นเปลี่ยนอุณหภูมิไปที่ 300 350 400 และ 450 °C โดยทำการทดลองซ้ำข้อ 2.2.1 ถึง 2.2.3 ตามลำดับ



(ก) เตาปฏิกรณ์



(ข) เตาเผาอุณหภูมิสูง



รูปที่ 2 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูล

### 2.3 การศึกษาผลของเวลาในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสม

เมื่อได้อุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้อ 2.2 แล้ว นำมาศึกษาผลของเวลาในกระบวนการไพโรไลซิสที่เหมาะสม โดยทำการไพโรไลซิส ที่เวลา 60 90 และ 120 min ตามลำดับ ที่อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส 500 °C ด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมูลวัวอัดเม็ด 1 cm

### 2.4 การศึกษาผลของความดันในการอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสม

เมื่อทราบอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 2.2 และ 2.3 แล้ว นำมาศึกษาผลของความดันในการอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสม ที่ความดัน 30 50 60 70 และ 80 bar ตามลำดับ ด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมูลวัวอัดเม็ด 1 cm

### 2.5 การศึกษาผลของขนาดมูลวัวอัดเม็ดที่เหมาะสมในกระบวนการไพโรไลซิส

เมื่อทราบอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการไพโรไลซิสที่เหมาะสมจากข้อ 2.2 และ 2.3 แล้ว นำมาศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมูลวัวอัดเม็ดในกระบวนการไพโรไลซิสที่เหมาะสม โดยใช้ขนาดเส้นผ่าน 1.5 และ 2 cm ตามลำดับ ที่ความดันในการอัดเม็ดมูลวัว 70 bar

### 2.6 วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

2.6.1 เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของแข็ง (ถ่านอัดเม็ด) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส มาชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (Yield) โดยสำหรับผลิตภัณฑ์ก๊าซหาได้จากสมการที่ (1) คือ [2]

$$\% \text{ผลิตภัณฑ์ก๊าซ} = 100 - \% \text{ผลิตภัณฑ์ของแข็ง} - \% \text{ผลิตภัณฑ์ของเหลว} \quad (1)$$

2.6.2 การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate analysis) ได้แก่ คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) สารระเหย (Volatile matter) เถ้า (Ash) และความชื้น (Moisture) ทำได้โดยใช้เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) [2] ให้ความร้อนกับตัวอย่างจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 120 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน (อัตราการไหล 100 cm<sup>3</sup>/min อัตราการให้ความร้อน 10 °C/min) เป็นเวลา 10 min โดยน้ำหนักที่วัดที่อุณหภูมิ 120 °C นี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าความชื้นได้ดังสมการที่ (2)

$$\% \text{ของความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ } 120 \text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง}} \quad (2)$$

จากนั้นให้ความร้อนกับตัวอย่างต่อไปจนถึงอุณหภูมิ 700 °C นี้เป็นเวลา 10 min ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเช่นเดิม โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 700 °C นี้สามารถนำไป คำนวณหา ค่าสารระเหยได้ดังสมการที่ (3)

$$\% \text{ของสารระเหย} = \frac{(\text{นน.ของตัวอย่างที่ } 120 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{นน.ของตัวอย่างที่ } 700 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างที่ } 120 \text{ }^{\circ}\text{C}} \quad (3)$$

ขั้นตอนต่อไปจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 10 min แต่จะเปลี่ยนจากก๊าซไนโตรเจนเป็นอากาศ เพื่อให้ตัวอย่างเกิดการเผาไหม้ ซึ่งน้ำหนักสุดท้ายนี้สามารถคำนวณหาปริมาณเถ้าได้ดังสมการที่ (4)

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = \frac{(\text{น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง}} \quad (4)$$

โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวหาได้จากสมการที่ (5) สำหรับ %ความชื้นของผลิตภัณฑ์นั้นวิเคราะห์ตามมาตรฐาน AOAC, 2000

$$\% \text{คาร์บอนคงตัว} = 100 - \% \text{ของความชื้น} - \% \text{ของสารระเหย} - \% \text{ของเถ้า} \quad (5)$$

2.6.3 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดหรือความหนาแน่นจริง (True density) ทำได้โดยการนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดมาชั่งน้ำหนัก และวัดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง

เพื่อหาปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากนั้นสามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้จากสมการที่ (6) [2]

$$\text{True density} = \frac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดเม็ด}}{\text{ปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดเม็ด}} \quad (6)$$

โดยปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดเม็ดสามารถหาได้จากสมการที่ (7)

$$v = \pi r^2 L \quad (7)$$

เมื่อ  $v$  คือ ปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ( $\text{cm}^3$ )  $r$  คือ รัศมีของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ( $\text{cm}$ ) และ  $L$  คือ ความยาวของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ( $\text{cm}$ )

2.6.4 การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ทำได้โดยการนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดบรรจุเข้าไปในกล่องที่มีปริมาตรที่แน่นอน ( $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 10\text{cm}$ ) จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นรวมได้จากสมการที่ (8) [2]

$$\text{Bulk density (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่อยู่ในกล่อง (g)}}{\text{ปริมาตรของกล่อง (cm}^3\text{)}} \quad (8)$$

2.6.5 ค่าความร้อน (Heating value) ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter (GALLENKAMP Auto bomb) โดยเริ่มจากการชั่งน้ำหนักถ่านอัดเม็ดที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส และชั่งอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ จากนั้นเริ่มทำการทดลองหาค่าความร้อนโดยรอให้อุณหภูมิคงที่ จะได้อุณหภูมิเริ่มต้น หลังจากนั้นทำการกดปุ่ม Fire ค้างไว้เป็นเวลา 5 min แล้วรอจนกระทั่งอุณหภูมิเริ่มคงที่อีกครั้งจะได้อุณหภูมิสุดท้าย และหลังจากการทดลองหาค่าความร้อนแล้ว ถ้ามีส่วนของเส้นลวดและถ่านของวัตถุติดที่เหลือยู่จะนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปใช้ประกอบการคำนวณ โดยนำอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายไปคำนวณหาความร้อนต่อไป

### 3. ผลการศึกษา

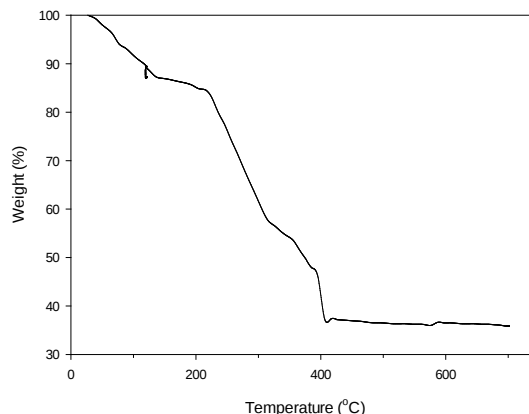
ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ 1) สมบัติของมูลวัวอัดเม็ดเริ่มต้น 2) ผลของอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสม 3) ผลของเวลาในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสม 4) ผลของความดันในการอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสม และ 5) ผลของขนาดมูลวัวอัดเม็ดที่เหมาะสมในกระบวนการไพโรไลซิส โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 3.1 สมบัติของมูลวัวอัดเม็ดเริ่มต้น

มูลวัวอัดเม็ดซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการไพโรไลซิส ดังรูปที่ 3 นำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ได้แก่ การสลายตัวทางความร้อน การหาค่าความร้อน และการหาค่าองค์ประกอบแบบประมาณ ได้แก่ คาร์บอนคงตัว สารระเหย เถ้า และความชื้น โดยรูปที่ 4 แสดงการสลายตัวทางความร้อนของมูลวัว ซึ่งทำให้ทราบช่วงอุณหภูมิที่มูลวัวสูงสุด โดยจะเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการไพโรไลซิส พบว่า น้ำหนักของตัวอย่างลดลงเล็กน้อยในช่วงแรกที่อุณหภูมิระหว่าง 100-120 °C ซึ่งคือการระเหยของความชื้นจากมูลวัว โดยการระเหยของสารต่างๆ เริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 250 °C และการกำจัดสารระเหยต่างๆ จะเสร็จสิ้นที่อุณหภูมิประมาณ 420 °C เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจากนี้จะไม่ทำให้น้ำหนักของมูลวัวเสียอีก ดังนั้น จึงทำการเลือกอุณหภูมิที่จะทำกระบวนการไพโรไลซิส ระหว่าง 300-500 °C ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด โดยการสลายตัวทางความร้อนนี้ สามารถนำไปหาค่าองค์ประกอบแบบประมาณได้



รูปที่ 3 มูลวัวอัดเม็ด



รูปที่ 4 การสลายตัวทางความร้อนของมูลวัว

การหาค่าองค์ประกอบแบบประมาณของมูลวัว พบว่ามี ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณเถ้า และปริมาณความชื้น คือ ร้อยละ 53.7 12.3 20.8 และ 13.2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ซึ่งพบว่า องค์ประกอบแบบประมาณต่างๆ เหล่านี้ มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับวัสดุชีวมวลอื่นๆ ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการไพโรไลซิส ได้แก่ เปลือกไม้ยูคาลิปตัส เหง้ามันสำปะหลัง ทะลายปาล์ม ชานอ้อย ชังข้าวโพด เส้นใยปาล์มและฟางข้าว [2-3]

### 3.2 ผลของอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสม

ทำการกระบวนการไพโรไลซิสมูลวัวอัดเม็ดด้วยความดัน 40 bar ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm จำนวน 100 g ที่สภาวะปราศจากก๊าซออกซิเจนโดยการปล่อยก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 100 cm<sup>3</sup>/min เป็นเวลา 30 min ตามตารางที่ 1 พบว่าอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสมีผลต่อของร้อยละผลได้ คือ เมื่ออุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสสูงขึ้น ทำให้ร้อยละผลได้ (%ของแข็ง) และ %ของความชื้นมีค่าลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงของแข็งจะสลายตัวไปเป็นของเหลวและก๊าซมากขึ้น และค่าความร้อนที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นด้วยและมีค่าเกือบคงที่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 400 °C ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูลวัว คือ 400 °C ที่ทำให้ค่าความร้อนเฉลี่ยสูงสุด หรือมีค่าความเป็นเชื้อเพลิงสูงสุด 9,820 kJ/kg

ตารางที่ 1 ผลของอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูลวัวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ที่ความดันอัดเม็ด 40 bar เป็นเวลา 30 min

| อุณหภูมิในการไพโรไลซิส (°C) | ร้อยละผลได้ |          |       | %ความชื้น | ค่าความร้อน* (kJ/kg) |
|-----------------------------|-------------|----------|-------|-----------|----------------------|
|                             | %ของแข็ง    | %ของเหลว | %ก๊าซ |           |                      |
| 300                         | 75          | 15       | 10    | 6.5       | 9,570                |
| 350                         | 73          | 16       | 11    | 5.3       | 9,690                |
| 400                         | 68          | 19       | 13    | 2.2       | 9,820                |
| 450                         | 64          | 20       | 16    | 2.1       | 9,840                |
| 500                         | 63          | 20       | 17    | 1.9       | 9,850                |

### 3.3 ผลของเวลาในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสม

จากตารางที่ 2 พบว่า เวลาไม่มีผลกับค่าความร้อนของถ่านอัดเม็ดมูลวัวที่ได้ นั่นคือเมื่อใช้เวลาในกระบวนการไพโรไลซิสสูงขึ้น ทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูลวัวคือ 30 min

**ตารางที่ 2 ผลของเวลาในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูลวัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ที่อุณหภูมิ 400 °C ที่ความดันอัดเม็ด 40 bar**

| เวลาในกระบวนการไพโรไลซิส (min) | ค่าความร้อน* (kJ/kg) |
|--------------------------------|----------------------|
| 30                             | 9,820                |
| 60                             | 9,800                |
| 90                             | 9,780                |
| 120                            | 9,800                |

### 3.4 ผลของความดันในการอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสม

ความดันในการอัดเม็ดมูลวัวมีผลต่อค่าความร้อนที่ได้ นั่นคือ เมื่อความดันในการอัดเม็ดมูลวัวสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความร้อนมีค่ามากขึ้นด้วย ดังนั้น ความดันในการอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสคือ 70 bar ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3 ผลของความดันในการอัดเม็ดมูลวัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 min**

| ความดันในการอัดเม็ดมูลวัว (bar) | ค่าความร้อน* (kJ/kg) |
|---------------------------------|----------------------|
| 30                              | 9,750                |
| 40                              | 9,820                |
| 50                              | 10,430               |
| 60                              | 10,520               |
| 70                              | 10,782               |

### 3.5 ผลของขนาดมูลวัวอัดเม็ดที่เหมาะสมในกระบวนการไพโรไลซิส

จากตารางที่ 4 แสดงสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดได้แก่ ค่าความร้อน ความหนาแน่นของเม็ด และความหนาแน่นรวม ที่ขนาดรูปร่างต่างๆ พบว่า ขนาดมูลวัวอัดเม็ดมีผลต่อค่าความร้อน ความหนาแน่นของเม็ด และความหนาแน่นรวม กล่าวคือ ถ่านอัดเม็ดมูลวัวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 และ 2 cm ดังรูปที่ 5 มีค่าความร้อน คือ 10,782 11,279 และ 11,682 kJ/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความร้อนสูงขึ้นจากค่าความร้อนก่อนอัดเม็ด ส่วนความหนาแน่นของเชื้อเพลิงนั้น พบว่า มีค่าความหนาแน่นสูงขึ้น เมื่อขนาดของเม็ดมีค่ามากขึ้น และสำหรับความหนาแน่นรวม (Bulk density)

พบว่า เมื่อทำการอัดเม็ดจะทำให้ชีวมวลมีค่าความหนาแน่นรวมลดลงจากชีวมวลเริ่มต้นก่อนอัดเม็ด ซึ่งการที่ชีวมวลมีรูปร่างใหญ่ขึ้นจากที่เป็นผง ทำให้การบรรจุลงในปริมาตรหนึ่งๆ นั้นทำได้น้อยกว่ากรณีที่เป็นผง เนื่องจากเกิดการกีดขวางกันของตัวเม็ดเอง ทำให้เกิดส่วนที่เป็นช่องว่าง แต่ในกรณีเป็นผง จะสามารถบรรจุตัวอย่างได้เต็มปริมาตร และยิ่งชีวมวลอัดเม็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้นจะยิ่งกีดขวางกันมากขึ้น ทำให้บรรจุตัวอย่างลงในกล่องปริมาตรได้น้อยลง จึงส่งผลให้มีความหนาแน่นรวมน้อยกว่าชีวมวลอัดเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่า



รูปที่ 5 ถ่านอัดเม็ดมูลวัว

ตารางที่ 4 สมบัติของถ่านอัดเม็ดมูลวัวด้วยความดันในการอัด 70 bar ที่อุณหภูมิในการไพโรไลซิสที่ 400 °C เป็นเวลา 30 min และมูลวัวยังไม่อัดเม็ด

| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง<br>(cm) | ค่าความร้อน*<br>(kJ/kg) | ความหนาแน่นของเม็ด<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | ความหนาแน่นรวม<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| ไม่อัดเม็ด                    | 9,385                   | -                                          | 0.95                                   |
| 1.0                           | 10,782                  | 1.19                                       | 0.75                                   |
| 1.5                           | 11,279                  | 1.28                                       | 0.63                                   |
| 2.0                           | 11,682                  | 1.32                                       | 0.58                                   |

\*ค่าความร้อน (kJ/kg) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter (GALLENKAMP Auto bomb)

#### 4. สรุปผลการวิจัย

เมื่อนำมูลวัวมาทำการอัดเม็ดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง พบว่า ชีวมวลอัดเม็ดมีค่าความร้อนสูงกว่าวัสดุชีวมวลที่ไม่ได้อัดเม็ด แต่มีความหนาแน่นรวม (Bulk density) ลดต่ำลง และเมื่อนำชีวมวลอัดเม็ดไปทำกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิระหว่าง 300-500 °C เป็นเวลา 30-120 min พบว่า เวลาในกระบวนการไพโรไลซิสไม่มีผลต่อค่าความร้อนของถ่านที่ได้ แต่อุณหภูมิในกระบวนการ

ไพโรไลซิส มีผลต่อของร้อยละผลได้และค่าความร้อน แต่มีค่าเกือบคงที่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 400 °C ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดเม็ดมูลวัว คือ 400 °C และ 30 min ตามลำดับ รวมทั้งขนาดและความดันในการอัดเม็ดมูลวัวก็มีผลต่อค่าความร้อน ความหนาแน่นของเม็ด และความหนาแน่นรวม โดยที่ความดันในการอัดเม็ดมูลวัวที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส คือ 70 bar โดยที่ไม่ใช้ตัวประสาน ทำให้ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนของชีวมวลและถ่านอัดเม็ดจากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น มูลวัวมีความเหมาะสมที่สามารถนำมาเป็นแหล่งพลังงานเนื่องจากหาได้ง่าย และราคาถูก

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2560 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สาขาวิศวกรรมเครื่องกล และสาขาวิศวกรรมการผลิต โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือต่างๆ

### References

- [1] Budsareechai S, Ngernyen Y, Lhapoon C, Srisakultew P. Solid fuel pellets from pig manure. Rajabhat Agriculture Journal 2016;15:37-43. (In Thai)
- [2] Lhapoon C, Srisakultew P. Solid fuel of biomass and char pellets from pig and chicken manure [Master of Chemical Engineering]. KhonKaen: KhonKaen University; 2016. (In Thai)
- [3] Park J, Lee Y, Ryu C, Park Y. Slow pyrolysis of rice straw: analysis of products properties, carbon and energy yields. Bioresource Technology 2014;155:63-70.
- [4] Manuwar SS, Subiyanto B. Characterization of biomass pellet made from solid waste oil palm industry. Procedia Environmental Sciences 2014;20:336-341.
- [5] Erlich C , Björnbom E, Bolado D, Giner M, Fransson TH. Pyrolysis and gasification of pellets from sugar cane bagasse and wood. Fuel 2006;85:1535-1540.

## ประวัติผู้เขียนบทความ



**สุพัตรา บุตรเสรีชัย** ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขา วิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000 โทรศัพท์ 091-0606192 E-Mail: pla.supattra.cpru@gmail.com ได้รับทุนวิจัยของ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณแผ่นดิน 2560 เรื่อง การศึกษาและปรับปรุงคุณสมบัติของถ่านอัดเม็ดจากมูลสัตว์เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง งานวิจัยที่สนใจ: พลังงานทดแทน



**วราภรณ์ จันทรเวียง** ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขา วิศวกรรมการผลิต โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000 โทรศัพท์ 090-1189430 E-Mail: Somtum\_521@hotmail.com



**ฐานิตา คล่องวาจา** นักศึกษาหลักสูตรสาขาวิศวกรรมการผลิต โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000 โทรศัพท์ 098-5869963 E-Mail: bewty\_thanita@hotmail.com