

# เครื่องบดชนิดสองลูกกลิ้งสำหรับลดขนาดถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัส

## Double Roller Crusher for Size Reduction of Coconut Shell Charcoals and Eucalyptus Chips

สุกฤตา จำรัสศรี,<sup>1</sup> สิริกาญจน์ ผลจันทร์<sup>1</sup> และ คณิต มานะธูระ<sup>1\*</sup>  
Sukitta Jumrussi,<sup>1</sup> Sirigan Poljan<sup>1</sup> and Kanit Manatura<sup>1\*</sup>

Received 19 August 2019, Accepted 17 December 2019

### ABSTRACT

The aim of this research is to study efficiency of double roller crusher for reducing the sizes of coconut shell charcoal and eucalyptus chips for solid fuel purpose. The effect of roller speed (650, 950 and 1,350 rpm) and roller gap (0.3, 0.5 and 0.7 cm) to the efficiency were examined. The crusher is 34 cm in width, 5.44 cm in length, and 11.38 cm in height, respectively with using 3 phase electric motor as power source. Results showed that the highest efficiency of coconut shell charcoal and eucalyptus wood chips size are 82% and 21% at 650 and 1,350 rpm respectively. Compared with the roller gap, the highest efficiency of reducing the sizes for coconut shell charcoal and eucalyptus wood chip are 79% and 27% at 0.5 and 0.3 cm of roller gap of the machine respectively. The physical properties of biomasses such as brittleness and fiber content are the main factors that affect the efficiency.

**Keywords:** Double roller crusher, Size reduction, Coconut shell charcoal, Eucalyptus chip

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องบดชนิดสองลูกกลิ้งเพื่อลดขนาดถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัสเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเป็นเชื้อเพลิง โดยศึกษาผลของความเร็วรอบของชุดบด (650, 950 และ 1,350 รอบต่อนาที) และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (0.3, 0.5 และ 0.7 ซม.) ได้ถูกนำเสนอ เครื่องบดมีขนาด (ความกว้าง × ความยาว × ความสูง) เท่ากับ 34.0 × 44.5 × 11.0 ซม. ใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 3 ระยะ (phase) จากผลการทดสอบ พบว่า ประสิทธิภาพสูงสุดในการลดขนาดถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัสมีค่าร้อยละ 82 และ 21 ที่ความเร็วรอบ 650 และ 1,350 รอบต่อนาทีตามลำดับ ขณะที่ค่าประสิทธิภาพของการลดขนาดสูงสุดของถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัสมีค่าร้อยละ

<sup>1\*</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

\*Corresponding author: Tel: 0-3435-5310, E-mail: kanitmana@gmail.com

ละ 79 และ 27 ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.5 และ 0.3 ซม. ตามลำดับ ความแตกต่างของประสิทธิภาพในการลดขนาดดังกล่าวเกิดจากลักษณะทางกายภาพของชีวมวล เช่น ความเปราะ ความเหนียวและปริมาณเส้นใยของชนิดชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบ

**คำสำคัญ:** เครื่องบดชนิดสองลูกกลิ้ง การลดขนาด ถ่านกะลามะพร้าว เศษไม้ยุคาลิปตัส

## บทนำ

ปัจจุบันแหล่งพลังงานในประเทศไทยนั้นไม่เพียงพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ทั้งหมด จึงจำเป็นต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ จากข้อมูลการนำเข้าพลังงานของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2562) พบว่ามีการนำเข้า (สุทธิ) พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น ได้แก่ น้ำมันร้อยละ 62 ถ่านหินร้อยละ 20 ก๊าซธรรมชาติ และ LNG ร้อยละ 16 และไฟฟ้าร้อยละ 2 รวมทั้งสิ้น 1,593 พันบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน การนำเข้าดังกล่าวทำให้ประเทศต้องสูญเสียเงินเป็นจำนวนมาก การประหยัดพลังงานหรือเลือกใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานอื่นที่มีในประเทศจึงเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย โดยลดการนำเข้าจากต่างประเทศ และทำให้ประเทศมีความมั่นคงด้านพลังงานเพิ่มขึ้น

การเลือกใช้พลังงานทดแทนเพื่อทดแทนการนำเข้าพลังงานฟอสซิล (fossil) จากต่างประเทศเป็นทางเลือกหนึ่งที่หน่วยงานภาครัฐกำลังดำเนินการและให้การสนับสนุน (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2562) โดยใช้พลังงานจากชีวมวล ได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร นับเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่สามารถจัดหาได้ง่าย ราคาถูก เนื่องจากประเทศไทยมีการทำการเกษตรกรรมอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามชีวมวลแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัว มีความหลากหลายทางด้านขนาด รวมถึงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ หากต้องการนำชีวมวลมาใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงจำเป็นต้องมีการปรับสภาพทางกายภาพให้เหมาะสมก่อนนำไปแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ทางเคมี หรือพลังงาน ผ่านกระบวนการแปลงสภาพชีวมวล ได้แก่ การเผาไหม้ การผลิตแก๊สสังเคราะห์ (gasification) หรือ การไพโรไลซิส

(pyrolysis) เป็นต้น เพื่อให้ชีวมวลสามารถแปลงสภาพได้อย่างเต็มที่ การเตรียมชีวมวลให้มีลักษณะที่เหมาะสมทางกายภาพ จึงเป็นวิธีหนึ่งในการใช้พลังงานจากชีวมวลให้เต็มศักยภาพ งานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องบดชนิดสองลูกกลิ้งเพื่อลดขนาดชีวมวลให้มีขนาดใกล้เคียงกันและสม่ำเสมอ โดยเครื่องบดได้ถูกพัฒนาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตอาหาร การผลิตซีเมนต์ การถลุงเหล็ก ปิโตรเคมี การผลิตไฟฟ้า และการก่อสร้าง (Egbe and Olugboji, 2016) เครื่องบดยังใช้ในการลดขนาดวัสดุที่มีขนาดใหญ่ (Lieberwirth *et al.*, 2017) ลิเบอร์วิทซ์ และคณะ ใช้เครื่องบดชนิดลูกกลิ้งผิวเรียบซึ่งเป็นเครื่องบดชนิดหนึ่งที่ได้รับค่านิยมในการลดขนาดของแข็งที่ปนในทรายน้ำมัน จากการศึกษามรรณณะพบว่า ค่านมรรณณะของเครื่องลดขนาดดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 14,000 ตันต่อชั่วโมง เอ็กเบ้และโอลูกโบจิ (Egbe & Olugboji, 2016) ใช้เครื่องบดลดขนาดของหินปูนและดินเกาลินพบว่า ค่าอัตราส่วนการลดขนาดมีค่าเท่ากับ 1.5 ค่านมรรณณะของเครื่องบดมีค่าเท่ากับ 1.43 ตันต่อชั่วโมง ค่ากำลังการบดเท่ากับ 3.74 กิโลวัตต์ และค่าประสิทธิภาพของเครื่องบดของหินปูนและดินเกาลินมีค่าร้อยละ 60 และ 80 ตามลำดับ

## เครื่องบดชนิดสองลูกกลิ้ง (Double Roller Crusher)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการลดขนาดทั่วไปมักใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังกล่าวมาแล้ว ไม่นิยมใช้ทางเกษตรกรรมมากนัก โดยอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถจำแนกได้เป็น เครื่องบด (crusher) และเครื่องโม่ (grinder) เครื่องบดมักถูกใช้เพื่อลดขนาดวัสดุที่มีขนาดใหญ่ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่เครื่องโม่ เครื่องบดสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทหลัก ได้แก่ เครื่องบดขั้นที่หนึ่ง (primary crusher) และเครื่องบดขั้นที่สอง

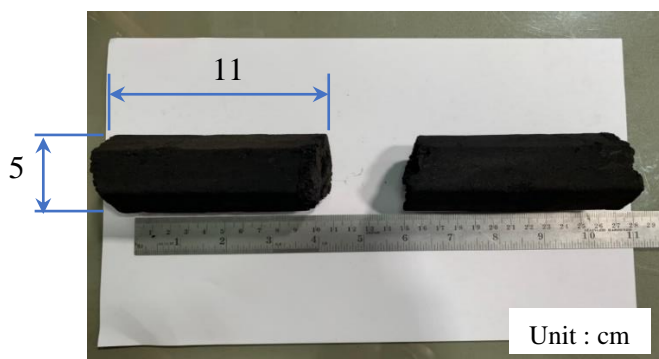
(secondary crusher) เครื่องบดชั้นที่หนึ่งช่วยลดขนาดอนุภาคจากขนาดใหญ่เป็นขนาดเล็กเพื่อที่จะใช้กับเครื่องบดชั้นที่สอง ตัวอย่างของเครื่องบดได้แก่ เครื่องบดชนิดหิน (jaw crusher) เครื่องบดชนิดหมุน (gyratory crusher) และเครื่องบดชนิดลูกกลิ้ง (roll crusher) โดยงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องบดชนิดลูกกลิ้งให้มีจำนวน 2 ลูกกลิ้งหรือเรียกว่าเครื่องบดชนิด 2 ลูกกลิ้ง (double roller crusher) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบดวัสดุที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็ง มีความหนาแน่นต่ำจนถึงปานกลาง (คณานัน, 2559)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องบดชนิดสองลูกกลิ้งในการลดขนาดถ่านกะลามะพร้าว และเศษไม้ยูคาลิปตัส โดยศึกษาผลของความเร็วรอบ และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งต่ออัตราส่วนการลดขนาด ค่าสมรรถนะของเครื่องบด ค่ากำลังการบด และค่าประสิทธิภาพของการลดขนาด

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 1. การเตรียมชีวมวล

งานวิจัยนี้เลือกใช้ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง และเศษไม้ยูคาลิปตัส (Figure 1) เพื่อเป็นตัวแทนของวัสดุที่มีความเปราะและความเหนียวจากเส้นใยของตัวเองตามลำดับ ถ่านกะลามะพร้าวถูกอัดแท่งมีขนาดกว้าง 5 ซม. ยาว 11 ซม. มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 ในหัวข้อถัดไป) มีค่า 6.88 ซม. และเศษไม้ยูคา



ลิปตัสขนาดกว้าง 2.5 ซม. ยาว 3 ซม. มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกมีค่า 2.73 ซม.

### 2. ชุดลดขนาดชีวมวลชนิดสองลูกกลิ้ง

Figure 2 แสดงตัวอย่างของถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งก่อนและหลังผ่านลูกกลิ้ง Figure 3 แสดงชุดเครื่องบดชนิด 2 ลูกกลิ้ง ซึ่งมีความกว้าง 34.00 ซม. ยาว 44.50 ซม. และสูง 11.38 ซม. น้ำหนักทั้งหมด 38 กิโลกรัม ชุดเครื่องบด ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 1 แรงม้า ระบบไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 ระยะ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 380 โวลต์ ลูกกลิ้งแต่ละลูกทำจากเหล็กเหนียวธรรมดา ชนิด ss400 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17.20 ซม. ยาว 20.00 ซม. (Figure 4) สามารถปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง ระหว่าง 0.3 ถึง 0.7 ซม. และปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์โดยใช้ตัวกลับ (inverter) โดยเริ่มต้นการทดลองทำการเปิดสวิตช์มอเตอร์และปรับอินเวอร์เตอร์ให้ได้จำนวนรอบตามที่ต้องการ โดยทดสอบที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 650, 950 และ 1,350 รอบต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งความเร็วรอบที่กำหนดได้ยึดตามประสิทธิภาพของตัวมอเตอร์เป็นหลักซึ่งมอเตอร์มีความเร็วรอบช่วง 600 ถึง 1,400 รอบต่อนาที และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่ 0.3, 0.5 และ 0.7 ซม. หลังจากนั้นป้อนชีวมวลที่ขนาดเริ่มต้น ( $x_1$ ) เข้าสู่ชุดลดขนาด หลังจากนั้นวัดขนาดชีวมวลหลังจากออกจากชุดบดลดขนาด ( $x_2$ ) และนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการบดต่อไป



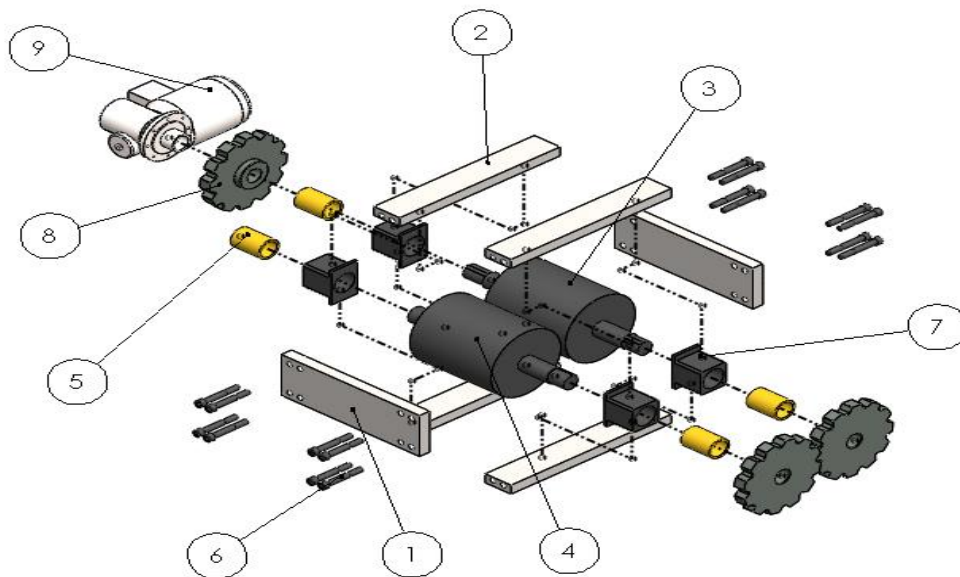
Figure 1 Coconut shell charcoal and eucalyptus chip used for reducing sizes with the double roller crusher



Figure 2 Coconut shell charcoal before and after reducing sizes with the double roller crusher



Figure 3 Double roller crusher used for reducing sizes of biomass



หมายเลข		หมายเลข	
1	กรอบด้านกว้าง	6	แบริ่งสวมหัวเพลลา
2	กรอบด้านยาว	7	น็อต
3	ลูกกลิ้งพร้อมเพลลา ลูกที่ 1	8	เฟือง
4	ลูกกลิ้งพร้อมเพลลา ลูกที่ 2	9	มอเตอร์
5	บุทสวมแบริ่งเพลลา		

Figure 4 Elements of double roller crusher

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการประเมินค่าสมรรถนะ และประสิทธิภาพของการลดขนาดของเครื่องบด สามารถพิจารณาตั้งสมการต่อไปนี้ ร่วมกับ Figure 3 ซึ่งแสดงตัวแปรต่างๆ ประกอบการคำนวณ

### 1. ความเร็วในการหมุนของชุดลูกกลิ้ง

ความเร็วในการหมุนของชุดลูกกลิ้งขึ้นอยู่กับความเร็วเชิงมุม ( $\omega$ ) และความเร็วเชิงเส้น ( $V$ ) ดังต่อไปนี้

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (1)$$

เมื่อ  $N$  คือ ความเร็วรอบมอเตอร์ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที

$$V = r\omega \quad (2)$$

เมื่อ  $V$  คือ ความเร็วเชิงเส้นของ roller crusher หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

$r$  คือ รัศมีของ roller crusher หน่วยเป็น เมตร

$\omega$  คือ ความเร็วในการหมุนของ roller crusher มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที

### 2. สมรรถนะของเครื่องบด (Capacity of Roll Crusher, Q)

สมรรถนะของเครื่องบดสามารถคำนวณได้จาก

$$Q = 60\pi DWNL\rho \quad (3)$$

เมื่อ  $Q$  คือ สมรรถนะของเครื่องบด มีหน่วยเป็น ตันต่อชั่วโมง

$D$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ roller หน่วยเป็น เมตร

$W$  คือ ความกว้างของ roller มีหน่วยเป็น เมตร

$N$  คือ ความเร็วรอบมอเตอร์ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที

$L$  คือ ระยะห่างระหว่าง roller มีหน่วยเป็น เมตร

$\rho$  คือ operating density ของ roller crusher มีค่า 0.15 ถึง 0.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Gupta และ Yan, 2006)

### 3. ประสิทธิภาพของการลดขนาด

คือ ค่าที่แสดงความสามารถในการลดขนาดของวัตถุ แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\eta = \left( 1 - \frac{X_2}{X_1} \right) \times 100\% \quad (4)$$

$\eta$  คือ ประสิทธิภาพของการลดขนาด โดย  $x_1$  และ  $x_2$  คือ ขนาดของชีวมวลก่อนและหลังการบด (ชม.) ตามลำดับ

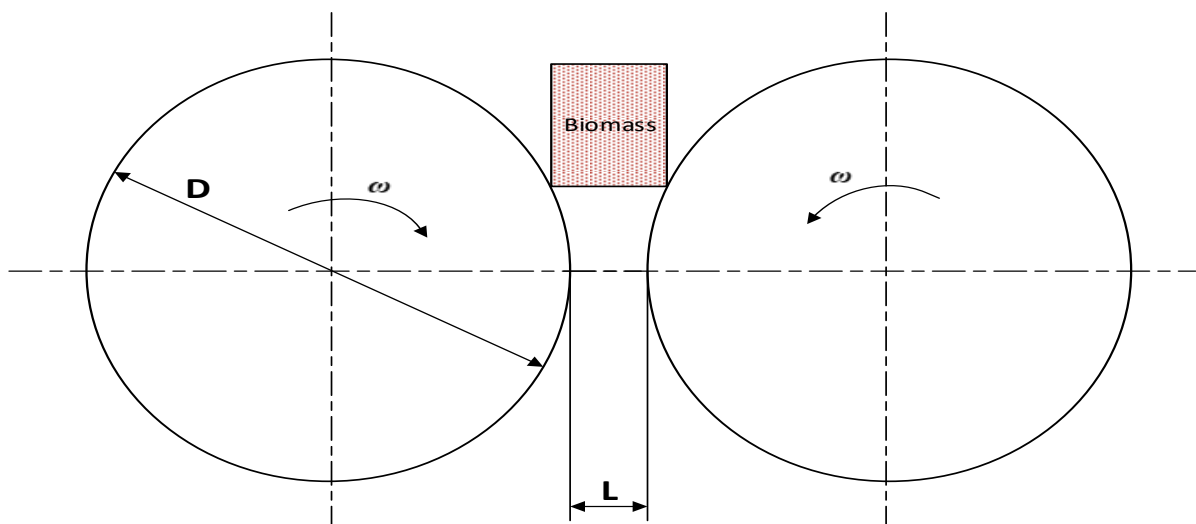


Figure 5 Schematic diagram of rollers motion

#### 4. เส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุที่ไม่เป็นทรงกลม

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชีวมวลโดยทั่วไปมีลักษณะไม่เป็นทรงกลม วัตถุที่ไม่เป็นทรงกลม

สามารถแสดงในรูปของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic diameter) ในที่นี้ค่าดังกล่าวถูกพิจารณาเป็นขนาดของชีวมวลก่อนเข้าเครื่องบด ( $x_1$ ) และขนาดของชีวมวลมวลหลั้ออกจากเครื่องบด ( $x_2$ ) ดังนี้

$$D_H = \frac{2W_B L_B}{W_B + L_B} \quad (5)$$

โดย  $D_H$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุที่ไม่เป็นทรงกลม (ซม.)

$W_B$  และ  $L_B$  คือ ความกว้างและความยาวของของชีวมวล (ซม.)

#### วิธีการทดลอง

1. จัดเตรียมชีวมวลจากชีวมวล (กะลามะพร้าว และเศษไม้ยูคาลิปตัส) โดยใช้คนป้อนชีวมวลด้วยอัตราเท่ากับ 1 กิโลกรัมต่อนาที ในแต่ละการทดลอง

2. นำชีวมวลมาวัดขนาดชีวมวลก่อนเข้าสู่ชุดลดขนาดชีวมวล ( $x_1$ ) โดยใช้การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกสำหรับวัตถุที่ไม่เป็นทรงกลม

3. ปรับความเร็วรอบ (N) ตามที่กำหนด และปรับขนาดระยะห่างระหว่างระหว่างตัวลูกกลิ้ง (L) จากนั้นป้อนชีวมวลบริเวณส่วนป้อน ชีวมวลจะถูกลูกกลิ้งทั้งสองบดเข้าหากัน หลังจากถูกบดลดขนาดชีวมวลจะตกลงบริเวณถาดรองด้านล่างชุดบด

4. วัดขนาดชีวมวลหลั้ออกจากชุดลดขนาดชีวมวล ( $x_2$ ) โดยใช้การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกสำหรับวัตถุที่ไม่เป็นทรงกลม

5. บันทึกค่าที่ได้จากการทดลองจากการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง และนำไปคำนวณหาค่าอัตราส่วนการลดขนาด ค่าสมรรถนะของเครื่องบด และค่าประสิทธิภาพการลดขนาดของชุดลดขนาดชีวมวล โดยทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลา 2 เครื่องแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบ

6. รวบรวมผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรที่มีผลกระทบด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS

#### ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาชุดลดขนาดชีวมวลสำหรับถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัส โดยใช้เครื่องบดชนิด 2 ลูกกลิ้ง โดย Table 1 แสดงผลของการเพิ่มความเร็วยรอบในการบดจาก 650 ถึง 1,350 รอบต่อนาที ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.5 ซม. จากการศึกษพบว่า ความเร็วยรอบของลูกกลิ้งในการบดถ่านกะลามะพร้าวมีผลต่อเวลาในการบดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเมื่อความเร็วยรอบมากขึ้นทำให้ใช้เวลาในการบดลดลง ในขณะที่ขนาดของถ่านกะลามะพร้าวหลังการบด ( $x_2$ ) พบว่ามีขนาดไม่แตกต่างกันเมื่อใช้ความเร็วยรอบในการบดที่ 650 รอบต่อนาที และ 950 รอบต่อนาที (1.26 ซม. และ 1.29 ซม. ตามลำดับ) ชุดทดลองลดขนาดชีวมวลสำหรับเศษไม้ยูคาลิปตัสพบว่าที่ความเร็วยรอบในการบด 650 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการบดลดขนาดมากกว่าที่ 950 รอบต่อนาที และ 1,350 รอบต่อนาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามขนาดของเศษไม้ยูคาลิปตัสหลังการบด ( $x_2$ ) ที่ความเร็วยรอบต่างๆ พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จาก Table 2 แสดงผลของการเพิ่มระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งจาก 0.3 ถึง 0.7 ซม. ที่ความเร็วยรอบเท่ากับ 950 รอบต่อนาที พบว่า การตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งมีผลต่อเวลาในการบดลดขนาดของชีวมวลทั้งถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ขนาดของถ่านกะลามะพร้าวหลังการบด ( $x_2$ ) ที่ระยะห่างระหว่าง

ลูกกลิ้งที่ 0.3 ซม. และ 0.7 ซม. พบว่ามีขนาดไม่แตกต่างกันทางสถิติ และพบว่าระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่ 0.5 ซม. และ 0.7 ซม. มีขนาดไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ส่วนเศษไม้ยูคาลิปตัส พบว่า

การตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่มีผลต่อขนาดของชีวมวลหลังบด ข้อมูลจาก Table 1 และ 2 สามารถนำเสนอใน Figure 6,7 และ 8,9 ตามลำดับ

**Table 1** Performance parameters at various roller speeds

Type of biomass	N (rpm)	L (cm)	t* (s)	x <sub>1</sub> (cm)	x <sub>2</sub> (cm)	$\omega$ (rad/s)	V (m/s)	
Coconut shell	650	0.5	138.00 <sup>c</sup>	6.88	1.26 <sup>a</sup>	34.03	2.93	
	charcoal	950	0.5	32.00 <sup>b</sup>	6.88	1.29 <sup>a</sup>	49.74	4.28
		1,350	0.5	16.50 <sup>a</sup>	6.88	2.22 <sup>b</sup>	70.69	6.08
Eucalyptus chip	650	0.5	102.50 <sup>b</sup>	2.73	2.36 <sup>a</sup>	34.03	2.93	
	950	0.5	74.50 <sup>a</sup>	2.73	2.29 <sup>a</sup>	49.74	4.28	
	1,350	0.5	70.00 <sup>a</sup>	2.73	2.17 <sup>a</sup>	70.69	6.08	

Note: \* time in crushing

Superscripts a, b and c indicate significantly different values due to roller speeds for each type of biomass ( $p < 0.05$ ).

**Table 2** Performance parameters at various roller gaps

Type of biomass	N (rpm)	L (cm)	t (s)	x <sub>1</sub> (cm)	x <sub>2</sub> (cm)	$\omega$ (rad/s)	V (m/s)
Coconut shell	950	0.3	62.50 <sup>c</sup>	6.88	2.22 <sup>b</sup>	49.74	4.28
charcoal	950	0.5	31.73 <sup>b</sup>	6.88	1.43 <sup>a</sup>	49.74	4.28
		0.7	18.27 <sup>a</sup>	6.88	1.71 <sup>ab</sup>	49.74	4.28
Eucalyptus chip	950	0.3	86.50 <sup>c</sup>	2.73	2.00 <sup>a</sup>	49.74	4.28
	950	0.5	70.50 <sup>a</sup>	2.73	2.36 <sup>a</sup>	49.74	4.28
	950	0.7	80.00 <sup>b</sup>	2.73	2.33 <sup>a</sup>	49.74	4.28

Note: Superscripts a, b and c show significantly different values due to roller gaps for each type of biomass ( $p < 0.05$ ).

Figure 6 แสดงผลของการเพิ่มความเร็วยรอบของลูกกลิ้ง (N) ต่อประสิทธิภาพของการลดขนาด ( $\eta$ ) สำหรับชีวมวลทั้ง 2 ชนิด ประสิทธิภาพในการลดขนาดของถ่านกะลามะพร้าวมากกว่าประสิทธิภาพในการลดขนาดของเศษไม้ยูคาลิปตัสอย่างชัดเจนที่ความเร็วรอบในการหมุนของลูกกลิ้งระหว่าง 650 และ 1,350 รอบต่อนาที ทั้งนี้เนื่องจากเศษไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะความเป็นชีวมวลที่มากกว่า กล่าวคือ มีเส้นใยจำนวนมาก ขณะที่ถ่านกะลามะพร้าวมีจำนวนเส้นใยน้อยกว่ามากเนื่องจาก

ถูกกำจัดด้วยความร้อนมาก่อนแล้วทำให้มีความเปราะและง่ายต่อการบด เป็นที่สังเกตว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 950 เป็น 1,350 รอบต่อนาที ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการลดขนาดของเศษไม้ยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากเส้นใยจำนวนมากได้ถูกกำจัดในช่วงความเร็วรอบต่ำแล้ว จาก Figure 6 สรุปได้ว่าประสิทธิภาพสูงสุดในการลดขนาดถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัสด้วยเครื่องบดชนิดสองลูกกลิ้งมีค่าเท่ากับร้อยละ 82 และ 21 ที่ความเร็วรอบ 650 และ 1,350 รอบต่อนาทีตามลำดับ

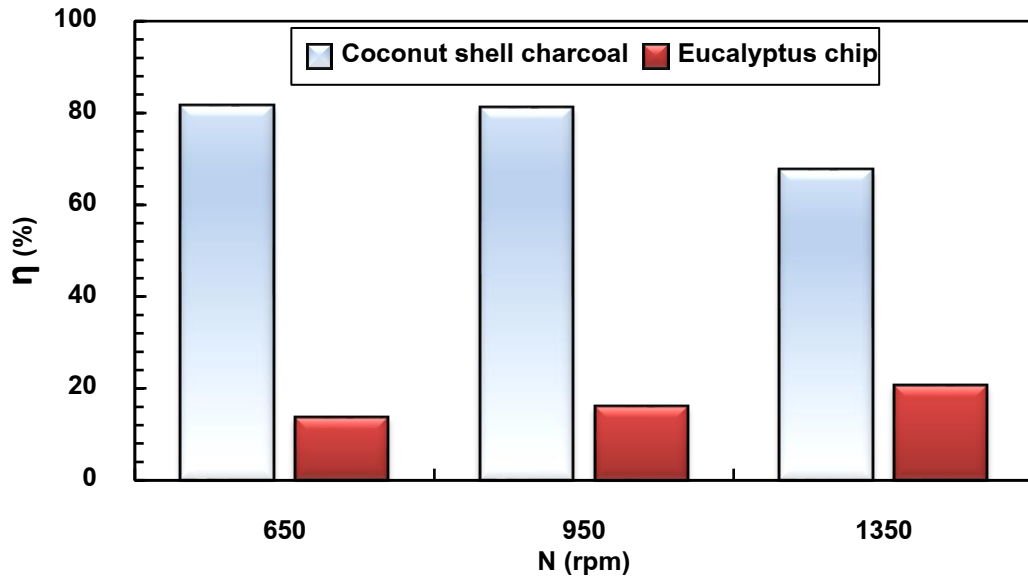


Figure 6 Effect of roller speed (N) on efficiency of biomass size reduction ( $\eta$ )

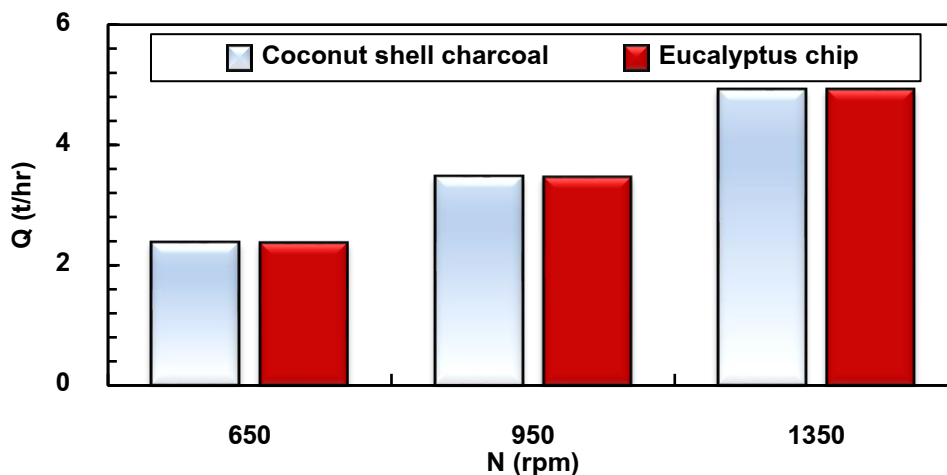


Figure 7 Effect of roller speed (N) on capacity of roller crusher (Q)

Figure 7 แสดงผลของความเร็วยก (N) ต่อสมรรถนะของเครื่องบด (Q) เมื่อความเร็วยกของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจาก 650 เป็น 1,350 rpm จาก Figure 7 เมื่อความเร็วยกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสมรรถนะเครื่องบดสำหรับถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.4 เป็น 4.9 ตันต่อชั่วโมง ค่าสมรรถนะเครื่องบดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 ซึ่งตัวแปรทั้งหมดเกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของเครื่องบด ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของชีวมวล ส่งผลให้ค่าสมรรถนะในการบดของชีวมวลทั้งสองมีค่าเท่ากัน และเมื่อความเร็วยกเพิ่มขึ้นทำให้สมรรถนะเครื่องบดเพิ่มขึ้น

Figure 8 แสดงระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เพิ่มขึ้นจาก 0.3 ถึง 0.5 ซม. ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของการลดของชีวมวลทั้งสองชนิด ประสิทธิภาพของการลดขนาดของถ่านกะลามะพร้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงจากร้อยละ 68 เป็นร้อยละ 79 และเหลือร้อยละ 75 ขณะที่ประสิทธิภาพของการลดของเศษไม้ยูคาลิปตัสลดลงจากร้อยละ 27 เป็นร้อยละ 14 และ 15 ค่าประสิทธิภาพของการลดสูงสุดของถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัสอยู่ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.5 ซม. (ร้อยละ 79) และ 0.3 ซม. (ร้อยละ 27) ตามลำดับ เนื่องจากเศษไม้ยูคาลิปตัสมีความเหนียวและเส้นใยจำนวนมากกว่าถ่านกะลามะพร้าว



จึงต้องการการบีบระหว่างสองลูกกลิ้งที่สั้นกว่าของ  
ถ่านกะลามะพร้าว Figure 9 แสดงให้เห็นว่าผลของ  
การเพิ่มระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่ส่งผลต่อค่า

สมรรถนะของเครื่องบดสำหรับชีวมวลทั้งสองชนิด  
โดยค่าสมรรถนะของเครื่องบดมีค่าคงเท่ากับ 3.5 ตัน  
ต่อชั่วโมง

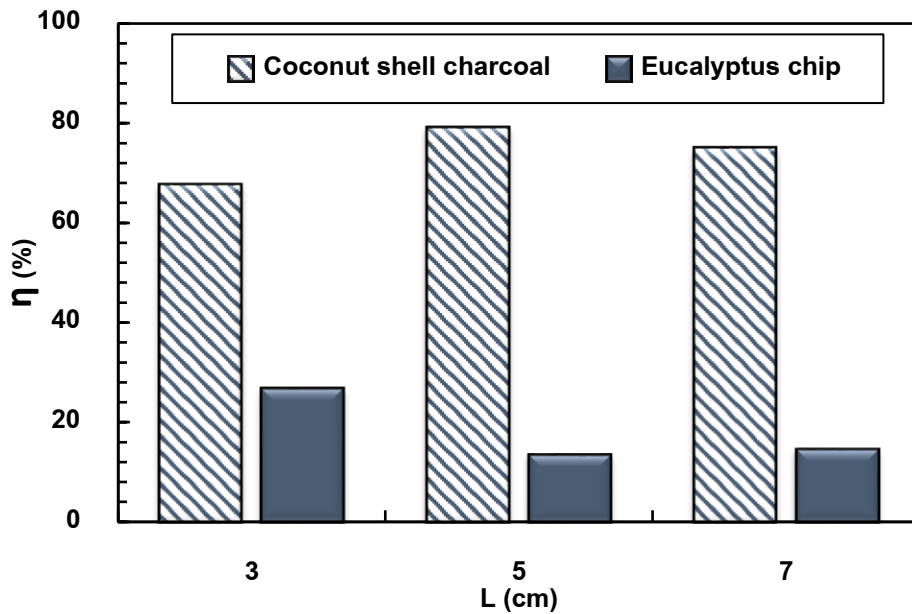


Figure 8 Effect of roller gap (L) on efficiency of biomass size reduction ( $\eta$ )

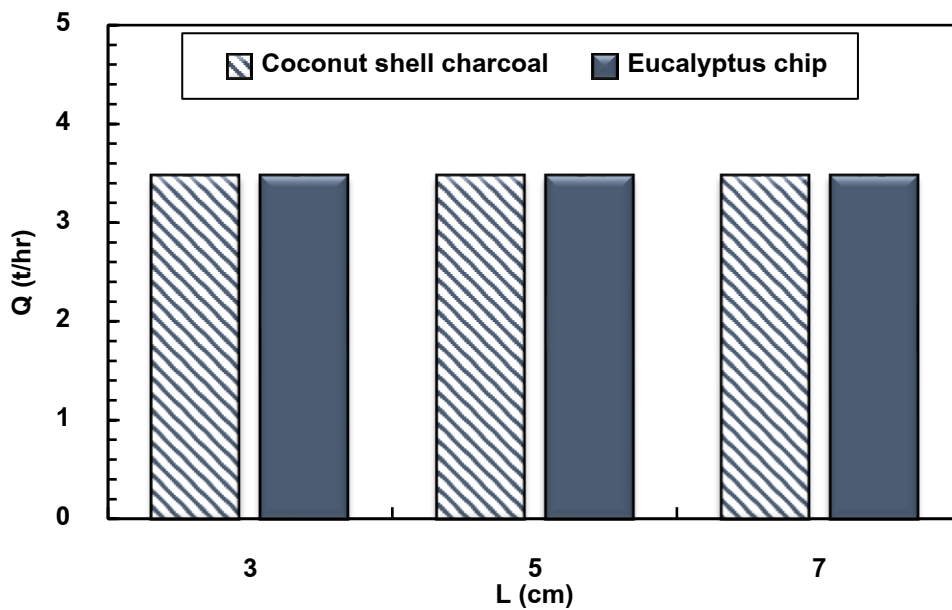


Figure 9 Effect of roller gap (L) on capacity of roller crusher (Q)

## สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งและระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งต่อประสิทธิภาพในการลดขนาดของถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัสและสมรรถนะของเครื่องบดชนิดสองลูกกลิ้งได้ผลสรุปคือ ประสิทธิภาพสูงสุดในการลดขนาดของถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัสมีค่าร้อยละ 82 และ 21 ที่ความเร็วรอบ 650 และ 1350 rpm ตามลำดับ เนื่องจากความเปราะและจำนวนเส้นใยที่น้อยในถ่านกะลามะพร้าวทำให้ง่ายต่อการบด ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสมรรถนะเครื่องบดสำหรับถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 2.4 เป็น 4.9 ตันต่อชั่วโมง) ค่าประสิทธิภาพของการลดขนาดสูงสุดของถ่านกะลามะพร้าวและเศษไม้ยูคาลิปตัสอยู่ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.5 ซม. (ร้อยละ 79) และ 0.3 ซม. (ร้อยละ 27) ตามลำดับ เศษไม้ยูคาลิปตัสต้องการระหว่างการบีบที่สั้นกว่าถ่านกะลามะพร้าวเนื่องจากมีความเหนียวและจำนวนเส้นใยมากกว่า โดยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องบด ชุดเครื่องบดลดขนาดยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องรีดน้ำมันจากลูกปาล์มได้และเครื่องบดหินที่ผสมในดินสำหรับอุตสาหกรรมผลิตอิฐ เป็นต้น

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

## เอกสารอ้างอิง

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2562). ภาพรวมพลังงาน. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มีนาคม 2562 สืบค้นจาก [http://www.eppo.go.th/images/EnergyStatistics/energyinformation/Energy\\_Statistics/00All.pdf](http://www.eppo.go.th/images/EnergyStatistics/energyinformation/Energy_Statistics/00All.pdf).

คณานันท์ อนันตะ. (2562). เครื่องบดแบบลูกกลิ้ง. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มีนาคม 2562 สืบค้นจาก [http://rollcrusher1blogspot.com/p/blog-page\\_33.html](http://rollcrusher1blogspot.com/p/blog-page_33.html).

Egbe, E. A. P., & Olugboji, O. A. (2016). Design, fabrication and testing of a double roll crusher. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 35(11), 511-515.

Gupta, A., & Yan, D. S. (2006). *Mineral Processing and Operation An Introduction*. Amsterdam: Elsevier B.V.

Lieberwirth, H., Hillmann, P., & Hesse, M. (2017). Dynamics in double roll crushers. *Minerals Engineering*, 103, 60-66