

การผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากขี้เลื่อยโดยเทคนิคเอ็กสตรูชัน Solid Fuel Producing From Sawdust By Extrusion Technique

ฐานิตย์ เมธิยานนท์¹ เมธี ใบบงาม² และ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์³

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

^{1,2} 51 ถ.เชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530

² คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถ.ประชาธิปไตย แขวงทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 0-2988-3666 ต่อ 244 โทรสาร 0-2988-3666 ต่อ 241 E-mail: thanid@mut.ac.th¹, methee@mut.ac.th²

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงแข็งโดยเทคนิคเอ็กสตรูชันจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ขี้เลื่อยสามชนิดเป็นวัตถุดิบในการทดลองคือ ขี้เลื่อยไม้ยางพารา ขี้เลื่อยไม้ยาง และขี้เลื่อยไม้แดง การออกแบบสกรูได้จากการประยุกต์ทฤษฎีการขนถ่ายอนุภาคของแข็ง โดยพิจารณาผลของความดันที่แปรเปลี่ยนไปตามความหนาแน่นของอนุภาค ในระหว่างกระบวนการอัดรีดจากผลการทดลองพบว่า อัตราการผลิตจริงคลาดเคลื่อนจากที่กำหนดไว้เนื่องจากข้อจำกัดในการกำหนดพารามิเตอร์บางตัวที่จำเป็นในการออกแบบปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตได้แก่ ความเร็วรอบสกรู อุณหภูมิผิวแบบพิมพ์ และความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ จากผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งแข็งที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 18.20 - 20.5 MJ/kg มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1050 - 1470 kg/m³ ความแข็งแรงต่อการทนความเค้นอัดอยู่ในช่วง 1.27 - 1.73 MPa ในด้านของการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงแข็งแข็ง พบว่าสิ้นเปลืองพลังงานป้อนมีเท่ากับ 0.9 MJ/kg โดยมีความใช้จ่ายในการดำเนินงาน เท่ากับ 0.3 บาท/กิโลกรัม

Abstract

The objective of this research is designing and constructing a extruder for producing solid fuel from agricultural and industrial waste. The sawdust of rubber *Xylia kerrii* Craib&Hutch, *Dipterocarpus alatus* Roxb and rubber wood were selected as tested materials. The application of theory of solid particle transporting is screw with accounting for the variation of pressure with density of material during extrusion was developed for screw designing to met a required product output. However, the calculated and actual outputs were different due to constrain of specifying some necessary parameters in design. The experimental result show that the speed of screw, surface temperature of barrel and initial moisture constant were the main factor that effected to the output rates. The thermal and physical properties of the briquettes were as followers: HHV 18.2-20.5

MJ/kg, density 1050-1470 kg/m³ and max compressive strength 1.27-1.73 Mpa. In terms of energy consumption, it was found that the specific primary energy consumption was around 0.9 MJ/kg with corresponding to operating cost of 0.3 Bath/kg.

1. บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานทดแทนเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เชื้อเพลิงแข็งแข็งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นำมาทดแทนได้ โดยเชื้อเพลิงแข็งแข็งดังกล่าวผลิตจากชีวมวลที่เหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น แกลบ, ขี้เลื่อย, กะลาปาล์ม, กะลามะพร้าว, เศษถ่านหิน ฯลฯ จากการนำส่วนผสมของกะลาปาล์ม และใยจากเปลือกปาล์มมาทดสอบอัดเป็นเชื้อเพลิงแข็งแข็ง พบว่าเชื้อเพลิงแข็งแข็งดังกล่าวให้ความร้อนประมาณ 16.4 MJ/kg โดยเชื้อเพลิงแข็งแข็งดังกล่าวสามารถทนต่อความเค้นอัดได้ 2.56×10^{-3} MPa [1] สำหรับกระดาษที่เหลือใช้และฟางข้าวสาลี ชีวมวลทั้งสองชนิดสามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงแข็งแข็งได้ โดยไม่ต้องใช้ตัวประสานเพราะวัสดุทั้งสองชนิดมีลักษณะเป็นตัวยึดประสานอยู่แล้ว ซึ่งความดันในการอัดแท่งเชื้อเพลิงมีผลต่อความหนาแน่นที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความดันและความชื้นเริ่มต้นในการผลิตเชื้อเพลิงแข็งแข็งมีผลต่อ ความเค้นดัดและความเค้นอัดที่เชื้อเพลิงแข็งแข็งทนได้โดยพบว่าสามารถทนความเค้นอัดได้ 38.2 MPa สำหรับฟางข้าวสาลีที่ความชื้น 22.0 % และทนต่อความเค้นอัดได้ 22.4 MPa [3] และจากการนำเศษถ่านหินที่เหลือจากอุตสาหกรรมเหมืองถ่านหินมาอัดเป็นเชื้อเพลิงแข็งแข็งโดยใช้ Hydrogen peroxide และ Phosphoric acid เป็นตัวประสาน โดยทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพในการคงสภาพรูปร่างเชื้อเพลิงแข็งแข็งโดยไม่แตกหักจากการเก็บรักษา หรือจากการขนส่ง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าถ่านหินอัดแท่งทนต่อความเค้นอัดได้ถึง 28 Mpa [6] จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดกระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงแข็งแข็งด้วยระบบไฮดรอลิกส์ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ไม่ต่อเนื่อง เมื่อเทียบกับกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยสกรู ในการออกแบบสกรูที่ใช้ลำเลียงในอุตสาหกรรมผลิตอาหารผงได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองของ Darnell and Mol ช่วยในการออกแบบกรู [4] ซึ่งหลักการเดียวกันนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ในการออกแบบสกรูอัดรีด

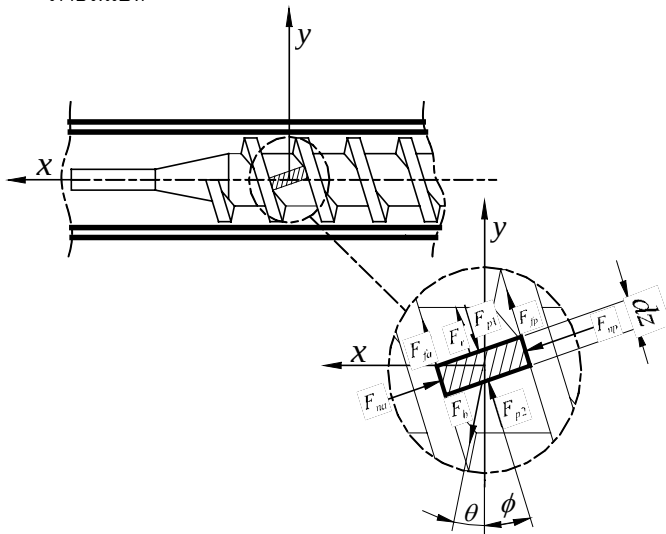
¹ Corresponding author

จากงานวิจัยที่ผ่านมาการผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งมักใช้วิธีการอัดขึ้นรูปด้วยระบบไฮดรอลิกส์ ซึ่งยุ่งยากต่อการออกแบบให้ทำงานอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การออกแบบ พัฒนาเครื่องอัดเชื้อเพลิงแท่งแข็งโดยเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ต่อเนื่อง เพื่อให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมในครัวเรือน

2. การออกแบบสกรู

2.1 การอัดรีด (Extrusion)

การหาอัตราการผลิตของอนุภาคคำนวณได้จากการสมดุลแรงต่างๆที่กระทำบนเบตอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 1 แรงทั้งหมดที่กระทำต่อเบตเกิดจากแรงเสียดทาน และแรงเนื่องจากความต่างของความดันภายในเบต



รูปที่ 1 แรงที่กระทำบนเบต

พิจารณาการสมดุลแรงที่กระทำระหว่างเบต, อนุภาค กับ สกรูดังต่อไปนี้ [5,6]

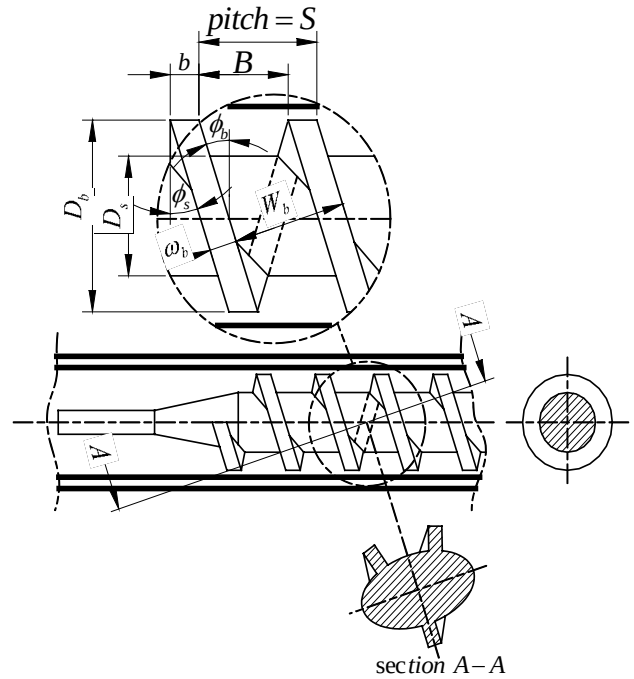
สมดุลแรง; $\sum F_x = 0$

$$F_{bx} - (F_{p2} - F_{p1})_x - (F_{na} - F_{np})_x + F_{fa} + F_{fpx} + F_{rx} = 0 \quad (1)$$

สมดุลทอร์ค $\sum M_x = 0$;

$$F_{bx} \frac{D_b}{2} - (F_{p2} - F_{p1})_y \frac{D_m}{2} - (F_{na} - F_{np})_y \frac{D_m}{2} - F_{fay} \frac{D_m}{2} - F_{fpy} \frac{D_m}{2} - F_{ry} \frac{D_s}{2} = 0 \quad (2)$$

จากการสมดุลแรง และโมเมนต์ ตามสมการ (1),(2) ทำให้สามารถหาแรงลัพธ์ ซึ่งเป็นแรงเสียดทานที่เบตอนุภาคกระทำกับผิว Barrel (F_b) และเป็นแรงขับเคลื่อน (driving force) ให้อนุภาคเคลื่อนตัวไปข้างหน้าได้ ซึ่งสามารถ หาผลเฉลยของสมการข้างบน โดยคำนวณตามรูปทรงเรขาคณิตของสกรูได้ตามสมการ (3)



รูปที่ 2 รูปตัดขวางของสกรูตามแนว A-A

กำหนดให้สกรูอยู่กับที่ และ barrel หมุนรอบแกนสกรู แรงและสัญลักษณ์ต่างๆ ตามรูปที่ 1, 2 และ 3 มีความหมายดังนี้

F_r = แรงเสียดทานระหว่าง เบตอนุภาคกับฐานสกรู

F_{na} = แรงตั้งฉากระหว่างเบตอนุภาคกับด้านข้างของเกลียวที่รับอนุภาคเข้ามา (active flight flank)

F_{np} = แรงตั้งฉากระหว่างเบตอนุภาคกับด้านข้างของเกลียวที่ส่งอนุภาคออกไป (passive flight flank)

F_{fa} = แรงเสียดทานระหว่างเบตอนุภาคกับด้านข้างของเกลียวที่รับอนุภาคเข้ามา

F_{fp} = แรงเสียดทานระหว่างเบตอนุภาคกับด้านข้างของเกลียวที่ส่งอนุภาคออกไป

F_{p1} = แรงเนื่องจากความดันที่ระยะใด ๆ

F_{p2} = แรงเนื่องจากความดันที่ระยะ $Z + dZ$

$\bar{V}_b$ = ความเร็วของ barrel

$\bar{V}_{sz}$ = ความเร็วของเบตอนุภาคในทิศทาง Z (ตามแนวร่องสกรู)

$\Delta \bar{V}$ = ผลต่างระหว่าง $\bar{V}_b$ และ $\bar{V}_{sz}$

ϕ_s = มุมเกลียว

ϕ_m = มุมเกลียวเฉลี่ย

θ = มุมขนถ่ายเบตอนุภาค

D_b = เส้นผ่านศูนย์กลาง barrel

D_s = เส้นผ่านศูนย์กลางสกรู

D_m = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของร่องสกรู

P_0 = ความดันที่ตำแหน่งเริ่มต้น $Z = 0$

P_1 = ความดันที่ตำแหน่งเกลียวที่อยู่ถัดไป

มุมขนถ่ายอนุภาคที่เหมาะสมแสดงไว้ตามสมการต่อไปนี้

$$\theta = \arcsin \left[\frac{(1 + K^2 - M^2)^{1/2} - KM}{1 + K^2} \right] \quad (3)$$

โดยที่

$$K = \frac{D_m (\sin \varphi_m + f_s \cos \varphi_m)}{D_b (\cos \varphi_m - f_s \sin \varphi_m)} \quad (4)$$

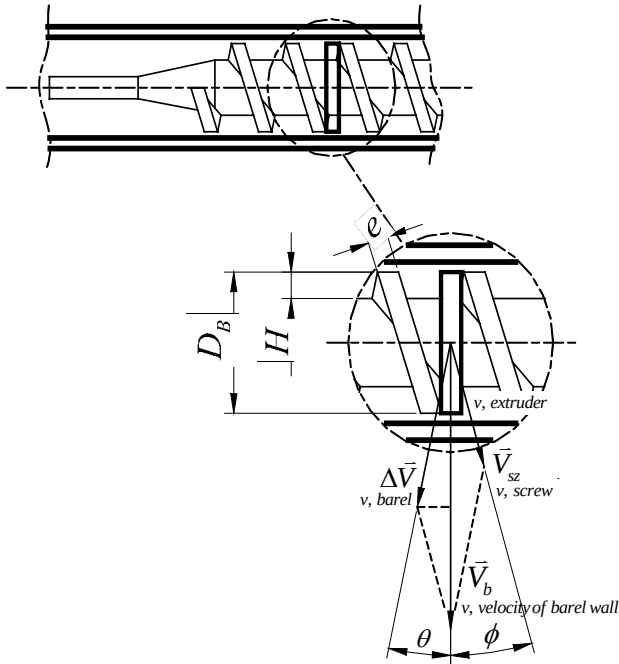
และ

$$M = M_1 + M_2 + M_3 \quad (5)$$

$$M_1 = \frac{2Hf_s}{W_b f_b} \sin \varphi_b \left(K + \frac{D_m}{D_b} \cotan \varphi_m \right)$$

$$M_2 = \frac{W_s f_s}{W_b f_b} \sin \varphi_b \left(K + \frac{D_s}{D_b} \cotan \varphi_s \right) \quad (7)$$

$$M_3 = \frac{W_m H}{W_b z_b f_b} \sin \varphi_m \left(K + \frac{D_m}{D_b} \cotan \varphi_m \right) \ln \frac{P_1}{P_0} \quad (8)$$



รูปที่ 3 ไดอะแกรมความเร็วของสกรู

จากไดอะแกรมของความเร็วตามที่ได้แสดงในรูปที่ 3 สามารถเขียนความสัมพันธ์ ระหว่างความเร็วได้ว่า

$$\Delta \vec{V} = \vec{V}_b - \vec{V}_{sz} \quad (9)$$

เนื่องจากอนุภาคจะเคลื่อนที่ได้โดยการถูของ Barrel ดังนั้นแรง F_b จะอยู่ในทิศทางของ $\Delta \vec{V}$ และก่อให้เกิดมุมขนถ่ายเบตอนุภาค (θ) ถ้าทราบค่ามุม θ ขนาดความเร็วของเบตอนุภาค V_{sz} สามารถหาได้ดังนี้

$$V_{sz} = V_b \frac{\sin \theta}{\sin(\theta + \phi)} \quad (10)$$

จากกฎของ Cosine หาขนาดของ $\Delta \vec{V}$ จากรูปที่ 3 ได้ดังนี้

$$\Delta V = \sqrt{V_b^2 + V_{sz}^2 - 2V_b V_{sz} \cos \phi} \quad (11)$$

เมื่อทราบค่าความเร็วของเบตอนุภาค V_{sz} สามารถหาอัตราการขนถ่ายเชิงมวลของอนุภาคได้ดังนี้

$$\dot{M}_s = \rho H p W V_{sz} = \rho H W p V_b \frac{\sin \theta}{\sin(\theta + \phi)} \quad (12)$$

ในการหาเทอม P_1/P_0 ในสมการ (8) จำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์

ระหว่างความหนาแน่น และความดันในการอัดรีดซึ่งเขียนในรูปความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (13) ดังนี้

$$\rho = f(P) \quad (13)$$

ความสัมพันธ์ในสมการที่ (13) จะได้จากผลการทดลองเท่านั้น จากสมการ (3) - (13) เราสามารถคำนวณหาลักษณะทางเรขาคณิตของรูปแบบสกรูอัดได้ด้วยวิธีการทำซ้ำ (Iteration) โดยเริ่มต้นกำหนดอัตราการผลิตของเชื้อเพลิงแท่งแข็ง และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงหลังการอัดรีด ซึ่งการกำหนดอัตราการผลิตนี้จะขึ้นอยู่กับต้นกำเนิดที่นำมาผลิต และชนิดของชีวมวลที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการทำเชื้อเพลิงแท่งแข็ง จากนั้นทำการสมมุติค่าความถี่รอบเกลียวเริ่มต้นในแต่ละช่วงพิทช์ แล้วคำนวณหาอัตราการไหลของชีวมวลในแต่ละรอบเกลียว ถ้าผลการคำนวณอัตราการไหลไม่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้เริ่มต้น ให้ทำการเปลี่ยนค่าความถี่รอบเกลียวใหม่ แล้วคำนวณซ้ำตามขั้นตอนเดิม จนกว่าจะได้อัตราการไหลตามต้องการ จากนั้นปรับค่าความถี่รอบเกลียวของเกลียวถัดไปจนกว่าจะถึงเกลียวสุดท้าย ซึ่งจะได้ค่าความหนาแน่นตามต้องการ ในการคำนวณจะได้อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.54 kg/min

3. วิธีการทดลอง

3.1 เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลอง

3.2 เปิด heater เพื่อทำการอุ่นเครื่องให้ถึงอุณหภูมิที่พร้อมที่จะทำงาน

3.3 ทำการเดินเครื่องตัวเปล่า เพื่อทดสอบการทำงาน และปรับตั้งอุณหภูมิผิวแบบพิมพ์อัดรีด (Die)

3.4 ปรับความเร็วรอบของสกรูตามความเหมาะสมแต่ละชนิดของแบบพิมพ์อัดรีด (Die)

3.5 นำชีวมวล (ขี้เลื่อย) ที่ผ่านคัดแยกขนาด และตรวจสอบความชื้นแล้วใส่ลงในถังลำเลียง (Hopper)

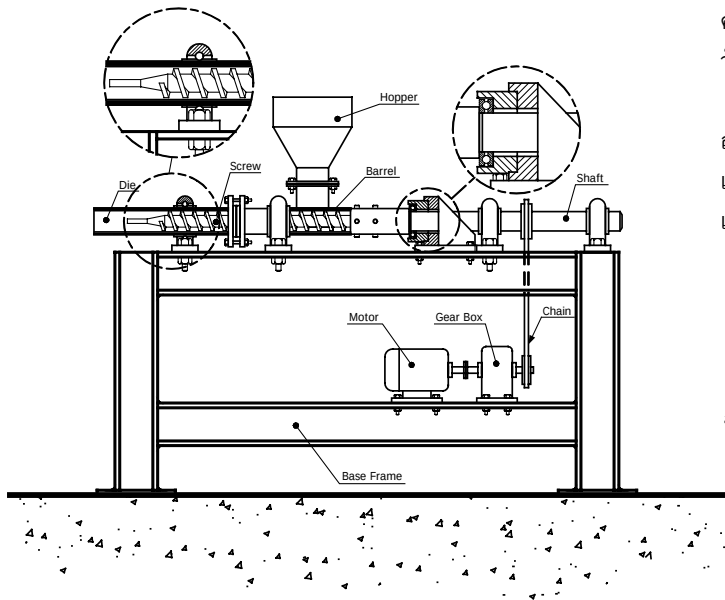
3.6 นำภาชนะมารองชีวมวลที่ยังไม่เป็นแท่ง

3.7 รอจนกว่าเครื่องเริ่มที่จะอัดเชื้อเพลิงแท่งออกมาอย่างต่อเนื่อง ทำการบันทึกผลการทดลองที่ได้ของอุณหภูมิตั้งกล่าวลงในตาราง

3.8 ทำการเพิ่มอุณหภูมิผิวแบบพิมพ์อัดรีด แล้วทำการบันทึกผล

3.9 เมื่อบันทึกผลการทดลองชีวมวลชนิดแรกเสร็จแล้ว ให้นำชีวมวลอีกชนิดมาใส่ในถังลำเลียง (Hopper) เพื่อทำการทดลองต่อไป

3.10 ทำการเปลี่ยนชนิดชีวมวลจนครบ และเก็บผลการทดลองซ้ำ



รูปที่ 4 Schematic Diagram ของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว

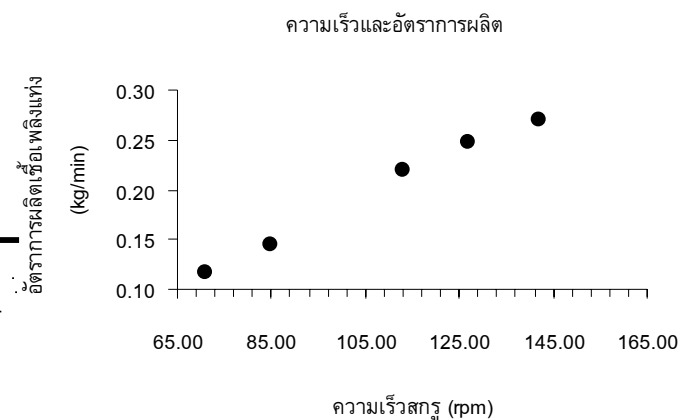
4. ผลการทดลอง

4.1 อัตราการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สแข็ง

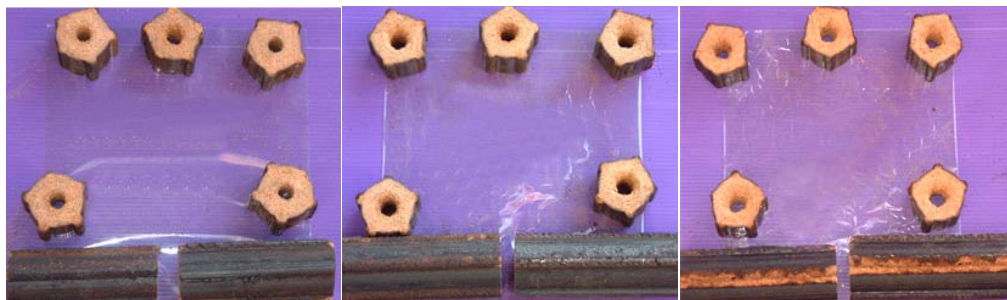
จากการทดลองพบว่าที่เงื่อนไขใกล้เคียงกับเงื่อนไขที่ใช้ออกแบบสกรู อัตราการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สแข็งอยู่ที่ประมาณ 0.27 kg/min ซึ่งแตกต่างจากที่ออกแบบไว้คือ 0.54 kg/min สาเหตุของความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก

4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความหนาแน่นที่ใช้ในการคำนวณเบื้องต้นเป็นของกะลาปาล์มและใยเปลือกแต่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้วัสดุที่ใช้เป็นขี้เลื่อย [1]

4.1.2 สมบัติการเสียดทานของสกรู และแบบพิมพ์อัดรีด สมมุติให้คงที่ตลอดช่วงความยาวสกรูซึ่งในความจริงแล้วความดันเปลี่ยนไปในแต่ละช่วงสกรูตามความหนาแน่น ดังนั้นสมบัติการเสียดทานก็ต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย



รูปที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบสกรู และ อัตราการผลิต



(A)

(B)

(C)

รูปที่ 6. แสดงเชื้อเพลิงแก๊สแข็งที่ผ่านกรรมวิธีอัดรีด (A) ขี้เลื่อยไม้ยางพารา (B) ขี้เลื่อยไม้ยาง (C) ขี้เลื่อยไม้แดง



(A)

(B)

(C)

รูปที่ 7. (A) เชื้อเพลิงแก๊สแข็งก่อนการทดสอบ (B) เชื้อเพลิงแก๊สแข็งขณะทดสอบความเค้นอัดด้วย UTM (C) ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแล้ว

4.1.3 จากผลการทดลองพบว่า อัตราการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สแข็งแปรผันโดยตรงกับความเร็วยานพาหนะ ซึ่งได้จากการทดลองในรูปที่ 5 โดยจะเห็นว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวใกล้เคียงกับความสัมพันธ์เชิงเส้น

4.2 อุณหภูมิที่ผิวแบบพิมพ์ และความชื้นเริ่มต้นที่เหมาะสม

จากการทดลองอัดรีดเชื้อเพลิงแก๊สแข็งพบว่าความชื้นที่เหมาะสมในการอัดรีดมีค่าเท่ากับ 11 -14% และอุณหภูมิแบบพิมพ์ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 230 - 250 °C

4.2.1 เมื่อทดลองอัดรีดเชื้อเพลิงแก๊สแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 230 °C พบว่าซีลี้อยจะติดที่ตัวแบบพิมพ์ และไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้ เพราะอุณหภูมิที่ตัววัสดุไม่ถึงอุณหภูมิที่ลิกนินหลอมละลาย

4.2.2 ในการอัดรีดเชื้อเพลิงแก๊สแข็งเมื่อให้ความร้อนที่ผิวแบบพิมพ์มากพอจนลิกนินในตัวซีลี้อยหลอมละลายและช่วยเชื่อมประสานให้ซีลี้อยเกาะตัวกัน และที่ผิวของเชื้อเพลิงแก๊สแข็งจะไหม้ ซึ่งคาร์บอนที่อยู่บริเวณผิวแท่งเชื้อเพลิงจะมีคุณสมบัติคล้ายสารหล่อลื่นจึงทำให้เชื้อเพลิงแก๊สแข็งอัดรีดออกได้อย่างต่อเนื่อง

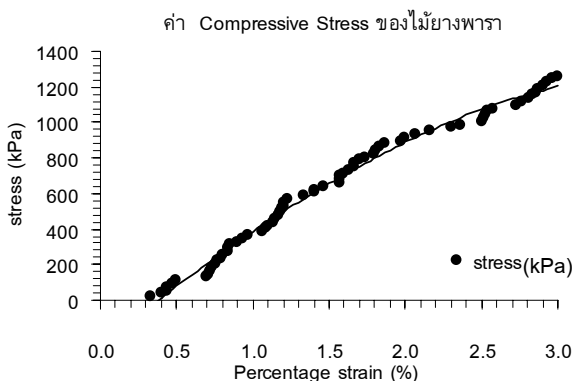
4.2.3 เมื่อซีลี้อยมีความชื้นมากเกินไปจะทำให้ขณะอัดรีดผ่านแบบพิมพ์ซีลี้อยมีลักษณะบานออกไม่เกาะกันเป็นแท่งเนื่องจากความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยไอน้ำในตัววัสดุมากกว่าที่จะใช้ในการหลอมละลายลิกนินทำให้อุณหภูมิของวัสดุไม่ถึงอุณหภูมิหลอมละลายของลิกนิน แต่ถ้าความชื้นน้อยเกินไปซีลี้อยที่ออกมาจะยังคงมีลักษณะเป็นผลซีลี้อย

4.3 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแก๊สแข็ง

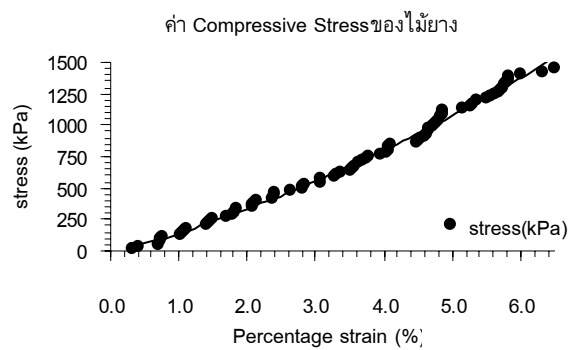
จากการทดลองหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแก๊สแข็งพบว่าเชื้อเพลิงแก๊สแข็งไม้ยาง ไม้ยางพารา ไม้แดง มีความหนาแน่น 1050 - 1140, 1117 และ 1470 kg/m³ ตามลำดับ

4.4 ความทนทานต่อความเค้นอัดของเชื้อเพลิงแก๊สแข็ง

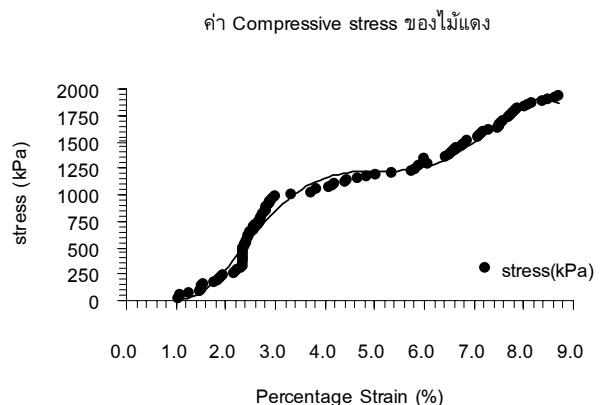
จากการทดลองหาค่าความทนทานของเชื้อเพลิงต่อความเค้นอัดสูงสุดที่เชื้อเพลิงแก๊สแข็งทนได้ จากรูปที่ 7 - 9 พบว่าเชื้อเพลิงแก๊สแข็งไม้ยางพาราทนต่อความเค้นอัดได้ 1.27 MPa เชื้อเพลิงแก๊สแข็งไม้ยางทนต่อความเค้นอัดได้ 1.43 MPa เชื้อเพลิงแก๊สแข็งไม้แดงทนต่อความเค้นอัดได้ 1.73 MPa



รูปที่ 8. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเชื้อเพลิงแก๊สไม้ยางพารา



รูปที่ 9. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเชื้อเพลิงแก๊สไม้ยาง



รูปที่ 10. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเชื้อเพลิงแก๊สไม้ยางแดง

4.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแก๊สแข็ง

ค่าความร้อน คือ พลังงานหรือปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์แล้วปล่อยให้ผลผลิตจากการเผาไหม้เย็นตัวลงจนกลับไปสู่ที่สภาวะเริ่มต้น ค่าความร้อนของซีลี้อยที่ได้จาก Bom Calorimeter มีค่าประมาณ 19.3 - 21.0 MJ/kg ดังนั้น และจากผลการทดลองหาค่าความร้อนของซีลี้อยแต่ละชนิดได้ผลดังนี้คือซีลี้อยไม้แดงมีค่าความร้อน 20.5 MJ/kg ซีลี้อยไม้ยางมีค่าความร้อน 19.34 MJ/kg และซีลี้อยไม้ยางพารามีค่าความร้อน 18.20 MJ/kg

4.6 พลังงานจำเพาะในการผลิตเชื้อเพลิงแก๊ส และต้นทุนการผลิต

อัตราการผลิตสูงสุดที่เครื่องผลิตเชื้อเพลิงแก๊สแข็งผลิตได้ คือ 0.27 Kg/min โดยต้นทุนพลังงานไฟฟ้าหลักมาจาก มอเตอร์ โดยไม่คิดอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) เพราะในทางปฏิบัติการให้ความร้อนในการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สแข็งนั้น จะใช้ตัวมันเองในการให้ความร้อนสามารถหาพลังงานทุติยภูมิ (พลังงานไฟฟ้า) ที่ใช้ในการผลิตเท่ากับ 0.36 MJ/kg และเมื่อคิดเป็นพลังงานปฐมภูมิโดยใช้ค่า Conversion factor เท่ากับ 2.6 จะได้พลังงานปฐมภูมิเท่ากับ 0.9 MJ/kg โดยมีค่า Operating Cost เท่ากับ 0.3 บาท/kg จะเห็นว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สแข็งมีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงแก๊สแข็งมาก จึงน่าจะมีต้นทุนที่ต่ำ

5. สรุป

ในการผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา ขี้เลื่อยไม้ยาง และขี้เลื่อยไม้แดง พบว่ามีปัจจัยสำคัญหลายประการต่อการผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งคือ อุณหภูมิแบบพัมป์ ความเร็วรอบมอเตอร์ และความชื้น โดยออกแบบอัตราการผลิตไว้ที่ 0.54 kg/min แต่อัตราการผลิตจริงจากการทดลองได้เท่ากับ 0.27 kg/min ค่าความเค้นอัดตั้งกล่าวก็ขึ้นอยู่กับชนิดของขี้เลื่อยที่นำมาผลิตด้วยโดยพบว่าเชื้อเพลิงแท่งแข็งไม้ยางพาราทนต่อความเค้นอัดได้ 1.27 MPa เชื้อเพลิงแท่งแข็งไม้ยางทนต่อความเค้นอัดได้ 1.43 MPa เชื้อเพลิงแท่งแข็งไม้แดงทนต่อความเค้นอัดได้ 1.73 MPa และหลังจากผ่านการอัดรีดแล้วเชื้อเพลิงแท่งแข็งของขี้เลื่อยไม้แต่ละชนิดมีค่าความหนาแน่นดังนี้ เชื้อเพลิงแท่งแข็งไม้ยางพารามีความหนาแน่น 1117 kg/m³ เชื้อเพลิงแท่งแข็งไม้ยางมีความหนาแน่น 1050 -1140 kg/m³ และเชื้อเพลิงแท่งแข็งไม้แดงมีความหนาแน่น 1470 kg/m³ ซึ่งการนำขี้เลื่อยของไม้แต่ละชนิดมาผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งก็ให้ค่าความร้อนที่แตกต่างกัน ค่าความร้อนของขี้เลื่อยไม้แต่ละชนิดเป็นผลดังนี้ คือขี้เลื่อยไม้แดงมีค่าความร้อน 20.5 MJ/kg ขี้เลื่อยไม้ยางมีค่าความร้อน 19.34 MJ/kg และขี้เลื่อยไม้ยางพารามีค่าความร้อน 18.20 MJ/kg

ในการนำขี้เลื่อยไม้แต่ละชนิดมาผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งในเชิงพาณิชย์ยังต้องคำนึงถึงค่าต้นทุนค่าในการผลิตโดยในงานวิจัยฉบับนี้ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าพลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งใช้เพียง 0.9 MJ/kg โดยมีค่า operating cost มีค่าเท่ากับ 0.3 บาท/kg ซึ่งแสดงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งด้วยเทคนิคอัดรีดขึ้นรูป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Z.Husain *, Zainac Z., Abdullah Z., "Briquetting of palm fiber and shell from the processing of palm nuts to palm oil" Biomass and Bioenergy, 2002, Vol.22, PP505-509
- [2] M.C. Mayoral, Izquierdo M.T., Blesa M.J., Andres J.M., Rubio B., Miranda J.L., "DSC study of curing in smokeless briquetting", Thermochimica Acta, 2001, Vol.371, PP41-44
- [3] A. Demirbas, Sahin A., "Evaluation of biomass residue Briquetting waste paper and wheat straw mixtures", Fuel Processing Technology, 1998, Vol.55, PP175-183
- [4] X. Weert, Lawrence C.J., Adams M.J., Briscoe B.J., "Screw extrusion of food poders: prediction and performance" Chemical Engineering Science, 2001, Vol.56, PP33-49
- [5] R. Chris, "Polymer Extrusion" Hanser Publishers, Munich Vienna New York

- [6] P.Henry, Pradeep K., Agarwal P., Richard S., "Improving form coke briquette strength" Fuel Processing Technology, 2002, Vol.79, PP83-92