

การทดสอบพฤติกรรมการลอยตัวของชีวมวลสำหรับการออกแบบระบบผลิตแก๊สชีวมวล แบบฟลูอิดิเซชัน

พงศธร มณฑิพย์¹, นิกราน หอมดวง^{1*}, ณัฐวุฒิ ดุษฎี¹, ชูรัตน์ ธารารักษ์¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 63 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

ผู้เขียนติดต่อ: นิกราน หอมดวง Email: nigranghd@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบพฤติกรรมการลอยตัวของซังข้าวโพดและแกลบในห้องเผาไหม้จำลองของเตาแก๊สชีฟเออร์แบบฟลูอิดิเซชันสำหรับเป็นแนวทางในการออกแบบอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงและขนาดห้องเผาไหม้ที่เหมาะสมที่สุด เตาแก๊สชีฟเออร์ที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวเป็นเตาแบบทรงกระบอก มีช่องสำหรับการวัดความสูงและการมองพฤติกรรมการลอยตัว ห้องเผาไหม้มีขนาดพื้นที่ 400 cm² ความสูง 150 cm ท่อลมป้อนและท่อลมออกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ใช้พัดลมขนาดมอเตอร์ 1.5 HP 3 phase ร่วมกับชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์และอัตราการป้อนอากาศ ความเร็วลมทดสอบอยู่ในช่วง 5-15 m/s ท่อลมออกทดสอบปรับวาล์ว 3 ระดับ คือ 25% 50% และ 100% ชีวมวลทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ < 1 mm < 3 mm และ < 5 mm ผลการทดสอบพบว่า ซังข้าวโพดให้การลอยตัวสูงกว่าแกลบเมื่อชีวมวลทั้ง 2 ชนิด มีขนาดต่ำกว่า 1 mm และ 3 mm ความเร็วลมที่ใช้ป้อนแปรผันตรงกับขนาดของชีวมวล โดยชีวมวลที่มีขนาดต่ำกว่า 1 mm ถึง 5 mm ใช้ความเร็วลมอยู่ในช่วง 6-12 m/s ความสูงของชีวมวลโดยเฉลี่ยเรียงตามขนาดต่ำกว่า 1 mm ถึง 5 mm อยู่ในช่วง 1-1.2 m 0.6-1.15 m และ 0.2-0.5 m ตามลำดับ การเปิดวาล์วอากาศทางออกสูงสุดส่งผลให้พฤติกรรมการลอยตัวชีวมวลและความดันในห้องเผาไหม้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการเปิดวาล์ว 25%

คำสำคัญ: ซังข้าวโพด แกลบ การลอยตัว เตาแก๊สชีฟเออร์

Experimental investigation Floating behavior of biomass for design fluidized bed Gasifier

Pongsatorn Monthip¹, Nigran Homdoun^{1*}, Nutthawud Dussadee¹, Churat Thararux¹

Corresponding author: Nigran Homdoun. Email: nigranghd@gmail.com

Abstract

Research work was to study the floating behavior of corn cob and rice husk on the prototype combustion of fluidized bed gasifier for optimal design of air-fuel ratio and combustion chamber size. The gasifier was a cylindrical, channels for measuring the height and looking at floating behavior. The area combustion chamber was about 400 cm² and 150 cm of height, the diameter of air Inlet and outlet pipes was 5 cm, 1.5 HP 3 phase of blower operate with the inverter for controlled motor speed and air feed rate. The air velocity was tested between 5-15 m/s and adjusting air outlet valve was 3 levels are 25% 50% and 100%. Biomass testing is divided into 3 sizes are < 1 mm < 3 mm and < 5 mm. It was found that, the floating of corn cob is higher than the husk when both biomass was less than 1mm and 3mm. The air velocity inlet varies with the size of the biomass which that less than 1 mm to 5 mm was used air velocity in a range of 6-12 m/s. The height floating of both biomass between 1-1.2 m, 0.6-1.15 m and 0.2-0.5 m respectively with sorted by biomass size. Opening up the maximum outlet air valve was resulted in better biomass buoyancy and pressure in the combustion chamber with compared to opening the valve at 25%.

Keywords: corn cob, rice husk, floating, gasifier.

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานของมนุษย์ยังคงเพิ่มขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจไม่ว่าจะเป็นทางด้านอุตสาหกรรม ธุรกิจการค้า การขนส่ง ที่อยู่อาศัยหรือแม้กระทั่งทางด้านเกษตร พลังงานถือเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญของการดำเนินชีวิต อีกทั้งยังสำคัญต่อการ

พัฒนาชุมชนและประเทศอีกด้วย ซึ่งศักยภาพปริมาณชีวมวลที่มีอยู่เพียงพอสอดคล้องความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงสำเร็จรูปที่มีอยู่ จึงทำให้ประเทศไทยได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถนำไปใช้แปลงสภาพชีวมวลที่มีอยู่เป็นเชื้อเพลิงและใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลที่นำเข้าได้ โดยส่งผลต่อการลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงลงได้เป็นอย่างมาก

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบฟลูอิดไธเบตเป็นอีกหนึ่งกระบวนการที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากเทคโนโลยีนี้มีความยืดหยุ่นสูงในเรื่องของการใช้เชื้อเพลิงที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิงจากวัสดุภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี ประโยชน์ที่ได้จากเทคโนโลยีนี้จะได้แก๊สเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนให้กับโรงไฟฟ้าหรือแหล่งพลังงานความร้อนในระดับชุมชนได้ และที่สำคัญการศึกษาวิจัยด้านการผลิตแก๊สด้วยวิธีนี้ภายในประเทศยังคงมีการศึกษาไม่มากนัก การพัฒนาเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบฟลูอิดไธเบตจะเริ่มต้นด้วยการศึกษาชนิดชีวมวลที่ใช้ การออกแบบและการสร้างเตาแก๊สซิไฟเออร์ อย่างไรก็ตามในเบื้องต้นของการคัดเลือกชีวมวลที่ใช้สำหรับป้อนให้กับเตาชีวมวลควรที่จะต้องมีการศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของชีวมวลก่อน การลอยตัวของชีวมวลที่ดีจะส่งผลให้การเผาไหม้ในสภาวะแก๊สซิฟิเคชันเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะเป็นแนวทางการนำไปสู่การคำนวณหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอัตราการป้อนอากาศให้มีความเหมาะสมสูงสุดสุดท้ายที่จะทำให้ได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนที่สูง ปริมาณน้ำมันดินต่ำซึ่งเหมาะแก่การนำไปป้อนให้กับเครื่องยนต์ต้นกำลังสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของชีวมวลเพื่อใช้เป็นแนวทาง ในการพัฒนาออกแบบระบบผลิตแก๊สชนิดนี้ การศึกษาวิจัยประกอบด้วยการศึกษาผลกระทบของประเภทชีวมวลต่อการลอยตัว ผลของความเร็วมวลที่ป้อนเข้าต่ำสุดต่อขนาดชีวมวล ผลกระทบของความเร็วมวลเฉลี่ยต่อการลอยตัว ผลของการเปิดวาล์วต่อการลอยตัวของชีวมวล และผลของการเปิดวาล์วต่อความดันที่เกิดขึ้นในระบบ

การศึกษาข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า Bemgba Bevan Nyakuma et al. (2012) [1] ทำการออกแบบระบบผลิตแก๊สชีวมวลแบบฟลูอิดไธเบตชนิดฟองอากาศ (BFBG) เพื่อผลิตแก๊สจากทะเลสาบปาล์มโดยภายในระบบประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การป้อนเชื้อเพลิง การผลิตแก๊ส และการกำจัดของเสียบริเวณที่แก๊สผลิตได้ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความเร็วในการทำฟลูอิดไธเบต ได้แก่ ความสูงของการลอยตัวเบต และความดันตกคร่อมภายในระบบ เมื่อทำการป้อนเชื้อเพลิง 1.25-1.40 kg จะส่งผลให้ความดันตกคร่อมภายในระบบเหมาะสมที่สุด ทำให้ความเร็วในการทำฟลูอิดไธเบตขึ้น A. Johari et al. (2014) [2] ทำการออกแบบระบบผลิตแก๊สชีวมวลแบบฟลูอิดไธเบตชนิดฟองอากาศ (BFBG) จากทะเลสาบปาล์มโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน โดยภายในระบบประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การป้อนเชื้อเพลิง การผลิตแก๊ส และการกำจัดของเสียบริเวณที่แก๊สผลิตได้เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Bemgba Bevan Nyakuma ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า สิ่งที่ส่งผลต่อการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ ความหนาแน่นของชีวมวล และขนาดของชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบ Nestor Proenza Perez et al. (2014) [3] ได้ศึกษาการประเมินของไหลแบบไดนามิกส์โดยใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบและใช้เตาแก๊สชีวมวลแบบฟลูอิดไธเบตชนิดฟองอากาศโดยทำการประเมินของไหลแบบไดนามิกส์และอุณหภูมิ

ผลศาสตร์ของการใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบสำหรับเตาแก๊สชีวมวลแบบฟลูอิดไธเบตชนิดฟองอากาศ ซึ่งการทดสอบดังกล่าวพบว่าขนาดของชานอ้อยที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อการผลิตแก๊ส ซึ่งขนาดของชานอ้อยที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0.8 และ 1.21 mm Young Doo Kim et al. (2013) [4] ศึกษาเครื่องป้อนอากาศที่ใช้ในการผลิตก๊าซของเชื้อเพลิงชีวมวลประเภทไม้โดยใช้เตาแก๊สชีวมวลแบบฟลูอิดไธเบตชนิดฟองอากาศ โดยการศึกษาเครื่องป้อนอากาศดังกล่าวเป็นการศึกษาเพื่อที่จะควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นวัตถุดิบอีกทั้งยังเป็นการศึกษาการกระจายอุณหภูมิใน gasifier และองค์ประกอบของ syngas อีกด้วย ผลการศึกษาปรากฏว่าเครื่องป้อนอากาศส่งผลต่ออัตราการป้อนของชีวมวลซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างกันไปตามเงื่อนไขภายในการเปลี่ยนแปลงของชีวมวล

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ชีวมวลที่นำมาทดสอบพฤติกรรมการลอยตัวในห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไธเบต ได้แก่ ชังข้าวโพดและแกลบ การเตรียมตัวอย่าง เริ่มจากการนำตัวอย่างชีวมวลทั้ง 2 ชนิด มาลดความชื้นด้วยการตากให้แห้งด้วยแสงอาทิตย์ให้ความชื้นลดต่ำลงประมาณ 15% จากนั้นนำชังข้าวโพดและแกลบมาลดขนาดโดยการบดหยาบด้วยเครื่องบดหยาบขนาดตะแกรง 10 mm ทำการร่อนด้วยตะแกรงเพื่อแยกขนาดชีวมวลออกเป็น 3 ขนาดได้แก่ ขนาดต่ำกว่า 1 mm ขนาดต่ำกว่า 3 mm และขนาดต่ำกว่า 5 mm ดังรูปที่ 1 จากนั้นทำการบดย่อยละเอียดอีกครั้งด้วยเครื่องบดหยาบขนาด 1 mm เพื่อลดขนาดชีวมวลที่มีขนาดต่ำกว่า 1 mm ตัวอย่างชีวมวลที่นำมาใช้ตัวอย่างละประมาณ 200 g โดยลักษณะทางกายภาพ ของตัวอย่างชีวมวลแสดงในตารางที่ 1



ชังข้าวโพด



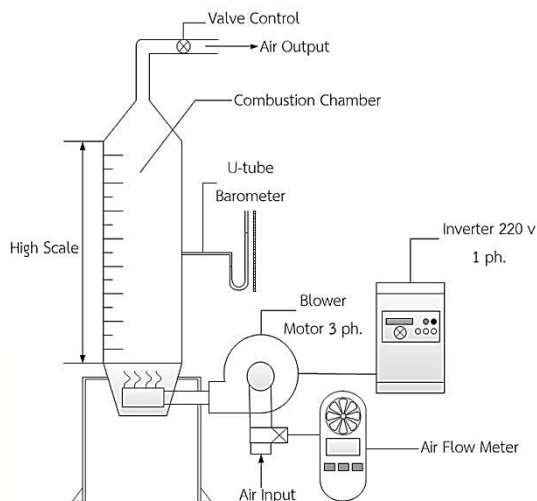
แกลบ

รูปที่ 1 การเตรียมตัวอย่างชีวมวลก่อนการทดสอบ ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของชีวมวลทดสอบ [5-8]

ลักษณะทางกายภาพ	ชังข้าวโพด	แกลบ
ความหนาแน่น (kg/m^3)	282	90-106
ความชื้น (%)	6	8-9
ค่าความร้อน (MJ/kg)	18.04	14.27

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

ชุดทดสอบการลอยตัวของชีวมวลประกอบด้วยห้องเผาไหม้ชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm ความยาว 150 cm ด้านบนห้องเผาไหม้มีวาล์วควบคุมการเปิด-ปิดลมขนาดท่อลม 2 inch ชุดป้อนอากาศจะป้อนอากาศทางด้านล่างของห้องเผาไหม้ผ่านตะแกรงละเอียดโดยใช้พัดลมเป่าอากาศ ของ VENZ รุ่น SB-30 มอเตอร์ 1/2 HP 3 phase ขนาดท่อลมออก 2 inch การควบคุมความเร็วลมใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่กระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของ MITSUBISHI รุ่น FR-D700 1 phase 200 V ขนาด 4.2 A ดังแสดงในรูปที่ 2 เครื่องมือวัดประกอบด้วย เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัดใช้วัดความเร็วลมที่ป้อนเข้าและความเร็วลมที่ออกจากห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของ BENETECH รุ่น GM8901 สามารถวัดความเร็วลมอยู่ในช่วง 0-45 m/s ความแม่นยำ $\pm 3\%$ ความละเอียด 0.1 m/s ในส่วนของการวัดความดันตกคร่อมของห้องเผาไหม้ใช้เครื่องวัดความดันบานอิมิตอร์แบบ U-tube ใช้น้ำเป็นสารตัวกลางในการอ่านค่า



รูปที่ 2 โดอะแกรมการทดสอบพฤติกรรมของการลอยตัวของชีวมวล

2.3 วิธีการวิจัย

การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของชีวมวลทำการควบคุมความเร็วลมโดยใช้อินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 25-45 Hz และแบ่งการทดสอบตามชนิดของชีวมวล โดยชีวมวลที่ทำการเปรียบเทียบในการทดสอบ ได้แก่ ช้างข้าวโพดและแกลบ ทำการแบ่งขนาดของชีวมวลตามขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างการทดสอบในหัวข้อ 2.1 หลังจากทำการเตรียมตัวอย่างดังกล่าวเรียบร้อยแล้ว นำชีวมวลที่ทำการแยกขนาดใส่ในชุดทดสอบเพื่อเริ่มทำการทดสอบ โดยเริ่มจากช้างข้าวโพดขนาด <1 mm <3 mm และ <5 mm ตามด้วยแกลบขนาด <1 mm <3 mm และ <5 mm ตามลำดับ ในการทดสอบแต่ครั้งจะทำการวัดความเร็วลมที่ป้อนเข้าสู่ระบบและความเร็วลมที่ออกจากระบบด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลอากาศและความดันที่เกิดขึ้นในระบบด้วยบารอเมตอร์แบบตัวยู ในการทดสอบแต่ละรอบจะทำการเปิดวาล์วที่อยู่ด้านบนท่อลมบริเวณทางออกของชุดทดสอบเพื่อควบคุมอัตราการ

ไหลของอากาศเมื่อผ่านห้องเผาไหม้ อีกทั้งยังเป็นการทดสอบเพื่อการควบคุมอัตราการไหลอากาศต่อความดันตกคร่อมในห้องเผาไหม้ โดยทำการควบคุมการเปิดของวาล์วเป็นเปิด สูงสุด 100% 50% และ 25% ตามลำดับ พร้อมทั้งดูระดับการลอยตัวของตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบที่เส้นระดับการวัดตำแหน่งบริเวณด้านข้างชุดทดสอบ

ในการทดสอบความเร็วลมที่ใช้ป้อนเป็นความเร็วที่ได้จากการออกแบบเตาแก๊สชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบด อัตราการไหลของอากาศที่ป้อนให้กับเตาสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$Q_{gas, aver} = \frac{1}{2} \times \left[Q_{air} \times \left(\frac{T_b + 273}{273} \right) + Q_{gas} \times \left(\frac{T_0 + 273}{273} \right) \right] \quad (1)$$

เมื่อ $Q_{gas, aver}$ คือ อัตราการไหลเฉลี่ยแก๊สรวม (m^3/s)

Q_{air} คือ อัตราการไหลอากาศ (m^3/s)

Q_{gas} คือ อัตราการไหลโปรตีนเซอร์แก๊ส (m^3/s)

T_b คือ อุณหภูมิผิววัสดุเบด ($^{\circ}C$)

T_0 คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^{\circ}C$)

เลขเรย์โนลด์เป็นเลขดัชนีที่ชี้บอกสภาพปรากฏการณ์การไหลของไหล จำนวนเลขเรย์โนลด์มีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วการไหล ความหนืด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อและความหนาแน่นของของไหล [10] การวิเคราะห์เลขเรย์โนลด์ของอากาศที่ไหลผ่านห้องเผาไหม้ของเตาแก๊สชีวมวลแสดงในสมการที่ 2

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2)$$

เมื่อ Re คือ เลขเรย์โนลด์

ρ คือ ความหนาแน่นอากาศ (kg/m^3)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยอากาศ (m/s)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางห้องเผาไหม้ (m)

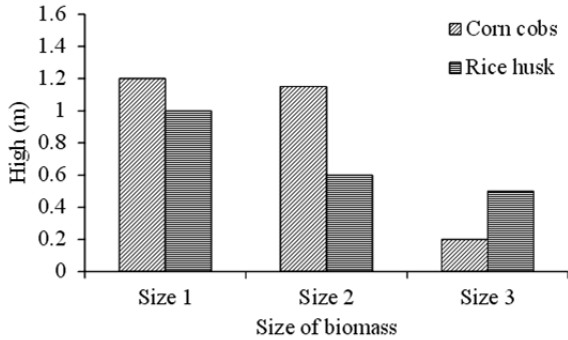
μ คือ ความหนืดสัมบูรณ์อากาศ ($Pa.s$)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลกระทบชนิดและขนาดของชีวมวลต่อการลอยตัว

การทดลองการลอยตัวของช้างข้าวโพดและแกลบ พบว่าการใช้ช้างข้าวโพดให้การลอยตัวสูงกว่าการใช้แกลบ ในกรณีที่ขนาดชีวมวลต่ำกว่า 1 mm และ 3 mm ดังรูปที่ 3 ในขณะที่การใช้ช้างข้าวโพดที่มีขนาดต่ำกว่า 5 mm มีการลอยตัวที่ต่ำกว่าการใช้แกลบ สาเหตุที่ช้างข้าวโพดมีการลอยตัวสูงกว่าแกลบ เนื่องจากลักษณะและรูปร่างพื้นที่ผิวของช้างข้าวโพดมีสูงกว่าแกลบ [11] ดังรูปที่ 1 ซึ่งเมื่อมีลมมาปะทะจึงทำให้เกิดแรงยกหรือการลอยตัวได้ดีกว่าการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ขณะเดียวกันเมื่อเปลี่ยนขนาดของชีวมวลทั้ง 2 ชนิดให้มีรูปร่างที่ใหญ่ขึ้น (size 3) ขนาดพื้นที่ผิวของแกลบเพิ่มสูงขึ้นประกอบกับความหนาแน่นที่ต่ำอยู่แล้วโดยเฉลี่ย 96-106 kg/m^3 [5] ในขณะที่ช้างข้าวโพดมีความหนาแน่น 282 kg/m^3 [6] จึงทำให้แกลบสามารถ

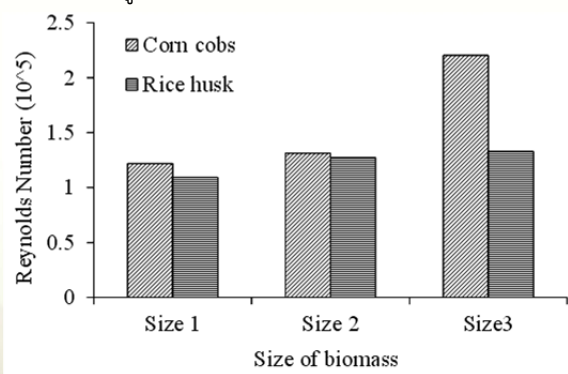
ลอยตัวได้สูงกว่า การใช้ซังข้าวโพดที่มีขนาดต่ำกว่า 1 mm และ 3 mm สามารถลอยตัวสูงกว่าแกลบโดยเฉลี่ย 17-47% ความแตกต่างของขนาดเมื่อใช้ซังข้าวโพดแตกต่างกันค่อนข้างต่ำแต่ในส่วนของแกลบมีความแตกต่างกันค่อนข้างสูงถึง 40% ส่วนของการใช้ชีวมวลที่มีขนาดต่ำกว่า 5 mm ให้การลอยตัวแตกต่างกับขนาดชีวมวลต่ำกว่า 1 mm ค่อนข้างสูง



รูปที่ 3 ผลกระทบของชนิดชีวมวลต่อการลอยตัว

3.2 ผลของเรย์โนลด์ต่ำสุดต่อการเริ่มลอยตัวชีวมวล

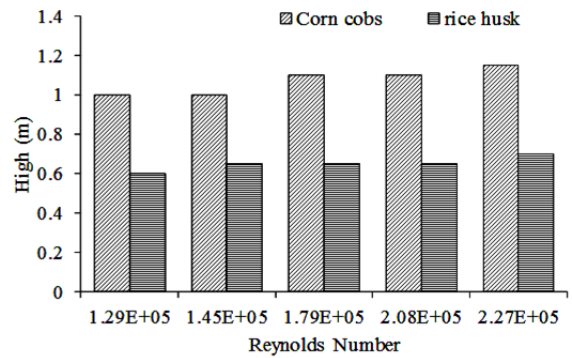
การทดสอบนี้เปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลสูงสุดโดยศึกษาถึงความเร็วลมต่ำสุดในค่าตัวเลขเรย์โนลด์ที่ทำให้ชีวมวลแต่ละขนาดเกิดการลอยตัวโดยพบว่าการใช้แกลบขนาด ต่ำกว่า 1-5 mm ตัวเลขเรย์โนลด์มีค่าใกล้เคียงกัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง $1.09 \times 10^5 - 1.33 \times 10^5$ คิดเป็นความเร็วลมที่ป้อนมีค่าเฉลี่ย 6-7.3 m/s และมีค่าใกล้เคียงกับการใช้ซังข้าวโพดขนาดต่ำกว่า 1-3 mm ดังรูปที่ 4 อย่างไรก็ตามในส่วนของซังข้าวโพดที่มีขนาดต่ำกว่า 5 mm ยังคงต้องใช้ปริมาณลมป้อนในอัตราที่สูงเมื่อเทียบกับขนาดของชีวมวลที่มีขนาดต่ำกว่า 3 mm เนื่องจากพื้นที่ผิว ของชีวมวลสูง ทำให้ต้องใช้ความเร็วลมที่สูงในการทำให้ซังข้าวโพดเกิดการลอยตัว



รูปที่ 4 ผลของเรย์โนลด์ต่ำสุดต่อการเริ่มลอยตัวชีวมวล

3.3 ผลกระทบของความเร็วมเฉลี่ยต่อการลอยตัว

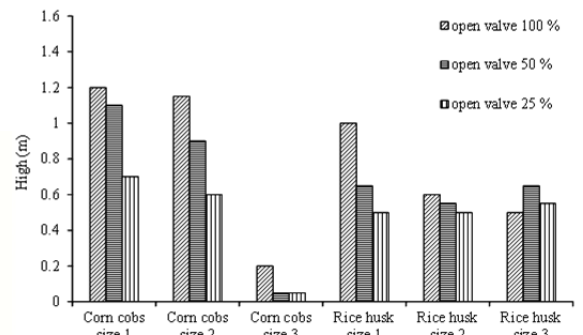
ผลการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการลอยตัวของชีวมวลพบว่าผลกระทบของความเร็วมเฉลี่ยที่ป้อนต่อการลอยตัวของชีวมวลทั้ง 2 ชนิด โดยการใช้ซังข้าวโพดให้ความสูงการลอยตัวอยู่ในช่วง 1-1.5 m ขณะเดียวกันในการใช้แกลบจะมีความสูงของการลอยตัวอยู่ในช่วง 0.6-0.7 m ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบความเร็วมเฉลี่ยต่อการลอยตัว

3.4 ผลการเปิดวาล์วต่อการลอยตัวของชีวมวล

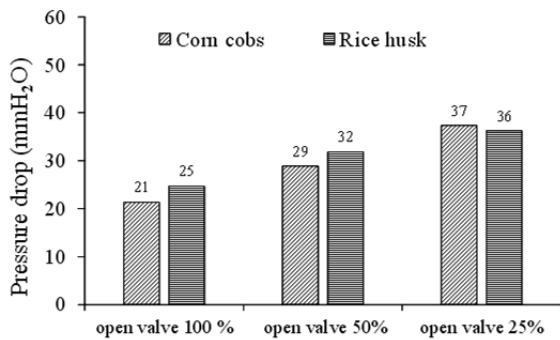
การทดสอบการควบคุมอัตราการไหลของอากาศเมื่อผ่านห้องเผาไหม้ด้วยการควบคุมการเปิดของวาล์วเป็น เปิด สูงสุด 100% 50% และ 25% ผลการทดสอบพบว่า การเปิดวาล์วสูงสุด 100% ส่งผลให้การลอยตัวของชีวมวลเพิ่มสูงขึ้น ทุกขนาดเชื้อเพลิงและชนิดเชื้อเพลิง ยกเว้นการใช้แกลบที่มีขนาดต่ำกว่า 5 mm ดังแสดงผลในรูปที่ 6 การใช้ซังข้าวโพดที่ขนาดต่ำกว่า 1-3 mm ให้อัตราการลอยตัวสูงกว่าการใช้แกลบ การเปิดวาล์วควบคุมที่ 25% และ 50% ส่งผลต่อการลอยตัวซึ่งข้าวโพดมีการลอยตัวต่ำสุด ในส่วนของแกลบที่ขนาดต่ำกว่า 3-5 mm ให้ความสูงการลอยตัวที่ใกล้เคียงกันเมื่อมีการการเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลอากาศทั้ง 3 ระดับ



รูปที่ 6 ผลการควบคุมการเปิดวาล์วต่อการลอยตัวของชีวมวล

3.5 ผลการควบคุมอัตราการไหลต่อความดันตกคร่อมในห้องเผาไหม้

การควบคุมอัตราการไหลอากาศต่อความดันตกคร่อมในห้องเผาไหม้ การเปิดวาล์วควบคุมที่ 25% และ 50% ส่งผลให้ความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7 เนื่องจากอากาศไม่สามารถไหลออกได้อย่างสะดวก บางส่วนมีการไหลย้อนกลับส่งผลให้เกิดความดันและชีวมวลไม่สามารถไหลขึ้นได้สูงสุด การปรับวาล์วที่ 100% มีความดันเกิดขึ้นในระบบอยู่ในช่วง 21-25 mmH₂O การปรับวาล์วที่ 50% มีความดันเกิดขึ้นในระบบอยู่ในช่วง 28-32 mmH₂O และการปรับวาล์วที่ 25% มีความดันเกิดขึ้นในระบบอยู่ในช่วง 36-38 mmH₂O



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบความดันที่เกิดขึ้นภายในระบบ

3.6 ขนาดชีวมวล ความเร็วลมและการเปิดวาล์วที่เหมาะสม

ผลจากการทดสอบและคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการนำไปออกแบบเตาแก๊สชีวมวลแบบฟลูอิดเบดสรุปได้ว่าขนาดชีวมวลที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงขนาดต่ำกว่า 1-3 mm เนื่องจากให้การลอยตัวที่ค่อนข้างสูงและเสถียร สามารถใช้ได้ทั้งซังข้าวโพดและแกลบ ส่วนตัวเลขเรย์โนลด์ที่ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปออกแบบควรจะอยู่ในช่วง $1 \times 10^5 - 1.3 \times 10^5$ หรือคิดเป็นความเร็วลมที่ใช้ป้อนจะอยู่ในช่วง 6-7.3 m/s สำหรับการควบคุมอัตราการไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้การเปิดวาล์วสูงสุดที่ 100% มีความเหมาะสมสูงสุดเนื่องจากให้แรงลอยตัวชีวมวลสูงสุดและความดันที่ตกคร่อมในระบบต่ำสุด

4. สรุป

- การใช้ชีวมวลที่มีขนาดต่ำกว่า 1-3 mm ให้อัตราการลอยตัวสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงที่มีขนาดต่ำกว่า 5 mm และการใช้ซังข้าวโพดให้การลอยตัวของเชื้อเพลิงสูงกว่าแกลบ
- ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้ซังข้าวโพดและแกลบเป็นเชื้อเพลิงที่มีขนาดอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 1-3 mm มีค่าอยู่ในช่วง $1.09 \times 10^5 - 1.33 \times 10^5$
- การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศในห้องเผาไหม้สูงสุด 100% ส่งผลให้ความดันตกคร่อมในห้องเผาไหม้ต่ำสุดโดยซังข้าวโพดและแกลบลอยตัวได้ดีกว่าการเปิดวาล์วที่ 25% และ 50%

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่ม ประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา และขอขอบคุณวิทยาลัย พลังงานทดแทนและศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

Bemgba Bevan Nyakuma, Anwar Johari, Arshad Ahmad, Tuan A. T. Abdullah, Mojtaba Mazangi. 2012. Design of a Bubbling Fluidized Bed Gasifier for the gasification of palm waste. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 58, 85-88.

A. Johari, B. B. Nyakuma, A. Ali et al. 2014. Design of a Bubbling Fluidized Bed Gasifier for the thermo-chemical conversion of Oil Palm Empty Fruit Bunch Briquette. Applied Mechanics and Materials 493, 3-8.

Nestor Proenza Perez et al. (2014). Fluid-dynamic assessment of sugarcane bagasse to use as feedstock in bubbling fluidized bed gasifiers. Applied Thermal Engineering 73, 238-244

Young Doo Kim, Beom Jong Kim, Ji Hong Moon et al. 2013. Air-blown gasification of woody biomass in a bubbling fluidized bed gasifier. Applied Energy 112, 414-420.

Yaning Zhang, A.E. Ghaly, Bingxi Li. 2012. Physical properties of corn residues. Journal of Biochemistry and Biotechnology 8(2), 44-53.

Kumar S., Sangwan P., Dhankhar R. Mor V., Bidra S. 2013. Utilization of rice husk and their ash:A Review. Journal of Chemical and Environmental Sciences, 126-129.

M.Doorvasan, S.Sathiyamurthy, S.Jayabal, K.Chidambaram. 2014. Moisture Content of Rice Husk Particulated Natural Fiber Polymer Composites Journal of Mechanical and Civil Engineering, 17-21.

วิสาขา ภูจินดา. 2557. ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและผลตอบแทนทางสังคมของการใช้พลังงานชีวมวลในระดับชุมชนและระดับครัวเรือน. กรุงเทพมหานคร: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. สุเนตร สืบคำ, ประพัฒน์ ทองจันทร์. 2555. การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดและคัดแยกเมล็ดพันธุ์ฝักซีฟรุ้ง. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

สุทธิพันธ์ กีฬาแปง 2555. การศึกษาการอัดขึ้นรูปซังข้าวโพดด้วยระบบไฮดรอลิก. ปริญญาโทวิทยาศาสตรบัณฑิต. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

กฤษกร ศรีพิณิจ, ญาณิศา เกี้ยวพันธ์, รัตติกาล มหาเจริญ. 2554. ชุดสารถีอัตราการไหลของของไหล. วิทยานิพนธ์เทคโนโลยีบัณฑิต.ชลบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.