

AEC-24

การศึกษาอุณหภูมิในหัวพ่นไฟวัสดุพรุนชนิดเชื้อเพลิงแข็ง

Study The Temperature with in Combustion Chamber on a Solid Porous Burner

นิวัฒน์ เกตุชาติ, พิพัฒน์ อมตฉายา, พรสวรรค์ ทองใบ และ บัณฑิต กฤตาคม*

ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาเทคโนโลยีของวัสดุพรุน

(Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory: DiTo-Lap)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: E-mail: niwat.me003@hotmail.com และ bundit.kr@rmuti.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 044 233 073 โทรสาร 044 233 074

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพรุนชนิดเชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งเชื้อเพลิงที่เลือกใช้คือ แกลบ ที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนการเผาไหม้อยู่ในช่วง 12-14 % วัสดุพรุนของงานวิจัยนี้คือ ตาข่ายสแตนเลส ที่มีขนาดจำนวนช่องว่างต่อ 1 นิ้ว (PPI) เท่ากับ 10 ช่อง ,ค่าความพรุน (ϕ) เท่ากับ 0.715 ส่วนประกอบที่สำคัญของอุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่ป้อนเชื้อเพลิงแข็ง ส่วนที่สองเป็นห้องพักอากาศ และส่วนที่สามเป็นห้องเผาไหม้ ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ความหนาของชั้นวัสดุพรุน (H_T) อัตราการจ่ายอากาศ (Q_A) และอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) อุณหภูมิตลอดแนวความยาวของหัวพ่นไฟถูกตรวจวัดและแสดงในรูปแบบโครงสร้างทางอุณหภูมิ (T) จากการทดลองพบว่า T มีแนวโน้มลดลงเมื่อ Q_A เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วของอากาศที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้เชื้อเพลิง ถูกพัดพาออกมากับอากาศมากยิ่งขึ้นเกิดการเผาไหม้ที่ไม่ดี ส่วนกรณีเมื่อเพิ่มระดับ Q_F กลับพบว่า T มีแนวโน้มลดลง เพราะการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่หมดหรือไม่เหมาะสมกับอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงที่มากเกินไปนอกจากนี้ยังพบว่า T มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตาม H_T ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ H_T มีค่ามาก ตาข่ายจะมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ตาข่ายวัสดุพรุน ที่มี H_T สูง ๆ มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (แกลบ) ได้ อย่างเต็มที่ จึงช่วยแผ่รังสีหรือสนับสนุนกลไกการเผาไหม้ได้ดีกว่ากรณีตาข่ายที่มี H_T ต่ำ ๆ

คำหลัก: หัวพ่นไฟวัสดุพรุน, แกลบ, ตาข่ายสแตนเลส

Abstract

This research aimed to investigate the combustion behavior of solid fuel porous burner. The rice husk with the percent moisture before burning in the range of 12-14% was adopted as the solid fuel. Stainless wire – net having pores per inch (PPI) of 10, Porosity (ϕ) of 0.715 was used as porous media. The major components of the experimental equipment consisted of 3 parts. The first part was the fuel injection zone. The second and third part air and combustion chamber. The interested factors in the present study were porous thickness (H_T) air flow rate (Q_A) and fuel - load input rate (Q_F). Temperature along the burner length was measured and reported in terms of the temperature profile (T). The results showed that the trend of T was decreased as increasing Q_A . It described by the effect of a higher air velocity that the fuel was blown out and a bad combustion was then occurred. In the case of increasing Q_F , the trend of T was decreased because the fuel was not burned out or fuel - load input rate was abundant. The level of T was increased with H_T . A higher surface area was appeared with a large value of H_T . Thus, the energy from the fuel combustion (rice husk) can be substantially absorbed by the wire - net of a higher H_T leading to improve the combustion mechanism.

Keywords: Solid porous burner, Rice husk, Stainless Wire – Net

AEC-24

1. บทนำ

โดยทั่วไปหัวเผาหรือหัวพ่นไฟวัสดุพรุน (Porous burner) ที่ใช้แก๊สและน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงมีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น การผลิตไอน้ำในหม้อต้มน้ำทางอุตสาหกรรม และการหล่อ การหลอมเหล็ก หรือแม้แต่การสร้างความร้อนในบ้านเรือน (Domestic radiant heater) ก็มีการใช้ประโยชน์จากหัวเผาแบบนี้ ถึงอย่างไรก็ตามราคาของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดในปัจจุบันมีราคาที่สูงขึ้นทุก ๆ ปี เปลี่ยนแปลงตามราคาพลังงานโลกตลอดเวลา และบางส่วนมีการนำเข้าจากต่างประเทศในปริมาณมากทำให้สูญเสียงบประมาณไปเป็นจำนวนมาก

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก เช่น ข้าวโพด อ้อย และข้าว เป็นต้น ในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้ จะมีวัสดุเหลือใช้ออกมามากมายไม่ว่าจะเป็น ชังข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ ซึ่งวัสดุเหลือใช้เหล่านี้ คือ ชีวมวลสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตพลังงานได้ เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า หรือการผลิตความร้อนเพื่อใช้ในทางอุตสาหกรรม โดยเฉพาะแกลบ (Rice husk) เป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการสีข้าวในปีหนึ่ง ๆ มีปริมาณแกลบสูงถึงประมาณ 5,878.14 พันตัน จากการสำรวจโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [1] ในยุคที่ประเทศมีความต้องการพลังงานสูง แกลบถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทน เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายและยังมีราคาถูก จึงเป็นเหตุให้นักวิจัยและวิศวกรจำนวนมากมีความสนใจและศึกษาเกี่ยวกับการนำเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวล (แกลบ) มาใช้แทนเชื้อเพลิงเหลวหรือแก๊สเพื่อลดต้นทุนการผลิต

นิยม ศรีศิริสิทธิกุล [2] ศึกษาการเผาไหม้ในเชื้อเพลิงแกลบในเตาฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศหมุนวน (VFBC) โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจายอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาทำการปรับค่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalent Ratio) และได้อัตราส่วนของอากาศทุกยูนิตต่ออากาศทั้งหมดป้อนเชื้อเพลิงที่ 18 kg/hr. พบว่าที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.25 และอัตราส่วนของอากาศทุกยูนิตต่ออากาศทั้งหมด เท่ากับ 0.4 จะให้การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอที่อุณหภูมิ 850 °C Ross [3] ศึกษาหาปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟิกส์เบดโดยเชื้อเพลิงที่ใช้คือ ถ่านหิน ไม้ และซีล้อยอดแห้ง

(Briquette) และการเผาไหม้ระหว่างถ่านหินกับซีล้อยอดแห้ง พบว่าการไฟโรโรซีสเชื้อเพลิงจะมีบทบาทสำคัญในการก่อให้เกิดมลพิษสารอินทรีย์ ตรงนี้ซึ่งชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของการผสมที่ไม่ดีและไม่เพียงพอ ประสาน สถิตเรื่องศักดิ์ [4] ได้ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้แกลบในเตาเผาไหม้ วอร์เทค- ฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ทรายเป็นเบด ตลอดจนสมรรถนะการเผาไหม้ในแง่ของประสิทธิภาพการเผาไหม้ (EC) และแก๊สเสียที่ทางออกเตา การทดลองได้ปรับเปลี่ยนความเร็วอากาศส่วนที่หนึ่ง (V_1) คือ ความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไดซ์ชัน พบว่าการเผาไหม้หลักเกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ไต้วงแหวนวอร์เทค ในขณะที่การเพิ่มความเร็วก๊าซส่วนนี้ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาลดลงในแง่ขององค์ประกอบแก๊สไอเสียที่ทางออกพบว่า CO มีค่าน้อยลงเล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของ V_1 ในขณะที่ NOx มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้น V_1 นอกจากนี้ EC ทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าสูงกว่า 99% พรชัย การวงศ์ และคณะ [5] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อเพลิงแข็งในหัวพ่นไฟวัสดุพรุน โดยติดตั้งวัสดุพรุนชนิดตาข่ายแอสตันเลส (Wire net porous) ภายในห้องเผาไหม้ และไม่ได้ติดตั้งวัสดุพรุนภายในห้องเผาไหม้ โดยแยกออกเป็น 2 กรณี ก็เพื่อต้องการเปรียบเทียบโครงสร้างทางอุณหภูมิ พบว่าการติดตั้งวัสดุพรุนภายในห้องเผาไหม้จะส่งผลให้โครงสร้างทางอุณหภูมิมิมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากจะทำให้ห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กลงจึงทำให้ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นส่งผลให้เชื้อเพลิงที่ยังไม่เผาไหม้ถูกพัดออกมาเมื่อเร็ว ๆ นี้ปี ค.ศ. 2014 Thawin Ponsen and Boonrit Prasartkaew [6] ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง โดยการสลับทิศทางการไหลอย่างเป็นจังหวะของก๊าซผ่านสื่อกลางวัสดุพรุน และมีการติดตั้งคอลย์น้ำหล่อเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิของวัสดุพรุน ซึ่งพบว่าจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะสูงกว่าเตาเผาที่มีก๊าซไหลผ่านวัสดุพรุนแบบทางเดียว นอกจากการศึกษาเชิงวิจัยในการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเหล่านี้แล้ว ยังมีนักวิจัยหรือนักประดิษฐ์หลายกลุ่มได้เสนอแนวคิดการใช้เชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลกับหัวพ่นไฟแบบต่าง ๆ ในรูปแบบสิทธิบัตร เช่น Hallberg [7], Rogaume [8] และ Ruck [9] เป็นต้น แต่สิทธิบัตรโดยส่วนใหญ่ก็เป็นเพียงแนวคิดมากกว่า ซึ่งยังไม่มีการสร้างสิ่งประดิษฐ์เหล่านั้นออกมา

AEC-24

จากงานวิจัยและสิทธิบัตรที่กล่าวมาทั้งหมด จะพบว่า เชื้อเพลิงของแข็งหรือชีวมวลต่าง ๆ ได้พยายามถูกทำให้สามารถเผาไหม้ให้สมบูรณ์ที่สุด แต่มีเพียงงานของ พรชัย การวงศ์ และคณะ [5] และ Thawin Ponsen and Boonrit Prasartkaew [6] ที่นำเอาเทคโนโลยีวัสดุพรุนมาใช้ประโยชน์ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้สร้างอุปกรณ์การทดลองหรือหัวพ่นไฟเชื้อเพลิงแข็งที่มีขนาดและวิธีการทดลองคล้ายคลึงกันกับ พรชัย การวงศ์ และคณะ [5] แต่จะทำการออกแบบห้องเผาไหม้ใหม่ให้มีสองชั้นคือ ชั้นแรกเป็นห้องสำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิง ส่วนชั้นที่สองเป็นห้องสำหรับติดตั้งวัสดุพรุน เพื่อช่วยส่งเสริมกลไกการเผาไหม้ให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งลักษณะเด่นของวัสดุพรุนคือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนสูงเมื่อเทียบกับวัสดุที่ทั่วไป โดยวัสดุพรุนที่เลือกมาติดตั้งในหัวพ่นไฟเป็นตาข่ายสแตนเลสเกรด 304 และเลือกใช้กลายเป็นเชื้อเพลิง เพราะหาได้ง่ายและราคาถูก สำหรับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาของงานวิจัยนี้ คาดว่าจะเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นแนวทางหรือข้อมูลสำคัญในการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการผลิตหรือสร้างหัวพ่นไฟที่ใช้งานได้จริงในทางอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการพัฒนาเป็นหัวพ่นไฟที่ใช้ในการต้มน้ำในหม้อไอน้ำ (Boiler) แทนหัวพ่นไฟแบบเชื้อเพลิงเหลวและแก๊สในช่วงเวลาของวิกฤตพลังงานในอนาคต

2. รายการสัญลักษณ์

| | |
|--------|--|
| A_p | พื้นที่ภาพฉายในการคำนวณค่าวัสดุพรุน mm^2 |
| A_s | พื้นที่ผิวของเส้นลวดตาข่าย หน่วยเป็น mm^2 |
| d | เส้นผ่าศูนย์กลางของตาข่ายสแตนเลส (mm) |
| F_T | สัดส่วนปริมาตรทั้งหมดในหนึ่งหน่วยปริมาตร |
| F_V | สัดส่วนเชิงปริมาตรของเนื้อวัสดุพรุนเชิงปริมาตร |
| H_T | ความหนาของชั้นวัสดุพรุน |
| m_i | มวลของแก๊สก่อนตากแดด (kg) |
| m_f | มวลของแก๊สหลังตากแดด (kg) |
| p | ระยะพิชท์ของตาข่ายสแตนเลส (mm) |
| PPI | จำนวนช่องว่างต่อ 1 นิ้ว |
| Q_A | อัตราการจ่ายอากาศ (m^3/hr) |
| Q_F | อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (kg/min) |
| T | อุณหภูมิ ($^{\circ}C$) |
| X | ความยาวตามแนวแกนของหัวพ่นไฟ (cm) |
| ϕ | ค่าความพรุน |

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1. อุปกรณ์การทดลอง

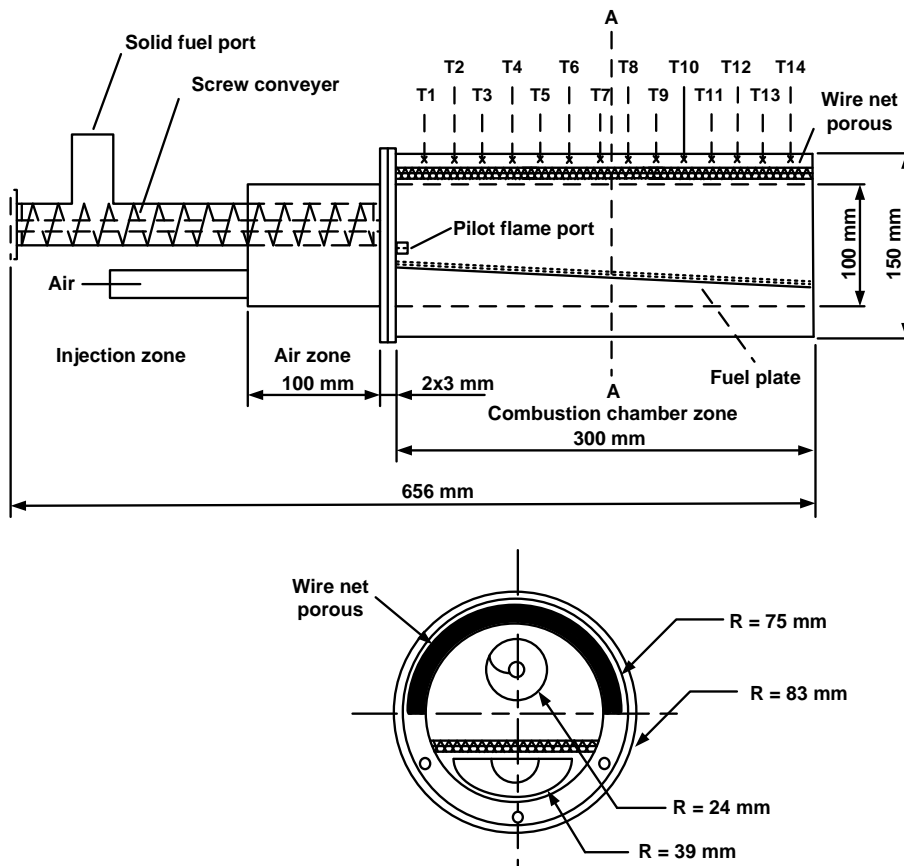
จากรูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดลองของหัวพ่นไฟเชื้อเพลิงแข็งที่มีการติดตั้งวัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลส (Stainless wire net porous) สามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วนที่สำคัญประกอบไปด้วย ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่จ่ายเชื้อเพลิงแข็ง (Injection zone) เข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยผ่านช่องจ่ายเชื้อเพลิงแข็ง (Solid fuel port) และถูกลำเลียงไปยังห้องเผาไหม้ด้วยสกรูเกลียว (Screw conveyor) ส่วนที่สองเป็นห้องพักอากาศเพื่อไม่ให้อากาศที่เข้ามาปะทะกับเชื้อเพลิงแข็งโดยตรงและรุนแรงเกินไป และส่วนที่สามเป็นห้องเผาไหม้ (Combustion chamber zone) ซึ่งห้องเผาไหม้จะมีสองชั้นคือ ชั้นแรกเป็นห้องสำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิง ส่วนชั้นที่สองเป็นห้องสำหรับติดตั้งวัสดุพรุน

3.2 การวัดและขั้นตอนการทดลอง

เพื่อให้เข้าถึงปรากฏการณ์เผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งและการส่งถ่ายความร้อนระหว่างวัสดุพรุนกับเปลวไฟที่เกิดขึ้น อุณหภูมิตามแนวแกนจึงถูกตรวจวัดดังรายละเอียดต่อไปนี้ เทอร์โมคัปเปิลชนิดเอ็น (N-type Thermocouples) จำนวน 14 ชั้น ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 mm ระยะห่างกันแต่ละตัว 25 mm จะถูกติดตั้งในส่วนของห้องเผาไหม้ (Combustion chamber zone) ที่ด้านบนของวัสดุพรุน สาเหตุที่ไม่สอดเทอร์โมคัปเปิลจนทะลุถึงตำแหน่งตรงกลาง เนื่องจากไม่ต้องการให้ขีดขวางการไหลของเชื้อเพลิงแข็งที่ไหลผ่านมายังห้องเผาไหม้ ซึ่งอาจจะเกิดผลกระทบต่อกลไกการไหลของเชื้อเพลิงแข็ง

จากส่วนประกอบทั้งหมดของหัวพ่นไฟวัสดุพรุนเชื้อเพลิงแข็งจะมีหลักการทำงานคือ เมื่อนำเชื้อเพลิงแข็ง (แก๊ส) ที่ผ่านการกำจัดความชื้นโดยการตากแดดมาจ่ายเข้าที่ช่องจ่ายเชื้อเพลิง (Solid fuel port) ดังแสดงในรูปที่ 1 สกรูลำเลียง (Screw conveyor) จะลำเลียงเชื้อเพลิงไปยังห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) พร้อมทั้งจ่ายอากาศด้วยพัดลมเป่า (Blower) ที่ช่องจ่ายอากาศ (Air port) เพื่อใช้ในการเผาไหม้ จากนั้นจุดไฟด้วยวิธีไฟล่อ (Pilot flame) ที่ช่องจุดติดไฟ เมื่อเชื้อเพลิงติดไฟเกิดการเผาไหม้แล้วเพิ่มความเร็วอากาศด้วยพัดลมเป่า (Blower) เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่รุนแรงขึ้น

AEC-24



รูปที่ 1 แผนผังหัวพ่นไฟวัสดุพอรุนเชื้อเพลิงแข็งชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

สำหรับการจ่ายอากาศกับเชื้อเพลิงนั้นจะปรับอัตราการจ่ายตามปริมาณที่ต้องการทดลองโดยอัตราการจ่ายของอากาศนั้นจะเริ่มจ่ายที่ 10 m³/hr และจะปรับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเพิ่มครั้งละ 5 m³/hr แต่ไม่เกิน 30 m³/hr ส่วนอัตราการจ่ายของเชื้อเพลิงนั้นจะใช้ทั้งหมด 3 ค่าคือ 0.114 kg/min, 0.142 kg/min และ 0.176 kg/min เพราะขีดจำกัดความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับสกรูลำเลียงและมอเตอร์ได้ถูกออกแบบให้ปรับระดับความเร็วรอบได้สามระดับ ดังนั้นการจ่ายเชื้อเพลิงแข็งจะจ่ายได้สามระดับเช่นเดียวกัน

3.3 การหาค่าความชื้นของแกลบ

การวิเคราะห์หาค่าความชื้นเป็นวิธีที่ควรดำเนินการก่อนนำเชื้อเพลิงชีวมวล (แกลบ) ไปทำการเผาไหม้ เนื่องจากต้องทำการทดลองที่สภาวะความชื้นเดียวกันตลอดการศึกษาของงานวิจัยนี้ และจะรายงานองค์ประกอบทางเคมีบนพื้นฐานร้อยละของวัตถุแห้ง (%)

Dry matter basis DM) ซึ่งปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในแกลบ จะมีความสำคัญมากเพราะความชื้นสูงมีผลต่อการติดไฟของแกลบ

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของงานวิจัยนี้กระทำโดยนำเชื้อเพลิง (แกลบ) มาชั่งมวลแล้วบันทึกค่าไว้เป็นมวลก่อนตากแดด จากนั้นนำแกลบไปตากแดดจนมวลของแกลบไม่เปลี่ยนแปลง แล้วนำแกลบมาชั่งมวลไว้เป็นมวลหลังตากแดด และทำการคำนวณค่าความชื้นดังนี้

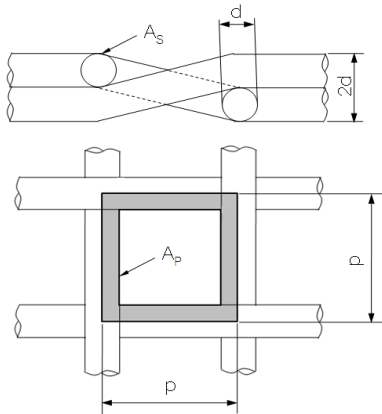
$$(m_i - m_f) / m_f \times 100\% \quad (1)$$

3.4 การหาความพรุนของวัสดุพอรุนชนิดตาข่าย

ค่าความพรุน (Porosity, ϕ) ของตาข่ายสแตนเลสในงานวิจัยนี้จะคำนวณจากโครงสร้างทางกายภาพที่มีลักษณะตาข่ายสานกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 [10]

AEC-24

การคำนวณหาค่าความพรุนจะพิจารณาจากปริมาตรเนื้อวัสดุของตาข่าย ซึ่งในที่นี้หาจากสัดส่วนเชิงปริมาตรของเนื้อวัสดุในหนึ่งหน่วย (Fraction of volumetric material per unit volume, F_v) หักออกจากสัดส่วนปริมาตรทั้งหมดในหนึ่งหน่วยปริมาตร (Unit total volume, $F_T = 1$)



รูปที่ 2 วัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลส [9]

ดังนั้นค่าความพรุน (ϕ) ของตาข่ายสแตนเลสหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\phi = 1 - F_v = 1 - \left[\frac{A_s \times p \times 2}{p \times p \times d} \right] = 1 - \left[\frac{\pi \frac{d^2}{4} \times p \times 2}{p \times p \times d} \right]$$

$$= 1 - \left(\frac{\pi d}{2p} \right) \quad (2)$$

สำหรับคุณลักษณะทางกายภาพตาข่ายสแตนเลสของงานวิจัยนี้ จะเลือกใช้ค่าความถี่หรือจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้ว (Pores per inch, PPI) หรือขนาดของเมส (Mesh Size) แตกต่างกัน 3 ขนาด ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางกายภาพของตาข่ายสแตนเลส

| PPI (Mesh size) | Wire-net diameter d (mm) | Pitch p (mm) | F_v | ϕ |
|--------------------|--------------------------------|--------------------|-------|--------|
| 4 | 0.91 | 6.35 | 0.235 | 0.774 |
| 8 | 0.56 | 3.18 | 0.276 | 0.723 |
| 10 | 0.46 | 2.284 | 0.336 | 0.715 |

4. ผลการทดลอง

4.1 อิทธิพลความหนาของชั้นวัสดุพรุน (H_T)

รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลความหนาของชั้นวัสดุพรุน (H_T) ต่อปริมาณโครงสร้างทางความร้อนหรือการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดความยาวในแนวแกนของหัวฟันไฟ ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า โครงสร้างทางอุณหภูมิ (Temperature profile, T) และเป็นการทดลองที่สภาวะการเผาไหม้ $Q_F = 0.114$ kg/min, $Q_A = 15$ m³/hr, PPI = 10 และ $\phi = 0.715$ พบว่า T มีของหัวฟันไฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม H_T ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ H_T มีค่ามากตาข่ายจะมีพื้นที่สัมผัสภายในและเนื้อวัสดุที่เยอะกว่าจึงส่งผลให้สามารถกักเก็บพลังงานจากเปลวไฟหรือความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (แกลบ) ได้อย่างเต็มที่ จึงช่วยแผ่รังสีหรือสลับส่นกกลไกการเผาไหม้ได้ดีกว่าตาข่ายที่มี H_T ต่ำ ๆ

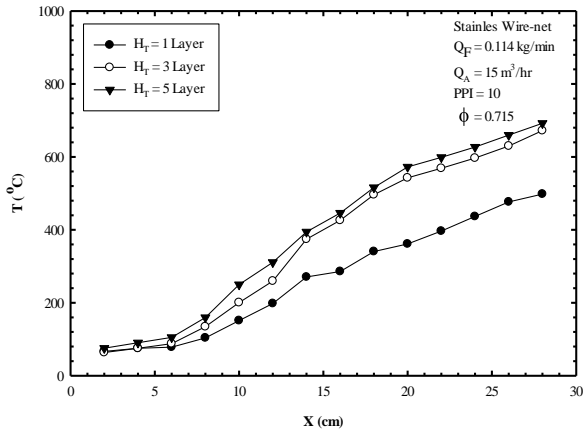
4.2 อิทธิพลอัตราการจ่ายอากาศ (Q_A)

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศ (Q_A) กรณีติดตั้งวัสดุพรุนตาข่ายสแตนเลสต่อ T ที่สภาวะ $Q_F = 0.114$ kg/min, PPI = 10, $\phi = 0.715$ และ $H_T = 3$ พบว่า T ของหัวฟันไฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่สภาวะ $Q_A = 10$ m³/hr ถึง $Q_A = 15$ m³/hr แต่ถ้าเพิ่ม Q_A ต่อไปจะพบว่า T ของเปลวไฟมีแนวโน้มลดลง ปรากฏการณ์เช่นนี้สามารถอธิบายได้ตามความเป็นจริงของความเร็วของอากาศที่ส่งเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิง (แกลบ) พบว่าความเร็วที่เพิ่มสูงขึ้นจะพัดเอาแกลบออกไปจากห้องเผาไหม้ได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เชื้อเพลิงไม่สามารถเผาไหม้ได้เต็มที่ มีเพียงเชื้อเพลิงบางส่วนเท่านั้นที่สามารถเผาไหม้ได้ จึงนำมาสู่การเผาไหม้ที่ไม่ดีส่งผลให้อุณหภูมิลดลง และจะมี T สูงสุดที่ $Q_A = 15$ m³/hr

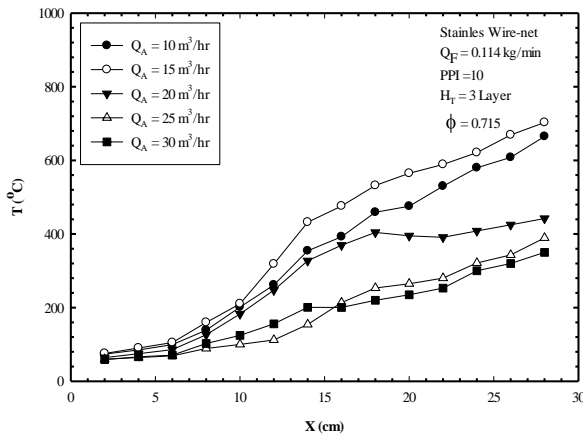
4.3 อิทธิพลอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F)

รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) กรณีติดตั้งวัสดุพรุนตาข่ายสแตนเลสต่อ T ที่สภาวะ $Q_A = 15$ m³/hr, PPI = 10, $\phi = 0.715$ และ $H_T = 3$ พบว่า T มีแนวโน้มลดต่ำลงเล็กน้อยตามปริมาณ Q_F ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้ไม่ทั่วถึงกับปริมาณของเชื้อเพลิงที่จ่ายเข้ามายังห้องเผาไหม้ที่มากเกินไป จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่แย่งเมื่อ Q_F เพิ่ม และจะมี T สูงสุดที่ $Q_F = 0.114$ kg/min

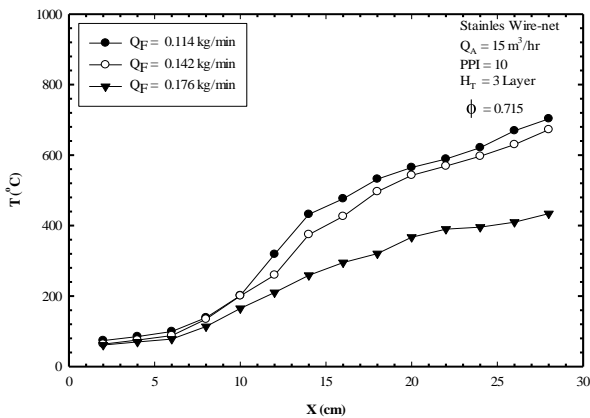
AEC-24



รูปที่ 3 อิทธิพลของ H_T ต่อ T ที่ติดตั้งวัสดุพอรุนตาข่ายสแตนเลส



รูปที่ 4 อิทธิพลของ Q_A ต่อ T ที่ติดตั้งวัสดุพอรุนตาข่ายสแตนเลส



รูปที่ 5 อิทธิพลของ Q_F ต่อ T ที่ติดตั้งวัสดุพอรุนตาข่ายสแตนเลส

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเผาไหม้สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) โครงสร้างทางอุณหภูมิตั้ง (T) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตาม H_T ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ H_T มีค่ามาก ตาข่ายจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มมากขึ้น จึงมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (แกลบ) ได้อย่างเต็มที่ช่วยแผ่รังสีหรือสนับสนุนกลไกการเผาไหม้ได้ดีกว่ากรณีตาข่ายที่มี H_T ต่ำ ๆ

2) โครงสร้างทางอุณหภูมิตั้ง (T) มีแนวโน้มลดลง เมื่อ Q_A เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความเร็วของอากาศที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้เชื้อเพลิงถูกพัดพาออกมากกว่าอากาศมากยิ่งขึ้น จึงเกิดการเผาไหม้ที่ไม่ดี และจะมี T สูงสุดที่ $Q_A = 15 \text{ m}^3/\text{hr}$ ของการทดลองในงานวิจัยนี้

3) โครงสร้างทางอุณหภูมิตั้ง (T) มีแนวโน้มลดลง เมื่อ Q_F เพิ่มขึ้น เพราะการเผาไหม้ไม่เต็มที่เผาไหม้เชื้อเพลิงไม่หมด เนื่องจากอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงที่มากเกินไป และจะมี T สูงสุดที่ $Q_F = 0.114 \text{ kg/min}$ ของการทดลองในงานวิจัยนี้

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนบทความขอขอบคุณพระคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (EPPO) กระทรวงพลังงาน กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย รวมทั้งสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ที่ได้ให้การสนับสนุน อุปกรณ์การทดลอง และสถานที่ในการทดลอง เพื่อใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ (2555). ประโยชน์จากแกลบ ของเหลือใช้ทางการเกษตร, วารสารพลังงาน, ตุลาคม-ธันวาคม 2555.
[2] นิยม ศรีศิริสิทธิกุล (2546). เตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบด แบบอากาศหมุนวน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

AEC-24

- [3] Ross, A.B. (2001). Measurement and prediction of the emission pollutants from the combustion of coal and biomass in a fixed bed furnace, *Fuel*, 81., pp.571 - 582.
- [4] ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์ (2555). อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไอเซชันที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ – แกลบในเตาเผาไหม้วอร์ - เทคฟลูอิดไอเซชันเบดที่ใช้ทรายเป็นเบด, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 26*, 24 - 27 ตุลาคม 2555.
- [5] พรชัย การะวงศ์ และคณะ. (2557). การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อเพลิงแข็งในหัวฟันไฟวัสดุพูน, *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา*
- [6] Thawin Ponsen and Boonrit Prasartkaew (2014). Pulsation Gas Flow Porous Medium Burner Fueled with Solid Feedstock, *The 5th TSME International Conference on Mechanical Engineering, 17 - 19th December 2014.*
- [7] Hallberg, J. (1997). Solid fuel burner, *USA*, Patent Number: US 5680822 A.
- [8] Rogaume, T. (2002). The effects of different airflow on the formation or pollutants waste incineration, *Fuel*, 81., pp. 2277 - 2288.
- [9] Ruck, B. (2010). Operating method for a solid fuel burner, *German*, Patent Number: 20100178622.
- [10] บัณฑิต กฤตาคม (2553). หัวฟันไฟแบบวัสดุพูนโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง, *วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, 14, มิถุนายน 2553, หน้า 46 – 58.