

การตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งไร้ควันเมื่อเติมตัวประสาน
จากขยะพลาสติกพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีน

Investigation the Properties of Smokeless Charcoal Briquette with
Adding Binder from Polystyrene and Polypropylene Plastic Waste

พัชราภรณ์ สมดี กนกอร น้อยเล็ก อนิวรรต หาสุข ชานนท์ บุนนัท และ พิตินันท์ วสันตเสนานนท์

Patcharaporn Somdee Kanokon Nuilek Aniwat Hasuk

Chanon Bunon and Pitinan Wasantasenanon

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดนครราชสีมา

E-mail : somdee_patch@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของถ่านอัดแท่งไร้ควันด้วยการเติมของเหลวที่ได้จากขยะพลาสติกชนิดพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีนด้วยกระบวนการไพโรไลซิสเป็นตัวประสาน โดยในการศึกษานี้ได้เปลี่ยนแปลงสัดส่วนการเติมของเหลวจาก 0.00 ถึง 0.15 kg (0 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) จากนั้นทำการทดสอบและตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐานที่กำหนด ผลการทดลองพบว่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดคือ 0.88 N/mm^2 เมื่อเติมของเหลวประสาน 0.05 kg เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเหลวพบว่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดมีแนวโน้มลดลง ค่าพลังงานความร้อนสูงสุดของถ่านอัดแท่งคือ $6,387 \text{ kcal/kg}$ เมื่อเติมของเหลว 0.15 kg โดยการเติมของเหลวระหว่าง 0.05-0.15 kg พบว่าค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดทั้งที่ 5,500 และ $6,000 \text{ kcal/kg}$ ค่าความชื้นสูงสุดคือร้อยละ 6.17 เมื่อเติมของเหลวที่ 0.05 kg โดยถ่านที่เติมของเหลวจากขยะพลาสติกเป็นตัวประสานระหว่าง 0.05-0.15 kg มีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 ตามที่กำหนด ปริมาณสารระเหยสูงสุดคือ 35.91% เมื่อเติมของเหลวที่ 0.10 kg ในขณะที่ค่าปริมาณเถ้าสูงสุดเท่ากับ 27.44% เมื่อเติมของเหลวคือ 0.05 kg โดยเถ้าของถ่านอัดแท่งมีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (10%) อย่างไรก็ตามการเติมของเหลวจากขยะพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีนเพื่อเป็นตัวประสานสามารถเพิ่มค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด ค่าพลังงานความร้อน และปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งไร้ควันเมื่อเทียบกับไม่เติมได้เป็น 1.84 เท่า, 0.01 เท่า และ 0.22 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง ตัวประสานจากขยะพลาสติก กระบวนการไพโรไลซิส

Abstract

This research aims to increase the capacity of smokeless charcoal briquette by adding liquid from polystyrene and polypropylene waste via pyrolysis process for binder. In this study, the proportions of liquid were varied from 0.00 to 0.15 kg (0 to 15%wt). Then, the standard properties of charcoal briquette were tested and investigated. The results showed that the highest compression strength was 0.88 N/mm^2 when adding 0.05 kg of liquid binder. When increasing the liquid proportions, it was found that the compression strength trend decreased. The highest heat energy of charcoal briquette was $6,387 \text{ kcal/kg}$ when adding 0.15 kg of liquid. By filling 0.05-0.15 kg of liquid, the result showed that the heat energy became higher than standard both of 5,500 and $6,000 \text{ kcal/kg}$. The highest moisture was 6.17% when adding 0.05 kg of liquid. The Charcoal briquette added between 0.05-0.15 kg of

liquid from plastic waste for binder had moisture lower than 8%. The highest volatile combustible was 35.91% when adding 0.10 kg of liquid while the highest proportion of ash was 27.44% when adding 0.05 kg of liquid as the proportion charcoal briquette ash was 10% higher than standard. However, adding liquid binder from polystyrene and polypropylene waste could increase the compression strength, heat energy and volatile combustible 1.84, 0.01, and 0.22 times more than not adding the liquid binder respectively.

Keywords: Charcoal Briquette, Binder from Plastic Waste, Pyrolysis Process

1. บทนำ

ถ่านอัดแท่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถทดแทนถ่านจากป่าไม้ธรรมชาติที่กำลังจะหมดไป ในการผลิตถ่านอัดแท่งจะต้องมีสถานะที่เหมาะสมในการผลิต ตัวประสานเป็นสารที่ผสมรวมเข้ากับวัสดุชีวมวลหรือวัสดุอื่นๆ เพื่อยึดเกาะวัสดุให้เกาะติดได้ดีและคงรูปไว้ได้ ซึ่งมีการใช้ตัวประสานหลายชนิด ขึ้นอยู่กับชีวมวล เช่น ส่าเหล้า แป้งเปียก ผงแป้งมัน กากน้ำตาล เป็นต้น ตัวประสานในการทำถ่านอัดแท่งที่นิยมใช้กันในปัจจุบันได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล (รุ่งโรจน์, 2553) ข้อดีอย่างหนึ่งของตัวประสานแป้งมันสำปะหลังและกากน้ำตาลคือมักทำให้เกิดเชื้อราหากถ่านมีความชื้นสูง เนื่องจากมีแป้งและกากน้ำตาลเป็นอาหารของเชื้อราผสมอยู่ นอกจากนี้ถ่านที่ใช้ตัวประสานทั้งสองยังมีการลุกติดไฟช้า ชีวมวลชนิดหนึ่งที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ได้แก่ เศษกิ่งไม้ในสวนผลไม้ ยกตัวอย่างเช่น ไม้มะขามซึ่งมีพื้นที่ในการปลูกในประเทศไทยประมาณ 30,050 ไร่ โดยส่วนมากจะอยู่ในจังหวัดเพชรบูรณ์ เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วชาวสวนจะทำการตัดแต่งกิ่งมะขามและพบว่าไม้มะขามเป็นไม้เนื้อแข็งสามารถผลิตถ่านได้ดี

ขยะพลาสติกหรือพลาสติกรีไซเคิลเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบประเภทเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ หรือ ก๊าซธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีเหล่านี้ก็ผลิตมาจากปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ขยะเหล่านี้เป็นขยะที่ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นพันปี และอาจปล่อยสารพิษออกมา ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีเปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงานมาใช้เพิ่มมากขึ้น โดยหลักการดังกล่าวนี้เรียกว่า ปิโตรเคมีย้อนกลับ (ศิริรัตน์, 2553) กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้หลักการปิโตรเคมีย้อนกลับ โดยของเสียจะถูกให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 500–600°C เพื่อทำลายพันธะทางเคมีของโมเลกุลได้เป็นผลิตภัณฑ์จำพวกของเหลวและก๊าซต่างๆ โดยของเหลวที่เกิดขึ้นได้แก่ น้ำ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก อะซิโตน เมทานอล เมทิลอะซิเตท ฟีนอล ส่วนก๊าซต่างๆ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน รวมทั้งพวก ทาร์และชาร์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) ของเหลวจากกระบวนการไพโรไลซิสมีลักษณะคล้ายกับน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีคุณสมบัติการลุกติดไฟที่ดีและมีความหนืดที่กว่าน้ำปกติซึ่งอาจใช้เป็นตัวประสานอนุภาคต่างๆ ได้

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการนำพลังงานชีวมวลและขยะพลาสติกมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีความสนใจในการนำของเหลวที่ได้จากขยะพลาสติกเมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิสมาใช้เป็นตัวประสานในการทำถ่านอัดแท่ง โดยใช้ผงถ่านจากกิ่งไม้มะขาม และของเหลวจากขยะพลาสติกมาเป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มสมรรถนะของถ่านอัดแท่งไว้ควั่นให้ดียิ่งขึ้น

2. วิธีการทดลอง

1. กลั่นของเหลวเพื่อเป็นตัวประสานจากขยะพลาสติกรีไซเคิลด้วยกระบวนการไพโรไลซิสที่ช่วงอุณหภูมิ 300-600°C
2. บดลดขนาดถ่านไม้มะขามด้วยเครื่อง Ball Mill และนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนให้ได้ขนาดอนุภาคของผงถ่านน้อยกว่า 30 mesh

3. ผสมของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสของขยะพลาสติกกับผงถ่านที่ได้ทำการคัดแยกขนาดแล้วตามสัดส่วนที่กำหนด จนเข้าเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำการอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน 1.5 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 4.0 cm ยาว 4.5 cm

4. นำถ่านที่ได้จากการอัดขึ้นรูปแล้วมาทำการตากแห้งโดยใช้การผึ่งในที่ร่มที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกเป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง จากนั้นวัดขนาดถ่านอัดแท่งโดยใช้ เวอร์เนียร์ พร้อมชั่งน้ำหนักถ่านแต่ละก้อน

5. ทดสอบค่าความต้านทานแรงกดอัดถ่านอัดแท่งด้วยเครื่อง Universal Tensile Test โดยใช้ Load cell เท่ากับ 10 kN (UTM, LLOYD INSTRUMENTS, LS10K)

6. หาค่าปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM D5865 โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา)

7. หาปริมาณความชื้น ASTM D3173 โดยนำถ่านและฝาที่สะอาดไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 °C แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น 15 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_1) นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 °C ประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น 20 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_2) และคำนวณตามสมการ $M = (W_1 - W_2)/W \times 100$

8. หาปริมาณเถ้า (Ash) ASTM D3174 โดยนำถ่านและฝาที่สะอาดไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105°C แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_3) นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 750°C ประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น 20 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_4) จากนั้นทำการคำนวณตามสมการ $M = (W_3 - W_4)/W \times 100$

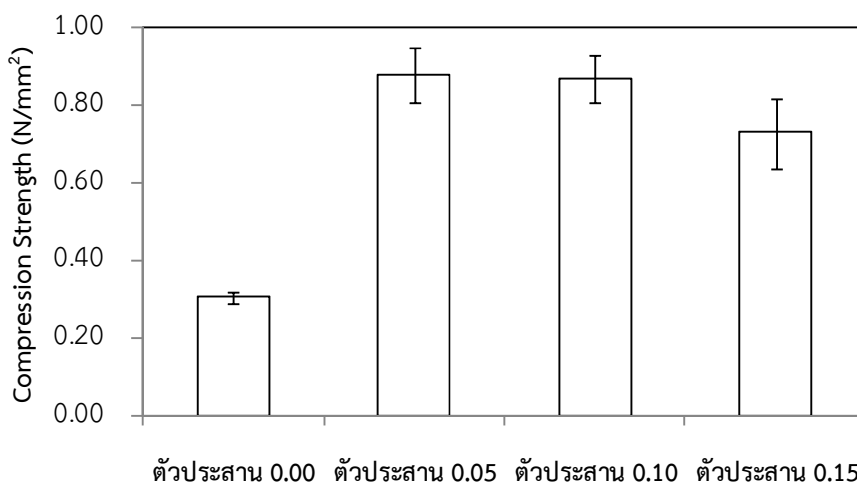
9. หาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ASTM D3175 โดยเผา crucible พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950°C ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปทำให้เย็นโดยนำไปใส่ในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_5) ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำไปใส่ในเตาเผา ประมาณ 7-10 นาที แล้วปล่อยให้เย็นในเตา 7 นาที นำออกจากเตาเผา ทั้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_6) จากนั้นทำการคำนวณตามสมการ $V = (W_5 - W_6)/W \times 100 - M$ โดย V คือร้อยละของปริมาณสารระเหย และ M คือร้อยละปริมาณความชื้น

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ความต้านทานต่อแรงอัด : ผลการทดสอบพบว่า ถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้มะขามมีค่าความต้านทานต่อแรงอัดเท่ากับ 0.31 N/mm² เมื่อทำการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกไร้ซีลพบว่ามีค่าความต้านทานต่อแรงอัดเพิ่มมากขึ้น โดยที่สัดส่วนตัวประสานจากขยะพลาสติกไร้ซีลเท่ากับ 0.05 kg มีค่าความต้านทานต่อแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 0.88 N/mm² ซึ่งกล่าวได้ว่าที่สัดส่วนของเหลวจากขยะพลาสติกนี้สามารถเป็นตัวประสานของอนุภาคถ่านได้ดีจึงทำให้คงรูปได้ดีกว่าไม่เติม และเมื่อเพิ่มสัดส่วนตัวประสานเป็น 0.10 และ 0.15 kg พบว่าค่าความต้านทานแรงอัดมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเพราะตัวประสานที่มาจากขยะพลาสติกไร้ซีลนี้มีลักษณะของเหลวหนืดและคล้ายน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีความมันและลื่นด้วยเหตุนี้เมื่อเติมในสัดส่วนที่เพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้อนุภาคของผงถ่านไม้มะขามและหินปูนเกิดการเลื่อนไหลตามแรงกดอัดจนขึ้นถ่านอัดแท่งแตก และส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกลดลง แสดงดังภาพที่ 1

จากผลที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าสัดส่วนตัวประสานจากขยะพลาสติกไร้ซีลมีผลต่อความต้านทานแรงอัดของถ่านอัดแท่ง นอกจากนี้ค่าความต้านทานแรงอัดของถ่านอัดแท่ง ยังอาจแสดงผลต่ออุณหภูมิของถ่านอัดแท่งโดยถ่านอัดแท่งที่มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงเป็นถ่านที่มีความคงรูปสูง จึงส่งผลให้ถ่านอัดแท่งสามารถให้ความร้อนได้เป็นเวลานาน

ไม่แตกหักเร็ว และเป็นการแสดงถึงการกระจายตัวของตัวประสานในก้อนถ่านที่ดีจึงทำให้อนุภาคถ่านอัดแน่นเมื่อได้รับแรงอัดก็สามารถต้านทานแรงอัดได้สูงอีกด้วย

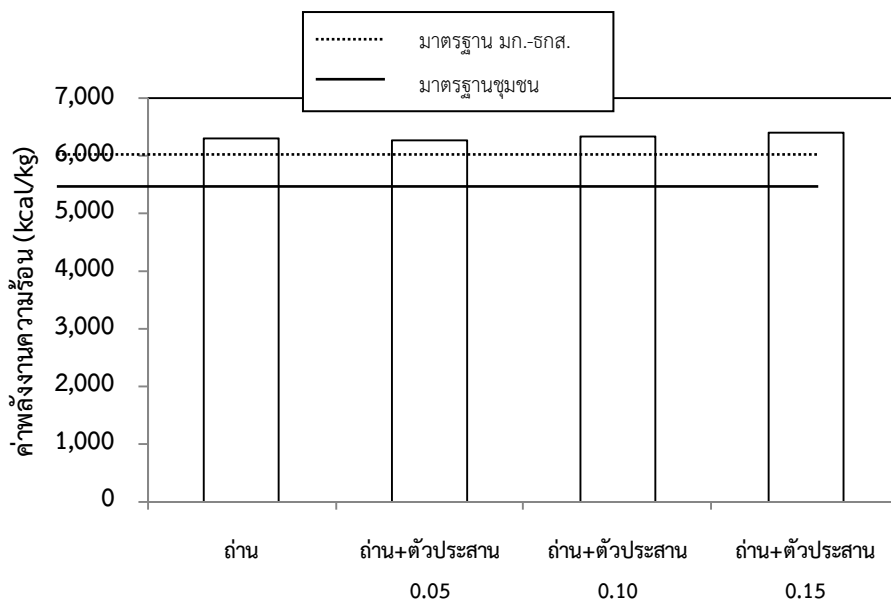


ภาพที่ 1 เปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงอัดของถ่านอัดแท่งเมื่อมีการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกที่สัดส่วนต่างๆ

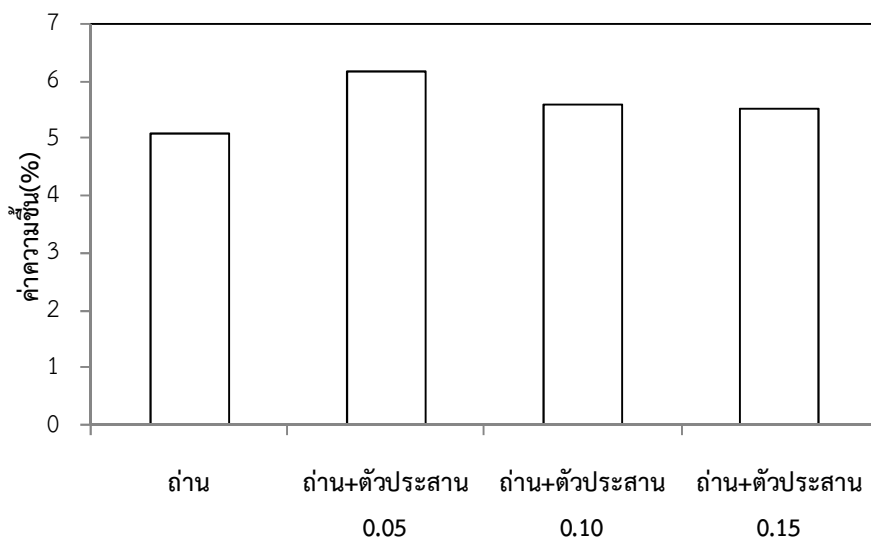
ค่าพลังงานความร้อน : ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติก พบว่าค่าพลังงานของถ่านอัดแท่งที่เติมตัวประสานจากขยะพลาสติกไร้เซลล์ที่เงื่อนไขต่างกัน มีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานชุมชนและเกณฑ์มาตรฐาน มก.-ธกส. ในทุกเงื่อนไขการทดลอง แสดงดังภาพที่ 2 โดยที่สัดส่วนตัวประสานจากขยะพลาสติกเท่ากับ 0.15 kg พบว่ามีค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าเงื่อนไขอื่นๆ เท่ากับ 6,387 kcal/kg อาจเป็นผลจากคุณสมบัติของตัวประสานจากขยะพลาสติกที่มีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันเชื้อเพลิงและมีความหนืดส่งผลให้อนุภาคของถ่านเกาะกลุ่มได้ดีและสามารถให้ค่าความร้อนที่สูงขึ้นได้ นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมตัวประสานที่สัดส่วนเพิ่มขึ้นจาก 0.05 ถึง 0.15 kg ส่งผลต่อค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งเล็กน้อย

ค่าความชื้น : ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งที่มีการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกได้ทำการตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM D3173 โดยยึดหลักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547 (ก)) ที่ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก จากผลการตรวจสอบความชื้นของถ่านอัดแท่งทุกเงื่อนไขพบว่าทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แสดงดังภาพที่ 3 โดยค่าความชื้นจะอยู่ในช่วงร้อยละ 5.07 ถึง 6.17 ซึ่งเมื่อเติมของเหลวที่ 0.05 kg จะมีค่าความชื้นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 6.17

ปริมาณเถ้า : ค่าปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งที่มีการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกไร้เซลล์ ได้ทำการตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM D3174 โดยยึดหลักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม่หุงต้ม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547 (ข)) ที่ความปริมาณเถ้าไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ผลพบค่าปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งที่มีการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกเกินกว่าค่ามาตรฐานโดยอยู่ในช่วง 22.64 ถึง 27.44% โดยสัดส่วนของเหลวที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลอย่างมีแนวโน้มต่อปริมาณเถ้า แสดงดังภาพที่ 4

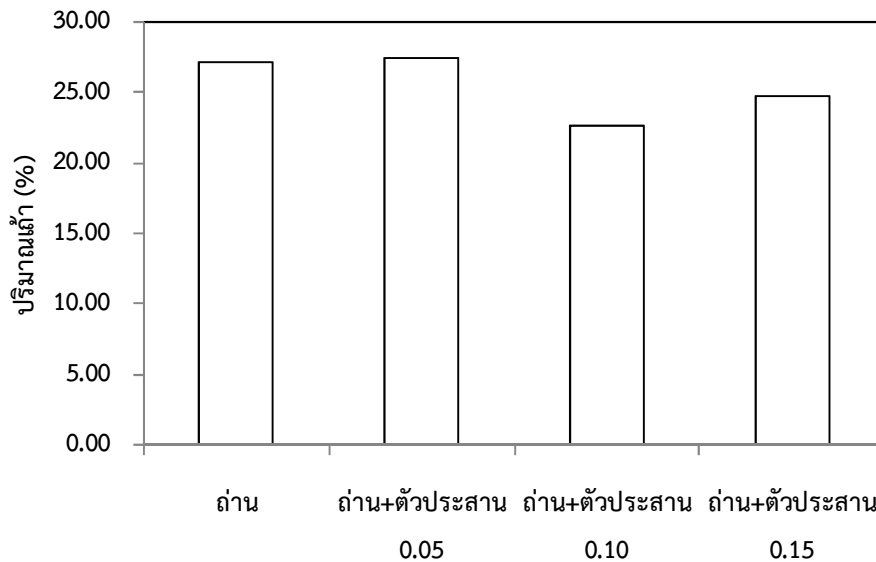


ภาพที่ 2 ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกที่สัดส่วนต่างๆ

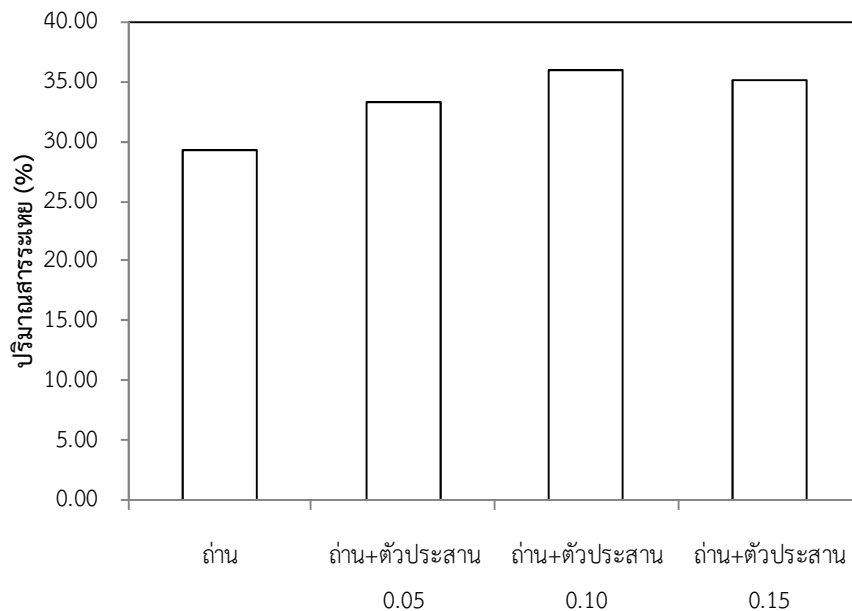


ภาพที่ 3 ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกที่สัดส่วนต่างๆ

ปริมาณสารระเหย : หาปริมาณสารระเหยตามมาตรฐาน ASTM D3175 ซึ่งเป็นการหาค่าประกอบที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน หากมีปริมาณสารระเหยสูง จะมีแนวโน้มของค่าความร้อนสูง ผลของปริมาณสารระเหยพบว่ามีปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วง 29.31 ถึง 35.91% โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบพบว่าสัดส่วนของตัวประสานจากขยะพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้น ไม่ส่งผลแก่ปริมาณสารระเหยของถ่านไม้มะขามอัดแท่งนี้ โดยปริมาณสารระเหยสูงสุดเมื่อเติมของเหลวที่ 0.10 kg ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ค่าปริมาณน้ำของถ่านอัดแท่งเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกที่สัดส่วนต่างๆ



ภาพที่ 5 ปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกที่สัดส่วนต่างๆ

4. สรุป

ผลการวิจัยพบว่าการเติมของเหลวจากขยะพลาสติกเป็นตัวประสานสามารถทราบถึงช่วงคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งไร้ควันนี้ในด้านต่างๆ คือถ่านอัดแท่งมีความต้านทานแรงอัดอยู่ในช่วง 0.31 ถึง 0.88 N/mm² ซึ่งที่สัดส่วน 0.05 kg มีค่าความต้านทานต่อแรงอัดสูงสุด ค่าพลังงานความร้อนอยู่ในช่วง 6,278 ถึง 6,387 kcal/kg ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเติมของเหลวที่ 0.15 kg ค่าความชื้นอยู่ในช่วง 5.07 ถึง 6.17% ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเติมของเหลวที่ 0.05 kg นอกจากนี้ยังมีค่าปริมาณน้ำอยู่ในช่วง 22.64 ถึง 27.44% ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเติมของเหลวที่ 0.05 kg และปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วง

29.31 ถึง 35.91% ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเติมของเหลวที่ 0.10 kg โดยการเติมของเหลวจากขยะพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีน เพื่อเป็นตัวประสานนี้สามารถเพิ่มค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด ค่าพลังงานความร้อน และปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งไร้ควันได้เป็น 1.84 เท่า, 0.01 เท่า และ 0.22 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งไร้ควันที่ไม่เติมของเหลว และพบว่าค่าความชื้นต่ำกว่าเกณฑ์ที่ให้มีได้ ในขณะที่เดียวกันปริมาณถ้ามีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนดทั้งที่เติมและไม่เติมของเหลว

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนการวิจัย เครื่องมือ และสถานที่ในการทดลองวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล. 2553. การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งจันสำปะหลัง. ปริญญาโท กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- ศิริรัตน์ จิตการคำ. 2553. เศรษฐกิจพอเพียง, น้ำมันจากขยะพลาสติกและยางรถยนต์เก่า. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2555. คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547 (ก). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง. [online] เข้าถึงจาก http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps238_47.pdf. สืบค้นเมื่อ 25 มีนาคม พ.ศ. 2552.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547 (ข). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม. [online] เข้าถึงจาก <http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/standard2.php>. สืบค้นเมื่อ 25 มีนาคม พ.ศ. 2552.