

ผลของชนิดเนื้อไม้ต่อลักษณะเฉพาะอุณหภูมิเผาไหม้และคุณสมบัติของถ่านที่
สังเคราะห์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอุณหภูมิสูง

**Effect of Wood Type on Combustion Temperature Characteristics and Properties
of Charcoal Prepared by High Temperature Pyrolysis Process**

หวัติ พิมพะบุตร^{1*}, อานุสรณ์ ชัยยะ², สายไหม ชาวกลา²
Nuwat Phimpabutra^{1*}, Anuson Chaiya², Saimai Chawkla²

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

¹Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

²Program of Physics, Faculty of Education, Loei Rajabhat University

* E-mail: nuwat.phil@lru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดเนื้อไม้ต่อลักษณะเฉพาะอุณหภูมิเผาไหม้และคุณสมบัติของถ่านที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสด้วยเตาเผาถ่านแบบไหลขึ้นขนาดเล็ก ไม้ที่นำมาสังเคราะห์ถ่านเป็นวัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ ตะเกียบไม้ไผ่ กะลามะพร้าว ไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถิน ศึกษาการเผาไหม้โดยการวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านขณะสังเคราะห์เทียบกับเวลา ศึกษาร้อยละของถ่านที่ได้ ศึกษาคุณสมบัติของถ่าน ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM เพื่อนำมาหาลักษณะของคาร์บอนสเตียร์ ศึกษาค่าความร้อนของถ่านด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าลักษณะเฉพาะของอุณหภูมิในการเผาไหม้เปลี่ยนไปตามชนิดของเนื้อไม้ที่นำมาสังเคราะห์ โดยอุณหภูมิสูงสุดของการเผาของไม้กระถิน ตะเกียบ กะลามะพร้าว และไม้ยูคาลิปตัส เท่ากับ 827°C 693°C 624°C และ 597°C ตามลำดับ ตะเกียบไม้ไผ่ และกะลามะพร้าว มีร้อยละผลผลิตถ่านสูงสุดประมาณ 28.0% รองลงมา คือ ไม้ยูคาลิปตัส มีร้อยละผลผลิตถ่าน เท่ากับ 27.0% และไม้กระถิน มีร้อยละผลผลิตถ่านน้อยที่สุด เท่ากับ 24.0% และพบว่ากะลามะพร้าว ไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถิน และไม้ตะเกียบ มีร้อยละปริมาณคาร์บอนสเตียร์ เท่ากับ 45.9% 41.6% 36.5% และ 30.4% ตามลำดับ และเมื่อวัดค่าความร้อนพบว่าถ่านทุกชนิดมีค่าความร้อนอยู่ที่ 32.49-33.23 kJ/g จากผลการศึกษาจะเห็นว่าร้อยละของคาร์บอนสเตียร์ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อไม้ โดยเนื้อไม้ที่มีความหนาแน่นสูงจะมีปริมาณคาร์บอนสเตียร์สูง และจากข้อมูลค่าความร้อนที่วัดได้จากถ่านทุกชนิดมีค่าความร้อนค่อนข้างสูงและมีความแตกต่างกันน้อย อาจบ่งชี้ให้เห็นว่าการเผาถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสด้วยเตาแบบไหลขึ้นสามารถไล่ส่วนประกอบที่ไม่ใช่คาร์บอนออกจากเนื้อไม้ได้ดีเมื่อนำมาเผาจึงได้ความร้อนสูง

คำสำคัญ: คาร์บอนสเตียร์ เตาเผาถ่านแบบไหลขึ้น ถ่านไม้ ไพโรไลซิส

Abstract

This research aims to study the effects of wood type on characteristics of combustion temperatures and properties of charcoal synthesized by pyrolysis process with small inverted downdraft kiln. The waste woods; i.e.: bamboo chopsticks, coconut shells, eucalyptus and acacia were used as raw materials. The combustion characteristic was investigated by measuring the temperature inside the kiln as a function of time. The percent yield was obtained from ratio between mass of synthesized charcoal to mass of raw wood. The charcoal properties such as apparent density, moisture content, volatile gas and ash content were measured by ASTM standard methods which used to reveal fixed carbon. The charcoal heat value was measured by Bomb calorimeter. The results showed that the characteristic of the combustion temperature depend on type of wood. The maximum temperatures during combustion process were 827 °C, 693°C, 624°C and 597°C for acacia, bamboo chopsticks, coconut shells and eucalyptus, respectively. The maximum percent yield of charcoals was 28.0% obtained from bamboo chopsticks and coconut shells, second value of 27.0% from eucalyptus and minimum value of 24.0% from acacia. The fixed carbon of coconut shells, eucalyptus, acacia and bamboo chopsticks was 45.9% , 41.6% , 36.5% and 30.4% , respectively. The heat values were found to be 32.49-33.23 kJ/g. According to the study, the percentage of fixed carbon depends on the type of the wood, which high density showed high carbon content. The results of heat value of all synthesized charcoal showed high heat values with small amount heat different indicated that the charcoal obtained by using pyrolysis process of inverted downdraft kiln possibly well remove non-carbon components from the wood.

Keywords: fixed carbon, inverted downdraft kiln, charcoal, pyrolysis

บทนำ

ถ่าน คือ เชื้อเพลิงที่เกิดจากการแปรรูปวัสดุชีวมวลโดยการเผาในบริเวณที่มีอากาศน้อยโดยใช้ความร้อนสูงเพื่อให้เกิดสลายตัวของ ความชื้น น้ำมันดิน สารระเหย และสารประกอบอื่น ๆ โดยคงเหลือปริมาณคาร์บอนที่สูง เมื่อนำถ่านมาเป็นเชื้อเพลิงจึงสามารถให้พลังงานความร้อนที่สูงกว่าการเผาชีวมวลธรรมดา ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำวัสดุชีวมวลที่เหลือทิ้งจากทางการเกษตร จากร้านอาหาร เช่น เปลือกมังคุด เปลือกเงาะ (ชลลดา ไร่ขาม และคณะ, 2560) กะลามะพร้าว (เจือจันทร์ เกตษา, 2556) หรือพวกไม้โตเร็ว เช่น ยูคาลิปตัส ต้นกระถิน และชีวมวลอื่น ๆ มาสังเคราะห์เป็นถ่านเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อน

ไพโรไลซิส (pyrolysis) คือ หนึ่งในกระบวนการที่ใช้สังเคราะห์ถ่าน เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลโดยใช้ความร้อนสูงในบริเวณอับอากาศ ทำให้เกิดการปลดปล่อย น้ำมันไพโรไลติก เมทานอล กรดน้ำส้ม และสารระเหย และของแข็งที่เป็นคาร์บอนในรูปของถ่าน (พิสิษฐ์ มณีโชติ และคณะ, 2558)

ได้มีการนำกระบวนการไพโรไลซิสไปใช้กับวัสดุทางการเกษตร คือ เปลือกส้มโอ ชานอ้อย และฝักราชพฤกษ์ พบว่า ได้ผลิตผลเป็นน้ำมัน ถ่าน และแก๊สที่สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงที่มีความร้อนสูงได้ (อรทัย วงษาเวียง และคณะ, 2559) ในการสังเคราะห์ถ่านโดยทั่วไปต้องใช้เชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่ไม้เพื่อให้เกิดกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (วรัญญา เทพสาสน์กุล, วรัญญา ธรรมชาติ และอัศรินทร์ อินทนิเวศน์, 2559) หรือกระบวนการไพโรไลซิส ทั้งสองกระบวนการทำให้ได้ผลผลิตเป็นถ่านเช่นกัน เพียงแต่กระบวนการคาร์บอนไนเซชันเป็นการเผาที่ทำให้เปลวของเชื้อเพลิงสัมผัสโดยตรงกับไม้ในที่อับอากาศ ในการเผาถ่านด้วยกระบวนการนี้ต้องควบคุมชั้นตอนให้ดี เพราะในการเผาไม้เชื้อเพลิงกระบวนการที่เลยจากคาร์บอนไนเซชัน คือ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ของแข็ง เช่น คาร์บอนเปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊ส (อนุรักษ์ ตรีเพชร และคณะ, 2556) ทำให้เกิดความร้อนสูง ดังนั้นจึงต้องควบคุมการสังเคราะห์ถ่านให้หยุดที่กระบวนการคาร์บอนไนเซชันเพื่อให้คงปริมาณคาร์บอนในถ่านมากที่สุด ตัวอย่างเช่น การปิดปล่องควันและปล่องใส่เชื้อเพลิงในเตาเผาถ่านเมื่อถึงเงื่อนไขที่เหมาะสม ส่วนกระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการเผาถ่านที่ให้ความร้อนในการอบเนื้อไม้เพื่อให้เป็นถ่านโดยที่เปลวเพลิงไม่สัมผัสโดยตรงกับไม้ ดังนั้นเมื่อเชื้อเพลิงในการสังเคราะห์เผาไหม้หมด ก็จะทำให้กระบวนการไพโรไลซิสหยุดเช่นกัน ซึ่งเป็นข้อดีของการสังเคราะห์ถ่านด้วยวิธีนี้

เตาเผาเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น คือ เตาที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากด้านบนลงด้านล่าง ความร้อนจากการเผาไหม้ทำให้เชื้อเพลิงด้านล่างร้อนและคายแก๊สต่าง ๆ ไหลขึ้นไปด้านบน แก๊สที่ไหลขึ้นส่วนใหญ่เป็นแก๊สที่ติดไฟจึงช่วยเสริมการลุกไหม้ทำให้ภายในเตามีอุณหภูมิสูงถึง 640-680 °C (วิรัตน์ เจริญบุญ, 2560) จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าเตาเชื้อเพลิงแบบนี้มีความเหมาะสมที่จะนำมาดัดแปลงเป็นเตาเผาถ่านเพื่อใช้สังเคราะห์ถ่านโดยใช้กระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งสามารถทำได้โดยการบรรจุไม้ในถังโลหะปิดสนิทและเจาะรูที่ขอบถังแล้ววางคว่ำในเตาเชื้อเพลิงให้รูอยู่ด้านล่าง เมื่อจุดเชื้อเพลิงในเตาจากด้านบน ความร้อนจากไม้เชื้อเพลิงด้านบนจะอบเนื้อไม้ด้านล่างให้คายแก๊สติดไฟออกมาแล้วไหลขึ้นซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงซึ่งน่าจะส่งผลให้ถ่านที่สังเคราะห์ได้มีคุณภาพดี

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะสังเคราะห์ถ่านเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งได้แก่ ตะเกียบไม้ไผ่ กะลามะพร้าว ไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถิน โดยใช้เตาเผาขนาดเล็กที่สามารถเผาถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสโดยใช้เตาเผาเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น และศึกษาคุณสมบัติของถ่านที่สังเคราะห์ได้เทียบเคียงกับค่ามาตรฐานเพื่อเป็นแนวทางในการในการประยุกต์สังเคราะห์วัสดุเหลือทิ้งมาเป็นเชื้อเพลิงคุณภาพดีต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดเนื้อไม้ ได้แก่ ตะเกียบไม้ไผ่ กะลามะพร้าว ไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถิน ต่อลักษณะเฉพาะของอุณหภูมิตามเวลาที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจากเตาเผาถ่านแบบไหลขึ้น
2. เพื่อศึกษาสมบัติของถ่าน ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนเสถียร ค่าความร้อน ด้วยวิธีวัดมาตรฐาน ASTM

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการศึกษาเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการสร้างเตาเผาถ่าน ขั้นตอนการสังเคราะห์ถ่าน และขั้นตอนการวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ขั้นตอนการสร้างเตาเผาถ่าน

เตาเผาถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสในงานวิจัยนี้เป็นเตาที่สร้างขึ้นใหม่โดยดัดแปลงจากเตาเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้นผสมกับกระบวนการเผาถ่านแบบอับอากาศ มีส่วนประกอบได้แก่ เตาส่วนนอกทำจากถังโลหะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.0 cm สูง 51.0 cm เจาะรูให้อากาศไหลเข้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm จำนวน 8 รู รอบถัง โดยรูสูงจากพื้น 2.0 cm เตาส่วนในเป็นถังโลหะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.0 cm สูง 24.0 cm เจาะรูสำหรับระบายแก๊ส ความชื้น และน้ำส้มคว้นไม้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm จำนวน 8 รู รอบถัง โดยรูสูงจากพื้น 2.0 cm ฝาเตาส่วนนอกขนาด 36.0 cm x 36.0 cm ตรงกลางเจาะรูสำหรับระบายอากาศขนาด 9.0 cm x 9.0 cm ท่อควันทำจากเหล็กท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.0 cm สูง 70.0 cm ฝาและท่อควันจะทำหน้าที่รีดอากาศร้อนให้เป็นลาลอยขึ้นสูงทำให้อากาศจากภายนอกถูกดูดเข้าไปในรูรอบเตาส่วนนอกช่วยเสริมการลุกไหม้เชื้อเพลิงในเตาเพื่อให้เกิดความร้อนสูงในการสังเคราะห์ถ่าน ส่วนประกอบของเตาเผาถ่านแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบเตาเผาถ่านที่เผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบไหลขึ้น

2. ขั้นตอนการสังเคราะห์ถ่าน

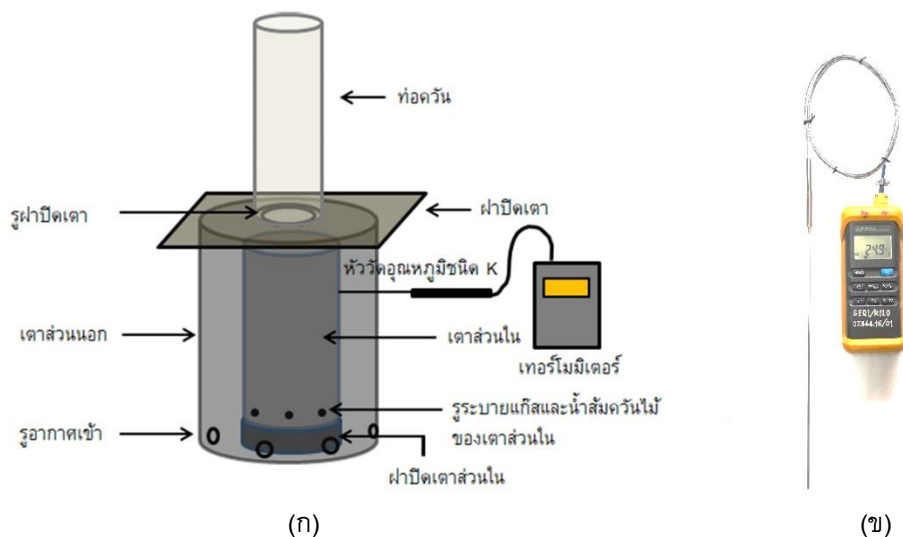
2.1 นำวัตถุดิบ ได้แก่ ตะเกียบไม้ไผ่นำมาล้างทำความสะอาดแล้วนำไปตากแดดให้แห้ง ปล่อยให้ลมพัดนำมาสัก 2-3 วัน นำไม้แห้งมาตัดเป็นท่อนให้มีขนาดที่จะใส่เข้าไปในเตาส่วนในได้

2.2 นำไม้ที่เตรียมใส่เข้าไปในถังเตาชั้นในจนเต็ม จากนั้นปิดฝาแล้วนำไปตั้งมวลไม้ นำถังเตาชั้นในไปวางภายในเตาชั้นนอกโดยคว่ำด้านที่มีรูลงด้านล่าง ดังแสดงในภาพที่ 2



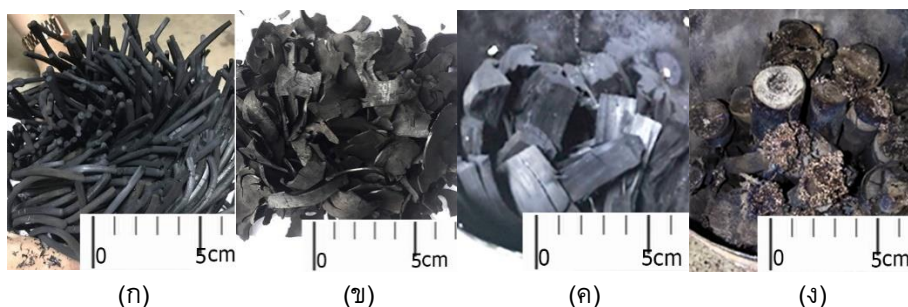
ภาพที่ 2 แสดงการบรรจุกะลามะพร้าวลงในเตาชั้นในและนำไปวางในเตาชั้นนอก

2.3 นำฟืนเชื้อเพลิงใส่ลงในบริเวณที่ว่างระหว่างเตาชั้นนอกและชั้นในให้เต็มพร้อมจุดไฟให้ติดตรงบริเวณปากเตา สังเกตการณ์ลุกไหม้ของไฟโดยให้มีเปลวไฟลุกจนทั่วปากเตา พร้อมวัดอุณหภูมิของเตาส่วนใน โดยการเจาะช่องขนาดเล็กที่ด้านข้างเตาส่วนนอกและสอดหัววัดเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ให้ปลายตะขั่วที่ผิวเตาส่วนใน บันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที โดยมีการติดตั้งส่วนประกอบของเตาดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 (ก) การติดตั้งอุปกรณ์ในการสังเคราะห์ถ่าน (ข) เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเตา

2.4 เมื่อสังเกตเห็นไฟลุกไหม้ดีแล้ว ทำการปิดฝาเตาชั้นนอกพร้อมวางท่อควันตรงรูฝาปิดเพื่อดึงอากาศร้อนให้ไหลขึ้นและดูดอากาศเข้าตรงรูอากาศเข้าเพื่อให้เกิดการลุกไหม้ของฟืนเชื้อเพลิงได้ดีทำให้เตามีอุณหภูมิสูงขึ้น สังเกตการเผาไหม้จนอุณหภูมิลดลงจนเข้าใกล้อุณหภูมิห้อง นำถ่านที่ได้ไปชั่งมวล แล้วนำไปคำนวณร้อยละของถ่านที่ได้จาก (มวลถ่าน/มวลไม้) $\times 100\%$ ซึ่งถ่านที่ได้แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ถ่านที่สังเคราะห์ได้ (ก) ตะเกียบ (ข) กะลามะพร้าว (ค) ยูคาลิปตัส และ (ง) กระถิน

3. ขั้นตอนการวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติถ่าน

ก่อนที่จะวัดคุณสมบัติถ่าน จะต้องบดถ่านให้ละเอียดและกรองด้วยตะแกรงร่อนขนาด 60 mesh บรรจุในถุงซิปลาสติกเก็บไว้ในโถดูดความชื้นที่มีซิลิกาเจล เพื่อนำไปวัดคุณสมบัติของถ่านตามวิธีมาตรฐาน ASTM ดังนี้

3.1 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density)

3.2 ปริมาณความชื้น (moisture content) ทำการวัดและวิเคราะห์ตามวิธีการวัดมาตรฐาน ASTM D3173-00 (American Society for Testing Materials, 2000)

3.3 ปริมาณเถ้า (ash content) ทำการวัดและวิเคราะห์ตามวิธีการวัดมาตรฐาน ASTM D3174-02 (American Society for Testing Materials, 2002)

3.4 ปริมาณสารระเหย (volatile matter) ทำการวัดและวิเคราะห์ตามวิธีการวัดมาตรฐาน ASTM D3175-02 (American Society for Testing Materials, 2002)

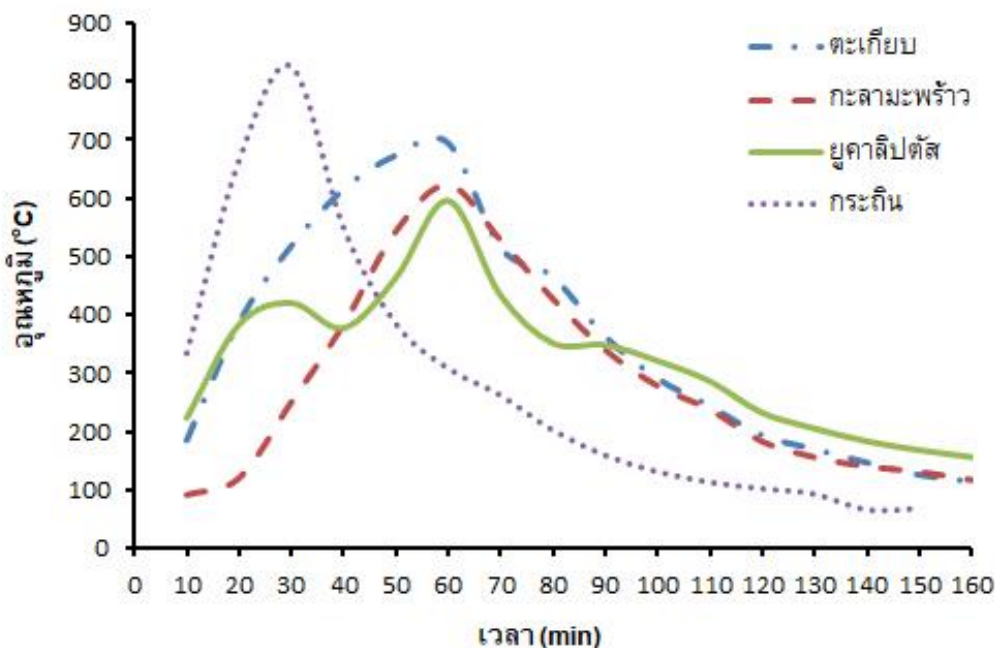
3.5 คาร์บอนเสถียร (fixed carbon) ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3172-89 (American Society for Testing Materials, 2002)

3.6 ค่าความร้อน (heat value) ทำการวัดและวิเคราะห์ตามวิธีการวัดมาตรฐาน ASTM D3286-96 ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ IKA C5000 (American Society for Testing Materials, 1996)

ผลการวิจัย

ผลการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสด้วยเตาเผาแบบไหลขึ้น โดยวัดที่ผนังเตาเผาชั้นใน พบว่าลักษณะเฉพาะของอุณหภูมิตามเวลา มีลักษณะแตกต่างกันตามชนิดของเนื้อไม้ที่นำมาสังเคราะห์ถ่าน ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งสามารถแบ่งช่วงออกเป็น 3 ช่วงหลัก ๆ ได้แก่ ช่วงอบ ช่วงเผาไหม้ และช่วงเย็นตัว ในช่วงแรกเป็นช่วงที่เนื้อไม้ไม่ถึงชั้นในได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิสูงถึงประมาณ 500°C จะทำให้เนื้อไม้ปล่อย แก๊ส น้ำมันไพโรไลติก และเมทานอล ออกมา ซึ่งจะถูกระบายออกมาที่รูด้านล่างของเตาเผาชั้นในส่งผลให้เตาเผาถ่านเกิดการลุกไหม้ด้วยความร้อนสูงซึ่งช่วงนี้มีอุณหภูมิ $600-800^{\circ}\text{C}$ อยู่ในช่วงการเผาไหม้ จากนั้นเมื่อแก๊ส และน้ำส้ม

ควันไม้มีค่าลดลงประกอบกับเชื้อเพลิงในการเผาถ่านลดลงด้วย อุณหภูมิของเตาเผาจึงค่อย ๆ ลดลงตามรวมเวลาทั้งหมดในการสังเคราะห์ถ่านประมาณ 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 5 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาของเตาในขณะที่เผาถ่านไม้แต่ละชนิด

จากกราฟ จะเห็นว่าลักษณะกราฟอุณหภูมิของไม้กระถินจะมีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงเร็ว และช่วงเวลาในการเผาไหม้อุณหภูมิสูงแคบกว่าไม้ชนิดอื่น บ่งชี้ว่าไม้กระถินเมื่อได้รับความร้อนแล้วมีการคายแก๊ส และน้ำส้มควันไม้เร็วกว่าไม้ตัวอย่างอื่น ซึ่งแก๊สและน้ำส้มควันไม้จะช่วยเสริมการลุกไหม้ทำให้ได้อุณหภูมิเผาไหม้ที่สูงและเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ช่วงเผาไหม้ของไม้กระถินที่อุณหภูมิสูงมีช่วงที่แคบ

ผลของการศึกษาร้อยละของถ่านที่ได้จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างมวลถ่านที่ได้กับมวลไม้ก่อนเผาถ่าน พบว่าร้อยละของถ่านที่ได้เป็น 27.98%, 27.95%, 27.03% และ 24.00% ของตะเกียบไม้ไผ่ กะลามะพร้าว ยูคาลิปตัส และไม้กระถิน ตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องการทดลองของพนิตา สุมานะตระกูล และคณะ (2555) ซึ่งอธิบายว่าที่อุณหภูมิการสังเคราะห์ถ่านสูง คาร์บอนในถ่านหรือเนื้อไม้จะถูกเผาไหม้อย่างรวดเร็วทำให้ได้ถ่านปริมาณน้อย ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิการสังเคราะห์ต่ำจะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ คาร์บอนในถ่านหรือเนื้อไม้จะถูกเผาอย่างช้า ๆ ส่งผลให้ได้ถ่านในปริมาณที่มากกว่า

ผลการศึกษาความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และร้อยละของคาร์บอนเสถียรด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM ของถ่านที่สังเคราะห์ได้ พบว่ามีค่าแตกต่างกันตามชนิดของเนื้อไม้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการวัดคุณสมบัติของถ่านที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM ตามชนิดของไม้

ชนิดไม้	ความหนาแน่น ปรากฏ (g/cm ³)	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณคาร์บอน เสถียร (%)
ตะเคียน	0.45	4.96	24.19	42.40	30.43
(พินตา และคณะ, 2555)	-	5.20	31.94	6.56	56.30
กะลามะพร้าว	0.66	3.99	15.02	35.03	45.93
(ธีรพจน์ และคณะ , 2549)	-	3.95	19.85	7.43	68.77
ยูคาลิปตัส	0.40	4.35	20.03	34.01	41.61
(ธีรพจน์ และคณะ , 2549)	-	3.92	25.27	1.12	69.69
กระถิน	0.24	4.56	18.52	40.46	36.46
(El-Juhany L. I. et al., 2003)	0.29	7.19	27.28	5.70	59.83

การวัดค่าความร้อนของถ่านจากถ่านบดมวล 1 g อัดเม็ดให้อยู่ตัวแล้วนำไปวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ IKA C5000 ผลการวัดค่าความร้อนแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าความร้อนของถ่านไม้ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสด้วยเตาเผาถ่านแบบไหลขึ้น

ชนิดไม้	ค่าความร้อน (kJ/g)			
	งานวิจัยนี้	(ธีรพจน์ และคณะ, 2549)	(พินตา และคณะ, 2555)	(สิริลักษณ์, 2549)
ตะเคียน	32.49	-	27.79	-
กะลามะพร้าว	33.23	29.77	-	-
ยูคาลิปตัส	32.63	28.98	-	-
กระถิน	32.55	-	-	29.66

จากข้อมูลค่าความร้อนของถ่านที่สังเคราะห์ได้มีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ทั้งนี้ เพราะอุณหภูมิในการสังเคราะห์ถ่านในงานวิจัยนี้ค่อนข้างสูง เช่น ถ่านตะเกียบไม้ไผ่ใช้อุณหภูมิสังเคราะห์ สูงสุด 693°C ได้ค่าความร้อน 32.49 kJ/g ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ พนิตา สุมานะตระกูล และคณะ (2555) ที่สังเคราะห์ถ่านไม้ไผ่ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าเมื่อสังเคราะห์ถ่านที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความร้อนที่ได้มีค่าสูงขึ้นตาม โดยถ่านที่อุณหภูมิสังเคราะห์ 600°C มีค่าความร้อน 27.79 kJ/g

จากข้อมูลในตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าไม้ที่นำมาสังเคราะห์แล้วให้ปริมาณคาร์บอนเสถียรสูง คือ กะลามะพร้าว ไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งเป็นไม้ที่ลักษณะเนื้อแน่นมีความหนาแน่นมาก คายแก๊สช้าเมื่อได้รับความร้อน ส่วนไม้กระถินและไม้ไผ่ที่เป็นไม้ที่มีความหนาแน่นน้อยจะคายแก๊สเร็วเมื่อได้รับความร้อน และเมื่อสังเคราะห์ถ่านจะทำให้ได้คาร์บอนเสถียรต่ำส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำด้วย แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนที่ได้จากถ่านไม้ทั้งสี่ชนิดมีค่าสูงและแตกต่างกันเล็กน้อย ถ่านนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนจะให้ความร้อนแทบไม่แตกต่างกัน

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการสังเกตลักษณะเฉพาะอุณหภูมิและผลการวัดคุณสมบัติของถ่านที่สังเคราะห์จากกระบวนการไพโรไลซิสอุณหภูมิสูงด้วยเตาเผาถ่านแบบไหลขึ้นซึ่งเป็นการเผาถ่านที่ไม่ให้เปลวเพลิงสัมผัสโดยตรงกับเนื้อไม้ที่สังเคราะห์ถ่าน พบว่าเตาเผาดังกล่าวสามารถเผาไหม้ให้เชื้อเพลิงในขณะสังเคราะห์ถ่านมีอุณหภูมิเผาค่อนข้างสูงประมาณประมาณ $600\text{-}800^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้เพราะขณะเผาเชื้อเพลิงเผาไหม้ได้มีแก๊สติดไฟ และน้ำส้มควันไม้ไหลออกมาจากเตาชั้นในช่วยเสริมให้เกิดการลุกไหม้ด้วยอุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้ขจัดส่วนประกอบในเนื้อไม้ในส่วนที่ไม่ใช่คาร์บอนออกไปได้มากส่งผลให้ถ่านที่สังเคราะห์ได้มีค่าความร้อนที่สูงประมาณ $32.49\text{-}33.23 \text{ kJ/g}$ มีค่าสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้หุงต้มซึ่งกำหนดให้ไม่น้อยกว่า 6.00 kcal/g ส่วนค่าร้อยละความชื้นและปริมาณสารระเหยของถ่านทุกชนิดที่ผลิตได้มีค่าไม่เกินมาตรฐาน มผช.657/2547 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547 (ข)) ซึ่งกำหนดความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และปริมาณสารระเหยไม่เกินร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก มีเพียงปริมาณเถ้าของถ่านทุกชนิดเท่านั้นที่เกินค่ามาตรฐาน

อย่างไรก็ตามถือได้ว่ากระบวนการผลิตถ่านจากวิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถผลิตถ่านที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับมาตรฐานในการนำไปใช้ มีเพียงบางคุณสมบัติเท่านั้นที่ต้องหาวิธีปรับปรุงการสังเคราะห์เพื่อให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน เช่น การศึกษาผลของความยาวนานในการสังเคราะห์ต่อสมบัติของถ่าน ผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ถ่าน หรือ การขยายขนาดของเตาเผาถ่านเพื่อศึกษาผลขนาดเตาเผาถ่านต่อคุณสมบัติของถ่านที่สังเคราะห์ได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนเครื่องมือทดลอง เครื่องมือวัด และสถานที่ในการทดลอง เพื่อสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เจือจันทร์ เกตษา. (2556). ผลของอุณหภูมิคาร์บอนในเซชันต่อสมบัติของถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์ จาก
กะลามะพร้าว. (วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี.
- ชลลดา ไร่ขาม, ยุทธพันธ์ คำวัน, ปภากร จันทะวงศ์ฤทธิ์ และศิริทรัพย์ แก้วม่วง. (2560). ศึกษาอิทธิพล
ของอัตราส่วนกากน้ำตาลที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกมังคุดและ
เปลือกเงาะ. วารสารวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 9 (10),
80-90.
- ธีรพจน์ พุทธิภูมิวงศ์, เจษฎานันท์ เวียงนนท์ และภัทราวดี ศรีบุญสม. (2549). การผลิตถ่านอัดแท่งจาก
ก้นถั่วเหลือง. *Naresuan University Journal*, 14 (3), 11-18.
- พินิตา สุมานะตระกูล, จตุพร แก้วอ่อน, ปาริชาติ เทพทอง และพลกร บุญใส. (2555). การเพิ่มประสิทธิ
ภาพเตาเผาเพื่อผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ยางพารา. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- พิสิษฐ์ มณีโชติ, ประพิธาร์ ธนารักษ์, สหฤทัย ทองสาร, บงกช ประสิทธิ์, วิภาณต์ วันสูงเนิน, ประวิทย์ นิล
วิเชียร, อัมมิกา เพชรลี และอนุพล อัครพันธ์. (2558). การพัฒนาเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบ
แนวตั้ง ด้วยเทคนิคแก๊สซิฟิเคชัน. *ประชุมเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 8 ประจำปี พ.ศ. 2558* (หน้า 114-117). กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
ราชภัฏธนบุรี.
- วรัญญา เทพสาสน์กุล, วรัญญา ธรรมชาติ, และอักรินทร์ อินทนิเวศน์. (2559). การศึกษาเชื้อเพลิงอัด
แท่งที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทกะลามะพร้าว.
การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 (หน้า 610-617). พิษณุโลก:
โรงแรมวังจันทร์ ริเวอร์วิว คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี.
- วิรัตน์ เจริญบุญ. (2560). เตาชีวมวลกลบพลังงานเพื่อเกษตรกรไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข*, 45 (1),
163-174.
- สิริลักษณ์ ตาตะยานนท์. (2549). การศึกษาเปรียบเทียบและทดสอบความแตกต่างของค่าความร้อนของ
ไม้ 18 ชนิด. *รายงานผลวิจัยประจำปี 2549* (หน้า 199-208). สำนักงานวิจัยการจัดการป่าไม้และ
ผลผลิตป่าไม้.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547 (ข). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม. [online]
เข้าถึงจาก <http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/standard2.php>. สืบค้นเมื่อ 13
เมษายน พ.ศ.2563.
- อนุรักษ์ ตรีเพชร, ปริญญา หม่อมพิบูลย์, เฉลิมขวัญ สมใจ, มนต์รี เรืองประดับ, เปมิกา แซ่เตียว
และณภัช จันทรเมื่อง. (2559). เชื้อเพลิงแก๊สซิฟิเคชันจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อผลิต
ไฟฟ้า: อีกทางเลือกของพลังงานทดแทนของภาคใต้. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏ
นครศรีธรรมราช*, 35 (1), 13-25.

อรัญญ์ วงษาเวียง, มาลีวรรณ อุนพิพัฒน์, ชลธิชา เจริญเนตร, และเอกราชชัย ไชยชนะ. (2559). ไพโรไลซิสของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในท้องถิ่นจังหวัดนครปฐม. *วารสาร สหวิทยาการไทย*, 11 (3), 46-53.

American Society for Testing and Materials (ASTM). (1996). Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Isoperibol Bomb Calorimeter: D3286-96 In ASTM. Annual Book of American Standard Testing Methods, Vol 05.06.

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2000). Standard Test Method for Moisture in the Sample of Coal and Coke1: ASTM D3173-00. Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.05.

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2002). Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal1: D3174-02 in ASTM. Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.06.

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2002). Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke1: D3172-89 in ASTM. Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.05.

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2002). Standard Test Method for Volatile Matter in Analysis Sample of Coal and Coke1: D3175-02 in ASTM. Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.05.

El-Juhany L. I., I. M. Aref and M. M. Megahed. (2003). Properties of charcoal produced from some endemic and exotic acacia species grown in Riyadh, Saudi Arabia. *Adv. agric. Res.* 8(4), 695-704.

วันที่รับบทความ 12 เม.ย. 63, วันที่แก้ไขบทความ 19 ต.ค. 63, วันที่ตอบรับบทความ 28 ก.พ. 64