



การออกแบบและสร้างเตาเผาถ่านกัมมันต์จากข้อไม้ไผ่ (พันธุ์ขางหม่น)

Design and Construction of a Furnace for Activated Carbon from Nodes of Bamboos (Dendrocalamus Siriceus)

ปริญญานูญมาเลิศ¹ และ พิพัฒน์พงศ์ วัฒนวันยู^{*2}

Parinya Boonmalert¹ and Pipatpong Watanawanyoo^{*2}

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

²ภาควิชาวิศวกรรมยานยนต์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี ประเทศไทย

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University, Bangkok, Thailand

²Department of Automotive Engineering, College of Engineering, Rangsit University, Pathumthani, Thailand

^{*}Corresponding author, E-mail: pipatpong@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเตาเผาถ่านกัมมันต์จากข้อไม้ไผ่ (พันธุ์ขางหม่น) โครงสร้างตัวเตาที่ง่ายต่อการสร้างและใช้วัสดุภายในประเทศ โดยมีการทดสอบเตาเผาถ่านกัมมันต์ 2 แบบ คือ การทดสอบเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบปิดฝาเตาและการทดสอบเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบเปิดฝาเตา

เตาเผาถ่านกัมมันต์นี้สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนไนซ์เซชันจากการเผาไหม้อยู่ที่อุณหภูมิ 373 - 492 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วงอุณหภูมินี้ได้อยู่ภายใต้กระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้เวลา 3 ชั่วโมงในการเผาถ่านจำนวน 10 กิโลกรัม และมีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดรูพรุนขนาด 13.63 อังสตรอม (1.363 นาโนเมตร) ถ่านกัมมันต์มีน้ำหนักเบา ปรารถง่าย เมื่อเคาะจะมีเสียงกังวาน และนำไฟฟ้าได้ดี

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ เตาเผา ไม้ไผ่

Abstract

This research was to design and construct a furnace for activated carbon from nodes of bamboos (*Dendrocalamus siriceus*). This furnace structure used domestically materials, and the construction was easy. Two types of activated carbon furnaces were tested: the covered activated carbon furnace and the open-covered activated carbon furnace. Using the constructed furnace, the carbonization reaction from combustion temperature of about 373-492 °C was found. This temperature range was under the pyrolysis process. The furnace took approximately 3 hours to burn 10



kilograms of charcoal. A steam temperature of about 100 °C was used to activate the process to create a porous size of 13.63 Angstrom (1.363 nm). The activated carbon produced by bamboo was light inweight andbrittleness, and could conduct electricity very well. When knocked, the activated carbon produced a resonate sound.

Keywords: Activated Carbon, Furnace, Bamboo

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันมีมลสารที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำและปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียมากมายซึ่งส่งผลกระทบต่อร่างกายแรงต่อสภาพแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์รวมทั้งการสะสมในแหล่งน้ำ ดินตะกอน และห่วงโซ่อาหาร เมื่อมนุษย์กินพืชหรือสัตว์ที่มีมลสารปนเปื้อน มลสารเหล่านั้นจะเข้าสู่ร่างกาย และสะสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งมนุษย์ก็จะป่วยเป็นโรคอันเนื่องมาจากพิษของมลสารเหล่านั้น เช่น โรคมีนามาตะ โรคอีโต-อีโต อันเป็นมาจากการสะสมของโลหะปรอท และโลหะแคดเมียม ตามลำดับ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมหลายประเภทมีมลสาร เช่น โลหะหนัก สีข้อม ปนออกมากับน้ำเสียจากอุตสาหกรรม จึงทำให้น้ำเสียมลสารปนเปื้อนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ หากไม่มีการกำจัดที่ดีพอ โลหะหนักเหล่านี้ก็จะปนเปื้อนไปกับน้ำทิ้งซึ่งจะถูกปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะในชั้นตอนสุดท้าย

การใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดหรือกำจัดมลสารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียโดยอาศัยการดูดซับ แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์ซึ่งใช้เป็นตัวดูดซับ เป็นวัสดุที่มีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แม้ประเทศไทยผลิตถ่านกัมมันต์เองได้ก็ยังไม่เพียงพอกับความต้องการ ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากไม้ไผ่หางหม่น และศึกษาคุณสมบัติและคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ เพื่อใช้ดูดซับมลสาร ซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ในทางการเกษตรและมีมากในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ (Phuangchik, 2015)

สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์นั้นจะเริ่มจากการศึกษาคุณสมบัติในการเกิดเป็นถ่าน เช่นกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชัน (Carbonization) (Phuangchik, 2015) แล้วจึงมาทำการสร้างเตาเผาถ่านขึ้นมาและหลังจากนั้นจึงใช้การกระตุ้นแบบกายภาพด้วยไอน้ำเพื่อให้ถ่านที่ได้มีรูพรุนและทำการวิเคราะห์ขนาดความพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากเตา

1.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูงเป็นการนำเอาวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างเป็นรูพรุนและมีพื้นที่ผิวสูง โดยสามารถแบ่งถ่านกัมมันต์ได้เป็น 3 ประเภท (Mopoung, 2015) ดังนี้

- ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon, PAC)
- ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดหรือเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC)
- ถ่านกัมมันต์แบบเป็นแท่ง (Extruded)



1.2 วิธีการกระตุ้นถ่าน

วิธีการกระตุ้นถ่าน คือ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพสำหรับคาร์บอนด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น โดยการทำให้มีรูพรุนมากขึ้น ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

- การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Reactivation) การกระตุ้นทางกายภาพ นำถ่านที่ผ่าน การคาร์บอนในซ้มา กระตุ้นโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือไอน้ำที่อุณหภูมิกระตุ้น (Activation Temperature) ประมาณ 600–950°C นอกจากนี้ยังมีกรรายงานเกี่ยวกับอุณหภูมิการ คาร์บอนในซ้ของการกระตุ้นทางกายภาพที่เตรียม จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่า มีการใช้ อุณหภูมิการคาร์บอนในซ้สูงประมาณ 400–850°C และบางวัตถุดิบใช้อุณหภูมิการ คาร์บอนในซ้สูงถึง 1,000°C ซึ่งอุณหภูมิสองขั้นตอนนี้มาจากการคาร์บอนในซ้และการกระตุ้นทางกายภาพเป็น การเพิ่มการใช้พลังงานอย่างมาก และเพิ่มค่าใช้จ่ายในทางอ้อม ทั้งยังไม่สามารถควบคุมสมบัติ ของถ่านชาร์ให้คงที่ได้ รวมถึง พื้นที่ผิวและรูพรุน เกิดในปริมาณน้อย (Phothitontimongkol, 2017)

- การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical Activation) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว และรูพรุนของวัตถุดิบด้วยการกระตุ้น โดยใช้สารเคมีที่อุณหภูมิการกระตุ้นประมาณ 400–600°C ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้เตรียมถ่านกัมมันต์และ สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น สาร เคมีที่นิยมใช้ส่วนมากมีสมบัติการดูดน้ำ (dehy-drating agent) ได้แก่ ZnCl_2 , KOH และ H_3PO_4 แต่สารเคมีเหล่านี้มีสภาวะกัดกร่อนได้ ทำให้รูปแบบการกระตุ้นทางเคมี มีข้อเสีย คือ เกิดการกัดกร่อนระหว่าง กระบวนการกระตุ้น ทำให้อุปกรณ์และเครื่องมือต้องออกแบบมาเป็นกรณีพิเศษ ต้องเสียเวลาในการล้างสารเคมีตกค้าง และเกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น (Phothitontimongkol, 2017)

1.3 กระบวนการคาร์บอนในเซชัน

ตามหลักการแล้ว “การเผาไหม้” จะเกิดขึ้นได้นั้น ต้องมี 3 องค์ประกอบที่สำคัญ คือ เชื้อเพลิง (Fuel) ออกซิเจน (Oxygen) และ ความร้อน (Heat) ในภาวะปกติการเผาไหม้ในอากาศเปิดเป็นการเผาไหม้ในบริเวณที่มี ออกซิเจนสูง โดยออกซิเจนจะก่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องและสมบูรณ์ ส่วนกระบวนการเผาถ่าน เป็นการเผา ไหม้ในสภาพอับอากาศ หรือจำกัดอากาศ ทำให้ออกซิเจนมีน้อย ซึ่งนี้เรียกว่า กระบวนการคาร์บอนในเซชัน (Carbonization Process) โดยที่กระบวนการคาร์บอนในเซชัน คือ การไพโรไลซิส (Pyrolysis) ซึ่งเกิดในที่อับอากาศ เพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและก๊าซออกมาด้วย โดยโครงสร้าง วงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือนกลายเป็นโครงสร้างของถ่านคาร์บอน ส่วนกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันดินและก๊าซต่างๆ สำหรับกระบวนการ ไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นการสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงซึ่งจะทำให้สารระเหยต่างๆ ออกมาประกอบไปด้วย เมทานอล กรดน้ำส้ม น้ำมันดิน ก๊าซที่เผาไหม้ได้และไม่ได้ อุณหภูมิในขั้นนี้จะประมาณ 280 -600 องศาเซลเซียส (Watanawanyoo, Wattana, & Wechteng, 2014) ของแข็งที่เหลือจากกระบวนการในขั้นนี้คือคาร์บอนในรูปถ่าน (Fix Carbon) (Tabitha, Laohalidanond, & Kerdsuwan, 2016) และถ้าปล่อยให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 700 องศาเซลเซียส จะเกิด



เป็นก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะควบคุมให้เกิดกระบวนการคาร์บอนในเซชันหรือที่นิยมเรียกว่า กระบวนการเผาถ่าน เพื่อให้ได้ถ่านสำหรับมาทำการกระตุ้นจนเกิดเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

1.4 ลักษณะความพรุนของถ่านกัมมันต์

- แมโครพอร์ (Macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 100 - 200 นาโนเมตร พื้นที่ผิวไม่เกิน

0.5 ตารางเมตรต่อกรัม

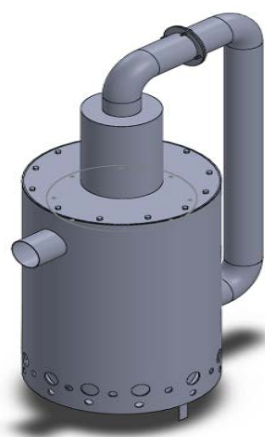
- เมโซพอร์ (Mesopores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 1.5 - 100 นาโนเมตร พื้นที่ผิวไม่เกิน 20 - 100 ตารางเมตร

ต่อกรัม

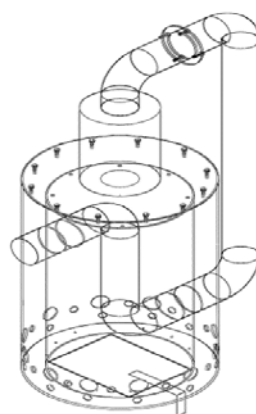
- ไมโครพอร์ (Micropores) ขนาดรัศมีน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตร มีพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นจำนวนมากหลายร้อย ตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม มักใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย (Phothitontimongkol, 2017)

1.5 การออกแบบเตาเผาถ่านกัมมันต์

เตาเผาถ่านถือเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตถ่านกัมมันต์ ซึ่งผู้ทำวิจัยได้ทำการออกแบบเตาเผาถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในรูปที่ 1 ก. ลักษณะของเตาเผาถ่านกัมมันต์ได้ออกแบบมาเพื่อให้เกิดกระบวนการคาร์บอนในเซชัน โดยมีช่องอากาศให้อากาศไหลเข้ามาเพื่อทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงในปริมาณที่เพียงพอให้เชื้อเพลิงในเตาเผาถ่านกัมมันต์สามารถเผาไหม้ได้เอง โดยไม่ต้องใช้โบลเวอร์ช่วยในการอัดอากาศตลอดเวลา มีท่อความร้อนใช้น้ำความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับมาใช้ใหม่และเตาเผาถ่านกัมมันต์ยังสามารถนำถ่านออกมาโดยที่ไม่ต้องเปิดฝาเตาได้อีกด้วย



ก. ภาพเตาภายนอก



ข. ภาพเตาภายใน

รูปที่ 1 ภาพเขียนแบบเตาเผาถ่านกัมมันต์ในงานวิจัย



เตาเผาถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ชั้น คือ เตาชั้นนอกกับเตาชั้นใน โดยเตาชั้นนอกจะเป็นพื้นที่สำหรับบรรจุเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ ซึ่งจะมีความสูง 80.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 59.5 เซนติเมตร รูอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ขนาด คือ 2.5 เซนติเมตร จำนวน 23 รู กับ 5.5 เซนติเมตร จำนวน 11 รู เตาชั้นในจะเป็นพื้นที่สำหรับใส่ขางหม่นและเกิดการกระบวนการคาร์บอนไนเซชันซึ่งเป็นการเผาในที่อับอากาศจะทำให้จากไม้ขางหม่นกลายเป็นถ่าน ซึ่งจะมีความสูง 89 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 44 เซนติเมตร รูอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร จำนวน 14 รู และยังมีท่อความร้อนเพื่อนำความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้กลับมาใช้ใหม่ก่อนที่จะระบายออกจากเตาเผาถ่านกัมมันต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร ดังรูปที่ 1 ข. ในส่วนรูปที่ 2 แสดงเตาเผาถ่านกัมมันต์ที่ถูกสร้างขึ้นและแก้ไขเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 2 เตาเผาถ่านกัมมันต์ที่สร้างขึ้น

1.6 ไม้พันธุ์ขางหม่น (*Dendrocalamus siriceus*)

ไม้พันธุ์ขางหม่น มีลักษณะลำต้นตรงยาว ในขณะที่ไม้ขางหม่นโตเต็มวัยนั้น ลำต้นนั้นจะมีสีเขียวเข้ม ลักษณะเนื้อหยาบเนียน ลำต้นมีความสูงประมาณ 15-20 เมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 10 เซนติเมตร ปล้องแต่ละปล้องจะยาวประมาณ 30-40 เซนติเมตร และส่วนใหญ่จะพบในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ไม้พันธุ์นี้เหมาะแก่การผลิตถ่าน ภายใต้กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) (Phuangchik, 2015) โดยงานวิจัยนี้จะใช้ข้อไม้พันธุ์ขางหม่นในการผลิตถ่านสำหรับเตาเผาถ่านกัมมันต์ เนื่องจากตัวข้อไม้ดังรูปที่ 3 นี้เป็นวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้



รูปที่ 3 ข้อไฟพันธุ์ช่างหม่น

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ออกแบบและสร้างเตาเผาถ่านกัมมันต์
- 2) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของไม้ไฟพันธุ์ช่างหม่นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์
- 3) ศึกษาอุณหภูมิการเผาไหม้ของไม้ไฟพันธุ์ช่างหม่น

3. อุปกรณ์และวิธีการ / วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การทดสอบเตาเผาถ่านกัมมันต์

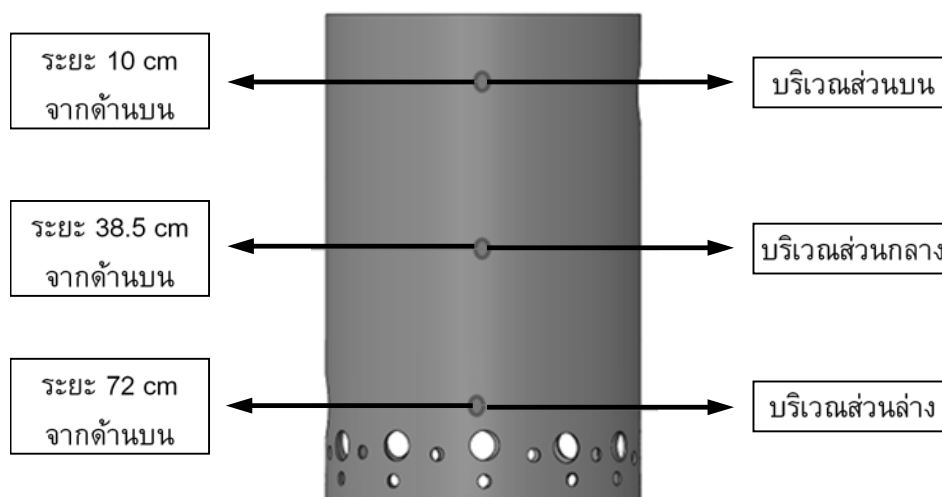
เตาเผาถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็นทรงกระบอกซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ชั้น คือ เตาชั้นนอกและเตาชั้นใน เตาชั้นนอกมีความสูง 80.5 เซนติเมตร เตาชั้นในมีความสูง 89 เซนติเมตร ซึ่งเตาชั้นในจะเกิดการกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ซึ่งเป็นการเผาในที่อวกาศจะทำให้จากไฟพันธุ์ช่างหม่นกลายเป็นถ่าน ส่วนเตาชั้นนอกจะเป็นพื้นสำหรับเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ทางผู้ทำวิจัยได้ทำการทดสอบเตาเผาถ่านกัมมันต์เป็น 2 กรณี คือ การทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบปิดฝาเตาและการทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบเปิดฝาเตา เพื่อศึกษาอุณหภูมิการทดสอบของเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบเปิดฝาเตา หลังจากนั้นจึงส่งตัวอย่างถ่านกัมมันต์ ไปที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) เพื่อวิเคราะห์ความเป็นรูปทรงของถ่านกัมมันต์โดยจะวิเคราะห์พื้นที่รูปทรงกับขนาดของรูปทรง

3.2 การทดลองวัดอุณหภูมิของเตาเผาถ่านกัมมันต์

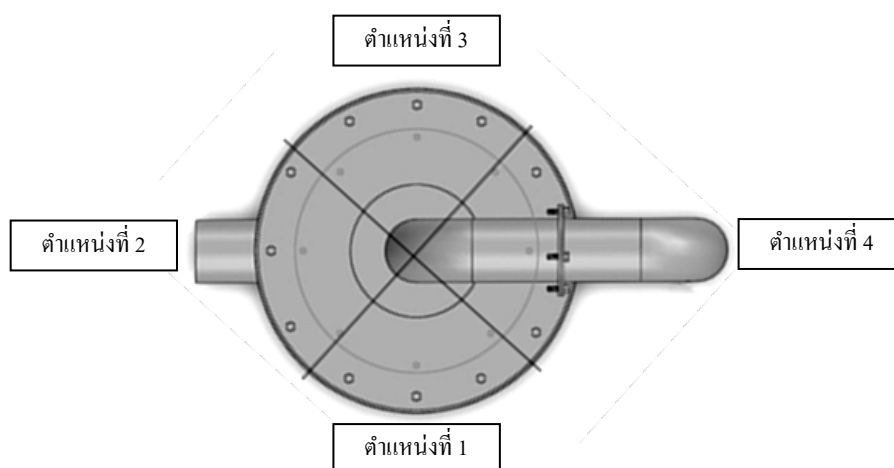
การทดลองวัดอุณหภูมิของเตาเผาถ่านกัมมันต์โดยใช้ไฟพันธุ์ช่างหม่น ขนาด 10 กิโลกรัมเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้เวลาเผาถ่านอยู่ที่ 3 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความชื้นของไฟที่นำมาทดลอง ซึ่งในการทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์จะทดลอง 2 กรณี คือ การทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบปิดฝาเตาและการทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบเปิดฝาเตา โดยทำการวัดอุณหภูมิที่ระดับต่างๆ ภายในเตาทั้งหมด 3 ระดับ ได้แก่ บริเวณส่วนบน ส่วนกลาง และ



ส่วนล่างของเตา ดังแสดงในรูปที่ 2 และในแต่ละระดับมีการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ 4 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5



รูปที่ 4 ตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิโดยมองจากด้านข้างเตาเผา



รูปที่ 5 ตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิโดยมองจากด้านบนเตาเผา



รูปที่ 6 การใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิแต่ละชั้นของเตา

จากรูปที่ 6 มีการใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิแต่ละชั้นของเตาภายใต้เงื่อนไขที่สัมพันธ์กับทฤษฎีกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization Process) เพื่อให้ได้ถ่านซอสไฟ จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิในชั้นนี้มีค่า 413 องศาเซลเซียส หากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิในชั้นนี้ (ไม่ให้เกิน 500 องศาเซลเซียส) ถ่านซอสไฟจะลุกไหม้จนอุณหภูมิสูงถึง 700 องศาเซลเซียส จะเกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งจะเข้าสู่ช่วงกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

3.3 การคำนวณอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง (Air Fuel Ratio) ของไม้ไผ่ขางหม่น

จากรายงานผลการวิเคราะห์ไม้ไผ่ขางหม่นจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์ ASTM E 870, D 4239, D 5373 และ D5865 ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 รายงานผลการวิเคราะห์ไม้ไผ่ขางหม่น

คุณสมบัติ	สภาพนำส่ง	สภาพน้ำหนักแห้ง
ความชื้น, %	5.89	-
สารระเหย, %	70.48	74.89
ถ่านคงตัว, %	20.73	22.03
เถ้า, %	2.90	3.08
ค่าความร้อนสูง, kcal/kg	4,160	4,420
ค่าความร้อนต่ำ, kcal/kg	3,860	4,100



ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของไผ่ขางหม่น

ส่วนประกอบของ ไผ่ขางหม่น	ร้อยละของส่วนประกอบของไผ่ขางหม่น	จำนวนส่วนประกอบของ ไผ่ขางหม่นใน 1 กิโลกรัม
ไฮโดรเจน	5.98	0.0598
คาร์บอน	44.76	0.4476
ไนโตรเจน	0.11	0.0011
ออกซิเจน	46.21	0.4621
ซัลเฟอร์	0.04	0.0004

มวลโมเลกุลของธาตุ H = 1, C = 12, O = 16, N = 14, S = 32

ไฮโดรเจน

จากสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่า ไฮโดรเจน 4 กิโลกรัม ต้องใช้ออกซิเจน 32 กิโลกรัม ถ้าใช้ ไฮโดรเจน 0.0598 กิโลกรัม ต้องใช้ออกซิเจน 0.4782 กิโลกรัม

คาร์บอน

จากสมการที่ (2) จะเห็นได้ว่า คาร์บอน 12 กิโลกรัม ต้องใช้ออกซิเจน 32 กิโลกรัม ถ้าใช้ คาร์บอน 0.4476 กิโลกรัม ต้องใช้ออกซิเจน 1.1936 กิโลกรัม

ไนโตรเจน

ไม่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

ออกซิเจน

ในไผ่ขางหม่น 1 กิโลกรัม มีปริมาณออกซิเจนอยู่ 0.4621 กิโลกรัม

ซัลเฟอร์

จากสมการที่ (3) จะเห็นได้ว่า ซัลเฟอร์ 32 กิโลกรัม ต้องใช้ออกซิเจน 32 กิโลกรัม ถ้าใช้ซัลเฟอร์ 0.0004 กิโลกรัม ต้องใช้ออกซิเจน 0.0004 กิโลกรัม



ดังนั้นออกซิเจนจากภายนอกที่ต้องใช้ในการเผาไหม้สามารถหาได้จาก

$$0.4782 + 1.1936 + 0.0004 - 0.4621 = 1.2103 \text{ kg} \quad (4)$$

โดยที่ในอากาศมีออกซิเจน 23.2% โดยมวล หรือก็คือออกซิเจน 0.232 กิโลกรัม อยู่ในอากาศ 1 กิโลกรัม ดังนั้นถ้าต้องการออกซิเจน 1.2103 กิโลกรัม จะต้องใช้อากาศ 5.2168 กิโลกรัม

ดังนั้น อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงข้อไฟ (Air Fuel Ratio) คือ 5.2:1 ซึ่งถือว่าเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงจากไม้ที่ได้รับการเผาไหม้สมบูรณ์ตามทฤษฎี จะอยู่ที่ 6.1:1 โดยมวล

ในการเปลี่ยนจากไม้ไฟช่วงหม่นให้เป็นถ่าน การเผาไหม้จะในกระบวนการ คาร์บอนไนเซชัน (Carbonization Process) หรือเป็นการเผาไหม้แบบอับอากาศ ซึ่งอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ต้องน้อยกว่าอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง (Air Fuel Ratio) ของไม้ไฟช่วงหม่น จึงสามารถเปลี่ยนจากไม้ไฟช่วงหม่นให้เป็นถ่านได้ ซึ่งค่าดังกล่าวได้มาจากการนำส่งไม้ไฟพันธุ์ช่วงหม่นเพื่อวิเคราะห์ค่าไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ในหน่วยของมวล (กิโลกรัม) แล้วนำมาคำนวณในสมการที่ 4 เผาไหม้

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สำหรับการทดลองของงานวิจัยนี้ จะแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง คือ 1. การทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบปิดฝาเตา 2. การทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบเปิดฝาเตา เพื่อศึกษาอุณหภูมิในบริเวณส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของเตา และเปรียบเทียบพฤติกรรมการเผาไหม้

4.1 การทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบปิดฝาเตา

การทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบปิดฝาเตาดังรูปที่ 7 ผลการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3 โดยบริเวณส่วนล่างของเตามีอุณหภูมิเฉลี่ยถึง 374 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงของการเกิดถ่านเพราะบริเวณด้านล่างอยู่ใกล้ทางเข้าของอากาศส่งผลในให้บริเวณดังกล่าวมีการเผาไหม้ที่ดี สำหรับการเผาไหม้ในบริเวณส่วนกลางและบริเวณส่วนบนของเตาเผาถ่านกัมมันต์ อากาศจะต้องผ่านบริเวณด้านล่างของเตาเผาถ่านกัมมันต์ก่อน ทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นไม่ดีและอุณหภูมิในทั้งสองบริเวณมีค่าต่ำกว่าบริเวณส่วนล่างของเตาเผาถ่านกัมมันต์



รูปที่ 7 การทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบปิดฝาเตา

ตารางที่ 3 บันทึกผลอุณหภูมิของการทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบปิดฝาเตา

บริเวณ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				ค่าเฉลี่ยของแต่ละบริเวณ
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	
ส่วนบน	175	196	191	170	183
ส่วนกลาง	182	207	198	171	190
ส่วนล่าง	372	432	400	291	374
ค่าเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่ง	243	278	263	211	

4.2 การทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบเปิดฝาเตา

การทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบเปิดฝาเตาดังรูปที่ 8 ผลการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4 อุณหภูมิของบริเวณด้านล่าง ตรงกลางและด้านบนของเตาเผาถ่านกัมมันต์ ซึ่งอยู่ในช่วงการทำให้เกิดถ่าน ในการทดลองแบบเปิดฝาเตาจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิถึง 493 องศาเซลเซียสในบริเวณส่วนล่าง ซึ่งสูงกว่าการทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบปิดฝาเตา เพราะการเปิดฝาเตาทำให้มีการไหลเวียนของอากาศที่ดี อากาศกระจายทั่วถึงและบริเวณด้านบนของเตาจะรับอากาศเพิ่มเติมจากการเปิดฝา ซึ่งในอากาศนั้นมีออกซิเจนช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 8 การทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบเปิดฝาเตา

ตารางที่ 4 บันทึกผลอุณหภูมิของการทดลองเตาเผาถ่านกัมมันต์แบบเปิดฝาเตา

บริเวณ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				ค่าเฉลี่ยของแต่ละบริเวณ
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	
ส่วนบน	352	341	470	325	372
ส่วนกลาง	391	375	303	402	368
ส่วนล่าง	590	435	330	615	493
ค่าเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่ง	444	383	367	447	

4.3 การวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของถ่านกัมมันต์

จากการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าพบว่า หลังจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ลงใน ถ่านข้อไฟที่มีอุณหภูมิ 374-493 องศาเซลเซียส หลังจากที่ได้ปล่อยให้เย็นลง แล้วปล่อยให้เย็นลง สามารถวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าได้สูงขึ้นซึ่งคาร์บอนที่มีคุณภาพสูงสามารถนำไฟฟ้าได้ดี โดยในการทดลองนี้จะใช้เบตเตอรี่ 9.7 โวลต์ โดยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลองทั้งสองกรณีจะอยู่ในช่วงประมาณ 9.0- 9.7 โวลต์ (ขึ้นอยู่กับความต้านทานของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจากการทดลองวัดค่าความต้านทานมีค่าสูงสุดไม่เกิน 100 โอห์ม ถึงจะนำไฟฟ้าได้ดี) ดังรูปที่ 9 แต่การทดลองแบบเปิดฝาเตาจะให้ตัวถ่านที่มีค่าความต่างศักย์สม่ำเสมอตลอดทั้งก้อนมากกว่าถ่านที่ได้จากการทดลองแบบปิดฝาลัง การวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของถ่านกัมมันต์เป็นอีกวิธีที่แสดงให้เห็นถึงถ่านกัมมันต์ที่ดีจะสามารถนำไฟฟ้าได้ดี



รูปที่ 9 การวัดค่าความต่างศักย์ของถ่านกัมมันต์

4.4 การวิเคราะห์ความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ในการทดลองจะใช้การกระตุ้นแบบกายภาพ ซึ่งใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ลงในถ่านข้อไฟที่มีอุณหภูมิ 493 องศาเซลเซียส หลังจากที่ได้ปล่อยละอองไอน้ำแล้วปล่อยให้เย็นลง ซึ่งจากการใช้ไอน้ำดังกล่าวนี้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าทฤษฎีการกระตุ้นแบบกายภาพ ซึ่งใช้ไอน้ำอุณหภูมิ 600-900 องศาเซลเซียส ลงในถ่านที่อุณหภูมิห้อง ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยได้ศึกษาคุณภาพของถ่านที่ได้จากการทดลองแบบเปิดฝาเตา ด้วยวิธีการกระตุ้นดังกล่าวโดยวัดจากคุณสมบัติของรูพรุน จากการส่งตัวอย่างถ่านกัมมันต์ไปวิเคราะห์ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) เพื่อวิเคราะห์พื้นที่รูพรุนกับขนาดของรูพรุน ซึ่งได้ผลดังนี้

พื้นที่รูพรุนเฉลี่ย : 1.81 ตารางเมตรต่อกรัม

ขนาดรูพรุนเฉลี่ย : 13.63 อังสตรอม (1.363 นาโนเมตร)

ซึ่งลักษณะความพรุนของถ่านกัมมันต์จะเป็นแบบไมโครพอร์ (Micropores) เนื่องจากขนาดรัศมีน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตร

4.5. การอภิปรายผล

ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาถ่านกัมมันต์ที่สร้างขึ้นนั้นพบว่า ถ่านที่ได้มีสีดำ มีน้ำหนักเบาของถ่านที่ได้ดังกล่าว ถ่านมีการนำไฟฟ้าที่ดี อุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนในเซชันอยู่ที่ 373 - 492 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วงอุณหภูมินี้จะทำให้เกิดถ่านที่มีคุณภาพ เมื่อกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ลงในถ่านข้อไฟที่มีอุณหภูมิ 493 องศาเซลเซียส หลังจากที่ได้ปล่อยละอองไอน้ำแล้วปล่อยให้เย็นลง ลักษณะความพรุนของถ่านกัมมันต์จะมีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 1.363 นาโนเมตร ถ้าต้องการเพิ่มพื้นที่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ให้มีพื้นที่มากขึ้น ต้องเพิ่มอุณหภูมิและความดันของไอน้ำที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ให้อุณหภูมิสูงที่ 900 - 1,100 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำหรือแบบกายภาพ พบว่าขนาดความพรุนมีค่าอยู่ในระดับไมโครพอร์



5. สรุปผลการศึกษา

การทดสอบแบบเปิดฝาดามีอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ 493 องศาเซลเซียส มากกว่าการทดสอบแบบปิดฝาด่าใช้ในการเผาไหม้ 374 องศาเซลเซียส เนื่องจากการทดสอบแบบเปิดฝาดามีการไหลเวียนของอากาศที่ดีกว่าการทดสอบแบบปิดฝาด่า ซึ่งส่งผลให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงได้มากกว่า และบริเวณด้านบนของเตาเผาด้านกัมมันต์ จะได้รับอากาศเพิ่มเติมจากการเปิดฝาด่าซึ่งในอากาศนั้นมีออกซิเจนช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้น ด้านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นั้นจะมีพื้นที่รูพรุนเฉลี่ย 1.81 ตารางเมตรต่อกรัม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย 13.63 อังสตรอม (1.363 นาโนเมตร) และสามารถนำไฟฟ้าได้ดีและตัวถ่านกัมมันต์ที่ได้มีลักษณะสีดำวาวเมื่อทำการเคาะก็จะมีเสียงดังกังวาน ในส่วนของเตาเผาด้านกัมมันต์นี้ราคาค่อนข้างสูงกว่าเตาเผาด้านจากถ่านเฉลี่ย 200 ลิตร แต่เมื่อเทียบเวลาในการผลิตที่รวดเร็วกว่า จึงถือว่าคุ้มค่าในการลงทุน

เพื่อเป็นการยืนยันการเป็นถ่านกัมมันต์จากข้อไม้ไผ่ ทางคณะผู้วิจัยจะต้องมีการวัดขนาดและถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง เพื่อตรวจสอบรูเล็กๆ (Cavernous pores) ที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ และมีการออกแบบสร้างหม้อไอน้ำขนาดเล็กเพื่อใช้กระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำอุณหภูมิ ที่ 900 – 1,100 องศาเซลเซียส

6. กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยครั้งนี้คณะนักวิจัยขอขอบคุณ นายสุกโขก กิตติณรงค์ นายอนุพงศ์ รักการงาน และ นายธนากร จุฑาสุโกศล ซึ่งเป็นผู้ช่วยนักวิจัยและวิศวกรฝ่ายออกแบบของโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่อนุเคราะห์บุคลากรและเครื่องทดสอบในการวิเคราะห์พื้นที่รูพรุนกับขนาดของรูพรุน

7. เอกสารอ้างอิง

- Mopoung, S. (2015). *Activated carbon*. 1st ed. Naresuan University, Phitsanulok Publishing House
- Phothitontimongkol, T. (2017). Activated Carbon from Agricultural Residues. *Journal of Research Unit on Science Technology and Environment for Learning*, 8, 196-214.
- Phuangchik, T. (2015). Activated Carbon from Bamboo: Does the Market have a High Demand?. *Thai Science and Technology Journal*, 23, 945-954.
- Tabitha, G. E., Laohalidanond, K., & Kerdsuwan, S. (2016). Gasification of municipal solid waste in a downdraft gasifier: Analysis of tar formation. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 38, 221-228.
- Watanawanyoo, P., Wattana, A., & Wechteng, K. A. (2014). Study on Designed and constructed of cyclonic separator for Downdraft Gasifier. *Rangsit University Journal of Engineering and Technology*, 17, 9-17.