การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระท้อนโดยการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง
Preparation of Activated Carbon from Santol Peel by Dry Chemical Activation

โนรฮาสวานี ต่วนดาโอ๊ะ[1] ฟาตีฮะห์ มะเซ็งบางี[1] ดร.ลดาวัลย์ คงศรีจันทร์[2*] และดร.ปัทมา พิศภักดิ์[1]
Nur-haswanee Tuanda-oh[1], Fatihah Masengbangi[1], Ladawan Khongsichan[2*] and Pattma Pisapak[1*]

[1]หลักสูตรวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา จังหวัดยะลา 95000
[2]หลักสูตรวิทยาศาสตร์เครื่องสำอางและความงาม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร จังหวัดยะลา 95000
[1]Major of Science, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Muang, Yala 95000
[2]Major of Cosmetic Science and Beauty, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University 95000
*Corresponding author, e-mail: ladawan.kc@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษากระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระท้อน แล้วทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเครื่องฟลูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทมิเตอร์ (FTIR) ศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อผงถ่านที่ใช้ในการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง โดยใช้สารกระตุ้น 2 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่อัตราส่วน 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ 1:3 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนเซชันคืออุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเมื่อนำมาผสมสารกระตุ้น AC4-NaOH ที่อัตราส่วนผงถ่านต่อสารกระตุ้น 1:2.5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมผงถ่านกัมมันต์แบบแห้ง

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์ เปลือกกระท้อน การก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง

Abstract :

The purpose of this study was to study the appropriate processes and conditions for producing charcoal from santol peel. The properties were analyzed with a fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). Study of the type and ratio of the activator to the activated carbon from santol peel by dry chemical activation two activators were used sodium hydroxide (NaOH) and potassium hydroxide (KOH) at ratios of 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 and 1:3 respectively. The results showed that carbonization at 400 ℃ for 1 hour was the optimum condition for burning charcoal from santol peel and mixed activated carbon- and NaOH activator at a ratio of 1:2.5 were optimum conditions for the preparation of pure activated carbon.

Keywords: Activated Carbon, Santol Peel, Dry Chemical

บทนำ

ปัจจุบันมลพิษทางน้ำยังคงเป็นปัญหาหนึ่งที่ยังหาวิธีแก้ไม่จบสิ้น นิชรัตติ์ ธงโบราณ (2018) พบว่าสาเหตุหลักเกิดจากการเติบโตของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ที่มีโรงงานอุตสาหกรรมขนมจีน โรงงานอุตสาหกรรมผ้าบาติก และโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อาทิเช่น ในตัวเมืองจังหวัดยะลามีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมขนมจีนหลายแห่งเพิ่มขึ้นมา ซึ่งเมื่อโรงงานเหล่านี้มีการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้มีสีปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตขนมจีน ส่งผลให้เกิดน้ำเสียและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในชุมชนและพื้นที่ใกล้เคียง รวมถึงทำลายระบบนิเวศของบริเวณนั้นๆ ด้วย ดังนั้นวิธีในการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำมีหลายวิธีแตกต่างกัน แต่วิธีที่น่าสนใจและสามารถทำได้ง่าย นั่นก็คือการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสีย้อมจากน้ำเสียเหล่านั้น

ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพ และมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านต่างๆ เช่น ใช้ฟอกสีและดูดกลิ่น ในอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมอาหาร การผลิตน้ำมันพืช การทำน้ำให้บริสุทธิ์ และอุตสาหกรรมการทำก๊าซให้

บริสุทธิ์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์เตรียมได้จากการทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นด้วยการก่อกัมมันต์ เนื่องจากเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว (surface area) หรือการทำให้พื้นผิวมีความว่องไวมากขึ้น กรรมวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การคาร์บอไนซ์ (carbonization) เป็นการใช้ความร้อนทำให้สารระเหยแตกตัวและการแทรกออกจากวัตถุดิบทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งสีดำเรียกว่า ถ่าน (chacoal) ส่วนขั้นตอนที่ 2 เรียกว่า การก่อกัมมันต์ (activation) เป็นการทำให้ผิวถ่านเกิดรูพรุนขนาดต่างๆ โดยการก่อกัมมันต์สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การก่อกัมมันต์ทางกายภาพ (physical activation) จะทำในสภาวะแก๊ส เช่น ใช้ไอน้ำ และCO_2 จะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ต้องใช้เวลาและอุณหภูมิสูง ส่งผลให้ได้ผลผลิตต่ำและมีค่าใช้จ่ายพลังงานสูง และการก่อกัมมันต์ทางเคมี (chemical activation) นภารัตน์ จิวาลักษณ์ (2545) และ พิทักษ์ อยู่มี (2558) ได้เตรียมถ่านก่อกัมมันต์โดยใช้สารเคมีเป็นสารก่อกัมมันต์ (activator) ใช้เวลาไม่นาน ใช้อุณหภูมิในการก่อกัมมันต์ต่ำ และได้โครงสร้างรูพรุนที่ดีกว่า สารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่ ได้แก่ H_3PO_4, KOH, K_2CO_2, NaOH และ$ZnCl_2$ เป็นต้น ในอดีตวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์นั้น ส่วนใหญ่เป็นไม้ กระดูก และถ่านหิน แต่ในปัจจุบันมีการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัสดุดูดซับกันมากขึ้น เช่น ซังข้าวโพด กะลาปาล์ม กะลาตาล ชานอ้อย เปลือกถั่วลิสง เปลือกทุเรียน ขี้เลื่อย แกลบ กะลามะพร้าว เป็นต้น เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย และมีราคาถูก

จากเทคโนโลยีชาวบ้าน (2563) และ เทคโนโลยีชาวบ้าน (2563) ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับกระท้อน ซึ่งเป็นไม้ผลเขตร้อนที่ขึ้นชื่อในภาคใต้ จำพวกไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Sandoricum koetjape (Burm.f.) Merr*. จัดเป็นพืชในวงศ์ *Meliaceae (*บ้านและสวน, 2019) กระท้อนพื้นบ้านจะมีลูกขนาดเล็ก ประมาณ 10-15 ลูกต่อกิโลกรัม บางต้นมีรสชาติหวาน บางต้นมีรสชาติเปรี้ยว แล้วแต่สภาพภูมิอากาศและดินตามธรรมชาติ แต่ปัจจุบันค่อนข้างจะหายาก เพราะคนทั่วไปนิยมรับประทานกระท้อนสายพันธุ์ใหม่ เช่น กระท้อนอีล่า และกระท้อนปุยฝ้าย เป็นต้น ซึ่งกระท้อนสามารถนำมาทำอาหารได้หลายอย่าง ทั้งอาหารคาว เช่น แกงฮังเล แกงคั่ว ผัด ตำกระท้อน และอาหารหวาน เช่น กระท้อนทรงเครื่อง กระท้อนลอยแก้ว กระท้อนดอง แยม กระท้อนกวน และเยลลี่ หรือกินเป็นผลไม้สด Food Mthai (2019) เนื่องด้วยความเปรี้ยวฝาดของเนื้อกระท้อนและความหวานอมเปรี้ยวของปุยกระท้อน โดยในการแปรรูปก็จะมีเปลือกกระท้อนที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก และวิธีในการกำจัดเปลือกก็คือการเผาทิ้ง ซึ่งจะมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนได้

ซึ่งผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาสีปนเปื้อนในน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ และปัญหาในการกำจัดเปลือกกระท้อน จึงสนใจที่จะศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้ง นั่นก็คือ เปลือกกระท้อน เพื่อเป็นวิธีการหนึ่งในการลดจำนวนเปลือกกระท้อน และสามารถนำมาเป็นวัสดุดูดซับในการบำบัดน้ำเสียได้ด้วย โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการก่อ-กัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง (dry activation) แทนการก่อกัมมันต์แบบเปียกชุ่ม (Inpregnation) ซึ่งเป็นการก่อกัมมันต์แบบดั้งเดิมที่เป็นการนำวัสดุตั้งต้นแช่ในสารละลายของสารกระตุ้น แล้วทำให้แห้งโดยการให้ความร้อน โดยจะใช้เวลาและสิ้นเปลืองพลังงานมาก แต่การก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้งเป็นการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบใหม่ ทำการวิจัยโดยพิทักษ์ อยู่มี (2558) ซึ่งให้ความร้อนโดยตรง จะทำให้เกิดการผสมกันได้อย่างสมบูรณ์ และนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปหาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีบลู เพื่อนำไปใช้ในการต่อยอดการดูดซับสีย้อมจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมขนมจีนในจังหวัดยะลา เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านจากเปลือกกระท้อน
2. เพื่อศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อผงถ่านที่ใช้ในการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระท้อน มีขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ การเตรียมถ่านจากเปลือกกระท้อน และการเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นทางเคมีแบบแห้ง

1. การเตรียมถ่านจากเปลือกกระท้อน

นำเปลือกกระท้อนมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำมาใส่ในครูซิเบิล ปิดฝา แล้วนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 400-600 °C เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่ดีที่สุดในการเผาถ่าน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาถ่าน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)
1	400	1
2	400	2
3	400	3
4	500	1
5	500	2
6	500	3
7	600	1
8	600	2
9	600	3

นำถ่านที่ได้จากการเผาไปบดด้วยโกร่งบดให้มีขนาดเล็ก แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรง จากนั้นนำผงถ่านที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเครื่องฟลูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทมิเตอร์ (FTIR) ในช่วงคลื่น 4000-500 cm^{-1} เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเผาถ่านจากเปลือกกระท้อน

2. การเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นทางเคมีแบบแห้ง

การเตรียมถ่านกัมมันต์ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมีแบบแห้ง ประยุกต์จากวิธีการของพิทักษ์ อยู่มี (พิทักษ์ อยู่มี, 2558) โดยการนำผงถ่านมาคลุกผสมกับสารกระตุ้นดังนี้ NaOH และ KOH ผสมสารเคมีด้วยอัตราส่วน ดังตารางที่ 2

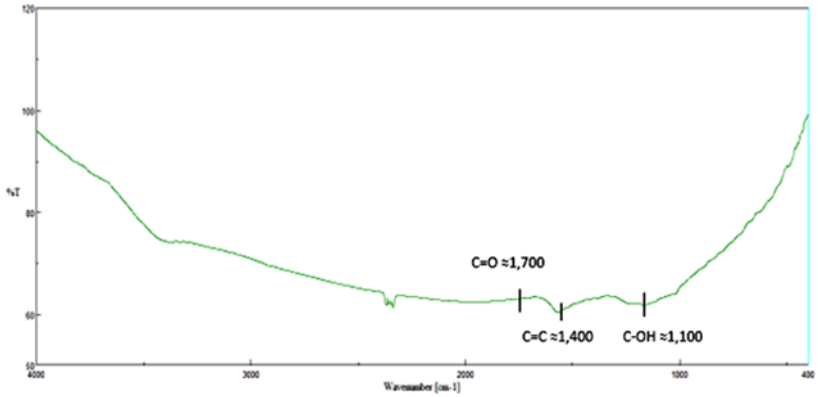
ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อสารกระตุ้นทั้งสองชนิด

ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อสารกระตุ้นทั้งสองชนิด
1	1:1
2	1:1.5
3	1:2
4	1:2.5
5	1:3

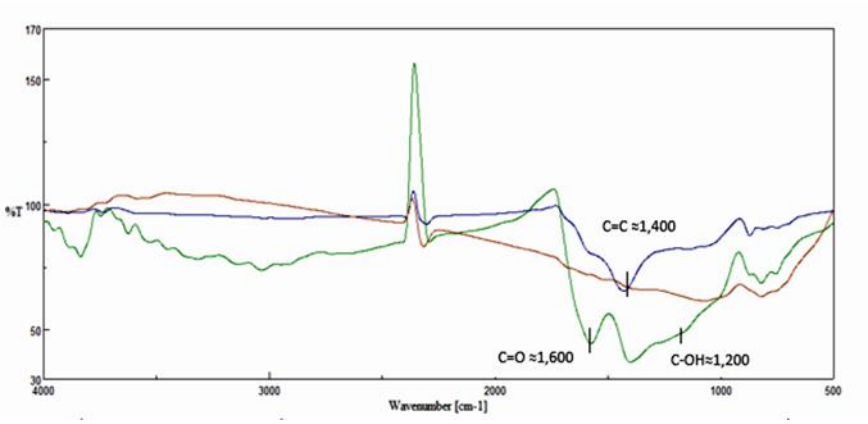
นำผงถ่านที่ผสมกับสารกระตุ้นแล้วไปเผาที่อุณหภูมิ 400 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัย อาอีเซาะส์ และคณะ (2561) จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าสมบัติการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ เพื่อหาชนิดของสารกระตุ้น และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์

ผลการวิจัย

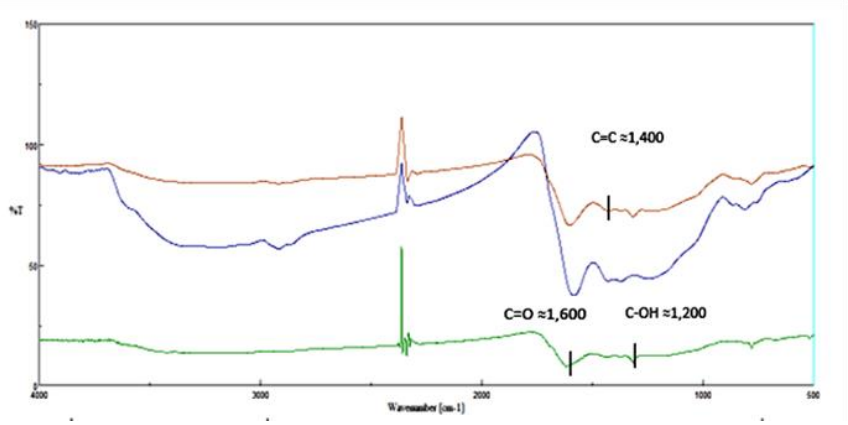
สเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของถ่านทางการค้า แสดงดังภาพที่ 1 และการภาพจะปรากฏแถบของการสั่นในช่วง 1700-1600 cm^{-1} ช่วง 1400-1300 cm^{-1} และ 1100-1000 cm^{-1} เป็นการสั่นของหมู่ C=O และหมู่ C-O และ C-OH ตามลำดับ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์หรือปริมาณสารระเหย เช่น น้ำ เซลลูโลส เอสเทอร์ แอลดีไฮด์และคีโตน ที่เป็นองค์ประกอบ เมื่อนำเปลือกกระท้อนเผาเป็นถ่านกัมมันนต์ ในสภาวะที่อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งผลของสเปกตรัมของถ่านตัวอย่างจากเปลือกกระท้อนที่ใช้อุณหภูมิในการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังภาพ 2-4 ปรากฏผลของสเปกตรัมการสั่นในช่วงเดียวกันคือ 1600-1500 cm^{-1} และช่วง 1400-1300 cm^{-1} 1200 -1100 cm^{-1} ตามลำดับ เป็นการสั่นของหมู่ C=O และหมู่ C-O และ C-OH ตามลำดับ ช่วงการสั่นมีค่าใกล้เคียงกับสเปกตรัมของถ่านทางการค้า แต่ที่อุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 ชม.เป็นสภาวะที่ดีที่สุด เนื่องจากสเปคตรัมของการสั่นมีความเข้มของสเปคตรัมที่ดี และมีค่าการสั่นใกล้เคียงกับถ่านการค้ามากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ หรือปริมาณสารระเหยจะถูกกำจัดออกไปมาก และเมื่อให้ความร้อนนานขึ้นรวมกับการทำปฏิกิริยากับสารกระตุ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารกระตุ้นกับโครงสร้างของ ถ่านกัมมันต์เป็นการแทรกตัวของสารกระตุ้นในโครงสร้างถ่านกัมมันต์ทำให้โครงสร้างถ่านกัมมันต์มีรูพรุนเพิ่มขึ้น ลักขณา โชติธรรม และคณะ (2559)



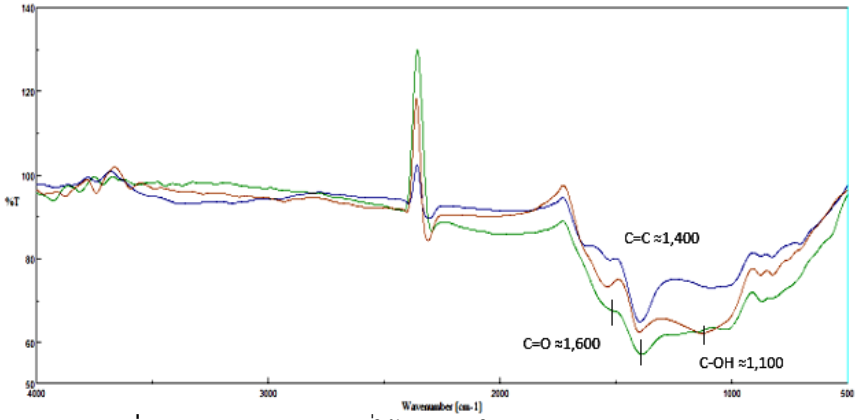
ภาพที่ 1 สเปกตรัมของถ่านทางการค้า



ภาพที่ 2 สเปกตรัมของถ่านตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิในการเผา 400 องศาเซลเซียส



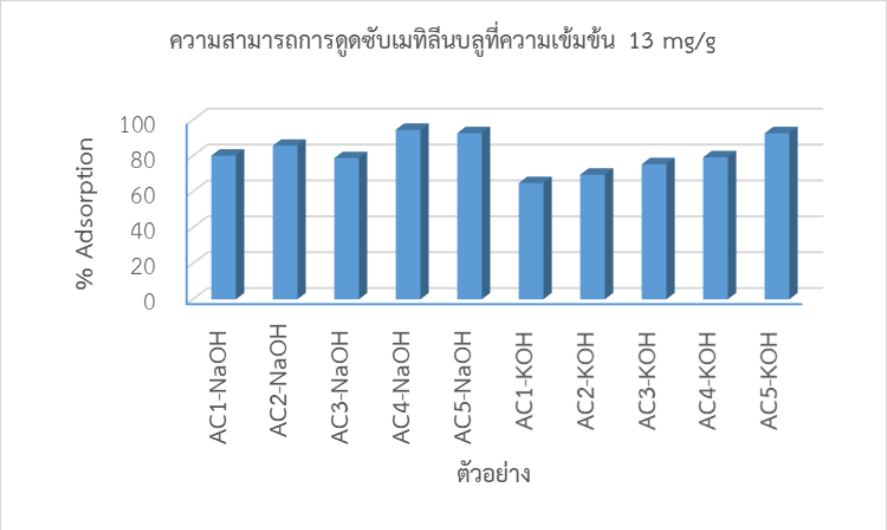
ภาพที่ 3 สเปกตรัมของถ่านตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิในการเผา 500 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4 ผลของถ่านตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิในการเผา 600 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: เส้นสีเขียว = เวลาในการเผา 1 ชั่วโมง
เส้นสีน้ำเงิน = เวลาในการเผา 2 ชั่วโมง
เส้นสีแดง = เวลาในการเผา 3 ชั่วโมง

จากศึกษาหาชนิดและอัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อผงถ่านที่ใช้ในการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง โดยนำทดสอบโดยการนำไปดูดซับสีเมทิลีนบลู (Methylene blue adsorb) ที่ความความเข้มข้น 13 mg/L พบว่าผลการศึกษาหาชนิดและอัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อผงถ่านที่ใช้ในการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง โดยการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue adsorb) ของถ่านกัมมันต์แต่ละตัวอย่างปริมาณ 0.1 g บ่มกับเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 13 mg/L พบว่า AC4-NaOH ที่อัตราส่วนผงถ่านต่อสารกระตุ้น 1:2.5 สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีที่สุดเท่ากับ 94.47±0.001 % เมื่อเทียบกับสารชนิดอื่นที่เตรียมขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความสามารถการดูดซับเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 13 mg/g

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระท้อน ทดสอบโดยการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านจากเปลือกกระท้อนด้วยเครื่องฟลูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทมิเตอร์ (FTIR) พบว่าสเปกตรัมของถ่านถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระท้อนและถ่านการค้ามีแถบการสั่นของหมู่ฟังก์ชันในช่วงต่าง ๆ ของหมู่เหล่านี้ ได้แก่ คาร์บอกซิล (C=O), อะโรมาติก (C=C) และไฮดรอกซิล (C-OH) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันนัลที่มีความสามารถในการดูดซับ ปัญญา มณีจักร (2555) ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านจากเปลือกกระท้อนด้วยเครื่องฟลูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทมิเตอร์ (FTIR) พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม พบว่า การคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 400 ℃ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเผาถ่านจากเปลือกกระท้อน

ศึกษาหาชนิดและอัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อผงถ่านที่ใช้ในการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง ทดสอบโดยการนำไปดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue adsorb) ที่ความความเข้มเข้น 13 mg/L พบว่าผลการศึกษาหาชนิดและอัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อผงถ่านที่ใช้ในการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง โดยการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue adsorb) ของถ่านกัมมันต์แต่ละตัวอย่างปริมาณ 0.1 g บ่มกับเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 13 mg/L พบว่า AC4-NaOH ที่อัตราส่วนผงถ่านต่อสารกระตุ้น 1:2.5 สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีที่สุดเท่ากับ 94.47±0.001 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านที่เตรียมได้มีปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น นิสาพร มูหะมัด และคณะ (2559) แต่ถ้าเราเพิ่มสารกระตุ้นไปมากนี้คือ 1:1.3 ความสามารถในการดูดซับก็ลดลงไป คือมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ 92.64±0.002 % และจากผลการศึกษาอัตราส่วนผงถ่านกับสารกระตุ้นชนิด KOH มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูน้อยกว่าของสารกระตุ้นชนิด NaOH แสดงว่ามีจำนวนรูพรุนน้อยกว่า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเตรียมถ่านกัมมันต์แบบแห้งจากเปลือกกระท้อน คือ ผงถ่านและ NaOH ที่อัตราส่วนผงถ่านต่อสารกระตุ้น 1:2.5 ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านงานต่างๆ ต่อไปได้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาการการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระท้อนแบบแห้ง สรุปได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านจากเปลือกกระท้อนด้วยเครื่องฟลูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทมิเตอร์ (FTIR) เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม พบว่า การคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 400 ℃ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเผาถ่านจากเปลือกกระท้อน

2. ผลการศึกษาหาชนิดและอัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อผงถ่านที่ใช้ในการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง โดยการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue adsorb) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์แต่ละตัวอย่างปริมาณ 0.1 g บ่มกับเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 13 mg/L พบว่า AC4-NaOH ที่อัตราส่วนผงถ่านต่อสารกระตุ้น 1:2.5 สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีที่สุดเท่ากับ 94.47±0.001 %

ข้อเสนอแนะและการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ควรมีการศึกษาคุณลักษณะจำเพาะของถ่านจากการใช้สารกระตุ้นชนิดอื่น และจากวัสดุเหลือทิ้งอื่นๆ ในท้องถิ่น
2. ควรทดสอบและประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีของน้ำเสียจากแหล่งน้ำต่างๆ ด้วยถ่านที่เตรียมได้

เอกสารอ้างอิง

Food Mthai. (2563). *รวมสูตรเมนู “กระท้อน” ทุกจานงานดีฟินระดับสิบ*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2563, จาก : https://1th.me/pUeZ5

ฉวีวรรณ เพ็งพิทักษ์. (2563). *ถ่านกัมมันต์.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2563, จาก : http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_knowledge/chem-2-62-charcoal.pdf.

เทคโนโลยีชาวบ้าน. (2563). *สะโตย (กระท้อน) หวาน นุ่ม ของบ้านนาปริก.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2563, จาก : https://1th.me/1QAzN

นิชรัตติ์ ธงโบราณ. (2563). *การอนุรักษ์ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในงานอาชีพ.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2563, จาก : https://1th.me/d8YNM

นภารัตน์ จิวาลักษณ์ (2545). *การเตรียมและวัดสมบัติถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

นิสาพร มูหะมัด อุบล ตันสม ปิยศิริ สุนทรนนท์ และสมภพ เภาทอง (2559). *การดูดซับสีย้อมโดยใช้กากชา.* ยะลา : มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

บ้านและสวน (2019). *กระท้อน.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2563, จาก : https://1th.me/iktXD

ปัญญา มณีจักร (2555). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง. ใน *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2556*, 4 เมษายน 2556. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยรังสิต

พิทักษ์ อยู่มี (2558). การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงจากผงถ่านไม้โดยการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข*., ปีที่ 43 (ฉบับที่ 4), 788-798.

ลักขณา โชติธรรม พนิตา สุมานะตระกูล และพนิตา ก้งซุ่น. (2559). การเตรียมลักษณะจำเพาะและการประยุกต์ใช้ดูดซับตะกั่วของถ่านกัมมันต์ไผ่ตงลืมแล้ง. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ.,* ปีที่ 19 (ฉบับที่ 2), 43-51.

อาอีเซาะส์ เบ็ญหาวัน สุนีย์ แวมะ วรรณกัษมา ฮารน และฮาซัน ดอปอ (2561). การเตรียมและศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกหยี. ยะลา : มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.