

ถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น

Activated Carbon from Cassava Rhizomes to Design Odor Absorbing Products

เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง^{1*}Kriangsak Khiaomang^{1*}¹ สาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: Kraingsak_k@yahoo.com

วันที่รับบทความ: 3 สิงหาคม 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 4 สิงหาคม 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 9 สิงหาคม 2567

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 20 สิงหาคม 2567

บทคัดย่อ: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทิ้งจากการเกษตร ประเภทเหง้ามันสำปะหลังในภาคตะวันออก 2) เพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) การใช้ประโยชน์ที่ตรงตามสมบัติของวัสดุ และ 3) เพื่อเพิ่มมูลค่าด้วยกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ประเภทดูดซับกลิ่นจำนวน 3 แบบ วิธีการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้เป็นแบบเชิงคุณภาพ โดยการวิจัยและพัฒนาในห้องทดลองแล้ววิเคราะห์สรุปผล ทดลองผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยพบว่า 1) เศษเหลือทิ้งจากการเกษตร ประเภทเหง้ามันสำปะหลังมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์มูลค่าเพิ่ม 2) กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็นขั้นตอน คือ การเตรียมถ่าน และการกระตุ้นเพื่อให้เกิดรูพรุนขนาดไมโคร วิธีกระตุ้นที่ดีที่สุดคือการกระตุ้นด้วยสารเคมีจะทำให้เนื้อถ่านกัมมันต์มีรูพรุนจำนวนมากและมีสมบัติในการดูดซับกลิ่นอย่างมีประสิทธิภาพ และ 3) ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในรถยนต์ใช้อัตราส่วนผสมถ่านกัมมันต์ผง ร้อยละ 60 ใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นตัวประสานในอัตราส่วนร้อยละ 40 ขึ้นรูปต้นแบบเป็นรูปทรงธรรมชาติ กระบองเพชร ขนาด 50x50x80 มิลลิเมตร ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในห้องครัวใช้อัตราส่วนผสมถ่านกัมมันต์ผง ร้อยละ 70 ใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นตัวประสานในอัตราส่วน ร้อยละ 30 ขึ้นรูปต้นแบบเป็นรูปทรงเรขาคณิต 6 เหลี่ยม 150x125x40 มิลลิเมตร และผลิตภัณฑ์สบู่อัดกลิ่นใช้อัตราส่วนผสมถ่านกัมมันต์ผง ร้อยละ 20 ใช้เบสสบู่กลีเซอรีนในอัตราส่วน ร้อยละ 80 ขึ้นรูปต้นแบบเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50x50x20 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง, ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น

Abstract: Objective of this research is to: 1) utilize agricultural waste, specifically cassava rhizome types in the eastern region, 2) study the production process of activated carbon with suitable material properties, and 3) create value-added odor-absorbing products through three different design processes. The research methodology is qualitative, involving laboratory research and development, data analysis, summarization, product prototype testing, and production. The research findings are as follows: 1) Cassava rhizome types, a form of agricultural waste, have potential for value-added applications. 2) The activated carbon production process consists of two steps: charcoal preparation and subsequent stimulation to create micropores. Chemical stimulation is the most effective method, resulting in activated carbon with high porosity and strong odor-absorption

capabilities. 3) Odor-absorbing products were developed: car air fresheners containing 60 % activated carbon powder and 40 % plaster, molded into a cactus shape (50x50x80 mm); kitchen deodorizers containing 70 % activated carbon powder and 30 % plaster, molded into a hexagonal shape (150x125x40 mm); and deodorizing soap containing 20 % activated carbon powder and 80 % glycerin soap base, molded into a square shape (50x50x20 mm).

Key words: Activated carbon from cassava rhizomes, Odor-absorbing products

1. บทนำ

แปลงใหญ่มันสำปะหลัง หนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี มีพื้นที่ประมาณ 1,240 ไร่ หลังกระบวนการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังไปจำหน่ายให้กับโรงงานผลิตแป้งมันแล้วจะเหลือเหง้ามันซึ่งเป็นเศษวัสดุทางการเกษตร จากข้อมูลกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกเบื่องตันพบว่า เศษเหลือทิ้งไม่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้แต่กลับเป็นภาระรายจ่ายในกระบวนการกำจัด ซึ่งส่วนใหญ่ใช้วิธีเผาทำลายซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเชื่อมโยงบูรณาการศาสตร์โดยเชื่อมโยง Area base กับเศรษฐกิจชุมชน ในการพัฒนาห่วงโซ่ (Supply chain) ให้เกิดในกระบวนการผลิตเน้นกระบวนการ Waste to Value และเพื่อสร้างความเข้มแข็งสู่เศรษฐกิจฐานรากที่มั่นคงและยั่งยืนให้กับชุมชนโดยใช้หลักการ Green Economy ในกระบวนการวิจัย โดยถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบจากธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการ Activation process จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำมีรูพรุนระดับไมโคร มีความสามารถและสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี กรรมวิธีการเตรียม Activated carbon ในปัจจุบันมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบและสมบัติที่ต้องการ โดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) เป็นการใช้ความร้อนทำให้สารระเหยแตกตัวและแทรกออกจากวัตถุดิบทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่าน (Charcoal) ส่วนขั้นตอนที่สอง การก่อกัมมันต์ (Activation) เป็นกระบวนการทำให้ถ่านเกิดรูพรุนในขนาดต่าง ๆ ซึ่งวิธีการก่อกัมมันต์โดยทั่วไปมี 2 วิธี ได้แก่

การก่อกัมมันต์ทางกายภาพ การก่อกัมมันต์ทางเคมี เมื่อได้คัดเลือกถ่านกัมมันต์ เกรดอุตสาหกรรมที่มีสมบัติตามต้องการ จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการแปรรูปเพื่อการออกแบบเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ประเภทดูดซับกลิ่นจำนวน 3 แบบ เป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ใหม่จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางเลือกและเป็นนวัตกรรมชุมชนในอนาคต

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทิ้งจากการเกษตรประเภทเหง้ามันสำปะหลัง ในภาคตะวันออก
- 2.2 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์และการใช้ประโยชน์ที่ตรงตามสมบัติของวัสดุ
- 2.3 เพื่อเพิ่มมูลค่าด้วยกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ประเภทดูดซับกลิ่นจำนวน 3 แบบ

3. ขอบเขตการวิจัย

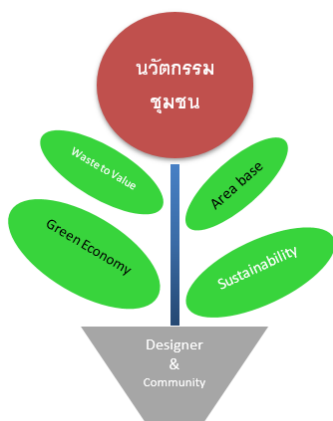
3.1 ขอบเขตทางด้านเนื้อหา/เรื่องราว เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนวัตกรรมสร้างสรรค์โดยใช้เหง้ามันสำปะหลังที่เป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ของจังหวัดชลบุรี นำมาหาแนวทางในการใช้ประโยชน์ด้วยการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ซึ่งมีสมบัติด้านกำลังการดูดซับ นำมาทดสอบทดลองศึกษาหาความเป็นไปได้ในการนำมาเพิ่มมูลค่า คุณค่าด้วยกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ประเภทดูดซับสำหรับเป็นต้นแบบสำหรับชุมชนได้เพื่อการพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์ จำนวน 3 แบบ ได้แก่

- 1) ลักษณะ เป็นผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น

2) เทคนิค เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนวัตกรรมสร้างสรรค์

3) ขนาด มีขนาดประมาณ 10 x 15 เซนติเมตร จำนวน 3 แบบ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ดัดกลิ้งในรถยนต์ ผลิตภัณฑ์ดัดกลิ้งในห้องครัว และผลิตภัณฑ์สับขจัดกลิ้ง

3.2 ขอบเขตด้านแนวคิดการวิจัย เป็นไปดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ไตรแกรมแนวคิดของการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยเป็นการศึกษาข้อมูล วิเคราะห์ คัดเลือกถ่านกัมมันต์ ที่มีสมบัติที่เหมาะสมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษวัสดุทางการเกษตร โดยมีกระบวนการวิจัยดังนี้

- 1) กำหนดปัญหาการดำเนินการวิจัย
- 2) กำหนดวัตถุประสงค์การวิจัย
- 3) ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 4) กำหนดกรอบแนวคิด
- 5) กำหนดประชากรกลุ่มตัวอย่าง
- 6) การรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล
- 7) การผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์
- 8) การนำเสนอผล

โดยในการศึกษาวิจัยให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขั้นตอน ในการดำเนินการออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาแนวทางความเป็นไปได้ในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาและคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ขั้นตอนที่ 3 การผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ดัดขจัดกลิ้ง

5. ผลการวิจัย

5.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาแนวทางความเป็นไปได้ในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ซึ่งวัสดุจากการเกษตรที่มีการนำมาทดลองผลิต เช่น เปลือกมังคุด ไม้ไผ่ เปลือกทุเรียน ไม้ยางพารา และเห้งามันสำปะหลัง ปรากฏผลดังนี้

5.1.1 เปลือกมังคุด [1] ผลจากการศึกษาพบว่า เปลือกมังคุดเป็นชีวมวลที่มีศักยภาพเหมาะสมสำหรับการผลิต ถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของรูพรุนอย่างชัดเจน สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดคืออัตราส่วน 1:1 (ถ่าน: ซิงค์คลอไรด์) ใช้เวลาให้ความร้อน 3 ชั่วโมง ผลการทดลองได้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 820 มิลลิกรัม ต่อกรัม ส่วนค่าความชื้น ร้อยละ 1.07 ปริมาณเถ้า ร้อยละ 5.68 ปริมาณสารระเหย ร้อยละ 47.75 ปริมาณคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 46.57 จากสเปกตรัม IR พบว่าแถบการสั่นของหมู่ -OH, C-H, C=O และ C C ของถ่านเปลือกมังคุดเข้มข้นกว่าสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ แสดงว่าในถ่านเปลือกมังคุดยังมีองค์ประกอบอินทรีย์เหลืออยู่หลายชนิด ส่วนในถ่านกัมมันต์การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ทำให้สารอินทรีย์ต่าง ๆ สลายตัวในรูปของสารระเหยและหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ สลายไปเช่นกัน

ดังนั้นเปลือกมังคุดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งสามารถนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้โดยมีสถานะในการผลิต คือ เเผาเปลือกที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที และสถานะที่เหมาะสมในการกระตุ้นคือใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้น ร้อยละ 5 (v/v) เวลาแช่กรด 180 นาที โดยมีเวลาและอุณหภูมิการกระตุ้นที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณภาพเทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า นอกจากนี้ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ยังมีความสามารถในการดูดซับน้ำเสียจากโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว และโครเมียมสังเคราะห์ได้ดี

5.1.2 ไม้ไผ่ [2] ผลการศึกษาพบว่าลำไผ่มีคาร์บอน 47.43 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นไผ่จึงมีสมบัติที่จะผลิตผงคาร์บอนได้ดี สมควรที่จะมีการศึกษาวิจัยพัฒนาให้เป็นพืชคาร์บอน ด้วยเหตุผลอย่างน้อย 4 ประการ คือ 1) ไผ่มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนอยู่ใน เกณฑ์มาตรฐาน 2) ไผ่เติบโตเร็ว สามารถใช้ผลิตคาร์บอนได้เมื่อปลูก 1-2 ปี สามารถหมุนเวียน ตัดสางลำแก่ไปใช้เผาถ่านได้อย่างต่อเนื่องยาวนาน 3) ไผ่สามารถบริหารจัดการเร่งอัตราส่วนในการสร้างของคาร์บอนได้ดี และ 4) ไผ่มีเส้นใยและรพูนมากกว่าต้นไม้ปกติ 4 เท่า ดังนั้นช่องว่างในเนื้อผงคาร์บอนย่อมมากกว่าผลิตจากไม้ชนิดอื่น ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการและเหมาะสมกับการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์มากที่สุด

5.1.3 ไม้ยางพารา [3] จากการทดลองเพื่อศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมในการนำผงถ่านไม้มาใช้เป็นวัตถุดิบในการ เตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงด้วยวิธีการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง พบว่าสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากผงถ่านไม้ใช้ NaOH เป็นสาร กระตุ้นอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงถ่านไม้ต่อสารกระตุ้น คือ 1:3 อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น คือ 600 องศาเซลเซียส และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่สภาวะดังกล่าวได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 1,247 mg/g และพื้นที่ผิว BET เท่ากับ 1,214.52 m²/g ผงถ่านไม้มีสมบัติเพียงพอที่จะนำมา

ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์พื้นที่ผิวสูงได้ เนื่องจากมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่า 600 mg/g ตามมาตรฐาน มอก. 900-2547 จากการหากลุ่มฟังก์ชันัลของถ่านกัมมันต์ พบว่า จะมีสารประกอบอินทรีย์โดยที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน อีลลูลานอนกับฟลักกรไฟต์ซึ่งสอดคล้องกับผลของสเปกตรัม XRD ส่วนลักษณะทางอิลลูลานอนวิทยาจากภาพ SEM พบรูพรุนขนาดต่าง ๆ กระจายตัวบนถ่านกัมมันต์และมีสิ่งปนเปื้อนน้อยกว่าผงถ่านไม้ และจากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้งจะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ คือ เท่ากับ 97.48 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่ราคาขายของห้องตลาดถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงกว่า 1,000 m²/g ราคาประมาณ 210 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้มีส่วนต่างกำไรจากค่าการตลาดถึง 53.58 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผงถ่านไม้ จึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูง

5.1.4 เปลือกทุเรียน [4] การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยนำเปลือกทุเรียนมาแช่ในสารละลายเกลือแกงในอัตราส่วน 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 2 ลิตรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปตากแดดเป็นเวลา 2 วันจึงนำมาเผาในเตาเผาอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส นำเปลือกทุเรียนที่ผ่านการเผาแล้วมาเข้าสู่กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพคือการใช้ไอน้ำเป็นตัวกระตุ้นด้วยเครื่องนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่ความดัน 10 กิโล-พาสคัล อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้น้ำล้างถ่านเพื่อชะล้างเถ้าที่หลงเหลืออยู่ตามรูพรุนของถ่านออก บดและร่อนด้วยตะแกรกร่อนขนาด 300 ไมโครเมตร จะได้ ถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ในการเป็นวัสดุดูดซับหลักแทนถ่านคาร์บอนในเครื่องกรองน้ำ ซึ่งหลักในการพิจารณาเลือกวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่จะนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ คือ ปริมาณ คาร์บอนสูงและปริมาณเถ้าต่ำ โดยวัสดุตั้งต้นที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจะส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ของคาร์บอนที่สูงเช่นกัน อีกทั้งปริมาณเถ้าที่ต่ำในวัสดุตั้งต้นเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าสิ่งปนเปื้อนในวัสดุตั้งต้นก็น้อย

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ศึกษาจากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่า มีปริมาณคาร์บอนสูงมี ค่าประมาณ ร้อยละ 40–50 และปริมาณเถ้าต่ำประมาณ ร้อยละ 0.20–10.00 โดยน้ำหนัก สำหรับเปลือกทุเรียนนั้นจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าจะมีเถ้าประมาณ 4.10 เปอร์เซ็นต์ และค่าคาร์บอน 44.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

5.1.5 เหมำมันสำปะหลัง [5] การผลิตถ่านกัมมันต์จากเหมำมันสำปะหลัง เมื่อพิจารณาจากค่าไอโอดีนัมเบอร์ พบว่า เหมำมันสำปะหลัง ก่อนและหลังกระตุ้นด้วยสารละลาย โซเดียมคลอไรด์และสารละลายเถ้าลอยมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงที่สุดเมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แสดงว่าถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์ เพื่อนำไปใช้ในประโยชน์ในการดูดซับสารโมเลกุลขนาดเล็กมากที่สุด และเมื่อพิจารณาจากค่าโมลาสนัมเบอร์ พบว่า เหมำมันสำปะหลังก่อนกระตุ้นมีค่าโมลาสนัมเบอร์สูงที่สุด เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงเหมาะสมสำหรับเตรียมถ่านกัมมันต์เพื่อนำไปใช้ในการดูดซับสารโมเลกุลขนาดใหญ่

สรุปคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์

1) ไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine number) เป็นค่าสำคัญใช้บอกประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์และเป็นตัวบ่งชี้พื้นที่ผิวทั้งหมดโดยการดูดซับไอโอดีนจากสารละลายเทียบกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วย ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน หลังถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2) ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าความหนาแน่นสูงจะเป็นถ่านที่มีคุณภาพดีสามารถดูดซับได้ดี

3) ค่าความแข็ง (Hardness) เป็นค่าความต้านทานการสึกกร่อนของถ่านกัมมันต์ค่านี้ จะบอกถึงความสามารถในการทนต่อแรงเสียดสีและความสามารถ

ในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการล้างวัสดุกรองซึ่งค่านี้จะแตกต่างอย่างชัดเจนตามชนิดวัตถุดิบและระดับที่ถ่านถูกกระตุ้น

4) ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle size distribution) ถ่านที่มีขนาดอนุภาคละเอียดมากเท่าใดก็จะยิ่งเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านให้มากขึ้นซึ่งมีผลให้โมเลกุลก๊าซดูดซับเข้าไปในโครงสร้างถ่านได้เร็วขึ้น

5) ปริมาณเถ้า (Ash content) หากปริมาณเถ้ามากประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จะลดลงและลดประสิทธิภาพการนำถ่านไปกระตุ้นซ้ำ

6) เมทิลีนบลู (Methylene blue) ถ่านกัมมันต์ที่โครงสร้างมีรูพรุนจะดูดซับโมเลกุลขนาดกลาง สีย้อมเมทิลีนบลู สารที่ให้สีนี้ถูกใช้เป็นตัวแทนของสารที่มีโมเลกุลขนาดกลาง ค่าเมทิลีนบลูมีหน่วย มิลลิกรัมต่อกรัม

เมื่อใช้งานถ่านกัมมันต์ไประยะหนึ่ง พบว่าประสิทธิภาพในการกรองหรือดูดซับสารจะต่ำลงเนื่องจากที่ว่างภายในโครงสร้างถ่านมีน้อยลงจึงต้องทำการเปลี่ยนถ่ายถ่านเก่าออกและใส่ถ่านใหม่เข้าไปทดแทนโดยถ่านที่ถูกใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ ด้วยการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นซ้ำ (Re-activated) เพื่อกำจัดสารต่าง ๆ ที่ถ่านดูดซับไว้ออกไปให้หมดก่อน

สรุปผลจากขั้นตอนที่ 1 แนวทางความเป็นไปได้ในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์มีความเป็นไปได้ และสอดคล้องกับนโยบายยุทธศาสตร์ แผนพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศทั้งนี้ต้องผ่านการทดลอง ทดสอบ เพื่อศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนด้านกระบวนการผลิตการเตรียมถ่านกัมมันต์ การตลาดที่รองรับเป็นปัจจัยร่วมด้วย

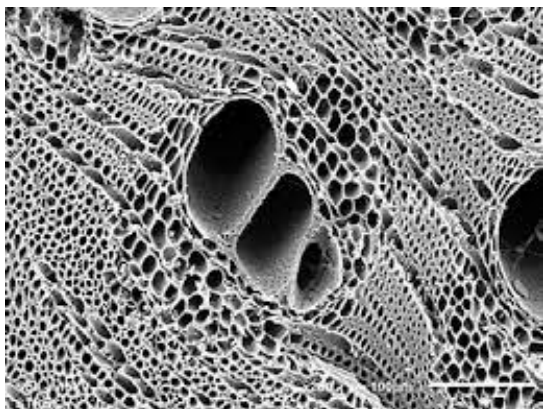
5.2 ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาและคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการศึกษาข้อมูลมีการผลิต เพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ จำแนก

ออกเป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ ชนิดผง ชนิดเกร็ด และแบบอัดแท่งดังปรากฏในภาพที่ 2-4 ตามลำดับ



ภาพที่ 2 แสดงถ่านกัมมันต์ ชนิดผง ชนิดเกร็ด และชนิดอัดแท่ง

ที่มา: Khamdejsak, P. and Yuangchan, S., 2018. [6]



ภาพที่ 3 ลักษณะรูพรุนและพื้นผิวของ ถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ที่มา: Photantimongkol, T., 2017. [7]



ภาพที่ 4 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกถ่านกัมมันต์ชนิดผงมาใช้ในการผลิตเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นเนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพคือ เนื้อละเอียด มีการกระจายตัวของรูพรุนดีเมื่อผสมกับวัสดุดิบประเภทอื่น

5.3 ขั้นตอนที่ 3 การผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น มีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในรถยนต์ ผู้วิจัยได้ใช้ถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน ร้อยละ 60 และใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นตัวประสานในอัตราส่วนร้อยละ 40 ผสมผงถ่านกัมมันต์และปูนปลาสเตอร์ให้เข้ากัน จากนั้นผสมน้ำเทลงในแบบพิมพ์ซิลิโคนที่ได้เตรียมไว้ดังปรากฏในภาพที่ 5-8 ดังนี้



ภาพที่ 5 ถ่านกัมมันต์ ชนิดผง ปูนปลาสเตอร์ และเครื่องชั่งดิจิทัล



ภาพที่ 6 การผสมถ่านกัมมันต์กับน้ำกาวผสมให้ เข้ากันแล้วใส่ปูนปลาสเตอร์ที่เหลือ



ภาพที่ 7 เทส่วนผสมลงในแบบพิมพ์ซิลิโคน

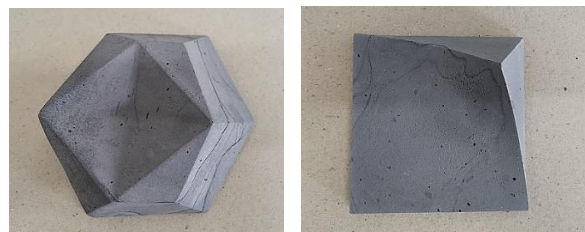


ภาพที่ 8 ต้นแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในรถยนต์ รูปทรงจากธรรมชาติ

5.3.2 ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในห้องครัว ผู้วิจัยได้ใช้ถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน ร้อยละ 70 และใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นตัวประสานในอัตราส่วนร้อยละ 30 ผสมผงถ่านกัมมันต์และปูนปลาสเตอร์ให้เข้ากัน จากนั้นผสมน้ำเทลงในแบบพิมพ์ซิลิโคนที่ได้เตรียมไว้ดังปรากฏในภาพที่ 9 - 11 สำหรับผลิตภัณฑ์ ดูดกลิ่นห้องครัวใช้วัสดุอุปกรณ์ และกระบวนการเหมือนกับการผลิตผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในรถยนต์แต่ปรับอัตราส่วนผสมเป็นใช้ ถ่านกัมมันต์ ชนิดผง ร้อยละ 70 และใช้ปูนปลาสเตอร์ ร้อยละ 30



ภาพที่ 9 เทส่วนผสมลงในแบบพิมพ์ซิลิโคน



ภาพที่ 10 ต้นแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นสำหรับติดผนังในห้องครัว แบบหกเหลี่ยม



ภาพที่ 11 ต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน

5.3.3 ผลิตภัณฑ์สบู่อัดกลิ่น ผู้วิจัยได้ใช้ถ่านกัมมันต์ ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ใช้เบสสบู่กลีเซอรีน ในอัตราส่วนร้อยละ 80 ผสมให้เข้ากันด้วยความร้อน จากนั้นเทลงในแบบพิมพ์ซิลิโคนที่ได้เตรียมไว้โดยมีวัสดุและอุปกรณ์ ประกอบด้วย 1) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง 2) เบสสบู่ กรีเซอรีนชนิดเนื้อใส 3) กลีเซอรีน 4) หัวน้ำหอมกลิ่นลาเวนเดอร์ 5) ปีกเกอร์ (แก้ว) 6) เครื่องชั่งดิจิทัล 7) เต้าไฟฟ้า 8) แบบพิมพ์ซิลิโคน 9) ตราประทับ และ 10) ซ้อนสแตนเลส โดยใช้สูตรอัตราส่วนผสม: ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 20 ต่อ เบสสบู่กลีเซอรีน ร้อยละ 80 ดังปรากฏในภาพที่ 12 - 19 ดังนี้



ภาพที่ 12 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต จากซ้าย ถ่านกัมมันต์ ชนิดผง เบสสบูว์กรีเซอริน กลีเซอริน และ หัวน้ำหอมกลิ่นลาเวนเดอร์



ภาพที่ 13 ชั่งเบสสบูว์กรีเซอรินน้ำหนัก 500 กรัม



ภาพที่ 14 ให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า ใช้ความร้อน 120 องศาเซลเซียส (อุ่นผ่านความร้อน จากน้ำ)



ภาพที่ 15 ผสมถ่านกัมมันต์ น้ำหนัก 100 กรัม กลีเซอริน 2 กรัม หัวน้ำหอม 1 กรัม กวนผสมให้เข้ากัน ตั้งพักไว้ประมาณ 3 นาที เพื่อลดปริมาณฟองอากาศก่อนเทลงแบบพิมพ์



ภาพที่ 16 เทลงในแบบพิมพ์ซิลิโคน พักไว้ให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 17 เนื้อสบู่ที่ถอดจากแบบพิมพ์



ภาพที่ 18 ตราประทับ Natural Soap



ภาพที่ 19 ต้นแบบผลิตภัณฑ์สบู่ขจัดกลิ่น

6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 สรุปผลการวิจัย จากการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ผลการดำเนินการวิจัยเรื่อง ถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น สามารถสรุปได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

6.1.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาแนวทางการเป็นไปได้ในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ จากการศึกษาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรด้วยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าเศษวัสดุเหลือทิ้งหลากหลายประเภทที่นักวิจัยให้ความสนใจนำมาใช้ประโยชน์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร 5 ชนิด มาวิเคราะห์หาแนวทางการเป็นไปได้ในการนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ดังตาราง 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำไปผลิตถ่านกัมมันต์

รายการ	รายละเอียดทางเทคนิค	หมายเหตุ	เป็นไปได้
เปลือก มังคุด	เมื่อนำมากระดุนพบว่า มีการเพิ่มขึ้นของรูพรุน อย่างชัดเจน สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดคือ อัตราส่วน 1:1 (ถ่าน: ซิงค์คลอไรด์) มีคุณภาพ เทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับสารโลหะหนักในน้ำได้เป็นอย่างดี	ต้องมีเครือข่ายความร่วมมือกับอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้ เนื่องจากต้องใช้ปริมาณเปลือกมังคุดในปริมาณมาก	เป็นไปได้ ปานกลาง
ไม้ไผ่	ลำไผ่มีคาร์บอน 47.43 เปอร์เซ็นต์ มีเส้นใยไฟเบอร์เรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมีความหนาแน่นของเนื้อไผ่และรูพรุนมากกว่าต้นไม้ปกติ 4 เท่า มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน	ในกรณีผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ต้องพิจารณาต้นทุน การเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์แปรรูปให้มูลค่าที่เหมาะสม เนื่องจากไม้ไผ่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายโดยไม่ต้องนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์	เป็นไปได้สูง แต่ควร วิเคราะห์ ความคุ้มค่า ของการ ผลิตให้มี ความ ชัดเจนและ คุ้มค่ากับ การลงทุน
ไม้ยางพารา	มีความเหมาะสมในการนำผงถ่านไม้ยางพารา มาใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงด้วยวิธีการถ่านกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากผงถ่านไม้ ไม่ใช่ NaOH เป็นสารกระตุ้นอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงถ่านไม้ต่อสารกระตุ้นคือ 1:3	ควรผลิตถ่านกัมมันต์ที่ถ่านกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้งจะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ คือ เท่ากับ 97.48 บาท ต่อโลกรัม ขณะที่ราคาขายของห้องตลาดถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงกว่า 1,000 m ² /g ราคาประมาณ 210 บาท ทำให้มีส่วนต่างกำไรจากค่าการตลาดถึง 53.58 เปอร์เซ็นต์	เป็นไปได้สูง

รายการ	รายละเอียดทางเทคนิค	หมายเหตุ	เป็นไป ได้
เปลือก ทุเรียน	เปลือกทุเรียน พบว่าจะ มีเถ้าประมาณ 4.1 เปอร์เซ็นต์ และค่า คาร์บอน 44.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความ เหมาะสมในการนำมา ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ใช้ กระบวนการกระตุ้น ด้วยวิธีทางกายภาพคือ การใช้ไอน้ำเป็น ตัวกระตุ้นด้วยเครื่องนี้ ความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่ความ ดัน 10 กิโลพาสคัล อุณหภูมิ 120 องศา เซลเซียส	ต้องมีเครือข่ายในการ รวบรวมเก็บสะสม เปลือกทุเรียนจำนวน มาก และมีช่วงระยะ ฤดูทุเรียนเป็นตัวแปร ที่สำคัญ	เป็นไปได้ ปานกลาง
เห้งจัน สำหรับ	เห้งจันสำหรับหลัง กระตุ้นด้วยสารละลาย โซเดียมคลอไรด์และ สารละลายแอลกอฮอล์ และ เผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เหมาะสมสำหรับการ เตรียมถ่านกัมมันต์	ควรมีความร่วมมือกับ กลุ่มวิสาหกิจชุมชน แปลงใหญ่มัน สำหรับ มี การศึกษาและพัฒนา โครงการนำร่อง ร่วมกับภาครัฐ	เป็นไปได้สูง

6.1.2 ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาและคัดเลือกถ่านกัมมันต์ ที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบการดำเนินงานในขั้นตอนที่ 1 พบว่า เห้งจันสำหรับหลังที่เหลือทิ้งจากกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว เป็นเศษวัสดุทางการเกษตรที่มีโอกาสนำไปเพิ่มมูลค่าโดยการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และจากการดำเนินงานขั้นตอนที่ 2 พบว่าถ่านกัมมันต์แบบผงมีสมบัติลักษณะทางกายภาพคือ เนื้อละเอียด มีการกระจายตัวของรูพรุนดีเมื่อผสมกับวัตถุดิบประเภทอื่น ๆ

6.1.3 ขั้นตอนที่ 3 การผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น ดำเนินการดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์ดูดกลิ่นในรถยนต์ ใช้รูปทรงจากธรรมชาติ กระบองเพชร ขนาด 50x50x80 มิลลิเมตร ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงต่อปูนปลาสเตอร์

ในอัตราส่วน ร้อยละ 60 มีลักษณะทางกายภาพ สีเทา น้ำหนักหลังผลิตภัณฑ์แห้งสนิท 120 กรัม ผลการทดลองใช้งาน พบว่าประสิทธิภาพในการดูดกลิ่นได้ดี โดยต้องใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง

2) ผลิตภัณฑ์ดูดกลิ่นในห้องครัว ใช้รูปทรงเรขาคณิต รูป 6 เหลี่ยม สำหรับติดผนัง ขนาด 150x125x40 มิลลิเมตร ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงต่อปูนปลาสเตอร์ ในอัตราส่วนร้อยละ 70 มีลักษณะทางกายภาพ สีเทา ผิวเรียบน้ำหนักหลังผลิตภัณฑ์แห้งสนิท 480 กรัม ผลการทดลองใช้งาน พบว่าประสิทธิภาพการดูดกลิ่นได้ดี โดยต้องใช้เวลาน้อย 6 ชั่วโมง

3) ผลิตภัณฑ์สบู่อัดกลิ่น ใช้รูปทรงเรขาคณิต รูป 4 เหลี่ยมด้านเท่า ขนาด 50x50x20 มิลลิเมตร ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงต่อเบสสบู่กลีเซอรีน ในอัตราส่วน ร้อยละ 20 มีลักษณะทางกายภาพ สีดำเงา ผิวเรียบ น้ำหนัก 78 กรัม/ก้อน ผลการทดลองการใช้งานสามารถชำระสิ่งสกปรกบนผิวหนัง และมือได้เป็นอย่างดี

6.2 อภิปรายผล

ด้านการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร มีแนวทาง ความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ โดยเฉพาะเห้งจันสำหรับหลังที่เหลือจากกระบวนการเก็บเกี่ยวสามารถนำมาแปรรูปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ สอดคล้องกับผลการวิจัยเรื่องประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากขาน้อยและเห้งจันสำหรับหลังในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมไหม [8] พบว่า ถ่านที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์มีรูพรุนมาก เรียงตัวเป็นระเบียบหนาแน่น และสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง สมบัติพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากลำตัน เห้งจ และเปลือกมันสำหรับหลัง [5] พบว่า เห้งจันสามารถนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติด้านการดูดซับได้เป็นอย่างดี

ด้านแปรรูปเพื่อการออกแบบและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ พบลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์มาใช้ในการครั้งนี้ เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดผง เนื่องจาก

สามารถนำไปผสมวัสดุอื่น ๆ เพื่อขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทแบบลงในแบบพิมพ์ได้เป็นอย่างดี ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้ ปูนปลาสเตอร์ และ เบสสบูกลีเซอริน ด้านรูปทรงผลิตภัณฑ์ใช้รูปทรงจากธรรมชาติและรูปทรงเรขาคณิตมาทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

7. ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยสามารถสรุปประเด็นปัญหาและข้อเสนอแนะรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.1 ปัญหาที่พบในกระบวนการวิจัย

ด้านงบประมาณในการวิจัยมีจำกัด จึงทำให้ไม่สามารถประสานงานและลงพื้นที่ภาคสนามเพื่อดำเนินงานร่วมกับกลุ่มเกษตรกรแปลงใหญ่มันสำปะหลังได้อย่างเต็มรูปแบบ

7.2 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้งาน

7.2.1 ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในรถยนต์ และ ผลิตภัณฑ์แผ่นดูดซับกลิ่นสำหรับติดตั้งห้องครัว ควรมีการนำผลิตภัณฑ์ไปตากแดดเพื่อลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ผลิตภัณฑ์สามารถแตกหักได้ การประกอบ หีบจับควรกระทำอย่างระมัดระวัง

7.2.2 ผลิตภัณฑ์สบู่อัดกลิ่น ขณะใช้งานจะมีฟองสบู่สีดำจากส่วนผสมของถ่านกัมมันต์ ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ เพียงชำระล้างออกด้วยน้ำสะอาด

7.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

7.3.1 สามารถนำถ่านกัมมันต์ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ได้อย่างหลากหลาย

7.3.2 หาเครือข่ายความร่วมมือกับภาครัฐและภาคเอกชนในการสนับสนุนส่งเสริมให้เป็นหมู่บ้าน/ชุมชนนวัตกรรม ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจในระดับฐานราก

7.3.3 ควรศึกษาวัสดุผสมอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมและหลากหลาย

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เป็นอย่างสูงที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ให้ใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการ รวมถึงขอขอบคุณผู้บริหาร ผู้ทรงคุณวุฒิ คณาจารย์ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องที่เกี่ยวข้อง และให้ข้อเสนอแนะ จนงานวิจัยแล้วเสร็จตามวัตถุประสงค์

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Soiklom, S., et al. 2016. "Production of activated carbon from mangosteen peel biomass to remove heavy metals," *Agricultural innovation for a global value chain*, Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- [2] Phuangjick, T. 2015. "Activated carbon from bamboo: the market still has high demand," *Journal of Science and Technology* (Special Issue). 23(6): pp. 945-954. (in Thai)
- [3] Chansiripon C., Kaewpradit P., and Phongyila, P. 2016. "Production of activated carbon from rubber wood charcoal from biomass power plants for water filters," Research Report. Songkhla, Prince of Songkla University. (in Thai)
- [4] Phumphon, P., & Phongthonphruek, S. 2019. "Utilization of durian peels for producing water filters to absorb iron," *Journal of Science and Applied Science*. 20(2): pp. 33-44. (In Thai)

- [5] Thammee, N., Kegnguan, M. and Mopuang, S. 2012. "Surface properties of activated carbon prepared from stems. Cassava rhizomes and peels," *Naresuan University Journal: Science and Technology*. 9(1): pp. 80-90. (in Thai)
- [6] Khamdejsak, P. and Yuangchan, S. 2018. "Treatment of mercury contamination in the air with activated carbon," *Environmental Journal Chulalongkorn University*. 22(1): pp. 44-52. (in Thai)
- [7] Photantimongkol, T. 2017. "Activated carbon from agricultural waste by chemical activation for application to eliminate pollutants in water," *Journal of the Science, Technology and Environment for Learning Research Unit*. 8(1): pp. 196-214. (in Thai)
- [8] Uparee, O. and Siriwittayapakorn, S. 2016. "Efficiency of activated carbon from bagasse and cassava rhizomes in treating wastewater from silk dyeing," *Industrial Technology Academic Journal: Suan Sunandha Rajabhat University*. 4(2): pp. 37-50. (in Thai)