บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยเรื่อง การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดเหลือทิ้งในกระบวนการแปรรูปของวิสาหกิจชุมชนคลองน้ำเค็มทันใจ ด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล ผู้วิจัยได้ศึกษา แนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามลำดับหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ถ่านกัมมันต์

2.2 การดูดซับ

2.3 มังคุด

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นถ่านที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่ภายในเป็นจำนวนมาก ถ่านกัมมันต์เกิดจากการนำเอาวัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ แล้วทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้าง รูพรุน และมีพื้นที่ผิวภายในสูงขึ้น โดยถ่านกัมมันต์นั้นจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก 87 - 90 เปอร์เซ็นต์ และมีธาตุอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบด้วย (สุคนทิพย์ เถาว์โมลา, 2561) ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่มีรูพรุนขนาดตั้งแต่ 20 อังสตรอม ถึง 20,000 อังสตรอม โดยปกติวัสดุรูพรุน สามารถจำแนกขนาดรูพรุนได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ไมโครพอรัส (Microporous) เป็นรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร
2. เมโซพอรัส (Mesoporous) เป็นรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2–50 นาโนเมตร
3. แมคโครพอรัส (Macroporous) เป็นรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร

วิธีการเตรียมที่แตกต่างกันจะทำให้ขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์มีความแตกต่างกันคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ เช่น พื้นที่ผิวของรูพรุน (pore surface area) ปริมาตรของรูพรุน (pore volume) และการกระจายขนาดรูพรุน (pore size distribution) ทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูงมาก จึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อกำจัดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ออกจากแก๊สและของเหลว ถ่านกัมมันต์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์ หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีเหมาะสมแก่การใช้งาน และมีราคาไม่แพงมาก ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม คือ ถ่านพีท ถ่านหิน ถ่านลิกไนต์ โดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีปริมาณคาร์บอนสูง มีสารระเหยต่ำ ราคาถูกและหาได้ง่าย (อาอีเซาะส์ เบ็ญหาวัน และคณะ, 2561) ดังนั้น ในปัจจุบันจึงมีผู้สนใจนำวัสดุชีวมวลมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์จำนวนมาก กรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ลักษณะและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน คือ การเปลี่ยนวัสดุชีวมวลเป็นถ่านผ่านกระบวนการเปลี่ยนเป็นคาร์บอน หรือกระบวนการคาร์บอไนเซชัน (Carbonization) และการกระตุ้นถ่านชีวมวลให้เป็นถ่านกัมมันต์ (Activation)

กระบวนการคาร์บอไนเซชัน เป็นการไพโรไลซีสซึ่งเกิดขึ้นในที่อับอากาศเพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและก๊าซออกมา ขั้นตอนการคาร์บอไนเซชันจัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากในการคาร์บอไนเซชันจะมีการเริ่มสร้างโครงสร้างรูพรุน โดยในระหว่างการคาร์บอไนเซชัน ธาตุและองค์ประกอบต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่างๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำจะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์ จากนั้นจะได้ถ่านคาร์บอน

หลังจากผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันแล้ว ถ่านที่ได้จะถูกนำมากระตุ้นเพื่อเพิ่มปริมาณรูพรุนหรือพื้นที่ผิว ซึ่งปัจจุบันเทคนิคในการกระตุ้นนั้นมีหลายเทคนิค เช่น การกระตุ้นด้วยสารเคมี การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ การกระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ และการกระตุ้นด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล เป็นต้น

2.2 การดูดซับ

การดูดซับเป็นการแยกสารองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือก๊าซ โดยให้สารละลายหรือก๊าซผสมสัมผัสกับตัวดูดซับโดยทั่วไปกระบวนการดูดซับของโมเลกุลต่างๆบนผิวถ่านกัมมันต์สามารถเขียนอยู่ในรูปปฏิกิริยาของการดูดซับของลาเกอร์เกรน ได้ดังนี้

$$A + S \leftrightarrow A^*S$$

โดยที่ A คือ ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) S คือ ตัวดูดซับ (Adsorbent) และ A*S คือ สารประกอบที่เกิดจากการดูดซับ (Adsorbed Compound)

ในปฏิกิริยาของการดูดซับที่เกิดขึ้นนี้ตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับด้วยกลไกการดูดซับ ซึ่งมี 3 แบบ คือ

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับสารองค์ประกอบที่ถูกดูดซับ ซึ่งแรงนี้มีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะแตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพ โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ต้องการถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบของตัวถูกดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับ ทำให้ปริมาณของตัวถูกดูดซับลดลงและให้ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีออกมาสูงมาก

3. การดูดซับทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Adsorption) การดูดซับทางไฟฟ้าเคมีหรือการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electrostatic Force) ระหว่างประจุบนโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับประจุบนผิวหน้าของตัวดูดซับ การดูดซับทางไฟฟ้าเคมีมีความแข็งแรงมากกว่าการดูดซับทางกายภาพแต่อ่อนกว่าการดูดซับทางเคมี

2.3 มังคุด

มังคุดเป็นผลไม้ที่มีชื่อเสียงในพื้นที่ภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศไทย โดยมีพื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตในแต่ละปีค่อนข้างมาก มังคุดมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Garcinia mangostana Linn. เป็นไม้ยืนต้น ต้นตั้งตรงสูง 10 - 25 เมตร ใบสีเขียวเข้ม ทรงพุ่มแน่นกลมดูงามสง่า และทุกส่วนจะมียางสีเหลืองมีใบเดี่ยวรูปไข่เนื้อ ใบหนา ค่อนข้างเหนียวคล้ายหนัง สีเขียวเข้มเป็นมัน ออกดอกเป็นดอกเดี่ยวหรือดอกคู่ที่ซอกใบใกล้ปลายกิ่ง กลีบเลี้ยงสีเขียวอมเหลือง กลีบดอกสีแดงฉ่ำน้ำ เนื้อในของผลมังคุดสีขาวห่อหุ้มด้วยเปลือกหนาสีม่วงอมแดง หรือม่วงอมน้ำตาล

เปลือกของมังคุดประกอบไปด้วยสารประกอบต่าง ๆ มากมาย เช่น แซนโทน (Xanthone), แทนนิน (Tannin), ควิโนน (Quinone) แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) และพอลิฟีนอล (Polyphenol) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้สามารถสกัดออกมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางการแพทย์ เครื่องสำอางค์ และการเป็นสารให้สีได้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุคนทิพย์ เถาว์โมลา (2561) ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 3 ประเภท คือ กะลามะพร้าว เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นต่างกัน 3 ความเข้มข้น ในช่วง 20-60 % โดยน้ำหนัก อุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันอยู่ที่ 500 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิการกระตุ้นอยู่ในช่วง 400-600 องศาเซลเซียส จากการศึกษาดังกล่าว ผู้วิจัยพบว่าถ่านกะลามะพร้าวมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดที่ 1346.6 ตารางเมตรต่อกรัม และมีลักษณะรูพรุนเป็นแบบเมโซพอรัสเช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด

สุภาพร และคณะ (2557) ทำการเตรียมและศึกษาลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดด้วยการเปลี่ยนเปลือกมังคุดเป็นถ่านผ่านปฏิกิริยาคาร์บอไนเซชันแล้วนำไปกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ โดยใช้เทคนิคการให้ความร้อนด้วยการกลั่นแบบไหลย้อนกลับ ในงานวิจัยนี้ อัตราส่วนระหว่างสารกระตุ้นกับสารตัวอย่าง และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นถูกศึกษา และพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารกระตุ้นกับสารตัวอย่างคือ 1:1 ที่เวลาการให้ความร้อน 3 ชั่วโมง โดยถ่านกัมมันต์ดังกล่าวมีค่าการดูดซับไอโอดีน 820 mg/g ค่าความชื้น 1.07% ปริมาณเถ้า 5.68% ปริมาณสารระเหย 47.75% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 46.57%

พีระพงษ์ เนียมเสวก (2553) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านกัมกัมมันต์จากวิธีการผลิต 2 วิธีและวัสดุที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือการผลิตโดยวิธีทางกายภาพโดยใช้ไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 600-800 °C และการผลิตโดยวิธีชุบด้วยซิงค์คลอไรด์ที่อุณหภูมิ 600-800 °Cโดยใช้เวลาในการคาร์บอไนซ์ 3 ชั่วโมง ในวัสดุ 3 ชนิดได้แก่ กะลามะพร้าว เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติดีที่สุดคือถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเปลือกทุเรียนโดยวิธีไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 800 °C โดยมีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 917.44 mg/g

รอฮานา อาดามและอุษา อ้นทอง (2554) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะทองแดง และตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยถ่านและถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด เปรียบเทียบ

กับถ่านกัมมันต์ทางการค้า จากผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุดมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุด และสามารถดูดซับไอออนของโลหะที่ทดสอบได้ดีที่สุด

นิชธิมา รุ่งปิ่นและคณะ (2553) ใช้เทคนิคไฮโดรเทอร์มอลในการสังเคราะห์สารแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยเชอรี่ โดยจากการศึกษาพบว่า เทคนิคไฮโดรเทอร์มอลสามารถเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยเชอรี่จากโครงสร้างแบบอะราโกไนต์ไปเป็นโครงสร้างแบบแคลไซต์ และขนาดอนุภาคของสารที่ได้อยู่ในช่วง 110 นาโนเมตรถึง 5.30 ไมโครเมตร ขึ้นกับอุณหภูมิในการทำไฮโดรเทอร์มอล

นิตย์ธินันท์ บริรักษ์ และ ชัชวาลย์ ชัยชนะ (2557) ประยุกต์ใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ จากผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลว คือการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 °C ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่สั้น ได้ผลผลิตเป็นเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพเชิงพลังงาน 4.62% และเชื้อเพลิงเหลวที่ได้มีค่าความร้อนสูง 40.90 MJ/kg ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนสูงของน้ำมันเตา (42.10 MJ/kg) และน้ำมันดีเซล (42-46 MJ/kg)

กมลวัฒน์ นาคะสรรค์ และคณะ (2559) ได้ใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันในการเตรียมตัวดูดซับจากเหง้ามันสำปะหลังและซังข้าวโพด เพื่อใช้ดูดซับสารเคมีระเหยง่าย โดยอุณหภูมิคาร์บอไนเซชันที่ใช้คือ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปเผากระตุ้นที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง จากการศึกษาการดูดซับสารโทลูอีนพบว่า ตัวดูดซับจากเหง้ามันสำปะหลังและซังข้าวโพดสามารถดูดซับโทลูอีนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1,600 ppm จนเหลือ 0 ppm ได้นาน 25 และ 55 นาที ตามลำดับ และสามารถดูดซับไซลีนที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2,400 ppm จนเหลือ 0 ppm ได้นาน 60 นาที เท่ากัน

ดนุสรณ์ คงสมจิตต์ (2562) ผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันและการกระตุ้นด้วยไอน้ำจากชานอ้อยที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำตาลเพื่อใช้สำหรับการดูดซับสีในน้ำเชื่อมในการผลิตน้ำตาลทรายขาว จากการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 180 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส สามารถลดค่าสีได้จนถึง 253 และ 240 หรือคิดเป็นร้อยละ 48 และ 53 ตามลำดับ ซึ่งค่าสีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นน้ำตาลทรายขาวอยู่ที่ 200

Hamid และ You (2021) ใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันที่ 200 องศาเซลเซียส ในการเตรียมถ่านไฮโดรชาร์จากเปลือกมังคุด และนำไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับเมทิลีนบลู จากการศึกษาพบว่า ถ่านไฮโดรชาร์ที่ได้มีความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูถึง 131.58 mg/g และเป็นตัวเลือกที่ดีในการผลิตเป็นตัวดูดซับสีย้อมแบบประจุบวกในน้ำเสีย

Yves Iradukunda และคณะ (2021) เตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดด้วยการทำไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเปอร์ออกไซด์ หลังจากนั้นไปกระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ก่อนนำไปเผาคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 1 ชั่วโมง เมื่อนำไปทดสอบความสามารถในการเป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดพบว่า ถ่านกัมมันต์ดังกล่าวสามารถเตรียมเป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่มีค่าความจุ 274.5 F/g และมีพื้นที่ผิวสูงถึง 1078.92 ตารางเมตรต่อกรัม