

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ถ่านที่มีปฏิกิริยามีชื่ออื่นๆว่า ถ่านกัมมันต์คาร์บอนก่อกัมมันต์ หรือถ่านดูดซับซึ่งมีชื่อทางภาษาอังกฤษว่า Activated Carbon หรือ Active Carbon ถ่านที่มีปฏิกิริยานี้มีคุณสมบัติในการดูดซับได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ การที่ดูดซับได้เพราะผิวของถ่านดังกล่าวมีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวมาก (อยู่ในช่วง 300-500 ตารางเมตร/กรัม) จึงมีสมบัติในการดูดซับ (Adsorption) อนุภาคสารต่างๆ ได้ดี ถ่านที่มีปฏิกิริยาจึงเป็นเคมีภัณฑ์ที่สำคัญมากในอุตสาหกรรมหลาย

ความหมายของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์นั้นมิใช่ให้ความหมายไว้หลากหลาย คือ

-Derbyshire กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือวัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและความพรุนสูง ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ในปริมาณสูง ซึ่งถ่านกัมมันต์นั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ จากนั้นถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วย จากคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีราคาไม่แพงของถ่านกัมมันต์ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่ใช้กันมาก

- ตาม มอก. 900-2532 กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆได้เป็นอย่างดี

วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม คือ พีท ถ่านหิน ลิกไนต์ ไม้ และกะลามะพร้าว เนื่องจากสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กสูง ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
- มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีคุณสมบัติคงที่

ในปัจจุบันมีของเสียที่เหลือทิ้งทางการเกษตรนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูก อย่างไรก็ตามปัญหาในการผลิตถ่านกัมมันต์จากของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรคือ วัตถุดิบมีคุณสมบัติไม่คงที่ แม้ว่าเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกัน ทำให้ยากในการควบคุมการกระจายขนาดของรูพรุนในขั้นตอนการผลิต แหล่งของวัตถุดิบที่นำมาศึกษาเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้แก่

Bagasse	Corncoobs	Leather waste
Beat-Suger sludges	Cottonseed hulls	Lignin
Blood	Distillery waste	Lignite
Bones	Fish	Molasses
Carbohydrates	Flue dust	Nutshells
Cereal	Fruit pits	Oil shale
Coal	Graphite	Peat
Coconut shells	Kelp and weawood	Petroleum
Coffee beans	Lampblack	Wood

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จะประกอบด้วยคาร์บอนไนซ์และขั้นตอนการกระตุ้นถ่านชาร์

- การคาร์บอนไนซ์

กระบวนการคาร์บอนไนซ์ เป็นการไพโรไลซิสซึ่งเกิดขึ้นในที่อับอากาศ เพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและแก๊สออกมาด้วย โดยโครงสร้างวงแหวน อะโรมาติกหลักที่เหลือกลายเป็นโครงสร้างของถ่านชาร์ ส่วนกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์และแก๊สต่างๆ ขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ขั้นจัดว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากในการคาร์บอนไนซ์จะมีการเริ่มสร้างของโครงสร้างรูพรุน โดยในระหว่างการคาร์บอนไนซ์ธาตุต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่างๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำ จะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของแก๊สและน้ำมันทาร์ จากนั้นก็จะได้ถ่านชาร์ซึ่งมีการจัดตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึก โดยจะมีสารอินทรีย์ที่เป็นทาร์ไปอุดช่องว่างเหล่านั้น ซึ่งในส่วนประกอบของถ่าน

ซาร์ที่ได้ จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจน และคาร์บอนต่อออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบ ในตอนแรกด้วย ขั้นตอนของกระบวนการคาร์บอไนเซชัน แบ่งได้ชัดเจนเป็น 3 ชั้น คือ

1. จะมีการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบในช่วงอุณหภูมิ 27-197 องศาเซลเซียส
2. เข้าสู่ขั้นตอนการไพโรไลซิส โดยเกิดแก๊สและน้ำมันทาร์ใน โครงสร้างในช่วงอุณหภูมิ 197-497 องศาเซลเซียส
3. เป็นช่วงที่มีการเกาะตัวกันของ โครงสร้างถ่านซาร์ โดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะ ลดลงมาก ที่ช่วงอุณหภูมิ 497-847 องศาเซลเซียส

การคาร์บอไนซ์ให้ได้ถ่านที่มีคุณสมบัติที่ต้องการทำได้โดยการปรับภาวะให้เหมาะสม โดยมีตัวแปรคือ

อุณหภูมิ อุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณการเกิดถ่านซาร์จะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และแก๊สที่ได้เพิ่มมากขึ้น และคุณสมบัติของน้ำมัน ทาร์จะมีกลุ่ม โครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลาย พันธะภายใน โครงสร้างของวัตถุดิบนั้น

อัตราการให้ความร้อน อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อคุณสมบัติและปริมาณของน้ำมัน ทาร์และสารระเหยการเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูก ปลดปล่อยอย่างรวดเร็วทำให้ถ่านที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่าน ที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เพราะถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ด้วยอัตราเพิ่ม อุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่เมื่อทำ การกระตุ้น สารกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

ตัวกลางของปฏิกิริยา (Medium of reaction) จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาถ้าแก๊สและไอน้ำที่ เกิดระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็วโดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง เช่น แก๊สใน โครเจน (เมื่อต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน) และแก๊สจากการเผาไหม้ ถ้าวัสดุกลางเป็นแก๊สที่ได้จาก การเผาไหม้ ปริมาณถ่านที่ได้จะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นแก๊สใน โครเจน แต่มีความว่องไวในการทำ ปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า

ธรรมชาติของวัตถุดิบ วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกันในการคาร์บอไนซ์ โดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกัน เพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดี ที่สุด ซึ่งจะเหมาะกับการนำไปใช้ในระบบที่เหมาะสมต่อไป

จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอไนเซชันก็เพื่อผลิตให้ได้ถ่านที่มีรูพรุน ละการ จัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัตถุดิบ

การกระตุ้น เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพสำหรับคาร์บอน ด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น โดยการทำให้มีรูพรุนมากขึ้น หรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่นๆ ของถ่านกัมมันต์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการกระตุ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด เนื่องจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี และประสิทธิภาพของการกระตุ้นขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่นๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย

โดยทั่วไปแล้วมี 2 วิธีในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ

- นำวัตถุดิบหรือวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้ว มากระตุ้นโดยใช้สารกระตุ้นเช่น $ZnCl_2$, $CaCl_2$, H_3PO_4 วิธีนี้โดยทั่วไปเรียกว่า “การกระตุ้นทางเคมี”

- นำวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้วมาทำปฏิกิริยากับแก๊สที่ใช้ในการออกซิไดซ์ ซึ่งอาจเป็นไอน้ำ คาร์บอน ไดออกไซด์ ออกซิเจน วิธีนี้โดยทั่วไปเรียกว่า “การกระตุ้นทางกายภาพ”

1. การกระตุ้นทางเคมี

เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันมากในการผลิตถ่านกัมมันต์ในทางการค้า โดยปกติแล้ววิธีการกระตุ้นแบบนี้มักใช้กับวัตถุดิบที่เป็นไม้ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 500 – 900 องศาเซลเซียส การกระตุ้นที่ใช้กันทั่วไปในทางอุตสาหกรรม คือ ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริก การกระตุ้นทางเคมีจะช่วยลดการเกิดทาร์และสารอื่นๆ ที่เกิดในกระบวนการ ดังนั้นร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงค่อนข้างมีปริมาณสูงรูปที่ 2.1

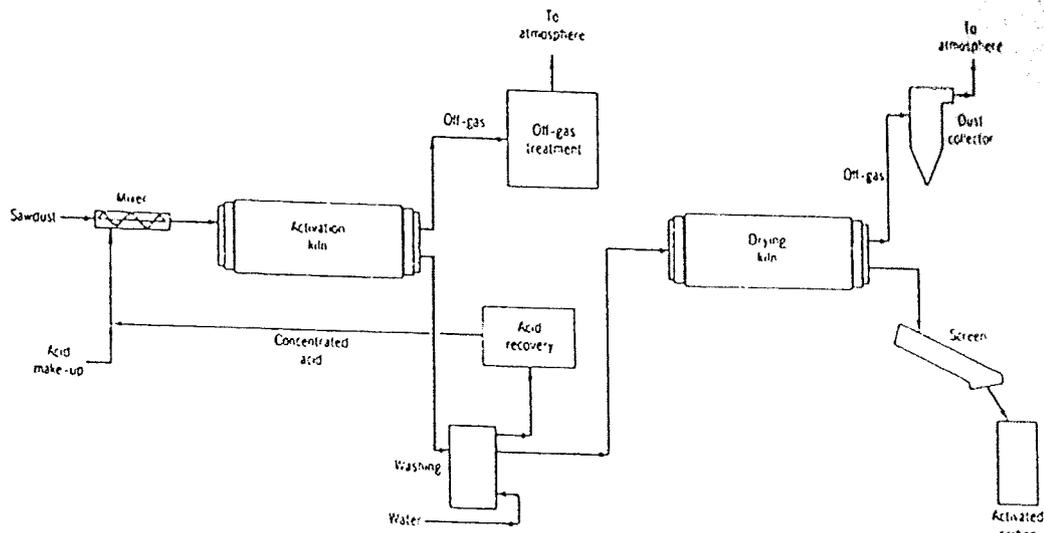


Fig. 2. Chemical activation of wood

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างกระบวนการกระตุ้นทางเคมี

จากรูปที่ 1 เป็นตัวอย่างการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ ซึ่งทำการผลิตถ่านกัมมันต์โดยจะเริ่มต้นด้วยนำขี้เลื่อยแช่ผสมกับกรดเข้มข้นและป้อนสู่เตาเผาแบบหมุน จะเป็นกระบวนการทำให้แห้งจากนั้นจะเป็นการคาร์บอนไนซ์และทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิปานกลาง ซึ่งแก๊สที่ออกมาจากกระบวนการกระตุ้นจะทำการบำบัดก่อนปล่อยออกเพื่อไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดกรดออกจากเนื้อถ่าน และทำการแยกถ่านที่ได้ออกมาและนำน้ำนั้นไปผ่านกระบวนการนำกรดกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในส่วนนี้บางโรงงานที่ทำการผลิตก็มีได้นำกรดกลับมาใช้ใหม่ จากการล้างถ่านที่ได้นั้นควรล้างจนกว่าน้ำล้างจะเป็นกลาง (pH=7) และนำถ่านที่ได้ไปอบแห้ง จากนั้นนำถ่านไปแยกขนาดสำหรับการใช้งานแต่ละชนิดต่อไป ถ่านที่ได้จะมีร้อยละผลิตภัณฑ์สูงด้วยซึ่งเทียบกับน้ำหนักของวัตถุเริ่มต้น

ในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางการค้าโดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยทั่วไปจะใช้ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริก โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่ง โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดิบโดยใช้สภาวะที่ อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิที่ต่ำในช่วงนี้มีผลอย่างมากต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ หลังจากนั้นจะนำไปทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 600-850 องศาเซลเซียส ซึ่งกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะคำนึงถึงประสิทธิภาพในการนำเอาซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่เป็นอย่างมาก ด้วยประสิทธิภาพการนำซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่ที่ค่อนข้างจำกัด ประกอบกับปัญหาการกัดกร่อนต่อเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้การใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นในระยะหลังจึงลดลงบ้าง

- การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น จะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ค่อนข้างต่ำคือ 400-500 องศาเซลเซียส ซึ่งการใช้กรดฟอสฟอริกนั้นสามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่โดยยังได้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูง พบว่าวัตถุดิบที่เป็นไม้สามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพดีโดยวิธีนี้

มีงานวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น ซึ่งวัตถุดิบที่ได้ทำการศึกษาคือเมล็ดถั่ว เปลือกถั่ว เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและไม้ชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามกระบวนการกระตุ้นทางเคมีก็มีหลายกระบวนการที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งพบว่าสารกระตุ้นชนิดอื่นๆ ก็สามารถให้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิสูงได้ เช่น โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์

อลูมิเนียมคลอไรด์ หรือเฟอริกคลอไรด์ ซึ่งเราจะพบว่ายังมีปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้คือ

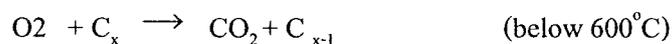
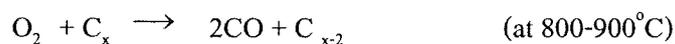
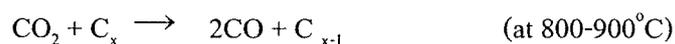
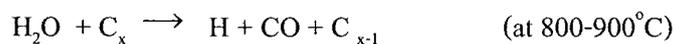
1. อัตราส่วนของลิกนินต่อเซลลูโลสในวัตถุดิบ
2. อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบ
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น
4. อัตราการให้ความร้อน

จากการที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมีนี้ก็จะได้คุณสมบัติของถ่านที่มีปริมาตรรูพรุนสูง และความหนาแน่นปรากฏต่ำ (ประมาณ 0.27 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของถ่านกัมมันต์ผง ซึ่งนำมาใช้งานในการดูดซับสถานะที่เป็นของเหลว เช่น ระบบการบำบัดน้ำให้บริสุทธิ์ คุณสมบัติที่ดีของไม้และสารชีวมวลที่ใช้เป็นวัตถุดิบ คือ มีปริมาณเถ้าต่ำ (0.3-1.1% โดยน้ำหนัก) ซึ่งเปรียบเทียบกับปริมาณเถ้าในถ่านหินและลิกไนต์จะมีปริมาณสูงกว่า (2-15% โดยน้ำหนัก) และในไม้และสารชีวมวลจะมีปริมาณกำมะถันต่ำด้วย

2. การกระตุ้นทางฟิสิกส์ (Physical activation)

เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวโดยปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) ด้วยแก๊สออกซิไดซ์ที่ช่วงอุณหภูมิ 700-1000 องศาเซลเซียส แก๊สที่ใช้โดยทั่วไปคือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และอากาศ โดยอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือรวมแก๊สดังกล่าวก็ได้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไซซังเป็นตัวดูดซับที่ไม่ดีต้องทำการกระตุ้นให้ได้ถ่านที่มี การดูดซับสูง โดยใช้การกระตุ้นให้ทำปฏิกิริยากับแก๊สที่เป็นตัวออกซิไดซ์ ดังตัวอย่าง



ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้น คือ

1. โครงสร้างของคาร์บอนหรือถ่านซาร์ที่นำมากระตุ้น
2. สารอินทรีย์ปนเปื้อนที่อยู่ในเนื้อคาร์บอน
3. ชนิดของแก๊สออกซิไดซ์

4. อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
5. ความดันของแก๊ส
6. เวลาในการเกิดปฏิกิริยา
7. ขนาดอนุภาคของถ่านชาร์

ในกระบวนการกระตุ้น คาร์บอนทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนออกไซด์ แพร่ออกจากผิวของคาร์บอน เกิดแก๊สซิฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่าน เป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ประกอบด้วยรูพรุนเล็กๆ จำนวนมากเกิดจากช่องว่างระหว่างผลึก ในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกรรจไว้ด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อน และถูกขวางด้วยคาร์บอนอสัณฐาน การกระตุ้นจึงเป็นทั้งการเปิดรูที่ถูกปิด และการสร้างรูใหม่ขึ้นด้วย

ตัวอย่างการกระตุ้นโดยวิธีทางกายภาพ คือ

- การกระตุ้นด้วยไอน้ำ[3 ,4] ไอน้ำนั้นถือได้ว่าเป็นสารกระตุ้นทางกายภาพที่มีการใช้กันมาก เนื่องจากโมเลกุลของน้ำนั้นมีขนาดเล็กกว่า โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และในการกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้นจะมีข้อดีคือ

1. โมเลกุลของน้ำจะแพร่เข้าไปได้อย่างรวดเร็วในโครงสร้างรูพรุน
2. เนื่องจากโมเลกุลที่เล็กจึงสามารถเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กได้
3. มีการเกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็ว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์

ถึงสามเท่า ที่สภาวะความดัน 10 กิโลพาสคัลและอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

รูปแบบของปฏิกิริยาในการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำคือ



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน และเป็นปฏิกิริยาที่ผันย้อน แต่โดยทั่วไปจะสมมติเป็นปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันของถ่านชาร์ อาจเขียนอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (r) แบบ Langmuir – Hinshellwood ได้ดังนี้

$$r = \frac{k_1 P_{\text{H}_2\text{O}}}{1 + k_2 P_{\text{H}_2\text{O}} + k_3 P_{\text{H}_2}}$$

ซึ่ง $P_{\text{H}_2\text{O}}$ คือ ความดันย่อยของไอน้ำ

P_{H_2} คือ ความดันย่อยของแก๊สไฮโดรเจน

K_1, K_2, K_3 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

อย่างไรก็ตามในปฏิกิริยาของการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จะมีการยับยั้งปฏิกิริยาเกิดขึ้นอันเกิดจากจะมีไฮโดรเจนไปเกาะติดบนตำแหน่งว่างไวบนผิวของคาร์บอน ซึ่งจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงได้

- การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [3, 5]

การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีกลไกในการเกิดคือ



ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน เช่นเดียวกับไอน้ำ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา

$$r = \frac{k_1 p_{CO_2}}{1 + k_2 p_{CO} + k_3 p_{CO_2}}$$

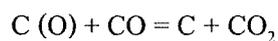
คือ

ซึ่ง P_{CO_2} คือ ความดันย่อยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

P_{CO} คือ ความดันย่อยของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

k_1, k_2, k_3 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

ในปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 800 – 900 องศาเซลเซียส ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยานั้นมีการศึกษากันอย่างมากมาย ในปฏิกิริยานี้มีการยับยั้งปฏิกิริยาอันเกิดจาก คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน โดยคาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดจากปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยา



Rand and Marsh ได้กล่าวว่าการเกิดขึ้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์นั้นจะมีผลดีคือจะมีการกระตุ้นที่ให้อุณหภูมิขนาดเล็กที่สุด แต่ในขณะเดียวกันอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงจากการทดลองโดยทั่วไปจะพบว่า การกระตุ้นโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะต้องใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นสูงกว่าการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำ แต่โดยทั่วไปมักจะใช้แก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับไอน้ำ

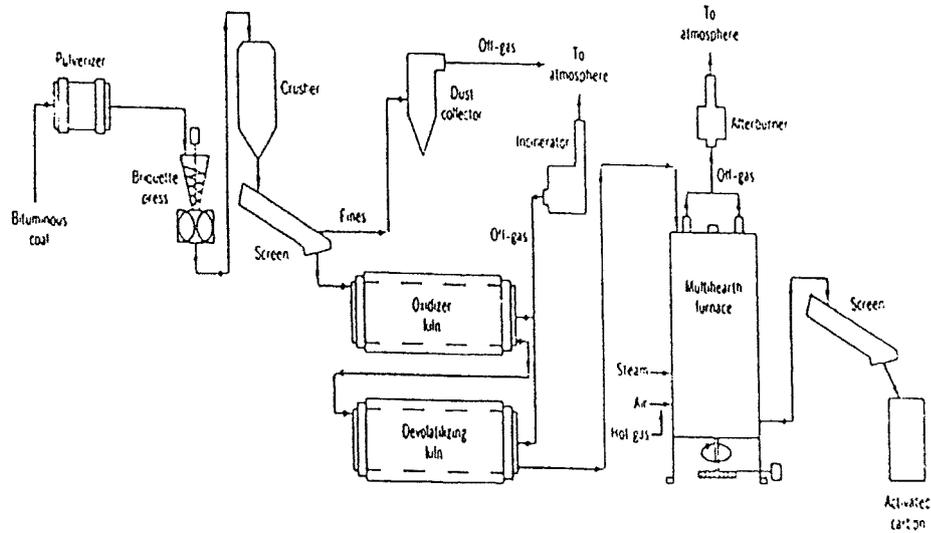


Fig. 1. Thermal activation of bituminous coal

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ^[9]

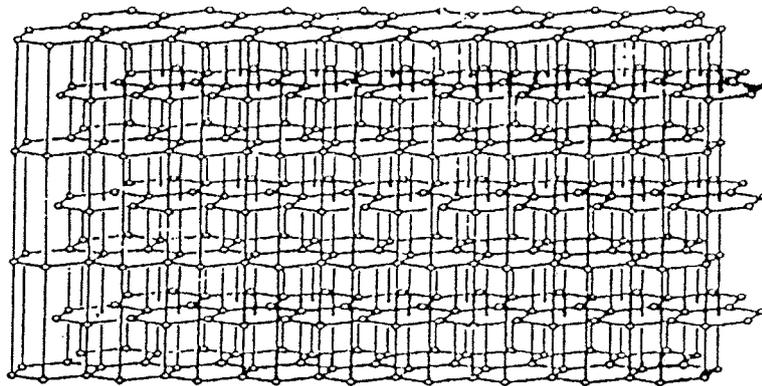
ตัวอย่างของการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ^[9] แสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นกายผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านหินบิทูมินัส โดยนำถ่านหินบิทูมินัสที่ทำการบดแล้วมาทำการอัดก้อน ในบางครั้งอาจเติมตัวประสานเข้าไปก่อนทำการอัดก้อน จากนั้นจะนำก้อนถ่านหินมาทำการตัดและนำไปผ่านตะแกรงร่อน เพื่อเลือกขนาดก่อนนำไปเข้าสู่เตาเผาที่ทำการออกซิไดซ์ ที่จุดนี้สมบัติการเกิดไค้กของถ่านหินจะถูกทำลายที่จุดนี้โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยอากาศที่อุณหภูมิปานกลาง ไค้กของถ่านหินจะถูกทำลายที่จุดนี้โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยอากาศที่อุณหภูมิปานกลาง จากนั้นสารระเหยประกอบอยู่นั้นจะผ่านไปสู่เตาเผาที่จะเผาให้เป็นเถ้า (Incinerator) ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ จากนั้นถ่านหินที่ได้จะนำไปเข้าสู่เตาเผาต่อไปเพื่อทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส คุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จะขึ้นกับการควบคุมอัตราการป้อนถ่านหิน และการควบคุมอุณหภูมิ เช่นเดียวกันแก๊สที่ประกอบด้วยฝุ่นผงที่ขั้นตอนนี้จะนำไปเข้าสู่เตาเผาเพื่อเผาให้เป็นเถ้า ก่อนทำการปล่อยแก๊สออกสู่บรรยากาศ จากนั้นถ่านกัมมันต์เม็ดที่ได้จะนำไปผ่านตะแกรงร่อน เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ที่ 30-50 โดยน้ำหนัก ซึ่งเทียบกับน้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้น

กระบวนการกระตุ้นในทางกายภาพนั้น อาจมีกระบวนการผลิตที่ต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุดิบ ตัวอย่างเช่นการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ไม่จำเป็นต้องผ่าน

กระบวนการอัดก้อนหรือกระบวนการปล่อยให้สารระเหยออกจากวัตถุดิบนั้น ในบางกระบวนการ อาจมีขั้นตอนการนำวัตถุดิบล้างด้วยกรดก่อนเพื่อที่จะให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณเถ้าต่ำ

โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์^(12,14)

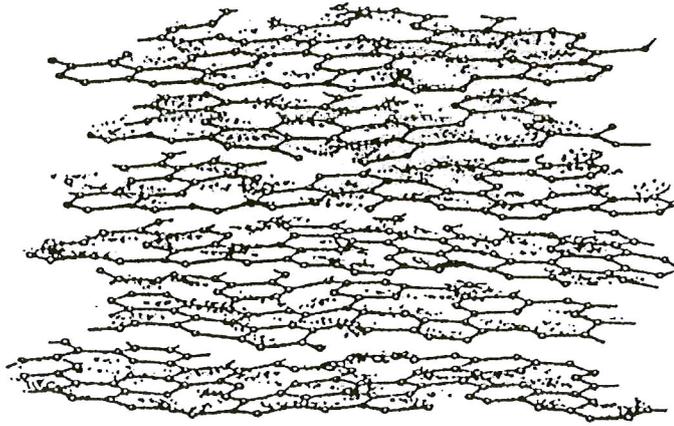
ถ่านกัมมันต์ มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายกราไฟต์ (Graphite) แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีมากมาย กราไฟต์ประกอบด้วยแผ่นชั้นที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนซึ่งเรียงตัวกันแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า (Regular Hexagons) ระยะห่างระหว่างอะตอมของคาร์บอนในแต่ละชั้นมีขนาด 3.35 อังสตรอม มี 3 อิเล็กตรอนของคาร์บอนจะสร้างอันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond) กับอะตอมที่ติดกัน ขณะที่อิเล็กตรอนอีก 1 ตัวที่เหลือจะเคลื่อนที่ระหว่างโครงสร้างวาเลนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของกราไฟต์⁽¹⁴⁾

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์แตกต่างจากการไฟต์ ซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นผลึกที่เล็กมาก (Microcrystallites) ประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนที่สร้างผนังเล็ก ๆ มีขนาดประมาณ 150 อังสตรอม และระยะห่างระหว่างผลึกเล็ก ๆ นี้มีค่าอยู่ระหว่าง 20-50 อังสตรอม ดังแสดงในรูปที่ 2.4

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดฐานวิจัย
วันที่ 15 11 2555
เลขที่ 243937
เลขที่เอกสารอื่น



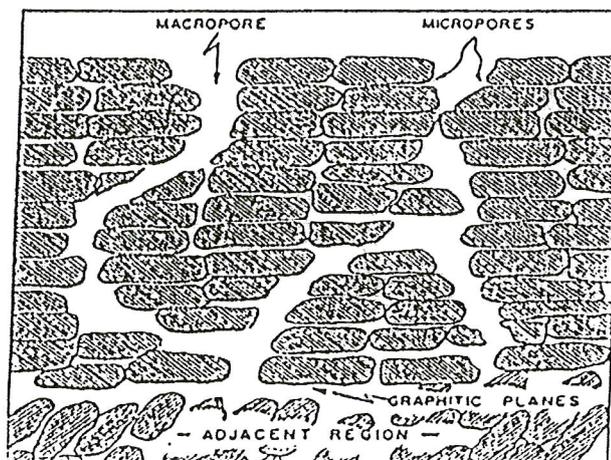
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์^[11]

โดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปมีปริมาณความพรุนอยู่ระหว่าง 0.5-1.5 ml/g จากลักษณะและขนาดของรูพรุน สามารถแบ่งรูพรุนได้เป็น 3 ขนาด

ก. รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) ขนาดของรูพรุนขนาดใหญ่ที่พบในถ่านกัมมันต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 5,000 – 20,000 อังสตรอม ปริมาณความพรุนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 ml/g ส่วนพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดใหญ่นี้มักจะไม่ค่อยสนใจ สามารถตัดทิ้งได้เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า 2 m²/g

ข. รูพรุนขนาดกลาง (Transitional Pores) มีรัศมีอยู่ระหว่าง 20-1,000 อังสตรอน มีปริมาณความพรุนอยู่ระหว่าง 0.02-0.1 ml/g มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

ค. รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) มีรัศมีน้อยกว่า 20 อังสตรอม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6-8 อังสตรอม ปริมาณความพรุนมีอยู่ระหว่าง 0.15-0.5 ml/g และมีพื้นที่ผิวจำเพาะอย่างน้อยที่สุด 95 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด



รูปที่ 2.5 รูปแสดงลักษณะของรูพรุนในถ่านกัมมันต์^[11]

ในรูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของรูพรุนในถ่านกัมมันต์ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น รูพรุนขนาดใหญ่จะเป็นรอยแตกที่ผิวของคาร์บอน รูพรุนขนาดกลางจะแตกสาขาออกมาจากรูพรุนขนาดใหญ่ และรูพรุนขนาดเล็ก ก็จะแตกสาขาออกมาจากรูพรุนขนาดกลาง

การศึกษาการดูดซับที่เกี่ยวกับเคมีพื้นผิว (Surface Chemistry) ^[14, 15]

ความจุของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Adsorption Capacity) จะขึ้นอยู่กับ

- พื้นที่ผิวทั้งหมด (total surface area)
- โครงสร้างรูพรุนในเนื้อถ่าน
- การมีฟังก์ชันนัลกรุป (Functional Group) ต่าง ๆ บนผิวรูพรุนของถ่าน

ขนาดรูพรุนบริเวณผิวจะเป็นสิ่งหนึ่งที่กำหนดความจุในการดูดซับ โดยโครงสร้างทางเคมีที่ผิวถ่านกัมมันต์ จะมีผลต่อสารที่ถูกดูดซับในกรณีที่มีขั้วหรือไม่มีขั้ว นอกจากนั้นตำแหน่งที่ว่างไวบริเวณผิวถ่านกัมมันต์จะเป็นสิ่งกำหนดชนิดของปฏิกิริยาเคมีที่ผิวถ่านกับโมเลกุลอื่น

ดังนั้นในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ จึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวอย่างเดียว ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวเท่ากันแต่ได้จากการเตรียมที่มีวิธีต่างกัน อาจจะเป็นวิธีการกระตุ้นที่ต่างกันก็จะให้ลักษณะการดูดซับ (adsorption characteristics) ที่ต่างกัน ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่ดีจึงควรมีพื้นที่ผิวมาก และมีขนาดรูพรุนที่เหมาะสมกับสปีชีส์ (species) ที่ถูกดูดซับ

ที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ จะมีผลึกคาร์บอนอยู่ที่บริเวณผิวและขอบของผลึกคาร์บอน โดยจะมีตำแหน่งวาเลนซ์ที่เหลืออยู่จึงทำให้บริเวณดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ว่างไว จะเห็นได้จากการดูดซับทางเคมีที่บริเวณผิวถ่าน ธาตุที่ถูกดูดซับเข้ามาอาจเป็น ออกซิเจน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน คลอรีน โบรมีน ไอโอดีน และซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นการดูดซับแบบซับซ้อนที่บริเวณผิวจึงไม่สามารถเขียนกลไกการดูดซับออกมาในรูปแบบของสมการเคมีได้

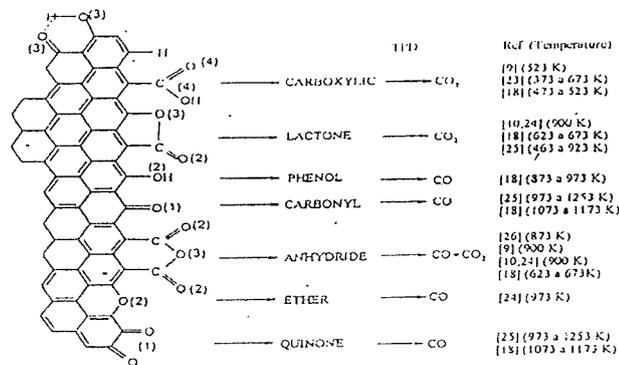
เมื่อพิจารณาหมู่ฟังก์ชันนัลที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันนัลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ มีความสำคัญมากที่สุด เมื่อตรวจสอบที่บริเวณผิวของคาร์บอน โดยใช้เอ็กซ์เรย์อะตอมของออกซิเจนจะสร้างพันธะกับอะตอมของคาร์บอน ซึ่งจะมีเป็นจำนวนมากที่บริเวณขอบของโมเลกุลคาร์บอนที่เกาะตัวเป็นอะโรมาติก โดยพันธะระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจน จะมีอิทธิพลมากที่สุดต่อลักษณะพื้นผิวถ่านกัมมันต์ เช่น ความเป็นกรดที่บริเวณผิวการแลกเปลี่ยนไอออนบวก รวมถึงการดูดซับแก๊สและไอที่มีขั้วและไม่มีขั้ว

การที่จะให้เกิดหมู่ฟังก์ชันนัลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่บริเวณผิวถ่านกัมมันต์ ทำได้โดยการออกซิไดซ์ถ่านกัมมันต์ ซึ่งทำได้ทั้งในภาวะแก๊สและภาวะของเหลว จากวิธีการดังกล่าวจะทำให้พื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์เป็นได้ทั้ง กรด เบส และเป็นกลาง ตัวอย่างของพื้นผิวที่เป็นกรด เช่น

คาร์บอกซิล ฟีนอลิก ไฮดรอกซิล แล็คโทน และควิโนน ซึ่งจะได้แบบใดนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการออกซิไดซ์ พบว่าเมื่อมีหมู่ที่แสดงความเป็นกรดที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ จะทำให้สมบัติในการชอบดูน้ำมากขึ้น (hydrophilic) และจะมีผลต่อพื้นที่ผิว และลักษณะต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์จากการมีหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จึงมีบทบาทที่สำคัญต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์

เทคนิคต่าง ๆ ในการหาลักษณะของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ บนผิวของถ่านกัมมันต์ที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น

- Chemical titration method เป็นเทคนิคที่ใช้ร่วมกับเทคนิคแบบอื่น แต่ไม่สามารถใช้ได้เมื่อตัวอย่างมีปริมาณน้อย และถ้ามีหมู่ที่มีออกซิเจนในปริมาณมากก็ไม่สามารถให้ค่าที่ถูกต้องได้ XPS เป็นเทคนิคที่จะสามารถบอกองค์ประกอบทางเคมีที่ผิวได้



รูปที่ 2.6 แสดงกลุ่มฟังก์ชันต่าง ๆ ที่ผิวคาร์บอน และอุณหภูมิต่าง ๆ ที่สลายตัวโดย TPD ^[15]

- Infrared spectroscopic เป็นวิธีที่ใช้ในกรณีที่ถ่านมีหมู่ออกซิเจนมาก ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถตรวจสอบได้

- Temperature – programmed methods เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน โดยจะหาหมู่ฟังก์ชันได้จากการหลุดออกมาของ CO₁ CO₂ เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยงานวิจัยต่าง ๆ บางครั้งจะมีผลไม่สอดคล้องกันทำให้ค่อนข้างสับสน

จากรูปที่ 6 จะได้พีคของ CO₂ จากกรดคาร์บอนซิลิกที่อุณหภูมิต่ำ และหมู่แลคโทนที่อุณหภูมิต่ำ หมู่คาร์บอกซิลิกแอนไฮไดรด์ ได้จากพีคทั้ง CO และ CO₂ โดยหมู่ฟีนอล อีเทอร์และคาร์บอนิล ได้จากพีคของ CO

ในปัจจุบัน ถ่านกัมมันต์จะมีเทคนิคต่าง ๆ ในการผลิตที่ต่างกัน เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติต่างกัน โดยเทคนิคที่ใช้ต่าง ๆ ในการผลิตพยายามที่จะหาหมู่ฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ในทางการค้า ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการค้าแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon)
2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon)

รายละเอียดของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดคือ

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ใช้โดยทั่วไปผลิตจากเชื้อเพลิงที่ได้จากไม้ ซึ่งมีขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคในช่วง 15 – 25 ไมโครเมตร โดยอาจมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลักษณะทางเรขาคณิตประมาณ 0.15 – 0.266 โดยในการออกแบบระบบการดูดซับจะคำนึงถึง

- การเลือกลักษณะของหอดูดซับ
- ลักษณะการผสมเม็ดถ่านกัมมันต์ผงกับของเหลว
- ลักษณะการแยกของถ่านกัมมันต์ผงหลักจากที่ดูดซับแล้ว
- วิธีในการนำกลับมาใช้ใหม่

ในทางอุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ผง โดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการกำจัดสีในกระบวนการผลิตอาหารเช่น ใช้ในการผลิตน้ำตาล ผลิตน้ำมัน ผลิตโซเดียมคลอไรด์ และผลิตไวน์ ในภาวะปัจจุบันมีการนำถ่านกัมมันต์ชนิดผงมาใช้กันอย่างกว้างขวาง ใช้ในการบำบัดน้ำทั้งในการผลิตน้ำดื่มและการบำบัดน้ำเสีย การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในระบบของเหลวที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบจะพิจารณาถึงประจุที่ผิวของถ่านกัมมันต์เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากประจุที่ผิวจะมีผลต่อขั้นตอนการตกตะกอน ขั้นตอนการกรอง ในการแยกถ่านกัมมันต์ผงออกจากของเหลวหลังจากที่ได้ทำการดูดซับแล้ว โดยขั้นตอนที่นำถ่านกัมมันต์ผงกลับมาใช้ใหม่นั้นค่อนข้างทำได้ยากจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ทั้งถ่านกัมมันต์ผงมากกว่าที่จะผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์เม็ดที่ใช้กันทั่วไปนั้นมีหลายขนาด โดยขึ้นกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ในการดูดซับระบบที่เป็นแก๊สมักใช้ถ่านกัมมันต์รูปทรงกระบอกขนาด 4 – 6 มิลลิเมตร ซึ่งการใช้ในระบบที่เป็นแก๊สนั้นคือระบบการนำตัวละลายกลับมาใช้ใหม่ (solvent recovery) การทำอากาศให้บริสุทธิ์ การทำแก๊สให้บริสุทธิ์ การกำจัดกำมะถันออกจากแก๊ส และใช้ในการแยกระบบแก๊สอื่น ๆ

ในระบบที่เป็นของเหลวนั้นมีการใช้ถ่านกัมมันต์เม็ดมากเช่นกันเนื่องจาก

- จัดการระบบได้ง่าย
- ในเครื่องปฏิกรณ์มีความดันลดต่ำ
- ทำการล้างเม็ดถ่านได้ง่าย

ซึ่งในสถานะของเหลวนิยมใช้ถ่านกัมมันต์เม็ดในการกำจัดสี การผลิตน้ำตาล กำจัดสารอินทรีย์ กำจัดกลิ่นและสิ่งเจือปนในระบบการผลิตน้ำดื่ม และใช้กันอย่างมากที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย

ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดมีการใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงเนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยนำถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่ใช้แล้วผ่านกระบวนการทางความร้อน หรือกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่แบบอื่นๆ ซึ่งสามารถทำได้ง่ายกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีการผลิตถ่านกัมมันต์ทุกแบบทั่วโลกประมาณปีละ 300,000 – 400,000 ตัน มีถ่านกัมมันต์ชนิดผงประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยที่เหลือจะเป็นถ่านกัมมันต์ในรูปแบบอื่น ซึ่ง 80 เปอร์เซ็นต์ของถ่านกัมมันต์ทั้งหมดใช้กับระบบที่เป็นของเหลว และอีก 20 เปอร์เซ็นต์ใช้ในระบบที่เป็นแก๊ส ซึ่งประเทศที่มีการใช้กันมากที่สุด คือ ญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกา โดยมีอัตราการใช้ถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นปีละประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์^[5]

พบว่าใช้มากในระบบการทำอากาศให้บริสุทธิ์ การทำตัวทำละลายให้บริสุทธิ์ และกระบวนการบำบัดน้ำ และมีการใช้ในระบบใหม่ ๆ ซึ่งเกี่ยวกับระบบการป้องกันมลภาวะจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งระบบใช้ถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ มีดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1. การนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในระบบต่าง ๆ^[2]

ระบบที่เป็นของเหลว	
Decolorization	Industrial water treatment
Potable water treatment	Metals recovery (Gold)
Ground water treatment	Chemicals and pharmaceutical purification
ระบบที่เป็นแก๊ส	
Solvent recovery	Military : respiratory and suiting
Dechlorination	Gas purification
General air conditioning	Cigarette filters
Air purification	Cataysis

ถ่านกัมมันต์เม็ดใช้กันมากในระบบปฏิบัติการที่เป็นเบคหนึ่ง เช่น ระบบการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ หรือระบบการบำบัดน้ำ ซึ่งความดันลดในเบคสามารถควบคุมโดยการปรับการกระจายของอนุภาค ประกอบกับถ่านกัมมันต์เม็ดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยผ่านกระบวนการนำ

กลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายจึงมีการใช้กันมาก ราคาขายถ่านกัมมันต์เม็ดโดยประมาณ คือ 1,500 – 4,000 ดอลลาร์ต่อตัน (ราคาในปี พ.ศ. 2530) สำหรับถ่านกัมมันต์ผงราคาโดยประมาณคือ 500 – 1200 ดอลลาร์ต่อตัน (ราคาในปี พ.ศ. 2539) ซึ่งราคาขายอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามพื้นที่ผิว ความแข็งและความทนทานต่อการขัดสีของถ่านกัมมันต์

อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นในตลาดการผลิตถ่านกัมมันต์เม็ด อาจได้รับผลจากการที่ในอุตสาหกรรมบางส่วนได้ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ ในการพิจารณาถึงการที่จะนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่นั้น จะคำนึงถึงค่าใช้จ่าย ปริมาณของถ่านกัมมันต์ ชนิดของตัวถูกดูดซับ และเกณฑ์ที่บังคับด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ใช้จากกระบวนการผลิตน้ำดื่มและกระบวนการบำบัดน้ำเสีย มักจะนำถ่านกัมมันต์นั้นมาทำการบำบัดที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอาจทำให้เตาเผาแบบหมุน ในขณะที่ผ่านกระบวนการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ถ่านกัมมันต์จะสูญเสียประสิทธิภาพไป 1 – 15 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพระบบให้เท่าเดิม โดยการนำถ่านกัมมันต์ใหม่เข้ามาใส่เพิ่มเติมในระบบ ซึ่งรูปแบบการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่เป็นที่นิยมมากในอุตสาหกรรมเนื่องจาก เสียค่าใช้จ่ายถูกกว่าที่จะซื้อถ่านกัมมันต์ใหม่ ตัวอย่าง เช่นการนำถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วมาทำการบำบัดโดยใช้เตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบด จะเสียค่าใช้จ่ายเพียง 35 เปอร์เซ็นต์ ของค่าใช้จ่ายที่จะซื้อถ่านกัมมันต์ใหม่ แต่ถ่านกัมมันต์แบบผงใช้ในปริมาณน้อยจึงมักนำถ่านกัมมันต์แบบผงที่ใช้แล้วนำไปกำจัดทิ้งโดยการฝังกลบ (Landfill) อย่างไรก็ตามการฝังกลบก็มีข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่หาวิธีการบำบัดถ่านกัมมันต์แบบผง

การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์หาสมบัติของถ่านกัมมันต์นั้นสามารถพิจารณาได้จากหลายสมบัติคือ พื้นที่ผิว สมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) สมบัติในการดูดซับเช่น การดูดซับไอโอดีน การดูดซับเมทิลีนบลู และสมบัติด้านเคมีฟิสิกส์ เช่น ปริมาณสารระเหยปริมาณความชื้น และปริมาณเถ้า

1. สมบัติในการดูดซับ ¹³¹

สมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์หาได้จากไอโซเทอมของการดูดซับของถ่านกัมมันต์เมื่อนำไปดูดซับของเหลว ตัวอย่างของสมบัติในการดูดซับ คือ

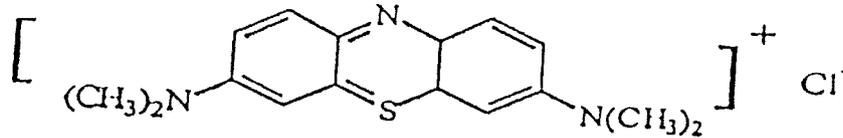
- การดูดซับไอโอดีน

การศึกษาการดูดซับไอโอดีนเป็นวิธีที่ง่ายในการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยเป็นการหาจำนวนมิลลิกรัมของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 1 กรัมที่จุดซึ่งความ

เข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือเท่ากับ 0.02 นอร์มัล ซึ่งอาจมีค่าแตกต่างจาก 0.02 นอร์มัลได้ โดยให้อยู่ในช่วง 0.007 – 0.03 นอร์มัล ในบางครั้งถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็กสูง ค่าไอโอดีนอาจมีค่าต่ำ เนื่องจากโมเลกุลของไอโอดีนไม่สามารถเข้าไปสู่รูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 1 นาโนเมตรได้

- การดูดซับเมทิลีนบลู

ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูจะสามารถบอกค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้สำหรับ โมเลกุล ที่ถูกดูดซับมีขนาดใหญ่ใกล้เคียงกับ โมเลกุลของเมทิลีนบลู ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงของรูพรุนขนาด กลางคือจะมีขนาดใหญ่กว่า 1.5 นาโนเมตร โดยโครงสร้างของโมเลกุลเมทิลีนบลูแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู^[3]

2. สมบัติด้านเคมีฟิสิกส์^[3]

เป็นวิธีการตามแบบ Jankowska^[3]

- ปริมาณสารระเหย

เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดค่าสารระเหยที่อยู่ในถ่านหินและโค้ก โดยนำมาประยุกต์ใช้ กับถ่านกัมมันต์ได้ ทำการทดสอบได้โดยนำตัวอย่างมาคั่วให้มีขนาดเล็กกว่า 0.1 นาโนเมตร จากนั้นนำ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 ± 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ± 10 วินาที ค่าของปริมาณสาร ระเหยจะเป็นมวลที่หายไปอันเกิดจากการให้ความร้อนที่ภาวะดังกล่าวแก่ถ่านกัมมันต์

- ปริมาณความชื้น

เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีในถ่านกัมมันต์ โดยการอบให้แห้งในเตาอบ ทำการวิเคราะห์ โดยบดถ่านกัมมันต์ชนิดผงปริมาณ 1 – 2 กรัม หรือชนิดเม็ด 5 - 10 กรัม นำไปทำการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง) สามารถคำนวณปริมาณ ความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

- ปริมาณเต้า

ปริมาณเต้าในถ่านกัมมันต์อาจมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุถัก ถ่านกัมมันต์ที่ได้ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงและเวลาสูงปริมาณเต้ากัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเต้าโดย ส่วนใหญ่ประกอบด้วยออกไซด์ นอกจากนี้จะเป็นสารประกอบพวกซัลเฟต คาร์บอนเนต และ สารประกอบอื่น ๆ ของเหล็ก อะลูมิเนียม แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโลหะอื่นๆ ซึ่งจะมีสารประกอบเหล่านี้อยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นกับชนิดของวัสดุถัก โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะ ประกอบด้วย ซิลิกอน ซึ่งวิธีการที่จะใช้ในการกำจัดเต้าออกจากถ่านกัมมันต์นั้นจะใช้กรดหาคมีเต้า ที่มีองค์ประกอบที่ซับซ้อนมากจะใช้กรดที่ผสมกัน เช่น ใช้กรดที่ผสมกันระหว่างกรดไฮโดรฟลูออริก และกรดไฮโดรคลอริก การหาปริมาณเต้าสามารถทำได้โดยนำตัวอย่างใส่ในครุชชีเบลและนำไปใส่ใน เตาเผาที่อุณหภูมิ 650 ± 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 16 ชั่วโมง ซึ่งมวลของเต้าจะคงที่ที่เวลา เท่าใดนั้นจะขึ้นกับชนิดของวัสดุถัก

3. พื้นที่ผิว (Surface area) [5, 16, 17, 18, 19]

ในการวัดพื้นที่ผิวจะต้องใช้ไอโซเทอม (Isotherm) ของการดูดซับ ซึ่งไอโซเทอมนี้จะมี รูปแบบตามธรรมชาติของตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง ซึ่งจะทำให้การทดลองที่อุณหภูมิคงที่ ที่ความดัน ย่อยต่างๆ เพื่อสร้างไอโซเทอมของการดูดซับ จากไอโซเทอมของการดูดซับข้อมูลที่ได้ คือ

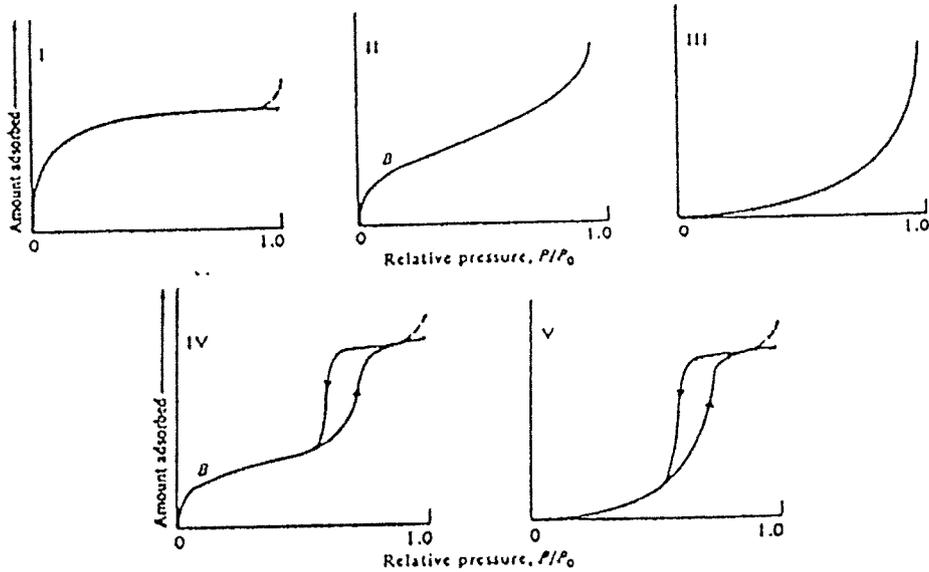
- ค่าของพื้นที่ผิว
- ค่าของปริมาตรรูพรุน
- ทราบลักษณะเคมีพื้นผิว (surface chemistry) ของตัวดูดซับ
- ทราบประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่ใช้ในระบบการแยกหรือการทำให้บริสุทธิ์

ไอโซเทอมของการดูดซับทางกายภาพ ทั้งหมดสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม โดยใน ตอนแรกเสนอโดย Brunauer, Deming, and Teller (BDDT) ในปัจจุบันการแบ่งกลุ่มได้ถูกเรียกว่า Brunauer, Emmett and Teller (BET) classification ในทุกกรณีเมื่อค่าความดันย่อยมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยจนการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็น แบบหลายชั้น รูปของชนิดไอโซเทอมแสดงที่รูป 8

- ไอโซเทอมชนิดที่ 1

เป็นการดูดซับของแข็งที่มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กและการดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นการ ดูดซับในรูพรุนขนาดเล็ก พื้นที่ผิวภายนอก (external surface area) จะต่ำ ที่ความดันย่อยต่ำ ($< 0.1 p/p_0$) ก็จะสามารถดูดซับได้มากแล้ว ซึ่งการดูดซับจะเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยประมาณ $0.5 p/p_0$ ตัวอย่างการดูดซับของไอโซเทอมแบบที่ 1 คือ การดูดซับของไนโตรเจนบนถ่านที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

ที่อุณหภูมิ 77 องศาเซลวิน การดูดซับของแอมโมเนียบนผิวถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 273 องศาเซลวิน
ลำดับการดูดซับบนซีโอไลต์



รูปที่ 2.8 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับทั้ง 5 ชนิด ^[17]

- ไอโซเทอมชนิดที่ 2

บางครั้งอาจเรียกว่าไอโซเทอมที่มีรูปแบบ ซิกมอยด์หรือแบบเอส (sigmoid or S-shaped) เป็นรูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนหรือตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดการดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) จากไอโซเทอมตรงบริเวณ B จะแสดงถึงการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) นั้นเสร็จสมบูรณ์ จากนั้นที่ความดันสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากชั้นแรกต่อไปและจะเกิดการดูดซับเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยสูง ๆ

- ไอโซเทอมชนิดที่ 3

เป็นรูปแบบของการดูดซับที่มีแรงดึงดูดที่อ่อนระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ แต่แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกันมีค่อนข้างมาก จากกรณีนี้จะทำให้เกิดการรวมตัวของตัวถูกดูดซับก่อนที่การดูดซับชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์ ตัวอย่างการดูดซับของไอโซเทอมแบบที่ 3 คือ การดูดซับของไอน้ำบนผิวถ่านที่ไม่มีรูพรุน

- ไอโซเทอมชนิดที่ 4

จะพบในสารที่มีขนาดรูพรุนประมาณ 15 – 1,000 อังสตรอม ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความดันเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ากราฟเริ่มเข้าเติมในรูพรุน และการเปลี่ยนระดับของกราฟเมื่อความดันเพิ่มขึ้นอีกเป็นผลจากการควบแน่นภายในรูพรุนของของแข็ง (capillary condensation in pores) โดยลักษณะกราฟในช่วงแรกจะเหมือนกับชนิด 2 ซึ่งจุดเปลี่ยนโค้งหรือจุด B จะแสดงถึงการดูดซับชั้นแรกอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างเช่น การดูดซับเบนซีน (benzene) บนไฮดรอกไซด์ออกไซด์เหล็ก (iron (III)oxide gel) ที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลวิน

- ไอโซเทอมชนิดที่ 5

จะพบในสารที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของแก๊สกับผิวของของแข็งน้อย มีลักษณะคล้ายชนิด 3 แต่ชนิด 5 จะสามารถเกิดการควบแน่นในรูพรุนได้สำหรับรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ช่วงเดียวกับชนิด 4 ตัวอย่างเช่น การดูดซับไอน้ำ (water vapor) บนถ่านหิน ที่อุณหภูมิ 373 องศาเซลวิน สำหรับไอโซ-เทอมชนิด 3 และชนิด 5 นี้จะคำนวณหาพื้นที่ผิวได้ยากเนื่องจากชั้นการดูดซับชั้นที่ 2 จะถูกสร้างขึ้นก่อนที่ชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์

- การคำนวณพื้นที่ผิวโดยสมการแลงเมียร์ (Langmuir equation)

โดยสมการแลงเมียร์มีสมมติฐานคือ

1. เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวเท่านั้น
2. เป็นการดูดซับที่ไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ
3. แต่ละตำแหน่งของผิวการดูดซับมีลักษณะเหมือนกันหมด

เราสามารถหาพื้นที่ผิวได้จากสมการของแลงเมียร์โดยมีรูปแบบจากไอโซเทอมชนิดที่ 1 สมการมีรูปแบบคือ

$$\frac{P}{V} = \frac{P}{V_m} + \frac{1}{BV_m}$$

ซึ่ง V คือ ปริมาณการดูดซับของแก๊สที่ถูกดูดซับ (mmol g^{-1}) ต่อหน่วยมวลของตัวดูดซับที่ความดันย่อย (p/p_0) ต่าง ๆ

V_m คือ ปริมาณการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer capacity, mmol g^{-1})

B คือ ค่าคงที่

P คือ ความดัน

ค่าพื้นที่ผิวจะได้จากความสัมพันธ์ของสมการ

$$S = V_m L O$$

ซึ่ง S คือ พื้นที่ผิว ()

L คือ เลขโวกาโดร (Avogadro's number, 6.02×10^{23})

O คือ พื้นที่ฉายเงาของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ ($\text{m}^2 \text{ molecule}^{-1}$) สมการดังกล่าวมีประโยชน์มากที่ได้จากไอโซเทอม อย่างไรก็ตามสมการแลงเมียร์ซึ่งมีสมมติฐานดังกล่าวอาจไม่เหมาะสมกับตัวดูดซับบางชนิด

ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

1. ประเภทใช้กับของเหลว (Liquid phase carbon) อุตสาหกรรมที่นำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในสารละลายหรือในของเหลว ได้แก่

- อุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
- อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้วยังใช้ในการแยกเอาสบูและเปอร์ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย
- อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นและฟอกสีของผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งดีกว่าการใช้สารเคมีอื่น เพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร
- อุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ ทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น
- อุตสาหกรรมเคมีและยา ถ่านกัมมันต์ใช้ในการผลิตสารเคมีและยาหลายชนิด
- อุตสาหกรรมทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เป็นตัวดูดกลิ่นและฟอกสี
- อุตสาหกรรมการแยกสารที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ การแยกไอโอดีนออกจากน้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน (petroleum oil well brines) ตลอดจนการผลิตวิตามินและฮอร์โมนอีกหลายชนิด
- ขบวนการที่มีการใช้สารเร่ง (Catalytic Process) ถ่านจะทำหน้าที่เป็นตัวพาสารเร่ง (Catalyst carrier) ในปฏิกิริยาที่มีการใช้สารเร่งหลายชนิด รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งให้ดีขึ้นด้วย

2. ประเภทที่ใช้ในการดูดแก๊สและไอ (Gas Phase Carbon) ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปนี้

- อุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ ทั้งที่ใช้กันในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษและไอของสารอินทรีย์ได้

- การนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำๆ

- อุตสาหกรรมปรับอากาศ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดแก๊สพิษในอากาศต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และอะเซทิลีน

- อุตสาหกรรมบุหรี โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นกั้นกรองบุหรี

การตรวจสอบถ่านกัมมันต์เบื้องต้น

ถ่านกัมมันต์กับถ่านธรรมดาที่คาร์บอนไนซ์แล้ว เมื่อดูลักษณะภายนอกที่เป็นเม็ดหรือเป็นผง จะไม่เห็นความแตกต่างกันมาก ด้วยเหตุนี้การซื้อขายที่ไม่มีการรับรองผลการตรวจคุณภาพ ถ่านกัมมันต์จึงเป็นการเสี่ยงที่จะถูกหลอกขายเป็นถ่านธรรมดาหรือถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพต่ำ การซื้อขายถ่านกัมมันต์ในระดับที่มีปริมาณมากมักจะไม่มีปัญหา เพราะต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบและรับรอง แต่การขายในระดับรายย่อยที่มีขนาดไม่มาก เช่น ซื้อเป็นถุงๆละ 25 กิโลกรัม การตรวจสอบโดยละเอียดมักจะไม่ไ้ทำกัน เป็นเพียงแต่การอ้างถึงคุณภาพของถ่านกัมมันต์ของผู้ขายเท่านั้น ดังนั้นผู้บริโภคควรมีความรู้เบื้องต้นในการตรวจสอบถ่านกัมมันต์ก่อนที่จะตัดสินใจซื้อ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ให้ดูลักษณะผิวของถ่านที่เป็นเม็ดหรือเป็นผง โดยนำผงถ่านใส่มือแล้วให้แดดส่องลงบนผงถ่าน ใช้นิ้วชี้เพื่อดูว่าผิวผงถ่านเป็นเงาสะท้อนเมื่อเจอแสงแดดหรือไม่ ถ้าผิวมันวาวและมีปริมาณมากให้สันนิษฐานว่าเป็นถ่านธรรมดาก่อน เพราะถ่านธรรมดาหลังการคาร์บอนไนซ์เมื่ออบหรือหักรอยที่หักจะดำมันวาวเนื่องจากพื้นที่ผิวไม่มีความพรุนเป็นผิวเรียบจึงสะท้อนแสงได้ดี ถ้าผิวดำดำมันวาวแสดงการมีรูพรุนที่พื้นผิว รูพรุนนี้จะดูดแสงทำให้ไม่มีการสะท้อนแสง จึงเห็นเป็นสีดำด้านๆ ก็ให้สันนิษฐานว่าเป็นถ่านกัมมันต์เช่นกัน

2. การวัดค่าความหนาแน่นปรากฏ กระทำโดยนำตัวที่ร้อนขนาด 1-3 มิลลิเมตร นำตัวอย่างใส่กระบอกตวงที่ทราบน้ำหนักและวัดปริมาตรได้อย่างแน่นอนของชั้นถ่านในกระบอกตวง เมื่อนำน้ำหนักถ่านที่มีหน่วยเป็นกรัมหารด้วยปริมาตรที่มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าเป็นถ่านกัมมันต์จะได้ค่าความหนาแน่นปรากฏ มีค่าระหว่าง 0.2 ถึง 0.7 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้สันนิษฐานว่าเป็นถ่านกัมมันต์ ค่าความหนาแน่นที่มีค่าน้อยวัดดูดิบมักจะเป็นพวกที่มาจากไม้ และค่าความหนาแน่นปรากฏสูงจะเป็นพวกที่มาจากกะลาต่างๆและถ่านหิน ถ้าค่าความหนาแน่นปรากฏสูงกว่านี้ถือว่าเป็นถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ แต่ถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์อาจจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏน้อยกว่า 0.7 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าวัดดูดิบเริ่มต้นมาจากไม้ ดังนั้นวิธีวัดค่าความหนาแน่นปรากฏของตัวอย่างจะไม่ถูกต้องนักถ้าไม่ทราบว่าตัวอย่างทำมาจากวัสดุอะไร

3. การให้ตัวอย่างอุตสาหกรรมละลาย ไอโอดีนเจือจาง ถ้าเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีจะจางและหายไประยะรวดเร็ว ได้สารละลายที่ใสพร้อมทั้งเห็นฟองขณะขยับสารละลาย ฟองมาจากอากาศที่อยู่ในรูปฟอง ถ้าเป็นถ่านธรรมดาการดูดสีจะช้ามากหรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเลย การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบที่ผู้ซื้อและผู้ขายนิยมใช้กันแต่ปริมาณการขายไม่มาก (5-10 ตัน)

เมื่อทั้ง 3 วิธีดังกล่าวเป็นไปตามข้อสันนิษฐานว่าเป็นถ่านกัมมันต์ การตรวจคุณสมบัติอย่างละเอียดก็สามารถดำเนินต่อไปได้ การตรวจคุณสมบัติเบื้องต้นดังกล่าวช่วยประหยัดเวลา เพราะถ้าตรวจเบื้องต้นแล้วตัวอย่างไม่มีคุณสมบัติที่ดี ก็ไม่ควรนำไปตรวจอย่างละเอียด เพราะจะทำให้เสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์อย่างมาก

การเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในประเทศไทยสามารถผลิตจากวัตถุดิบ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ไม้ยูคาร์ลิปต์ส ไม้ยางพารา วัตถุดิบแต่ละตัวจะให้คุณสมบัติการใช้งานที่ต่างกัน เช่น ถ่านกัมมันต์จากกะลาซึ่งปกติจะใช้ในการบำบัดน้ำทั้งน้ำดื่มและน้ำเสีย คุณค่าของคาร์บอนสูง คุณค่าของสารละลายอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่ำ การนำไปใช้ต้องขึ้นกับขนาดของอนุภาคด้วย ในทางปฏิบัติถูกแบ่งตามขนาดเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผง (Potivated Activated Carbon,PAC)โดยถือว่ามีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 0.8 มม. ถ้าโตกว่า 0.8 มม. จะถูกจัดให้เป็นชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon,GAC) ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดโดยทั่วไปพบว่าจะมีพื้นที่ผิวภายในมาก โดยมีขนาดรูที่เล็กในขณะที่ชนิดผงจะกว้างกว่า จึงทำให้มีพื้นที่ผิวภายในต่ำกว่า ต่อไปนี้เป็นการเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ให้ตรงกับอุตสาหกรรมที่ใช้กันมาก ดังนี้

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ใช้ในกระบวนการทางเคมี

ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาด 1100 เมช ผลิตจากวัตถุดิบที่เป็นกะลาและไม้เหมาะที่จะใช้กับสารละลายเคมีทางธรรมชาติและสังเคราะห์ เช่น

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| 1. Glucose Syrup (Dextrose) | 2. Crystalline Glucose |
| 3. Craystalline Fructose | 4. Citric Acid Crystal |
| 5. Strach | 6. Anal gin |
| 7. Paracetamol | 8. Fine & Sulk Drugs |
| 9. Insecticides | 10. Craystalling Waxes |
| 11. Liq.Paraffin oil | 12. Shellac |
| 13. Opium and opiate alkaloids | 14. pepprextact |
| 15. Rice bran oil | 16. Fine Chemicals |
| 17. Antibiotic | 18. Amylalcohols |

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 19. Tataric acid | 20. Petroleum Fraction |
| 21. Anti-leprosy drugs | 22. Sugar syrup |
| 23. Glycerine | 24. Spl. Applications |
| 25. Light color liquids | 26. Deep color liquids |

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการกรองน้ำต้องมีประสิทธิภาพการกรองที่เร็วในการที่จะดูดกลืน รสออกจากรน้ำ ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ทำมาจากกะลามะพร้าว ลิกไนต์และไม้เนื้อแข็ง ลักษณะของตัวกรองสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ เป็นม้วนทรงกระบอก เป็นเม็ด และเป็นบล็อก ประสิทธิภาพการกรองดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบการไหลของน้ำผ่านตัวกรอง

2. การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon PAC) ทำความสะอาดสารละลาย ส่วนใหญ่การทำความสะอาดสารละลาย เช่น น้ำตาลและกลูโคสในรูปของเหลวหรือผลึกด้วยการดูดซับสีของสารละลายมักจะใช้ถ่านกัมมันต์ที่ส่วนใหญ่มีรูขนาด 55-70 อังสตรอม รูขนาดเล็กจะน้อยกว่า 20 อังสตรอม ดังนั้นการใช้วัสดุคิบที่เป็น ไม้ยูคาร์ลิปตัสและไม้ยางจะเหมาะสมกับการเป็นตัวดูดซับสีที่ดีคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์พบว่าจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.32-0.37 กรัม/มล. PH 5-8 เมทิลลิบบลู 220-240 มก/ก. ไอโอดีน 700-800

3. การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon GAC)

วัสดุคิบที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็นกะลามะพร้าว กะลาปาล์มน้ำมัน ถ่านหิน เพราะมีความแข็งเมื่อถูกกระตุ้นจะให้พื้นที่ผิวสูง ซึ่งจะให้ขนาดที่มีรูพรุนที่มีขนาดเล็กถึงเล็กมาก สามารถจับคลอรีน โอโซน สารละลายอินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ ตัวอย่างการนำไปใช้

1. Solven Recover.
2. Removal of Mercury from Hydrogen in mercury alkali.
3. Removal of Mercury from effluents of alkali industry.
4. Decoiling of hot condensates.
5. Decchlorination of Bottling Plant Process Water.
6. Removal of pesticides from waste water.
7. Removal of organic from waste water.
8. In Portable alcohol Industry to remove higher alcohol, aldehydes and thereby improving the taste of spirits such as Whisky, Gin, and Rum.
9. Protection of Ion Exchange resin (Both cation and anion)
10. Thin layer applications like gas mask and air purification

11. As the catalyst carrier.
12. Exhaust system of internal combustion engines to reduces pollution
13. Dechlorination of process water prior to Ion Exchange resin.
14. Gold Recovery
15. Gas purification

คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์พบว่าจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.55-0.60 กรัม/มล. pH 5-8 ไอโอดีน 750-800 พื้นที่ผิว 800-1000 m^2/g Hardness 70 min ความชื้นไม่เกิน 10 %

4. การดูดซับโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับอนุภาคที่มีประจุบวกและลบที่ละลายอยู่ในน้ำได้ โดยเฉพาะอนุภาคที่มีประจุบวกพบว่า การดูดซับจะมีค่ามากไปน้อย ดังนี้ $\text{H}^+ > \text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Li} > \text{Na}^+ < \text{K}^+$ และสำหรับอนุภาคที่มีประจุลบ NO_3^- จะถูกดูดซับน้อยกว่า Cl^- จึงไม่แปลกใจเลยว่าทำไม pH จึงมีผลต่อการดูดซับของอนุภาคที่มีประจุเหล่านี้ เนื่องจาก pH ที่ต่ำจะก่อให้เกิด H^+ มากและถูกดูดแทนไอออนตัวอื่นๆ แต่กระนั้น pH เปลี่ยนแปลงไม่มาก สารประกอบอนินทรีย์ก็ถูกดูดซับด้วยค่าที่แตกต่างกันมาก เช่น สารละลายเกลือที่มี KCL และ Na_2SO_4 เกือบจะไม่ถูกดูดเลย ในขณะที่ไอโอดีนเป็นสารที่ถูกดูดมากที่สุด โดยทั่วไปพบว่าถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพไม่ดีนักต่อการดูดซับโลหะในสารละลายอินทรีย์สารเท่าในสารละลายอนินทรีย์สาร เนื่องจากโลหะจะแตกตัวไม่ดีในสารละลายอินทรีย์สาร โลหะหนักที่ปนอยู่ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีปริมาณน้อยจะถูกถ่านกัมมันต์ดูดซับจนหมดเรียงตามลำดับดังต่อไปนี้ Cadmium, Chromium, Zine, Lead, Mercury, Copper Cyanide

5. การดูดซับอินทรีย์สารด้วยถ่านกัมมันต์ ถึงแม้ว่าถ่านกัมมันต์จะสามารถดูดซับสารเคมีได้หลายชนิด โดยเฉพาะอินทรีย์สารแล้ว แต่โดยความจริงประสิทธิภาพของการดูดซับอินทรีย์สารของถ่านกัมมันต์ผูกพันกับสารประกอบที่ละลายน้ำได้ คือ จะดูดซับได้ดีต่อสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ดีและยังพบว่าอินทรีย์สารที่โมเลกุลโตจะถูกดูดซับด้วยแรงที่มากกว่าโมเลกุลเล็ก เช่น เมทิลฟีนอล ถูกดูดด้วยความแรงมากกว่าฟีนอล และไดเมทิลฟีนอลถูกดูดซับแรงที่สุด ตารางข้างล่างบอกถึงการดูดซับสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ

Class	Example Compound
Aromatic	Benzene, Toluene
Ether	Butyl ether
Ketones	Acetone
Glycols	Ethylene Glycol
Halogenated	Ethyl acetate
Esters	Ethyl acetate
Aldehydes	Formaldehyde
Amines	Butyl amine

ตัวอย่างข้างต้นที่ถ่านกัมมันต์สามารถใช้บำบัดกรณีที่ปนเปื้อนอยู่ในระบบน้ำทิ้งในอุตสาหกรรม น้ำทิ้งชุมชน โรงกลั่นน้ำมัน โรงเยื่อต่างๆ

วิธีการทดสอบคุณสมบัติถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ซึ่งสมมติว่าเป็นสารพิษในน้ำตามวิธี ASTM D 4607-86 มีรายละเอียดของการวิเคราะห์ ดังนี้

สารเคมีที่ใช้

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จำนวน 70 มิลลิลิตรลงในน้ำกลั่น 550 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไอโอเดต 0.1000 นอร์มัล (normal, N) ซึ่งโปแตสเซียมไอโอเดต (Primary Standard Grade Potassium Iodate, KIO_3) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จำนวน 3.5667 มิลลิกรัม ละลายน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ถ่ายสารละลายลงในขวดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

3. สารละลายมาตรฐาน โซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 ± 0.001 นอร์มัล (normal, N) ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 24.820 กรัม ลงในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.10 กรัม ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชาทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

4. สารละลายมาตรฐาน ไอโอดีน 0.1 ± 0.001 นอร์มัล (normal, N) ชั่งไอโอดีน 12.7 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.1 กรัม ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2-5 มิลลิลิตร คนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆเติมน้ำทีละน้อย (ครั้งละประมาณ 5 มิลลิลิตร) จนกระทั่งให้สารละลายประมาณ 40 มิลลิลิตร ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะเพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายนี้ไว้

5. สารละลายแป้ง (Soluble Starch) เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยชั่งแป้ง 1 กรัม ละลายด้วยน้ำร้อนมีน้ำหนักเป็น 10 กรัม น้ำแป้งที่เตรียมได้จะใช้ในวันที่เตรียมเท่านั้น

กรรมวิธีเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

1. ใช้ปิเปตดูดสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2.0 กรัม เขย่าจนละลาย ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่

2. ไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด End Point) หยคน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ทำการไตเตรตอย่างน้อย 3 ครั้ง

คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

$$N1 = (P.R)/S$$

- เมื่อ
- N1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต, นอร์มัล
 - P = ปริมาตรสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, มิลลิลิตร
 - R = ความเข้มข้นสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, นอร์มัล
 - S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้, มิลลิลิตร

กรรมวิธีการเทียบมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน

1. ใช้ปิเปตดูดสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่แล้วไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน(ใกล้ถึงจุด End Point) หยคน้ำแข็ง 2-3 หยด สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ทำการไตเตรตอย่างน้อย 3 ครั้ง

คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน

$$N_2 = (S \cdot N_1) / V$$

- เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน, นอร์มัล
 V = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้, มิลลิลิตร
 N_1 = ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่, นอร์มัล
 S = ปริมาตรสารละลายไอโอดีน, มิลลิลิตร

กรรมวิธีการวิเคราะห์

1. บดและคัดขนาดให้ละเอียดน้อยกว่า 250 μm (no.60)
2. อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในหม้อดูดความชื้น
3. ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. ใส่สารละลายกระไฮโดรคลอริกเข้มข้น จำนวน 10 มิลลิลิตร (ตวงด้วยปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร) ต้มให้เดือดประมาณ 10 วินาที แกว่งเบาๆ เพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลายเพื่อกำจัดเถ้าซัลเฟอร์ออกจากผิวถ่านกัมมันต์
5. ใส่สารละลายไอโอดีน 100 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าแรงๆเป็นเวลา 30 วินาที
6. กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ที่สารละลายที่กรองได้ 20 มิลลิลิตรแรก
7. ดูดสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยปิเปต
8. ไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน(ใกล้ถึงจุด End Point) หยคน้ำแข็ง 2-3 หยด สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ทำการไตเตรตอย่างน้อย 3 ครั้ง

การคำนวณค่าการดูดซับของสารละลายไอโอดีน (Iodin number)

จากสูตร $O = (DF \times Z \times Y) / M$

เมื่อ $Y = 12693.0$

$M =$ ปริมาณถ่านที่ใช้

โดยที่ค่าคงที่ของการเจือจาง $DF = (I + H) / M$

เมื่อ $I =$ ปริมาตรของไอโอดีน (ml)

$H =$ ปริมาตรไฮโดรคลอริก 5% (ml)

$F =$ ปริมาตรของไอโอดีนที่ใช้ในการไตเตรท (ml)

โดยที่ความเข้มข้นของไอโอดีน $Z = (N \times S) / F$

เมื่อ $N =$ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (N)

$S =$ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (ml)

แหล่งเรียนรู้เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์

ความเป็นมา เมื่อปี พ.ศ. 2512 ได้มีการสร้างเขื่อนสิริกิติ์ทำให้ชาวท่าปลาที่อยู่บริเวณเขื่อนสิริกิติ์ในปัจจุบันเกิดน้ำท่วม จึงได้อพยพประชาชนมาอยู่ตามฝั่งที่ทางนิคมลำน้ำน่านจัดให้อยู่ตามฝั่งต่างๆ พื้นที่ที่ได้จัดสรรให้เป็นภูเขาและพื้นดินแห้งแล้งไม่สามารถจะปลูกพืชต่างๆ ได้ ชาวหาดลำจึงได้ทดลองปลูกมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งครั้งแรกจะปลูกกันไม่กี่ครัวเรือนและได้รับผลผลิตดี และมีรายได้เพิ่มขึ้นจากอาชีพอื่นๆ ทำให้ชาวท่าปลาในหลายตำบลหันมาปลูกมะม่วงหิมพานต์จนเป็นอาชีพหลัก ซึ่งมีรายได้ดี และในปี 2542 ได้จัดตั้ง “กลุ่มอาชีพเมล็ดมะม่วงหิมพานต์” ซึ่งมีสมาชิกจำนวน 31 คน โดยสมาชิกในกลุ่มนำผลผลิตมาขายและทำอาชีพในกลุ่ม

องค์ความรู้ ให้ความรู้ทางด้านการปลูกมะม่วงหิมพานต์ การแปรรูปและผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ตลอดจนการบริหารจัดการกลุ่ม

สถานที่ตั้ง กลุ่มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ หมู่ 3 ตำบลหาดลำ อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ 53150

สิ่งที่น่าสนใจ

1. แหล่งการปลูกมะม่วงหิมพานต์
2. สาธิตการผลิต ตลอดจนวิธีการแกะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
3. การบริหารจัดการของกลุ่มสามารถนำไปปฏิบัติได้

ผู้ประสาน คุณวันทนา ผ่านคำ ประธานกลุ่ม หมู่ 3 ตำบลหาดลำ อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ 53150 โทรศัพท์ 0-5547-3003 และ 081-786-3283

การเดินทาง จากตัวเมืองอุตรดิตถ์ (สายอุตรดิตถ์-เขื่อนสิริกิติ์) ถึงสามแยกร่วมจิต เลี้ยวซ้ายประมาณ 6 กิโลเมตรถึงสามแยกหาดลำที่ตั้งกลุ่มฯ

มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale*)

มะม่วงหิมพานต์เป็นพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญพืชหนึ่งของประเทศไทย และกำลังได้รับความสนใจทั้งภาครัฐและเอกชนที่จะพัฒนาให้เป็นพืชเศรษฐกิจเพื่อเป็นสินค้าส่งออก จากการวิจัยพบว่า มะม่วงหิมพานต์สามารถเจริญได้ดีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคอื่นๆของประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นพืชที่ทนแล้ง ปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็วดูแลง่าย ขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิดที่ระบายน้ำดี หน้าดินลึกไม่ เป็นดินดาน ไม่เป็นดินค่างจัดหรือกรดจัด การปลูกมะม่วงหิมพานต์นอกจากเป็นการเพิ่มรายได้แก่เกษตรกรแล้วยังเป็นการเพิ่มการปลูกป่า ทำให้สภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมดีขึ้น



ภาพที่ 9 ภาพแสดงผลของมะม่วงหิมพานต์

มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale*) เป็นไม้ดอกยืนต้นในวงศ์ Anacardiaceae มะม่วงหิมพานต์เป็นพืชพื้นเมืองของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของบราซิล ซึ่งเรียกเป็นภาษาโปรตุเกสว่า Caju (ผล) หรือ Cajueiro (ต้น) ปัจจุบันเติบโตแพร่หลายทั่วไปในภูมิภาคเขตร้อน เพื่อใช้ประโยชน์จากเมล็ด และผลของมะม่วงหิมพานต์เป็นไม้ไม่ผลัดใบ ลำต้นมีความสูง 10-12 เมตร ต้นเดี่ยว สยายกิ่งก้าน ไม่สม่ำเสมอ ใบจัดเรียงเป็นแบบเกลียว ผิวมันลื่นรูปโค้งจนถึงรูปไข่ ความยาว 4-22 เซนติเมตรและกว้าง 2-15 เซนติเมตร ขอบใบเรียบ ส่วนดอกนั้นเกิดจากที่ยาวถึง 26 เซนติเมตร แต่ละดอกตอนแรกมีสีเขียวซีดจากนั้นสีสดเป็นแดงจัด มี 5 กลีบ ปลายแหลม เรียว ยาว 7-15 มิลลิเมตร ส่วนที่จะปรากฏไปเป็นผลของมะม่วงหิมพานต์นั้นก็คือ ผลวิธามัญ (*accessory fruit*) รูปไข่ หรือรูปลูกแพร์ ซึ่งจะเติบโตจากฐานดอกขึ้นมาผลมะม่วงหิมพานต์นี้มีชื่อเรียกในแถบอเมริกากลางว่า *maranon* เมื่อสุกจะมีสีเหลืองหรือส้มแดง มีความยาวประมาณ 5-11 เซนติเมตร ผลแท้ของมะม่วงหิมพานต์นั้นเป็นผลเมล็ดเดี่ยว รูปไต หรือรูปนวมนักมวยงอกออกจากปลายของผลเทียม ความจริงแล้วในตอนแรกผลนั้นเติบโตบนต้นก่อนจากนั้นก้านดอกจะขยายตัวออกมาเป็นผลเทียม ภายในผลแท่นั้นเป็นเมล็ดเดี่ยว แม้ว่าโดยทั่วไปจะมองว่าส่วนเนื้อขาวนวลนั้นเป็นผลที่มีเปลือกแข็ง (nut) แต่ในทางพฤกษศาสตร์ถือว่าเป็นเมล็ด (seed) อย่างไรก็ตามส่วนของผลแท่นั้นนักพฤกษศาสตร์

บางท่านถือว่าเป็นผลที่มีเปลือกแข็ง ก็มีเมล็ดนั้นห่อหุ้มด้วยเปลือกสองชั้นประกอบด้วยยางฟีโนลิก (caustic phenolic resin) น้ำมัน urushiol, พืชที่ระคายเคืองต่อผิวหนังอย่างรุนแรง (พบได้ในพืชจำพวกไอวีพิษ(poison-ivy ด้วย)) บางคนแพ้มะม่วงหิมพานต์แต่ปกติถือว่าก่อให้เกิดอาการแพ้ น้อยกว่าผลเปลือกแข็งชนิดอื่นๆ

ชื่อ

ในประเทศไทยมะม่วงหิมพานต์พบได้ทั่วไปในภาคใต้และมีชื่อเรียกตามภาษาถิ่นให้แตกต่างกันไป เช่น กาหยู กาหยี (เข้าใจว่าเป็นคำยืมมาจากภาษามลายู ซึ่งยืมจากภาษาโปรตุเกสอีกทอดหนึ่ง) ม่วงเม็ดล่อ ม่วงเล็กล่อ หัวครก เป็นต้น

ประวัติ

มะม่วงหิมพานต์เป็นไม้ผลพื้นเมืองของอเมริกาใต้ มีปลูกกันทั่วไปตั้งแต่เม็กซิโกจนถึงเปรู ต่อมาได้ขยายพันธุ์ออกไปอย่างกว้างขวางในทวีปอาฟริกา อเมริกาเหนือ อเมริกาใต้ ตามหมู่เกาะต่างๆในมหาสมุทรแปซิฟิกตลอดจนถึงทวีปเอเชีย ประเทศที่นับได้ว่าเป็นผู้ส่งออกผลผลิตผลมาจากมะม่วงหิมพานต์รายใหญ่ของโลก ได้แก่ อินเดีย โมแซมบิก แทนซาเนีย ปราซิล เป็นต้น ประวัติการนำเข้ามาในประเทศไทยนั้นสันนิษฐานว่า พระยารัษฎานุประดิษฐ์ (คอซิมบี๊ ณ ระนอง) ได้นำเข้ามาจากอินเดีย เมื่อปี พ.ศ. 2444 พร้อมกับขางพาราและหลังจากนั้น ได้มีผู้นำเข้ามาอีกหลายครั้งจากอินเดีย ไคบีเรีย เป็นต้น โดยกรมวิชาการเกษตร (กรมกสิกรรมเดิม) เป็นผู้ทดลองศึกษาค้นคว้าคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถปลูกให้ได้ผลผลิตสูงในประเทศไทย ปัจจุบันมะม่วงหิมพานต์ได้ปลูกกระจายไปทั่วประเทศแต่ปลูกมากทางภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลักษณะทั่วไปทางพฤกษศาสตร์

มะม่วงหิมพานต์เป็นไม้ผลยืนต้น ตระกูลเดียวกับมะม่วงมีขึ้นอยู่ทั่วไปในประเทศที่มีอากาศร้อนและฝนตกชุก เป็นต้นไม้ที่ไม่ผลัดใบ สูงราว 6-12 เมตร แผ่กิ่งก้านสาขาเป็นพุ่มไม้กว้างออกไปโดยรอบ 4-10 เมตร กิ่งทอคยาว แผ่ออกข้างๆในกิ่งใหญ่หรือส่วนโคนของกิ่งใหญ่ๆ ถ้าปล่อยให้ตามธรรมชาติจะไม่มีกิ่งแขนงเกิด แต่ถ้าได้รับการตัดแต่งหรือบังคับก็จะมีกิ่งแขนงแตกออกตามทิศทางที่เราต้องการได้ มีใบขนาดคล้ายรูปไข่ ปลายใบป้อม โคนใบแหลมยาวประมาณ 10-12 เซนติเมตร กว้างประมาณ 5-7.5 เซนติเมตร ออกช่อดอกที่ปลายกิ่ง ช่อดอกยาวประมาณ 15-25 เซนติเมตร บางดอกมีแต่เกสรตัวผู้ บางดอกมีทั้งเกสรตัวผู้ตัวเมียอยู่ในช่อเดียวกัน ดังนั้นการผสมพันธุ์จึงทำผสมในช่อเดียวกัน ลักษณะดอกเป็นช่อในหนึ่งดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยงสีเขียว 5 กลีบ กลีบดอกสีขาวนวล 5 กลีบ เมื่อแรกบานกลีบดอกจะค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมเหลือง แต่ละดอกมีขนาดเล็กมาก

เมื่อเวลาดอกบานกลับดอกทั้ง 5 ม้วนเข้าหากลิบลี้อย่างคง โผล่ให้เห็นยอดเกสรตัวเมียชัดเจน เกสรตัวผู้ อยู่ภายในดอก 9 อัน และมีรังไข่อยู่ที่ก้านเกสรตัวเมีย

ผล มีลักษณะแปลกประหลาดส่วนที่เป็นผลคือก้านของดอกที่ขยายตัวพองขึ้นและ ส่วนที่เป็นผลจริงๆคือเมล็ดที่รูปร่างเหมือนไตติดอยู่ตรงปลายสุด เมื่อยังอ่อนมีสีเขียวและขยาย เติบโตจนใหญ่กว่าผลในระยะแรก (ที่เกิดจากการขยายตัวของก้านดอก) เมื่อได้ขนาดก็หยุดเจริญ เปลี่ยนสีเป็นสีเทาและพร้อมกันนี้ดอกที่เป็นผลปลอมก็เริ่มขยายแบ่งตัวพองโตขึ้นจนใหญ่กว่าเมล็ด เมล็ดขนาดยาวประมาณ 3 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2.5 เซนติเมตร ถ้าผ่าเมล็ดออกเปลือกเมล็ดจะ หนาราว 2-3 มิลลิเมตร เมล็ดในมีสีขาวนวลประกบกัน 2 ซีก เปลือกหุ้มเมล็ดมียางสีน้ำตาลอ่อน มีลักษณะเป็นกรด ถ้าถูกผิวหนังจะทำให้พองเป็นแผลเปื่อย แต่มีประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมมาก

ประโยชน์ของมะม่วงหิมพานต์

ผล ใช้รับประทานเป็นอาหาร ทำแยม น้ำส้มสายชู เครื่องดื่ม ไวน์ น้ำของผลมะม่วง หิมพานต์ใช้เป็นยาแก้โรคกระเพาะ แก้อาเจียน เจ็บคอ ขับปัสสาวะและขับเหงื่อ

เปลือกหุ้มเมล็ด นำมาสกัดได้กรดน้ำมัน ซึ่งมีประโยชน์ทางอุตสาหกรรมใช้ทำผ้าเบรก แผ่นคลัช หมึกพิมพ์ กระเบื้องยางปูพื้น สีทาบ้าน และอื่นๆ ไม่น้อยกว่า 400 ชนิด นอกจากนี้ยังทำ เป็นยาแก้โรคเหน็บชา โรคเลือดคั่งและโรคผิวหนัง

เยื่อหุ้มเมล็ดใน ใช้เป็นอาหารสัตว์

เมล็ดใน ใช้รับประทานมีคุณค่าทางอาหารสูง ใกล้เคียงไข่ นม เนื้อ ไม่เพิ่มไขมันในเส้น เลือดและตับ เป็นโปรตีนที่ย่อยง่ายที่สุดกว่าพืชตระกูลถั่วทั่วไป

ใบและยอดอ่อน รับประทานบรรเทาโรคท้องร่วง บิด ริดสีดวง

ใบแก่ นำมาบดให้ละเอียดใช้พอกแผลที่เกิดจากไฟไหม้ หรือนำมาขยี้และใช้สีฟันทำให้ ฟันสะอาด

ลำต้น ทำหีบใส่ของ ถังไม้ แอกลูกแก้วเวียน

เปลือกลำต้น แก้ปวดฟัน ดมกินแก้โรคท้องร่วงและผิวหนังพุพอง

ราก เป็นยาฝาดสมานแผลและแก้โรคท้องร่วง

พันธุ์

มะม่วงหิมพานต์ที่ปลูกอยู่ทั่วโลกมีไม่ต่ำกว่า 400 พันธุ์ แต่พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าใน ปัจจุบันมีไม่มากนัก ซึ่งได้จากการคัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมืองที่มีลักษณะดีตรงตามความต้องการ สำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน กรมวิชาการได้ทำการคัดเลือกแล้วได้ผ่านการรับรองพันธุ์แล้ว

จำนวน 2 พันธุ์คือ พันธุ์ศรีสะเกษ 60-1 และศรีสะเกษ 60-2 เหมาะสมสำหรับขยายพันธุ์แบบติดตา ต่อกิ่งหรือขยายพันธุ์โดยไม่ใช้เพศอื่นๆ นอกจากพันธุ์ที่กล่าวมาแล้ว เกษตรกรบางรายอาจคัดเลือก พันธุ์ดีจากแหล่งต่างๆ มาปลูกเองก็ได้โดยจะยึดหลักในการคัดเลือกพันธุ์ ดังนี้

1. ต้องเป็นพันธุ์ที่เมล็ดใหญ่ จำนวนเมล็ดต้องไม่เกิน 150 เมล็ด/กก.
2. ต้องเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงประมาณ 20 กก./ต้น/ปี
3. เป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อ โรคและแมลงได้ดี
4. ต้องเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสม่ำเสมอทุกปี

การขยายพันธุ์ มะม่วงหิมพานต์สามารถขยายพันธุ์ได้ 2 แบบ คือ

1. การเพาะเมล็ด ปลูกโดยใช้เมล็ดพันธุ์ดี ทำการเพาะใส่ถุงขนาด 5x8 นิ้ว หรือปลูกลงใน หลุมเลย โดยกดเมล็ดด้านเว้าลงให้จมจนมีดวงเมล็ดเอียง 45 องศา อายุต้นกล้าที่เพาะใน ถุงพลาสติกไม่ควรเกิน 4 เดือน ก่อนย้ายลงปลูก

2. การขยายพันธุ์โดยไม่ใช้เพศ มีหลายวิธีคือ การตอน การติดตา การทาบกิ่ง แต่วิธีที่ นิยมที่สุดคือ การเสียบข้าง ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

- ปลูกต้นตอให้ขนาดโตกว่าแท่งดินสอด กรีดเปลือกเป็นรูป ก แล้วลอกเปลือกออก
- เลื่อยยอดพันธุ์ดีลักษณะยอดมีสีน้ำตาล ใช้มีดตัดใบและก้านออกให้หมด
- ใช้มีดที่คมและสะอาดปาดยอดทั้งสองด้าน แผลที่ปาดต้องเรียบและสม่ำเสมอ
- เปิดเปลือกแล้วเอายอดพันธุ์ดีเสียบแล้วพันด้วยแผ่นพลาสติกให้มีรอยอด
- ประมาณ 20-30 วัน หากยอดยังเขียวอยู่ให้เปิดพลาสติกออกพร้อมกับตัดกิ่งต้นตอออก ครั้งหนึ่ง
- เมื่อยอดแตกใบและกิ่งได้ 5-10 ใบ ให้ตัดต้นตอเดิมเหนือรอยแผลเปลี่ยนยอด

การปลูก กรณีเพาะเมล็ดในถุงพลาสติกก่อนนำไปปลูกในแปลงควรปฏิบัติ ดังนี้

1. ขุดหลุมให้กว้าง ยาว ลึก ประมาณ 50-100 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้นและระหว่างแถว 6 เมตร

2. ผสมปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมัก 3-5 กิโลกรัม คลุกกับดินบนที่กองไว้ กลบลงในหลุมประมาณ ครั้งหลุม นำต้นมะม่วงหิมพานต์ที่จะปลูกลงในหลุมให้โคนต้นอยู่เหนือปากหลุมเล็กน้อย ปักไม้ พยุงลำต้นโดยใช้เชือกผูกติดกับต้นมะม่วงหิมพานต์เพื่อป้องกันลมโยก จึงนำดินที่เหลือกลบหลุม ให้แน่น ควรปลูกมะม่วงหิมพานต์ไร่ละ 45 ต้น ให้เป็นแถวตรงระยะห่างระหว่างต้นและระหว่าง แถว 6 เมตร ระหว่างแถวมะม่วงหิมพานต์ควรปลูกพืชแซม เช่น ข้าวฟ่าง ข้าวโพด ถั่วต่างๆ ฯลฯ ในช่วง 1-2 ปีแรกก่อนมะม่วงหิมพานต์จะออกผล เพราะเป็นการช่วยเพิ่มรายได้และยังช่วยกำจัด

วิชพืชด้วย ในกรณีที่ปลูกมันสำปะหลังอยู่แล้วให้ปลูกมะม่วงหิมพานต์แทรกและให้เอาต้นมันสำปะหลังออกห่างจากจุดที่จะปลูก ประมาณ 1 เมตร

การเก็บเกี่ยว มะม่วงหิมพานต์ปกติจะเริ่มให้ผลผลิตปีที่ 3 โดยจะเริ่มออกดอกประมาณเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ หลังจากดอกบาน 2 เดือน ผลจะเริ่มแก่และเก็บเกี่ยวประมาณเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม การเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องควรปล่อยให้ผลแก่เต็มที่แล้วร่วงหล่นจึงเก็บเกี่ยวเอาที่พื้น ไม่ควรเก็บบนต้นเพราะจะได้เมล็ดอ่อนไม่แก่เต็มที่ เมื่อเก็บมาแล้วให้ปิดเมล็ดออกจากผลทันที เพื่อป้องกันเชื้อราเข้าทำลายเมล็ด หลังจากนั้นนำเมล็ดไปตากแดดประมาณ 2-3 วัน ให้เมล็ดแห้งสนิท (ความชื้นไม่เกิน 20%) เพื่อเก็บไว้ได้นาน โดยไม่เน่าเสียจึงเก็บใส่กระสอบรอการจำหน่ายต่อไป

การกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ การกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นเรื่องที่เกษตรกรควรมีการปฏิบัติกันอย่างแพร่หลายเพราะสามารถแก้ปัญหาการว่างงานในท้องถิ่นได้ อีกทั้งได้รายได้สูงกว่าการขายเมล็ดดิบที่ยังไม่กะเทาะเปลือก

ขั้นตอนการกะเทาะ

1. ทำความสะอาด นำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบไปล้างน้ำทำความสะอาดให้ปราศจากสิ่งเจือปน โรคแมลงและคัดเมล็ดเสียทิ้ง

2. เตรียมเมล็ดก่อนกะเทาะ เพื่อลดปริมาณน้ำมันจากเปลือกและทำให้เปลือกแยกตัวออกจากเมล็ดใน ทำให้กะเทาะได้ง่ายขึ้นที่นิยมทำการค้ำกักใช้วิธีต้มเมล็ดในน้ำเดือดประมาณ 5 นาทีแล้วนำมาตากแดดประมาณ 1-2 แดด ให้เมล็ดมีความชื้นเหลือประมาณ 9% ซึ่งเหมาะสมที่จะนำมากะเทาะต่อไป

3. การกะเทาะเมล็ด ส่วนมากนิยมกะเทาะด้วยเครื่องกะเทาะเมล็ดแบบมือโยกเพราะราคาถูกกะเทาะง่ายและได้เมล็ดดี 70-80 %

วิธีการกะเทาะ นำเมล็ดที่ผ่านกระบวนการในข้อ 2 มาทำการกะเทาะเปลือกโดยปฏิบัติ ดังนี้

- 3.1 จับเมล็ดจรดลงบนใบมีดล่างพอดี
- 3.2 โยกค้ำกัก/บิดลงตรงๆ ให้ใบมีดผ่าเข้าไปในเปลือกทั้งใบมีดล่างและใบมีดโคน
- 3.3 บิดค้ำกัก/บิดไปทางขวา หรือซ้ายเพื่อให้ใบมีดบนเปิดเปลือกให้อ้าออก
- 3.4 ปล่อยค้ำกัก/บิดแล้วยกเมล็ดออกจากเครื่อง

4. การอบเมล็ด หลังจากกะเทาะแล้วเมล็ดในที่ได้ต้องนำไปอบเพื่อให้เมล็ดแห้งสามารถลอกเชื้อได้ง่าย โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซนติเกรด นาน 30 นาที หรืออาจนำไปตากแดดประมาณ 2-3 วัน

5. การลอกเชื้อ การลอกเชื้อหุ้มเมล็ดในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการลอกเชื้อ การลอกเชื้อทำได้โดยใช้มือหรือมีดเล็กขูดเชื้อออกจากเมล็ด

6. การคัดขนาดและการบรรจุหีบห่อ ส่วนใหญ่คัดด้วยมือหรือใช้ตะแกรงเข้าช่วย การคัดแยกเมล็ดที่สมบูรณ์ ผ่าซีก แตกหัก สีคล้ำ แล้วจัดเกรดตามมาตรฐานสากลหรือความต้องการของลูกค้า หลังจากคัดขนาดเสร็จต้องรีบนำเมล็ดไปบรรจุเพื่อเก็บไว้จำหน่ายต่อไป ถ้าเก็บไว้ไม่นานอาจใส่ถุงพลาสติกแล้วผนึกให้แน่นไม่ให้อากาศเข้าก็สามารถเก็บเมล็ดได้ระยะหนึ่ง แต่ถ้าต้องการเก็บรักษานานๆ เช่น ส่งต่างประเทศต้องบรรจุใส่ปี๊บ ปั้นอากาศออกแล้วบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วผนึกไม่ให้อากาศรั่ว เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของแมลง เมล็ดที่บรรจุควรจะมี ความชื้น 5% ตามมาตรฐานสากล