

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

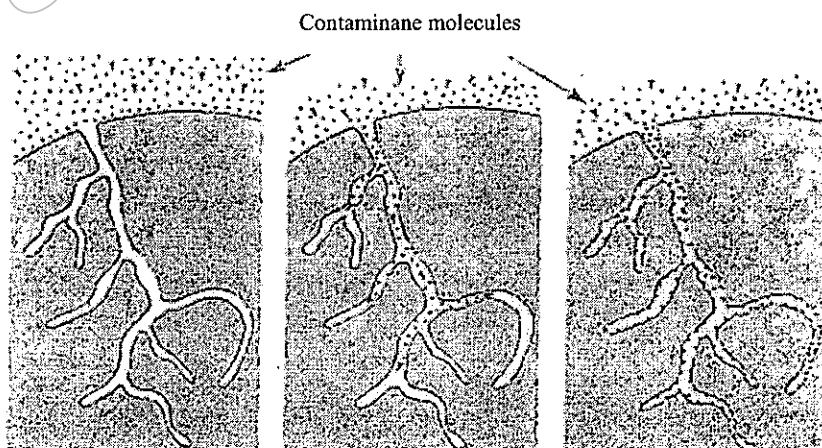
การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างสาร 2 สถานะ เช่น ของเหลว - ของแข็ง ก๊าซ - ของเหลว ก๊าซ - ของแข็ง โดยมีการสะสมสารอยู่ที่ผิวของสารที่เป็นสารดูดซับ ที่เรียกว่า Adsorbent โดยสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารชนิดอื่น เรียกว่า Adsorbate สารดูดซับใช้เพื่อกำจัดสารอินทรีย์รวมถึงสารที่ก่อให้เกิดโรค กลิ่น ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ (Sundstrom & Klei, 1979)

กลไกการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

กลไกการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ไปยังถ่านกัมมันต์โดยการพา เช่น การกวน หรือการไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุถ่านกัมมันต์
2. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแทรกตัวผ่านฟิล์มออกไซด์ไฮเดรต (Oxyhydrate Film) ซึ่งเป็นชั้นฟิล์มบาง ๆ ที่อยู่รอบผิวถ่านกัมมันต์ ปกติฟิล์มนี้จะยอมให้โมเลกุลสารซึมผ่านเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ง่าย
3. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะผ่านเข้าสู่โพรงช่องว่างภายในเนื้อของถ่านกัมมันต์ แล้วเกิดการดูดซับติดผิวของถ่านกัมมันต์ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดเหนี่ยวกับผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยแรงทางกายภาพแล้ว ไม่เกิดการหลุดจากถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 1 กลไกการดูดซับที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (Slejko, 1985)

ชนิดและกระบวนการดูดซับ

ชนิดและกระบวนการดูดซับ มี 2 ชนิด คือ

1. Physical Adsorption สามารถอธิบายได้ในทอมของพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็ง โมเลกุลภายในของของแข็งจะถูกกระทำด้วยแรงที่เท่า ๆ กันทุกทิศทาง ส่วนโมเลกุลที่อยู่บนผิวหน้าของของแข็งจะถูกกระทำด้วยแรงที่ไม่สมดุล ซึ่งแรงนี้สามารถทำให้สมดุลได้โดยให้โมเลกุลอื่น ๆ มาเกาะที่ผิวหน้า โมเลกุลชนิดนี้จะไม่แรงมากนัก และเป็นแรงชนิด Wan Der Waals ซึ่งการเกาะจับด้วยแรงทางฟิสิกส์ มีลักษณะดังนี้ คือ

1.1 แรงดึงดูดกันทางไฟฟ้าสถิตย์ เกิดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับโมเลกุลที่มีขั้ว และโมเลกุลไม่มีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว เช่น โมเลกุลของสารดูดซับมีขั้วและโมเลกุลของสารดูดซับต้องมีขั้วด้วย ซึ่งการเกาะจับของโมเลกุลต่าง ๆ เหล่านี้ เกิดขึ้นจากผล 3 อย่าง

ก. มีขั้วกับมีขั้ว โมเลกุลเกิดจากผลของการจัดเรียงของโมเลกุล ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงข้ามกัน

ข. ไม่มีขั้วกับไม่มีขั้ว เกิดจากผลของการกระจาย ซึ่งเป็นผลจากอาศัยหลักการโมเลกุลที่ไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้ ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มาอยู่ทางด้านใดด้านหนึ่งมากจะทำให้เป็นไดโพลโมเลกุลได้ และเมื่อมีโมเลกุลไม่มีขั้วชนิดเดียวกันนี้เข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกันและมักเป็นแรงที่อ่อน เช่น สารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์ เพราะสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นสารโมเลกุลไม่มีขั้ว

ค. มีขั้วกับไม่มีขั้ว เกิดจากผลของการเหนี่ยวนำ ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำของโมเลกุลที่มีขั้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงข้ามแล้วดึงดูดกัน

1.2 การเกาะจับกันเป็นแรงอ่อน ๆ เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (Wan Der Waals) เนื่องจากเป็นแรงอ่อนจึงสามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ ทำให้การฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับทำได้ง่าย

2. Chemical Adsorption จะเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างผิวหน้าของของแข็งและโมเลกุลที่อยู่ในของเหลว ลักษณะสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ คือ ขนาดอนุภาคและความเข้มข้นของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) มีลักษณะดังนี้ คือ

ก. มีลักษณะเป็นพันธะเคมีที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน หรือให้อิเล็กตรอนไปเลย หรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน มีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันแรงกว่าแรงทางฟิสิกส์

ข. ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมา เพราะยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงที่มาก มีการจับกันเป็นสารประกอบเคมี

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ธรรมชาติของโมเลกุลที่เป็นสารดูดซับ

- พื้นที่ผิวและโครงสร้างรูพรุน วัสดุที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับจะต้องมีพื้นที่ผิวเมื่อเทียบกับมวลที่สูง พื้นที่ผิวเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับในการดูดซับ นั่นคือ ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้น นอกจากนี้ความพรุนยังมีส่วนช่วยในการดูดซับเพิ่มขึ้น โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับด้วยพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นจากความพรุน หากโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่าขนาดรูพรุน

- ขนาดของวัตถุ โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลง ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่หากโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีความพรุนมาก ๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน เพราะฉะนั้นความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดของวัตถุ

- เกล็ดที่ผิวหน้า หมู่ฟังก์ชันที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับจะมีผลกระทบต่อกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์ และหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด ความสามารถในการดูดซับก็จะลดลง

2. ธรรมชาติของโมเลกุลที่เป็นสารที่ถูกดูดซับ

- ความสามารถในการละลายของสารที่ถูกดูดซับ สารที่มีความสามารถในการละลายต่ำจะถูกดูดซับได้ดีกว่าสารที่มีความสามารถในการละลายสูง เนื่องจากพันธะระหว่างตัวทำละลายและตัวถูกละลายที่น้อย สารละลายแต่ละชนิดมีทั้งส่วนที่เป็น Hydrophobic และ Hydrophilic โดยส่วนที่เป็น Hydrophobic ถูกดูดซับด้วยสารดูดซับ ในขณะที่ Hydrophilic จะหันหน้าเข้าน้ำ

- น้ำหนักของ โมเลกุลและขนาดของโมเลกุล โดยที่สารละลายที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น การดูดซับจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งพบได้จากการดูดซับกรดอินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์ เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดไพรโออิก กรดบิวเทอริก นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลยังส่งผลต่อการละลาย โดยสารที่มีโครงสร้างที่ยาวความสามารถในการละลายจะลดลง การดูดซับโดยสารดูดซับจึงมากกว่า

- ความมีขั้วของตัวถูกละลายและตัวทำละลาย มีอิทธิพลต่อสมดุลการดูดซับ โดยความสามารถในการดูดซับจะลดลงเพราะการมีขั้ว เนื่องจากความสามารถในการละลายที่มากกว่าสารที่ไม่มีขั้ว

- ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับขนาดของรูพรุน ถ้าขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็กกว่าขนาดของสารที่ถูกดูดซับ โมเลกุลก็ไม่สามารถเข้าไปในรูพรุน การดูดซับโดยรูพรุนจึงไม่สามารถเกิดขึ้น (Sundstrom & Klei, 1979)

3. ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารละลาย เนื่องจากถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการดูดซับสารออกจากสารละลาย ดังนั้นค่าความเป็นกรดต่างของสารตัวทำละลายจะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากค่าความเป็นกรดต่างจะมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของตัวถูกละลาย ถ้าสารละลายเป็นกรดจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ลดลง เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะเกาะติดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้ดี ทำให้ถ่านมีรูพรุนลดลง

4. อุณหภูมิ มีผลต่อการดูดซับอย่างมาก ถ้าอยู่ในสถานะของเหลว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายจะทำให้อัตราการดูดซับสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะลดลง

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ความหมายของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

ถ่านกัมมันต์ถูกผลิตขึ้นมาโดยผ่านกระบวนการกระตุ้น (Activation) ทำให้พื้นที่ผิวภายใน (Internal Surface Area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากเกิดโครงสร้างที่มีรูพรุนเป็นจำนวนมากซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน แต่ถ้าศึกษาด้วยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อกระทบวัตถุ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึก (Crystallites) อยู่บ้าง โดยส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบซึ่งต่างจากแกรไฟต์ จากสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่น ๆ เช่น ถ่านหินลิกไนต์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือแกรไฟต์ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้ว แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้าและการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซะโกนัล (Hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่น ๆ

การที่คาร์บอนต้องมีพื้นที่ผิวสูงก็เพื่อให้สามารถดูด โมเลกุลจำนวนมาก ๆ มาเกาะติดที่ผิวได้จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมรรถนะของคาร์บอน ด้วยเหตุนี้คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวสูงจึงมีอำนาจหรือขีดความสามารถในการดูดติดผิวหรือดูดซับ (Adsorptive Capacity) สูงตาม ไปด้วยการวัดพื้นที่ผิวของคาร์บอนทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกคาร์บอนเก็บไว้ วิธีวัดสมรรถนะของคาร์บอนอาจกระทำได้โดยการวัดค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine Number) แทนก็ได้ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของคาร์บอน (มันสิน ดัชนีจุลเวศม์, 2539)

ชนิดของถ่านกัมมันต์

แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

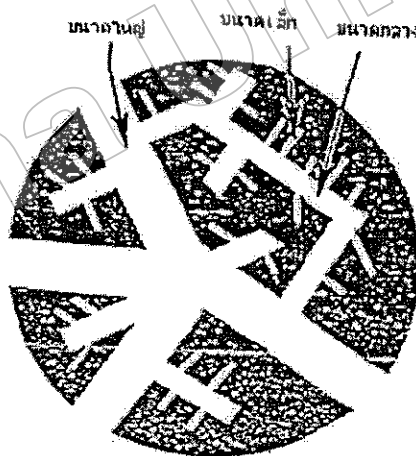
ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) ได้กำหนดชนิดของถ่านกัมมันต์ไว้ 2 ชนิด คือ

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) คือ ปริมาณถ่านที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
2. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon, PAC) คือ ปริมาณถ่านที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

แบ่งตามขนาดของรูพรุน

ตามมาตรฐานของ IUPAC (Patrick, 1995) ได้กำหนดขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ไว้ 3 ขนาด คือ

1. ขนาดเล็ก (Micropores) ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตร
2. ขนาดกลาง (Mesopores) ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนระหว่าง 2 - 50 นาโนเมตร
3. ขนาดใหญ่ (Macropores) ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร

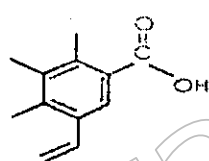


ภาพที่ 2 ขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (สุโรชนี สกลดวงดี, 2545)

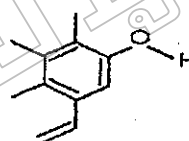
โครงสร้างทางเคมีของพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (อริญ ขวัญปาน, 2547)

โครงสร้างทางเคมีของพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (Surface Functional Groups) พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอะตอมที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับอะตอมอื่น ๆ ได้ เช่น อะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจน ในกระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จะทำให้ธาตุเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นผล

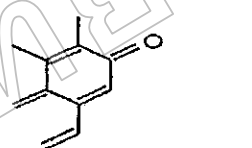
จากกระบวนการผลิต ทั้งในขั้นตอนคาร์บอนไนเซชัน และการเกิดพันธะเคมีบนพื้นผิว ในขั้นตอนการกระตุ้นการที่มีอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนนี้ส่งผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากอะตอมเหล่านี้เมื่อเกิดการรวมตัวกับอะตอมของคาร์บอน โดยเกิดพันธะเคมี จะเกิดเป็นกลุ่มฟังก์ชันนัล (Functional Groups) บนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ กลุ่มฟังก์ชันนัลที่พบบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ ได้แก่ Phenolic Hydroxyl Group, Quinone Type Carbonyl Group, Normal Lactone Group, Fluorescein Type Lactone Group, Carbonyl Group, Carboxyl Acid Anhydride Group และ Cyclic Peroxide Group



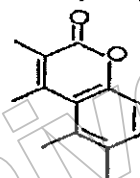
Carboxylic Group



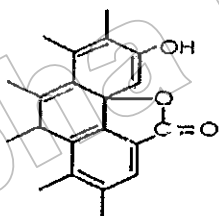
Phenolic Hydroxyl Group



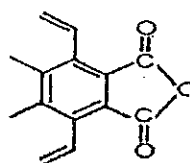
Quinone Type Carbonyl Group



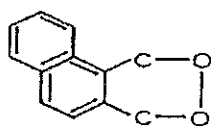
Normal Lactone Group



Fluorescein Type Lactone Group



Carboxyl Acid Anhydride Group



Cyclic Peroxide Group

ภาพที่ 3 กลุ่มฟังก์ชันนัลที่พบบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (Cookson, 1978)

การผลิตถ่านกัมมันต์

ในปัจจุบันการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายวิธี ขึ้นกับว่าใช้วัตถุดิบชนิดใด มีความต้องการลักษณะและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เป็นแบบใด โดยกระบวนการผลิตประกอบด้วยขั้นตอน

หลัก 2 ขั้นตอน คือ การคาร์บอนไนซ์ และการกระตุ้น (Hu & Srinivansan, 1999) ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรงหรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ขึ้นอยู่กับการผลิต แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอนไนซ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาร์บอนไนซ์ แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความแข็งและเหนียว ทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยากก็อาจนำวัตถุดิบนั้นไปคาร์บอนไนซ์ก่อนแล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้



ภาพที่ 4 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (สุจินัย ค่อยเสงี่ยม, 2544)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ (พลัญ โสภณกิจโกศล, 2544)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ได้มาจากธรรมชาติ เช่น เมล็ดหรือเปลือกของพืช วัตถุดิบที่ดีควรมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง วัตถุดิบที่นิยมใช้ผลิตถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. วัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง โดยมีองค์ประกอบคาร์บอนสูงกว่า 60% เป็นวัตถุดิบที่ถูกเผาโดยธรรมชาติหรือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผา ได้แก่ ถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) บิทูมินัส (Bituminous) ซับบิทูมินัส (Sub-Bituminous) ลิกไนต์ (Lignite) และถ่านโค้ก (Coke) เป็นต้น วัตถุดิบเหล่านี้สามารถทำการเผากระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ได้เลยหรืออาจทำการเผาก่อนวัตถุดิบที่อุณหภูมิต่ำเพื่อไล่ความชื้นออก

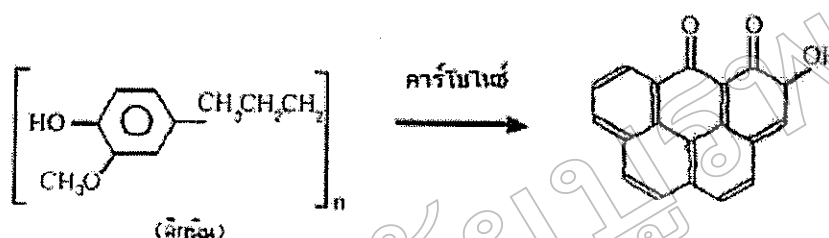
2. วัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบต่ำ ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของพืช ได้แก่ ไม้ เปลือกของไม้ กะลามะพร้าว เมล็ดของผลไม้หรืออาจเป็นพวกเศษพลาสติกและหนังสือตัว วัตถุดิบกลุ่มนี้มีราคาถูกและมีปริมาณมาก แต่ต้องผ่านกระบวนการเผาให้เป็นถ่านก่อนนำมาเผากระตุ้นจึงจะได้ถ่านกัมมันต์ที่ดี

การคาร์บอนในเซชัน

1. การคาร์บอนในเซชัน (Carbonization) เป็นการนำวัตถุดิบมาเผาในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อย (Pyrolysis) สารที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน และออกซิเจนจะถูกไล่ออกในรูปของก๊าซ คาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันเป็นผลึกทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของถ่านชาร์ ขนาดของผลึกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของวัตถุดิบ และอุณหภูมิของการเผา ถ่านชาร์ที่ได้รับขั้นตอนนี้จะมีความสามารถในการดูดซับต่ำ ยังคงมีน้ำมันดิน (Tar) ตกค้างอยู่ภายในรูพรุนหรือเกาะอยู่ตามผิว ดังนั้นต้องนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ (สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม, 2545)

วัตถุดิบซึ่งมักเป็นวัสดุทางการเกษตรเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งที่เป็นโซ่ยาวและที่เป็นวง เช่น ลิกนิน เซลลูโลส ฯลฯ เมื่อนำมาคาร์บอนในเซชันจะเกิดการสร้างวงอะโรมาติก (Aromatization) ซึ่งเป็นวงหกเหลี่ยมที่มีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (Resonance) ทั่วทั้งโครงสร้าง เรียกว่าวงเบนซีนหรือวงอะโรมาติก วงเบนซีนแต่ละวงจะเชื่อมติดกันจนมีลักษณะเป็นแผ่น ในโครงสร้างถ่านจะมีแผ่นของวงเบนซีนนี้อยู่หลายแผ่นเรียงตัวกันเป็นชั้น ๆ อย่างไม่เป็นระเบียบ การเรียงตัวกันเป็นชั้น ๆ นี้ จะเกิดแรงผลักระหว่างชั้นจากโพอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อยู่บนและล่างของแต่ละชั้น ถ่านจะสร้างเสถียรภาพด้วยการใช้โพอิเล็กตรอนสร้างพันธะ โดยการดึงอะตอมแปลกปลอมอื่นเข้าสู่โครงสร้าง เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจนหรือฟอสฟอรัส ฯลฯ แต่การดึงอะตอมออกซิเจนจาก

บรรยากาศจะง่ายที่สุด ดังนั้นจึงมักพบออกซิเจนใน โครงสร้างถ่านเสมอ ตัวอย่างดังภาพที่ 5 เป็นการเกิดวงเบนซีนจากกลินิน ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโซ่ยาวมากและมักพบในส่วนต่าง ๆ ของวัสดุทางการเกษตรที่มีความแข็งและเหนียว



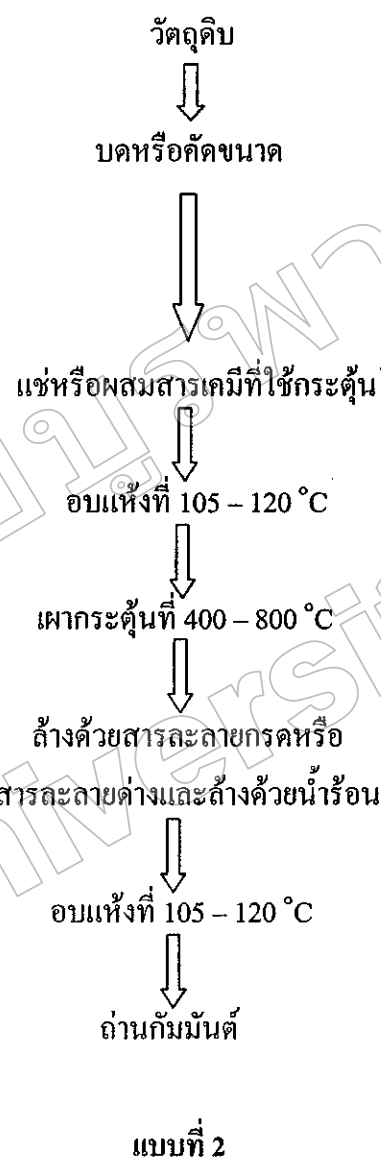
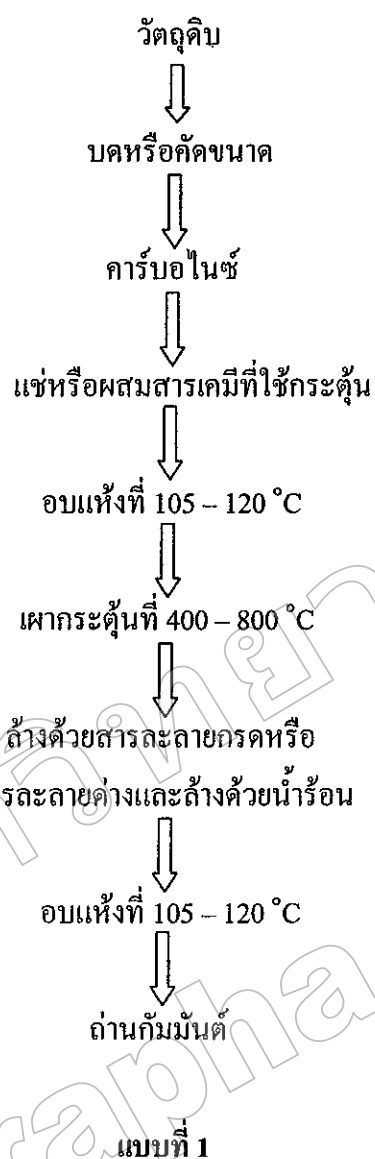
ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไนซ์ (สุโรชนี สกุลดวงดี, 2545)

การกระตุ้น

การกระตุ้น (Activation) คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งก็เนื่องมาจากว่าวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี นอกจากนี้ประสิทธิภาพของการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบ รวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย การกระตุ้นถ่านถ่านกัมมันต์แบ่งได้ 2 ประเภท คือ วิธีการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) และวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation)

1. วิธีการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อแช่ถ่านทิ้งไว้ในสารเคมีก่อนนำมากระตุ้น สารประกอบที่เหลืตกค้างบนผิวถ่านบางส่วนจะละลายออกจากถ่าน จากนั้นถ่านจะดูดซับเอาสารละลายนั้นเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามรูพรุนบนผิวถ่าน เมื่อนำถ่านไปเผาที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการสลายตัวของสารประกอบเหล่านี้และเปลี่ยนเป็นก๊าซระเหยออกไป ทำให้เกิดรูพรุนมากมาย (พลัฎฐ์ โสภณกิจ โกศล, 2544)

การกระตุ้นอาจทำได้โดยนำวัตถุดิบแช่หรือผสมกับสารเคมีที่ใช้กระตุ้นแล้วทำการเผากระตุ้นควบคู่ไปกับการทำให้วัตถุดิบเป็นถ่านในขั้นตอนเดียวหรือนำวัตถุดิบมาทำการเผาในที่อัดอากาศให้เป็นถ่านก่อนแล้วนำไปแช่หรือผสมกับสารเคมีที่ใช้กระตุ้น จากนั้นจึงทำการเผากระตุ้นอีกครั้ง (มานพ ตีระรัตนสมโภช, 2545) แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี (มานพ ตีระรัตนสมโภช, 2545)

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ (ณัฐยา พูนสุวรรณ, 2545)

ชนิดที่เป็นกรด	ชนิดที่เป็นด่าง	ชนิดที่เป็นเกลือ
กรดบอริก (H_3BO_3)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3)
กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)	แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2)
กรดไนตริก (HNO_3)	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	โพแทสเซียมซัลไฟด์ (K_2S)
กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)		โพแทสเซียมไธโอไซยาเนต (KSCN)
		แคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)
		แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

สารเคมีที่นิยมใช้ในการอุตสาหกรรม ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) (Patrick, 1995) ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสังกะสีคลอไรด์จะมีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) มากกว่าการกระตุ้นโดยสารเคมีอื่น แต่มีข้อเสีย คือ การล้างสังกะสีคลอไรด์ที่เหลือออกจากถ่านกัมมันต์ทำได้ยาก ต้องล้างด้วยน้ำเดือดนานกว่า 48 ชั่วโมง (พลัญญ์ โสภณกิจ โกศล, 2544) เป็นสารเคมีที่มีการกัดกร่อนสูงและก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว (Patrick, 1995) ดังนั้นในปัจจุบันจึงนิยมใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้นแทน เนื่องจากเป็นสารที่มีความสามารถในการทำละลายสูง สามารถแทรกตัวเข้าไปในเนื้อถ่านอย่างสม่ำเสมอได้ดีกว่าสังกะสีคลอไรด์และยังเป็นตัวออกซิเดนต์ ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเกิดขึ้นมาก (พลัญญ์ โสภณกิจ โกศล, 2544)

ข้อดีของวิธีการกระตุ้นทางเคมี คือ ใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก (400 – 600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสีย คือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออกเพิ่มขึ้น รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ก็ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้

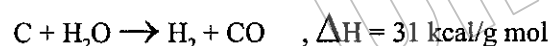
การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) (ณัฐยา พูนสุวรรณ, 2545) กรดฟอสฟอริกเป็นสารที่มีความสามารถในการทำละลายสูง ทำให้สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ จากการศึกษาของนักวิจัยหลายกลุ่มพบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นในการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลนั้นทำให้โครงสร้างของเซลล์ulos เกิดความเสถียรและองค์ประกอบของฟอสเฟตยังทำให้โครงสร้างของเซลล์ulos เกิดการขยายตัว ส่งผลให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อน

2. วิธีกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation) กระบวนการนี้ใช้ก๊าซที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing Gas) เช่น ไอน้ำ อากาศ หรือคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อออกซิไดซ์น้ำมันดินและอะตอมของคาร์บอนในโครงสร้างผลึกของถ่าน ทำให้ถ่านมีรูพรุนกว้างขึ้นและมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น สถานะการกระตุ้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของก๊าซที่ใช้เป็นตัวกระตุ้น รูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางกายภาพจะมีขนาดเล็กกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี กล่าวคือส่วนใหญ่เป็นรูพรุนขนาดเล็กซึ่งเหมาะสำหรับใช้ดูดกลืน ไอ หรือก๊าซพิษ

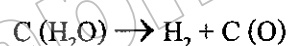
ข้อดีของการกระตุ้นทางกายภาพ คือ สามารถนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นแล้วไปใช้งานได้ทันทีและไม่เสียเวลาในการล้างสารเคมีตกค้าง แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาไหม้สูงกว่าวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี เช่น การกระตุ้นด้วยไอน้ำจะต้องใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (พลัญญ์ โสภณกิจ โกศล, 2544)

ตัวอย่างการกระตุ้นทางกายภาพ

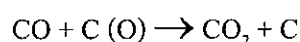
การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam Activation) เป็นการกระตุ้นทางกายภาพโดยผ่านไอน้ำร้อนยิ่งยวดเข้าไปในถ่านและทำการเผาที่อุณหภูมิ 950 - 1,100 °C ภายใต้สภาวะอับอากาศหรือมีออกซิเจนน้อยที่สุด โดยใช้เวลาและความดันที่เหมาะสม ขณะที่ถ่านสัมผัสกับไอน้ำจะเกิดปฏิกิริยาคูลความร้อน (Endothermic Reaction) ดังนี้



กลไกของปฏิกิริยาแสดงได้ ดังนี้



ก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะหลุดออกไปจากผิวถ่านทำให้เกิดเป็นรูพรุน แต่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอน ดังสมการ



การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการกระตุ้นโดยใช้ก๊าซคาร์บอนและไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ เกิดปฏิกิริยาคูลความร้อนขึ้น ดังสมการ



จากปฏิกิริยาข้างต้นจะเห็นว่าการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนมากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จึงต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 1,000 - 1,200 °C อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นนี้แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ในทางปฏิบัตินิยมใช้

ก๊าซเชื้อเพลิงเผาไหม้ซึ่งประกอบด้วยไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอาจมีออกซิเจนส่วนเกิน บ้างเล็กน้อยหรืออาจมีการเติมไอน้ำเข้าไปด้วยซึ่งเป็นการกระตุ้นโดยใช้วิธีร่วมกัน แต่ถ้าไม่ต้องการให้เกิดปฏิกิริยาร่วมกันจะใช้ก๊าซไนโตรเจน

การใช้ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ (เกศรา นุตาลัย และคณะ, 2532)

ได้มีการแบ่งการใช้ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ประเภทใช้กับของเหลว (Liquid Phase Carbon) อุตสาหกรรมที่นำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในสารละลายหรือในของเหลว ได้แก่
 - อุตสาหกรรมน้ำตาล จะใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ยังกำจัดสารพวกในโตรเจนและสารแขวนลอย Lyophilic ด้วย
 - อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค ใช้ในการฟอกสี และการแยกเอาสบู่ และเปอร์ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย
 - อุตสาหกรรมอาหารใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นและฟอกสีของผลิตภัณฑ์อาหารเช่น น้ำตาลเหลว น้ำเชื่อม น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ น้ำส้มสายชู น้ำซอสปรุงอาหาร หรือน้ำชีอิ้วเคมี น้ำพริกปรุงรสก่อนตกลูก ซึ่งดีกว่าการใช้สารเคมีชนิดอื่นเพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับอาหาร
 - อุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักจะใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ ทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น
 - อุตสาหกรรมเคมีและยา มีการนำถ่านกัมมันต์ไปช่วยในการผลิตยาปฏิชีวนะ วิตามิน และฮอร์โมนบางชนิด หรือใช้ในสกัดแยกสารทางชีวเคมีต่าง ๆ
 - อุตสาหกรรมทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดกลิ่นและฟอกสีในกระบวนการทำน้ำบริสุทธิ์จากน้ำที่มีมลพิษมาก ๆ ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon) ไปใช้ในเครื่องกรองน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมและบ้านพักอาศัยด้วย
 - อุตสาหกรรมการแยกสารที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ การแยกไอโอดีนออกจากน้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน (Petroleum Oil-Well Brines) การผลิตวิตามิน และฮอร์โมนหลายชนิด
 - Catalytic Process โดยถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่เป็นตัวพาตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Carrier) ในปฏิกิริยาที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหลายชนิด รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาให้ดีขึ้นด้วย ถ่านกัมมันต์จะออกซิไดซ์เกลือหลายชนิด เช่น

เฟอร์สซัลเฟต, โซเดียมอาร์ซีไนต์, โพแทสเซียมไนไตรท์และโพแทสเซียมเฟอโรไซยาไนด์ เป็นต้น ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดอย่างต่อเนื่องเมื่อสารละลายและอากาศผ่านไปบนพื้นผิวของ Granular Activated Carbon

- ใช้ในการแพทย์ เช่น ให้ยาถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ซึ่งจะค่อย ๆ ออกฤทธิ์โดยมีความเข้มข้นอย่างสม่ำเสมอ ได้แก่ Hydroxyl Aminophenylarsonic Acid สำหรับรักษาโรคคนที่เกิดจากการติดเชื้ออะมิบา และพาราไซต์ นอกจากนี้ยังใช้ดูดสารพิษจากผู้ป่วยที่ได้รับยาเกินขนาดหรือกินยาพิษ และยังใช้รักษาอาการมีแก๊สในกระเพาะอีกด้วย

ในต่างประเทศมีการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์รักษาโรคโดยตรง เช่น รักษาอาการอักเสบจากการติดเชื้อ ขจัดสารพิษ ลดก๊าซในกระเพาะอาหาร ดูดเชื้อแบคทีเรียที่เป็นตัวผลิตก๊าซในลำไส้ (ณัฐยา พูนสุวรรณ, 2545)

2. ประเภทที่ใช้ในการดูดก๊าซและไอ (Gas Phase Carbon) ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปนี้

- อุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง ความดันอากาศ และจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำ ๆ ได้แก่ การดูดซับไอระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์จากอากาศ การดูดซับเอสเทอร์คีโตน และไฮโดรคาร์บอนจากสีแห้งเร็ว

- อุตสาหกรรมปรับอากาศและการแยกก๊าซถ่านกัมมันต์ดูดสารปนเปื้อนออกจากอากาศหรือก๊าซที่ต้องการ เช่น ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, อีเลียม, อะเซทิลีน และแอมโมเนีย หรือกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาในห้องที่ปรับอากาศหรือห้องที่เพิ่งทาสีใหม่ ๆ

- อุตสาหกรรมบุหรี ใช้ถ่านกัมมันต์ทำกันกรองบุหรี

คุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์ (Cheremisinoff & Cheremisinoff, 1993)

คุณสมบัติต่าง ๆ ในการเลือกถ่านกัมมันต์ไปใช้ มีดังนี้

1. พื้นที่ผิว (Surface Area) โดยทั่วไปถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดติดผิวมาก

2. ความหนาแน่นประจักษ์ (Apparent Density) ใช้ในการประเมินความสามารถในการฟื้นฟูสภาพของถ่าน (Carbon Regeneration)

3. ความหนาแน่นก้อน (Bulk Density) ใช้ในการประเมินปริมาณของถ่านในแต่ละการใช้งาน

4. ขนาดใช้งาน (Effective Size), เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (Mean Particle Diameter) และสัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (Uniformity Coefficient) ใช้ในการประเมินภาวะทางชลศาสตร์ (Hydraulic Conditions) ของถังดูดติดผิว (Adsorption Column)

5. ปริมาตรรูพรุน (Pore Volume) ใช้ในการประเมินการดูดซับฟิวโมเลกุลในน้ำเสีย
6. ซีฟแอนาไลซิส (Sieve Analysis) เป็นตัวตรวจสอบ Plant-Handling Effects ของถ่าน
7. ปริมาณร้อยละของเถ้า (Ash Percent) บอกถึงปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์
8. ไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine Number) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการประเมินความสามารถของถ่านในการดูดซับฟิวสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ($10 - 28 \text{ \AA}$) และความสามารถในการฟื้นฟูสภาพของถ่านดูดซับฟิว (Carbon Regeneration)
9. โมลาสันัมเบอร์ (Molasses Number) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการประเมินความสามารถของถ่านในการดูดซับฟิวสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ($>28 \text{ \AA}$)
10. ขนาดของรูพรุน (Pore Size) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับฟิวโมเลกุลจำเพาะบางชนิด

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) ได้กำหนดคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเม็ด ดังนี้

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง

(พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ฉบับที่ 1550) พ.ศ. 2532, 2532)

คุณสมบัติ	ค่าที่กำหนด
ค่าไอโอดีน	ไม่น้อยกว่า 600
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.20 - 0.75

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

(พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ฉบับที่ 1550) พ.ศ. 2532, 2532)

คุณสมบัติ	ค่าที่กำหนด
ค่าไอโอดีน	ไม่น้อยกว่า 600
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.20 - 0.75
ความชื้น	ไม่เกินร้อยละ 8
ความแข็ง	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70

การทำรีเจนเนอเรชันให้กับถ่านกัมมันต์ที่เสื่อมแล้ว (มันลิน ดัชนีอุตสาหกรรม, 2539)

ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่ใช้แล้วควรนำไปทำการรีเจนเนอเรชัน เพื่อฟื้นฟูอำนาจการดูดซับ และนำกลับมาใช้อีก ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่ใช้แล้วสามารถนำไปทำรีเจนเนอเรชันได้ตลอดไป แต่ทุก ๆ ครั้งที่มีการทำรีเจนเนอเรชันต้องเติมถ่านกัมมันต์ใหม่จำนวนหนึ่งเพื่อทดแทนถ่านกัมมันต์ที่กลายเป็นผงไปในระหว่างการฟื้นฟูอำนาจ การสูญเสียคาร์บอนไม่ควรเกิน 5% ของถ่านกัมมันต์ทั้งหมด

การทำรีเจนเนอเรชันมักใช้วิธีเผาในเตาที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งควบคุมปริมาณออกซิเจนและความชื้นได้ การรีเจนเนอเรชันด้วยวิธีเคมีและวิธีชีววิทยาก็อาจใช้ได้ไม่ได้ผลดีเท่ากับวิธีการใช้ความร้อนสูงซึ่งขั้นตอนในการรีเจนเนอเรชันมีดังนี้

1. นำถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่เสื่อมแล้วไปสะเด็ดน้ำให้แห้งและนำไปอบให้น้ำระเหยจนได้ถ่านกัมมันต์แห้ง ใช้เวลาประมาณ 15 นาที
2. นำถ่านกัมมันต์แห้งมาเผาในเตาแบบ Multiple Hearth ที่อุณหภูมิประมาณ 800 - 950 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนและความชื้น ขั้นตอนนี้เป็นการกำจัด Adsorbate ที่เกาะติดบนผิวถ่านกัมมันต์และสร้างปฏิกิริยาออกซิเดชันให้กับสารที่เหลือจากปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis) Adsorbate ที่ถูกเผาจะกลายเป็นก๊าซซึ่งต้องระบายทิ้งออกจากเตาเผา
3. นำคาร์บอนไปทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วในถังน้ำเย็น
4. ล้างคาร์บอนที่เย็นแล้วเพื่อกำจัดส่วนที่เป็นฝุ่นผงออกไปจากส่วนที่เป็นเม็ด คาร์บอนที่ล้างแล้วสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

โลหะหนัก (Heavy Metal)

ธาตุโลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป โดยทั่วไปเป็นธาตุที่มีเลขอะตอม (Atomic Number) ในช่วง 23 - 92 อยู่ในคาบที่ 4 - 7 เช่น ปรัอท ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี โครเมียม เหล็ก เป็นต้น โดยไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะอัลคาไล (Alkaline) และโลหะอัลคาไลเอิร์ท (Alkaline Earth) โลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน แต่สมบัติทางเคมีแตกต่างกัน ทำให้ระดับความเป็นพิษของโลหะหนักแต่ละชนิดแตกต่างกันไป อาจแบ่งได้เป็นสารปริมาณน้อย (Trace Element) มีความสำคัญในการดำรงชีวิต แต่ถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไปก็จะทำให้เกิดพิษ สารปริมาณน้อย ได้แก่ โครเมียม สังกะสี โคบอลต์ ทองแดง แมงกานีส นิกเกิล และซีลีเนียม เป็นธาตุที่มีความสำคัญในโครงสร้าง โมเลกุล ส่วนประกอบเอนไซม์ และขบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolic) นอกจากนี้ยังมีพวกสารพิษ (Toxic Substance) เช่น ตะกั่ว แคดเมียมและปรอท ดังนั้นลักษณะความเป็นพิษของสารต่าง ๆ ถูกวัดจากความสัมพันธ์ของอัตรารับเข้าไปกับการตอบสนอง (Dose-Response) ซึ่งการตอบสนอง (Response) ของปริมาณที่รับเข้าไป (Dose) มีทั้งพิษเฉียบพลัน (Acute) ที่เกิดจากการได้รับสารพิษปริมาณน้อย แต่ต่อเนื่องในระยะเวลายาวนาน (วรรณภา โกศลวิตร, 2542)

แคดเมียม (Cd)

เลขอะตอม	48 เป็นธาตุที่ 2 ของหมู่ IIB
น้ำหนักอะตอม	112.40 amu
จุดหลอมเหลว	321 °C
จุดเดือด	767 °C
ความหนาแน่น	8.65 g/cc ที่ 20 °C

แหล่งที่พบ

แคดเมียมไม่พบในรูปของธาตุอิสระ และที่พบในรูปของสารประกอบก็มีน้อยมาก กล่าวคือ เพียง 0.5 ppm ของเปลือกโลกเท่านั้น แร่แคดเมียมที่พบทั่วไปมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการทำเหมืองในเชิงการค้า ดังนั้นแร่แคดเมียมจึงเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการทำเหมืองโลหะอื่น ๆ เช่น สังกะสี แร่สำคัญที่สุดของแคดเมียม คือ Greenockite (CdS) ซึ่งพบปะปนอยู่กับซิงค์ซัลไฟด์ โดยปรากฏเป็นจุดสีเหลืองบนผิวของซิงค์ซัลไฟด์ แร่ตะกั่วและทองแดงที่มีแร่สังกะสีปะปนอยู่ก็มีแร่ของแคดเมียมปะปนอยู่ด้วย

ดินแร่สังกะสีที่พบมีแร่แคดเมียมปะปนอยู่เสมอไม่มากนัก ปริมาณเจือปนตั้งแต่เล็กน้อยกว่า 0.01% ถึงประมาณ 1%

การใช้ประโยชน์ (ฝ่ายจัดการสารพิษ, 2541)

1. ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสม (Alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและทนต่อการสึกกร่อน เช่น

- โลหะผสมของทองแดงที่มีแคดเมียม 1% (Cadmium Bronze) ใช้ในการผลิตเส้นลวดโทรเลข โทรศัพท์

- ใช้ผสมกับโลหะผสมอื่นในกิจการเพชรพลอย เช่น ผสมกับโลหะอื่นชนิดเดียว (ผสมทอง) ผสมกับโลหะอื่น 2 ชนิด (ทอง 75% เงิน 16.6%) ผสมกับโลหะอื่น 3 ชนิด (ทองแดง เงิน และทอง)

- ใช้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูง ๆ ในการผสมกับโลหะอื่นให้มีคุณสมบัติกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น Cadmium Arsenide

2. ใช้ในการชุบโลหะ ใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วิทยุ

3. ใช้เป็นเม็ดสีในกิจการอุตสาหกรรม สารประกอบของแคดเมียมที่ใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น สีอีนาเมล (Enamels) เซรามิก ยาง แก้ว ผ้า เส้นใย หนังสือพิมพ์ และพลาสติก

4. ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิลเป็น Cadmium - Nickel Battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟลชถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด เป็นต้น

5. ใช้ในกิจการอื่น ๆ เช่น ใช้ในการผสมฆ่าเชื้อรา (Fungicides) ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณูเป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของนิวเคลียส เป็นต้น

ความเป็นพิษ (ฝ่ายจัดการสารพิษ, 2541)

ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

1. ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร อาการเริ่มแรก คือ รู้สึกคลื่นเหียนอาเจียนอย่างรุนแรง ตามด้วยการอาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากอาจจะเกิดอาการช็อคหรือไตล้มเหลว อาจถึงตายได้

2. ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ ความเป็นพิษที่เกิดจากระบบหายใจ เนื่องจากการสูดหายใจฟุ้งของแคดเมียม อาการโดยรวมจะปรากฏหลังจากสูดหายใจฟุ้งเข้าไปแล้ว 2 - 3 ชั่วโมง คือ เกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลมและปอด ซึ่งรวมถึงอาการอื่น ๆ ด้วย เช่น ระคายเคืองที่จมูกและคอ ไอ ปวดศีรษะ หนาวสั่น มีไข้ ปวดหน้าอก เป็นต้น

3. ความเป็นพิษต่อระบบอื่น ๆ เช่น ไต ตับ อวัยวะ ระบบประสาท หัวใจ เป็นต้น

ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

1. ความเป็นพิษต่อปอด จะทำให้เกิดการบวมหรือพองของเนื้อเยื่อปอด และเกิดการหายใจขัด
2. ความเป็นพิษต่อกระดูกและไต ความเป็นพิษที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรคไต - อีไต จะพบความเป็นพิษก่อนที่ปอด กล่าวคือ เกิดแผลที่ไต เป็นโรคกระดูกพรุน คือ กระดูกจะพรุน เสียรูปและหักได้ มีอาการปวดที่เอว ปวดกล้ามเนื้อขา เจ็บที่กระดูก
3. ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจ คือ เกิดความดันโลหิตสูง
4. ความเป็นพิษต่อดับ มีรายงานค่อนข้างน้อย แต่จากการทดลองในสัตว์พบว่าแคดเมียมในน้ำดื่ม 1 ppm มีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ในตับเปลี่ยนไป

ตะกั่ว (Pb)

เลขอะตอม 82 เป็นธาตุที่ 5 ของหมู่ IVA

น้ำหนักอะตอม 207.19 amu

จุดหลอมเหลว 327 °C

จุดเดือด 1,737 °C

ความหนาแน่น 11.34 g/cc ที่ 20°C

แหล่งที่พบ

ตะกั่วมีพบในธรรมชาติในรูปของธาตุอิสระบ้าง แต่มีน้อยมาก ปริมาณตะกั่วในรูปของสารประกอบก็มีไม่มากนัก ประมาณการว่าเปลือกโลกเรามีตะกั่วเพียง $2 \times 10^{-5} \%$ เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะสามัญทั่วๆ ไป ตะกั่วจัดว่ามีปริมาณน้อย เช่น มีน้อยกว่า Al, Fe, Mg, Ti, V, Cu, U, W และ Zn แต่ก็มากกว่า Co, Mo, As, Sn, Sb, Cd, Hg, Ag และ Au

การใช้ประโยชน์ (แนพฟ์ ไบรอัน, 2544)

ตะกั่วเป็นโลหะที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญตัวหนึ่ง ตะกั่วถูกใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมสีและพลาสติก เป็นต้น แบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉายซึ่งใช้แล้วจะถูกทิ้งอยู่ตามกองขยะเป็นแหล่งที่มาสำคัญของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม ตะกั่วเหล่านี้สามารถแพร่กระจายเข้าสู่สมในพืชและสัตว์และในที่สุดก็เข้าสู่คน ในบ้านที่เก่าและมีสีร่อนออกมาพบว่า มีตะกั่วในอากาศสูง เช่นเดียวกับที่พบว่า มีตะกั่วละลายออกมาจากภาชนะพลาสติกที่มีคุณภาพไม่ดีหรือภาชนะพลาสติกที่บรรจุอาหารที่มีความเป็นกรดเป็นด่างสูง

ความเป็นพิษ

ตะกั่วเป็นโลหะที่ร่างกายไม่ต้องการ กล่าวคือ ไม่มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบเผาผลาญอาหาร (Metabolism) ยิ่งไปกว่านั้นตะกั่วยังเป็นพิษต่อร่างกายอย่างร้ายแรงถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไป

ในปริมาณสูง โดยปกติร่างกายคนเราสามารถทนต่อตะกั่วในปริมาณสูงพอสมควร มีการวิจัยพบว่า คนทั่วไปมีตะกั่วในเลือด 0.25 ppm โดยไม่เกิดอาการเป็นพิษแต่อย่างใด แต่ถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปในปริมาณมากในทันทีทันใด เช่น ในเลือดมีตะกั่วมากกว่า 0.8 ppm จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างฉับพลัน เช่น เกิดอาการปวดท้องอย่างแรง อุจจาระมีสีดำ (เกิดจาก Pbs ในอุจจาระ) เกิดอาการช็อก (Shock) ตื่นเต้นง่าย ความจำเสื่อม และทำอันตรายต่อไต อาการพิษตะกั่วอย่างฉับพลันมักเกิดในคนงานที่ทำงานในอุตสาหกรรมที่ใช้ตะกั่วในกระบวนการผลิต เช่น โรงงานสังเคราะห์เตตระเอทิลเลด โรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ เป็นต้น แต่สำหรับคนทั่วไปพิษของตะกั่วที่เกิดขึ้นเป็นแบบสะสม กล่าวคือ ร่างกายรับตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่วเข้าไปทีละเล็กละน้อย แต่มากกว่าที่ร่างกายจะสามารถขับถ่ายออกไปได้

สาเหตุการเกิดอาการพิษจากตะกั่ว เนื่องจากตะกั่วสามารถป้องกันการเกิดฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ของร่างกายโดยไปขัดขวางการสังเคราะห์ตัวที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตฮีโมโกลบิน เรียกว่า Porphyrins นอกจากนี้แล้วยังสามารถขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ (Enzymes) บางชนิดที่มีหมู่ - SH อยู่ด้วย เช่น โคเอนไซม์ A ($\text{CoA} \cdot \text{SH}$) ทำให้ร่างกายเกิดอาการเป็นพิษผิดปกติดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

สังกะสี (Zn)

เลขอะตอม	30 เป็นธาตุแรกของหมู่ IIB
น้ำหนักอะตอม	65.37 amu
จุดหลอมเหลว	419.5°C
จุดเดือด	907°C
ความหนาแน่น	7.133 g/cc ที่ 20°C

แหล่งที่พบ

สังกะสีไม่พบในรูปของธาตุอิสระซึ่งเปลือกโลกของเราประกอบด้วยสังกะสีประมาณ 120 กรัม/ตัน และโดยทั่วไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ (ZnS) เรียกว่า Spalerite หรือ Zinc Blende และมักอยู่ปะปนกับซัลไฟด์ของโลหะอื่น ๆ เช่น เหล็ก ตะกั่ว แคดเมียมและทองแดง สินแร่ของสังกะสีมีพบกระจายทั่วไป และแหล่งที่สำคัญได้แก่ บริติชโคลัมเบียในแคนาดา หลายรัฐในภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกา เปรู ออสเตรเลีย โปแลนด์และญี่ปุ่น

การใช้ประโยชน์

1. ใช้ประโยชน์ในรูปของโลหะเจือ เช่นกับทองแดง (Cu) และอะลูมิเนียม (Al) ในการผลิตแผ่นโลหะเจือ
2. ใช้เคลือบผิว (Galvanizing) เหล็กกล้าเพื่อป้องกันการขึ้นสนิมของเหล็กกล้า

3. ใช้เติมในยางและสี

4. อื่น ๆ เช่น ชิ้นส่วนของรถยนต์ ไฟล์ไฟฟ้า แอโนดของเซลล์ไฟฟ้า ถ่านไฟฉาย (Dry Cell) และเตรียมสารเคมีของสารสังกะสี

ความเป็นพิษ

สังกะสีในรูปธาตุไม่ปรากฏเป็นพิษ และตามความเป็นจริงแล้ว สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของคนและสัตว์ แต่สารประกอบหลายชนิดอาจเป็นพิษ แต่จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถถูกขจัดออกจากร่างกายอย่างรวดเร็ว สังกะสีในรูปผงอาจติดไฟโดยตนเองได้และเกิดการระเบิดได้

ทองแดง (Cu)

เลขอะตอม 29 เป็นธาตุแรกของหมู่ IB

น้ำหนักอะตอม 63.54 amu

จุดหลอมเหลว 1,083 °C

จุดเดือด 2,582 °C

ความหนาแน่น 8.94 g/cc ที่ 20 °C

แหล่งที่พบ

โลหะทองแดงในรูปธาตุอิสระมีในธรรมชาติ และในหลาย ๆ แห่งของโลกเราเคยมีในปริมาณสูง แต่ปัจจุบันทองแดงในแหล่งเหล่านี้ได้ถูกขุดนำมาใช้ประโยชน์เกือบหมดแล้ว ที่เหลือมีอยู่เพียงไม่กี่แห่ง และแห่งหนึ่งที่ยังมีปริมาณสูงพอในเชิงพาณิชย์อยู่ที่รัฐมิชิแกน (Michigan) สหรัฐอเมริกา ส่วนทองแดงในรูปสารประกอบซึ่งส่วนใหญ่รวมกับเหล็ก กำมะถัน คาร์บอนและออกซิเจน มีกระจายทั่วไปตามที่ต่าง ๆ ของโลกเรา แร่ทองแดงที่พบมีปริมาณ 165 ชนิด แต่ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของทองแดงต่ำ (ชัชวพันธ์ เจนวาณิชย์, 2525)

การใช้ประโยชน์

1. ใช้ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าและเครื่องมือไฟฟ้าต่าง ๆ
2. ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง
3. ใช้ในการผลิตหม้อต้มน้ำ ถังน้ำ ถังน้ำ ท่อน้ำและขดลวด ถัดน้ำร้อน ฯลฯ
4. ใช้เคลือบผิวของโลหะ
5. ใช้ทำโลหะเจือ ทองเหลือง (Brass) คือโลหะเจือของทองแดง (~70 %) และสังกะสี (~30 %) ทองสัมฤทธิ์ (Bronze) เป็นโลหะเจือของทองแดง ดีบุก และสังกะสีเล็กน้อย เปรียบเทียบที่เราใช้กันอยู่ทั่วไปเป็นโลหะเจือที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย
6. ใช้ทำกระทะและเครื่องครัวต่าง ๆ

ความเป็นพิษ

ทองแดงเป็นโลหะที่ร่างกายเราต้องการในปริมาณเล็กน้อย (Trace Element) เช่น จำเป็นสำหรับกระบวนการเผาผลาญอาหาร (Metabolism) ผู้ใหญ่ต้องการทองแดง 2 มิลลิกรัม/วัน และร่างกายของคนเรามีทองแดงอยู่ 110 - 150 ซึ่งทองแดงจำนวนนี้มีความเข้มข้นสูงสุดที่ตับและกระดูก โลหิตของเราก็มีทองแดงอยู่ด้วย เป็นที่ทราบกันว่าการสร้างฮีโมโกลบินต้องอาศัยทองแดง ถึงแม้ฮีโมโกลบินจะไม่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ นอกจากนั้นการสังเคราะห์เอนไซม์หลายชนิดต้องอาศัยทองแดงด้วย

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทองแดงในปริมาณเล็กน้อยไม่เพียงแต่ไม่เป็นพิษ ยังเป็นสิ่งที่ร่างกายต้องการ แต่ถ้ามีในปริมาณสูงก็จะให้โทษและเป็นพิษได้ เช่น CuSO_4 27 กรัม ทำให้ตายได้ ถ้ารับประทานปริมาณน้อยกว่านี้ก็จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชาและสับสน นอกจากนี้ทองแดงยังเป็นธาตุจำเป็นสำหรับพืชด้วย เช่น จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ของพืช

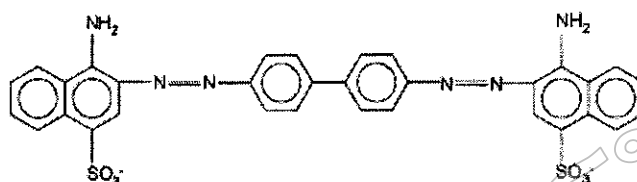
สีย้อม (Dye)

สีย้อม (Dyes) เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน โดยในโมเลกุลสีย้อมประกอบด้วยวงเบนซีน (Benzene Ring) และมีโครงสร้างเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้สีย้อมมีความสามารถในการติดสีและมีวิธีในการย้อมที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมย้อมผ้า อุตสาหกรรมพลาสติกและการพิมพ์ เป็นต้น

กลุ่มสีกลุ่มใหญ่ที่สุดในเวลานี้ซึ่งไม่เพียงแต่จะใช้ย้อมผ้าฝ้าย ผ้าลินิน และเส้นใยเซลลูโลสถึงสังเคราะห์เท่านั้น แต่ยังใช้สีเอซิด (Acid) ย้อมพวกเส้นใยขนสัตว์และไหมด้วยสีอื่น ๆ จะใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนถึงสังเคราะห์ และได้ค้นหาสูตรพิเศษสำหรับเส้นใยสังเคราะห์โดยตรงรวมไปถึงไนลอน (Nylon) และอะซิเตท (Acetate) ความก้าวหน้าของการย้อมมีการพัฒนาในด้านการดูดซึมของเส้นใยเซลลูโลสโดยการเพิ่มของเหลวที่ถูกแยกด้วยไฟฟ้าเข้าไปในอ่างน้ำย้อม เช่น เกลือ เป็นต้น มีการกั้นการสืดยกหลังจากการย้อมด้วยส่วนผสมของเกลือทองแดงหรือโครเมียม ทำให้มีความทนทานต่อการใช้งานมากขึ้น

คองโกเรด (Congo Red)

สูตรโครงสร้างทางเคมี



ภาพที่ 7 สูตรโครงสร้างทางเคมีของคองโกเรด (Grabowska & Gryglewicz, 2007)

ชื่อสามัญ

Congo Red

สูตรเคมี

$C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$

มวลโมเลกุล

696.68 g/mol

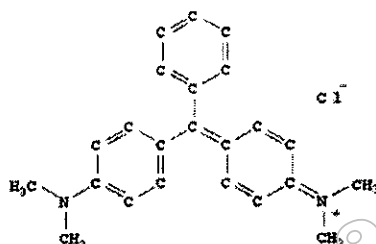
คองโกเรด (Congo Red) มีสีแดงหรือน้ำตาลแดง ไม่มีกลิ่น เป็นเกลือโซเดียมของ Benzdinediazo-Bis-1-Naphthylamine-4-Sulfonic Acid เมื่อละลายน้ำจะมีสีแดงที่เป็นคอลลอยด์แต่ละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล คองโกเรดใช้ในอุตสาหกรรมเซลลูโลส เช่น ฝ้าย เยื่อไม้ และกระดาษ แต่ก็เลิกใช้มานานแล้วเพราะพบว่ามีความเป็นพิษ ในทางชีวเคมีและจุลกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อ (Histology) คองโกเรดใช้ในการย้อมสีจุลลินทรีย์ ไฮโดรพลาสซึม และเม็ดเลือดแดง

ความเป็นพิษ

คองโกเรดสามารถก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ในเซลล์ร่างกายมนุษย์ เบคทีเรีย และยีสต์ เมื่อมีการสัมผัสกับผิวหนังจะทำให้เกิดการระคายเคืองหรือเกิดอาการแพ้ได้ แต่ถ้าหายใจเข้าไปจะทำให้ช่องทางเดินหายใจและเยื่อเมือกเกิดการระคายเคือง และถ้ารับประทานเข้าไปในปริมาณมากจะทำให้กระเพาะอาหารและลำไส้เกิดการระคายเคือง คลื่นไส้ ท้องร่วง ทำให้เลือดแข็งตัว เกิดเลือดและเม็ดเลือดขาวลดน้อยลง ง่วงนอน หายใจลำบาก ปวดบวม น้ำ

มาลาไคท์กรีน (Malachite Green)

สูตรโครงสร้างทางเคมี



ภาพที่ 8 สูตรโครงสร้างทางเคมีของมาลาไคท์กรีน (Kattan, Daher & Alkassiri, 2007)

ชื่อสามัญ Malachite Green

สูตรทางเคมี C₂₅H₂₇N₄O₈ • C₂H₂O₄

มวลโมเลกุล 927.0 g/mole

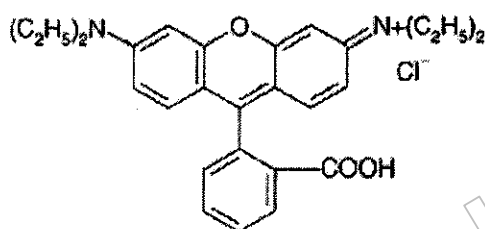
มาลาไคท์กรีน (Malachite Green) เป็นสารสี (Organic Dye) ใช้ประโยชน์ในการย้อมสีวัสดุต่าง ๆ เช่น ย้อมผ้า กระดาษ เครื่องหนัง มาลาไคท์กรีนมีอยู่หลายรูป เช่น อยู่ในรูปของ Oxalate หรือเกลือไฮโดรคลอไรด์ หรือเป็นสารผสมของเกลือออกซิดิก และไฮโดรคลอไรด์

ความเป็นพิษของมาลาไคท์กรีน

สำหรับคนที่สัมผัสกับมาลาไคท์กรีน เช่น ผิวน้ำและอวัยวะต่าง ๆ จะทำให้ซึมเข้าไปตามผิวหนังเนื้อเยื่อของร่างกาย ถ้าถูกสัมผัสบ่อย ๆ ก็จะทำให้เป็นโรคมะเร็งได้ สำหรับผู้บริโภค สารพิษจะเข้าไปสู่ระบบทางเดินอาหารและกระแสเลือด ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ส่วนความเป็นพิษของมาลาไคท์กรีนในสัตว์น้ำนั้น ความเป็นพิษของมาลาไคท์กรีน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าสัตว์น้ำอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำจะสามารถทนต่อพิษของมาลาไคท์กรีนได้ดีกว่าเมื่ออยู่ในอุณหภูมิสูง และถ้าแช่สัตว์น้ำหรือสัตว์น้ำได้รับมาลาไคท์กรีนเป็นระยะเวลานานก็จะได้รับพิษเพิ่มขึ้นตามเวลา ชนิดของสัตว์น้ำก็มีส่วนในการรับพิษของมาลาไคท์กรีนไม่เท่ากัน ถ้าเป็นสัตว์น้ำที่ไม่มีเปลือกหรือไม่มีเกล็ดจะรับพิษของมาลาไคท์กรีนได้เร็วและมากกว่าสัตว์ที่มีเปลือกหรือเกล็ด (โตะวิชาการ, 2549)

โรดาไมด์ บี (Rhodamine - B)

สูตรโครงสร้างทางเคมี



ภาพที่ 9 สูตร โครงสร้างทางเคมีของโรดาไมด์ บี (Wang et al., 2006)

ชื่อสามัญ Rhodamine - B

สูตรเคมี $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$

มวลโมเลกุล 479.02 g/mol

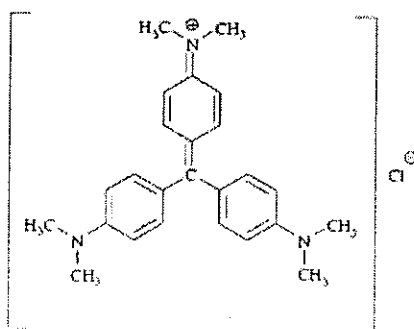
โรดาไมด์ บี มีลักษณะเป็นผลึกสีเขียวยหรือเป็นผงสีแดง-ม่วง ละลายได้ในน้ำ เมทานอล และเอทานอล เป็นต้น ใช้เป็นสีย้อมและสามารถเรืองแสงได้ ทำให้ใช้ได้ง่าย ราคาไม่แพง

ความเป็นพิษ

เมื่อมีการสัมผัส หายใจเข้าไปหรือรับประทานเข้าไปจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองได้ ส่วนในสัตว์ทดลอง (หนู) มี LD_{50} เท่ากับ 887 mg/g ซึ่งโรดาไมด์ บีก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ เป็นเนื้องอกและมีผลต่อการสืบพันธุ์

เมทิลไวโอเลต (Methyl Violet)

สูตรโครงสร้างทางเคมี



ภาพที่ 10 สูตร โครงสร้างทางเคมีของเมทิลไวโอเลต (Dogan, Ozdemir & Alkan, 2006)

ชื่อสามัญ	Methyl Violet
สูตรเคมี	$C_{24}H_{28}ClN_3$
มวลโมเลกุล	393.96 g/mol

เมทิลไวโอเลตมีลักษณะเป็นผลึกสีฟ้าเขียว ละลายในน้ำ เอทานอล ไดเอทิลกลีคอล (Diethylene Glycol) และไดโพรไพลีนกลีคอล (Dipropylene Glycol) เมทิลไวโอเลตใช้ในการย้อมสีทอผ้า ส่วนในทางเคมีใช้เป็น pH Indicator เพื่อทดสอบ pH ในช่วง 0 - 1.6

ความเป็นพิษ

เมทิลไวโอเลตสามารถทำให้ DNA จับตัวกันได้จึงใช้ในการวิเคราะห์เซลล์ได้ และจากการที่ทำให้ DNA จับตัวกันได้นี้เองจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการทำลายกระบวนการจำลอง DNA ได้จึงจัดเป็นสารก่อมะเร็งและก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ ส่วนในสัตว์ทดลอง (หนู) LD_{50} เท่ากับ 413 mg/g และก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ในสัตว์เช่นกัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลัญญ์โสณากิจโกศล (2544) ได้ศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก 50% โดยนำกะลามะพร้าวมาคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 และ 400 °C เป็นเวลา 1 และ 2 ชม. แช่วด้วยกรดฟอสฟอริก 50% แล้วเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500, 600, 700 และ 800 °C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชม. พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ การเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด คือ 1,050 mg/g มีพื้นที่ผิว 975 m²/g และสามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้ 69.80%

ลลิตา นิทัศน์จารุกุล (2544) ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ เปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการกระตุ้นโดยใช้เกลือแกง (NaCl) พบว่า การเผาวัตถุดิบพร้อมกับการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C จะทำให้ได้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุด คือ เปลือกทุเรียนมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 567 mg/g และเม็ดมะม่วงหิมพานต์มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 523 mg/g มีเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสูงกว่า 90% ที่พีเอชของน้ำเสียตั้งแต่ 4 - 9

มานพ ติระรัตนสมโภช (2545) ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของขี้เลื่อยต่อสารเคมีที่ใช้และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระตุ้นแตกต่างกัน พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของขี้เลื่อยต่อสารเคมีเท่ากับ 1: 1 โดยเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ

700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 1,021.3 mg/g และมีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 1,572.52 m²/g เปอร์เซ็นต์ในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 6, 7, 8 และ 9 เท่ากับ 99.76%, 99.91%, 99.63% และ 99.91% ตามลำดับ

ณัฐยา พูนสุวรรณ (2545) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยโดยแช่ขานอ้อยกับกรดฟอสฟอริก 50% ในอัตราส่วนของขานอ้อย: กรดฟอสฟอริก (น้ำหนัก: น้ำหนัก) เท่ากับ 0.5: 1, 1: 1 และ 1.5: 1 แล้วให้ความร้อนภายใต้สภาวะการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า การแช่ขานอ้อยกับฟอสฟอริกที่อัตราส่วน 1.5: 1 และให้ความร้อนภายใต้สภาวะการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์และพื้นที่ผิวสูงสุด คือ 1,043 mg/g และ 1,474 m²/g ตามลำดับ

สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม (2545) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบโดยใช้วิธีการกระกระตุ่นทางกายภาพ (ไอน้ำ) และการกระตุ่นทางเคมี (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์) โดยเผาแกลบที่อุณหภูมิช่วง 400 – 700 °C ระยะเวลาในการเผากระตุ่น 1 – 2 ชั่วโมง พบว่า การเผากระตุ่นด้วยไอน้ำที่ 700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ได้พื้นที่ผิวสูงสุด คือ 421 m²/g และสามารถดูดซับตัวทำละลายโทลูอินและไอระเหยของโทลูอินได้ 11.92% และ 7.94% ตามลำดับ ส่วนสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิธีการเผากระตุ่นทางเคมีโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ่น คือ อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 30 นาที จะได้พื้นที่ผิว 347 m²/g และสามารถดูดซับตัวทำละลายโทลูอินและไอระเหยของโทลูอินได้ 23.53% และ 51.59% ตามลำดับ ถึงแม้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้โดยวิธีการกระตุ่นทางเคมีจะมีพื้นที่ผิวดำกว่าวิธีการกระตุ่นทางกายภาพ แต่มีความสามารถในการดูดซับตัวทำละลายโทลูอินและไอระเหยของโทลูอินได้มากกว่า

อรวรรณ ศิริโชติ และคณะ (2545) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยเปลือกกล้วยพารา และกะลามะพร้าวโดยกระตุ่นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ ซึ่งคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 °C, 400 °C และ 450 °C ตามลำดับ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เผากระตุ่นที่อุณหภูมิ 800 °C และ 900 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนของสารเคมี: วัตถุดิบ (w/w) เท่ากับ 2: 1 และ 3: 1 แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปดูดซับไอออนเหล็ก (Fe³⁺) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 0.25 กรัม สารละลาย FeCl₃ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกกล้วยพาราและกะลามะพร้าวมีเปอร์เซ็นต์ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขานอ้อย โดยเปลือกกล้วยพาราที่เผากระตุ่นที่ 800 °C ที่อัตราส่วน 3: 1 มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุด คือ 1,281 mg/g มีพื้นที่ผิว 1,737 m²/g และกะลามะพร้าวที่เผากระตุ่นที่ 600 °C ที่อัตราส่วน 3: 1 มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุด คือ 1,281 mg/g มีพื้นที่ผิว 1,140 m²/g ซึ่งขานอ้อย เปลือกกล้วยและกะลามะพร้าวสามารถดูดซับไอออนเหล็กได้สูงสุด 0.66, 0.41 และ 0.18 mmol/g ตามลำดับ

Girgis, Khalil and Tawfik (1994) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขานอ้อย โดยใช้กรด 4 ชนิด ได้แก่ กรดฟอสฟอริก กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกมีปริมาณรูพรุนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรดตัวอื่น ๆ ที่ใช้เป็นสารกระตุ้น กรดฟอสฟอริกที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวกระตุ้นในการทำให้เกิดรูพรุนภายในโครงสร้างถ่านและช่วยสนับสนุนการเกิดเชื่อมโยง (Cross - Link) ในโครงสร้างถ่าน โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ (Jagtoyen & Derbyshire, 1998)

Hendawy, Samra and Girgis (2001) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพด (ขนาด 0.5 - 2 mm) โดยเปรียบเทียบระหว่างการผลิตถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพกับถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ คาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และกระตุ้นด้วยไอน้ำในช่วงอุณหภูมิ 600 - 850 °C ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีนั้นกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก 50% ที่อัตราส่วนของสารเคมีและวัตถุดิบ (w/w) เท่ากับ 1: 1 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ 50 mg สารละลายเมทิลีนบลู (Methylene Blue) 50 ml นำไปเขย่า 24 ชั่วโมง ทดสอบการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 50 mg และสารละลายตะกั่ว 100 ml และทดสอบการดูดซับไอโอดีน พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีมีเปอร์เซ็นต์ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตด้วยวิธีทางกายภาพ โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีมีพื้นที่ผิวสูงสุด คือ 960 m²/g สามารถดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue) 877 m²/g และดูดซับไอโอดีนและตะกั่ว (Pb^{2+}) 2.209 mmol/g และ 226 m²/g ตามลำดับ

Lafi (2001) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากลูกโอ๊ก (Acom) และเมล็ดมะกอก (Olive Seed) โดยแช่วัตถุดิบด้วยกรดฟอสฟอริก 85 % เป็นเวลา 2 วัน เเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 °C, 600 °C และ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ไปทดสอบการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ปริมาณ 2 กรัม พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากลูกโอ๊กมีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue) สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะกอก คือ มีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสูงสุดในช่วง 7.4 - 127.5 mg/g

Rajeshwarisivaraj et al. (2001) ได้ทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกมันสำปะหลังโดยเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับระหว่างเปลือกมันสำปะหลังที่เผาที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการนำเปลือกมันสำปะหลังที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกแล้วเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 14 ชั่วโมง เพื่อใช้ดูดซับสีย้อมและ

โลหะหนัก ได้แก่ Rhodamine - B, Direct Brown, Procion Orange, Acid Violet, Malachite Green, Methylene Blue, Cr (VI) , Hg (II) และ Fe (II) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ (Adsorbent) 500 มิลลิกรัม สารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) 250 มิลลิลิตร แล้วเขย่าที่ 160 รอบต่อนาที ที่เวลา 30, 60 และ 90 นาที วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 553.8, 399, 492.6, 587, 617, 660, 540, 565 และ 525 นาโนเมตร ตามลำดับ พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น แสดงดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์การดูดซับสีของและ โลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมันสำปะหลัง ที่ไม่ได้กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

Dye/metal	Initial pH	Final pH	% Removal		
			30 min	60 min	90 min
Rhodamine-B	3.42	5.56	94.20	99.20	100.00
Direct brown	6.82	6.85	8.25	10.32	10.35
Procion orange	5.83	6.73	4.79	5.30	5.30
Acid violet	6.35	6.75	65.05	83.00	83.00
Malachite green	4.75	6.79	95.79	100.00	100.00
Methylene blue	5.56	6.78	98.77	100.00	100.00
Cr (VI)	5.81	6.80	31.86	42.00	57.00
Hg (II)	4.38	6.79	98.74	99.01	99.01
Fe (II)	3.48	6.47	17.28	45.20	63.10

ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์การดูดซับสีของและ โลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมันสำปะหลัง ที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

Dye/metal	Initial pH	Final pH	% Removal		
			30 min	60 min	90 min
Rhodamine-B	3.42	7.53	94.96	99.00	100.00
Direct brown	6.82	8.30	99.49	100.00	100.00
Procion orange	5.83	8.34	97.12	99.82	100.00
Acid violet	6.35	8.35	86.32	86.32	86.32
Malachite green	4.75	8.34	99.50	100.00	100.00
Methylene blue	5.56	8.15	92.81	99.84	100.00
Cr (VI)	5.81	8.46	26.36	98.32	99.83
Hg (II)	4.38	8.50	91.44	83.43	86.42
Fe (II)	3.48	8.48	72.35	83.46	92.85

Girgis and Hendawy (2002) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดอินทผลัมโดย กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก 30 - 50 % ซึ่งคัดขนาดเมล็ดอินทผลัม 0.5 - 2.0 มิลลิเมตร เผากระตุ้นที่ อุณหภูมิ 300 °C, 500 °C และ 700 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปเขย่าเพื่อทดสอบการดูดซับ

พบว่า ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงสุดที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก 50 % และเผากระตุ้นที่ 700 °C โดยมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 945 m²/g และมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์นัมเบอร์เท่ากับ 508 mg/g

Girgis, Yunis and Soliman (2002) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่วโดยกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก 41% และ 85 % โดยแช่ด้วยกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนของสารเคมีและวัตถุดิบ (w/w) แตกต่างกัน คือ 0.5: 1, 0.75: 1, 1: 1 และ 1.6: 1 เเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 3 และ 6 ชั่วโมง แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาทดสอบหาพื้นที่ผิวและเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue) ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 100 mg/l ปริมาตร 100 ml และใช้ถ่านกัมมันต์ 250 กรัม นำไปแช่ 24 ชั่วโมง พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก 85 % ที่อัตราส่วน 1: 1 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีพื้นที่ผิวสูงสุด คือ 1,177 m²/g และมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue) เท่ากับ 96.1%

Kadirvelu et al. (2003) ได้ศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ขี้เลื่อยจากต้นมะพร้าว (Coconut Tree Sawdust) เปลือกฝ้าย (Silk Cotton Hull) ปาล์มเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม (Sago) เปลือกข้าวโพด (Maize Cob) ซึ่งกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นเพื่อดูดซับ Rhodamine - B, Congo Red, Methylene Blue, Methyl Violet, Malachite Green, Mercury (II) และ Nickel (II) ที่ความยาวคลื่น 565, 500, 660, 560, 617, 565 และ 420 nm ตามลำดับ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 250 มิลลิกรัม (ขนาดเล็กกว่า 125 µm) สารที่ถูกดูดซับ (สีย้อมและโลหะหนัก) 50 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของโลหะหนักเท่ากับ 25 ppm และนำไปแช่ที่ความเร็ว 160 รอบต่อนาที ที่เวลา 1, 3 และ 24 ชั่วโมง วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากวัตถุดิบต่าง ๆ สามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีในเวลาสั้น แต่เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสีย้อมจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ และเปอร์เซ็นต์การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 6 - 9

ตารางที่ 6 เปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักของขี้เลื่อยจากต้นมะพร้าว

Dyes/metals	pH		% Removal		
	Initial	Final	1 h	3 h	24 h
Rhodamine-B	3.65	5.32	5.00	18.00	57.50
Congo red	5.76	5.91	4.70	28.00	70.00
Methylene blue	4.72	4.95	94.00	93.00	93.40
Methyl violet	4.68	4.78	93.00	-	94.40
Malachite green	4.70	4.86	91.20	94.00	96.00
Mercury(II)	5.00	5.78	100.00	100.00	100.00
Nickel(II)	5.00	5.10	81.00	83.50	84.30

ตารางที่ 7 เปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักของเปลือกฝ้าย

Dyes/metals	pH		% Removal		
	Initial	Final	1 h	3 h	24 h
Rhodamine-B	3.65	6.11	4.10	—	28.00
Congo red	5.76	6.65	93.00	—	100.00
Methylene blue	4.72	5.07	3.00	4.70	48.00
Methyl violet	4.68	4.99	72.2	—	90.00
Malachite green	4.70	4.92	64.00	—	89.00
Mercury(II)	5.00	5.25	100	100	100
Nickel(II)	5.00	5.10	58.00	—	64.00

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักของปาล์มเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม

Dyes/metals	pH		% Removal		
	Initial	Final	1 h	3 h	24 h
Rhodamine-B	3.65	3.18	95.30	—	99.00
Congo red	5.76	3.48	50.00	75.00	95.60
Methylene blue	4.72	3.62	—	81.00	90.20
Methyl violet	4.68	3.85	85.00	86.20	96.00
Malachite green	4.70	3.30	77.00	87.00	90.00
Mercury(II)	5.00	3.65	100.00	100.00	100.00
Nickel(II)	5.00	5.10	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ 9 เปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักของเปลือกข้าวโพด

Dyes/metals	pH		% Removal		
	Initial	Final	1 h	3 h	24 h
Rhodamine-B	3.65	3.26	25.30	55.50	75.40
Congo red	5.76	3.76	11.00	20.75	28.75
Methylene blue	4.72	4.12	100	100	100
Methyl violet	4.68	4.16	100	100	100
Malachite green	4.70	3.92	71.00	87.60	85.00
Mercury(II)	5.00	4.20	100	100	100
Nickel(II)	5.00	4.29	100	100	100

Sudaryanto et al. (2005) ได้ทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกมันสำปะหลัง โดยการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และใช้อุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์ 450 – 750 °C และเวลาในการคาร์บอนไนซ์ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ และใช้อัตราส่วนของ สารเคมีต่อวัตถุดิบในการกระตุ้นที่แตกต่างกัน คือ 1: 2, 2: 2, 3: 2, 2: 1 และ 5: 2 พบว่า เวลาที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์ไม่มีผลทำให้พื้นที่ผิวแตกต่างกันมากนัก แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์จะทำให้พื้นที่ผิวมากขึ้นและมีรูพรุนมากขึ้นด้วย แสดงดังตาราง 10 และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ KOH จะทำให้พื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนเพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 พื้นที่ผิวและปริมาณของรูพรุนถ่านกัมมันต์ที่คาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Carbonization temperature (°C)	Pore structure				
	BET (m ² /g)	V _P (cm ³ /g)	V _T (cm ³ /g)	Micropore surface area (m ² /g)	Variation (%)
450	972	0.383	0.421	857	0.3
550	1074	0.394	0.435	908	0.2
650	1154	0.462	0.519	938	0.6
750	1378	0.393	0.583	881	0.5

ตารางที่ 11 พื้นที่ผิวและปริมาณของรูพรุนถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วนของ KOH: เปลือกถั่วลิสง
สำหรับอัตราส่วนต่าง ๆ

Impregnation ratio	Pore structure				
	BET (m ² /g)	V _P (cm ³ /g)	V _T (cm ³ /g)	Micropore surface area (m ² /g)	Variation (%)
1:2	1027	0.390	0.434	850	0.8
1:1	1378	0.393	0.583	881	0.5
3:2	1491	0.432	0.612	1023	0.7
2:1	1562	0.487	0.668	1074	0.5
5:2	1605	0.513	0.691	1100	0.3

Senthilkumaar et al. (2006) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากดอกมะพร้าว (Coconut Tree Flower) และเส้นใยปอกระเจา (Jute Fiber) เพื่อใช้ดูดซับสี Reactive Red 120 โดยนำดอกมะพร้าวและเส้นใยปอกระเจาแช่ด้วยกรดฟอสฟอริก 15% ที่อัตราส่วนของสารเคมีต่อวัตถุดิบ (w/w) เท่ากับ 3: 1 เตากระตุ่นภายใต้สภาวะการไหลของไนโตรเจนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำไปดูดซับสีที่มีความเข้มข้น 20, 30 และ 40 mg/l และเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบ/นาที แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 536 nm พบว่า เปรอร์เซ็นต์ในการดูดซับสี Reactive Red 120 จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากเส้นใยปอกระเจาสูงกว่าถ่านกัมมันต์จากดอกมะพร้าว คือ 200 mg/g และ 181.9 mg/g ตามลำดับ