

มีเขตการปกครองส่วนท้องถิ่น คือ เทศบาลตำบลแม่สอด สุขาภิบาลแม่สอด (ตำบลแม่ดาว) และเขตการปกครองส่วนภูมิภาค 7 ตำบล จำนวนหมู่บ้านรวม 57 หมู่บ้าน

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (สถาบันวิจัยสังคม, 2526)

ประวัติความเป็นมาของอำเภอแม่สอด มีหลักฐานว่า เมื่อประมาณ 120 ปีที่ผ่านมา บริเวณที่ตั้งหมู่บ้านแม่สอดปัจจุบันได้มีชาวกะเหรี่ยงมาตั้งภูมิลำเนา เรียกชื่อหมู่บ้านว่า “หมู่บ้านพะหน่อเก” ต่อมาคนไทยจากจังหวัดต่างๆ ในภาคเหนือพากันอพยพมาหากินในบริเวณนี้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนชาวกะเหรี่ยง เจ้าของถิ่นฐานเดิมได้อพยพไปอยู่ที่อื่น เพราะไม่ชอบอยู่ปะปนกับชนเผ่าอื่นนาน ต่อมาเมื่อประชาชนเพิ่มขึ้นจำนวนมากและมีความเจริญขึ้นตามลำดับ ทางราชการได้ตั้งด่านเก็บภาษีอากรขึ้นที่หมู่บ้านพะหน่อเกนี้ โดยย้ายมาจากหมู่บ้านแม่ละเมา ซึ่งเป็นด่านเก็บภาษีดั้งเดิม

ถึงปีพุทธศักราช 2441 ทางราชการจึงได้ยกฐานะหมู่บ้านขึ้นเป็นตำบล เรียกว่า “อำเภอแม่สอด” ให้อยู่ในเขตการปกครองของมณฑลนครสวรรค์ ต่อมาเมื่อมีการแก้ไขการปกครองใหม่ อำเภอแม่สอดจึงได้เปลี่ยนมาขึ้นกับจังหวัดตาก อำเภอแม่สอดจึงได้เป็นอำเภอหนึ่งในจำนวน 7 อำเภอ 1 กิ่งอำเภอของจังหวัดตาก

สำหรับความเป็นมาของชื่ออำเภอ “แม่สอด” นั้น สันนิษฐานไว้เป็น 2 นัย ประการแรก กล่าวกันว่า อำเภอแม่สอดเป็นเมืองเดียวกันกับ “เมืองจอด” ที่เป็นเมืองหนึ่งซึ่งตั้งประชิดชายแดนราชอาณาจักรสุโขทัย เมืองจอดมีเจ้าปกครองชื่อ “พ่อขุนสามชน” คำว่าเมืองจอด เรียกกันนานเข้าอาจเพี้ยนกลายมาเป็น “แม่สอด” ก็เป็นไปได้ อีกนัยหนึ่ง อำเภอแม่สอดอาจได้ชื่อมาจากชื่อของลำห้วยสายสำคัญคือ “ห้วยแม่สอด” ที่ไหลผ่านหมู่บ้านตำบลนี้

2.1.2 ทรัพยากร

ประชากรในอำเภอแม่สอดจะมีพื้นที่เพาะปลูกสำคัญอยู่บริเวณลุ่มแม่น้ำเมย และมีลำธารหรือลำห้วยที่สำคัญต่อการเพาะปลูกหลายสายในตำบลต่างๆ ในอำเภอนี้มีป่าไม้อยู่ค่อนข้างหนาแน่น โดยเฉพาะทางทิศตะวันตกของตำบล ซึ่งมีอาณาเขตติดต่อกับประเทศพม่า มีไม้มีค่าชนิด เช่น สัก, แดง, ยาง, ประดู่, เต็ง, รัง และ ชิงชัน เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีสัตว์ป่าหลายชนิด เช่น

แก้ง, กวาง หมูป่า, เลียงผา, หมี่, ลิง, เห็น และ ไก่ เป็นต้น ของป่าที่พบมี หวาย, สมุนไพร กล้วยไม้, ขี้ค้างคาว, ทองติง เป็นต้น

ได้มีการขุดพบแร่ธาตุและมีการขุดอยู่ในปัจจุบัน คือ ตะกั่วในหมู่ที่ 6, แร่เหล็กในหมู่ที่ 1 ตำบลมหาวัน, แร่หินน้ำมันในหมู่ที่ 5 ตำบลแม่ปะ, แร่สังกะสีในหมู่ที่ 8 ตำบลแม่ดาว, ดินบุก ภูเขาแพรม พลวง และสังกะสี ที่หมู่ 7 และ 10 ตำบลพะวอ

2.2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

กระบวนการที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียมียหลายวิธี การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใด นั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมหลายๆ ด้าน ดังนี้คือ

- คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนบำบัด
- คุณภาพของน้ำที่ต้องการ
- พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการบำบัด
- ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย
- ความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่

ซึ่งสามารถสรุปวิธีการกำจัดโลหะหนักได้ดังนี้

2.2.1 การตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical Precipitation)

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานานแล้ว ทำโดยการเติมสารเคมีลงในน้ำเพื่อทำปฏิกิริยากับ โลหะหนักที่ละลายอยู่ เกิดตะกอนแยกออกได้ ซึ่งตกตะกอนผลึกด้วยสารเคมีมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมคือการตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์ และการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์

การตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์

การตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์จัดเป็นการตกตะกอนแบบดั้งเดิม ทำโดยการเติม ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดปฏิกิริยาดังสมการ



โดย M^{++} คือ โลหะไอออน

การตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์สามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่มีข้อจำกัดคือ โลหะไฮดรอกไซด์จะไม่สามารถตกตะกอนที่พีเอชใดพีเอชหนึ่ง แต่จะตกตะกอนในช่วงพีเอชกว้าง โดยทั่วไปโลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอชประมาณ 8-11 และโลหะไฮดรอกไซด์นี้สามารถละลายกลับมาได้อีกถ้าพีเอชเปลี่ยนไปจากค่าพีเอชที่ตกตะกอน

การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์

การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์จะใช้โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือ โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



โดย M^{++} คือ โลหะไอออน

ข้อดีของการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์คือการละลายของโลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ แต่การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์มีข้อจำกัดคือเรื่องกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มากเกินไปจึงต้องมีการป้องกันก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการนำเอาซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง

2.2.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

การแลกเปลี่ยนไอออนสามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้ โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกดูดซับด้วยเรซินได้ไม่เท่ากัน ซึ่งเรซินที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนนี้จะมีทั้งได้จากธรรมชาติและชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ซึ่งเรซินนี้จะมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และจะถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงกันข้าม ไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกันนี้เป็นไอออนที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย

วิธีนี้จะเหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงนิยมใช้กับระบบกำจัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่จะต้องกำจัดออกก่อนที่จะเข้าถังเรซินเพื่อทำให้การบำบัดมีประสิทธิภาพสูงสุด และยังมีข้อเสียที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดำเนินการสูง

2.2.3 การรีเวิร์ส ออสโมซิส (Reverse Osmosis)

วิธีนี้เป็นการแยกโลหะออกจากน้ำเสีย โดยหลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนที่ทำด้วยสารเซลลูโลสอะซีเตตและโพลีเอไมด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semi-permeable Membrane) ซึ่งจะให้เฉพาะตัวทำละลายผ่านเพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้น วิธีนี้อาจต้องใช้แรงดันสูงโดยอาจสูงกว่า 100 ความดันบรรยากาศ ดังนั้นแผ่นเมมเบรนจึงต้องทนความดันสูง และต้องมีการบำบัดขี้ดินโดยการปรับพีเอช แยกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงออกและกรองสารแขวนลอยออกก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน วิธีนี้เหมาะสำหรับกำจัดโลหะหนักจากอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า และน้ำเสียจากการล้างภาพ

2.2.4 การออกซิเดชันและการรีดักชัน (Oxidation and Reduction)

วิธีนี้เป็นวิธีทางเคมีที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่างๆ เจือปนอยู่ ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับสารประกอบที่ต้องการกำจัด ทำให้สารประกอบนั้นเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่ใช้เป็นตัวออกซิเดชันได้แก่ อากาศ ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮโปคลอไรด์ เปอร์แมงกานेट โครเมต และไนเตรต ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดรีดักชันได้แก่ เหล็ก (II) ซัลเฟต โซเดียมเมตาไบซัลเฟต ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สำหรับตัวอย่างการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการออกซิเดชันได้แก่การกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะโดยใช้คลอรีนหรือไฮโปคลอไรด์ ส่วนตัวอย่างการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีรีดักชันได้แก่ การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะที่มีสารประกอบโครเมตหรือกรดโครมิกเจือปนอยู่โดยใช้เหล็ก (II) ซัลเฟต โดยต้องทำปฏิกิริยาที่พีเอชต่ำกว่า 3 หลังจากนั้นเติมปูนลิมส์ลงไปเพื่อตกตะกอนอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้ว่า การบำบัดด้วยวิธีนี้ค่าพีเอชมีความสำคัญมาก จะต้องปรับพีเอชให้มีค่าเหมาะสม ปฏิกิริยาจึงจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

2.2.5 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)

วิธีนี้เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วบวก และเกิดออกซิเจนที่ขั้วลบตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่วิธีนี้มักไม่นิยมเพราะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

2.2.6 การระเหย (Evaporation)

เป็นการระเหยเอาน้ำออกซึ่งเป็นวิธีง่ายๆ ที่ทำให้สารมีความเข้มข้นสูงขึ้น การระเหยมีทั้งการระเหยที่บรรยากาศธรรมดา และระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ วิธีการบำบัดแบบนี้จะได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูง แต่มีข้อเสียที่ต้องใช้ทุนในการดำเนินการสูง

2.2.7 การอิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

วิธีการนี้เป็นการแยกไอออนออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าตรงรวมกับการใช้เมมเบรนสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion Selective Membrane) กลไกของกระบวนการนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งน้ำจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีนี้มีข้อเสียคือ ค่าต้นทุนในการก่อสร้างและการดำเนินงานสูง แต่มีข้อดีคือ สามารถกำหนดชนิดไอออนที่ต้องการได้

2.2.8 การดูดติดผิว (Adsorption)

เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซ ให้มาเกาะจับและติดบนผิวของมัน ปรากฏการณ์เช่นนี้จัดเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (mass transfer) จากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็ง โมเลกุลหรือคอลลอยด์เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของ Adsorbate เรียกว่า Adsorbent

สารที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่างๆ มาติดผิวได้มีหลายชนิด แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ, แมกนีเซียมออกไซด์, ถ่านกระดูก (Bone Char), แอคติเวทเต็ดซิลิกา (activated silica) ฯลฯ สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 – 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ สามารถจับโมเลกุลได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดติดผิวประเภทอนินทรีย์มีข้อจำกัดมาก

2) แอคติเวทเต็ดคาร์บอน (activated carbon) สารดูดติดผิวชนิดนี้อาจจัดว่าเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์ก็ได้ แต่เป็นสารดูดติดผิวที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600 – 1,000 ตารางเมตรต่อกรัม

3) ประเภทสารอนินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange resin) ชนิดพิเศษสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอนินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 – 500 ตารางเมตรต่อกรัม (ซึ่งถือว่าต่ำเมื่อเทียบกับแอคติเวทเต็ดคาร์บอน) แต่อย่างไรก็ตาม เรซินมีข้อที่ได้เปรียบกว่า คือ สามารถปรับคืนสภาพ (regenerate) ได้ง่ายกว่ามาก และสารที่ใช้ในการปรับคืนสภาพ (regenerant) มักเป็นสารที่มีราคาถูก เช่น เกลือแกง

2.3 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปของคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) ชนิดหนึ่ง แต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการกระตุ้น (activation) ซึ่งจะทำให้พื้นผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนเป็นจำนวนมาก แต่ถ้าหากศึกษาด้วยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อกระทบวัตถุ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึก (crystallites) อยู่บ้าง แต่มีข้อบกพร่องไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์ จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านหินลิกไนท์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือแกรไฟต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูง อันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ผิวมีโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (microporous structure) และมีความว่องไวในการดูดซับสูง

โดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้ว แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้า และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซโกนัล (hexagonal) ทำให้ผิวหน้า

ของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (silica gel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า (เพียรพรรค ทศคร, 2535)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากเท่าที่จะมากได้ รูพรุนหรือโพรงนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 Å ถึง 20,000 Å การที่คาร์บอนต้องมีพื้นที่ผิวสูงก็เพื่อให้สามารถดูดโมเลกุลจำนวนมากๆ มาเกาะติดที่ผิวได้ ดังนั้นพื้นที่ผิวสูงจึงมีความสามารถในการดูดติดผิว (adsorptive capacity) สูงตามไปด้วย การวัดพื้นที่ผิวของคาร์บอนกระทำได้โดยการหาปริมาณใน โตรเจนที่ถูกคาร์บอนดูดเก็บไว้ วิธีวัดสมรรถนะของคาร์บอนอาจกระทำได้โดยการวัด Iodine Number ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของคาร์บอน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area) ลักษณะของสารถูกดูดซับ (nature of adsorbate) พีเอช (pH) อุณหภูมิ (temperature) และเวลาในการสัมผัส (contact time)

ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งตามรูปร่างลักษณะได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon: PAC) และถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon: GAC) โดยตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2532 ถ่านกัมมันต์ชนิดผงหมายถึง ปริมาณถ่านที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก ส่วนถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดหมายถึง ปริมาณถ่านที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปัจจุบันถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมสูง ทั้งอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ กำจัดสารออร์แกนิกซัลเฟอร์จากโรงงานอุตสาหกรรม หรือกำจัดกลิ่นในอากาศ เป็นต้น

2.3.1 วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติในการดูดสีในของเหลวของถ่านเป็นที่ทราบกันมาตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 15 แต่คุณสมบัติในการดูดก๊าซเพิ่งจะได้มีผู้บันทึกไว้ในปี พ.ศ. 2328 แต่ก็ไม่มีผู้สนใจในคุณสมบัติเหล่านี้จนกระทั่งปี พ.ศ. 2354 มีนักวิทยาศาสตร์ผู้หนึ่งพบว่าถ่านจากกระดูกสามารถดูดสีได้มากกว่าถ่านซึ่งได้มาจากไม้ จึงนิยมนำถ่านกระดูกมาใช้ในการฟอกสีน้ำตาลทรายให้ขาวสะอาดบริสุทธิ์กันมาก และได้มีการค้นคว้าพัฒนาต่อมาจนกระทั่งปี พ.ศ.2365 มีผู้พบว่าถ่านที่ได้จากการเผาเลือดกับด่างชี่เถ่า (potash) มีคุณสมบัติในการดูดสีมากกว่าถ่านกระดูกถึง 20 – 50 เท่า แต่ไม่

สามารถจะผลิตได้ปริมาณมากเพียงพอที่จะนำไปใช้ในโรงงานได้ ต่อมาประมาณ พ.ศ. 2443 มีนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Mr. Ostreyko ชาวโปแลนด์ คิดค้นวิธีผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นใหม่โดยเผาถ่านในบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์ และอีกวิธีหนึ่งใช้คลอรีนของโลหะผสมกับถ่านแล้วนำไปเผา ซึ่งนับเป็นผู้ริเริ่มให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ชื่อต่างๆ เช่น ชื่อ “เอพโพนิท (Epomit)” ผลิตขึ้นในยุโรปในปี พ.ศ. 2452, “นอริท (Norit)” ผลิตในปี พ.ศ. 2454 และ “คาร์โบราฟฟิน (Carboraffin)” ผลิตในปี พ.ศ. 2458 และในอเมริกาได้ผลิต “ฟิลท์ชาร์ (Filtchart)” ขึ้นในปี พ.ศ. 2456 และได้มีการปรับปรุงและเปลี่ยนชื่อเรียกใหม่ๆ ไปเรื่อยๆ ถ่านที่ผลิตขึ้นเหล่านี้ได้มีการศึกษาถึงการนำไปใช้ในการดูดสี ฟอกสี ในโรงงานผลิตน้ำตาลทรายเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งใช้ได้ผลดีกว่าถ่านกระดูกมาก

คุณสมบัติในการดูดกลิ่นและก๊าซของถ่านกัมมันต์ เริ่มเป็นที่สนใจกันในระหว่างสงครามโลก ครั้งที่ 1 ซึ่งมีการนำไปใช้ในการทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซพิษ จากจุดนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจในคุณสมบัติการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ของถ่าน ซึ่งจากการทดลองโดยวิธีต่างๆ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตใช้ในการฟอกสีน้ำตาลนั้นไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการทำหน้าที่ปกป้องกันไอพิษ เพราะมีลักษณะพองและเบาและจำเป็นต้องใช้เป็นจำนวนมาก ทำให้มีผู้พยายามผลิตถ่านชนิดใหม่ให้มีความหนาแน่นมากขึ้น สำหรับใช้ในการดูดก๊าซโดยเฉพาะ ซึ่งต่อมาเมื่อสงครามสิ้นสุดลง การค้นคว้าก็บรรลุผลสำเร็จและมีผู้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การดูดไอของสารละลาย (solvent) ดูด ไอเบนซีน (benzene) จากก๊าซอื่นๆ โดยถ่านที่ผลิตจากไม้ขี้เลื่อย ฟิท ลิกไนท์ และถ่านที่เหลือจากการทำเยื่อกระดาษจากใยเซลลูโลส จะได้ถ่านซึ่งมีลักษณะพองและเบา เหมาะสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์ใช้ฟอกของเหลว ส่วนกะลามะพร้าวจะได้ถ่านที่ใช้ในการดูดก๊าซได้ดี

2.3.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์ซึ่งแบ่งตามเกณฑ์ต่างๆ คือ (เกศรา นุตาลัย, 2531)

1) แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- เเคมี (chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่
- ฟิสิกส์ (physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

2) แบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวคาร์บอน

- ขนาดเล็ก (micropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย
- ขนาดกลาง (transitional pores or mesopores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 15 - 100 นาโนเมตร มักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reaction)
- ขนาดใหญ่ (macropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร มักใช้ในการฟอกสีและการผลิตยา

3) แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้

- ความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำให้น้ำบริสุทธิ์ ฯลฯ
- ความหนาแน่นสูง ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดซับก๊าซพิษหรือไอระเหย

4) แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

- ก๊าซ (gas adsorbents) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับก๊าซพิษและไอสารอินทรีย์ มักใช้ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์และมีความแข็ง (hard artificial char) เป็นวัตถุดิบในการผลิต
- สี (colour adsorbents) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการฟอกสี มักใช้ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์และไม่แข็ง (Soft artificial char)
- โลหะ (metal adsorbent) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการแยกโลหะต่างๆ เช่น แยกทอง, เงิน ออกจากแร่ที่ขุดได้

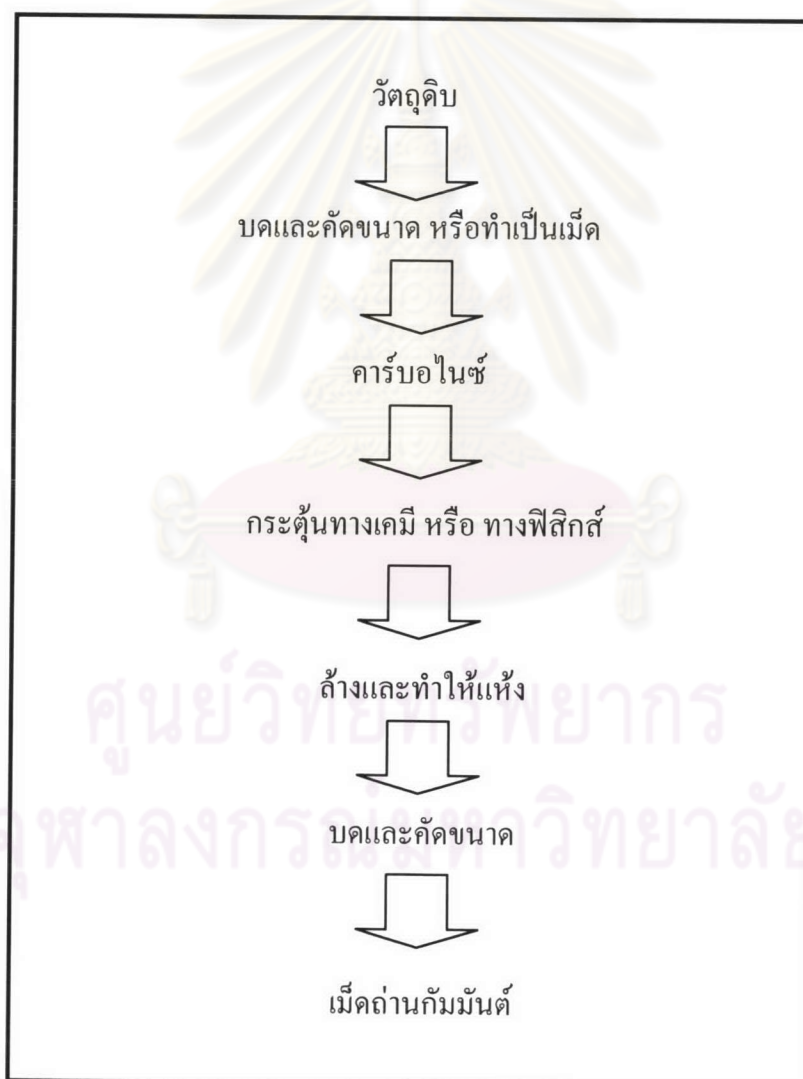
5) แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon) ทำได้โดยการเอาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มาบด รูปร่างจะแตกต่างกันไปขึ้นกับวิธีการบด ซึ่งจะมีผลทำให้คุณสมบัติการดูดซับแตกต่างกันไป ถ่านกัมมันต์ชนิดผงนี้นิยมใช้สำหรับการดูดสีในสถานะที่เป็นของเหลว โดยทั่วไปมีขนาด 5 – 100 ไมโครเมตร
- ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon) ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ด หรือแบบผงทำให้เป็นเม็ดโดยการเติมตัวประสาน (binding agent) ตัวอย่างเช่น ทาร์ (tar) แล้วนำมาอัดเป็นเม็ด วัตถุดิบที่นิยมทำถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ได้แก่ วัตถุดิบที่ค่อนข้างแข็งและมี

ความหนาแน่นสูง เช่น กะลามะพร้าว ถ่านหิน ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ในการดูดกลิ่น กำจัดพิษ และไอของสารละลายอินทรีย์

2.3.3 การผลิตถ่านกัมมันต์ (processing of activated carbon)

ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ลักษณะและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้ คือ ขั้นตอนวัตถุดิบ คาร์บอนไนซ์ และแอคติเวชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

2.3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์ สามารถผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ไม้เลื้อย กะลามะพร้าว แกลบ เปลือกถั่ว เมล็ดผลไม้ ยาง พลาสติก ถ่านหิน และพีท ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ขึ้นอยู่กับการผลิต แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอนไนซ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาร์บอนไนซ์ แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความแข็งและเหนียว ทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก ก็อาจนำวัตถุดิบนั้นไปคาร์บอนไนซ์ก่อน แล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้ (บุญชัย ตระกูลมหชัย, 2536)

สำหรับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผง อาจนำมาทำให้เป็นเม็ดโดยใช้ตัวประสาน เช่น แป้ง น้ำมันเตา หรือทาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชันแล้วนำไปอัดเป็นเม็ดก่อนที่คาร์บอนไนซ์เป็นขั้นตอนต่อไป

2.3.3.2 การคาร์บอนไนซ์เซชัน (carbonization)

การคาร์บอนไนซ์เซชัน (carbonization) เป็นกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) รูปแบบหนึ่งที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของชาร์ (char) ที่เป็นของแข็งมากกว่าน้ำมันทาร์ (tar) และก๊าซ อาจกล่าวได้ว่าการคาร์บอนไนซ์เป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้น ทำได้ง่ายๆ โดยการเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 200 – 500 องศาเซลเซียส

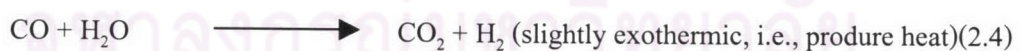
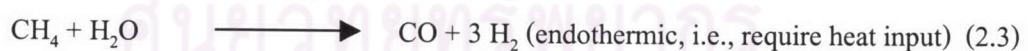
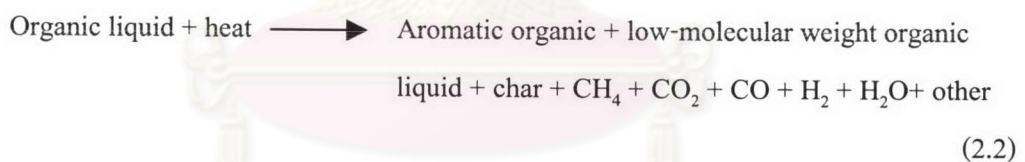
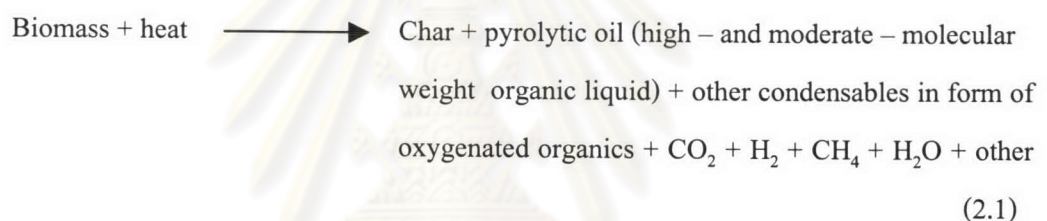
ปฏิกิริยาไพโรไลซิสต้องการความร้อนทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ได้จากการออกซิเดชันเพียงบางส่วน หรือจากปฏิกิริยาอื่นๆ ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการสลายตัวทางความร้อนในสถานะที่มีออกซิเจนน้อย หรือในที่มีการถ่ายเทความร้อนให้เกิดการไพโรไลซิสโดยตรงจากการเผาไหม้บางส่วนของชาร์และก๊าซ เรียกได้ว่าเป็น “กระบวนการไพโรไลซิส” (Kohoan and Barkodor, 1979)

Kohoan และ Barkodor, 1979 ได้ให้คำนิยามกว้างๆ ของกระบวนการไพโรไลซิส กล่าวคือเป็นเทคโนโลยีที่วัตถุดิบประกอบด้วยคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เกิดการสลายตัวทางความร้อน โดยมีอาณาเขตอย่างน้อยหนึ่งอาณาเขตที่เกิดการสลายตัวทางความร้อนในที่ที่ไม่มี

ออกซิเจนและ ได้อธิบายถึงความแตกต่างของวิธีการไพโรไลซิส ก๊าซซีพีเคชั่นและการเผาไหม้ว่า พื้นฐานของกระบวนการเหล่านั้น คือ ปริมาณอากาศที่ใช้มีส่วนสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อเพลิง

ไพโรไลซิสโซน เป็นส่วนที่มีอากาศน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของอากาศที่ใช้ทาง ทฤษฎีการเผาไหม้ อากาศระหว่าง 25 – 50 เปอร์เซ็นต์เป็นส่วนก๊าซซีพีเคชั่น และส่วนของการเผาไหม้มีอากาศตั้งแต่ 100 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

เมื่อชีวมวลเกิดการสลายตัวทางความร้อน จะเกิดอนุกรมของปฏิกิริยาต่างๆ ได้ ก๊าซที่มีพลังงานปานกลาง น้ำมันที่มีองค์ประกอบซับซ้อน และชาร์ซึ่งปฏิกิริยาของกระบวนการไพโรไลซิส พวกชีวมวลสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1 ถึง 2.4



การไพโรไลซิสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การไพโรไลซิสแบบช้า และแบบรวดเร็ว การไพโรไลซิสแบบช้าจะเกิดสมดุลในบริเวณช่วงแคบ (local equilibrium) โดยอัตราการให้ความร้อนจะช้าพอที่จะทำให้ถึงความสมดุลตามอุณหภูมิ ในกรณีนี้ปริมาณและการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับแนวของอุณหภูมิเดิม (temperature history) ส่วนการไพโรไลซิสแบบรวดเร็วจะไม่คำนึงถึงปฏิกิริยาที่เกิดในช่วงการให้ความร้อนแต่การไพโรไลซิสจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ของช่วงอุณหภูมิสุดท้าย

คาร์บอนไนซ์เซชันเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์เพราะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของโครงสร้างที่เป็นรูพรุน โดยทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน (เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน) ออกมาในรูปของก๊าซ คาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของถ่านชาร์ ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์เซชัน ควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- มีสีดำตลอด (uniformly black)
- เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา (shiny surface)
- ปลายที่หักจะแหลมคม (sharp)
- ปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า

ถ่านชาร์ที่ได้จากขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์เซชันนี้มีความสามารถในการดูดซับต่ำมาก เพราะว่าการทำให้เกิดถ่านชาร์จะใช้อุณหภูมิประมาณ 400 – 500 °C ซึ่งยังคงมีน้ำมันทาร์ตกค้างอยู่ในช่องว่าง (pore) หรือเกาะอยู่ตามผิว จึงจำเป็นต้องนำถ่านนี้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ ดังนั้นการกระตุ้นเป็นเพียงกระบวนการพัฒนาโครงสร้างไปในทิศทางเดียวกับการคาร์บอนไนซ์เซชันเท่านั้น

วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยเฉพาะวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้น ต้องการคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

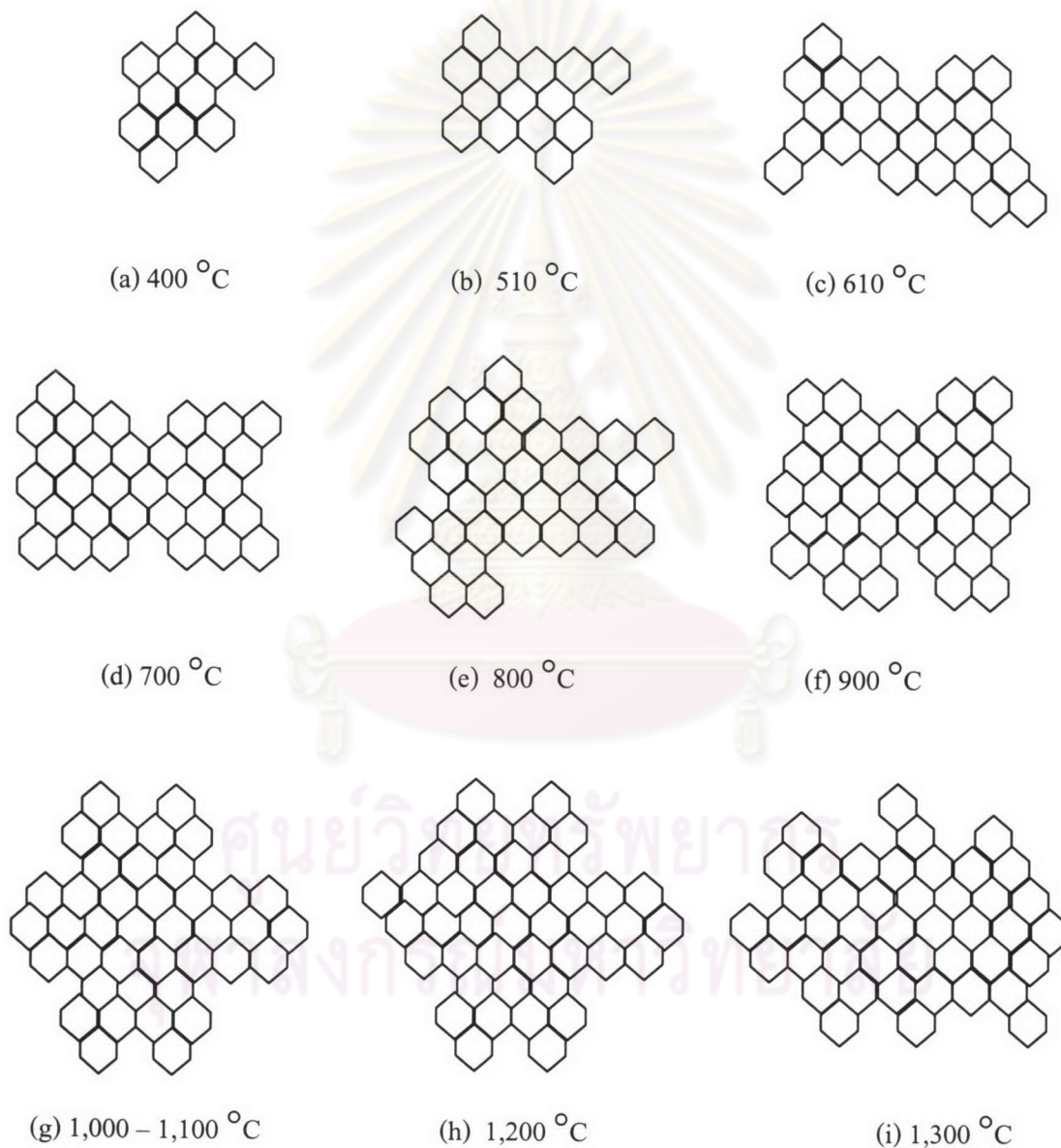
- สารระเหยต่ำ
- ค่าคาร์บอนคงตัวสูง
- มีความพรุนสูง
- มีความแข็งแรงต่อการขัดสี

ซึ่งในธรรมชาติไม่พบคุณสมบัติที่ต้องการทั้งหมด ดังนั้นต้องทำการคาร์บอนไนซ์ให้เกิดการสลายตัวด้วยความร้อนเป็นการไล่ทาร์แล้วเป็น ค็อก การคาร์บอนไนซ์ให้ได้ถ่านที่มีคุณสมบัติทำได้โดยปรับสภาวะในการไพโรไลซิสให้เหมาะสม โดยมีตัวแปรคือ

1) อุณหภูมิของการคาร์บอนไนซ์

กระบวนการคาร์บอนไนซ์ เป็นการกลั่นสลายของสารอินทรีย์เพื่อเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและก๊าซออกมา

ด้วย โดยจะเกิดการหักออกตรงบริเวณที่มีพันธะอ่อนหรือหมู่ที่หลุดออกง่าย ทำให้กลุ่มโมเลกุลวงแหวนแตกออกจากกันเป็นกลุ่มๆ จำนวนมาก โครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือกลายเป็นโครงสร้างของถ่านชาร์ โดยการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา ดังรูปที่ 2.3 ส่วน โครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่า จะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์ และก๊าซต่างๆ



ที่มา : Hassle, 1974

รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา

สิ่งที่สำคัญที่สุดของกระบวนการนี้คือ อุณหภูมิสุดท้ายของการคาร์บอนไนซ์ เพราะมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะเคมีในวัตถุดิบออกมาเป็นสารระเหย ที่อุณหภูมิสูง ถ่านชาร์จะมีการจัดระเบียบของโครงสร้างมากกว่า เช่น ถ่านหินเกรดสูงจะหดตัวมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ เป็นผลทำให้ปริมาตรทั้งหมดของรูพรุนเล็กๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นแรกของการคาร์บอนไนซ์ลดลง และเมื่อถ่านหินมีความแข็งมากขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่า ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งการลดลงของความว่องไวในการทำปฏิกิริยาจะมากขึ้นเมื่อค่าคาร์บอนคงตัวลดลง

2) อัตราการให้ความร้อน

ผลกระทบของอัตราการให้ความร้อน เป็นตัวแปรที่สำคัญต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารระเหยที่ได้จากการไพโรไลซิส แต่เดิมสภาวะการในการให้ความร้อนถูกแบ่งด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อวินาที อันเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยออกอย่างรวดเร็ว

ถ้าอัตราการให้ความร้อนสูง ปริมาณสารระเหยจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ผลก็คือจะได้ถ่านที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เนื่องจากถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อย ทำให้เกิดช่องว่างมากเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำปฏิกิริยาแอคติเวชันตัวกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

3) ตัวกลางของปฏิกิริยา (medium of reaction)

ตัวกลางของปฏิกิริยาจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยา ถ้าก๊าซและไอที่เกิดขึ้นระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยก๊าซที่เป็นตัวกลาง เช่น ก๊าซไนโตรเจน (เมื่อต่อปฏิกิริยาเผาไหม้ของคาร์บอน) และก๊าซจากการเผาไหม้ ถ้าตัวกลางเป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณที่เป็นถ่านจะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า พบว่าการคาร์บอนไนซ์โดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดจะใช้พลังงานต่ำเพราะความร้อนจากการเผาไหม้ของสารระเหยจะให้ความร้อนกับเตาฟลูอิดไคซ์เบด จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชันก็เพื่อผลิตให้ได้ถ่านที่มีรูพรุน และการจัดเรียง

ของการบออะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัสดุดิบ ซึ่งปัจจัยทั้งสองมีผลต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้น

การคาร์บอนไนซจะมีเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ 2 ช่วง คือ ช่วงอ่อนตัว (softening period) และช่วงหลังการอ่อนตัว (after softening period) ในช่วงการอ่อนตัว ควรให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำ เพื่อให้ก๊าซหลุดออกจากโพรงภายในได้ โดยไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนรูปเป็นของแข็งอุดแน่นภายในโพรง นอกจากนี้ยังพบว่าถ่านที่ได้จะแน่นและแข็งด้วย (Bansal and et al, 1988)

2.3.3.3 การกระตุ้น (activation)

การกระตุ้น (activation) คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น โดยสามารถพิจารณาความหมายของการกระตุ้นได้หลายความหมาย ดังนี้

- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (active surface area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน
- เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้น โดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น
- เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (active centers)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งเนื่องจากว่าวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี และประสิทธิภาพในการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัสดุดิบ รวมถึงวิธีการอื่นๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ

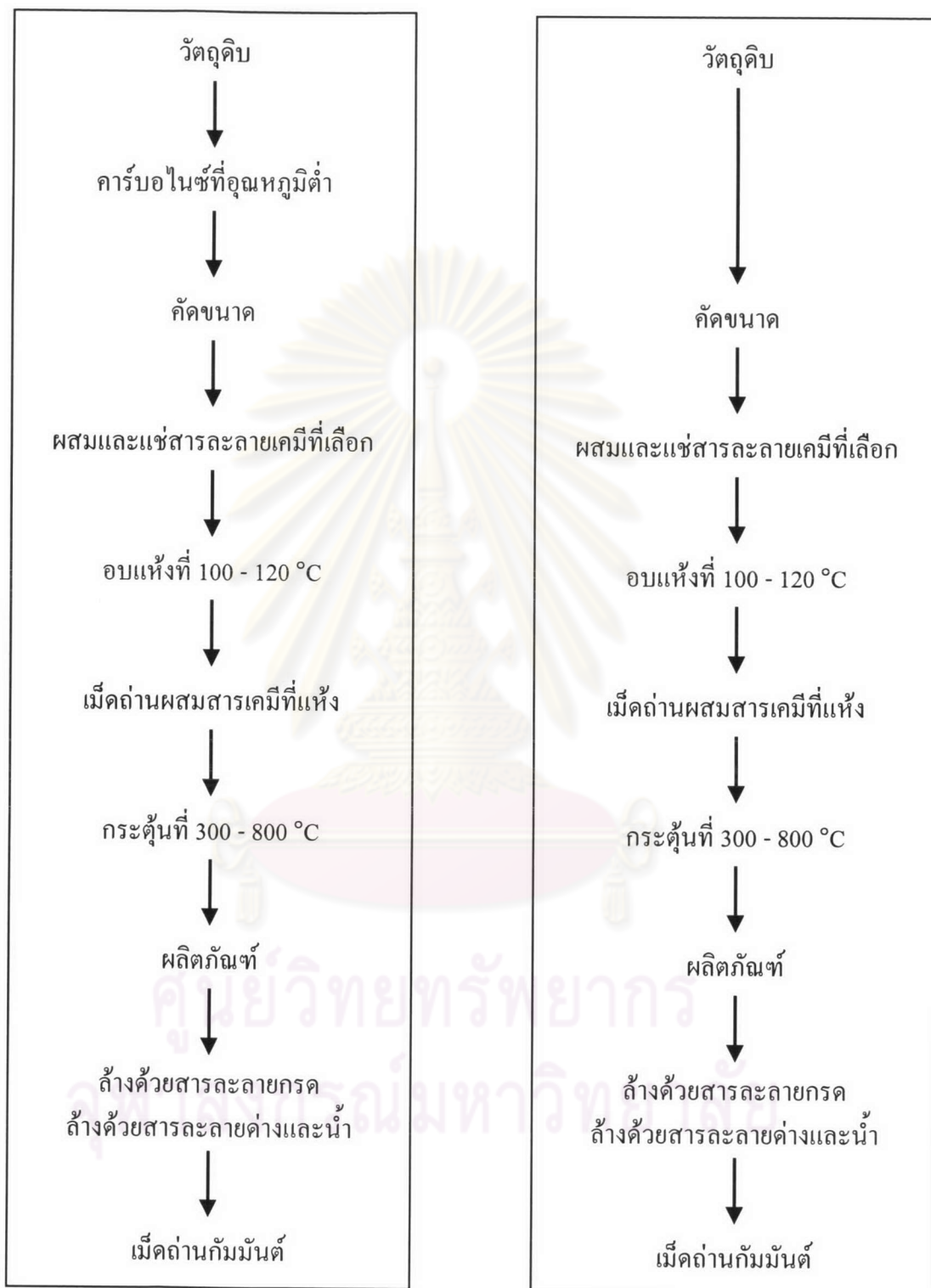
- 1) วิธีกระตุ้นทางเคมี (chemical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) นอกจากนี้ยังมีแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น ส่วนขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมี แสดงดังรูปที่ 2.4 ข้อดีของวิธีนี้คือใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก (400 – 600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสีย คือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออกเพิ่มขึ้น รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ก็ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการกระตุ้นด้วยวิธีการเคมี

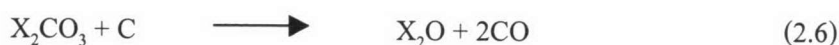
สารเคมี	สูตรเคมี
Cyanided	CN^-
Zinc chloride	$ZnCl_2$
Ferric chloride	$FeCl_3$
Phosphoric acid	H_3PO_4
Potassium sulfide	K_2S
Potassium thiocyanate	$KSCN$
Calcium chloride	$CaCl_2$
Calcium hydroxide	$Ca(OH)_2$
Nitric acid	HNO_3
Sodium hydroxide	$NaOH$
Sodium sulfate	Na_2SO_4
Sulfuric acid	H_2SO_4

ในกรณีของการกระตุ้นโดยสารละลายที่มีไอออนของ $NaCl$ เมื่อนำเอาวัตถุดิบที่ต้องการทำเป็นถ่านกัมมันต์ มาผสมสารละลายที่มีไอออนของโซเดียม ไอออนเหล่านี้จะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของผลึกแกรไฟต์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส โมเลกุลของน้ำ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะหลุดออก ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการ



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

ปฏิกิริยาที่เกิดในการกระตุ้นด้วยสารประกอบของโซเดียม มีดังนี้



โดยที่ X คือ Na^+

2) วิธีกระตุ้นทางฟิสิกส์ (physical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ฯลฯ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้ก๊าซออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น ไอน้ำอิมตัวยิ่งยวด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซออกซิเจน เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อน ปฏิกิริยาการกระตุ้นอาจเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากถึง 1,200 องศาเซลเซียส แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดซ์

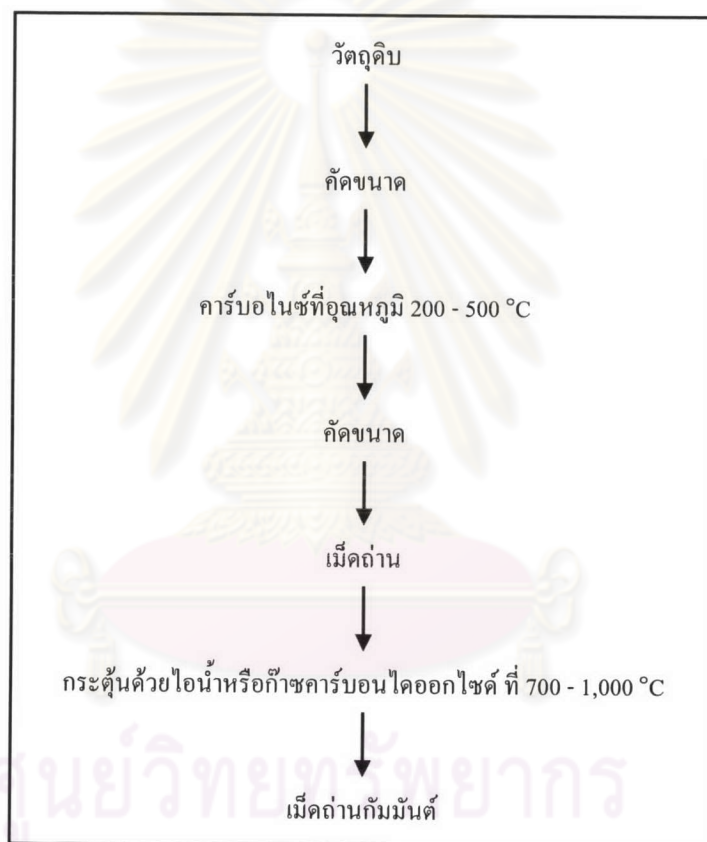
ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ คือ (Hassler, 1967)

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
- คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของก๊าซที่ใช้
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา

ข้อดีของการกระตุ้นแบบนี้ คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง ข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าแบบกระตุ้นด้วยสารเคมี (700 – 1,200 องศาเซลเซียส) ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมตัวยิ่งยวด แสดงดังรูปที่ 2.5

กระบวนการกระตุ้นคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกจากผิวของคาร์บอน เกิดก๊าซซิฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กๆ จำนวนมากเกิดจากช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกรรจู้ไว้ด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนและถูกขวางด้วยอะมอฟิสคาร์บอน การกระตุ้นจึงเป็นการเปิดรูที่ถูกปิดและสร้างรูใหม่ขึ้นมาด้วย

การกระตุ้นในหลายตัวอย่างของซาร์ พบว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำให้ผลดีกว่าการกระตุ้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่ากระตุ้นด้วยอากาศ การกระตุ้นด้วยไอน้ำจะต้องใช้อุณหภูมิสูงพอที่จะให้เกิดการออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว แต่ไม่ควรเกิน 1,000 องศาเซลเซียสเพราะจะลดคุณสมบัติการดูดซับ การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้อุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส ส่วนการกระตุ้นด้วยอากาศ ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซออกซิไดซ์

การกระตุ้นในหลายตัวอย่างของซาร์ พบว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำให้ผลดีกว่าการกระตุ้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่ากระตุ้นด้วยอากาศ การกระตุ้นด้วยไอน้ำจะต้องใช้อุณหภูมิสูงพอที่จะให้เกิดการออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว แต่ไม่ควรเกิน 1,000 องศาเซลเซียสเพราะจะลดคุณสมบัติการดูดซับ การกระตุ้นด้วยก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ ใช้อุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส ส่วนการกระตุ้นด้วยอากาศ ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ตัวทำปฏิกิริยาจะถูกส่งเข้ามาอบผิวของอนุภาคและแพร่เข้าไปในรู ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงขึ้นกับความเข้มข้นของตัวออกซิไดซ์ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิก็เป็นปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิต่ำอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างคาร์บอนกับตัวออกซิไดซ์จะต่ำ เป็นผลให้ได้รูพรุนที่ต้องการช้า ที่อุณหภูมิสูงเกินกว่าอัตราการแพร่ของตัวออกซิไดซ์เข้าไปในอนุภาค ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดที่ผิวนอกของอนุภาคทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนโดยไม่ทำให้เกิดรูพรุน

อัตราเร็วของกระบวนการออกซิเดชัน ถูกกำหนดโดยความว่องไวในการทำปฏิกิริยาของถ่านกับตัวออกซิไดซ์ ถ้าความว่องไวสูงก็จะทำให้อุณหภูมิต่ำ พบว่าถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ ถ่านหินบิทูมินัส ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์แอนทราไซต์ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการออกซิไดซ์ของคาร์บอนไดออกไซด์ ไอ้ น้ำ และออกซิเจน พบว่าออกซิเจนจะมีความสามารถสูงที่สุด โดยที่คาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถต่ำที่สุด

2.3.4 โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.3.4.1 ลักษณะและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์นั้นมีโครงสร้างเช่นเดียวกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ผลึกแกรไฟต์ประกอบไปด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของเบนซีนริง (benzene ring) หรือกลุ่มของอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม นั่นคือแต่ละอะตอมจะเกิดพันธะเดียวกับอีก 3 อะตอมในแผ่นราบ (plane) ในลักษณะสมมาตรกัน อิเล็กตรอนที่ใช้ในการเกิดพันธะนี้เป็นซิกมาอิเล็กตรอน ความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 1.442 อังสตรอม อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นไพอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปทั่วโครงสร้างเกิดเป็นเรโซแนนซ์ (resonance) เพื่อทำให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงแวนเดอร์วาล (Van der Waals) แต่ละแผ่นราบห่างกัน 3.354 อังสตรอม ดิสเพลสเมนต์ (displacement) ในทิศทาง

ขนานกับแผ่น (layer) จะเกิดง่ายเพราะแรงยึดเหนี่ยวแวนเดอร์วาลส์อ่อน ดังนั้นจะเกิดข้อบกพร่อง (defect) ในโครงสร้าง ณ จุดนี้ได้ง่าย

เมื่อศึกษาด้วยวิธีเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกชันพบว่า ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นผลึกเล็กๆ ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดการเบี่ยงเบนในแนวฉากและซ้อนเหลื่อมกันในแนวระนาบ เรียกว่า “เทอร์โบสแตติกสตรักเจอร์ (turbostatic structure)” การจัดเรียงตัวของผลึกเล็กๆ จะมีทิศทางไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการคาร์บอนไนซ์ ผลึกเล็กๆ นี้มักมีความสูง 9 – 12 อังสตรอม กว้าง (เส้นผ่าศูนย์กลางหน้าตัด) ประมาณ 20 – 30 อังสตรอม ประกอบด้วย 3 แผ่นระนาบของชั้นแกรไฟต์ และมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 9 เท่า ของความกว้างของอะตอมคาร์บอนรูป 6 เหลี่ยม

2.3.4.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์มีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนระหว่างช่องระหว่างผลึกของคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้มีความพรุนไม่ใช่ขนาดของรูใหญ่

เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน บางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางครั้งเป็นรูปตัววี Dubinin (1966) ได้ทำการทดลองเตรียมถ่านกัมมันต์จากพีทและซีเลียมด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่า ลักษณะของรูที่เกิดขึ้นเป็นรูคอแคบคล้ายคอขวด หรือที่เรียกว่า “อิงค์บอทเทิล (ink-bottle)” ในขณะที่กระตุ้นซีเลียมด้วยไอน้ำแล้วได้ลักษณะรูที่เกิดขึ้นอยู่วิธีการเตรียมและวัตถุดิบที่ใช้

Dubinin (1966) ได้จำแนกชนิดของรูพรุนตามขนาดรัศมีของรูพรุนออกเป็น

1) แมคโครพอร์ (macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 1,000 – 2,000 อังสตรอม ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น ดังนั้นแมคโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูที่เล็กกว่า

2) มีโซพอร์ (mesopores) หรือทรานซิชันนัลพอร์ (transitional pores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 15 – 2,000 อังสตรอม ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1 – 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20 – 100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นมีโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล (silica gels) อะลูมินาเจล (alumina gels) อะมิโนซิลิเกตอะตอะลิส (aminosilicate catalyst)

3) ไมโครพอร์ (micropores) ขนาดรัศมีน้อยกว่า 15 – 16 อังสตรอม ปริมาตร 0.2 – 0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจากพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับ (adsorption energy) มากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นมากที่ความดันต่ำๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งเชื่อว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาดหรือที่เรียกกันว่า “การกระจายขนาดของรูพรุน (pore size distribution)” จะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และวิธีการกระตุ้น ตัวอย่างของตัวดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์ คือ ซีโอไลต์ (zeolite)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนกระจาย โครงสร้างที่มีทั้งแมโครพอร์ มีโซพอร์ และไมโครพอร์ เรียกว่า “โครงสร้างผสม (mixed structure type)” ซึ่งแมโครพอร์เป็นเพียงทางเปิดสู่ผิวภายนอกอนุภาค มีโซพอร์เป็นกิ่งออกมาจากไมโครพอร์อีกทีหนึ่ง

โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200 – 300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความจุในการดูดซับ จะมีประมาณร้อยละ 90 – 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วย กล่าวคือ ถ้าบริเวณผิวของถ่านเป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (basalplanes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันนัลอื่นๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ หรืออาจเกิดจากไพอิเล็กตรอน แรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับได้แต่ก็มีโอกาสที่จะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันนัล การดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรง โอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า หมู่ฟังก์ชันนัลบริเวณผิวถ่านกัมมันต์ มี 2 ชนิด คือ พวกรอกโซไซด์ของกรด ซึ่งพบมากในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400 – 500 องศาเซลเซียส และพวกรอกโซไซด์ของด่าง ซึ่งพบมากในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิประมาณ 800 – 1,000 องศาเซลเซียส

2.3.4.3 โครงสร้างทางเคมีของผิวหนังกำมันต์

ผิวหนังกำมันต์มักเตรียมจากถ่านที่ได้จากการเผาผลาญสารอินทรีย์ด้วยความร้อน (pyrolysis) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียสซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า “ การคาร์บอนไนซ์เซชัน” ในระหว่างการเผาผลาญอะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน, ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกไปในรูปก๊าซ อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงแหวนหกเหลี่ยม (aromatic ring) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรง ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นที่ได้จากการเผาผลาญช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่า “ การกระตุ้น” โดยการล้างพวกทาร์และสารต่างๆ ที่ได้จากการเผาผลาญ ออกจากช่องว่างหรือโพรงและสร้างหมู่ฟังก์ชันนัลขึ้นมาแทน ความสามารถในการดูดซับของถ่านกำมันต์จึงเป็นผลสืบเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีด้วย

ความสามารถในการดูดซับผิวของถ่านกำมันต์เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร คือ วาเลนซ์ไม่อิ่มตัว (unsaturated valencies) จึงพยายามที่จะเกาะกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่น เช่น ออกซิเจนในอากาศหรืออะตอมต่างๆ ที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้การเกาะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นกลายเป็นพันธะทางเคมีที่แข็งแรง มักจะเกิดกับอะตอมคาร์บอนที่อยู่ทีขอบของวงแหวนหกเหลี่ยม ถ่านกำมันต์สามารถดูดซับแบบเคมี (chemisorption) กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400 – 500 องศาเซลเซียส และกลายเป็นออกไซด์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่ายังสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งจะไม่หลุดออกมาแม้จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส และสามารถดึงอะตอมไนโตรเจนออกจากโมเลกุลแอมโมเนียและซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจน (halogen) ออกจากโมเลกุลฮาโลเจน ทั้งที่อยู่ในสภาพก๊าซหรือของเหลวก็ได้ จึงเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันนัลต่างๆ บนผิวของถ่านกำมันต์ แต่ที่สำคัญคือผิวที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนและออกซิเจน หรือที่เรียกว่า “ผิวออกไซด์”

2.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

- 1) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ ได้แก่ พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น

- 2) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวถูกดูดติด ได้แก่ ขนาดของโมเลกุล ประจุไฟฟ้าของโมเลกุล และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 3) ความเข้มข้นของตัวถูกดูดติดในสารละลาย
- 4) ลักษณะของสารละลาย เช่น พีเอช อุณหภูมิ เป็นต้น
- 5) ระยะเวลาในการดูดติด

2.3.6 การประเมินและการเลือกใช้ถ่าน

ในการนำแอกติเวทเต็ดคาร์บอนไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จำเป็นที่จะต้องมีการเลือกถ่านที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่าน ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง ตลอดจนความสะดวกในการควบคุมระบบบำบัด ฯลฯ

ลักษณะสมบัติของถ่านที่เป็นตัวกำหนดการใช้งาน ได้แก่

- 1) พื้นที่ผิว (surface area) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดติดผิว โดยถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดติดมาก
- 2) ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการปรับคืนสภาพของถ่าน
- 3) ความหนาแน่นหลวม (bulk density) เป็นตัวกำหนดปริมาณของถ่านในแต่ละการใช้งาน
- 4) ขนาดใช้งาน (effective size), เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (mean particle diameter) และสัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (uniformity coefficient) เป็นตัวกำหนดภาวะทางชลศาสตร์ (hydraulic conditions) ของถังดูดติด (adsorption column)
- 5) ปริมาตรรูพรุน (pore volume) เป็นตัวกำหนดการดูดติดโมเลกุลของน้ำเสีย
- 6) การวิเคราะห์ขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน (sieve analysis) เป็นตัวตรวจสอบ Plant – Handling Effect ของถ่าน
- 7) แอบริชัน นัมเบอร์ (abrasion number) ใช้ในการประเมินความคงทนต่อการขัดสี
- 8) ปริมาณร้อยละของเถ้า (% ash) แสดงถึงกากของถ่าน

- 9) ความชื้น (moisture) แสดงปริมาณน้ำในถ่านจากการผลิต
- 10) ไอโอดีนนัมเบอร์ (iodine number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดติดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
- 11) โมลาสนัมเบอร์ (molass number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดติดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
- 12) ขนาดของรูพรุน (pore size) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดติดโมเลกุลจำเพาะบางชนิด

2.3.7 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละโรงงานจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

- 1) ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับก๊าซหรือไอ
 - ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
 - ใช้แยกก๊าซโซลีนออกจากก๊าซธรรมชาติ
 - ใช้แยกเบนซอล (benzol) ออกจากก๊าซอุตสาหกรรม
 - ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่ำๆ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การหมัก อุตสาหกรรมพลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น
 - กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น
 - กำจัดสารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ (organic sulfur) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสิ่งเจือปนอื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม
 - กำจัดกลิ่นจากอากาศ ในเครื่องปรับอากาศ ทำให้กลิ่นเหม็นลดน้อยลง
 - ใช้ดูดซับกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิริยานิวเคลียร์สำหรับหน่วยปฏิริยาให้การสลายตัวเกิดขึ้นสมบูรณ์ขณะที่ยังถูกจับไว้ในเบดของถ่านกัมมันต์ (activated carbon bed)

2) ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอร้ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย
- แยกสิ่งเจือปนจากผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เจลาติน น้ำส้ม เพ็คติน ซ็อคโกแลต น้ำผลไม้ เพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร
- ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเค็มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ เช่น เอสเทอร์ ทำให้เครื่องเค็มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น
- ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและยา เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในยาและเคมีภัณฑ์อื่นๆ เช่น สเตรปโตมัยซิน (streptomycin) คาเฟอีน (cafein) โซเดียมอะซิเตท (sodium acetate) รวมทั้งกรดต่างๆ
- ใช้ทำน้ำเค็มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดรส สี และกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสีย
- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นตัวพาสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst carrier) เช่น ตัวพาสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) เป็นตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst support) สำหรับซิงค์อะซิเตทในโรงงานผลิตไวนิลอะซิเตท
- ใช้ในทางการแพทย์ เช่น ให้ยาถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ ยาจะค่อยๆ ออกฤทธิ์โดยมีความเข้มข้นสม่ำเสมอ ตัวอย่างคือ ไฮดรอกซีลอะมิโนฟีนิลาโซนิคแอซิด (hydroxyl aminophenylarsonic acid) สำหรับรักษาโรคที่เกิดจากการติดเชื้ออะมิบา และพาราไซต์ และยังใช้ดูดสารพิษจากผู้ที่ได้รับยาเกินขนาด หรือกินยาพิษ นอกจากนี้ยังใช้รักษาอาการมีแก๊สมากในกระเพาะอีกด้วย

2.4 ไอโซเทอมการดูดติดผิว (adsorption isotherm)

ไอโซเทอมการดูดติดผิว เป็นการแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดต่อหน่วยของสารดูดซับ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมการดูดติดผิวมีหลายรูปแบบ ดังต่อไปนี้

2.4.1 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ คือ

- โมเลกุลถูกดูดติดอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของสารดูดซับ
- มีโมเลกุลเดียวในบริเวณถูกดูดติด
- พื้นที่ของบริเวณดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
- พลังงานการดูดติดผิวมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

การดูดซับจากสารละลายโดยสารดูดซับ แสดงได้ดังสมการ

$$X = (X_m b C_e) / (1 + b C_e) \quad (2.8)$$

โดย X = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

X_m = ปริมาณตัวถูกละลายมากที่สุดที่ถูกดูดติดเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว (Monolayer) (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุลย์ (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/ลิตร)

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ

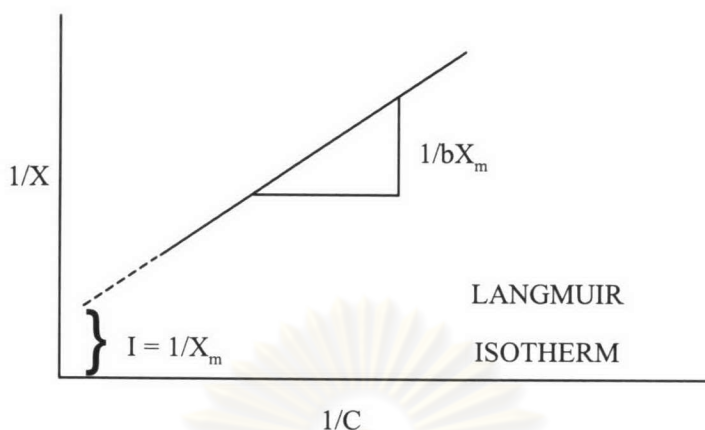
เมื่อ X เข้าสู่อัน X_m และ C_e เข้าสู่อัน ∞ จะเขียนสมการได้เป็น

$$C_e / X = (1 / b X_m) + (C_e / X_m) \quad (2.9)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C_e/X กับ C_e ซึ่งเป็นเส้นตรง จะมีความชัน $1/X_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/bX_m$ และเมื่อหารด้วย C_e จะได้สมการเส้นตรง คือ

$$1 / X = (1 / X_m) + (1 / C_e) (1 / b X_m) \quad (2.10)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C_e$ ซึ่งเป็นเส้นตรง จะมีความชัน $1/bX_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m$ จากสมการ 2.9 และ 10 แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์

2.4.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบบีอีที (BET : Brunauer – Emmett – Teller adsorption isotherm)

ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบบีอีทีพัฒนามาจากไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ โดยจากการดูดติดแบบชั้นเดียว (monolayer) เป็นการดูดติดแบบหลายชั้น (multilayers) ซึ่งแต่ละโมเลกุลในชั้นดูดซับชั้นแรก จะเป็นบริเวณที่ซึ่งมีโมเลกุลชั้นที่ 2 ดูดติด เช่นเดียวกันกับชั้นอื่นๆ ต่อไป โดยแสดงได้ดังสมการ

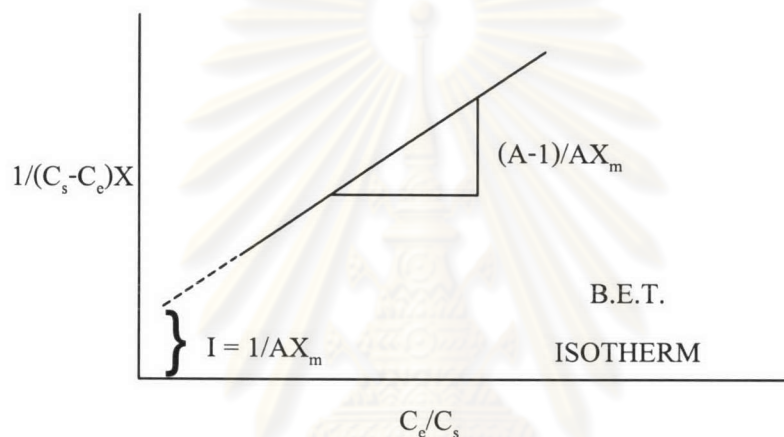
$$X = (X_m b C_e) / (C_s - C_e)(1 + (b - 1)C_e / C_s) \quad (2.11)$$

- โดย
- X = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)
 - X_m = ปริมาณตัวถูกละลายมากที่สุดที่ถูกดูดติดเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว (Monolayer) (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)
 - C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุลย์ (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/ลิตร)
 - C_s = ความเข้มข้นอิ่มตัวของตัวถูกละลาย (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/ลิตร)
 - b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดติดผิว

จากสมการที่ 2.11 สามารถเปลี่ยนได้เป็น

$$C_e / X(C_s - C_e) = (1 / X_m b) + ((b - 1) / X_m b)(C_e / C_s) \quad (2.12)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C_e/X(C_s - C_e)$ กับ C_e/C_s ซึ่งเป็นเส้นตรงที่มีความชัน $(b-1)/X_m b$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m b$ จากสมการ 2.11 และ 2.12 แสดงได้ดังรูป 2.7



รูปที่ 2.7 ไอโซเทอมการดูดซับแบบบีอีที

2.4.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm)

สมการการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชใช้กันแพร่หลายที่สุดในการอธิบายการดูดซับในระบบของเหลว ซึ่งมีสมการดังนี้ คือ

$$X / m = KC_e^{1/n} \quad (2.13)$$

โดย X = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/ลิตร)

K = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของคาร์บอน

$1/n =$ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

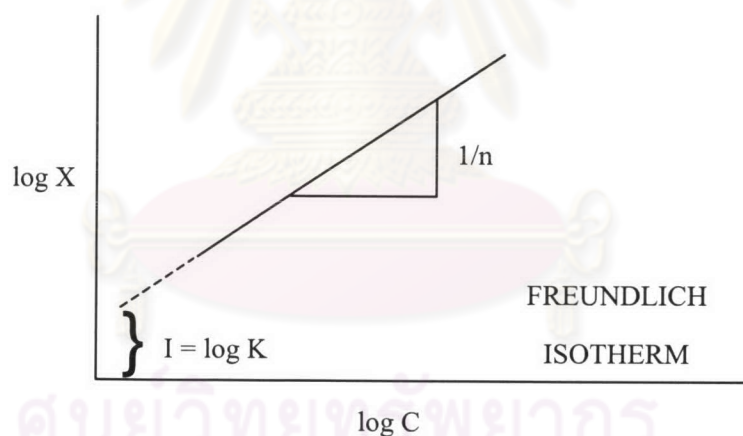
$m =$ น้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม)

จากสมการที่ 2.13 สามารถเขียนสมการในรูป logarithmic ได้ดังนี้ คือ

$$\log(X / m) = \log K + 1 / n \log C_e \quad (2.14)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log (X/m)$ กับ $\log C_e$ จะเป็นเส้นตรงที่มีความชัน $1/n$ และ $\log K$ จุดตัดแกน y ของ $\log (X/m)$ ที่ $\log C_e = 0$ ($C_e = 1$) จากสมการที่ 2.13 และ 2.14 แสดงได้ดังรูปที่ 2.8

จากสมการการดูดซับแบบฟรุนดลิช แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ โดยถ้าค่า $n < 1$ แสดงถึงการดูดซับที่ไม่ดี แต่ถ้าค่า $n > 1$ แสดงถึงการดูดซับที่ดี



รูปที่ 2.8 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช

2.5 แคดเมียม

แคดเมียมจัดเป็นธาตุในกลุ่ม II b เป็นโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว มีคุณสมบัติเบา อ่อนดัดงอได้ง่าย ทนต่อการกัดกร่อน มีเลขอะตอม 48 น้ำหนักอะตอม 112.40 ความถ่วงจำเพาะ 8.65 จุดหลอมละลาย 320.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 767 องศาเซลเซียส เลขออกซิเดชัน +2 ความยาวคลื่น 228.8 นาโนเมตร เป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก (HNO_3) และละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริก (HCL) อย่างช้าๆ สารประกอบของแคดเมียมมีหลายชนิด ได้แก่

แคดเมียมซัลเฟต (CdSO_4) แคดเมียมคลอไรด์ (CdCl_2) และ แคดเมียมไนเตรท ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและละลายได้ดีในน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้ในกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เช่น การอบแร่ การบัดกรี การหลอมเศษเหล็ก และการเผาของเสีย จะทำให้มีไอของแคดเมียมออกมาได้ในระหว่างกระบวนการ และไอของแคดเมียมในอากาศจะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็วไปเป็นแคดเมียมออกไซด์

การผลิตแคดเมียมเริ่มตั้งแต่ปลายศตวรรษที่ 19 ซึ่งปริมาณที่ผลิตได้เป็นผลพลอยได้จากการถลุงสังกะสี และบางส่วนจากอุตสาหกรรมถลุงทองแดง และตะกั่ว สำหรับประเทศไทยเริ่มทำการผลิตแคดเมียมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 โดยผลิตจากแคดเมียมซึ่งเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตของโรงงานถลุงสังกะสี บริษัท ผาแดง อินดัสทรี จำกัด จังหวัดตาก (ซึ่งมีแคดเมียมกระจายปนอยู่กับแร่สังกะสี 0.23-0.38 เปอร์เซ็นต์)

2.5.1 การนำแคดเมียมไปใช้ประโยชน์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

-ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสม (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและทนต่อการสึกกร่อน เช่น

- (1) alloy ของทองแดงที่มีแคดเมียม 1% (cadmium bronze) ใช้ในการผลิตเส้นลวดโทรเลขและโทรศัพท์
- (2) alloy ของทองแดงและตะกั่วซึ่งมีแคดเมียมผสมอยู่ 20% ใช้ในการผลิตแบบพิมพ์ (printing plates)
- (3) alloy ของทองแดง แคดเมียม และ เซอร์โคเนียม (zirconium) ใช้ในอุปกรณ์การสื่อสารต่างๆ ที่มี voltage สูงๆ ทั้งนี้เพราะโลหะผสมประเภทนี้จะมี ความแข็ง และมีแรงดึงได้สูงกว่าโลหะผสมของทองแดงกับแคดเมียม
- (4) ใช้ผสมกับโลหะผสมอื่นในกิจการเพชรพลอย เช่น ผสมกับโลหะอื่นชนิดเดียว (ผสมทอง) ผสมกับโลหะอื่น 2 ชนิด (ทอง 75% เงิน 16.6%) ผสมกับโลหะอื่น 3 ชนิด (ทองแดง เงิน และทอง)
- (5) ใช้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูงๆ ในการผสมกับโลหะอื่นให้มีคุณสมบัติกึ่งตัวนำ (semiconductor) เช่น cadmium arsenide, cadmium antimonide และ cadmium telluride

-ใช้ในการชุบโลหะ ใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก, ทองแดง, อะลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วิทยุ

-ใช้เป็นเม็ดสีในกิจการอุตสาหกรรม สารประกอบของแคดเมียมที่ใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สีอีนาเมล (enamels), เซรามิก, ยาง, แก้ว, ผ้า, เส้นใย, หนัง หมึกพิมพ์ และพลาสติก

-ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิเกิล เป็น cadmium-nickel battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟลชถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด เป็นต้น

-ใช้ในกิจการอื่นๆ เช่น

- (1) ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อรา (fungicides)
- (2) ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของนิวเคลียส
- (3) ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์
- (4) ใช้ในกิจการถ่ายรูป

จากกิจกรรมการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ จึงทำให้มีโอกาสของการแพร่กระจายแคดเมียมเข้าสู่สิ่งแวดล้อมและโอกาสในการผ่านเข้าสู่สิ่งมีชีวิต แล้วก่อให้เกิดผลเสียตั้งแต่ระดับบางเบาจนถึงระดับรุนแรงได้

2.5.2 กระบวนการเมตาบอลิซึมของแคดเมียมในร่างกายของมนุษย์ (สมิง เก้าเจริญ, วินัย วนานุกูล และจินตนา ศิริวรราชัย, 2541)

1) การดูดซึม (Absorption)

แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทางใหญ่ๆ คือ

(1) โดยการหายใจเอาอากาศที่มีไอของแคดเมียม หรือสารประกอบของแคดเมียมเข้าไปทั้งนี้โดยขึ้นกับขนาดและการละลายของแคดเมียม โดยร่างกายจะดูดซึมประมาณร้อยละ 10 – 30 ของระดับที่หายใจเข้าไป มักพบในคนงานที่ทำงานเกี่ยวกับการเชื่อม หลอมหรือเคลือบด้วยแคดเมียม เนื่องจากหายใจเอาไอระเหยของแคดเมียมเข้าไปในระหว่างทำงาน

(2) โดยการรับประทาน แคดเมียมจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานอาหารหรือน้ำดื่มที่มีแคดเมียมเจือปนอยู่ ซึ่งการดูดซึมจะมีประมาณ 5–8% นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมทางระบบทางเดินอาหาร เช่น การดูดซึมจะเพิ่มขึ้นในภาวะที่ร่างกายได้รับอาหารที่มีแคลเซียม เหล็กและโปรตีนในระดับที่ต่ำ โดยอาหารที่มีแคลเซียมต่ำๆ จะกระตุ้นการสร้าง metallothioneine (low-molecular weight protein) ทำให้มีการวัดแคดเมียมได้มากขึ้น

2) การแพร่กระจายในร่างกาย (Distribution)

หลังจากแคดเมียมถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้ว จะถูกขนส่งไปในกระแสเลือดโดยรวมกับเม็ดเลือดแดง และ albumin ที่ตับแคดเมียมจะจับกับ metallothioneine และสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อน และถูกขนส่งต่อไปยังไต เนื่องจากแคดเมียมมีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ในคนประมาณ 20-30 ปี การสะสมจะมากขึ้นตามอายุ ประมาณครึ่งหนึ่งของแคดเมียมในร่างกายจะถูกสะสมอยู่ที่ตับและไต

3) การขับถ่าย (Excretion)

แคดเมียมถูกขับออกจากร่างกายโดยผ่านไต แต่อัตราการขับออกจะน้อยกว่าอัตราการดูดซึม กล่าวคือประมาณร้อยละ 10 เท่านั้นที่ถูกขับออกจากร่างกาย จึงมีผลทำให้เกิดการสะสมในร่างกายโดยเฉพาะในตับและไต นอกจากนี้แคดเมียมจะถูกขับออกทางนม ผิวหนังและน้ำนม แต่ในระดับที่น้อยมาก นอกจากนี้การขับถ่ายของแคดเมียมยังขึ้นกับระยะเวลาในการได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายและขึ้นกับ total body burden ของแต่ละคนด้วย

2.5.3 ความเป็นพิษและผลต่อสุขภาพ (Toxicity and health effect)

2.5.3.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (Acute toxicity)

-ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร

เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการรับประทาน ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุจาก

การรับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อน อาการที่ปรากฏเริ่มแรก คือ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง และท้องเสียอย่างรุนแรง ในรายที่เป็นมากอาจจะเสียชีวิตจากภาวะช็อก (shock) เนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก หรือระบบการทำงานของไตล้มเหลว

-ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ

เกิดขึ้นเนื่องจากการสูดหายใจเอาฝุ่น (fume) ของแคดเมียม ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมเชื่อมโลหะด้วยความร้อนสูง แต่โดยทั่วไปในขณะที่หายใจจะไม่ปรากฏอาการทันที แต่จะเกิดอาการหลังจากได้รับแคดเมียมประมาณ 2-3 ชั่วโมง โดยจะเกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลมและปอด ซึ่งรวมถึงอาการอื่นๆ ด้วย เช่น ระคายเคืองที่จมูกและคอ ไอ ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก เป็นต้น

2.5.3.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง (Chronic toxicity)

-ความเป็นพิษต่อไต

ไตเป็นอวัยวะที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุดในการได้รับแคดเมียมเป็นเวลานานๆ โดยจะเริ่มพบอาการแสดงที่บ่งบอกถึงการทำงานที่ผิดปกติ คือ ไตขับปัสสาวะที่มีโปรตีนมากกว่าปกติ ซึ่งโปรตีนที่ขับออกมาส่วนใหญ่มักจะเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ เช่น retinol binding protein และ immunoglobulin chain เป็นต้น นอกจากนี้ถ้าการทำงานของไตเสื่อมมากขึ้นจะมีผลต่อการกรองและการดูดซึมกลับของสารตัวอื่น เช่น แคลเซียม กลูโคส กรดอะมิโน ในกรณีของเกลือแร่อาจจะส่งผลให้เกิดนิ่วที่ไตได้

-ความเป็นพิษต่อระบบหลอดเลือดและระบบหัวใจ

มีบางรายงานการศึกษาพบว่าในการทดลองกับหนู โดยให้หนูได้รับแคดเมียมในระดับที่ต่ำๆ พบว่าทำให้หนูเกิดภาวะความดันโลหิตสูงได้ ส่วนการศึกษาในคนไม่เป็นที่แน่ชัด แต่สันนิษฐานว่าเกิดจากแคดเมียมทำลายเนื้อเยื่อของไต และแคดเมียมซึ่งถูกดูดซึมได้ดีกว่าสังกะสี ทำให้สังกะสีในร่างกายถูกแทนที่ด้วยแคดเมียม และเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีปล่อย

สังกะสีอิสระเข้าสู่ระบบของร่างกาย ซึ่งมีผลสืบเนื่องทำให้ระบบหลอดเลือดและการทำงานของร่างกายผิดปกติ ทำให้เกิดโรคตามมา

-ความเป็นพิษต่อกระดูก



ที่มา: กำจัด รามกุล (2548)

รูปที่ 2.9 ผู้ป่วยโรคอิตี-อิตี

ความเป็นพิษที่กระดูกปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรคอิตี-อิตี (ดังรูปที่ 2.9) ในประเทศญี่ปุ่น จากการบริโภคข้าวที่มีแคดเมียมปนเปื้อนในระดับสูง ผู้ป่วยโรคนี้ส่วนใหญ่เป็นผู้หญิงสูงอายุประมาณ 50 ปีขึ้นไป โดยจะมีอาการปวดที่เอว ปวดกล้ามเนื้อขา และเจ็บที่กระดูก ทำให้กระดูกโค้งงอ เสียรูปทรงและหักได้ และยังทำให้เกิดกระดูกพรุนด้วย โดยมีการศึกษาพบว่าอาการที่เกิดขึ้นที่กระดูกไม่ได้มีผลโดยตรงจากพิษของแคดเมียม แต่อาจเนื่องมาจากความเป็นพิษเกิดขึ้นที่ไตก่อนแล้วส่งผลไปขัดขวางการเปลี่ยน vitamin D hydroxylation เป็น 1, 25-dihydroxy vitamin D ซึ่งเป็น active form ของ active vitamin D ทำให้ระดับของ vitamin D และ calcium ลดลงด้วยตามลำดับ จึงเกิดภาวะกระดูกผิดปกติตามมา

-ความเป็นพิษต่อปอด

ความรุนแรงขึ้นอยู่กับระยะเวลาและระดับที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย ในกรณีที่ได้รับเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดภาวะ chronic bronchitis, fibrosis of the lower airways, aveoli damage และทำให้เกิด emphysema

-ความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์

จากการศึกษาในสัตว์ทดลอง เช่น หนู พบว่าแคดเมียมมีผลทำให้อัณฑะฝ่อ (testicular atrophy) สำหรับการศึกษามีก่อนข้างน้อย แต่มีรายงานการสูบบุหรี่มีผลต่อจำนวนเชื้ออสุจิโดยเฉพาะในคนที่สูบบุหรี่จัด และเชื่อว่าแคดเมียมในบุหรี่อาจเป็นสาเหตุทำให้จำนวนอสุจิลดลง

-ความเป็นพิษต่อระบบการสร้างเม็ดโลหิต

ผู้ป่วยที่เป็นโรคฮีโมโกลินและในกลุ่มคนงานที่ต้องสัมผัสกับแคดเมียม จะพบอาการของโรคโลหิตจาง และจากการทดลองในสัตว์ก็พบอาการของโรคโลหิตจางเช่นเดียวกัน

-ความเป็นพิษต่อดับ

ความเป็นพิษต่อดับในคนมีรายงานค่อนข้างน้อยมาก แต่จากการทดลองในสัตว์พบแคดเมียมในระดับน้อย (ในน้ำดื่ม 1 ppm) มีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ในตับเปลี่ยนไป

-การเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง

ในสัตว์ทดลองพบว่า การให้ cadmium sulfide หรือ sulfate ก่อให้เกิดมะเร็งที่กระดุกได้ และในหนูที่ได้รับ cadmium earosols ก็พบว่าเป็นมะเร็งปอดด้วย ส่วนการศึกษาทางระบาดวิทยาในคนงานโรงงานแบตเตอรี่แบบ cadmium nickle พบว่าอุบัติการณ์ของการเกิดมะเร็งปอดและมะเร็งต่อมลูกหมากสูงกว่าประชากรทั่วไป ปัจจุบันแคดเมียมถูกจัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในประเภท 1 (category I ในมนุษย์ หมายถึง มีหลักฐานที่แน่ชัดว่าก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์) ตามการแบ่งของ IARC (The International Agency of Research on Cancer)

2.6 ไม้แดง

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Xylia xylocarpa* Taub. var. *kerrii* Nielsen

ชื่อวงศ์ MIMOSAEAE

ชื่อสามัญ Iron wood

ชื่ออื่น ไคว กร้อม ควาย จะลาน จาลาน ตะกร้อม ไปรน์ ผ้าน เพี้ย สะกรอม

ลักษณะทั่วไป

ไม้ผลัดใบ ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูงถึง 25 เมตร เมื่อสับเปลือกทิ้งไว้จะได้ชั้นสีแดง ขอดอ่อนมีขนสีเหลืองปกคลุม เปลือกเรียบ สีเทาอมแดง

ใบ - เป็นช่อแบบขนนก 2 ชั้น แต่ละช่อมีใบย่อย 4-5 คู่ ใบย่อยรูปไข่ หรือรูปไข่แกมรูปขอบขนาน ปลายใบแหลมมน ฐานใบมักจะเบี้ยว ใบแก่ เกลี้ยงหรืออาจจะมีขนประปราย ด้านท้องใบ

ดอก - เป็นช่อเรียงแน่นบนช่อกลมเดี่ยว ๆ หรือแตกกิ่งก้านเป็นกลุ่ม ๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแต่ละช่อประมาณ 1.4 ซม. ก้านช่อดอกมีขนปกคลุมประปราย ดอกย่อยมีขนาดเล็กมี 5 กลีบ สีเหลืองอ่อน เกสรผู้มี 10 อันแยกจากกันเป็นอิสระ พบในป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรังทั่วไป ถ้าขึ้นบนพื้นที่ดินลึกหรือดินค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ เช่น ป่าเบญจพรรณหรือพื้นที่ราบใกล้น้ำ มักจะมีลำต้นตรง

ผล - เป็นฝักแบนรูปขอบขนาน เรียวและโค้งงอที่ส่วนปลาย ยาว 7-1 ซม. สีน้ำตาลอมเทา แข็ง ผิวเรียบ ไม่มีก้าน เมื่อฝักแก่จะแตกออกเป็น 2 ซีก ผนังของฝักที่แตกมักจะม้วนบิดงอเมล็ดแบน มีจำนวนหลายเมล็ด

2.6.1 การกระจายและนิเวศวิทยา

พบในป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรังทั่วไป ถ้าขึ้นบนพื้นที่ดินลึกหรือดินค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ เช่น ป่าเบญจพรรณหรือพื้นที่ราบใกล้น้ำ มักจะมีลำต้นตรง เป็นต้นไม้ประจำจังหวัดตาก

2.6.2 ประโยชน์

เนื้อไม้ แข็ง หนัก มีความทนทานสูง เลื่อยและตกแต่งได้ยาก เหมาะสำหรับการก่อสร้างที่ต้องการความมั่นคงแข็งแรง เช่น เสาบ้าน, คาน, เสาสะพาน, คัน ใต้, สมอเรือ ฯลฯ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลลิตา นิต์สนจารุกุล (2544) ศึกษาความสามารถในการดูดซับฟิวตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกทุเรียนและเปลือกเม็คมะม่วงหิมพานต์ ที่ผ่านการกระตุ้นโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ ที่อุณหภูมิเหมาะสม คือ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อโซเดียมคลอไรด์ 1:0 ซึ่งให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุด เท่ากับ 567 และ 532 มก./ก. ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกเม็คมะม่วงหิมพานต์ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการแช่วัตถุดิบด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปอบแห้ง แล้วทำการเผาและกระตุ้นเพียงพอที่จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับฟิวตะกั่ว พบว่าที่พีเอชของน้ำเสียดังแต่ 4 ขึ้นไป ถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ผลของเวลาสัมผัส 10 นาที

คำรณ ชุมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล (2533) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและขี้เถ้า จากการทดลองพบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดที่ได้ มีค่า 640 และ 542 มก./ก. อัตราส่วนที่เหมาะสมโดยน้ำหนักของโซเดียมคลอไรด์ต่อกะลามะพร้าว เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ส่วนอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยน้ำหนักของโซเดียมคลอไรด์ต่อขี้เถ้าสูงกว่า 5 โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณว่าจะสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส

เกศรา นุตาลัยและคณะ (2532) ได้นำดินพรวนจากจังหวัดนครราชสีมาทดลองผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์และไอน้ำยิ่งยวด จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากดินพรวนมีค่าคาร์บอนคงตัวสูงร้อยละ 80-90 มีค่าถ้ำต่ำ อุณหภูมิเมื่อกระตุ้นด้วยสารเคมีอัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลามากกว่า 0.5 ชั่วโมง มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 1,200 - กว่า 1,300 มก./ก., Methylene blue adsorption 200 - กว่า 300 มก./ก. พื้นที่ผิวอนุภาค 1,200 - กว่า 1,500 ตร.ม./ก. สำหรับถ่านกัมมันต์ซึ่งผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดต้องอัดเป็นเม็ดก่อนการกระตุ้นจะมีคุณสมบัติต่ำกว่า โดยถ่านกัมมันต์ซึ่งกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ประมาณ 1,200 มก./ก., Methylene blue adsorption 295 มก./ก. และพื้นที่ผิวอนุภาค 881 ตร.ม./ก. ค่า yield ที่ได้ คือ ร้อยละ 8 ส่วนค่า yield ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ คือ ร้อยละ 49-54

บุญชัย ตระกูลมหชัย, ธารพงษ์ วิทิตสานต์ และกรรณิการ์ สถาปิตานนท์ (2538) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาของต้นตาลโตนดโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นพบว่า การคาร์โบไนซ์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที บดถ่านที่ได้ให้มีขนาด 1.68 ถึง 2.38 มิลลิเมตร แล้วกระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติ คือ ค่าแฉะร้อยละ 6.22, ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,746 ตร.ม./ก. ค่าเมทริลินบลู 462.03 มก./ก., และค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 1,194 มก./ก.

สุจนีย์ คู่ยเสงี่ยม (2544) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอระหว่างถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม, กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาด พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 532.29 และ 486.45 มก./ก. พื้นที่ผิว 492.4200 และ 385.9073 ตร.ม./ก. ตามลำดับสำหรับการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวสามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ 8.37 และ 5.52 มก./ก. ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มดูดซับได้ 2.53 และ 1.63 มก./ก. และถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดดูดซับได้ 50.18 และ 19.95 มก./ก. นอกจากนี้ได้ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วและปรอทในน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอที่ระดับความเข้มข้น 9.82-9.86 มก./ล. โดยใช้ถังดูดซับแบบแท่งที่ระดับความสูง 30-120 ซม. พบว่า ในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวสามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ในช่วง 2.45-2.81 และ 2.21-2.70 มก./ก. สำหรับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดสามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ 3.75-3.88 และ 3.61-3.83 มก./ก ตามลำดับ

Chang และ Ku (1994) ได้ศึกษาการดูดซับโลหะแคดเมียมด้วยถ่านกัมมันต์โดยการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะแคดเมียมกับสารคีเลต 3 ชนิด คือ EDTA, Citric acid และ Nitriolotriacetic acid (NTA) พบว่า ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงประจุที่ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์และการกระจายตัวของ สปีชีส์ (species) ของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการดูดซับของสารประกอบเชิงซ้อนกับกลุ่มฟังก์ชันที่ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์

Hanzlík และคณะ (2004) ได้ศึกษาการดูดซับแบบ Multi-component ของโลหะเงิน, แคดเมียม และทองแดง โดยใช้วัสดุคิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลายชนิด พบว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะทั้ง 3 ชนิด จะเกิดขึ้นมากที่สุดใน 5 ชั่วโมงแรกที่สภาวะสมดุล

สำหรับความสามารถในการดูดซับไขมัน (Adsorption capacity) จะเพิ่มสูงขึ้นในสารละลายที่มีโลหะทองแดงและเงินทั้ง 2 ชนิดอยู่ด้วยกัน แต่สำหรับโลหะแคดเมียมการดูดซับไขมันจะลดลงหากมีการเพิ่มโลหะชนิดอื่นเข้าไปในสารละลาย นอกจากนี้ในสารละลายที่มีค่าพีเอชสูงการดูดซับไขมันจะเกิดขึ้นร่วมกับการตกตะกอนผลึก

เกศรา นุตาลัย และคณะ (2531) ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากพีท (peat) ที่ได้จากจังหวัดนราธิวาส โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ในครุชชีเบิลกราไฟต์ที่ให้ความร้อนด้วยเตาเผา (muffle furnace) และวิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมมัววียังยวดในเตาเผาแบบหมุน (rotary kiln) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร การกระตุ้น $ZnCl_2$ ทำโดยแช่พีทที่บดละเอียดและผ่านร่อน (sieve) 60 เมช (Mesh) แล้ว ในสารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของพีทต่อสารละลาย $ZnCl_2$ คือ 1:2.5 และ 1:4.0 ที่อุณหภูมิ 400 และ 600 องศาเซลเซียส แปรเวลาดั้งแต่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 ชั่วโมง แล้วนำไปคาร์บอนไนซ์ในเตาเผา (muffle furnace) ผลการทดลองพบว่าการใช้ $ZnCl_2$ อัตราส่วน 1:4 กระตุ้นที่ 600 องศาเซลเซียส เวลามากกว่า 0.5 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพเทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์ในทางการค้า คือ ค่าการดูดซับไอโอดีน 1,200 ถึง 1,300 mg/g ค่าการดูดซับเมทิลีน 200 ถึง 300 mg/g, พื้นที่ผิวอนุภาค 1,200 ถึง 1,500 m^2/g และค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (yield) ร้อยละ 49 ถึง 54 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมมัววียังยวดทำโดยนำพีทผ่านร่อนขนาด 60 เมช มาผสมกับน้ำแบ่งมันสำปะหลังสุกเข้มข้น 0.04 กรัมต่อมิลลิเมตร ปริมาณที่ใช้ คือ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินพรุ อดให้เป็นเม็ด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร อบให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส แล้วนำไปคาร์บอนไนซ์ที่ 500 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกระตุ้นในเตาเผาแบบหมุนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเบด 10 เซนติเมตรและยาว 35 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส แปรเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ความดันไอน้ำ 20 พีเอสไอจี (psig) ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับที่สูงที่สุด คือ ค่าไอโอดีนประมาณ 1,200 mg/g, ค่าเมทิลีนบดประมาณ 295 mg/g, พื้นที่ผิวอนุภาค 881 m^2/g และค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ร้อยละ 8

ชนิตา เสมรัตน์ (2543) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการดูดซับไขมัน โดยสารดูดซับไขมันที่ใช้ คือ ถ่านกัมมันต์ ถ่านกะลา และถ่านชานอ้อยโดยการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ ผลการทดลองพบว่าถ่านกะลาไม่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำ

ไปใช้งาน โดยพิจารณาจากผลการทดสอบไอโซโทมการดูดติดผิวแบบฟรุคติลิซ ส่วนถ่านกัมมันต์ และถ่านชานอ้อยมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งาน

นเรศ จันทรเทียนและคณะ (2534) ศึกษาความเป็นไปได้ ที่จะนำกะลาตาลโตนดมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ โดยใช้ไอน้ำอิมตัวยั้งยวดในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบด และ $ZnCl_2$ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำอิมตัวยั้งยวดในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบดทำโดยคาร์บอไนซ์กะลาตาลโตนดในเตาเผา (buffle furnace) ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คัดขนาดถ่าน 2 – 5 มิลลิเมตร เพื่อนำมากระตุ้นในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบด มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกที่ทำจากสแตนเลสเบอร์ 316 หน้า 4 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูสูงประมาณ 0.17 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน 600 มิลลิกรัมต่อกรัม การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย $ZnCl_2$ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งทำโดยคาร์บอไนซ์กะลาตาลโตนดในเครื่องปฏิกรณ์ มีเบดทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 17 x 19.5 x 53 เซนติเมตร ซึ่งมีส่วนให้ความร้อนเป็นขดลวดให้ความร้อน ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นคัดขนาดถ่าน 2 – 5 มิลลิเมตร เพื่อนำมาแช่ในสารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้นร้อยละ 50 ใช้อัตราส่วนของถ่าน 3 กรัมต่อสารละลาย $ZnCl_2$ 9 มิลลิตร นำไปกระตุ้นด้วยเตาเผา (buffle furnace) ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าค่าเมทิลีนบลู ประมาณ 362 – 376 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน 1,088 – 1,117 มิลลิกรัมต่อกรัม

บุญชัย ตระกูลมหัย และคณะ (2534) เป็นการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากพีทไทยที่บดผ่านตะแกรงขนาด 8 มิลลิเมตร และพีทญี่ปุ่นที่บดผ่านตะแกรงขนาด 5 และ 8 มิลลิเมตร แล้วนำไปคาร์บอไนซ์ในเครื่องคาร์บอไนเซอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบด ที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส อัตราการผ่านอากาศ 100 ลิตรต่อนาที และในเครื่องคาร์บอไนเซอร์แบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมตัวยั้งยวดในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไคซ์เบดซึ่งทำด้วยสแตนเลส เบอร์ 316 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 44 มิลลิเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 850 และ 900 องศาเซลเซียส แปรเวลา 10, 20, 30, 40 นาที พบว่า ถ่านกัมมันต์จากพีทไทย มีพื้นที่ผิว B.E.T. 383.4 – 623.5 ตร.ม./ก., ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 58.2 – 227.0 มก./ก. และค่าการดูดซับไอโอดีน 662.9 – 1,0030.8 มก./ก. ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น มีพื้นที่ผิว B.E.T. 243.2 – 510.4 ตร.ม./ก., ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 64.1 – 191.0

มก./ก. และค่าการดูดซับไอโอดีน 442.0 – 832.3 มก./ก. สรุปผลการทดลองได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืชญี่ปุ่นที่บดผ่านตะแกรงต่างกัน มีคุณสมบัติคล้ายกันและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบฟลูอิดไคซ์เบดมีคุณสมบัติการดูดซับดีกว่าถ่านที่ผลิตจากเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบเบดนิ่ง ในการทดลองนี้ยังได้ทดลองลดปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 5 โดยต้มให้เดือนประมาณ 20 นาที ผลการทดลอง คือ ค่าเถ้าลดลงอย่างเห็นได้ชัด และถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืชญี่ปุ่นมีคุณสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืชไทย ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืชญี่ปุ่นมีค่าเถ้าสูงมาก (ร้อยละ 30 – 50) จึงมีผลให้ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับลดลง เมื่อนำไปล้างเถ้าออก คุณสมบัติในการดูดซับจึงเพิ่มขึ้น ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืชไทยมีค่าเถ้าไม่สูงมากนัก (ร้อยละ 10 – 15) จึงมีผลต่อการดูดซับน้อย

ประภคต เลิศจรุสร่วมดี (2539) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการใช้ขี้เถ้าฝางข้าว และขุยมะพร้าว ผลการศึกษาพบว่า ขุยมะพร้าวที่ความเข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณ 0.20 กรัม ความสามารถในการกำจัดไอออนของตะกั่ว และไอออนของปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ สามารถที่จะกำจัดได้ 80% และ 78% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบการใช้ขี้เถ้าและฝางข้าว พบว่า ขุยมะพร้าวมีความสามารถในการกำจัดไอออนของโลหะหนักได้ดีกว่าขี้เถ้าและฝางข้าว สำหรับน้ำเสียจากโรงงานแบตเตอรี่ที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 0.3 – 0.7 ส่วนในล้านส่วน พบว่า ขี้เถ้า ฝางข้าว และขุยมะพร้าวสามารถกำจัดไอออนของตะกั่วได้เกือบ 100%

พงศธร โค้วชาภรณ์ (2538) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดรวมทั้งศึกษาคุณสมบัติและการใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่าซังข้าวโพดสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้ คุณสมบัติของถ่านที่ทำการวิเคราะห์ คือ ค่าไอโอดีน ค่าการฟอกสีเมธิลลินบลู ความชื้น ปริมาณร้อยละของผลผลิต พื้นที่ผิว ซึ่งจากการทดลองพบว่า ซังข้าวโพดสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ที่อัตราส่วน 1:2 อุณหภูมิ 400 °C เวลาการเผา 3 ชั่วโมง มีปริมาณร้อยละของผลผลิตคือ 62.82 ค่าไอโอดีน 800 – 900 มก./ก. ค่าการฟอกสีเมธิลลินบลู 120 – 180 มก./ก. พื้นที่ผิว 1,000 ตร.ม./ก. ประสิทธิภาพการฟอกสีปานกลาง

พิสุทธิ พันธุ์วิชาติกุล และ สมิตธี รัตนสุทธิพงษ์ (2535) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาล ขนาด 3.35 – 6 และ 1.40 – 3.35 มิลลิเมตร โดยใช้ $ZnCl_2$ เข้มข้นร้อยละ 50 เป็นสาร

กระตุ้น น้ำหนักของสารละลาย $ZnCl_2$ ต่อวัตถุดิบเท่ากับ 2:1 แปรอุณหภูมิที่ใช้ คือ 400, 450 องศาเซลเซียส และแปรระยะเวลาที่ใช้ คือ 2,3 ชั่วโมง เครื่องแอกติเวเตอร์ที่ใช้เป็นแบบฟลูอิดซ์ที่ใช้อากาศเป็นตัวกลาง ความเร็วของอากาศที่ใช้ คือ 0.8 – 1.1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าได้ถ่าน กัมมันต์ที่มีคุณภาพต่ำ ทั้งนี้เพราะใช้อนุภาคใหญ่เกินไป เนื่องจากกะลาตาล โตนดแข็งและเหนียวมาก จึงบดให้มีขนาดเล็กไม่ได้ ประกอบกับใช้อากาศเป็นตัวกลางแทนที่จะใช้ก๊าซไนโตรเจน ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนแข่งกับปฏิกิริยาของ $ZnCl_2$

อริชัย นพแก้ว (2539) ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อเก็บกัก พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมและปรอท คือ pH เท่ากับ 4 เวลาสัมผัส 15 นาที สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ และสำหรับน้ำชะมูลฝอย คือ pH เดิมของน้ำชะมูลฝอยซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7 – 8 เวลาสัมผัส 15 นาที ซึ่งจากการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์นอกจากจะกำจัดโลหะหนักแล้วยังกำจัดซีโอไซด์และสีจากน้ำชะมูลฝอยอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าการกำจัดโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ น้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากัน โดยมีประสิทธิภาพรวมประมาณ 90% และ 70% สำหรับการกำจัดโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยและน้ำเสียสังเคราะห์ตามลำดับ

อนุชิต กิจสวัสดิ์ (2520) ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากแคลบผสมกับ $ZnCl_2$ อัตราส่วน 1:2.5 เวลาในการคาร์บอนไนซ์ คือ 1 ชั่วโมง แปรอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ตั้งแต่ 300, 400, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส โดยนำแคลบที่ผสม $ZnCl_2$ ใส่ลงในถ้วยกราไฟต์ แล้วนำไปวางไว้ในเตาเผา ทั้งนี้ได้สรุปผลการทดลองไว้ว่า อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด แต่ไม่ได้แสดงค่าที่ได้จากการทดลองไว้ในรายงาน

อุไรวรรณ ธรรมรัตน์พคุณ (2523) ได้ทดลองคาร์บอนไนซ์กะลามะพร้าวในถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร แล้วนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมตัวยั้งยวดในเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) ที่ทำด้วยเหล็กไร้สนิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ปลายแต่ละด้านปิดด้วยตะแกรงเพื่อป้องกันมิให้ถ่านหลุดออกไป ท่อหมุนในแนวนอนด้วยอัตรา 4 รอบต่อนาที สภาวะที่ใช้คือ ถ่านขนาด 4 – 10 เมช (2.00 – 4.76 มิลลิเมตร) ครั้งละ 500 กรัม อุณหภูมิ 700 – 1,050 องศาเซลเซียส แปรเวลาตั้งแต่ 30, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 90, 105, 110 และ 130 นาที ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นโดยใช้เวลา 30 ถึง 130 นาที มีคุณภาพดังต่อไปนี้ คือ ค่าการดูดซับ ไอโอดีน 1,540 mg/g

ค่าการดูดซับเมทธิลินบลู 5 – 371 mg/g, ค่าความแข็ง 30 – 92, ความหนาแน่นปรากฏ 0.31 – 0.59 g/cm³



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย