

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันนี้ น้ำเสียมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ความเจริญต่างๆ ความสะดวกสบาย หรือสาเหตุอื่นๆ ย่อมส่งผลทำให้ปริมาณกากตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียมีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการศึกษากากตะกอนที่ไร้ค่า มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ จึงเป็นสิ่งสำคัญ อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการจัดการกากตะกอนดังกล่าวได้อีกด้วย

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียและกากตะกอนน้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆมากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพของน้ำตามธรรมชาติเสียหายได้ (ปราณี พันธุมสินชัย และศักดิ์ สุริยจันทร์ทอง, 2550)

ตามพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ได้ให้ความหมายของน้ำเสียว่า “น้ำเสีย” หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น หรือ น้ำที่ผ่านการใช้จากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ซึ่งจะทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ถ่ายเทเจือปนลงไปในน้ำนั้นในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อีก และมีลักษณะเป็นที่รังเกียจของคนทั่วไป หรือถ้าปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติก็จะทำให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำได้

2.1.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

น้ำเสียจากชุมชน ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันต่างๆ ของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนและกิจกรรมที่เป็นอาชีพ น้ำเสียนี้มีสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการ

ประกอบอาหาร และชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน รวมถึงน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน ประเภทต่างๆ เป็นต้น

น้ำเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรม ตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิตจนถึงการทำความสะอาดโรงงาน รวมทั้งน้ำเสียที่ยังไม่ได้รับการบำบัด หรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วแต่ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม องค์ประกอบของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำทิ้งประเภท และขนาดของโรงงาน เช่น โรงน้ำปลา โรงน้ำตาล โรงงานอาหารกระป๋อง โรงงานกระดาษ โรงงานผลิตสี โรงงานฟอกหนัง และเหมืองแร่ แหล่งอุตสาหกรรมเหล่านี้ จะปล่อยของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ลงสู่แหล่งน้ำ ก่อให้เกิด น้ำเน่า นอกจากนี้ยังอาจปล่อยโลหะเป็นพิษ และสารประกอบที่เป็นพิษ เช่น ตะกั่ว ปรอท สารหนู แคลเซียม และโซเดียมไนต์ลงน้ำอีกด้วย

น้ำเสียจากเกษตรกรรม ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์ น้ำเสียจากการเพาะปลูกจะมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแตสเซียม และสารพิษต่างๆ ในปริมาณสูงส่วนน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก

2.1.2 การบำบัดน้ำเสีย

การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้าง ค่าดำเนินการดูแลและบำรุงรักษา และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความเหมาะสมกับแต่ละท้องถิ่น ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย ได้ดังนี้

1. การบำบัดทางกายภาพ (physical treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทราย ไขมัน และน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

2. การบำบัดทางเคมี (chemical treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

3. การบำบัดทางชีวภาพ (biological treatment) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ โดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย โดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำเสีย โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหาร และเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (aerobic organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic organisms) ก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบ แอกทิเวเตดสลัดจ์ (activate sludge, AS), ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (rotating biological contactor, RBC), ระบบคลอง วนเวียน (oxidation ditch, OD), ระบบบ่อเติมอากาศ (aerated lagoon, AL), ระบบโปรยกรอง(trickling filter), ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (stabilization pond), ระบบยูเอเอสบี (upflow anaerobic sludge blanket, UASB) และ ระบบกรองไร้อากาศ (anaerobic filter, AF) เป็นต้น

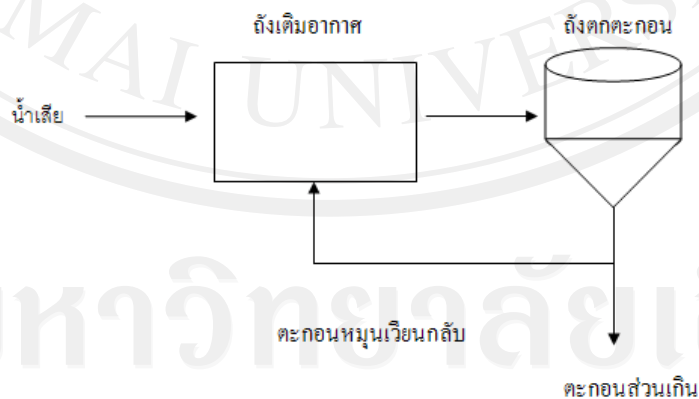
2.1.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์

เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่การเดินระบบประเภทนี้จะมีคามยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่างๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมี

ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ในปัจจุบันระบบแอกติเวเต็ด-สลัดจ์มีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (completely mix), กระบวนการปรับเสถียรลัมพลัส (contact stabilization process), ระบบคลองวนเวียน (oxidation ditch) หรือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (sequencing batch reactor) เป็นต้น

หลักการทำงานของระบบ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) โดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศ ซึ่งมีสลัดจ์อยู่เป็นจำนวนมากตามที่ต้องการไว้ สภาพภายในถังเติมอากาศจะมีสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบแอโรบิก จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกสลัดจ์ออกจากน้ำใส สลัดจ์ที่แยกตัวอยู่ที่ก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่ง จะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่เพื่อรักษาความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่กำหนด และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) ที่ต้องนำไปกำจัดต่อไป สำหรับน้ำใสส่วนบนจะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้



ภาพ 2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

กลไกในการทำงานของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

หัวใจสำคัญของระบบบำบัดแบบนี้ คือ อาศัยจุลินทรีย์ทั้งหลายที่มีอยู่ในถังเดิมอากาศของระบบเป็นตัวย่อยสลายสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในน้ำเสียให้หมดไป หรือจนมีความสะอาดพอที่จะระบายทิ้งได้ โดยไม่ก่อให้เกิดน้ำโคลนเน่าเสียอีก สิ่งสกปรกในน้ำเสียที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ส่วนใหญ่เป็นพวกสารอินทรีย์ทั้งในรูปที่ละลายน้ำได้ และในรูปของคอลลอยด์ ผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากการย่อย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ เซลล์จุลินทรีย์ตัวใหม่ และพลังงานดังนี้

น้ำเสีย (สารอินทรีย์) + จุลินทรีย์ + ออกซิเจน \longrightarrow คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ + จุลินทรีย์ตัวใหม่ + พลังงาน

เซลล์จุลินทรีย์โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ 70 - 90% และส่วนที่เป็นสารอินทรีย์อีก 10 - 30% ดังนั้น จะเห็นได้ว่าสารอินทรีย์ซึ่งเป็นสิ่งสกปรกส่วนใหญ่ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์นั่นเอง เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์มีน้ำหนักมากกว่า ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายด้วยถังตกตะกอน

ส่วนประกอบที่สำคัญ ของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ระบบบำบัดแบบนี้ มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วนคือ

1. ถังเดิมอากาศ

ทำหน้าที่เป็นถังเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้เจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนให้เพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยการบำบัดสิ่งสกปรกต่างๆ ของระบบจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในถังนี้ ภายถังเดิมอากาศจะติดตั้งเครื่องเดิมอากาศ (Aerator) ไว้เพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่ น้ำเสีย รวมทั้งเป็นเครื่องกวนน้ำเสียให้สัมผัสกับจุลินทรีย์ไปในตัวด้วย

2. ถังตกตะกอน

ทำหน้าที่เป็นถังแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำที่บำบัดแล้วซึ่งส่งมาจากถังเติมอากาศ โดยน้ำตะกอนจะถูกกักอยู่ในถังนี้ช่วงเวลาหนึ่ง น้ำส่วนใสจะไหลล้นไป ส่วนตะกอนที่อยู่ก้นถังส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปยังถังเติมอากาศอีกครั้ง และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นตะกอนส่วนเกินที่ต้องนำไปกำจัด

3. ระบบสูบตะกอนย้อนกลับ

ทำหน้าที่สูบตะกอนจุลินทรีย์ที่แยกออกจากน้ำส่วนใสแล้วกลับมายังถังเติมอากาศอีกครั้งทั้งนี้เพื่อควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ ในถังเติมอากาศให้เหมาะสม และเพียงพอต่อการกำจัดสิ่งสกปรกในน้ำเสีย

2.1.4 การบำบัดกากตะกอนหรือสลัดจ์

ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการทางชีวภาพจะมีกากตะกอนจุลินทรีย์ หรือสลัดจ์เป็นผลผลิตตามมาด้วยเสมอ ซึ่งเป็นผลจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการกินสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบำบัดสลัดจ์เหล่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเน่าเหม็นของสลัดจ์ การเพิ่มภาวะมลพิษ และเป็นการทำลายเชื้อโรคด้วย นอกจากนี้การลดปริมาณของสลัดจ์โดยการกำจัดน้ำออกจากสลัดจ์ ช่วยให้เกิดความสะดวกในการเก็บขนไปกำจัดทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ทั้งนี้ในการบำบัดสลัดจ์ประกอบด้วยกระบวนการหลักๆ ได้แก่

1. การทำข้น (Thickener) โดยใช้ถังทำข้นซึ่งมีทั้งที่ใช้กลไกการตกตะกอน (Sedimentation) และใช้กลไกการลอยตัว (Floatation) ทำหน้าที่ในการลดปริมาณสลัดจ์ก่อนส่งไปบำบัดโดยวิธีการอื่นต่อไป

2. การทำให้สลัดจ์คงตัว (Stabilization) โดยการย่อยสลัดจ์ด้วยกระบวนการใช้อากาศ หรือ ใช้กระบวนการไร้อากาศ เพื่อทำหน้าที่ในการลดสารอินทรีย์ในสลัดจ์ ทำให้สลัดจ์คงตัวสามารถนำไปทิ้งได้โดยไม่เน่าเหม็น

3. การปรับสภาพสลัดจ์ (Conditioning) เพื่อทำให้สลัดจ์มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น ทำปุ๋ย การใช้ปรับสภาพดินสำหรับใช้ทางการเกษตร เป็นต้น

4. การรีดน้ำ (Dewatering) เพื่อลดปริมาณสลัดจ์ที่จะนำไปทิ้งโดยการฝังกลบ การเผา หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกในการขนส่ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดน้ำ ได้แก่ เครื่องกรองสูญญากาศ (Vacuum filter) เครื่องอัดกรอง (Filter press) หรือเครื่องกรองหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รวมถึงการลานตากสลัดจ์ (Sludge drying bed)

2.1.5 การกำจัดกากตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge disposal)

หลังจากสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียได้รับการบำบัดให้มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น และมีปริมาตรลดลง เพื่อความสะดวกในการขนส่งแล้ว ในขั้นต่อมาก็คือ การนำสลัดจ์เหล่านั้นไปกำจัดทิ้งโดยวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการกำจัดทิ้งที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

การเผา (Incineration): เป็นการนำสลัดจ์ที่จวนแห้ง (ตั้งแต่ร้อยละ 40 ของของแข็งขึ้นไป) มาเผา เนื่องจากไม่สามารถนำไปใช้ทำปุ๋ยหรือฝังกลบได้

การฝังกลบ (Landfill): เป็นการนำสลัดจ์มาฝังในสถานที่ที่จัดเตรียมไว้ และกลบด้วยชั้นดินทับอีกชั้นหนึ่ง

การหมักทำปุ๋ย (Composting): เป็นการนำสลัดจ์มาหมักต่อเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ย ซึ่งเป็นการนำสลัดจ์กลับมาใช้ประโยชน์ในการเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืช เนื่องจากในสลัดจ์ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุต่างๆ

ปัญหาที่พบในการกำจัดกากตะกอนทั้ง 3 วิธี คือ

การเผา

- เกิดแก๊สลอยและก๊าซมลพิษพวก CO, SO, และ NO ทำให้เกิดปัญหาหมอกพิษทางอากาศ
- ต้องทำการควบคุมสถานะการเผาไหม้ให้เหมาะสม
- ต้องมีการปรับปรุงสภาพของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ก่อนปล่อยทิ้ง
- ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงสูง

การฝึกลบ

- ทำให้มีสารพิษรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ
- ใช้พื้นที่ในการฝึกลบมาก
- ถูกต่อต้านจากประชาชนในท้องถิ่น

นำไปใช้ทางการเกษตร

- เนื่องจากกากตะกอนมีซากของแบคทีเรียและไวรัสจำนวนมากทำให้เกิดโรคพืชและอาจติดต่อกับเกษตรกรได้
- ถ้ากากตะกอนมีโลหะหนักปนอยู่ ไอออนเหล่านี้จะถูกชะลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

2.1.6 ระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โรงบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เริ่มก่อสร้างในปี พ.ศ. 2526 ใช้งบประมาณ 39 ล้านบาท โดย บริษัทเซาท์อีสต์เอเชียเทคโนโลยีจำกัด (SEATEC) เป็นผู้ออกแบบและควบคุมการก่อสร้าง โดยระบบที่รับน้ำเสียได้ออกแบบเป็นระบบท่อแยก คือ ระบายน้ำเฉพาะน้ำเสียเท่านั้น ไม่ได้รวมน้ำฝนเข้าไปด้วย ท่อระบายน้ำเสียนี้น่ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.15 - 0.6 เมตร โดยรับน้ำเสียที่ออกจากบ่อเกรอะ และน้ำทิ้งทั่วไปจากบ้านพัก สำนักงานอาคารเรียนของคณะต่างๆ ในมหาวิทยาลัยทั้ง 2 พื้นที่ คือ บริเวณเชิงคดอยและบริเวณสวนดอก (ซึ่งรวมน้ำเสียจากโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่) ปัจจุบันรับน้ำเสีย 2.2 ล้านลูกบาศก์เมตร / ปี (ประมาณ 6,100 ลูกบาศก์เมตรวัน) หรือประมาณ 15% ของน้ำเสียชุมชนในเขตเทศบาล โดยมีปริมาณน้ำเสียเพิ่มขึ้นปีละ 10%



ภาพ 2.2 โรงบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียนั้น ได้จัดทำอย่างถูกต้องหลักทางวิชาการโดยท่อจะมีความลาดเอียงและความเร็วของน้ำในท่อสูงพอที่จะพัดพาตะกอนต่างๆ ให้ไหลไปได้ ดังนั้นท่อจะมีระดับลึกลงตามระยะทาง จึงจำเป็นต้องมีสถานีสูบน้ำเพื่อยกระดับน้ำเสียให้สูงขึ้นก่อนปล่อยลงสู่ท่อลาดเอียงลง โดยในบริเวณฝั่งเชิงคอกมีสถานีสูบน้ำเสีย 4 แห่ง สถานีสูบน้ำที่ 3 จะสูบน้ำเสียข้ามคลองชลประทาน และปล่อยให้ไหลลงไปสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกปล่อยลงสู่คูน้ำข้างโรงบำบัดน้ำเสีย เพื่อช่วยลดความเน่าเสียของน้ำในคลองสาธารณะของเทศบาล

น้ำเสียของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่จัดเป็นน้ำเสียชุมชนประเภทรวม โดยมาจากหอพักนักศึกษา บ้านพักข้าราชการ อาคารเรียน สำนักงาน โรงอาหาร และโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ โดยมีประชากรอยู่ 2 กลุ่ม ที่ทำให้เกิดน้ำเสีย คือ ผู้พักอาศัย และไม่ได้พักอาศัยในเขตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอน ออกแบบสำหรับปริมาณน้ำเสียสูงสุดประมาณ 8,500 ลูกบาศก์เมตร / วัน น้ำเสียของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่จะไหลตามท่อระบบน้ำเสีย โดยมีบิ๊มสูบน้ำเสียส่งเป็นระยะๆ รวม 4 จุด จนมาถึง

สถานีสูบน้ำของระบบบำบัด หรือบ่อกักน้ำเสีย (Wastewater storage tank) ซึ่งมีขนาดกว้าง 11.0 เมตร, ยาว 11.0 เมตร, ลึก 3.0 เมตร และมีเวลาเก็บกักน้ำเสียที่อัตราการไหลสูงสุด (Peak flow) ประมาณ 1 ชั่วโมง ในถังกักน้ำเสียจะมีเครื่องเติมอากาศแบบจุ่ม (Submersible aerator) ขนาด 10 แรงม้า จำนวน 2 ชุด (ใช้งาน 1 ชุด สำรอง 1 ชุด) ซึ่งจะมีหน้าที่เป็นเครื่องกวน เพื่อป้องกันการเน่าเหม็นของน้ำเสียในบ่อกักน้ำเสีย จากนั้นน้ำเสียจะถูกสูบเข้าสู่ถังดักทราย (Grit chamber) โดยปั๊มหอยโข่งขนาด 15 แรงม้า จำนวน 4 ชุด (ใช้งาน 2 ชุด สำรอง 2 ชุด) ลักษณะของถังดักทรายจะเป็นรางน้ำแคบและยาว ขนาดกว้าง 2 เมตร, ยาว 8 เมตร, ลึก 1.1 เมตร จำนวน 2 ราง ซึ่งจะทำให้น้ำเสียไหลที่ความเร็วประมาณ 0.3 เมตร / วินาที น้ำเสียที่ไหลช้าจะมีผลทำให้กรวด ทราย เมล็ดพืช ที่ไหลมาทับน้ำเสียเกิดการตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำเสีย ขณะเดียวกันน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอนประเภท (Conventional activated sludge) ซึ่งประกอบไปด้วยถังเติมอากาศ (aeration tank) ขนาดกว้าง 11.0 เมตร, ยาว 22.0 เมตร, ลึก 4.0 เมตร จำนวน 2 ถัง โดยมีเครื่องเติมอากาศแบบจุ่ม (Submersible aerator) ขนาด 25 แรงม้า จำนวน 2 ชุด/ถังเติมอากาศ น้ำเสียมีเวลาเก็บกักในถังเติมอากาศเฉลี่ยประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง จากนั้นน้ำเสียที่ผ่านการเติมอากาศแล้วจะไหลไปยังถังแยก (Flow distribution box) ซึ่งจะกระจายน้ำที่ผ่านการเติมอากาศเข้าสู่ถังตกตะกอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.5 เมตร, ลึก 3.0 เมตร จำนวน 4 ถัง โดยมีเวลาเก็บกักตะกอนประมาณ 3 - 5 ชั่วโมง น้ำใสที่ล้นออกจากถังตกตะกอนจะไหลไปสู่ถังฆ่าเชื้อโรค (Chlorine contact tank) ขนาดกว้าง 4.0 เมตร, ยาว 23.0 เมตร, ลึก 2.0 เมตร ในถังฆ่าเชื้อโรคนั้น จะเติมคลอรีนลงไปก่อนปล่อยทิ้ง โดยมีเวลาสัมผัส (Contact time) ประมาณ 30 นาที สำหรับตะกอนก้นถังตกตะกอนทั้ง 4 ถัง จะไหลมารวมกันที่ถังพัก (Sludge distribution box) โดยจะถูกปั๊มหอยโข่ง ขนาด 20 แรงม้า จำนวน 2 ชุด (ใช้งาน 1 ชุด สำรอง 1 ชุด) สูบหมุนเวียน (Return sludge) ไปยังถังเติมอากาศ ส่วนตะกอนส่วนเกิน (Excess sludge) ที่มีมากเกินไปในระบบต้องกำจัดทิ้งโดยการปล่อยเข้าสู่ถังพักตะกอน (Sludge thickener) ซึ่งจะทำหน้าที่ให้ตกตะกอนอีกครั้ง ให้ตะกอนมีความเข้มข้นขึ้น เพื่อลดปริมาณลง ตะกอนเข้มข้นนี้จะถูกปั๊มหอยโข่งขนาด 20 แรงม้า จำนวน 2 ชุด (ใช้งาน 1 ชุด สำรอง 1 ชุด) สูบเข้าถังหมักตะกอน (Sludge digester) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0 เมตร, สูง 6.0 เมตร ตะกอนส่วนนี้ จะถูกระบายลงสู่ลานตากตะกอน (Sludge drying bed) ซึ่งมีขนาดกว้าง 3.8 เมตร, ยาว 10.0 เมตร, สูง

1.4 เมตร จำนวน 10 ลาน โดยระบายตะกอนลงตากวันละ 1 - 2 ลาน ตะกอนแห้งที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นปุ๋ย แต่ในกรณีที่เป็นช่วงฤดูฝนตะกอนจะแห้งช้า จะใช้เครื่องรีดตะกอนแทนการตากตะกอน สำหรับ Biogas ที่ได้จากถังหมักตะกอนจะถูกนำไปใช้ตามบ้านพักเจ้าหน้าที่ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย



(ก)

(ข)

ภาพ 2.3 (ก) ถังตกตะกอน (ข) ถังเติมอากาศ

หลักการการทำงานของโรงบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จะพักน้ำเสียไว้ที่บ่อพักน้ำเสีย โดยที่บ่อนี้จะมีการเติมอากาศก่อนเข้าระบบ เพื่อป้องกันการเน่าเสียหรือกลิ่นเหม็นของน้ำเสีย โดยใช้ปั๊มเติมอากาศ 3 ตัว โดยตัวแรกจะทำงานตลอดเวลา อีก 2 ตัวที่เหลือจะแบ่งการทำงานเครื่องละ 12 ชั่วโมงสลับกัน การนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะใช้ปั๊มหอยโข่งสูบขึ้นมาที่รางดักทราย ซึ่งทำงานโดยการไหลกลอยเป็นตัวตัดสวิตช์ ผ่านประตูน้ำสองประตู ซึ่งจะมีประโยชน์เมื่อมีสารพิษเข้าสู่ระบบก็จะสามารถปิดประตูน้ำได้ทันที น้ำเสียจะที่ผ่านเข้ามาจะถูกดักกรวด ทราย และน้ำเสียจะผ่านตะแกรงดักขยะอีกครั้งหนึ่งก่อน แล้วน้ำเสียจะต้องสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเข้าสู่บ่อเติมอากาศ น้ำเสียที่เข้ามานี้จะเปรียบเสมือนอาหารของตะกอนจุลินทรีย์จากนั้นจุลินทรีย์ก็จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถจับตัวกันเป็น Floc ค่า DO จะต้องอยู่ประมาณ 1 - 3 มิลลิกรัม/กรัม เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำ

เสียถูกกินจนหมดแล้ว ก็จะถูกส่งมายังถังตกตะกอนเพื่อทำการแยกน้ำที่ได้รับการบำบัดแล้วและตะกอนจุลินทรีย์ ตะกอนจุลินทรีย์ที่จมอยู่ก้นถังตกตะกอนจะไหลไปรวมกันที่ถังพักตะกอน แล้วจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สูบกลับสู่อ่างเติมอากาศ (ตะกอนหมุนเวียน) อีกส่วนหนึ่งจะถูกนำเข้าสู่ถังหมักซึ่งจุลินทรีย์ที่เกิดภายในถังหมักจะถูกเปลี่ยนเป็นจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซมีเทนที่สามารถนำไปใช้ในการหุงต้มได้ ตะกอนในถังหมักนี้จะถูกปล่อยเข้าสู่ลานตากตะกอน และส่วนหนึ่งจะนำเข้าสู่เครื่องรีดตะกอน โดยการรีดนั้นต้องทำการผสมกับโพลีเมอร์ เพื่อให้ตะกอนจับตัวกันได้ดียิ่งขึ้น สามารถทำการรีดได้ง่าย ไม่ละ โดยผสมโพลีเมอร์ 300 กรัม / น้ำ 500 ลิตร แล้วทำการกวนนาน 30 นาที ซึ่งตะกอนจากลานตากตะกอนและเครื่องรีดตะกอนจะนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรต่อไป



(ก)

(ข)

ภาพ 2.4 (ก) ลานตากตะกอน (ข) ถังฆ่าเชื้อโรค

2.2 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน

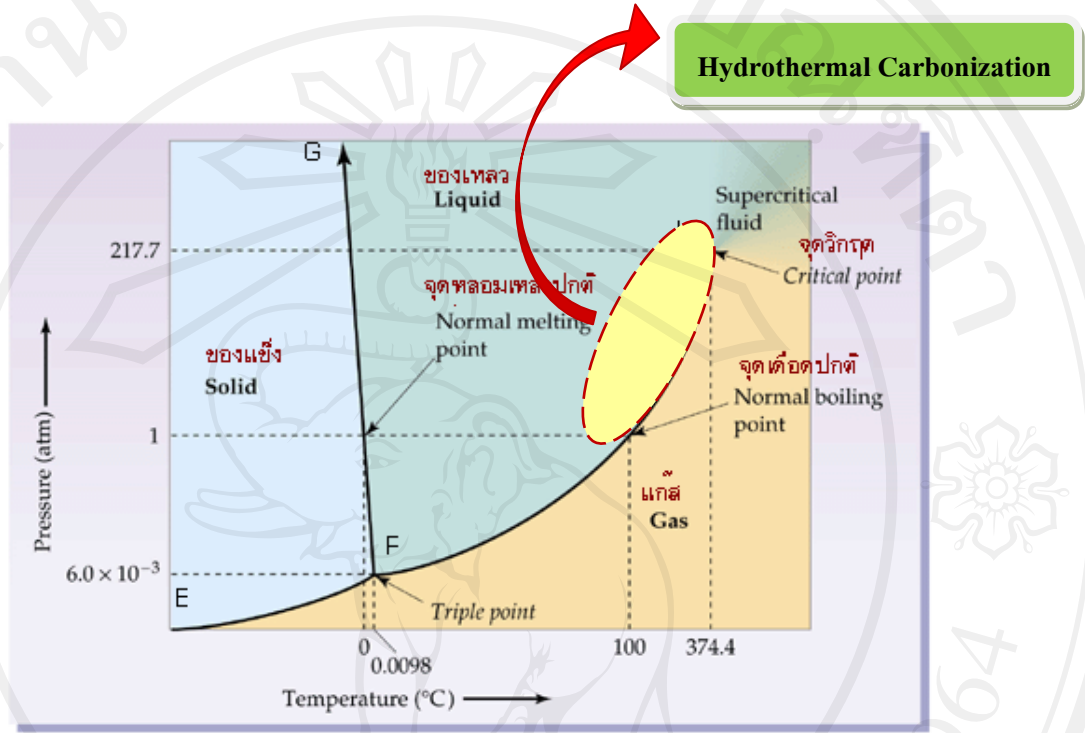
2.2.1 ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน

ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน (Hydrothermal Carbonization) คือ การผลิตถ่านด้วยความร้อนร่วมกับน้ำ โดยมีความดันประมาณ 1.5 - 2.5 เมกะปาสกาล อุณหภูมิประมาณ 200 -300 องศา

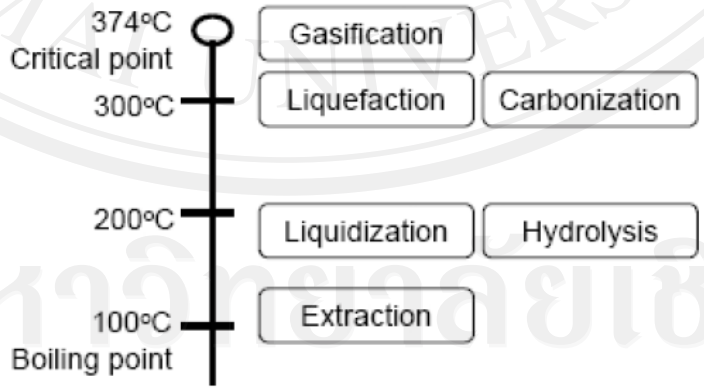
เซลเซียส สารชีวมวลจะถูกเปลี่ยนก๊าซ ของเหลว และของแข็งซึ่งคล้ายกับไพโรไลซิสในเฟสก๊าซ ทาร์มี น้ำหนักเบา เช่น ไพโรลิเนียสนั้นจะละลายน้ำได้ ทาร์ที่มีน้ำหนักมากจะได้รับการผสมกับชาร์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงได้แก่ก๊าซ สารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ และชาร์

2.2.2 คุณลักษณะของไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันนั้นทำปฏิกิริยากับน้ำ วัตถุประสงค์ตั้งต้นนั้นไม่ต้องผ่านกระบวนการอบแห้ง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับสารชีวมวลที่มีความชื้นสูง เช่น สารชีวมวลน้ำ กากอินทรีย์ และขยะอื่นๆ นอกจากนั้นปฏิกิริยาหลายชนิดสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ดังภาพ 2.6 ซึ่งแสดงปฏิกิริยาเกิดขึ้นในน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูงประมาณ 100 องศาเซลเซียส สารที่ละลายได้จะละลายในน้ำและเหมาะแก่การสกัดสาร เหนืออุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส การไฮโดรไลซิสและสารจำพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โปรตีนและอื่นๆจะถูกย่อย พอลิเมอร์เป็นโมโนเมอร์ และที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส และความดัน 1 เมกะปาสกาล ของแข็งจำพวกสารชีวมวลจะถูกเป็น slurry (การทำให้เป็นของเหลว) และสารจำพวกน้ำมันยังไม่เกิดขึ้น ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และความดัน 10 เมกะปาสกาลจะเกิดปฏิกิริยาทำให้ได้สารจำพวกน้ำมัน เมื่อเงื่อนไขของปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลง เช่น เวลาในการทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์หลักจะถูกเปลี่ยนเป็นชาร์ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน และที่จุดวิกฤตร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา สารชีวมวลสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซ



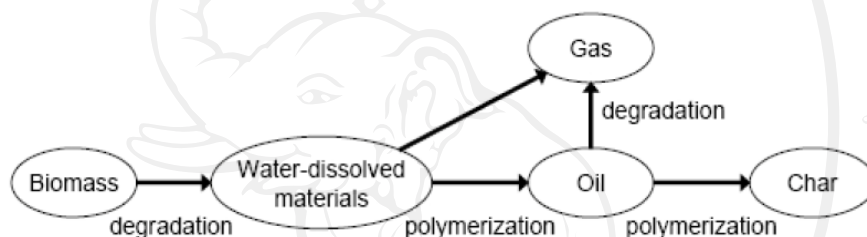
ภาพ 2.5 เฟสของน้ำที่ใช้เป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา



ภาพ 2.6 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูง (Yokoyama, 2008)

2.2.3. ปฏิกริยาไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน

ปฏิกริยาไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน เป็นการผลิตถ่านด้วยความร้อนร่วมกับน้ำ ซึ่งจะเกิดปฏิกริยา การสลายตัว และปฏิกริยาเพอร์ลิเมอร์ไรเซชัน ปฏิกริยาพื้นฐาน แสดงดังภาพ 2.7 ในขั้นตอนแรกสารชีวมวลถูกสลายไปเป็นสารที่ละลายน้ำ จากนั้นสารที่ละลายน้ำจะเกิดการเพอร์ลิเมอร์ไรเซชันเปลี่ยนไปเป็นน้ำมัน เมื่อเกิดปฏิกริยานานขึ้น น้ำมันที่เกิดขึ้นจะเกิดการเพอร์ลิเมอร์ไรเซชันเปลี่ยนไปเป็นชาร์



ภาพ 2.7 ปฏิกริยาไฮโดรเทอร์มอลเบื้องต้น (Yokoyama, 2008)

2.3 ถ่านกัมมันต์และกระบวนการผลิต

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับสูง มีการนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ โดยเฉพาะการบำบัดน้ำ ดูดกลิ่น ดูดสี ซึ่งเป็นสมบัติที่รู้จักกันมานานนับศตวรรษ โดยทั่วไปวัสดุที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังนี้ มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง มีราคาถูก หาง่าย และวัสดุนั้นอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ หรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น วัสดุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม คือ พีต ถ่านหิน ลิกไนต์ ไม้กะลามะพร้าว และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เนื่องจากวัสดุดิบดังกล่าวมีองค์ประกอบคาร์บอนสูง สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับมีรูพรุนขนาดเล็กสูง และมีปริมาณมากในประเทศ

2.3.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์

Derbyshire และคณะ กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายใน และมีความพรุนสูง ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซ และของเหลวได้ในปริมาณสูงได้ ถ่านกัมมันต์นั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลายด้าน โดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วย จากสมบัติที่เหมาะสม และมีราคาไม่แพงของถ่านกัมมันต์ ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่ใช้งานได้แพร่หลาย

Jankowska และคณะ กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือ การนำเอาวัสดุคิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ ทำให้วัสดุคิบนั้นมีโครงสร้างเป็นรูพรุน และมีพื้นที่ผิวภายในสูง หากดูพื้นที่หน้าตัดของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายกับรังผึ้ง โดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ 87 - 90) และธาตุอื่นๆที่เป็นองค์ประกอบ คือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นขึ้นอยู่กับปริมาณในวัสดุคิบหรือที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต

ตาม มอก. 900-2547 กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัสดุคิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวภายในสูง มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆได้เป็นอย่างดี

ในปัจจุบันวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรถูกนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมากเนื่องจากหาได้ง่าย และมีราคาถูก อย่างไรก็ตามปัญหาในการผลิตถ่านกัมมันต์จากของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ วัสดุคิบมีสมบัติไม่คงที่ แม้ว่าจะเป็นวัสดุคิบชนิดเดียวกัน ทำให้ยากในการควบคุมการกระจายขนาดของรูพรุนในขั้นตอนการผลิต บางอุตสาหกรรมจึงมีการผลิตถ่านกัมมันต์จากผงถ่าน เช่น ลิกไนต์ บิทูมินัส และแอนทราไซต์ที่สามารถควบคุมสมบัติเบื้องต้นและขนาดได้ดี นอกจากนี้ยังมีปริมาณวัสดุคิบมาก

การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่าน มีความสามารถในการดูดซับขึ้น ด้วยวิธีการกระตุ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิว หรือการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น (R.C. Bansel, 1988) ดังนั้นการกระตุ้นก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง 3 ลักษณะ คือ

1. การเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active surface area) โดยปฏิกิริยาเคมีทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน
2. การเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นที่ผิว โดยการทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้น ทำให้เกิดการจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น
3. การกำจัดอินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุต่างๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ

กรรมวิธีการสังเคราะห์ถ่านในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ลักษณะ และสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ โดยทั่วไปกระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 2 ขั้นตอน คือ การคาร์บอนไนซ์ เป็นกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้ความร้อนทำให้สารระเหยแตกตัวและแทรกออกจากวัตถุดิบ ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่านชาร์ (Char) ส่วนที่หลุดออกมาคือ ก๊าซและน้ำมันทาร์ กระบวนการคาร์บอนไนซ์ เป็นการเพิ่มร้อยละของคาร์บอนให้สูงขึ้น การคาร์บอนไนซ์ทำให้ได้ถ่านที่มีคุณสมบัติที่ต้องการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งทำได้โดยการปรับสภาวะให้เหมาะสมโดยมีตัวแปรที่สำคัญดังนี้ อุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อน ขั้นตอนต่อมาคือ การกระตุ้นถ่านกัมมันต์เป็นการทำให้ผิวถ่านชาร์เกิดรูพรุนขนาดต่างๆ ด้วยสารกระตุ้นที่อาจเป็นได้ทั้งไอ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์หรือสารเคมี ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น

2.3.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆตามเกณฑ์ดังนี้

- แบ่งตามชนิดของการกระตุ้น ประกอบด้วย 2 ชนิด

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดกระตุ้นทางเคมี (Chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีการนี้มักเป็นถ่านที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ตัวกระตุ้นที่ใช้ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ และ โซเดียมคลอไรด์

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดกระตุ้นทางกายภาพ (physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ เช่น ไอ้ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ ร่วมกับความร้อน ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

- แบ่งตามขนาดรูพรุน ประกอบด้วย

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 นาโนเมตร ใช้ในการดูดก๊าซหรือสารระเหย

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดรูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 200 นาโนเมตร ใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาเชิงตัวเร่ง (Catalytic reaction) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ฟอสฟอรีน

3. ถ่านกัมมันต์ชนิดรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 200 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนผ่านไปยังรูพรุนขนาดเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอสฟอรีนและการผลิตยา

- แบ่งตามลักษณะของรูปร่างดังนี้

1. ประเภทผง (Powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นผงใช้สำหรับฟอสฟอรีนและดูดกลิ่นในของเหลว

2. ประเภทเกร็ด (Pellet) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่เกินกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นเม็ด ซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำให้เป็นเกร็ดใช้สำหรับทำก๊าซบริสุทธิ์ หรือทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์ นอกจากนี้ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาใน

กระบวนการที่มีปฏิกิริยาในสถานะก๊าซ และใช้ทำหน้ากักป้องกันก๊าซและไอพิษต่างๆ

3. ประเภทขึ้นรูปเป็นแท่ง (Extruded) ใช้ในเบดนิ่งเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนที่ต้องการอัตราการดูดซับสูงๆ ถ่านกัมมันต์ชนิดเกรด และขึ้นรูปเป็นแท่งมีการใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผง เนื่องจากนำกลับมาใช้ใหม่ได้

- แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

1. ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นต่ำ (น้อยกว่า 0.35 กรัม / มิลลิลิตร) ใช้ประโยชน์ในภาวะที่ไล่ลง ในสารละลายที่เกิดการกวน เช่น ฟอกสีน้ำตาลทรายหรือน้ำให้บริสุทธิ์

2. ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นสูง (มากกว่า 0.45 กรัม / มิลลิลิตร) ที่นิยมบรรจุในเบดนิ่งใช้ในการดูดซับก๊าซ หรือไอระเหยให้อัตราการดูดซับที่สูง

สำหรับกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของถ่านกัมมันต์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การฟื้นฟู ถ่านกัมมันต์จะทำได้เมื่อความสามารถการดูดซับของถ่านกัมมันต์มีค่าลดลง การฟื้นฟูทำได้โดยผ่านอากาศแห้งที่ร้อน หรือใช้สารละลายชะสารที่ถูกดูดซับหรือทำปฏิกิริยากับสารที่ถูกดูดซับ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการฟื้นฟูจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับต่ำกว่าถ่านกัมมันต์บริสุทธิ์

2.3.3 สมบัติวัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (ชราพงษ์ วิทิตสานต์. 2553)

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์จะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือได้จากการวิเคราะห์ วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมในประเทศไทย คือ ไม้ และกะลามะพร้าว เนื่องจากสามารถผลิตถ่านที่มีความสามารถในการดูดซับสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กมาก ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
- มีราคาถูก และหาง่าย
- มีคุณสมบัติคงที่

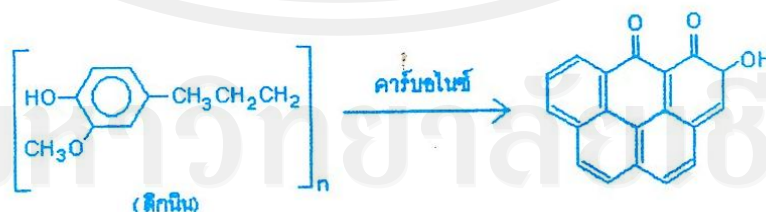
โดยสรุปวัตถุดิบที่มาจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรมีหลายชนิดที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้แต่ด้วยความแตกต่างขององค์ประกอบในวัตถุดิบจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีหลายชนิด การนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์จำเป็นต้องศึกษาหรือมีข้อมูลการผลิตวัตถุดิบดังกล่าวมาก่อน

2.3.4 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์ในเชิงอุตสาหกรรมมีขั้นตอนเริ่มต้นจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์และขั้นตอนการกระตุ้น แต่ละขั้นตอนมีการควบคุมตัวแปรที่เหมือนหรือแตกต่างกันไป การควบคุมตัวแปรต่างๆแต่ละขั้นตอน เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูง พร้อมกันนั้น ยังให้ผลที่ได้สูง ซึ่งรายละเอียดแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

1. การคาร์บอนไนซ์

กระบวนการคาร์บอนไนซ์ เป็นการไพโรไลซิสซึ่งเกิดในที่อับอากาศ เพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของอินทรีย์สาร ขณะเดียวกันก็ได้ผลผลิตอื่นที่เป็นของเหลวและก๊าซออกมาด้วย โดยโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือของชีวมวลที่เป็นวัตถุดิบกลายเป็นโครงสร้างของถ่านชาร์ ส่วนกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์ และก๊าซต่างๆ แสดงในภาพ 2.8 เมื่อใช้ความร้อนไล่ความชื้น และสารระเหยได้ต่างๆออกจากวัตถุดิบ ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่านชาร์ ส่วนที่หลุดออกมา คือ ก๊าซและน้ำมันทาร์ กระบวนการคาร์บอนไนซ์จึงเป็นการเพิ่มร้อยละของคาร์บอนให้สูงขึ้น



ภาพ 2.8 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไนซ์ (ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554)

ขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์จัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากในการคาร์บอนไนซ์เป็นขั้นตอนแรกของการสร้างรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้น โดยในระหว่างการคาร์บอนไนซ์ธาตุและองค์ประกอบต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่างๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำ ถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์ จากนั้นก็ได้ถ่านชาร์ซึ่งมีการจัดตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึก โดยมีสารอินทรีย์ที่เป็นทาร์ไปอุดช่องว่างเหล่านั้น ซึ่งในส่วนประกอบของถ่านถ่านชาร์ที่ได้จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนและคาร์บอนต่อออกซิเจน เพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในตอนแรกด้วย ขั้นตอนของกระบวนการคาร์บอนไนซ์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ (Jan Tobi, 1994 และ บุญชัย ตระกูลมหชัย, 2537)

1. ขั้นตอนการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบที่ช่วงอุณหภูมิ 27 ถึง 197 องศาเซลเซียส
2. ขั้นตอนเข้าสู่การไพโรไลซิสโดยเกิด ก๊าซและน้ำมันทาร์ในโครงสร้างที่ช่วงอุณหภูมิ 197 ถึง 497 องศาเซลเซียส
3. ขั้นตอนที่มีการเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านกัมมันต์ โดยในช่วงนี้ น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมากที่ช่วงอุณหภูมิ 497 ถึง 847 องศาเซลเซียส การคาร์บอนไนซ์เพื่อได้ถ่านที่มีสมบัติตามที่ต้องการทำได้โดยการปรับสภาวะให้เหมาะสม โดยมีตัวแปรสำคัญดังนี้

อุณหภูมิและเวลา

อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุด และเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดของการคาร์บอนไนซ์ คืออุณหภูมิเพิ่มขึ้น น้ำหนักถ่านชาร์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จะลดลง ส่วนน้ำมันและก๊าซที่ได้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น สมบัติของน้ำมันทาร์มีกลุ่มสารประกอบที่มีโครงสร้างเปลี่ยนไปด้วย เพราะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้น

อัตราการให้ความร้อน

อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อสมบัติของถ่านชาร์ และมีผลต่อปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหย การเพิ่มอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อย

อย่างรวดเร็วทำให้ถ่านที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เนื่องจากถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่กว่าเมื่อถ่านชาร์นี้ถูกกระตุ้น สารที่กระตุ้นสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่าย

ตัวกลางของปฏิกิริยาคาร์บอนไนซ์

ตัวกลางที่เป็นก๊าซมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาคาร์บอนไนซ์ เนื่องจากก๊าซและไอที่เกิดระหว่างคาร์บอนไนซ์จะถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยปกติก๊าซที่เป็นตัวกลาง เช่น ไนโตรเจน และก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ ถ้าใช้ตัวกลางเป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณถ่านที่ได้จะมีปริมาณน้อยกว่าก๊าซไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า

ธรรมชาติของวัตถุดิบ

วัตถุดิบแต่ละชนิดมีสถานะที่เหมาะสมแตกต่างกันไปในการคาร์บอนไนซ์โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพดีที่สุดและเหมาะสมกับการนำไปใช้ เช่น ถ้าวัตถุดิบเป็นลิกไนต์สถานะการคาร์บอนไนซ์จะทำที่อุณหภูมิต่ำ และเวลาน้อยกว่าการใช้วัตถุดิบเป็นกะลามะพร้าว

2. การกระตุ้น (ชราพงษ์ วิทิตสานต์, 2553)

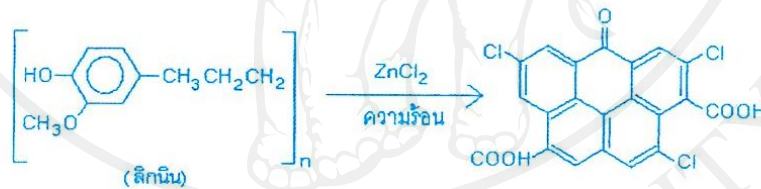
การกระตุ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโครงสร้างคาร์บอนด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น โดยการทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่นๆ ที่ผิวของถ่านกัมมันต์ปฏิกิริยาที่เกิดระหว่างการกระตุ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด เนื่องจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีหลายวิธี และประสิทธิภาพของการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะ และชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการเตรียมถ่านก่อนการกระตุ้น

โดยทั่วไปการผลิตถ่านกัมมันต์ ด้วยการกระตุ้นมี 2 วิธีดังนี้

1. นำวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้วมากระตุ้นโดยใช้สารกระตุ้นเช่น $ZnCl_2$, $CaCl_2$, H_3PO_4 วิธีนี้โดยทั่วไปเรียกว่า “การกระตุ้นทางเคมี”
2. นำวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้วมาทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ใช้ในการออกซิไดซ์ ซึ่งอาจเป็นไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจน วิธีนี้โดยทั่วไปเรียกว่า “การกระตุ้นทางกายภาพ”

1. การกระตุ้นทางเคมี

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน แสดงดังภาพ 2.9 โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ $ZnCl_2$, KOH หรือ H_3PO_4 เป็นต้น ข้อดีของวิธีนี้คือ ใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก (400 ถึง 600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสียคือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลา และค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออก รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ก็ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนของสารเคมีได้



ภาพ 2.9 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$ (ธราพงษ์ วิจิตสานต์, 2554)

ในการกระตุ้นทางเคมีมีวิธีการดำเนินการคือ นำวัตถุดิบที่เตรียมเป็นถ่านชาร์แล้วผสมกับสารเคมีที่ใช้เป็นตัวกระตุ้น และตามด้วยการให้ความร้อนในบรรยากาศก๊าซเฉื่อยแก่ถ่านชาร์ที่ผสมสารกระตุ้น เพื่อลดความชื้นและก่อให้เกิดรูพรุนที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังสามารถที่จะรวมขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์และการกระตุ้นเป็นขั้นตอนเดียวกัน โดยเริ่มต้นจากวัตถุดิบที่ไม่ผ่านการคาร์บอนไนซ์มาก่อน กระบวนการนี้มีข้อดีคือ สามารถกระทำได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าปกติ และทำให้เกิดรูพรุนที่ดีกว่า ถึงแม้ว่าสารเคมีมีผลต่อสภาวะแวดล้อม การเติมสารเคมีที่เป็นตัวกระตุ้นประเภท $ZnCl_2$ และ H_3PO_4 สามารถที่จะนำกลับคืนมาใช้ใหม่เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม กระบวนการที่

ประกอบไปด้วย การกระตุ้น 2 แบบ (ทางกายภาพ และทางเคมี) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดีและใช้กันแพร่หลาย ในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางการค้าโดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยทั่วไปจะใช้ซิงค์คลอไรด์ และกรดฟอสฟอริก โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากวิธีหนึ่ง โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดิบโดยใช้สภาวะที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิที่ต่ำในช่วงนี้มีผลอย่างมากต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ หลังจากนั้นจะนำไปทำการคาร์บอน-ไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 ถึง 850 องศาเซลเซียส ในกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรมคำนึงถึงประสิทธิภาพในการนำซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่เป็นอย่างมาก ด้วยประสิทธิภาพการนำซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่ที่ค่อนข้างจำกัด ประกอบกับปัญหาการกัดกร่อนต่อเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้การใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นในระยะหลังจึงลดลง

- กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

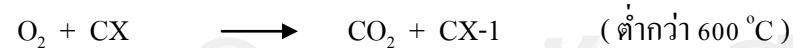
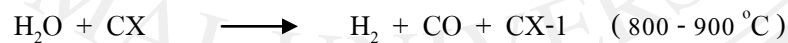
กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น จะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นค่อนข้างต่ำคือ 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส ซึ่งการใช้กรดฟอสฟอริกนั้นสามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยยังได้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูง กระบวนการกระตุ้นทางเคมีก็มีหลายกระบวนการที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะตัวกระตุ้นที่จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีขึ้น ซึ่งพบว่าตัวกระตุ้นที่สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงได้ดี เช่น KOH , AlCl_3 หรือ FeCl_3 นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้ คือ

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

อิทธิพลของปัจจัยดังกล่าวข้างต้น จะให้ผลเช่นเดียวกับการคาร์บอนไนซ์ กล่าวคือ อัตราส่วนของลิกนินต่อเซลลูโลสในวัตถุดิบที่สูงจะให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูง และจะทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กที่มีสัดส่วนที่สูงเช่นกัน อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบมีผลโดยตรงต่อการพัฒนาพื้นที่ผิวให้เกิดรูพรุน แต่อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบที่สูงเกินไปจะไม่เป็นผลดีต่อการกระตุ้น เพราะสารกระตุ้นที่มากเกินไปจะไปขัดขวางการปลดปล่อยสารระเหย และก๊าซที่เป็นผลจากการกระตุ้น ทำให้การพัฒนารูพรุนเกิดไปทั่วถึงทุกพื้นที่ผิว ปกติอัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบที่ใช้กันคิดเป็นสารกระตุ้นในช่วงร้อยละ 20 ถึง 50 โดยมวล อุณหภูมิที่สูง (มากกว่า 800 องศาเซลเซียส) และอัตราการให้ความร้อนที่สูง (มากกว่า 20 องศาเซลเซียส / นาที) จะช่วยให้เกิดการพัฒนารูพรุนที่มากกว่า 3 เท่า เมื่อเทียบกับใช้อุณหภูมิที่ 650 องศาเซลเซียส และอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียส / นาที

2. การกระตุ้นทางกายภาพ

เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุน และพื้นที่ผิวโดยปฏิกิริยาแก๊สเฟสเคชัน ด้วยก๊าซออกซิไดซ์ในช่วงอุณหภูมิ 700 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส ก๊าซที่ใช้โดยทั่วไป คือ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และอากาศ โดยอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือใช้ก๊าซผสมดังกล่าวก็ได้ ผลกระทบที่ได้จากขั้นตอนคาร์บอนไนซ์เป็นตัวดูดซับที่ยังไม่ดีต้องผ่านขั้นตอนการกระตุ้นเพื่อให้ได้ถ่านมีการดูดซับที่สูง โดยใช้การกระตุ้นซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างถ่านชาร์กับก๊าซเป็นตัวออกซิไดซ์ดังตัวอย่าง



ที่ผิวของคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แสดงดังภาพ 2.10 และภาพ 2.11 โดยการจัดเรียงตัวใหม่ในโครงสร้าง ซึ่งเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ปฏิกิริยาในการกระตุ้นนี้อาจใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้ความร้อนสูงถึง 1,200 องศาเซลเซียส และพบว่าถ่านกัม

มันต์ที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือไอน้ำกระตุ้นที่ความร้อนสูงเช่นกัน ข้อดีของการกระตุ้นด้วยวิธีนี้คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าวิธีกระตุ้นด้วยสารเคมี



ภาพ 2.10 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (ชราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554)



ภาพ 2.11 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นทางกายภาพโดยกำจัดฟีนอลและน้ำ (ชราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554)

การกระตุ้นทางกายภาพถือว่าการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ตามด้วยการกระตุ้นถ่านชาร์ที่อุณหภูมิสูงภายใต้ก๊าซออกซิไดซ์ที่เหมาะสม เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ หรือของผสมของก๊าซทั้งสาม ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยวิธีกระตุ้นทางกายภาพบางครั้งให้คุณภาพยังไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นตัวดูดซับ เพราะไม่สามารถควบคุมสมบัติของถ่านชาร์ให้คงที่ได้ สืบเนื่องวัตถุดิบมีสมบัติไม่แน่นอนสูงแปรเปลี่ยนตามฤดูกาลการเก็บเกี่ยว ดังนั้นจึงต้องใช้ในการปรับอัตราการป้อนก๊าซออกซิไดซ์ เพื่อลดการแปรเปลี่ยนนี้ตลอดเวลา นอกจากนี้ โครงสร้างรูพรุนของคาร์บอนของถ่านชาร์ จะแปรเปลี่ยนกับเวลาการกระตุ้น ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้น ดังนี้

1. โครงสร้างของคาร์บอนหรือถ่านชาร์ที่นำมากระตุ้น

ถ่านชาร์ที่ได้จากวัตถุดิบที่มีเนื้อแน่น เช่น กะลา ถ่านหิน เมื่อถูกกระตุ้นจะให้พื้นที่ผิวที่สูง และมีสัดส่วนของรูพรุนขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ถ่านชาร์ที่ได้จากวัตถุดิบที่มีเนื้อไม่แน่น เช่น เศษไม้ ชานอ้อย หรือแกลบ จะให้พื้นที่ผิวดำกว่า เนื่องจากขนาดรูพรุนที่ได้พัฒนาขึ้นส่วนใหญ่เป็นรูพรุนขนาดกลาง

2. ชนิดของก๊าซออกซิไดซ์ หรือตัวกระตุ้น

โดยทั่วไปในการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้ก๊าซออกซิไดซ์ เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ หรือไอน้ำ หรือของผสมของก๊าซทั้งสอง เพราะหาง่ายหรือผลิตได้ง่ายและราคาถูก โดยถ้าใช้ไอน้ำร้อนขวดยิ่งเป็นตัวกระตุ้นจะให้พื้นที่ผิวที่สูงกว่าการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากไอน้ำร้อนขวดยิ่งมีความสามารถทะลุทะลวงผ่านผิวด้านได้มากกว่าการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากไอน้ำร้อนขวดยิ่งมีความสามารถทะลุทะลวงผ่านผิวด้านได้มากกว่า จึงเกิดการพัฒนารูพรุนที่มากกว่าเช่นกัน ซึ่ง Rodriguez และคณะ (1992) ได้กล่าวเช่นกันว่า ที่ภาวะการกระตุ้นเดียวกัน ไอน้ำมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากน้ำมีโมเลกุลที่เล็กกว่า จึงสามารถแพร่เข้าไปในโครงสร้างรูพรุนได้ดีกว่า จึงเกิดปฏิกิริยากับผิวด้านเร็วกว่าด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Gerova (1992) กล่าวว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ไอน้ำจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 3 เท่า นอกจากนี้ยังมีการผสมอากาศเข้าไปกับคาร์บอนไดออกไซด์หรือไอน้ำ เพื่อช่วยให้เกิดปฏิกิริยาที่ผิวด้านได้เร็วขึ้น ปริมาณอากาศที่นิยมผสมอยู่ที่ไม่เกินร้อยละ 10

3. อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา

เมื่ออุณหภูมิของการกระตุ้นเพิ่มขึ้น ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง ทาร์ และสารระเหยที่อุดรูพรุนในถ่านจะหลุดออกไป ทำให้สารกระตุ้นสามารถแพร่เข้าไปในถ่านได้มากขึ้น และเมื่อถ่านนั้นถูกเผาไหม้บางส่วนจะกลายเป็นเถ้าไป นอกจากนี้ยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลมากกว่าการเปลี่ยนแปลงเวลา เพราะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแนวโน้มปริมาณผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงมากกว่าการเพิ่มเวลา การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้โครงสร้างของถ่านมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากการไล่สารระเหยออกไปและจากการที่สารกระตุ้นสามารถแพร่เข้าไปในโครงสร้างของถ่าน

ได้ง่ายขึ้น จึงทำให้มีการสร้างรูพรุนเพิ่ม ผลจากการมีรูพรุนเพิ่มจะทำให้ความหนาแน่นเชิงปริมาตรมีแนวโน้มลดลง

4. เวลาในการเกิดปฏิกิริยา

เมื่อเวลาในการกระตุ้นเพิ่มมากขึ้น ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงโดยตลอด เนื่องจากเมื่อเวลาการกระตุ้นมากขึ้นถ่านจะได้รับความร้อนมากขึ้นเช่นกัน ทำให้สารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างของถ่านหลุดออก ปริมาณสารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างในถ่านลดลง และเนื้อถ่านเกิดการเผาไหม้บางส่วนกับอากาศกลายเป็นเถ้า จึงเป็นสาเหตุให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ลดลง เวลาการกระตุ้นมากขึ้นทำให้เกิดพื้นที่ผิวหรือรูพรุนมากขึ้น เนื่องจากการที่มีเวลาการกระตุ้นมากขึ้นสารระเหยจะถูกกำจัดออกไปได้มาก และสารกระตุ้น เช่น คาร์บอน ไดออกไซด์หรือไอน้ำจะสามารถแพร่เข้าเนื้อถ่านได้มากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยากับผิวถ่านเกิดการขยายรูพรุนที่มีอยู่แล้ว และสร้างรูพรุนขึ้นใหม่ซึ่งจะช่วยให้ถ่านมีรูพรุนมากขึ้น

5. ขนาดอนุภาคของถ่านชาร์

จากการศึกษาและทดลอง (วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์, 2547) พบว่า เมื่อขนาดของอนุภาคของถ่านชาร์ที่มีขนาดระหว่าง 0.3 – 0.6 มิลลิเมตร ให้ทำการดูดซับไอโอดีน เท่ากับ 1,143 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าเท่ากับ 231 มิลลิกรัม/ลิตร พื้นที่ผิวเท่ากับ 893.76 ตารางเมตร/กรัม เมื่อขนาดอนุภาคมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.3 – 0.6 มิลลิเมตร เป็น 0.6 – 1.18 มิลลิเมตร แนวโน้มของค่าการดูดซับไอโอดีน เมทิลีนบลู และพื้นที่ผิวมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเป็น 1.18 – 2.36 มิลลิเมตร ค่าการดูดซับไอโอดีน, เมทิลีนบลู และพื้นที่ผิวมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย สาเหตุเนื่องเมื่อขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นทำให้ก๊าซกระตุ้นไหลและแพร่ผ่านช่องว่างในเบดของอนุภาคถ่านไปอย่างรวดเร็วกว่าเบดที่มีถ่านอนุภาคขนาดเล็ก เมื่อก๊าซผ่านไปเร็วเวลาที่ก๊าซสัมผัสกับผิวถ่านน้อยลงทำให้โครงสร้างของถ่านมีการพัฒนารูพรุนได้น้อย

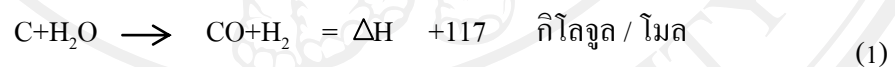
กลไกของการกระตุ้นอาจอธิบายได้จากการที่คาร์บอนทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกจากผิวของคาร์บอน ขณะเดียวกันก็เกิดปฏิกิริยาแก๊สฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่าน เป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านที่ได้จากการกระตุ้นประกอบด้วยรูพรุนเล็กๆ จำนวนมาก

เกิดจากช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้จะบรรจุด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อน และถูกขวางด้วยคาร์บอนอสัณฐาน การกระตุ้นจึงเป็นทั้งการเปิดรูพรุนที่ถูกปิด และการสร้างรูพรุนใหม่ขึ้นด้วย

- การกระตุ้นโดยวิธีทางกายภาพด้วยไอน้ำ

การกระตุ้นโดยวิธีทางกายภาพด้วยไอน้ำ ไอน้ำนั้นถือได้ว่าเป็นตัวกระตุ้นทางกายภาพที่มีการใช้กันมาก เนื่องจากโมเลกุลของน้ำนั้น มีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ และในการกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้นมีข้อดี คือ

1. โมเลกุลของน้ำจะแพร่เข้าไปได้อย่างรวดเร็วในโครงสร้างรูพรุน
2. เนื่องจากโมเลกุลที่เล็กจึงสามารถเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กได้
3. มีการเกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็ว โดยเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ถึงสามเท่าที่ภาวะความดัน 10 กิโลพาสคัลและอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส รูปแบบของปฏิกิริยาในการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำ คือ



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน และเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อน แต่โดยทั่วไปจะสมมติเป็นปฏิกิริยาแกซีฟิเคชันของถ่านชาร์ อาจเขียนอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แบบ Langmuir-Hinshellwood ได้ดังสมการที่ (2)

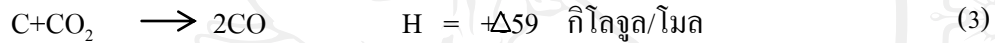
$$r = \frac{k_1 P_{\text{H}_2\text{O}}}{1 + k_2 P_{\text{H}_2\text{O}} + k_3 P_{\text{H}_2}} \quad (2)$$

ซึ่ง	P_{H_2O}	คือ	ความดันย่อยของไอน้ำ
	P_{H_2}	คือ	ความดันย่อยของไฮโดรเจน
	k_1, k_2, k_3	คือ	ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

อย่างไรก็ตามในปฏิกิริยาของการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จะมีปฏิกิริยายับยั้งเกิดขึ้น อันเกิดจากการมีไฮโดรเจนไปเกาะติดบนตำแหน่งที่ว่างไว้บนผิวของคาร์บอน ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงได้

- การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์

การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ มีกลไกในการเกิด คือ



ปฏิกิริยาดังกล่าว เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน เช่นเดียวกับไอน้ำ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังสมการที่ (4)

$$r = \frac{k_1 P_{CO_2}}{1 + k_2 P_{CO} + k_3 P_{CO_2}} \quad (4)$$

ซึ่ง	P_{CO_2}	คือ	ความดันย่อยของไอน้ำ
	P_{CO}	คือ	ความดันย่อยของไฮโดรเจน
	k_1, k_2, k_3	คือ	ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

ในปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 800 ถึง 900 องศาเซลเซียส ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยานั้น มีการศึกษากันอย่างมากมาย ในปฏิกิริยานี้มีการเกิดปฏิกิริยายับยั้งอันเกิดจากคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน โดยคาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดจากปฏิกิริยาดังสมการ



2.3.5 โครงสร้างถ่านกัมมันต์

การดูดซับ เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 ผิวใดๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับ เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) กลไกของกระบวนการดูดซับผิว (Adsorption) เป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กที่อยู่ในของเหลวให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กจะถูกดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับที่ผิวนี้อาจเป็นการดูดซับระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และของแข็ง โดยมีได้ทั้งแบบของก๊าซ-ของแข็ง และของเหลว-ของแข็ง ในการดูดซับที่ผิวโมเลกุลของสารละลาย หรือสารแขวนลอยสามารถกำจัดออกจากตัวทำละลาย และไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ติดอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากสารละลายไปหาตัวเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุล จึงหาค่า จลจล สมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในสารละลายเหลือน้อย เพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ การดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับ พิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเกิดจากพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ เรียกว่า ดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) การดูดซับทางกายภาพเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของ โมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของ โมเลกุลของสารถูกดูดซับ

ในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นเมื่อตัวถูกละลายทำปฏิกิริยาเคมีกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกละลายเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง ประมาณ 50 – 400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกละลายออกจากผิวตัวดูดซับจะทำให้ยาก คือ ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น ความจุของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (adsorption capacity) ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังต่อไปนี้

- พื้นที่ผิวทั้งหมด (Total surface area)
- โครงสร้างรูพรุนในเนื้อถ่านกัมมันต์
- การมีหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ต่างๆ บนพื้นผิวรูพรุนของถ่านกัมมันต์

นอกจากนี้ขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์เป็นสิ่งที่กำหนดความจุในการดูดซับ โครงสร้างทางเคมีที่ผิวถ่านกัมมันต์มีผลต่อสารที่ถูกดูดซับที่มีขั้ว หรือไม่มีขั้วและตำแหน่งที่วางไว้ บริเวณพื้นผิวถ่านกัมมันต์เป็นสิ่งที่กำหนดชนิดของปฏิกิริยาเคมีที่พื้นผิวถ่านกัมมันต์กับ โมเลกุลอื่น ดังนั้นการดูดซับของถ่านกัมมันต์มิได้แปรผันตามกับพื้นผิวอย่างเดียว เพราะถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นผิวเท่ากันแต่ได้จากวิธีการเตรียมหรือวิธีการกระตุ้นที่ต่างกันส่งผลให้ลักษณะการดูดซับ (Adsorption characteristics) ต่างกันได้ ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่ดี จึงควรมีพื้นผิวมาก และมีขนาดรูพรุนที่เหมาะสมกับองค์ประกอบของสารที่ถูกดูดซับ

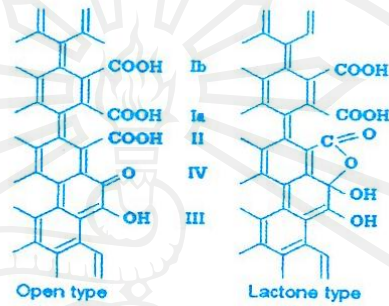
- โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เตรียมจากถ่านที่ได้จากการสลายสารอินทรีย์จากวัสดุทางเกษตรด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส หรือเรียกกระบวนการนี้อีกอย่างว่า กระบวนการ

คาร์บอนไนซ์ ในระหว่างการเผาผลาญอะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และ ไฮโดรเจน อะตอมเหล่านี้ถูกกำจัดออกมาในรูปก๊าซ อะตอมของคาร์บอนที่เหลืออยู่ในถ่านจะจัดเรียงเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นประกอบด้วย วงแหวนเหลี่ยม (Aromatic ring) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ และเกิดช่องว่าง หรือโพรงซึ่งเป็นที่อยู่ของพวกทาร์ และสารอื่นที่ได้จากการเผาผลาญ ช่องว่างเหล่านี้ กลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับ กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เกิดในขั้นตอนการกระตุ้น โดยมีการทำปฏิกิริยากันระหว่างคาร์บอน ทาร์ กับสารออกซิไดซ์ชนิดต่างๆ ทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรง และสร้างหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทนความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จึงเป็นผลสืบเนื่องจาก โครงสร้างทางเคมีของหมู่ฟังก์ชันความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระ ในวงโคจรนอกสุดมีไม่ครบ 2 หรือ 8 (Unsaturated valencies) ตามกฎออกเตต อิเล็กตรอนเหล่านี้ จึงพยายามที่จะยึดกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่น เช่น ออกซิเจนในอากาศ หรืออะตอมต่างๆที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้การเกาะกันของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นกลายเป็นพันธะเคมีที่แข็งแรง มักเกิดกับอะตอมที่อยู่ทีวอะไรเมติกส์ ทำให้ผิวถ่านสามารถดูดซับทางเคมี (Chemisorption) กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนเป็นออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส รวมทั้งสามารถดึงอะตอมของไนโตรเจนออกจากโมเลกุลของแอมโมเนีย ดึงอะตอมซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจนออกจากโมเลกุลฮาโลเจน ทั้งที่อยู่ในสภาพก๊าซหรือของเหลวก็ได้ เกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันต่างๆ บนผิวของถ่านกัมมันต์ที่สำคัญ คือ หมู่ฟังก์ชันนัลที่ผิวถ่านกัมมันต์ที่เกิดจากอะตอมคาร์บอนและออกซิเจน หรือที่เรียกว่า ผิวออกไซด์นั้น มี 2 ชนิด คือ

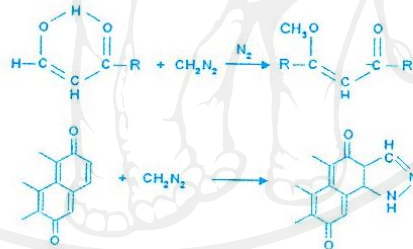
1. ชนิดเป็นกรด มักเกิดในถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิไม่สูงมาก หมู่ฟังก์ชันนัลที่เกาะอยู่บนผิวถ่านกัมมันต์จะมีสมบัติคล้ายกรด ได้แก่ คาบอนิล ฟีนอล แลคโตน อัลดีไฮด์ คีโตน คลิโนน ไฮโดรควิโนน และแอนไฮไดรด์ เป็นต้น แสดงภาพ 2.12 ผิวถ่านกัมมันต์ชนิดนี้สามารถดูดซับ โมเลกุลที่เป็นเบสได้ดี แสดงดังภาพ 2.13 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์เหล่านี้ค่อนข้างที่จะเสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิการกระตุ้นสูงกว่านี้เล็กน้อย จะสลายตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

และไอน้ำ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปมากเกิดสลายตัวเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนที่เรียกว่า ก๊าซสังเคราะห์



Surface oxides on carbon surface I : Carbonyl group, a. Removed by 200°C b. Removed above 325°C II : Carbonyl group which exists as lactol group III : Phenolic hydroxyl group IV : Carbonyl group

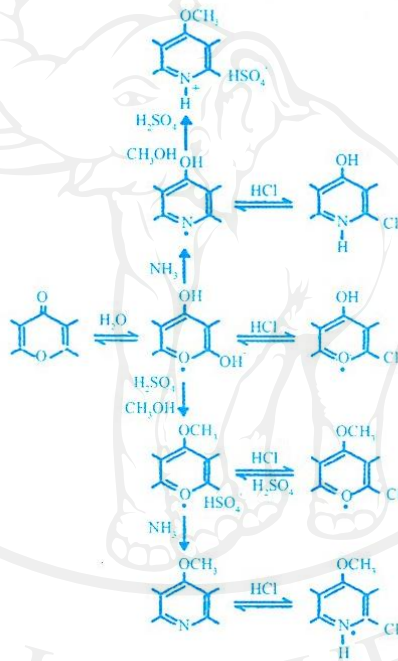
ภาพ 2.12 หมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดบนผิวถ่านกัมมันต์ (Nakamura, Fujimoto. 1996)



ภาพ 2.13 ปฏิกิริยาของถ่านกัมมันต์ที่ผิวเป็นกรด (Nakamura, Fujimoto. 1996)

2. ชนิดเป็นเบส เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 ถึง 900 องศาเซลเซียส หมู่ฟังก์ชันที่เกาะอยู่บนผิวถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับโมเลกุลของกรดได้ดี หมู่ฟังก์ชันนี้ได้แก่ ไฮดรอกซิล คาร์บอเนต เป็นต้น ตัวอย่างปฏิกิริยาการดูดซับกรดไฮโดรคลอริกของถ่านกัมมันต์แสดงในภาพ 2.14 นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อถ่านกัมมันต์เกิดจากการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาดูดซับออกซิเจนและกรดไฮโดรคลอริกเกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีผู้พยายามอธิบายโดยใช้ทฤษฎีต่างๆ เช่น ทฤษฎีกลุ่มโครเมิน (Chromene groups) ทฤษฎีออกไซด์ เป็นต้น แต่ปัจจุบันยังไม่เป็นที่ยอมรับ เชื่อกันว่าโมเลกุลของ

กรดจะถูกดูดซับด้วยแรงทางฟิสิกส์ โปรตอนและไอออนลบถูกยึดด้วยแรงดูดซับจากผิวของถ่านกัมมันต์ แต่โปรตอนถูกแรงกระทำมากกว่าจึงอยู่ที่ใกล้ผิวของถ่านกัมมันต์ แล้วเกิดการดูดซับไอออนลบเป็นขั้นที่สอง เมื่อนำถ่านกัมมันต์มากระตุ้นด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น พบว่า เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงร้อยละ 10 ของปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในถ่านกัมมันต์ จึงคาดว่าอะตอมที่อยู่ในถ่านกัมมันต์มี 2 แบบ คือแบบที่สลายตัวกลายเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และแบบที่สลายตัวไปเป็นสารอื่นที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

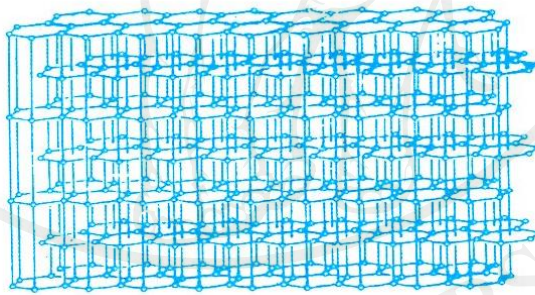


ภาพ 2.14 การดูดซับ โมเลกุลกรดด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผิวเป็นเบส (Nakamura, Fujimoto. (1996))

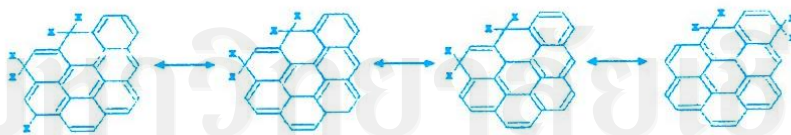
- โครงสร้างทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

ไม่มีหลักฐานที่แน่ชัดในการอธิบายโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ แต่มีความพยายามที่จะโยงโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ด้วยคำอธิบายของการยึดเกาะกันของคาร์บอนตามโครงสร้างของแกรไฟต์ และอีกแนวความคิดที่ไม่คิดว่าโครงสร้างถ่านกัมมันต์จะมีการเรียงตัวของคาร์บอนเหมือนแกรไฟต์ แต่เป็นการจัดเรียงตัวเป็นผลึกเล็กๆ โดยแต่ละทฤษฎีมีรายละเอียดเพิ่มเติม ดังนี้

โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (Johns Mitchell, M. Marshall, E. Wayne and Christopher A. Toles. 1999) มีลักษณะเป็นกลุ่มของคาร์บอน ซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ กล่าวคือ อะตอมของคาร์บอนเรียงตัวเป็นชั้นๆ แสดงดังภาพ 2.15 แต่ละชั้นห่างกันประมาณ 0.335 นาโนเมตร มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นด้วยแรงแวนเดอวาล์ ซึ่งเป็นแรงที่ไม่ค่อยแข็งแรง แต่ละชั้นประกอบไปด้วยกลุ่มอะตอมข้างเคียง 3 อะตอม ความยาวพันธะระหว่างอะตอมภายในชั้น ประมาณ 0.144 นาโนเมตร อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งตัวเป็นอิเล็กตรอนที่ใช้ในการสร้างพันธะที่ไม่อิ่มตัว คือ พันธะคู่ แต่โดยทั่วไปถ่านหรือถ่านกัมมันต์จะมีอิเล็กตรอนไม่ครบคู่ อะตอมคาร์บอนบางตัวต้องรับอิเล็กตรอนดังกล่าวไว้ ทำให้มีความหนาแน่นประจุสูง อะตอมดังกล่าวปล่อยให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังอะตอมข้างเคียง เพื่อลดความหนาแน่นของประจุแสดงดังภาพ 2.16 เพื่อให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงทำให้ที่ผิวรูพรุนมีความสามารถในการดูดซับสารอื่นด้วยประจุที่มีความหนาแน่นสูง

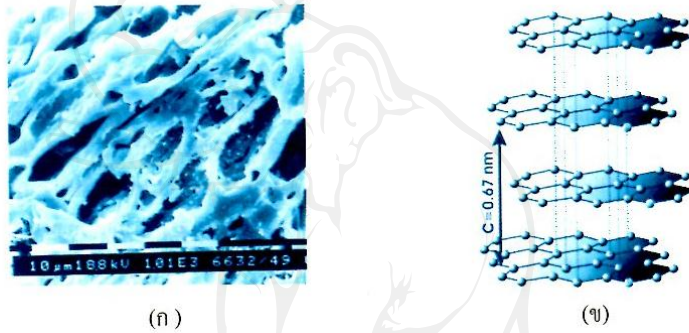


ภาพ 2.15 โครงสร้างแกรไฟต์ (Faust and Aly, 1987)



ภาพ 2.16 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในโครงสร้างของถ่านและถ่านกัมมันต์ (Taghle et al, 1999)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์แตกต่างจากแกรไฟต์ โดยมีโครงสร้างเป็นผลึกที่เล็กมาก (Microcrystallites) มีคาร์บอนประกอบกันเป็นวงหกเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนที่สร้างผลึกเล็กๆ มีขนาดประมาณ 150 อังสตรอม และระยะห่างระหว่างผลึกเล็กๆนี้เท่ากับ 20 – 50 อังสตรอม ดังแสดงในภาพ 2.17 ผลึกเล็กๆเหล่านี้จัดเรียงตัวกันทำให้เกิดรูพรุนทั่วไปบนผิวถ่านกัมมันต์ และรูพรุนขนาดเล็กที่เกิดมีความสามารถดูดซับสารอื่นสูง

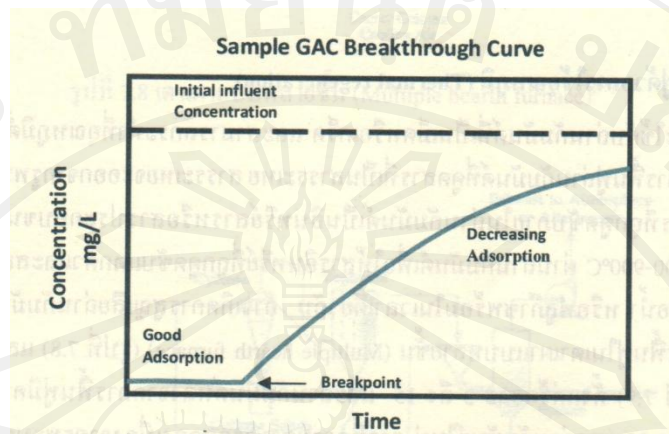


ภาพ 2.17 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ (ชราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554)

(ก) มุมมองผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ข) มุมมองสัญลักษณ์ของแกรไฟต์

2.3.6 การฟื้นฟูถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานในการดูดซับสารปนเปื้อนต่างๆ เมื่อถ่านกัมมันต์ถูกใช้งานไปนานรูพรุนของถ่านกัมมันต์จะถูกอุดตันไปด้วยสารปนเปื้อนที่ต้องการการดูดซับ ทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง ความสามารถในการดูดซับสามารถดูได้จาก Breakthrough curve ของการดูดซับที่เขียนกราฟระหว่าง ความเข้มข้นของการดูดซับกับเวลาแสดงดังภาพ 2.18



ภาพ 2.18 Breakthrough curve ของการดูดซับ (Allen. (1995))

ถ้ามีข้อมูลพื้นฐานของ Breakthrough curve ของสารดูดซับก็สามารถทำนายเวลาที่จะต้องทำการฟื้นฟูถ่านกัมมันต์ เพื่อให้ประสิทธิภาพการดูดซับกลับมาเหมือนเดิม การฟื้นฟูถ่านกัมมันต์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านกัมมันต์ที่นำไปใช้ และขนาดของถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ อีกหลายประการ การฟื้นฟูถ่านกัมมันต์ที่นิยมใช้กันมี 4 วิธีคือ

1. วิธีฟื้นฟูด้วยไอน้ำ (Steam regeneration)

ใช้ฟื้นฟูถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับสารระเหย เช่น เบนซีน โทลูอิน เป็นต้น สารระเหยเหล่านี้มีจุดเดือดต่ำระเหยและถูกพาออกมาจากรูพรุนภายในถ่านกัมมันต์ได้ง่าย โดยสารระเหยจะได้รับความร้อนจากไอน้ำที่ใช้เป็นไอน้ำร้อนขวดยั้ง

2. วิธีฟื้นฟูด้วยสารเคมี (Chemical regeneration)

การฟื้นฟูด้วยการใช้สารเคมีประเภทตัวออกซิไดซ์ เช่น เปอร์แมงกานेट การฟื้นฟูจะกระทำที่อุณหภูมิห้อง แต่การฟื้นฟูด้วยวิธีนี้ยังไม่ได้ถูกประยุกต์ใช้กันมาก เนื่องจากตัวออกซิไดซ์แพร่เข้าไปในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เดิมไปด้วยสารที่ถูกดูดซับได้ยาก การฟื้นฟูจึงไม่มีประสิทธิภาพมากนักในการกำจัดสารที่ถูกดูดซับ

3. วิธีฟื้นฟูด้วยการใช้จุลินทรีย์ (Biological regeneration)

ปกติใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารต่างๆ ที่ถูกดูดซับในถ่านกัมมันต์ของกระบวนการเตรียมน้ำดื่มหรือบำบัดน้ำเสียที่สารถูกดูดซับเป็นอินทรีย์สารด้วยกัน แต่ไม่สามารถกำจัดสารที่ไม่เป็นสารอินทรีย์

จึงต้องฟื้นฟูด้วยวิธีอื่นๆควบคู่กันไป การฟื้นฟูจะกระทำที่อุณหภูมิห้อง โดยผ่านน้ำ และออกซิเจนจากอากาศควบคู่กันไป

4. วิธีฟื้นฟูด้วยการใช้อุณหภูมิ (Thermal regeneration)

วิธีนี้มักจะใช้กับถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดหรือชนิดเกร็ด และสามารถกระทำที่อุณหภูมิต่ำที่อยู่ระหว่าง 150 – 200 องศาเซลเซียส สำหรับการฟื้นฟูถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับสารที่เป็นสารระเหย สารระเหยจะออกจากรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ง่าย สำหรับสารที่ถูกดูดซับภายในถ่านกัมมันต์เป็นสารอินทรีย์หรือสารประกอบขนาดใหญ่ โดยทั่วไปจะใช้ความร้อนประมาณ 700 – 900 องศาเซลเซียสผ่านถ่านกัมมันต์ เพื่อให้สารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับแตกตัว และสลายเป็นก๊าซออกมา บางครั้งอาจเป็นไอน้ำหรือทั้งสองอย่างพร้อมกัน

การใช้ประโยชน์จากถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสารเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์ หรือเพื่อกำจัดโลหะหนัก หรือสารพิษออกจากระบบน้ำทิ้ง มีการใช้กันอย่างแพร่หลายมานาน นอกจากนี้รูปแบบของถ่านกัมมันต์ที่เป็นชนิดผง ชนิดเกร็ด และอื่นๆ แต่ละแบบสามารถนำไปใช้ในกระบวนการดูดซับที่แตกต่างกันไป เช่น ถ้าใช้ในการบำบัดน้ำเพื่อผลิตน้ำประปาจะใช้ชนิดผง หรือใช้ในเครื่องกรองน้ำภายในอาคารจะใช้ชนิดเกร็ด เป็นต้น เมื่อถ่านกัมมันต์ถูกใช้งานจนความสามารถในการดูดซับลดลง การฟื้นฟูถ่านกัมมันต์ให้กลับมาใช้ใหม่เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหาถ่านกัมมันต์ใหม่มาทดแทน แต่การฟื้นฟูถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วก็มีข้อจำกัด ถ้าการใช้งานในการดูดซับเป็นแบบการดูดซับทางกายภาพ การฟื้นฟูจะทำได้ง่ายตามวิธีที่ได้เสนอ แต่ถ้าการดูดซับทางเคมีจะยากแก่การฟื้นฟู ดังนั้นการใช้ถ่านกัมมันต์แต่ละแบบดังกล่าวจึงต้องคำนึงถึง อัตราการดูดซับ ราคาของถ่านกัมมันต์ที่เลือกใช้ และค่าใช้จ่ายการฟื้นฟูประกอบกัน

2.3.7 การใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์

การใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์ โดยแบ่งตามลักษณะรูปร่าง คือ 1) ชนิดผงละเอียด ซึ่งสามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี แต่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และ 2) ชนิดเม็ดหรือเกล็ด ซึ่งจะสามารถนำกลับมาใช้ในครั้งต่อไปได้ โดยถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด สามารถนำมาใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันไปในหลายอุตสาหกรรม จำแนกได้ดังนี้

1) ชนิดที่เป็นผงละเอียด นำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลาย หรือของเหลว
ได้แก่

- อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล ใช้ในการฟอกสี และทำให้น้ำตาลบริสุทธิ์ขึ้น
- อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชสำหรับการบริโภค ใช้ในการฟอกสี และทำให้มีรสดี
ขึ้น
- อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในการฟอกสี และดูกลิ่น
- อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม และแอลกอฮอล์ เช่น วิสกี้ ไวน์ น้ำอัดลม ใช้ในการดูกลิ่น
และทำให้รสชาติดีขึ้น
- อุตสาหกรรมทำน้ำให้บริสุทธิ์ เช่น น้ำดื่ม น้ำประปา

2) ชนิดที่เป็นเม็ด หรือเกล็ด ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ หรือการ
ทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์ขึ้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น

- อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ใช้ในการดูดก๊าซต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย
- อุตสาหกรรมการทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้กันโดยทั่วไป และในด้านการ
ทหาร เพื่อการดูดซับก๊าซพิษและไอของสารพิษ
- อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้
ใหม่ เพื่อดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของไออ
ระเหยต่ำๆ เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมโพลีเอทิลีน อุตสาหกรรมการพิมพ์
 เป็นต้น
- อุตสาหกรรมการผลิตบิวทไอรอล หรือ เพื่อกองก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และน้ำ
มันดิน (tar) โดยนำถ่านกัมมันต์มาไว้ที่ก้นกรอง