

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปของคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous carbon) ชนิดหนึ่ง แต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการกระตุ้น (Activation) ซึ่งจะทำให้พื้นผิวภายใน (Internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนเป็นจำนวนมาก แต่ถ้าหากศึกษาด้วย เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและเบี่ยงเบนของรังสี เอ็กซ์เมื่อกระทบวัตถุ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึก (Crystallites) อยู่บ้าง แต่มีข้อบกพร่องไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์ จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านหินลิกไนท์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือแกรไฟต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดติดผิวสูงอันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดติดผิวสูง ผิวมีโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (Microporous structure) และมีความว่องไวในการดูดติดผิวสูง

โดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้ว แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้า และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซะโกนัล (Hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าสารดูดติดผิวอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (Silica gel) จึงทำให้ดูดติดผิวสารได้มากกว่า (เพียรพรรค ทศคร, 2535)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากเท่าที่จะมากได้ รูพรุนหรือโพรงนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 \AA ถึง $20,000 \text{ \AA}$ การที่คาร์บอนต้องมีพื้นที่ผิวสูงก็เพื่อให้สามารถดูดโมเลกุลจำนวนมากๆ มาเกาะติดที่ผิวได้ ดังนั้นพื้นที่ผิวสูงจึงมีความสามารถในการดูดติดผิว (Adsorptive capacity) สูงตามไปด้วย การวัดพื้นที่ผิวของคาร์บอนกระทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกคาร์บอนดูดเก็บไว้ วิธีวัดสมรรถนะของคาร์บอนอาจกระทำได้โดยการวัด Iodine Number ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของคาร์บอน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดติดผิว (Size and surface area) ลักษณะของสารถูกดูดติดผิว (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 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง หมายถึง ปริมาณถ่านที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก ส่วนถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดหมายถึง ปริมาณถ่านที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปัจจุบันถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมทั้งอุตสาหกรรมทำน้ำกากป้องกันก๊าซพิษ กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ กำจัดสารออร์แกนิกซัลเฟอร์จากโรงงานอุตสาหกรรม หรือกำจัดกลิ่นในอากาศ เป็นต้น

2.1.1 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์ซึ่งแบ่งตามเกณฑ์ต่างๆ คือ (เกศรา นุตาลัย และคณะ, 2531)

1) แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- เคมี (Chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่
- ฟิสิกส์ (Physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

2) แบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวคาร์บอน

- ขนาดเล็ก (Micropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดก๊าซหรือไอระเหย
- ขนาดกลาง (Transitional pores or Mesopores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 15 – 100 นาโนเมตร มักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reaction)
- ขนาดใหญ่ (Macropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร มักใช้ในการฟอกสีและการผลิตยา

3) แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้

- ความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำให้น้ำบริสุทธิ์ ฯลฯ
- ความหนาแน่นสูง ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดก๊าซพิษหรือไอระเหย

4) แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดติดผิว

- ก๊าซ (Gas adsorbents) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดก๊าซพิษและไอสารอินทรีย์ 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 ซึ่งจะมีผลทำให้คุณสมบัติการดูดติดผิวแตกต่างกันไป ถ่านกัมมันต์ชนิดผงนี้นิยมใช้สำหรับการดูดสีในสภาวะที่เป็นของเหลวโดยทั่วไปมีขนาด 5 – 100 ไมโครเมตร
- ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon) ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ด หรือแบบผงทำให้เป็นเม็ดโดยการเติมตัวประสาน (Binding agent) ตัวอย่างเช่น ทาร์ (Tar) แล้วนำมาอัดเป็นเม็ด วัตถุดิบที่นิยมทำถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ได้แก่ วัตถุดิบที่ค่อนข้างแข็งและมีความหนาแน่นสูง เช่น กะลามะพร้าว ถ่านหิน ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ในการดูดกลิ่น ก๊าซพิษ และไอของสารละลายอินทรีย์

2.1.2 การผลิตถ่านกัมมันต์ (Producing of activated carbon)

ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ลักษณะและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้ คือ ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ คาร์บอนไนซ์เซชัน และแอคติเวชัน

2.1.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์ สามารถผลิตจากวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ชี้อเลื่อย กะลามะพร้าว แกลบ เปลือกถั่ว เมล็ดผลไม้ ยาง พลาสติก ถ่านหิน และพีท ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรงหรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ขึ้นอยู่กับการผลิต แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอนไนซ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาร์บอนไนซ์

แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความแข็งและเหนียว ทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก ก็อาจนำวัตถุดิบนั้นไปคาร์บอนไนซ์ก่อน แล้วจึงนำมาบดคัขนาดก็ได้ (บุญชัย ตระกูลมหชัย, 2536)

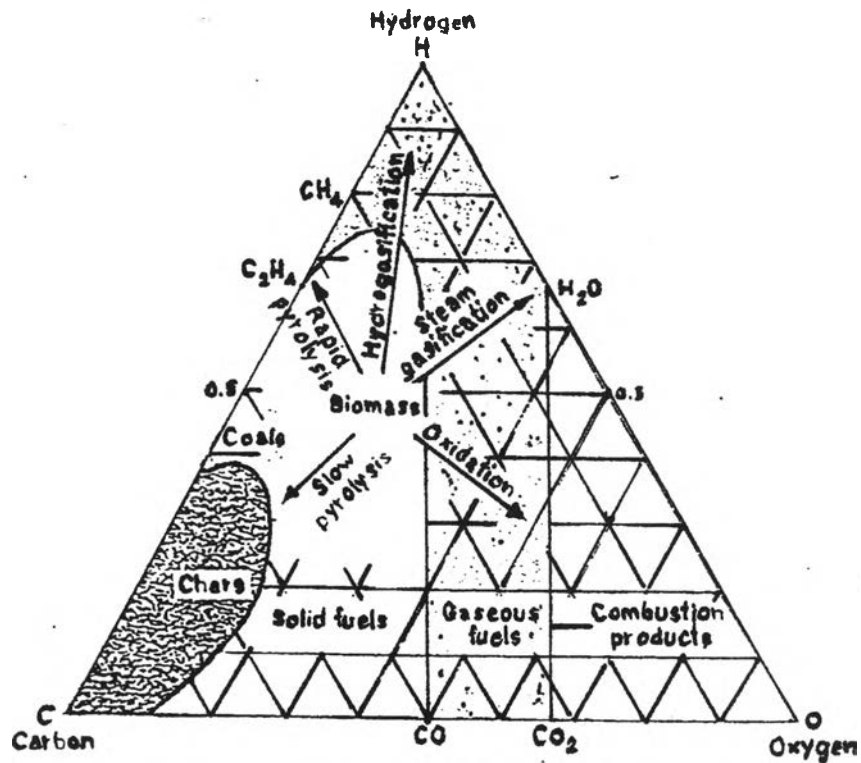
สำหรับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผง อาจนำมาทำให้เป็นเม็ดโดยใช้ตัวประสาน เช่น แป้ง น้ำมันเตา หรือทาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชันแล้วนำไปอัดเป็นเม็ดก่อนที่คาร์บอนไนซ์เป็นขั้นตอนต่อไป

2.1.2.2 การคาร์บอนไนซ์เซชัน (Carbonization)

การคาร์บอนไนซ์เซชัน (Carbonization) เป็นกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) รูปแบบหนึ่งที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของชาร์ (Char) ที่เป็นของแข็งมากกว่าน้ำมันทาร์ (Tar) และก๊าซ อาจกล่าวได้ว่าการคาร์บอนไนซ์เป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้น ทำได้ง่ายๆ โดยการเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 200 – 500 องศาเซลเซียส

ปฏิกิริยาไพโรไลซิสต้องการความร้อนทั้งตรงและทางอ้อมที่ได้จากการออกซิเดชันเพียงบางส่วน หรือจากปฏิกิริยาอื่นๆที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการสลายตัวทางความร้อนในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อย หรือในที่มีการถ่ายเทความร้อนให้เกิดการไพโรไลซิสโดยตรงจากการเผาไหม้บางส่วนของชาร์และก๊าซ เรียกได้ว่าเป็น กระบวนการไพโรไลซิส (Kohan and Barkhordor, 1979)

กระบวนการแปรรูปโดยความร้อน ได้แก่ ไพโรไลซิส ก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) และการเผาไหม้ โดยแผนภาพอธิบายกระบวนการเหล่านี้ไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะแสดงดังรูปที่ 2.1



ที่มา : Probstien และ Hick (1985)

รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของชีวมวล

Kohan และ Barkhordor ได้ให้คำนิยามกว้างๆ ของกระบวนการไพโรไลซิส กล่าวคือ เป็นเทคโนโลยีที่วัตถุดิบประกอบด้วยคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เกิดการสลายตัวทางความร้อน โดยมีอาณาเขตอย่างน้อยหนึ่งอาณาเขตที่เกิดการสลายตัวทางความร้อนในที่ที่ไม่มีออกซิเจนและได้อธิบายถึงความแตกต่างของวิธีการไพโรไลซิส ก๊าซซิฟิเคชันและการเผาไหม้ว่า พื้นฐานของกระบวนการเหล่านั้น คือ ปริมาณอากาศที่ใช้มีส่วนสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อเพลิง

ไพโรไลซิสโซน เป็นส่วนที่มีอากาศน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของอากาศที่ใช้ทางทฤษฎี การเผาไหม้อากาศระหว่าง 25 - 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นส่วนก๊าซซิฟิเคชัน และส่วนของการเผาไหม้มีอากาศตั้งแต่ 100 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

การไพโรไลซิสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การไพโรไลซิสแบบช้า และแบบรวดเร็ว การไพโรไลซิสแบบช้าจะเกิดสมดุลในบริเวณช่วงแคบ (Local equilibrium) โดยอัตราการให้ความร้อนจะช้าพอที่จะทำให้เกิดความสมดุลตามอุณหภูมิ ในกรณีนี้ปริมาณและการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์

จะขึ้นอยู่กับแนวของอุณหภูมิเดิม (Temperature history) ส่วนการไพโรไลซิสแบบรวดเร็วจะไม่คำนึงถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงการให้ความร้อนแต่การไพโรไลซิสจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ของช่วงอุณหภูมิสุดท้าย

คาร์บอนไนซ์เซชันเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เพราะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของโครงสร้างที่เป็นรูพรุน โดยทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน (เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน) ออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของถ่านชาร์ ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์เซชัน ควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- มีสีดำตลอด (Uniformly black)
- เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา (Shiny surface)
- ปลายที่หักจะแหลมคม (Sharp)
- ปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า

ถ่านชาร์ที่ได้จากขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์เซชันนี้มีความสามารถในการดูดติดผิวมาก เพราะว่าการทำให้เกิดถ่านชาร์จะใช้อุณหภูมิประมาณ 400 – 500 องศาเซลเซียส ซึ่งยังคงมีน้ำมันหาคักค้างอยู่ภายในช่องว่าง (Pore) หรือเกาะอยู่ตามผิว จึงจำเป็นต้องนำถ่านนี้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดติดผิว ดังนั้นการกระตุ้นเป็นเพียงกระบวนการพัฒนาโครงสร้างไปในทิศทางเดียวกับการคาร์บอนไนซ์เซชันเท่านั้น

2.1.2.3 การกระตุ้น (Activation)

การกระตุ้น (Activation) คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดติดผิวสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น

Mukherjee et al. (1947) ได้พิจารณาความหมายของการกระตุ้นไว้เป็น 3 ความหมาย คือ

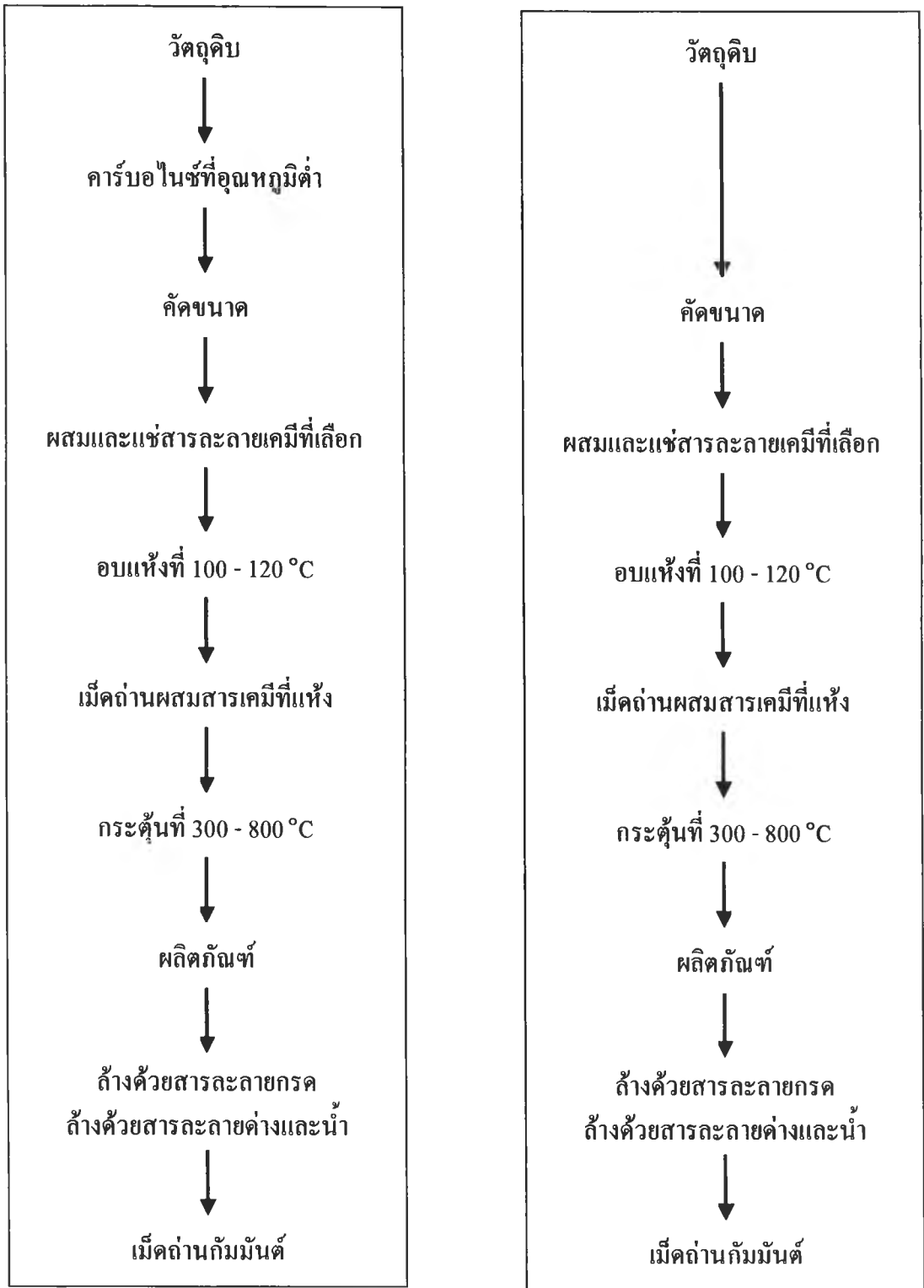
- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active surface area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดติดผิวขึ้นมาแทน
- เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดติดผิวให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้นโดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ ให้มีความว่องไวในการดูดติดผิวสูงขึ้น
- เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดติดผิว (Active centers)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากว่าวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี และประสิทธิภาพในการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบ รวมถึงวิธีการอื่นๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ

1) วิธีกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) นอกจากนั้นยังมี แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น ส่วนขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีแสดงดังรูปที่ 2.2 ข้อดีของวิธีนี้คือใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก (400 – 600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสีย คือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออกเพิ่มขึ้น รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ก็ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

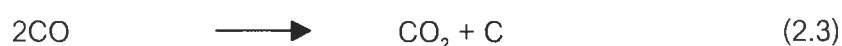
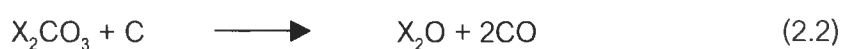
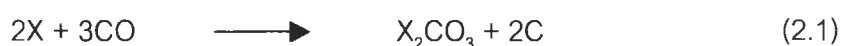
ตารางที่ 2.1 สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการกระตุ้นด้วยวิธีการเคมี

สารเคมี	สูตรเคมี
กรดบอริก	H_3BO_3
แคลเซียมคลอไรด์	$CaCl_2$
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	$CaOH$
แคลเซียมฟอสเฟต	$(Ca(PO_3)_2)$
ไซยาไนด์	CN^-
ปูนโดโลไมต์	$(CaMg(CO_3)_2)$
เฟอริกคลอไรด์	$FeCl_2$
กรดฟอสฟอริก	H_3PO_4
โปตัสเซียมซัลไฟด์	K_2S
โปตัสเซียมไฮโอไซยาเนต	$K_2S_2O_3$
แมงกานีสคลอไรด์	$MnCl_2$
แมงกานีสซัลเฟต	$MnSO_3$
กรดไนตริก	HNO_3
โซเดียมไฮดรอกไซด์	$NaOH$
โซเดียมซัลเฟต	$NaSO_4$
กรดซัลฟูริก	H_2SO_4
ซิงค์คลอไรด์	$ZnCl_2$

ที่มา : Yehaskel (1978)

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

ปฏิกิริยาที่เกิดในการกระตุ้นด้วยสารประกอบของโซเดียม มีดังนี้



โดยที่ X คือ Na^+

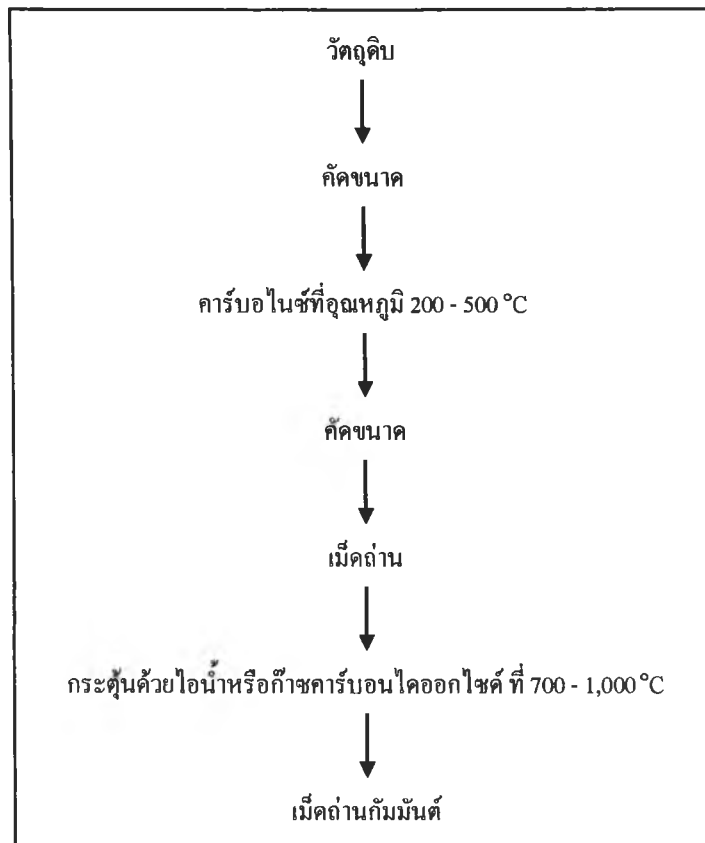
2) วิธีกระตุ้นทางฟิสิกส์ (Physical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ฯลฯ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้ก๊าซออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น ไอน้ำ อิมิตัวยิ่งยวด 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) ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ อิมิตัวยิ่งยวด แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซออกซิไดซ์

กระบวนการกระตุ้น คาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เป็น คาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกจากผิวของคาร์บอนเกิดก๊าซซิฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุนขึ้นใน โครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก เกิดจากช่องว่าง ระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกรวูไว้ด้วยทาร์ที่เกิดจากการ สลายตัวด้วยความร้อนและถูกขวางด้วยอะมอฟิสคาร์บอน การกระตุ้นจึงเป็นการเปิดรูที่ถูกปิดและ สร้างรูใหม่ขึ้นมาด้วย

การกระตุ้นในหลายตัวอย่างของถ่านชาร์ พบว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำให้ผล ดีกว่าการกระตุ้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่ากระตุ้นด้วย อากาศ การกระตุ้นด้วยไอน้ำจะต้องใช้อุณหภูมิสูงพอที่จะให้เกิดการออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว แต่ไม่ควรเกิน 1,000 องศาเซลเซียส เพราะจะลดคุณสมบัติการดูดติดผิว การกระตุ้นด้วยก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ ใช้อุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส ส่วนการกระตุ้นด้วยอากาศ ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ตัวทำปฏิกิริยาจะถูกส่งเข้ามาอบผิวของอนุภาคและแพร่เข้าไปในรู ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงขึ้นกับความเข้มข้นของตัวออกซิไดซ์ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิก็นับปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิต่ำอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างคาร์บอนกับตัวออกซิไดซ์จะต่ำ เป็นผลให้ได้รูพรุนที่ต้องการซ้ำที่อุณหภูมิต่ำสูงเกินกว่าอัตราการแพร่ของตัวออกซิไดซ์เข้าไปในอนุภาค ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดที่ผิวของอนุภาคทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนโดยไม่ทำให้เกิดรูพรุน

อัตราเร็วของกระบวนการออกซิเดชัน ถูกกำหนดโดยความว่องไวในการทำปฏิกิริยาของถ่านกับตัวออกซิไดซ์ ถ้าความว่องไวสูงก็จะทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่ำ พบว่าถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนท์ ถ่านหินบิทูมินัส ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนท์ แอนทราไซต์ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการออกซิไดซ์ของคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และออกซิเจน พบว่าออกซิเจนจะมีความสามารถสูงที่สุด โดยที่คาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถต่ำที่สุด

2.1.3 โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.1.3.1 ลักษณะและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์นั้นมีโครงสร้างเช่นเดียวกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกแกรไฟต์ ประกอบไปด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของเบนซีนริง (Benzene ring) หรือกลุ่มของอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม นั่นคือแต่ละอะตอมจะเกิดพันธะเดียวกับอีก 3 อะตอม ในแผ่นราบ (Plane) ในลักษณะสมมาตรกัน อิเล็กตรอนที่ใช้ในการเกิดพันธะนี้เป็นซิกมาอิเล็กตรอน ความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 1.442 อังสตรอม อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นไพอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปทั่วโครงสร้างเกิดเป็นเรโซแนนซ์ (Resonance) เพื่อให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) แต่ละแผ่นราบห่างกัน 3.354 อังสตรอม ดิสเพลสเมนต์ (Displacement) ในทิศทางขนานกับแผ่น (Layer) จะเกิดง่ายเพราะแรงยึดเหนี่ยวแวนเดอร์วาลส์อ่อน ดังนั้นจะเกิดข้อบกพร่อง (Defect) ในโครงสร้าง ณ จุดนี้ได้ง่าย

เมื่อศึกษาด้วยวิธีเอกซเรย์ดิฟแฟกชันพบว่าถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นผลึกเล็กๆ ที่ไม่สมบูรณ์เกิดการเบี่ยงเบนในแนวฉาก และซ้อนเหลื่อมกันในแนวระนาบ เรียกว่า

เทอร์โบสแตติกสแต็คเจอร์ (Turbostatic structure) การจัดเรียงตัวของผลึกเล็กๆ จะมีทิศทางไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการคาร์บอนไนซ์ ผลึกเล็กๆ นี้มักมีความสูง 9 – 12 อังสตรอม กว้าง (เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัด) ประมาณ 20 – 30 อังสตรอม ประกอบด้วย 3 แผ่นระนาบของชั้นแกรไฟต์ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 เท่า ของความกว้างของอะตอมคาร์บอนรูป 6 เหลี่ยม

2.1.3.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์มีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนระหว่างช่องระหว่างผลึกของคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดผิว การกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้มีความพรุนไม่ใช่ขนาดของรูใหญ่

เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ จะพบว่า มีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน บางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางครั้งเป็นรูปตัววี Dubinin (1966) ได้ทำการทดลองเตรียมถ่านกัมมันต์จากพีท และซีเลียมด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่า ลักษณะของรูที่เกิดขึ้นเป็นรูคอแคบคล้ายคอขวด หรือที่เรียกว่า อิงค์บอทเทิล (Ink-bottle)

Dubinin (1966) ได้จำแนกชนิดของรูพรุนตามขนาดรัศมีของรูพรุนออกเป็น

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

2) มีโซพอร์ (Mesopores) หรือทรานซิชันนัลพอร์ (Transitional pores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 15 – 2,000 อังสตรอม ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1 – 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20 – 100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดติดผิวที่มีขนาดของรูเป็นมีโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล (Silica gels) อะลูมินาเจล (Alumina gels) อะมิโนซิลิเกตคะตะลิสต์ (Aminosilicate catalyst)

3) ไมโครพอร์ (Micropores) ขนาดรัศมีรูน้อยกว่า 15 – 16 อังสตรอม ปริมาตร 0.2 – 0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะมาก หลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดติดผิว เนื่องจากพื้นที่การดูดติดผิวและพลังงานดูดติดผิว (Adsorption energy) มากที่สุด ทำให้การดูดติดผิวเพิ่มขึ้นมาก

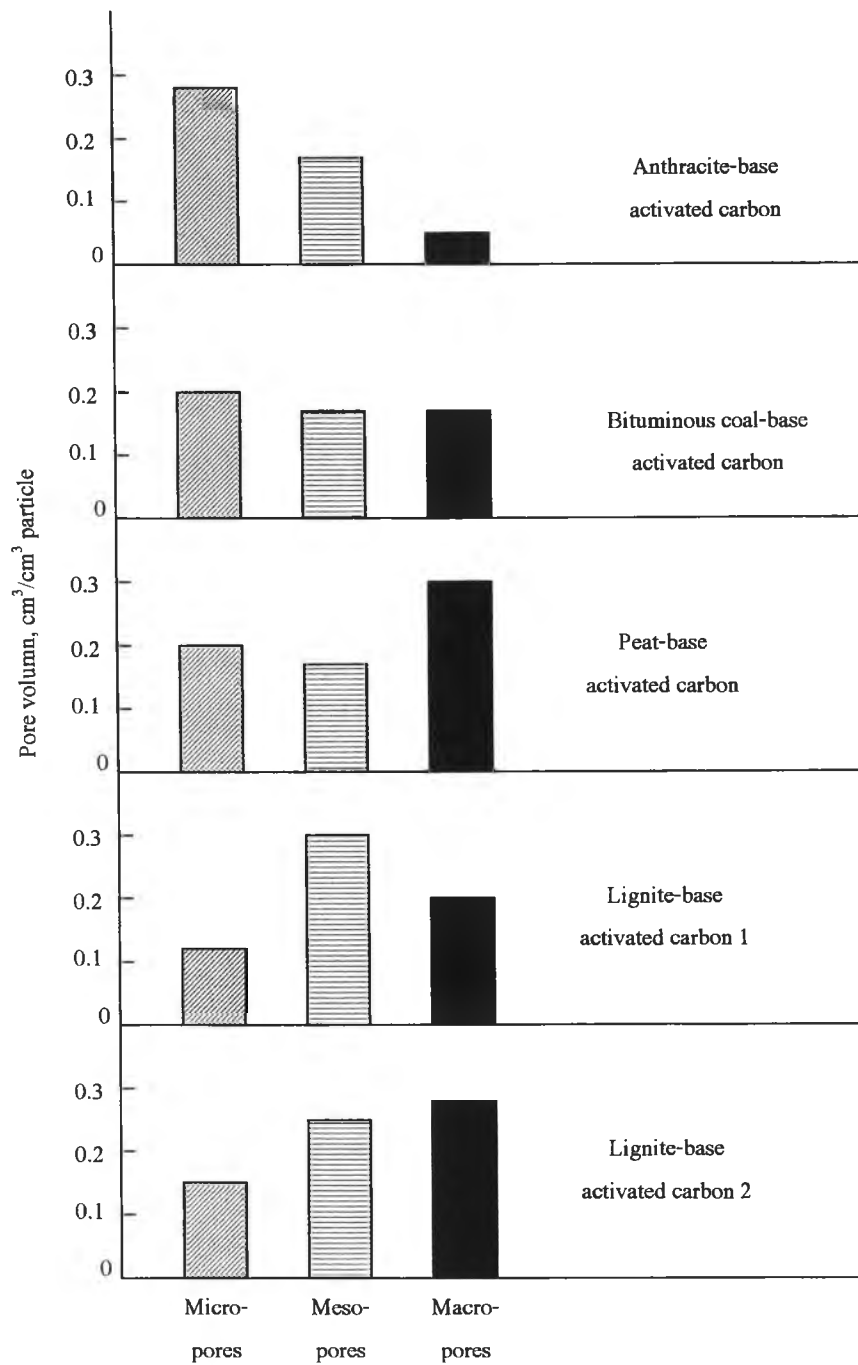
ที่ความดันต่ำๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งเชื่อว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาด หรือที่เรียกกันว่า การกระจายขนาดของรูพรุน (Pore size distribution) จะขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ใช้และวิธีการกระตุ้น ตัวอย่างของตัวดูดติดผิวที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์ คือ ซีโอไลต์ (Zeolite)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนกระจาย โครงสร้างที่มีทั้งแมคโครพอร์ มีโซพอร์ และไมโครพอร์ เรียกว่า โครงสร้างผสม (Mixed structure type) ดังรูปที่ 2.4 พบว่าแมคโครพอร์เป็นเพียงทางเปิดสู่ผิวภายนอกอนุภาค มีโซพอร์เป็นกิ่งออกมาจากไมโครพอร์อีกทีหนึ่ง

โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200 – 300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความจุในการดูดติดผิว จะมีประมาณร้อยละ 90 – 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดติดผิวยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วย กล่าวคือ ถ้าบริเวณผิวของถ่านเป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (Basalplanes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดอื่นๆ การดูดติดผิวจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ หรืออาจเกิดจากไพอิเล็กตรอน แรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดติดผิวได้แต่ก็มีโอกาสที่จะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิด การดูดติดผิวจะเกิดจากแรงที่แข็งแรง โอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า หมู่ฟังก์ชันชนิดบริเวณผิวถ่านกัมมันต์ มี 2 ชนิด คือ พวกออกไซด์ของกรด ซึ่งพบมากในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400 – 500 องศาเซลเซียส และพวกออกไซด์ของด่าง ซึ่งพบมากในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิประมาณ 800 – 1,000 องศาเซลเซียส

2.1.3.3 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มักเตรียมจากถ่านที่ได้จากการเผาผลาญสารอินทรีย์ด้วยความร้อน (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า การคาร์บอนไนซ์เซชัน ในระหว่างการเผาผลาญอะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกไปในรูปก๊าซ อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยม (Aromatic ring) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรง ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นที่ได้จากการเผาผลาญ ช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดติดผิวด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การกระตุ้น โดยการล้างพวกทาร์และสารต่างๆ ที่ได้จากการเผาผลาญออกจากช่องว่างหรือโพรงและสร้างหมู่ฟังก์ชันชนิดขึ้นมาแทน ความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์จึงเป็นผลสืบเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีด้วย



ที่มา : Bansal et al (1988)

รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบการกระจายขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ

ความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์เกิดจาก อิเล็กตรอนอิสระซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร คือ วาเลนซ์ไม่อิ่มตัว (Unsaturated valencies) จึงพยายามที่จะเกาะกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่นๆ เช่น ออกซิเจนในอากาศหรืออะตอมต่างๆ ที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการกระตุ้นจะช่วยในการเกาะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นกลายเป็นพันธะทางเคมีที่แข็งแรง มักจะเกิดกับอะตอมคาร์บอนที่อยู่ที่ขอบของวงแหวนเฮลิยม ถ่านกัมมันต์สามารถดูดติดผิวแบบเคมี (Chemisorption) กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400 – 500 องศาเซลเซียส และกลายเป็นออกไซด์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่ายังสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งจะหลุดออกมาแม้จะใช้ อุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส และสามารถดึงอะตอมไนโตรเจนออกจากโมเลกุลแอมโมเนียและซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจน (Halogen) ออกจากโมเลกุลฮาโลเจน ทั้งที่อยู่ในสภาพก๊าซหรือของเหลวก็ได้ จึงเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันนัลต่างๆ บนผิวของถ่านกัมมันต์ แต่ที่สำคัญคือผิวที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนและออกซิเจน หรือที่เรียกว่า ผิวออกไซด์

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว

- 1) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดติดผิว ได้แก่ พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และ ส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 2) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวถูกดูดติดผิว ได้แก่ ขนาดของโมเลกุล ประจุไฟฟ้าของโมเลกุล และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 3) ความเข้มข้นของตัวถูกดูดติดผิวในสารละลาย
- 4) ลักษณะของสารละลาย เช่น พีเอช อุณหภูมิ เป็นต้น
- 5) ระยะเวลาในการดูดติดผิว

2.1.5 การประเมินและการเลือกใช้ถ่าน

ในการนำแอดติเวทเติมคาร์บอนไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จำเป็นที่จะต้องมีการเลือกถ่านที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่าน ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง ตลอดจนความสะดวกในการควบคุมระบบบำบัด ฯลฯ

ลักษณะสมบัติของถ่านที่เป็นตัวกำหนดการใช้งาน ได้แก่

- 1) พื้นที่ผิว (Surface area) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดติดผิว โดยถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดติดผิวมาก
- 2) ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการปรับคืนสภาพของถ่าน
- 3) ความหนาแน่นก้อน (Bulk density) เป็นตัวกำหนดปริมาณของถ่านในแต่ละการใช้งาน
- 4) ขนาดใช้งาน (Effective size), เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (Mean particle diameter) และสัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (Uniformity coefficient) เป็นตัวกำหนดภาวะทางชลศาสตร์ (Hydraulic conditions) ของถังดูดติดผิว (Adsorption column)
- 5) ปริมาตรรูพรุน (Pore volume) เป็นตัวกำหนดการดูดติดผิวโมเลกุลของน้ำเสีย
- 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) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดติดผิวโมเลกุลจำเพาะบางชนิด

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้กำหนดมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศ ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900 – 2532) แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900 – 2532)

คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง

คุณสมบัติ	ค่าที่กำหนด
ค่าไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ไม่น้อยกว่า 600
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.20 – 0.75

คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

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

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2532)

2.1.6 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละโรงงานอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

1) ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดก๊าซหรือไอ

- ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่กักป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
- ใช้แยกก๊าซโซลีนออกจากก๊าซธรรมชาติ
- ใช้แยกเบนซอล (Benzol) ออกจากก๊าซอุตสาหกรรม

- ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่ำๆ 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

- ใช้ดูดกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์สำหรับหน่วยปฏิบัติการให้การสลายตัวเกิดขึ้นสมบูรณ์ขณะที่ยังถูกจับไว้ในเบดของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon bed)

2) ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) ซึ่งใช้ในงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอร็อกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย

- แยกสิ่งเจือปนจากผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เจลาติน น้ำส้ม เพ็คติน ซ็อกโกแลต น้ำผลไม้ เพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร

- ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ เช่น เอสเทอร์ ทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น

- ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและยา เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในยาและเคมีภัณฑ์อื่นๆ เช่น สเตรปโตมัยซิน (Streptomycin) คาเฟอีน (Cafein) โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate) รวมทั้งกรดต่างๆ

- ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดรส สี และกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสียหรือกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียได้

- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นตัวพาสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst carrier) เช่น ตัวพาสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) เป็นตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst support) สำหรับซิงค์อะซิเตทในโรงงานผลิตไวนิลอะซิเตท

- ใช้ในทางการแพทย์ เช่น ให้อาณูดูดติดผิวบนถ่านกัมมันต์ ยาจะค่อยๆ ออกฤทธิ์โดยมีความเข้มข้นสม่ำเสมอ ตัวอย่างคือ ไฮดรอกซีอะมิโนฟีนีลาโซนิคแอซิด (Hydroxyl aminophenylarsonic acid) สำหรับรักษาโรคที่เกิดจากการติดเชื้ออะมีบา และพาราไซต์ และยังใช้ดูดสารพิษจากผู้ที่ได้รับยาเกินขนาด หรือกินยาพิษ นอกจากนี้ยังใช้รักษาอาการมีแก๊สมากในกระเพาะ อีกด้วย

2.1.7 การปรับคืนสภาพของถ่านกัมมันต์ (Carbon regenerate)

เมื่อถ่านถูกใช้งานไปนานๆ รุพารูของเม็ดถ่านจะถูกอุดตันด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรก ทำให้ถ่านหมดประสิทธิภาพในการดูดติดผิว เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อที่จะลดราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดจะต้องนำถ่านกัมมันต์ที่หมดประสิทธิภาพ (Exhausted carbon) มาฟื้นฟูคุณภาพเพื่อนำกลับไปใช้งานอีก การฟื้นฟูคุณภาพทำได้โดยการนำถ่านไปกำจัดโมเลกุลของสิ่งสกปรกที่อุดอยู่ในรูของถ่านกัมมันต์อาจทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางเคมี โดยใช้สารอนินทรีย์เคมี ทำการออกซิไดซ์สิ่งสกปรก แต่วิธีนี้มีประสิทธิภาพน้อยกว่า วิธีที่ดีที่สุดได้แก่การนำถ่านกัมมันต์ไปเผาในเตาแบบ Multiple chambers โดยควบคุมภาวะการเผาไหม้โมเลกุลของสิ่งสกปรกให้ระเหยออกมาและถูกเผาไหม้ไป ระบบการฟื้นฟูคุณภาพของถ่านกัมมันต์ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ถ่านกัมมันต์ที่หมดประสิทธิภาพแล้วจะรวมกับน้ำเป็นน้ำขุ่น (Slurry) ถูกสูบเข้ามาในระบบฟื้นฟูคุณภาพ
- 2) ถ่านกัมมันต์จะถูกแยกออกจากน้ำแล้วจึงส่งเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 870 - 980 องศาเซลเซียส ควบคุมการเผาไหม้ให้โมเลกุลของสิ่งสกปรกในรูของเม็ดถ่านระเหยเป็นไอและถูกเผาผลาญตัวไป
- 3) ถ่านกัมมันต์ที่ร้อนจัดจะถูกทำให้เย็นโดยจุ่มลงในน้ำ (Quenching)
- 4) ถ่านที่เย็นแล้วถูกนำไปล้างแยกเศษผงถ่านออกแล้วจึงนำไปเก็บไว้หรือนำกลับไปใช้งาน

การฟื้นฟูคุณภาพของถ่านกัมมันต์จะใช้เวลาประมาณ 30 นาที และสิ้นเปลืองพลังงานประมาณ 4,250 บีทียูต่อถ่านหนึ่งปอนด์ ในแต่ละขั้นตอนถ่านจะสูญหายไปประมาณร้อยละ 2 - 10 (เสริมพล รัตสุขและไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2514)

2.1.8 ไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption isotherm)

ไอโซเทอมการดูดติดผิว เป็นการแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวต่อหน่วยของสารดูดติดผิว ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมการดูดติดผิวมีหลายรูปแบบ ดังต่อไปนี้

2.1.8.1 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ (Langmuir adsorption isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ คือ

- โมเลกุลถูกดูดติดอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของสารดูดติดผิว
- มีโมเลกุลเดียวในบริเวณถูกดูดติดผิว
- พื้นที่ของบริเวณดูดติดผิวมีจำนวนที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
- พลังงานการดูดติดผิวมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

การดูดติดผิวจากสารละลายโดยสารดูดติดผิว แสดงได้ดังสมการ

$$X = (X_m b C_e) / (1 + b C_e) \quad (2.4)$$

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

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

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

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดติดผิว

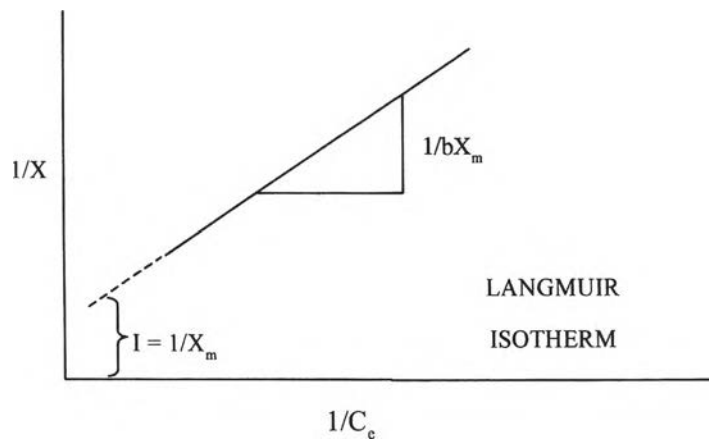
เมื่อ X เข้าสู่ X_m และ C_e เข้าสู่ ∞ จะเขียนสมการได้เป็น

$$C_e / X = (1 / b X_m) + (C_e / X_m) \quad (2.5)$$

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

$$1/X = (1/X_m) + (1/C_e)(1/bX_m) \quad (2.6)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C_e$ ซึ่งเป็นเส้นตรง จะมีความชัน $1/bX_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m$ จากสมการ 2.5 และ 2.6 แสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์

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

ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบบีอีทีพัฒนามาจากไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ โดยจากการดูดติดผิวแบบชั้นเดียว (Monolayer) เป็นการดูดติดผิวแบบหลายชั้น (Multilayers) ซึ่งแต่ละโมเลกุลในชั้นดูดติดผิวชั้นแรก จะเป็นบริเวณที่ซึ่งมีโมเลกุลชั้นที่ 2 ดูดติด เช่นเดียวกันกับชั้นอื่นๆ ต่อไป โดยแสดงได้ดังสมการ

$$X = (X_m b C_e) / (C_s - C_e) (1 + (b - 1) C_e / C_s) \quad (2.7)$$

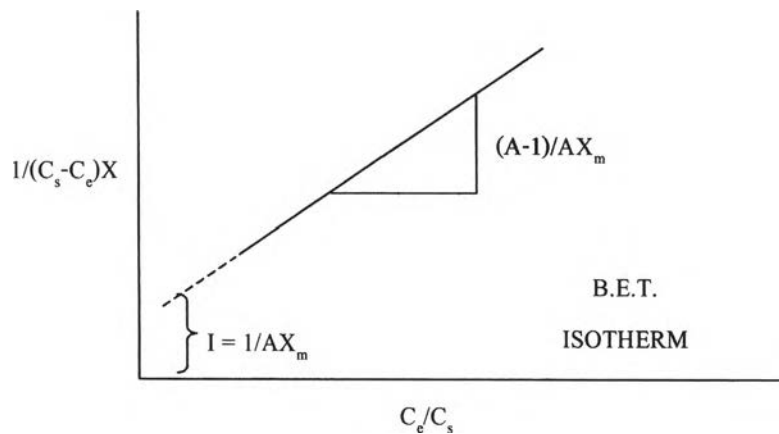
โดย X = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

- X_m = ปริมาณตัวถูกละลายมากที่สุดที่ถูกดูดติดผิวเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว (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 2.7 สามารถเปลี่ยนได้เป็น

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

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 2.7 และ 2.8 แสดงได้ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบบีอีที

2.1.8.3 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm)

สมการการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิชใช้กันแพร่หลายที่สุดในการอธิบายการดูดติดผิวในระบบของเหลว ซึ่งมีสมการดังนี้ คือ

$$X / m = KC_e^{1/n} \quad (2.9)$$

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

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

K = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดติดผิวของคาร์บอน

$1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดติดผิว

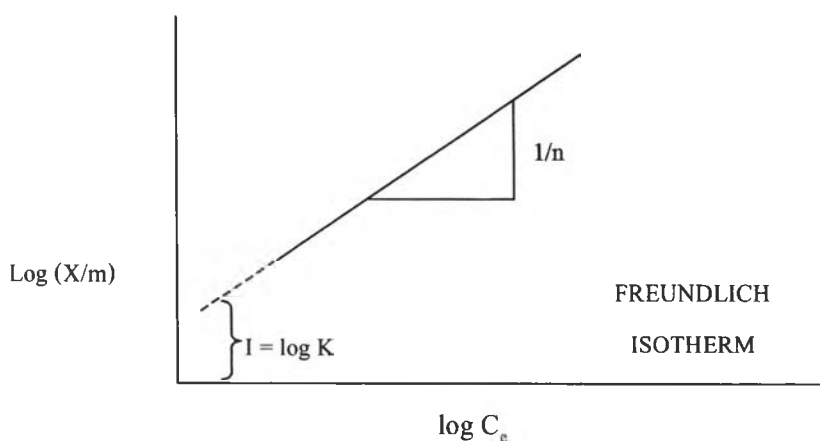
m = น้ำหนักของสารดูดติดผิว (กรัม)

จากสมการที่ 2.9 สามารถเขียนสมการในรูป logarithmic ได้ดังนี้ คือ

$$\log(X / m) = \log K + 1 / n \log C_e \quad (2.10)$$

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 2.9 และ 2.10 แสดงได้ดังรูปที่ 2.7

จากสมการการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิช แสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิว โดยถ้าค่า $n < 1$ แสดงถึงการดูดติดผิวที่ไม่ดี แต่ถ้าค่า $n > 1$ แสดงถึงการดูดติดผิวที่ดี



รูปที่ 2.7 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนด์ลิช

2.2 ยางพาราและกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

2.2.1 ยางพารา

ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีอายุยืนยาวนับร้อยปี ที่เรียกว่ายางพารา (Para rubber) เพราะเมื่อประมาณ 100 ปี มาแล้ว ยางชนิดนี้ชื่อขายกันที่เมืองพารา ประเทศบราซิล ทวีปอเมริกาใต้ เพียงแห่งเดียวเท่านั้น เพื่อสะดวกแก่การซื้อขาย จึงเรียกกยางชนิดนี้ว่า ยางพารา ในทางพฤกษศาสตร์ ได้จัดให้ต้นยางพาราอยู่ในวงศ์ยูฟอร์เบียซีอี (Family Euphorbiaceae) ในสกุลฮีเวีย (Genus Hevea) ชนิดบราซิลไอน์ซิส (Species brasiliensis) ต้นยางฮีเวีย มีประมาณ 20 ชนิด แต่ปรากฏว่า ฮีเวียบราซิลไอน์ซิส (Hevea brasiliensis) เป็นชนิดที่ให้น้ำยางมากที่สุด และเนื้อยางก็มีคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ดีกว่ายางชนิดอื่นๆ จึงปลูกกันแต่พันธุ์ ฮีเวียบราซิลไอน์ซิส ซึ่งเรียกว่าต้นยางพาราเท่านั้น ในประเทศไทยได้เริ่มปลูกยางพาราครั้งแรกประมาณปี พ.ศ. 2442 - 2444 (ค.ศ.1899 - 1901) โดยพระยารัษฎานุประดิษฐ์ (คอซิมบี๊ ณ. ระนอง) เจ้าเมืองตรัง ได้ไปเห็นการทำสวนยางในประเทศมาเลเซียและประสบความสำเร็จในเชิงธุรกิจเป็นอย่างมาก จึงมีความคิดที่จะนำยางพารามาปลูกในประเทศไทยบ้าง ท่านจึงนำต้นยางพารามาปลูกไว้ที่หน้าบ้านของท่านเป็นคนแรก แล้วจึงแจกจ่ายไปยังประชาชนทั่วไป จนได้รับความนิยมปลูกกันเป็นที่แพร่หลายในภาคใต้ทุกจังหวัดและหลวงราชไมตรีได้นำพันธุ์ยางไปปลูกที่จังหวัดจันทบุรีในปี พ.ศ. 2453

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพารา 12.7 ล้านไร่ ประมาณ 10.8 ล้านไร่ (ร้อยละ 90 ปลูกใน 14 จังหวัดภาคใต้) 1.6 ล้านไร่ในภาคตะวันออก 5 จังหวัด และอีกประมาณ 3 แสนไร่ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 15 จังหวัด ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมในปี พ.ศ.2539 พบว่าจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีพื้นที่ปลูกยางพารามากที่สุด ในขณะที่จังหวัดอำนาจเจริญ มีพื้นที่ปลูกยางพاران้อยที่สุด

ยางพาราเป็นสินค้าเกษตรที่ทำรายได้จากการส่งออกให้กับประเทศมากเป็นอันดับที่ 2 รองจากข้าว มูลค่าการส่งออกยาง ผลิตภัณฑ์ยาง และผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพารา มีมูลค่ารวมกันทั้งสิ้น 123,642 ล้านบาท ประกอบด้วยมูลค่าการส่งออกยางในรูปวัตถุดิบ 60,742 ล้านบาท และเมื่อเปรียบเทียบมูลค่าการส่งออกในปี พ.ศ. 2543 พบว่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2542 ร้อยละ 28.36 ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มูลค่าการส่งออกยาง ผลิตภัณฑ์ยางและผลิตภัณฑ์ไม้ยาง ปี พ.ศ. 2542 – 2543

ประเภท	มูลค่า (ล้านบาท)		% เพิ่ม/ลด
	2542	2543	
ยาง	43,941	60,742	38.23
ผลิตภัณฑ์ยาง	33,109	42,026	26.93
ไม้ยางพารา	16,261	20,874	28.36
รวม	93,312	123,642	32.50

ที่มา : http://www.doa.go.th/home/publication/pub/scientific_1-4/scientific_1/rubber/rub.html

ยางพาราเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตสินค้าได้มากมาย อาทิ ที่นอน เครื่องใช้ในบ้าน เครื่องมือแพทย์ การวางแผนครอบครัว อุตสาหกรรมยางรถยนต์ เป็นต้น แนวโน้มในอนาคตประเทศไทยยังคงเป็นผู้นำในการจำหน่ายสู่ตลาดโลกต่อไปอีกหลายสิบปี

2.2.2 น้ำยาง (Latex)

น้ำยางสดจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นข้น (คล้ายน้ำนม) หรือสีครีม มีสภาพเป็นคอลลอยด์ (Colloid) โดยมีอนุภาคยางแขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า เซรัม (Serum) สีของน้ำยางขึ้นอยู่กับพันธุ์ยาง มีความหนาแน่นระหว่าง 0.975-0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีความเป็นกรดต่างประมาณ 6.5 - 7.0 ส่วนประกอบของสารต่างๆดังกล่าวจะไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่นพันธุ์ยาง อายุต้นยาง การกรีด และฤดูกาล (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2540) อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของน้ำยางสดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

2.2.2.1 ส่วนที่เป็นเนื้อยาง (Dry Rubber Content :DRC)

เป็นสารประกอบไฮโดรเจนที่มีคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม สูตรเคมีคือ $(C_5H_8)_n$ เรียกชื่อทางเคมีว่า Polyisoprene หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลจะเรียงตัวกันในแบบ *sis*-configuration เรียกชื่อโมเลกุลยางว่าเป็น *sis*-1,4 polyisoprene (ยาง 1 โมเลกุล ประกอบด้วย isoprene 2,000 – 5,000 หน่วย) เนื้อยางมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.92 กรัม/มิลลิลิตร มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1 ล้าน รูปร่างของอนุภาคยางมีรูปร่างทั้งทรงกลมและทรงรี

คล้ายลูกแพร์ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02-0.03 ไมครอน โมเลกุลมีขนาดใหญ่ ไม่ละลายน้ำ มีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบ เคลื่อนที่แบบบราวเนียนไปมาตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีโลหะบางชนิด เช่น Mg, K, Cu ปนอยู่ในส่วนของยางประมาณ 0.05 %

2.2.2.2 ส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยาง (Non Rubber Content)

1) ส่วนที่เป็นน้ำ (Aqueous phase) หรือที่เรียกว่า เซรัมของน้ำยาง มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัม/มิลลิลิตร ประกอบด้วยสารต่างๆดังนี้

- คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นสารประกอบพวกแป้งและน้ำตาล สารเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกรดไขมัน เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดไพโรพิออนิก ทำให้น้ำยางเสียความคงตัวและจับตัวกันเป็นก้อน

- โปรตีนและกรดอะมิโน ที่สำคัญได้แก่ แอลฟาบูโบลิน และฮิวิน ซึ่งแอลฟาบูโบลินนั้นจะเป็นส่วนที่พบมากในน้ำยางสด มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในสารละลายของเกลือของกรดและของด่าง สำหรับฮิวินจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพียงประมาณ 10,000 และสามารถละลายน้ำได้

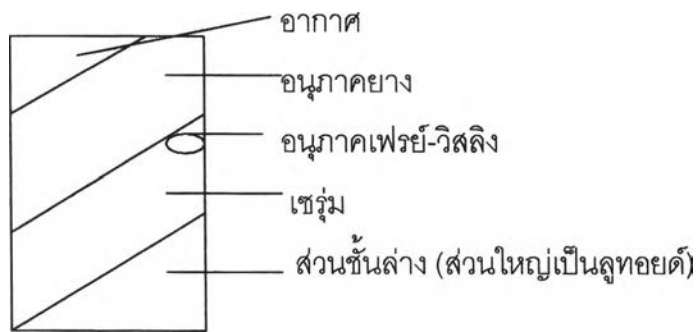
2) ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ (Lutoid and other particulate phase) ลูทอยด์หรือที่เรียกว่าวิสกอยด์ (Viscoid) เป็นส่วนประกอบในน้ำยางสดซึ่งถูกรายงานเป็นครั้งแรกโดย ไฮลแมนและแวนกิลส์ ในปี ค.ศ.1948 โดยได้ทำการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) น้ำยางสดและพบว่า น้ำยางแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งมีสีขาวและประกอบด้วยอนุภาคของยางเป็นส่วนมาก อีกส่วนมีสีเหลืองแยกอยู่ชั้นล่าง มีประมาณ 20 - 30 % ของปริมาณทั้งหมด จากการศึกษาพบว่าส่วนชั้นล่างเป็นอนุภาคที่ไม่เกาะกันแน่นมีความแตกต่างจากอนุภาคของยางซึ่งเรียกว่าลูทอยด์เนื่องจากเข้าใจว่าเป็นตัวทำให้เกิดสีเหลือง (มาจากคำว่า Luteous ที่แปลว่า สีเหลืองเข้ม) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 ไมครอนซึ่งใหญ่กว่าอนุภาคของยาง

ผลของลูทอยด์ คือ เมื่อทำการแปรรูปน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางข้นด้วยการหมุนเหวี่ยงนั้นจะต้องเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง แอมโมเนียที่เติมลงไปนั้นจะรวมตัวกับลูทอยด์และแมกนีเซียมฟอสเฟตตกตะกอนเป็นตามสีน้ำตาลและสีขาวแยกออกจากเนื้อยางและเกาะรวมกันอยู่ด้านล่างสุดของเครื่องหมุนเหวี่ยง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหมุนเหวี่ยงลดลงต้องคอยถอดล้างเอาตามเหล่านี้ออก

นอกจากจะมีสารพวกลูทอยด์แล้วยังมีสารอีกประเภทหนึ่ง ที่เรียกว่า อนุภาคเฟรย์-วิสซิง (Frey-wyssiling) ซึ่งมีลักษณะกลมสีเหลืองเข้ม และมีอนุภาคใหญ่กว่าอนุภาคของยาง มีความหนาแน่นมากกว่าเล็กน้อย มีสารคาโรทีนอยด์ (Carotinoid) ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสีเหลืองเข้ม

มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารนี้ การที่ชั้นล่างของน้ำยางมีสีเหลืองนั้นเนื่องมาจากอนุภาคเพอร์-วิสลิงมากกว่าลูทอยด์ น้ำยางชั้นที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงโดยการเติมแอมโมเนียจะไม่พบอนุภาคเพอร์-วิสลิงอยู่ด้วย อาจเป็นเพราะอนุภาคเหล่านี้ถูกแยกออกจากยางและละลายอยู่ในส่วนของเซรุ่ม

การหมุนเหวี่ยงน้ำยางสดด้วยความเร็วสูงจะแยกน้ำยางออกเป็นสี่ชั้นดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ชั้นของน้ำยางเมื่อถูกหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องอัลตราเซนตริฟิวจ์

องค์ประกอบของน้ำยางสดแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของน้ำยางสด

องค์ประกอบของน้ำยาง	% (โดยน้ำหนัก)
ส่วนที่เป็นเนื้อยาง	36
ส่วนที่ไม่ใช่ยาง	65
- ส่วนที่เป็นน้ำ	55
- ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ	10

2.2.3 วิธีการผลิตน้ำยางข้น

เนื่องจากน้ำยางสดจากต้นยางโดยปกติมีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 25-45 และมีส่วนของสารที่ไม่ใช่ยางเป็นส่วนใหญ่จึงไม่เป็นการประหยัดที่จะต้องขนย้ายน้ำยางสดจากสวนไปสู่โรงงานที่ใช้ น้ำยางเป็นวัตถุดิบในระยะทางไกลๆ ดังนั้นการทำให้ยางมีความเข้มข้นร้อยละ 60 ของเนื้อยางแห้ง

โดยการแยกน้ำออกบางส่วนทำให้การขนย้ายประหยัดและได้ผลผลิตน้ำยางชั้นที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าน้ำยางสด

หลักการสำคัญของวิธีการผลิตน้ำยางชั้นมี 4 วิธีดังนี้คือ

1) วิธีระเหยน้ำ (Evaporation) น้ำยางชั้นที่ได้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมากที่สุดจึงเหมาะสำหรับความต้องการที่จะต้องขนย้ายน้ำยางไปไกลๆ และเหมาะกับการนำไปผลิตวัตถุสำเร็จรูปประเภทที่ต้องใส่ฟลักเซอร์เพิ่ม (Filler) จำนวนมากเช่น การผลิตกาว

2) วิธีการทำให้เกิดครีม (Creaming) โดยเติม Creaming agent ต่างๆ เช่น Sodium Alginate, Locust bean gum เพื่อทำหน้าที่พอกหรือเคลือบผิวของอนุภาคยางให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้ เป็นวิธีที่ยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา แต่สามารถให้น้ำยางชั้นที่บริสุทธิ์และมีโปรตีนน้อย

3) วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodecantation) จากการศึกษาในสถานะของน้ำยางเป็นอนุภาคที่แขวนลอยของเซรุ่มต่างถูกห่อหุ้มด้วยคาร์บอกซิลิกอิออนที่มีประจุลบ ดังนั้นจึงสามารถที่จะอาศัยไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของเนื้อยางจากเซรุ่มได้ โดยจุ่มไฟฟ้าที่มีขั้วบวกลงในน้ำยางที่ได้เติมสารเคมีช่วยทำให้น้ำยางคงตัวไว้แล้ว อนุภาคยางจะค่อยๆ เคลื่อนไปรวมอยู่ทางขั้วบวกและลอยตัวขึ้นสูงสู่ผิวหน้าของน้ำยางในที่สุด วิธีนี้เป็นวิธีที่ยุ่งยากและไม่ประหยัดจึงไม่เป็นวิธีที่นิยม

4) วิธีการปั่น (Centrifuging) เป็นวิธีที่มีการใช้โดยทั่วไปอย่างแพร่หลายมากที่สุด เนื่องจากน้ำยางตามธรรมชาติเป็นสารละลายที่จัดอยู่ในระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยส่วนของอนุภาคยางแขวนลอยจะจัดกระจายอยู่ในเซรุ่ม เนื่องจากอนุภาคยางเบากว่าเซรุ่ม อนุภาคยางจึงมีแนวโน้มที่จะลอยตัวสู่ผิวหน้าของน้ำยาง อัตราการเคลื่อนของอนุภาคยางขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ดังนั้นการปั่นซึ่งสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้เป็น 2,000 - 3,000 เท่าของแรงดึงดูดของโลก จึงสามารถเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ จากหลักการนี้จึงถูกนำมาพิจารณาสร้างเครื่องปั่นน้ำยางเพื่อผลิตน้ำยางชั้น (วันชัย แก้วยอด, 2540)

2.2.4 กระบวนการผลิตน้ำยางชั้น

กรรมวิธีการผลิตน้ำยางชั้นของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นพบว่าการดำเนินการที่คล้ายๆกันโดยการปั่นแยกด้วยเครื่อง (Centrifugation) และชนิดที่ผลิตกันส่วนใหญ่เป็นชนิด High Amonia (HA) ที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย 0.7% ส่วนอีกชนิดหนึ่งมีการผลิตกันเป็นส่วนน้อยคือชนิด Low

Amonia (LA) ที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย 0.2% ในกระบวนการผลิตจะมีการผลิต 2 กระบวนการใหญ่ๆ คือ การผลิตน้ำยางข้นและการผลิตยางสกิม

2.2.4.1 การผลิตน้ำยางข้น

1) การรวบรวมน้ำยางสด โรงงานน้ำยางข้นจะมีการรับน้ำยางดิบจากแหล่งต่างๆ คือ ทั้งสวนยางและพ่อค้าคนกลาง ในขั้นตอนของการรวบรวมน้ำยางสดจากสวนเพื่อส่งให้กับโรงงานน้ำยางข้น ทางโรงงานได้จ่ายสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 10 % เพื่อนำไปเติมในระหว่างการรวบรวมน้ำยางสด เพื่อเป็นการรักษาสภาพน้ำยางไม่ให้เน่าบูดหรือจับตัวกันเป็นก้อน โดยเติมให้มีความเข้มข้นในช่วง 0.25 - 0.4 % ของน้ำยางสด เมื่อน้ำยางสดถึงโรงงานผลิตจะผ่านการกรองด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช ลงสู่ถังรวม และจะมีการนำตัวอย่างน้ำยางเพื่อทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง หากน้ำยางสดนั้นมีปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยกว่าร้อยละ 25 จะไม่นำไปผลิตน้ำยางข้น เมื่อทราบปริมาณเนื้อยางแห้งว่าเหมาะสมแล้ว จะมีการผ่านก๊าซแอมโมเนียลงสู่ตัวอย่างโดยให้มีความเข้มข้นเกินกว่า 0.4 % ของน้ำยางหลังจากนั้นจะมีการตรวจสอบปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางแล้วเติมสารเคมีไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAP) เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของแมกนีเซียม โดยการเกิดปฏิกิริยาเป็นแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตปล่อยทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของสารประกอบแมกนีเซียมรวมไปกับ Sludge (น้ำยางสดก่อนนำไปปั่นควรมีแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm เมื่อบั่นชั้นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 20 ppm) โดยมีการฟอร์มตะกอน ดังนี้



หลังจากนั้นจึงนำน้ำยางมาทดสอบหาปริมาณกรดไขมันระเหยได้แล้วนำไปปั่นต่อไป น้ำยางที่มีการรักษาสภาพดีพอจะต้องมีจำนวนกรดไขมันระเหยได้ไม่เกินกว่า 0.05 % หากมีปริมาณมากกว่านี้จะไม่นำไปผลิตน้ำยางข้น

2) การปั่นน้ำยางข้น การผลิตน้ำยางข้นโดยกระบวนการปั่นเป็นวิธีหลักและเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางธรรมชาติ โดยประกอบด้วยการผ่านน้ำยางสดเข้าเครื่องปั่นที่ใช้แรงเหวี่ยงโดยความเร็วสูงแยกเป็นส่วนน้ำยางข้น 60 % DRC และส่วนหางน้ำยาง (Skim) ที่มีส่วนของเนื้อยางบ้างเล็กน้อย

2.2.4.2 การผลิตยางสกิม

เป็นการรวบรวมหางน้ำยางที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางข้นมาทำการคัดแยกเนื้อยางออก โดยปรับให้มีสภาพเป็นกรดโดยเติมกรดซัลฟิวริกแล้วปล่อยให้เกิดการจับตัวกันของเนื้อยาง หลังจากนั้นจะทำการเก็บเนื้อยางแล้วนำมารีดเพื่อกำจัดน้ำในเนื้อยางออก แล้วนำมาฉีกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปอบแห้ง ซึ่งน้ำหนัก อัดก้อนและบรรจุภาชนะเพื่อนำไปจำหน่ายต่อไป

2.2.5 ปัญหาของเสียจากโรงงานน้ำยางข้น

ปัญหาสำคัญที่เกิดกับโรงงานน้ำยางข้นโดยทั่วไป ได้แก่ ปัญหาน้ำเสีย ปัญหามลภาวะทางอากาศ คือ กลิ่นเหม็นจากบ่อบำบัดน้ำเสีย กลิ่นแอมโมเนีย และปัญหาการก่อกองเสียที่เป็นของแข็งที่เกิดในขั้นตอนต่างๆในกระบวนการผลิต

2.2.5.1 ปัญหาน้ำเสีย

โรงงานน้ำยางข้นในภาคใต้มีการผลิตน้ำเสียรวม ระหว่าง 80 – 1,680 ลูกบาศก์เมตร / วัน ซึ่งแหล่งกำเนิดน้ำเสียในขั้นตอนการผลิตที่เหมือนกัน โดยจุดกำเนิดที่สำคัญ คือ กระบวนการผลิตน้ำยางข้นเกิดจากบริเวณต่างๆ คือ น้ำทิ้งจากการล้างบ่อพักน้ำยางและภาชนะบรรจุ น้ำยาง น้ำทิ้งจากการล้างเครื่องปั้นและล้างพื้น น้ำล้างถังบรรจุน้ำยางข้น และกระบวนการผลิตยางสกิม จะเป็นน้ำเสียจากการคัดแยกยางในบ่อทำยางสกิมและบ่อพักน้ำยางและน้ำเสียจากการจัดการล้างยาง โดยมีอัตราการใช้น้ำต่อผลผลิตน้ำยางข้นประมาณ 5.25 ลูกบาศก์เมตร / ตันน้ำยางข้นที่ผลิตได้

2.2.5.2 ปัญหามลภาวะทางอากาศ

ปัญหากลิ่นที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียและจากบริเวณที่มีการปั่นแยกน้ำยาง รวมถึงบริเวณที่มีการเตรียมสารเคมีซึ่งได้แก่ เครื่องผสมสารแอมโมเนีย กลิ่นที่เกิดขึ้นจะมี 2 ลักษณะคือกลิ่นก๊าซแอมโมเนียซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และกลิ่นเหม็นจากระบบบำบัดน้ำเสีย

2.2.5.3 ปัญหาการก่อกองเสียที่เป็นของแข็ง

โรงงานน้ำยางข้นมีกากของเสียเกิดขึ้นในรูปของแข็งซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมี 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ของเสียที่เป็นของแข็งซึ่งเป็นเนื้อยางที่สะสมอยู่ที่บ่อพักยาง ของเสียที่เป็นของแข็งตกค้างอยู่ในวางระบายน้ำและภาชนะสำหรับบรรจุยางต่างๆ และของเสียของแข็งที่ไม่อยู่ในรูปเนื้อยางหรือที่เรียกว่า กากขี้แป้ง

2.3 กากซีแป็ง

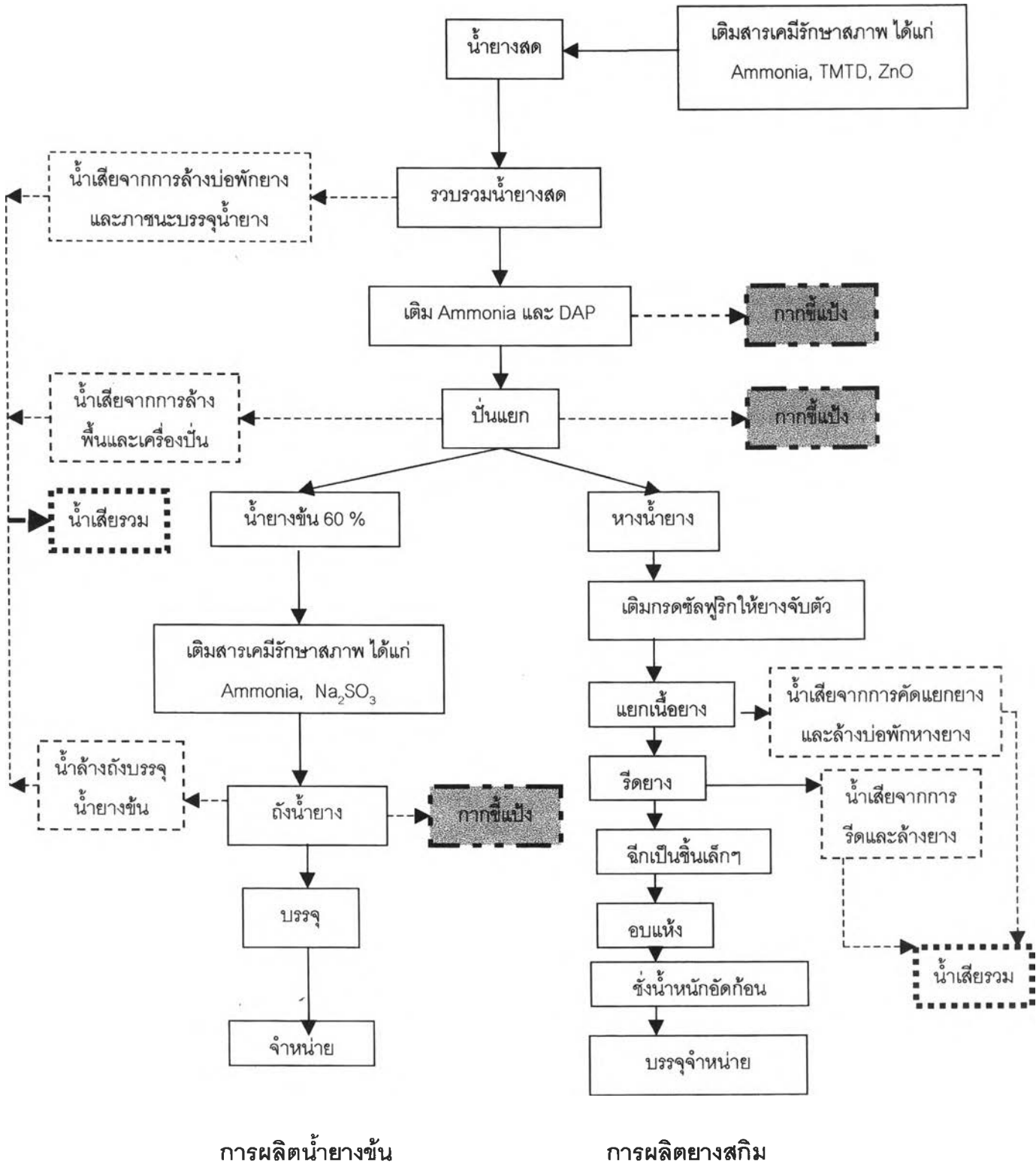
กากซีแป็ง มีลักษณะเป็นผง โดยเป็นของแข็งที่เป็นส่วนประกอบในน้ำยางสดและจะถูกแยกออกจากการปั่นในการผลิตน้ำยางข้น มีลักษณะเป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน มี Mg และ P เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ

2.3.1 แหล่งกำเนิดของเสีย

จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น วิธีผลิตที่สำคัญ คือ กระบวนการปั่น โดยมีการเติมสารเคมีในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะสารเคมีที่เติมในน้ำยางสดก่อนการปั่นแยก ได้แก่ Ammonia (ในรูปสารละลาย), Tetramethyl Thiuram Disulfide (TMTD), Zinc Oxide และ Diamonium Phosphate (DAP) เพื่อรักษาคุณภาพน้ำยาง และเพื่อให้แมกนีเซียมตกตะกอนก่อนการปั่นโดยมีการฟอร์มตะกอนดังนี้



แหล่งกำเนิดกากซีแป็งแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กรรมวิธีการผลิตและจุดกำเนิดของเสียจากการผลิตน้ำยางชั้นและยางสกี

2.3.2 อัตราการเกิดกากซีเมนต์

โรงงานน้ำยางข้นมีกากซีเมนต์เกิดขึ้นระหว่าง 0.7 - 500 ตันต่อเดือน หรือคิดเป็นอัตราการเกิดกากซีเมนต์ต่อน้ำยางข้นที่ผลิตได้ในสัดส่วนระหว่าง 0.6 - 50 กิโลกรัมกากซีเมนต์ต่อน้ำยางข้น (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545) กากซีเมนต์ที่เกิดขึ้นเป็นของเสียที่มีความชื้นสูง ในทางปฏิบัติทางโรงงานจะนำไปทิ้งไป หรือบางแห่งจะนำไปถมที่หรือฝังกลบ ในปัจจุบันได้มีบางโรงงานนำไปเป็นปุ๋ยใส่สวนปาล์มน้ำมัน

2.3.3 แนวทางการใช้ประโยชน์

กากซีเมนต์ที่เกิดขึ้นเป็นของเสียที่มีความชื้นสูง ในทางปฏิบัติทางโรงงานจะนำไปทิ้งไปหรือบางแห่งจะนำไปถมที่หรือฝังกลบ ในปัจจุบันได้มีบางโรงงานนำไปเป็นปุ๋ยใส่สวนปาล์มน้ำมัน แม้ว่ากากซีเมนต์จะมีองค์ประกอบเป็นธาตุอาหารที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่การใช้ประโยชน์ของกากซีเมนต์เพื่อเป็นปุ๋ยให้กับพืชยังพบว่ามีศึกษาน้อยมาก วราศรี เอกประสิทธิ์ (2543) ได้ศึกษาถึงการใช้ประโยชน์ของกากซีเมนต์ โดยทดสอบกับการปลูกหญ้าสนามพบว่าสามารถใช้แทนปุ๋ยเคมีได้เป็นอย่างดี แต่ในกากซีเมนต์มี Zn ปนเปื้อนอยู่สูงและมีเนื้อง่ายปนเปื้อนอยู่เป็นจำนวนมาก การนำไปใช้ประโยชน์โดยการนำไปผสมในดินเพื่อให้เป็นธาตุอาหารแก่พืชนั้น เนื้อง่ายในกากซีเมนต์อาจทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงได้ในระยะยาวหากมีการใช้กากซีเมนต์จำนวนมากเพราะเนื้อง่ายย่อยสลายได้ค่อนข้างยากและอาจเกิดการอุดตันบนผิวดินหรือระหว่างดิน ทำให้การดูดซับน้ำของดินลดน้อยลงได้

2.3.4 การศึกษาสมบัติของกากซีเมนต์ของ บริษัท อินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด

ในการศึกษาวิจัยเรื่องการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากซีเมนต์ในครั้งนี้ ได้นำตัวอย่างกากซีเมนต์มาจาก บริษัท อินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานผลิตน้ำยางข้น ที่มีกำลังผลิตน้ำยางข้น 80 ตัน / วัน ตั้งอยู่ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีอัตราการเกิดกากซีเมนต์แสดงในตารางที่ 2. 5

ตารางที่ 2.5 อัตราการเกิดกากซีเมนต์ของบริษัท อินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด

ปริมาณกากซีเมนต์ที่ เกิดขึ้น(กิโลกรัม/วัน)	ปริมาณกากซีเมนต์ที่ เกิดขึ้น(ตัน/เดือน)	กากซีเมนต์/น้ำยางชั้นที่ ผลิตได้(กิโลกรัม/ตัน)
1,668	50.04	3.34

2.4 ตะกั่วและปรอท

ตะกั่วและปรอท จัดเป็นธาตุที่เป็นโลหะหนัก ซึ่งหมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 – 92 ภายในคาบที่ 4 – 7 ของตารางธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือนำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถตีเป็นแผ่นได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางด้านเคมีที่สำคัญ คือ มีค่าออกซิเดชัน (Oxidation number) ได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้รูปที่เสถียรกว่า โลหะหนักอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (Organic compound) ซึ่งจะสามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร (เกศสุชา พูลคำ, 2537)

โดยทั่วไป สามารถแบ่งโลหะต่างๆ ออกตามคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้เป็น 4 ประเภท คือ (ประภฤต เลิศจรัสอร่ามดี, 2539)

- 1) โลหะที่ทำให้คุณประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต เช่น เหล็ก และทองแดง เป็นต้น
- 2) โลหะที่ไม่ก่อประโยชน์และโทษต่อสิ่งมีชีวิต เช่น อลูมิเนียม
- 3) โลหะที่สะสมในสิ่งมีชีวิตและก่อให้เกิดโทษ เช่น ปรอท ตะกั่ว และสารหนู เป็นต้น
- 4) โลหะประเภทที่ก่อประโยชน์ถ้าสิ่งมีชีวิตได้รับเพียงเล็กน้อยแต่ให้โทษถ้าได้รับปริมาณที่สูง

2.4.1 ตะกั่ว (Lead : Pb)

ตะกั่ว (Lead : Pb) เป็นธาตุหมู่ 4 A ทุกธาตุในหมู่นี้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว ตะกั่วมีสถานะออกซิเดชัน +2 ที่เสถียร สมบัติทางกายภาพของตะกั่วประกอบด้วยรัศมีอะตอม (โคเวเลนต์) 154 pm รัศมีไอออน M^{+2} เป็น 120 pm ความหนาแน่น 11.3 กรัม/ลูกบาศก์เมตร จุดหลอมเหลว 327 องศา

เซลเซียส จุดเดือด 1,744 องศาเซลเซียส พลังงานการแตกตัวเป็นไอออนชั้นที่ 1+2 เป็น 2,167 กิโลจูล/โมล ชั้นที่ 1+2+3+4 เป็น 9,330 กิโลจูล/โมล สภาพไฟฟ้าลบเท่ากับ 1.55 นาฬิกาดี ออกไซด์ของตะกั่วอยู่ในรูป PbO PbO_2 และ Pb_3O_4 ซึ่ง Pb^{2+} จะเสถียรกว่า Pb^{4+} เลดมอนอกไซด์หรือ ลิทาร์จได้จากการเผาตะกั่วในอากาศเป็นผงสีเหลือง ถ้าเผา PbO จะให้ Pb_3O_4 ($2PbO \cdot PbO_2$) หรือตะกั่วแดงใช้เป็นสารสีทากันสนิม เลดไดออกไซด์สารสีน้ำตาลแก่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่ตีสลายด้วยความร้อนให้ PbO และ O_2 ใช้ PbO_2 ในการทำแบตเตอรี่ และทำแก้วโดยใช้ PbO แทน CaO จะได้แก้วฟลินต์ มีดัชนีหักเหสูง ใช้ทำแก้วเจียระไน แก้วของตะกั่ว $2+$ โดยทั่วไปจะไม่ละลายน้ำ ยกเว้นแอซิเตดและไนเตรท เมื่อละลายน้ำก็จะให้ไอออน Pb^{2+} ที่ถูกไฮเดรต Pb^{2+}_{aq} แก้วของตะกั่ว $2+$ ทุกชนิดละลายได้ในเบสจำนวนมากให้พลัมไบต์ $Pb(OH)_4^{2-}$

แร่ตะกั่ว เป็นแร่หนึ่งซึ่งได้มีการพบและนำมาใช้ประโยชน์ภายในประเทศตั้งแต่สมัยโบราณ แหล่งแร่ตะกั่วที่เป็นแหล่งใหญ่ มีคุณค่าทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน ได้แก่ แหล่งแร่ตะกั่วในบริเวณอำเภอทองผาภูมิ สังขละบุรี และศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี ถือได้ว่าเป็นแหล่งผลิตตะกั่วใหญ่ที่สุดของประเทศ แร่ตะกั่วที่พบเป็นแหล่งแร่ใหญ่ คือ แร่กาลีน่า (Galena, PbS) มีสีและสีม่วงละเอียด เป็นสีเทา ตะกั่ว มีความวาวแบบโลหะ มักพบเป็นรูปลูกบาศก์หรือลูกเต๋า อาจพบเห็นเป็นเม็ดเล็กๆ เกาะกันเป็นก้อนๆ มีความแข็ง 2.5 มีความถ่วงจำเพาะ 7.5

2.4.1.1 ประโยชน์ของตะกั่ว

- 1) ตะกั่วประมาณหนึ่งในสามของผลผลิตนำไปใช้ในรูปของตะกั่วออกไซด์ต่างๆ ในอุตสาหกรรมสี เช่น สีแดง (Red lead) สีเหลืองส้ม (Litharge) และสีขาว (Lead carbonate) ตะกั่วขาวและแดงใช้ในการทำสี ตะกั่วสีส้มเป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมกระจก เครื่องเคลือบบางชนิด
- 2) ใช้ทำหม้อแบตเตอรี่ และโลหะหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าต่างๆ ประมาณร้อยละ 25 ของผลผลิต
- 3) สารเตตระเอทิลเลด (Tetraethyllead $Pb(C_2H_5)_4$) ซึ่งเป็นตัวเติมในน้ำมันเบนซินพลังสูง ในอัตรา 3 กรัมต่อแกลลอน และเพื่อให้เครื่องยนต์เดินเรียบขึ้น (Antiknock) ส่วนนี้ใช้ประมาณหนึ่งในสาม นอกจากนี้เป็นการใช้ที่สูญไปเลยไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก เพราะเผาแล้วกลายเป็นไอเป็นมลพิษ (Pollution) ต่อสิ่งแวดล้อม แต่ปัจจุบันเลิกใช้แล้วในประเทศไทย และอีกหลายประเทศทั่วโลก
- 4) ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมทำท่อต่างๆ ตลอดจนทำ

- 5) ใช้ในการผลิตกระสุนปืนต่างๆ
- 6) ใช้ในอุตสาหกรรมผสมโลหะผสมต่างๆ เช่น
 - ตะกั่วผสมดีบุก เป็นโลหะบัดกรี (Solder)
 - ตะกั่วผสมพลวง เป็นโลหะตัวพิมพ์ (Type metal)
 - ตะกั่วผสมดีบุกและทองแดง เป็นโลหะพิวเตอร์ (Pewter)
 - ตะกั่วผสมบิสมัท ดีบุก และแคดเมียม เป็นโลหะผสมที่เรียกว่า Wood's alloy
 - ใช้ในระบบสัญญาณไฟไหม้อัตโนมติซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่ 70 องศาเซลเซียส (สุจิตร์ พิตรากุล, 2530)

นอกจากประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ตะกั่วยังมีประโยชน์ในด้านเป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์สำหรับเครื่องพิมพ์งานหรือนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์อีกด้วย

2.4.1.2 พิษของตะกั่ว

อาการของพิษเมื่อได้รับตะกั่วอินทรีย์ การแสดงออกทางจิตจะเด่นชัดกว่าอาการเจ็บไข้ธรรมดา แต่ในรายรุนแรงจะมีอาการที่พบเห็นได้ทั่วไป คือ ความกระวนกระวาย ผื่นร้าย จิตหลอน และหลงผิด อาการแทรกซ้อนหลายๆ อย่างจะเด่นชัด ได้แก่ อาการเพ้อเจ้อ คลุ้มคลั่ง สับสน และการเก็บตัวไม่สูงสิงกับใคร ถ้าหากได้รับสารตะกั่วมากอาจเกิดการชักกระตุกทันทีทันใด ในรายที่รุนแรงน้อยผู้ป่วยอาจเริ่มด้วยการนอนไม่หลับ นอนหลับยาก นอนหลับๆ ตื่น ๆ และกระวนกระวาย บางครั้งจะฝันอย่างโหดโผนน่ากลัว ตอนกลางวันอาจจะมีอาการตื่นเต้นตกใจให้เห็น อาการปวดศีรษะจะกลายเป็นเรื่องปกติ และมักจะรุนแรง และอาการวิงเวียนศีรษะจะพบได้เสมอ ในรายที่รุนแรงจะต้องมีการควบคุมแนะนำอย่างเข้มงวด และต้องอาศัยการพยาบาลที่เชี่ยวชาญ ทั้งนี้เนื่องจากอาการประสาทหลอนและแนวโน้มในการฆ่าตัวตายสูง

จากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 ฉบับที่ 12 (2525) กำหนดให้น้ำทิ้งที่จะระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำ มีความเข้มข้นของตะกั่วไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4.2 พรอท (Mercury : Hg)

พรอท (Mercury : Hg) เป็นธาตุหมู่ 2 B ซึ่งอยู่ท้ายสุดของแถว d ในตารางพีริออดิก พรอทเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงินในสภาพที่มีความบริสุทธิ์ ณ อุณหภูมิปกติจะมีสถานะเป็นของเหลว พรอทแบ่ง

ออกได้เป็นหลายรูปแบบ คือ ปรอทในรูปโลหะ (Metallic form) ปรอทในรูปสารอนินทรีย์ (Inorganic mercury compound) และปรอทในรูปสารประกอบอินทรีย์ (Organic mercury compound) ปรอทที่อยู่ในรูปของโลหะโดยมากเป็นพวกบริสุทธิ์ไม่ผสมกับสารอื่น ปรอทมีน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) 200.59 รัศมีอะตอม เท่ากับ 157 pm รัศมีไอออน เท่ากับ 110 pm ความหนาแน่น 13.546 กรัม / ซีซี ที่ 20 องศา จุดเดือด 356.9 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็ง -38.87 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 13.545 สภาพไฟฟ้าลบเท่ากับ 1.44 เลขออกซิเดชันเป็น +1 และ +2 ความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำ ปรอท Hg^{2+} ไม่มีไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนต เกลือของปรอท ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ ยกเว้นซัลไฟด์ ไฮโอไดด์ ฟอสเฟต และออกซาลेट HgS มีสภาพการละลายต่ำมาก ($K_{sp} = 1.6 \times 10^{-10}$) และยังไม่ละลายใน HNO_3 เข้มข้นที่ร้อนแต่ละลายในแควอริเจียเพราะเกิดไอออนเชิงซ้อน $(HgCl_2)_2^{2-}$ $HgCl_2$ เป็นโมเลกุลโคเวเลนต์ ระเหิดง่าย หลอมเหลวแล้วไม่นำไฟฟ้า ละลายน้ำได้ดี แต่ในสารละลายไม่ค่อยแตกตัวเป็นไอออน $HgCl_2$ ถูกรีดิวซ์ได้ง่าย Sn^{2+} ใช้ตรวจหา Hg^{2+} (หรือ Hg^{2+} โดยเปลี่ยนเป็น $HgCl_2$ เสียก่อน) ผลผลิตของรีดักชันอาจเป็นตะกอนขาว Hg_2Cl_2 หรือปรอท แล้วแต่ว่าจะใช้ปริมาณ Sn^{2+} น้อยหรือมาก สารประกอบออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และซัลไฟด์ของ Hg^{1+} ไม่เคยปรากฏ สารประกอบที่เสถียร (ในสารละลาย) ได้แก่ Hg_2X_2 ($X = Cl, Br, I$) และ Hg_2SO_4 ในสารละลายน้ำ Hg^{1+} ไม่ดีสพรอพอร์ชันเนตไปเป็น Hg^{2+} แต่สารใดก็ตามที่สามารถลดความเข้มข้นของ Hg^{2+} ในสารละลาย โดยทำให้เกิดสารที่ไม่ละลายหรือเกิดสารเชิงซ้อนเป็นต้น อาจจะทำให้เกิดการดีสพรอพอร์ชันเนตได้ทั้งนั้น (หลักของเลอ ชาเตอริเอ) ดังนั้นสารจำนวนมากชนิด เช่น ไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ และลิแกนด์ส่วนใหญ่ ทำให้ Hg^{1+} ดีสพรอพอร์ชันเนตได้เกลือ Hg^{1+} ทุกชนิดไม่ละลายน้ำยกเว้นในเตรต และเพอร์คลอเรต ไอออน Hg^{1+} เป็นอะตอมคู่ประกอบด้วยอะตอมของ Hg 2 อะตอมมีพันธะต่อกัน

2.4.2.1 ประโยชน์ของปรอท

ปรอทสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่ง (Catalyst) ในกระบวนการทางเคมีต่างๆ อีกด้วย
- 2) ใช้ในด้านการแพทย์ คือ ส่วนผสมของยารักษาโรคหลายชนิด ใช้ในการอุดฟันและเป็นองค์ประกอบในเครื่องมือแพทย์ เช่น เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความดันโลหิต (Blood pressure) เป็นต้น
- 3) ใช้ในด้านการเกษตร คือ สารประกอบของปรอททั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ใช้เป็นยาปราบศัตรูพืช และยาฆ่าเชื้อราในพืชทำให้ป้องกันเชื้อราที่เกิดกับเมล็ดพืชที่เก็บรักษาไว้นานๆ ได้

4) ใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ไฟฟ้า อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมผลิตสี อุตสาหกรรมผลิตน้ำยาซักแห้ง อุตสาหกรรมผลิตคลอรีนและโซดาไฟ และอุตสาหกรรมทำขนเฟอร์ เป็นต้น

5) ใช้ประโยชน์ทางการทหาร คือ เป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งในการทำระเบิด

2.4.2.2 ความเป็นพิษของปรอท

สารปรอทเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเป็นพิษภัยมาก เพราะปรอทจะไปจับตัวแบบพันธะโคเวเลนต์กับโปรตีน ซึ่งขับถ่ายออกไปได้ช้ามาก พิษภัยที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ของปรอทนี้ จะทำให้ผนังเนื้อเยื่อต่างๆ มีการซึมผ่านได้ยาก เป็นเหตุให้เซลล์แห่ง เหตุการณ์ที่ร้ายแรงที่พบในประเทศญี่ปุ่น เมื่อชาวประมงจำนวน 111 คน ที่กินปลาและหอยจากอ่าวมินามาตะ (Minamata) ในเกาะกิชู (Kyu-Shu) ระหว่างปี พ.ศ.2499 - 2503 มีอาการนิ้วมือ นิ้วเท้าชา ตาฟาง หูตึง เดินไม่ตรงทาง รายที่มีอาการรุนแรงจะไม่ตอบสนองทางอารมณ์และบังคับกล้ามเนื้อไม่ได้ ในปี พ.ศ.2502 พบว่าเกิดจากสารพิษที่ปล่อยจากโรงงานที่อยู่ใกล้ๆ อ่าวนั้น ซึ่งมีถังรองรับของโลหะปรอท สารประกอบอินทรีย์ของปรอท และไดเมทิลเมอร์คิวรีอีกเล็กน้อย สารไดเมทิลเมอร์คิวรีสามารถเปลี่ยนมาจากสารประกอบอินทรีย์ของปรอท โดยสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ที่ก้นอ่าวและสะสมตัวอยู่ในปลาและหอย และเพิ่มมากขึ้นทุกที เมื่อผู้เคราะห์ร้ายบริโภคปลาซึ่งมีสารปรอทอยู่ถึง 50 ส่วนในล้านส่วนเข้าไป พิษปรอทจึงไปทำลายระบบประสาทส่วนกลางอย่างร้ายแรง หญิงมีครรภ์จะให้บุตรที่เป็นโรคปรอทเป็นพิษตั้งแต่แรกเกิด

จากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 ฉบับที่ 12 (2525) กำหนดให้น้ำทิ้งที่จะระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำ มีความเข้มข้นของปรอทไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.5 ดินเหนียว (Clays)

ดินเหนียว (Clays) โดยทั่วไปหมายถึง วัตถุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ที่มีลักษณะเนื้อเหมือนดิน ซึ่งมีเนื้อละเอียด โดยปกติมีความเหนียวเมื่อเปียกน้ำ แข็งและแกร่งเมื่อแห้ง (ราชบัณฑิตยสถาน, 2520) โดยปกติดิน ประกอบด้วยแร่ดิน (Clays minerals) ที่มีขนาดเม็ดแร่เล็กละเอียด ปนกับสารอินทรีย์ และแร่ชนิดอื่นซึ่งมีขนาดเล็กละเอียด เช่นเดียวกัน แต่มีขนาดเล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร

ดินเหนียวเป็นดินที่อยู่ลึกลงไปจากผิวน้ำดินที่ใช้ทำเกษตรกรรม เป็นดินที่มีเม็ดดินละเอียดมาก ระหว่าง 10^6 ถึง 0.002 มิลลิเมตร (น้อยกว่า 2 ไมครอน) จากเหตุผลนี้ทำให้โมเลกุลอยู่ใกล้ชิดกันมาก จึงทำให้ดินชนิดนี้มีแรงยึดเกาะสูงหรือมีความเหนียวนั่นเอง และยังทำให้น้ำซึมผ่านได้น้อยอีกด้วย เนื่องจากช่องว่างระหว่างโมเลกุลนั้นมีขนาดเล็กมาก โดยปกติจะพบได้บริเวณที่ราบลุ่ม ซึ่งมีการสะสมของ carbonaceous matter และ organic matter เป็นจำนวนมาก มักจะพบในลักษณะที่เป็นสีดำหรือสีเทา ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา มักนิยมนำมาผสมกับดินเชื้อ (grog) และผ่านกระบวนการเผา ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า เอิเทินแวร์ (Earthen ware) ซึ่งมีลักษณะพรุนตัว (Porous) นอกจากจะมี carbonaceous matter แล้ว ดินในประเทศไทยส่วนมากจะมีแร่เหล็ก (Fe_2O_3) เป็นส่วนประกอบอยู่มาก สังเกตได้จากสีของผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างแดงหรือส้ม เช่น กระถางต้นไม้ อีฐมอญ หม้อดิน แจกัน อ่างบัว เป็นต้น

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วราศรี เทกประสิทธิ์ และคณะ (2542) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะกากชี้แบ่งและอัตราการเกิดกากชี้แบ่งของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นพบว่าจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น กระบวนการที่สำคัญคือการปั่น (Centrifugation) ซึ่งจากกิจกรรมการปั่นนี้จะได้ของเสียออกมาในรูปของแข็ง เรียกว่านมหรือกากชี้แบ่ง โดยที่กากชี้แบ่งเกิดจากของแข็งที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งในน้ำยางสด และจะถูกแยกออกในขณะที่ทำการปั่นน้ำยางสดรวมถึงจากการตกตะกอนในถังพักน้ำยางที่รวบรวมน้ำยางสดไว้ ก่อนที่จะนำไปปั่น กากชี้แบ่งมีลักษณะเป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน และยังพบว่าในการผลิตน้ำยางชั้นจะทำให้เกิดกากชี้แบ่งประมาณ 10.7 กิโลกรัม / ตันน้ำยางสด โดยในปัจจุบันโรงงานมักทำการกำจัดโดยการนำกากชี้แบ่งไปถมที่ ถมถนน ซึ่งเป็นการจัดการของเสียที่ไม่เหมาะสม

รติกรณ อิศระเสนีย์ (2539) ได้ศึกษาทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว โดยผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์และกระตุ้นโดยไอน้ำร้อนยิ่งยวดและอากาศ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาในการคาร์บอนไนซ์ คืออุณหภูมิและเวลา ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะได้ถ่านที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปกระตุ้นต่อไป คือมีค่าปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ 47.2 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 50.48 และปริมาณสารระเหยร้อยละ 23.11 และภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิว 691.51 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน 891.11 มิลลิกรัมต่อกรัม

ธนพร ล้อทอง (2541) ได้ทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้วโดยผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์และกระตุ้นโดยไอน้ำร้อนยิ่งยวดและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาในการคาร์บอนไนซ์ คือ อุณหภูมิและเวลา ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จะได้ถ่านที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปกระตุ้นต่อไป คือมีค่าปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ 41.40 ปริมาณคาร์บอน คงตัวร้อยละ 62.57 และปริมาณสารระเหยร้อยละ 22.13 และภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 45 นาที จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีร้อยละผลิตภัณฑ์ 27.99 พื้นที่ผิว 658.75 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน 598.79 มิลลิกรัมต่อกรัม

ปิยะพร บารมี (2542) ได้ทำการศึกษา การผลิตถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้งโดยผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์และกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาในการคาร์บอนไนซ์ คืออุณหภูมิและเวลา ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะได้ถ่านที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปกระตุ้นต่อไป คือมีค่าปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ 85.13 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 71.41 และปริมาณสารระเหยร้อยละ 22.08 และภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ 54.96 พื้นที่ผิว 231.17 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน 351.52 มิลลิกรัมต่อกรัม

ไชยันต์ ไชยยะ (2542) ได้ศึกษาปัจจัยการผลิตเม็ดดูดซับ โดยผลิตจากปริมาณสัดส่วนโดยน้ำหนักระหว่างกากกาแฟกับดินที่ 80 ต่อ 20 และมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 มิลลิเมตร ซึ่งผ่านการเผาแบบไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับพบว่า สามารถดูดซับไอออนโลหะหนักต่างๆได้ภายในเวลา 30 นาที เมื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด(V_m) ด้วยแบบจำลองการดูดซับแลงเมียร์ พบว่าเม็ดดูดซับสามารถดูดซับไอออนโลหะแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสีและนิกเกิล ได้ปริมาณสูงสุดที่ 39.52, 31.15, 19.53, 13.39 และ 11.0 มิลลิกรัมไอออนโลหะต่อกรัมเม็ดดูดซับตามลำดับ

อธิชัย นพแก้ว (2539) ได้ทำการศึกษาความสามารถของถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวโครเมียมและปรอทออกจากน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำชะขยะมูลฝอย โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การทดลองแบบแบตช์เพื่อศึกษาปัจจัยของพีเอช เวลาสัมผัส และความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลต่อการดูดติดผิว และหาความสามารถของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการ

ทดลอง จากการทดลองพบว่าที่พีเอช 2- 4 เป็นช่วงพีเอชที่กำจัดโครเมียมและปรอทออกจากน้ำเสีย ทั้ง 2 ชนิดได้ดีที่สุด ผลของเวลาสัมผัสพบว่าการดูดติดผิวของปรอทและโครเมียมจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที และเมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น ความสามารถในการกำจัดโครเมียมและปรอทจะลดลง สภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดติดผิวโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด คือ พีเอชเท่ากับ 4 เวลาสัมผัสเท่ากับ 15 นาที สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ และสำหรับน้ำชะขยะมูลฝอย คือ พีเอชเดิมของน้ำชะขยะมูลฝอยมีค่าอยู่ระหว่าง 7-8 เวลาสัมผัส 15 นาที ตอนที่สองเป็นการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง พบว่าการกำจัดโลหะหนักในน้ำชะขยะมูลฝอยมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีประสิทธิภาพรวมประมาณ 90% และ 70 % ตามลำดับ

ลลิตา นิตศนจากรุก (2544) ได้ทำการศึกษาการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ เปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้เกลือแกง พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาพร้อมสารกระตุ้นเกลือแกง คือ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วนน้ำหนักของวัสดุติดต่อเกลือแกงที่เหมาะสม คือ 1 : 0 และพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิวที่ศึกษา คือ พีเอชนั้น ที่พีเอชตั้งแต่ 4 ขึ้นไป ถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วมากกว่า 90 % เนื่องจากมีการตกตะกอนร่วมด้วย และสมดุลของเวลาสัมผัสของถ่านทั้ง 2 ชนิด คือ 10 นาที ผลของการหาไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพหุนดลิต แสดงให้เห็นว่าถ่านเปลือกทุเรียนมีความสามารถในการดูดติดผิวสูงกว่า และเมื่อนำถ่านเปลือกทุเรียนไปบรรจุในถังดูดติดผิวแบบแท่ง พบว่าถ่านเปลือกทุเรียนที่ชั้นความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 94.01, 58.85, 50.98 และ 47.06 BV ตามลำดับ

สุจณีย์ ค้อยเสงี่ยม (2544) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวโดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นกับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว มีค่าไอโอดีน 532.29 มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิว 492.42 ตารางเมตรต่อกรัม การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพหุนดลิตชโดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า สามารถดูดติดผิวตะกั่วและปรอท ได้ 8.37 และ 5.52 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนการทดสอบการดูดติดผิวโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่งดูดติดผิวน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ สามารถดูดติดผิวตะกั่วได้ 2.45, 2.57, 2.69 และ 2.81 มิลลิกรัม/กรัม และดูดติดผิวปรอทได้ 2.21, 2.45, 2.45 และ 2.70 มิลลิกรัม/

กรัม ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทเริ่มต้น 9.82 และ 9.83 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม มีค่าไอโอดีน เท่ากับ 486.45 มิลลิกรัมต่อกรัม มีพื้นที่ผิว 385.90 ตารางเมตรต่อกรัม การทดสอบ ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า สามารถดูดติดผิวตะกั่วและปรอท ได้ 2.53 และ 1.63 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งแสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติดีกว่า

Mackay, Bino และ Altameni (1985) ได้ทำการศึกษาดูดติดผิวของ Phenol, p-chlorophenol, Mercuric ions และ Sodium dodecyl sulphate โดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิด Filtrasorb 400 ผลจากการศึกษาไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช พบว่า ความสามารถในการดูดติดผิวของสารเหล่านั้นเท่ากับ 213, 434, 35 และ 361 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ขนาดของถ่านที่ใช้ คือ 0.5-0.71 มิลลิเมตร

Reed, Jamil และ Thomas (1996) ได้ทำการศึกษากำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียทั้งแบบแบคทีเรียและแบบคอลัมน์ โดยทำการศึกษาอิทธิพลของพีเอช เวลาสัมผัส และอัตราการไหลของน้ำเสียในคอลัมน์ถ่านกัมมันต์แบบเม็ด ผลการทดลองพบว่า พีเอชของคอลัมน์มีความสำคัญต่อการกำจัดตะกั่ว โดยการกำจัดตะกั่วจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ผ่านคอลัมน์จนถึงจุดเสื่อมสภาพของถ่าน พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าคงที่การดูดติดผิว (X/M_{exh}) เท่ากับ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร และการฟื้นฟูสภาพถ่านโดยใช้กรดและด่างพบว่า มีประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วหลุดออกจากพื้นผิว และละลายกลับสู่สารละลายได้

Anirudhan (1997) ได้ทำการศึกษากำจัดโลหะหนักชนิดต่างๆ อันประกอบด้วย Pb (II), Hg (II) และ Cd (II) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขี้เลื่อย พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณถ่าน และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักนั้นต้องลดลง พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วและปรอทอยู่ในช่วง 4-8 ในขณะที่พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียม คือ ช่วง 5-9 และได้นำถ่านกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ 0.2 M HCl

Rengaraj, Arabindoo และ Murgesen (1998) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดยางพาราและเปลือกของเมล็ดปาล์มโดยกระบวนการต่างๆ ดังนี้ คือ กระบวนการใช้กรด กระบวนการกระตุ้นด้วยซัลเฟต กระบวนการกระตุ้นด้วยคาร์บอนเนต กระบวนการ

กระตุ้นด้วยคลอไรด์ กระบวนการไดโพลไมต์ และนำผลจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป พบว่าทั้งเปลือกของเมล็ดยางพาราและเปลือกของเมล็ดปาล์มมีความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และยังพบว่าค่าต่างๆของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป คือค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวถ่านกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดยางพารามีค่าร้อยละ 98.45 และถ่านกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดปาล์มมีค่าร้อยละ 98.43 ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายมีค่าร้อยละ 97.09 นอกจากนี้ค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดยางพารามีค่า 317 ตารางเมตรต่อกรัม และถ่านกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดปาล์มมีค่า 348 ตารางเมตรต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายมีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 296 ตารางเมตรต่อกรัม

Kadirvelu, Thamaraiselvi และ Namasivayam (2001) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดติดผิวโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากาบมะพร้าว โดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี พบว่า ประสิทธิภาพการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นจากพีเอช 2 ถึง 6 และจะคงที่จนถึงพีเอช 10 และจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการดูดติดผิว ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโลหะหนัก และค่าพีเอช โดยสามารถกำจัดได้สูงสุด ดังนี้ Cu (II) ได้ 73%, Hg (II), Pb (II) และ Cd (II) ได้ 100% และ Ni (II) ได้ 92% สำหรับค่า พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก Cu (II), Hg (II), Pb (II) Cd (II) และ Ni (II) เท่ากับ 5.0, 3.5, 4.0, 4.0 และ 3.5 ตามลำดับ

Rengaraj.et al. (2002) ได้ทำการศึกษาการกำจัดฟีนอลโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกของเมล็ดยางพารา โดยทำการศึกษาแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) และการศึกษาแบบต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์ พบว่า พีเอช ปริมาณถ่าน และเวลาสัมผัสมีผลต่อสมรรถนะการดูดติดผิว และศึกษาความเหมาะสมในการนำไปใช้กำจัดฟีนอลในอุตสาหกรรมโดยทำการทดสอบเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป พบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดยางพารามีประสิทธิภาพดีกว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายทั่วไป 2.25 เท่า