

การกำจัดโลหะตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุธรรมชาติ

Removal of Lead by Activated carbon prepared from Natural Material

สอผีหะ ยะระรัต

Sophiya Yacharat

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

Bachelor of Science in Chemistry

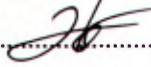
Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

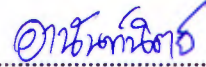
2553

ชื่อการวิจัย การกำจัดโลหะตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุธรรมชาติ
(Removal of Lead by Activated carbon prepared from Natural Material)

ผู้ทำวิจัย นางสาวสัณณิศา ยาชะรัด
สาขา เคมี

คณะกรรมการที่ปรึกษา
..........ประธานกรรมการ
(อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา)

คณะกรรมการสอบ
..........ประธานกรรมการ
(อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา)

..........กรรมการ
(อาจารย์อานันท์นิตย์ ค่อยยกสุข)

..........กรรมการ
(อาจารย์ปวีณา ปรวัฒน์กุล)

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อนุมัติให้โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

.....
(อาจารย์เน่งน้อย แสงแสนห์)

ประธานหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

หัวข้อวิจัย	การกำจัดโลหะตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุธรรมชาติ
ชื่อผู้วิจัย	สือฝัหะ ยาชะรัต
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ปีที่ศึกษา	2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะตะกั่ว ด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ 4 ชนิด คือ ไม้ไผ่ผาก, ไม้ยางพารา, ไม้เงาะ และ ไม้สะเดา พบว่า เวลาในการดูดซับโลหะตะกั่วเข้าสู่สมดุลในเวลา 24 ชั่วโมง โดยปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกกำจัดมีค่าเท่ากับ 0.3720, 0.4098, 0.4095 และ 0.4095 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และสามารถกำจัดโลหะตะกั่วได้ในปริมาณสูงสุดเมื่อสารละลายโลหะตะกั่วมีค่าพีเอช เท่ากับ 3 ปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกกำจัดได้มีค่าเท่ากับ 0.4161, 0.4693, 0.4680 และ 0.4669 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อศึกษาค่าความจุการดูดซับ โดยอาศัยสมการของฟรูนดลิช พบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด คือ ไม้ไผ่ผาก, ไม้ยางพารา, ไม้เงาะ และ ไม้สะเดา สามารถดูดซับโลหะตะกั่วได้เท่ากับ 0.058, 0.588, 0.378 และ 0.189 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

คำนำ

รายงานการวิจัยเรื่อง การกำจัดโลหะตะกั่ว ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุธรรมชาติ เป็นงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์หลัก คือ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว ได้แก่ การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว การศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว และการศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุการกำจัดโลหะตะกั่วของถ่านกัมมันต์

ข้อมูลและผลการวิจัยครั้งนี้ได้นำวัสดุธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดโลหะตะกั่วที่มาจากแหล่งต่างๆได้

สือฝัหะ ยะระรด

มีนาคม 2554

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา อาจารย์ที่ปรึกษา
งานวิจัยเป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือ ได้สละเวลาตรวจแก้ไข
ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยและขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยชี้แนะข้อบก
พร่องต่างๆ จนทำให้งานทุกอย่างสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการศูนย์วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้การสนับสนุน อำนวยความ
สะดวกและแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย เป็นผลทำให้งานวิจัยครั้งนี้ได้
ดำเนินตามที่ตั้งใจไว้

สือฝัหะ ยะระรัต

มีนาคม 2554

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	(1)
คำนำ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(7)
 บทที่ 1 บทนำ	 1
ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาที่ทำงานวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
 บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	 3
ข้อมูลเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์	3
การดูดซับ	10
ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์	18
ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับตะกั่ว	19
วัสดุที่ใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์	20
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
 บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	 32
เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี	32
วิธีดำเนินการวิจัย	33
 บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	 35
ผลการทดลอง	35

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

44

สรุปผล

44

ข้อเสนอแนะ

44

บรรณานุกรม

45

ภาคผนวก

47

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสแตกต่างกัน	32
4.2 แสดงปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับในสภาวะที่สารละลายมี pH แตกต่างกัน	34
4.3 แสดงค่า $\log C$ และ $\log X/m$ เพื่อหาค่าความจุการกักตัวของไม้ไผ่ผาก	35
4.4 แสดงค่า $\log C$ และ $\log X/m$ เพื่อหาค่าความจุการกักตัวของไม้ยางพารา	36
4.5 แสดงค่า $\log C$ และ $\log X/m$ เพื่อหาค่าความจุการกักตัวของไม้เงาะ	36
4.6 แสดงค่า $\log C$ และ $\log X/m$ เพื่อหาค่าความจุการกักตัวของไม้สะเดา	37
4.7 แสดงค่าความจุในการกักตะกั่วของไม้แต่ละชนิด	38

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์	6
2.2 เปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์และผลึกของถ่านกัมมันต์	6
2.3 แผนภาพอธิบายโครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์	7
2.4 กลุ่มฟังก์ชันนอลแบบกรดบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์	9
2.5 กลุ่มฟังก์ชันนอลแบบเบสบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์	9
2.4 ไอโซเทอมการดูดซับพื้นฐาน 5 ชนิด	12
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{X}{m}$ และ C_e โดยอาศัยสมการการดูดซับของแลงเมียร์	14
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{C_e}{X/m}$ และ C_e โดยอาศัยสมการการดูดซับของแลงเมียร์	15
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e(\log \frac{X}{m})$ และ $\log C_e$ โดยอาศัยสมการการดูดซับของฟรุนดลิช	16
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P}{n(P^0 - P)}$ และ $\left(\frac{P}{P^0}\right)$ โดยอาศัยสมการการดูดซับของ บรูเนาเออร์ แอมเมทท์ และเทลเลอร์	17
2.9 ลักษณะของไม้ไผ่ผาก	21
2.10 ลักษณะของดินสะเดา	22
2.11 ลักษณะดินยางพารา	24
2.12 ลักษณะของไม้เงาะ	26

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาที่ทำงานวิจัย

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศไทยส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ขึ้นมากมาย น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ เช่น โลหะหนัก สีย้อม ปนออกมากับของเสียอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสีย มูลฝอย หรือกากตะกอนต่างๆ จึงทำให้น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีสารพิษปนเปื้อนอยู่อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสี ซึ่งมีโลหะหนักเป็นส่วนผสมในเม็ดสี ได้แก่ ตะกั่ว สังกะสี นิกเกิล โคบอลต์ โครเมียม แคดเมียม และปรอท (อริชัย นพแก้ว, 2539) เป็นต้น ซึ่งโลหะเหล่านี้จะปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิต หากไม่มีการกำจัดที่ดีพอ โลหะหนักเหล่านี้ก็จะปนเปื้อนน้ำทิ้งซึ่งปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะในชั้นสุดท้าย ซึ่งน้ำทิ้งที่ปล่อยลงมานั้นมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต หากได้รับสารพิษเป็นเวลานาน จะก่อให้เกิดปัญหารุนแรงต่อตับ ไต ผิวหนัง ทำให้เกิดการแพ้ และทำลายระบบประสาท เป็นอันตรายต่อสมอง (สราวุธ ศรีคุณ, 2550)

ในปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียทำได้โดยหลายวิธี เช่น การตกตะกอนทางธรรมชาติ การเติมสารเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน การใช้เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ต่างๆ เพื่อช่วยจับสารพิษที่เจือปนในน้ำ (สรัญญา ธนสัมฤทธิ์, นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, 2551) แต่เนื่องจากวิธีการเหล่านี้ต้องใช้เทคโนโลยีและต้นทุนสูง ถ้าสามารถหาทางเลือกอื่นในการบำบัดน้ำเสียได้โดยการนำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะเป็ทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียโดยไม่มีผลตกค้างในเรื่องของสารเคมีและใช้ต้นทุนต่ำกว่า

การใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ในการบำบัดหรือกำจัดสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียโดยอาศัยการดูดซับ แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์ซึ่งใช้เป็นตัวดูดซับ (adsorbent) เป็นวัสดุที่มีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศเพราะแม้ประเทศไทยจะสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ได้ แต่ก็ยังไม่เพียงพอกับความต้องการ จากข้อมูลของกรมศุลกากรในปี พ.ศ. 2548 ประเทศไทย นำเข้าถ่านกัมมันต์ถึง 4,802,834 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 204,881,304 บาท และเพิ่มขึ้นเป็น 5,658,602 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 263,223,505 บาท ในปี พ.ศ. 2549 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ 4 ชนิด คือ ไม้ไผ่ผาก ไม้ยางพารา ไม้เงาะ และ ไม้สะเดา ซึ่งมีมากในท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยศึกษาถึง

ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะตะกั่ว ซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและมีมากในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว ด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ผาก ไม้ยางพารา ไม้เงาะ และ ไม้สะเดา
2. เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะตะกั่วของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด ด้วยเทคนิคการดูดซับแบบแช่

ผลคาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อนำวัสดุที่เหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์
2. เพื่อลดการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ

ขอบเขตของการวิจัย

เตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ผาก ไม้ยางพารา ไม้เงาะ และ ไม้สะเดา โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว ได้แก่ ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว ศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว และหาค่าความจุแบบแช่

ระยะเวลาการทำการวิจัย

มีนาคม 2553 – กุมภาพันธ์ 2554

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) ชนิดหนึ่ง แต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษ โดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก โดยโครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึกอยู่บ้าง แต่ไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์ จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านลิกไนต์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือ แกรไฟต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูง อันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ผิวโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (microporous structure) และมีความว่องไวในการดูดซับสูง

โดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้ว แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้า และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซะโกนัล (hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (silica gel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า (เพียรพรรค ทศธร, 2535)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้รูพรุนหรือโครงสร้างภายในเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 อังสตรอม ถึง 20,000 อังสตรอม ดังนั้นพื้นที่ผิวจึงสูง และมีความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) สูงด้วยเช่นกัน การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์กระทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกถ่านกัมมันต์ดูดไว้ วิธีวัดสมรรถนะของถ่านกัมมันต์อาจกระทำได้โดยการวิเคราะห์ ค่าการดูดซับ ไอโอดีน (iodine number) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area) ลักษณะของสารดูดซับ (nature of adsorbate) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิ (temperature) และเวลาในการสัมผัส (contact time)

1. กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (processing activated carbon)

ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบ ลักษณะ และคุณสมบัติของถ่านที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยขั้นตอน

หลัก 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการเผาให้เป็นถ่านคาร์บอนหรือการคาร์บอนในเซชัน (Carbonization) และขั้นตอนการกระตุ้นหรือแอคติเวชัน (Activation)

(1) การเตรียมวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรงหรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอนในเซชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาร์บอนในเซชัน หลังจากนั้นทำการอบหรือตากวัตถุดิบให้แห้ง (Dehydration) แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความชื้นและเหนียว ทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก ก็อาจจะนำวัตถุดิบนั้นไปผ่านการคาร์บอนในเซชันก่อน แล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้ สำหรับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผง อาจนำมาทำให้เป็นเม็ด โดยใช้ตัวประสาน เช่น แป้ง น้ำมันเตาหรือทาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการคาร์บอนในเซชัน แล้วนำไปอัดเป็นเม็ดก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันเป็นขั้นตอนต่อไป

(2) การคาร์บอนในเซชัน (carbonization) การคาร์บอนในเซชันเป็นกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) รูปแบบหนึ่งที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของชาร์ (char) ที่เป็นของแข็งมากกว่าน้ำมันทาร์ (tar) และก๊าซ อาจกล่าวได้ว่าการคาร์บอนในเซชันเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้น การไพโรไลซิสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การไพโรไลซิสแบบช้าและแบบเร็ว

(3) การกระตุ้น (activation) คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น

Mukherjee และ คณะ. (1947). ได้พิจารณาความหมายของการถูกกระตุ้นไว้ 3 ความหมาย คือ

- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่อง โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน
- เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้นโดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น
- เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (active centers)

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ

วิธีกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ข้อดีของวิธีนี้คือใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก (400-600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสียคือมีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลา และค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออกเพิ่มขึ้น สารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวกระตุ้น

ส่วนใหญ่เป็นสารดูดน้ำ (dehydrating agent) ได้แก่ ซิงคลอไรด์ (ZnCl_2) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น (Hassler, 1974)

วิธีกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้แก๊สออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น ไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด (steam) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สออกซิเจน (O_2) และอากาศ (air) เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อน ปฏิกิริยาการกระตุ้นอาจเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียว ก็ได้ แต่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากถึง 1,200 องศาเซลเซียส แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์ ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ คือ (Hassler, 1974)

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
- คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของแก๊สที่ใช้
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา

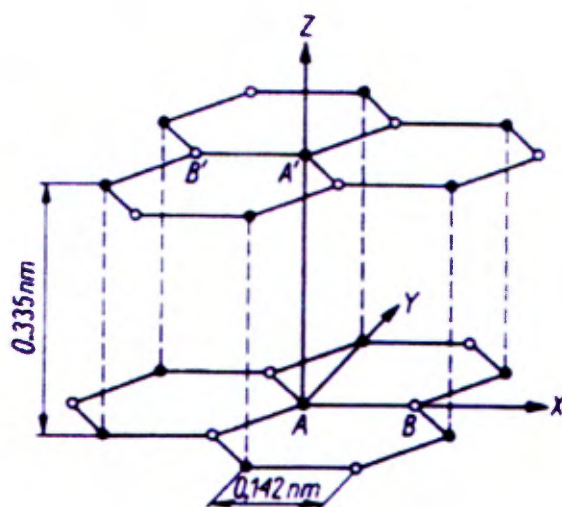
สำหรับข้อดีของการกระตุ้นทางกายภาพคือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าการกระตุ้นด้วยสารเคมี (700-1200 องศาเซลเซียส)

2. โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ (Graphite) แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์มีมากกว่าแกรไฟต์

2.1 โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์

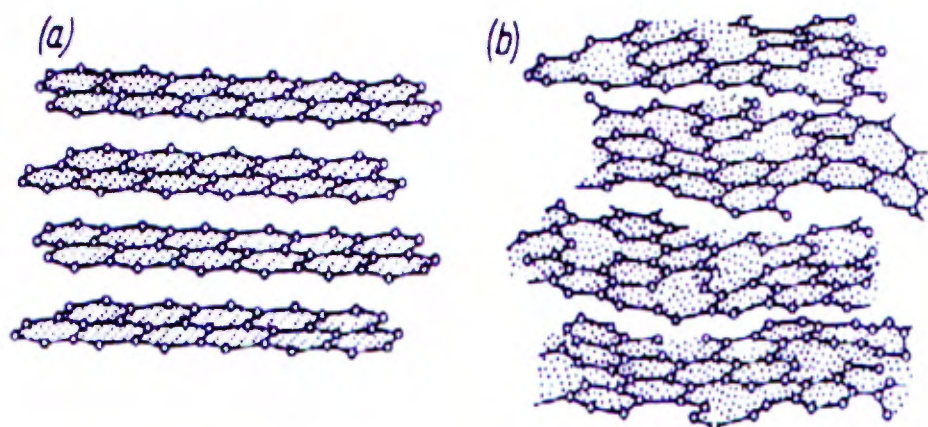
ถ่านกัมมันต์นั้นมีโครงสร้างเช่นเดียวกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกแกรไฟต์ โดยโครงสร้างประกอบไปด้วยชั้นของคาร์บอนอะตอมในรูปของวงแหวนเบนซีน (Benzene Ring) หรือกลุ่มของอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม (Regular Hexagon) นั่นคือแต่ละอะตอมจะเกิดพันธะโควาเลนต์ (Covalent) ความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 1.42 อังสตรอม อิเล็กตรอนที่เหลือนอกหนึ่งเป็นไพอิเล็กตรอน (π - electron) จะเคลื่อนที่ไปทั่วโครงสร้างเกิดเป็นเรโซแนนซ์ (Resonance) เพื่อให้โครงสร้างมีความเสถียรยิ่งขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals Force) แต่ละแผ่นราบห่างกัน 3.35 อังสตรอม ดิสเพลสเมนต์ (Displacement) ในทิศทางขนานกับแผ่น (Layer) จะเกิดง่ายเพราะแรงยึดเหนี่ยวแวนเดอร์วาลส์อ่อน ดังนั้นจะเกิดข้อบกพร่อง (Defect) ในโครงสร้างได้ง่าย ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์

ที่มา: (Jankowska *et al*, 1991)

ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นผลึกเล็กๆ ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดการเบี่ยงเบนในแนวฉากและซ้อนเหลื่อมกันในแนวระนาบ เรียกว่า “โครงสร้างแบบเทอร์โบสแตติก” (turbostatic-structure) การจัดเรียงตัวของผลึกเล็กๆ จะมีทิศทางไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการคาร์บอ-ไนเซชัน ผลึกเล็กๆ นี้มักมีความสูง 9-12 อังสตรอม เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดประมาณ 20 – 30 อังสตรอม ประกอบด้วย 3 แผ่นระนาบของชั้นแกรไฟต์ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 เท่า ของความกว้างของอะตอมคาร์บอนรูป 6 เหลี่ยม ดังแสดงในภาพที่ 2.2

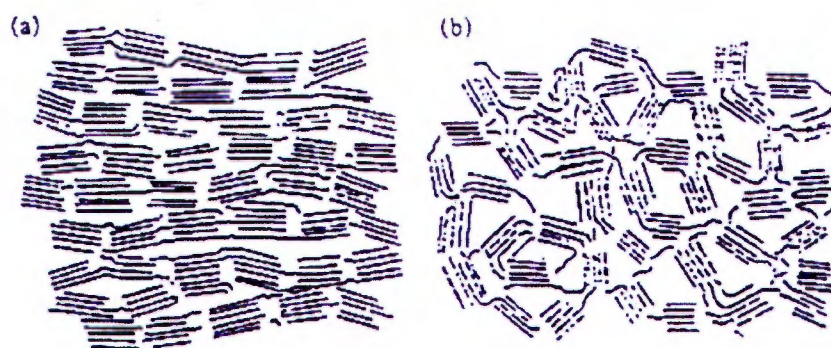


ภาพที่ 2.2 เปรียบเทียบ โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์และผลึกของถ่านกัมมันต์

(a) โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์ (b) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์

ที่มา: (Jankowska *et al*, 1991)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะขึ้นอยู่กับสถานะในการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิ และ เวลาในการให้ความร้อน ได้มีการพยายามแบ่งประเภทของถ่านกัมมันต์ตามโครงสร้างของผลึก ตัวอย่างเช่น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ โครงสร้างที่เป็นแกรไฟต์ง่ายที่อุณหภูมิสูง (easily undergoing graphitization) และ โครงสร้างที่มีลักษณะแกรไฟต์เพียงเล็กน้อย (ที่สถานะเดียวกัน) (undergoing graphitization to a small degree) ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แผนภาพอธิบายโครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์

(a) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ที่เป็นแกรไฟต์ง่าย

(b) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ที่เป็นแกรไฟต์เล็กน้อย

ที่มา: (Jankowska *et al*, 1991)

2.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนในเซชันมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียองค์ประกอบคาร์บอนระหว่างช่องระหว่างผลึกของคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้มีความพรุน ไม่ใช่ขนาดของรู เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและมีความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน บางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางครั้งเป็นรูปตัววี

รูพรุนของถ่านกัมมันต์นั้นสามารถจำแนกตามได้ขนาดรัศมีของรูพรุน คือ

(1) แมคโครพอร์ (Macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 100 – 200 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2 -0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น ดังนั้นแมคโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูพรุนที่เล็กกว่า

(2) เมโซพอร์ (Mesopores) หรือ ทรานซิชันนัลพอร์ (Transitionalpores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 1.5 – 100 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20 - 100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนเป็นเมโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล (Silica Gels) อะลูมินาเจล (Alumina Gels) ตัวเร่งปฏิกิริยาอะมิโนซิลิเกต (Aminosilicate Catalyst)

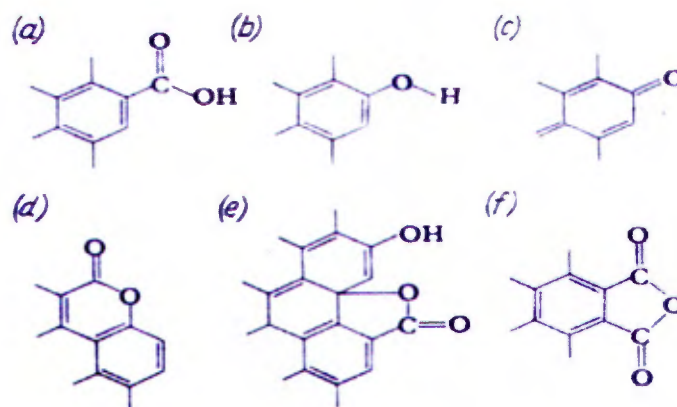
(3) ไมโครพอร์ (Micropores) ขนาดรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตร ปริมาตร 0.2 - 0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะเป็นจำนวนมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับ (Adsorption Energy) มากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่ความดันต่ำๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งเชื่อมั่นว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาด หรือที่เรียกกันว่า “การกระจายตัวของรูพรุน (Pore Size Distribution)” จะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และวิธีการกระตุ้น ตัวอย่างของตัวดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์ คือ ซีโอไลต์ (Zeolite)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนกระจัดกระจาย โครงสร้างที่มีทั้งแมโครพอร์ เมโซพอร์ และไมโครพอร์ เรียกว่า “โครงสร้างผสม (Mixed Structure Type)” พบว่าแมโครพอร์เป็นเพียงทางเปิดสู่ผิวภายนอกอนุภาค โดยมีเมโซพอร์เป็นกิ่งออกมาจากไมโครพอร์อีกทีหนึ่ง โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200 - 300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความจุในการดูดซับ จะมีประมาณร้อยละ 90 - 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวดัวยกล่าวคือ ถ้าบริเวณผิวของถ่านกัมมันต์เป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (Basal Planes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชัน-นอลอื่นๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ หรืออาจเกิดจากไฟอิลิกตรอน แรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับได้แต่มีโอกาที่จะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชัน การดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแกร่งกว่า โอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า

3. โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอะตอมที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับอะตอมอื่นๆ ได้เช่น อะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจน ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ ทั้งในกระบวนการคาร์บอนในเซชัน และการกระตุ้นจะทำให้ธาตุเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไป การที่มีอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนนี้ส่งผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากอะตอมเหล่านี้เมื่อรวมตัวกับอะตอมของคาร์บอนโดยเกิดพันธะเคมี จะเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันนอล (Functional Groups) หมู่ฟังก์ชันนอลที่พบบนผิวถ่านกัมมันต์บ่อยๆ ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันนอลที่เป็นกรด เช่น หมู่ Carboxyl, Phenolic Hydroxyl, Quinonoid, Normal Lactone, Fluorescein-Type Lactone และ Carboxylic Acid

Anhydride ดังแสดงในภาพที่ 2.4 และอีกกลุ่มคือหมู่ฟังก์ชันนอลที่เป็นเบส ได้แก่ Quinine, Chromene และ Pyrone - like ดังแสดงในภาพที่ 2.5 นอกจากนี้ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ยังก่อให้เกิดเถ้า ซึ่งเถ้าและองค์ประกอบทางเคมีของเถ้ายังมีหลากหลายอีกด้วย

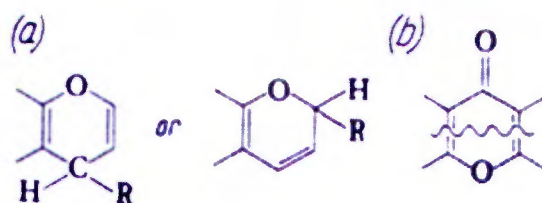


ภาพที่ 2.4 กลุ่มฟังก์ชันนอลแบบกรดบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์

(a) Carboxyl (b) Phenolic hydroxyl (c) Quinonoid (d) Normal lactones

(e) Fluorescein-type lactone (f) Carboxylic acid anhydrides

ที่มา: (Jankowska *et al*, 1991)



ภาพที่ 2.5 กลุ่มฟังก์ชันนอลแบบเบสบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์

(a) Chromene (b) Pyrone - like

ที่มา: (Jankowska *et al*, 1991)

นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมถ่านกัมมันต์ลงไปในสารละลาย จะทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายเปลี่ยนแปลง คือสามารถแสดงความเป็นกรดหรือเบสได้ ถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนบนพื้นผิวมากก็จะแสดงความเป็นกรด ซึ่งพื้นผิวที่มีความเป็นกรดนี้ จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนน้อย ก็จะแสดงความเป็นเบสซึ่งจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ

การดูดซับ (adsorption)

1. ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) หมายถึง การเพิ่มความเข้มข้นของสารที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ (adsorbent) หรือในทางกลับกันเป็นการลดลงของความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) บนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ สารซึ่งมีพลังงานอิสระที่ผิวดำ (low surface free energy) จะถูกดูดซับได้ดี ในขณะที่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงกว่า (higher surface free energy) จะไม่ถูกดูดซับ

การดูดซับเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงดูดโมเลกุล หรือคอลลอยด์ ซึ่งอาจอยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้มาเกาะและติดบนผิว ถือได้ว่าเป็นการเคลื่อนย้ายสารระหว่างสถานะต่างๆทั้ง 3 สถานะ ซึ่งมีได้ทั้งแบบของเหลว-ของเหลว แก๊ส-ของแข็ง และของเหลว-ของแข็ง

การดูดซับ เป็นกระบวนการแยกสารที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลว หรือแก๊ส โดยให้สารละลายหรือแก๊สผสมไหลสัมผัสกับตัวดูดซับ สารแต่ละชนิดในสารละลายมีความสามารถในการกระจายบนผิว และเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ปรากฏการณ์ดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับ สมบัติทางเคมีที่ผิวของตัวดูดซับ และสารที่เป็นตัวถูกดูดซับ โดยกลไกการดูดซับมี 3 ประเภท

(1) การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption หรือ physisorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับสารองค์ประกอบที่ถูกดูดซับ ซึ่งแรงนี้มีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูงของเหลวหรือแก๊สที่ควบแน่นนั้นจะสามารถซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างภายในของตัวดูดซับได้ ถึงแม้ว่าความดันของระบบจะต่ำกว่าความดันไอของสารองค์ประกอบนั้นก็ตามปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติและคายความร้อนออกมาเล็กน้อย แต่มากกว่าความร้อนของการควบแน่น เมื่อลดความดันของระบบหรือเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง เนื่องจากตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากตัวดูดซับ ปรากฏการณ์ช่วงนี้เรียกว่า การคายซับ (Desorption) ซึ่งเป็นวิธีการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ สมมุติฐานของการดูดซับทางกายภาพ มีดังนี้

1. การดูดซับเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ
2. การดูดซับเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์
3. พลังงานในการดูดซับต่ำ ($\Delta H < 20 \text{ kJ mol}^{-1}$)
4. การดูดซับเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer)
5. พลังงานกระตุ้นต่ำ
6. การดูดซับเป็นแบบผันกลับได้ (Reversible Adsorption)

(2) **การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption)** เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะแตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพ โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ต้องการถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบของตัวถูกดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับ ทำให้ปริมาณของตัวถูกดูดซับลดลง และให้ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีออกมาสูงมาก สำหรับวิธีนี้ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับค่อนข้างน้อย เนื่องจากการดูดซับเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่พื้นผิวของตัวดูดซับเพียงบางส่วนเท่านั้น แต่การดูดซับทางกายภาพเกิดได้ทั่วถึงบนพื้นผิวทั้งหมด การดูดซับทางเคมีจะไม่เกิดการคายซับเพราะองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบผันกลับไม่ได้ ปรากฏการณ์นี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ถูกดูดซับและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น องค์ประกอบบางชนิดไม่เกิดการดูดซับทางเคมีที่อุณหภูมิปกติ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะสามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้ สมมุติฐานของการดูดซับทางเคมี มีดังนี้

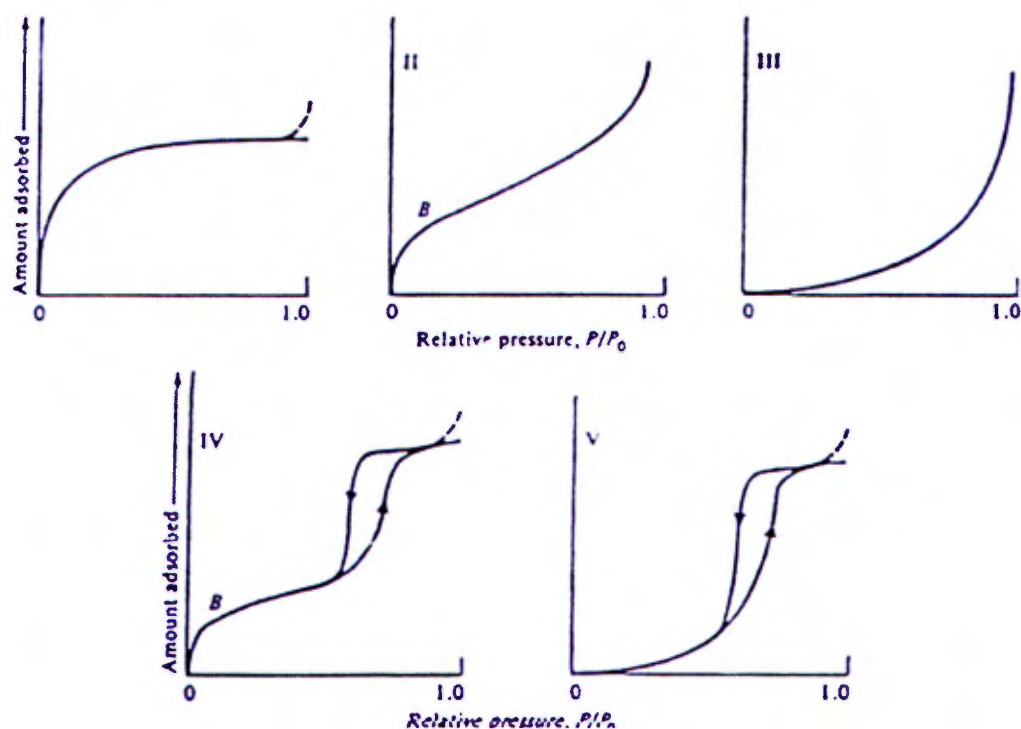
สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้ สมมุติฐานของการดูดซับทางเคมี มีดังนี้

1. การดูดซับเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง
2. การดูดซับเกิดจากพันธะทางเคมีระหว่างตัวถูกดูดซับกับผิวหน้าตัวดูดซับ
3. พลังงานในการดูดซับสูง ($50 \text{ kJ mol}^{-1} < \Delta H < 800 \text{ kJ mol}^{-1}$)
4. การดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer)
5. พลังงานกระตุ้นสูง
6. การดูดซับเป็นแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible Adsorption)

3. การดูดซับทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Adsorption) การดูดซับทางไฟฟ้าเคมีหรือการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electrostatic Force) ระหว่างประจุบนโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับประจุบนผิวหน้าของตัวดูดซับ การดูดซับทางไฟฟ้าเคมีมีความแข็งแรงมากกว่าการดูดซับทางกายภาพแต่อ่อนกว่าการดูดซับทางเคมี

การวิเคราะห์สมดุลของการดูดซับจะอาศัยความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลของสมดุลของมวลสาร เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในเฟสของเหลวกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนเฟสของแข็ง ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะถูกเขียนเป็นกราฟไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm) ซึ่งอธิบายถึงการกระจายตัวของตัวถูกดูดซับระหว่างเฟสของเหลวและของแข็ง โดยอัตราการกระจายตัวนี้สามารถวัดได้ที่จุดสมดุลและจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับหรือคุณสมบัติของตัวถูกดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับ โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเข้าครอบครองทุกตำแหน่งที่เกิดการดูดซับจนเต็มทุกตำแหน่ง และจะทำให้แรงดึงดูดของผิวตัวดูดซับนั้นอ่อนลง แต่อาจยังคงสามารถดูดซับ โมเลกุลตัวถูกดูดซับต่อไปได้ก่อให้เกิดเป็นชั้นที่สอง สาม และสี่ต่อไปเรื่อยๆ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอาจจะมีการดูดซับชั้นที่สองก่อนที่ชั้นแรกจะเต็มและในบางตำแหน่งอาจจะดูดซับต่อหลายชั้นซ้อนสูงขึ้น รูปร่างของไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูล

เกี่ยวกับกระบวนการดูดซับ และปริมาณของสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับมี 5 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ไอโซเทอมการดูดซับพื้นฐาน 5 ชนิด

ที่มา: (Jankowska *et al*, 1991)

(1) ไอโซเทอมชนิดที่ 1 บางครั้งอาจเรียกว่าไอโซเทอมที่มีรูปแบบแบบแลงเมียร์ หรือแบบแอต (Langmuir or L-Shaped) เป็นการดูดซับของของแข็งที่มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กและการดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นการดูดซับในรูพรุนขนาดเล็ก พื้นที่ผิวภายนอก (External Surface Area) จะต่ำ ที่ความดันย่อยต่ำก็จะสามารถดูดซับได้มาก ตัวอย่างการดูดซับของไอโซเทอมแบบที่ 1 คือ การดูดซับของไนโตรเจนบนถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน การดูดซับของแอมโมเนียบนผิวถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 273 เคลวิน และการดูดซับบนซีโอไลต์

(2) ไอโซเทอมชนิดที่ 2 บางครั้งอาจเรียกว่าไอโซเทอมที่มีรูปแบบแบบซิกมอยด์ หรือแบบเอส (Sigmoid or S-Shaped) เป็นรูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุน หรือตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดการดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) จากไอโซเทอมตรงบริเวณจุดเปลี่ยนโค้ง หรือจุด B (Break Through) จะแสดงถึงการดูดซับแบบชั้นเดียว

(Monolayer) นั้นเสร็จสมบูรณ์ จากนั้นที่ความดันสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากชั้นแรกต่อไป และจะเกิดการดูดซับเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยสูงๆ

(3) ไอโซเทอมชนิดที่ 3 เป็นรูปแบบของการดูดซับที่มีแรงดึงดูดที่อ่อนระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ แต่แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกันมีค่อนข้างมาก จากกรณีนี้จะทำให้เกิดการรวมตัวกันของตัวถูกดูดซับก่อนที่การดูดซับชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์ ตัวอย่างการดูดซับของไอโซเทอมแบบที่ 3 คือ การดูดซับของไอน้ำบนผิวถ่านหินที่ไม่มีรูพรุน

(4) ไอโซเทอมชนิดที่ 4 จะพบในตัวดูดซับที่มีขนาดรูพรุนประมาณ 15 - 1000 อังสตรอม ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความดันเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวถูกดูดซับเริ่มเข้าเติมในรูพรุนอีกครั้ง และการเปลี่ยนระดับของกราฟเมื่อความดันเพิ่มขึ้นอีกเป็นผลมาจากการควบแน่นภายในรูพรุนของของแข็ง (Capillary Condensation in Pores) โดยลักษณะของกราฟในช่วงแรกจะเหมือนกับชนิดที่ 2 ซึ่งจุดเปลี่ยนโค้ง จะแสดงถึงการดูดซับชั้นแรกอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างเช่น การดูดซับเบนซีน (Benzene) บนเจลของไอออนออกไซด์ (Iron (III) Oxide Gel) ที่อุณหภูมิ 320 เคลวิน

(5) ไอโซเทอมชนิดที่ 5 จะพบในการดูดซับระหว่างโมเลกุลของก๊าซกับผิวของของแข็ง มีลักษณะคล้ายชนิดที่ 3 แต่ชนิดที่ 5 จะสามารถเกิดการควบแน่นของก๊าซภายในรูพรุนได้ ตัวดูดซับมีขนาดรูพรุนในช่วงเดียวกับไอโซเทอมชนิด 4 ตัวอย่างเช่น การดูดซับไอน้ำบนถ่านหินที่อุณหภูมิ 373 เคลวิน สำหรับไอโซเทอมชนิดที่ 3 และชนิดที่ 5 นี้จะคำนวณหาพื้นที่ผิวได้ยาก เนื่องจากชั้นการดูดซับชั้นที่ 2 จะถูกสร้างขึ้นก่อนที่ชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์ สมการไอโซเทอมการดูดซับหลายๆ แบบได้ถูกนำมาใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ที่สถานะสมดุลของกระบวนการดูดซับ ซึ่งไอโซเทอมหนึ่งๆ จะไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ที่สถานะสมดุลของกระบวนการดูดซับได้ทุกกระบวนการ ความสัมพันธ์ที่สถานะสมดุลของกระบวนการดูดซับที่เป็นไปตามไอโซเทอมเชิงเส้น (Linear Isotherm) จะแสดงด้วยสมการที่คล้ายคลึงกับกฎของเฮนรี (Henry's Law) ดังนี้ คือ

$$q = KC$$

โดยที่ K คือ ค่าคงที่สมดุลของกระบวนการดูดซับ (ลิตรต่อกรัม)

q คือ ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

อย่างไรก็ตามกฎเชิงเส้นก็ไม่สามารถใช้ได้กับทุกระบบของกระบวนการดูดซับ กฎนี้จะสามารถใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ที่สถานะสมดุลของกระบวนการดูดซับหลายๆ กระบวนการได้โดยประมาณ ในกรณีที่ตัวถูกละลายในกระบวนการดูดซับนั้นมีความเข้มข้นเจือจาง สมการที่นำมาใช้อย่างกว้างขวางในการอธิบายความสัมพันธ์ที่สถานะสมดุลของกระบวนการดูดซับ

หลายกระบวนการ โดยเฉพาะในระบบของเหลว-ของแข็ง ได้แก่ ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนคลิชและไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ เป็นต้น

(1) ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

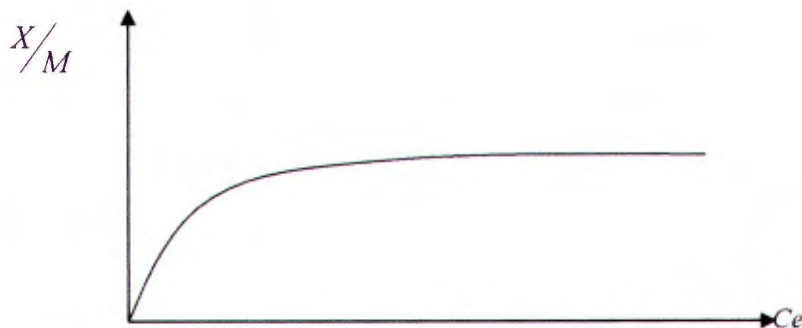
เป็นไอโซเทอมที่เสนอโดย เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) มีสมมติฐาน คือ โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่ง (adsorption site) ที่แน่นอน โดยในแต่ละ โมเลกุลของตัวดูดซับ จะดูดซับ โมเลกุลของตัวดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งมีค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากัน และคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่าง โมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน

จากการศึกษาไอโซเทอมของแลงเมียร์ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลาย บนผิวของแข็งได้ดังสมการ

$$q_e = \frac{X}{m} = \frac{Q^0 b C_e}{1 + b C_e}$$

- เมื่อ q_e เป็นปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ หน่วย 1 กรัม
 X เป็นปริมาณของตัวถูกดูดซับ
 m เป็นปริมาณตัวดูดซับ
 C_e เป็นความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล
 Q^0 เป็นปริมาณของตัวถูกดูดซับอิ่มตัวแบบชั้นเดียว
 b เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นกับอุณหภูมิหนึ่งๆ

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{X}{m}$ และ C_e จะได้ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{X}{m}$ และ C_e โดยอาศัยสมการการดูดซับของแลงเมียร์

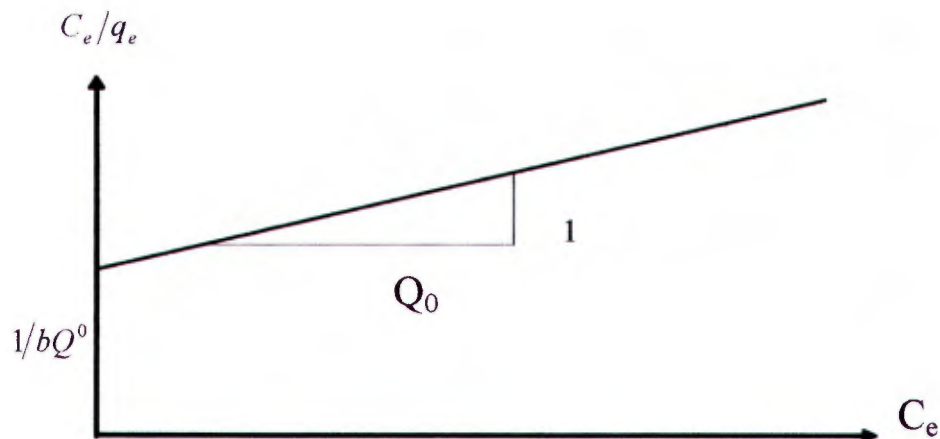
ที่มา: (Cheremisinoff and Morresi, 1987)

หรือ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bQ^0} + \frac{C_e}{Q^0}$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{C_e}{q_e}$ กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรง มีจุดตัดแกนเป็น $\frac{1}{bQ^0}$

และมีความชัน เท่ากับ $\frac{1}{Q^0}$ ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{C_e}{X/m}$ และ C_e โดยอาศัยสมการการดูดซับของแลงเมียร์

ที่มา: (Cheremisinoff and Morresi, 1987)

(2) ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอนด์ลิช (freundlich isotherm)

เป็นไอโซเทอร์มที่เสนอโดย ฟินเลย์ ฟรอนด์ลิช (Findlay Freundlich) ใช้สำหรับการดูดซับบนพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ โดยแต่ละพื้นผิวที่เกิดการดูดซับจะให้ค่าความร้อนของการดูดซับออกมาไม่คงที่ และมีการรวมพื้นผิวที่ให้ค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันเข้าด้วยกัน

จากการศึกษาไอโซเทอร์มของฟรอนด์ลิชที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลาย บนผิวของแข็งได้ดังสมการ

$$q_e = \frac{X}{m} = kC_e^{1/n}$$

เมื่อ q_e เป็นปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ หนัก 1 กรัม

X เป็นปริมาณของตัวถูกดูดซับ

m เป็นปริมาณตัวดูดซับ

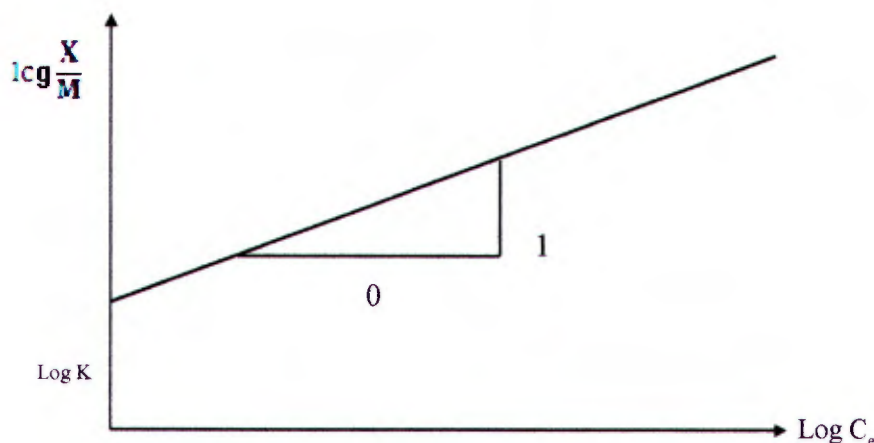
C_e เป็นความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล

K เป็นค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

จากสมการของฟรุนดลิช เมื่อใส่ลอการิทึม (logarithm) จะได้สมการ

$$\log q_e = \log \frac{X}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C_e$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log X/m$ กับ $\log C_e$ ที่อุณหภูมิคงที่ จะได้กราฟเส้นตรง จุดตัดแกน Y สามารถนำมาหาค่า k ได้ และความชันของกราฟเป็น $1/n$ ก็สามารถหาค่า n ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ซึ่งเป็นตัวอย่างไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช



ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e (\log \frac{X}{m})$ และ $\log C_e$ โดยอาศัยสมการการดูดซับของฟรุนดลิช ที่มา: (Cheremisinoff and Morresi, 1987)

(3) สมการการดูดซับของบรูนาเออร์ แอมเมทท์ และเทลเลอร์

เป็นสมการที่เสนอโดย สตีเฟน บรูนาเออร์ , พอล ฮิวจ์ แอมเมทท์ และเอ็ดเวิร์ด เทลเลอร์ โดยเป็นการนำไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ มาประยุกต์ใช้สำหรับการดูดซับที่เกิดขึ้นในลักษณะการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption) โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระบนผิวตัวดูดซับ

จากการศึกษาสมการของบรูนาเออร์ แอมเมทท์ และเทลเลอร์ ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลาย บนผิวของแข็งได้ดังสมการ

$$\frac{P}{n(P^0 - P)} = \frac{1}{n_m C} + \frac{C-1}{n_m C} \left(\frac{P}{P^0} \right)$$

เมื่อ P เป็นความดันไออิ่มตัวของตัวถูกดูดซับ ที่สภาวะสมดุล

P^0 เป็นความดันไออิ่มตัวของตัวถูกดูดซับ ที่อุณหภูมิของการดูดซับ

n เป็นปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่ความดัน P

n_m เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่เรียงตัวแบบชั้นเดียวบนผิวของตัวดูดซับ

C เป็นค่าคงที่ ที่มีความสัมพันธ์กับพลังงานการดูดซับ โดย

$$C = \exp\left[\frac{\Delta H_A - \Delta H_L}{RT}\right]$$

เมื่อ ΔH_A เป็นความร้อนของการดูดซับระหว่างการเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว

ΔH_L ความร้อนของการควบแน่น

R ค่าคงที่ของแก๊ส ($8.314 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)

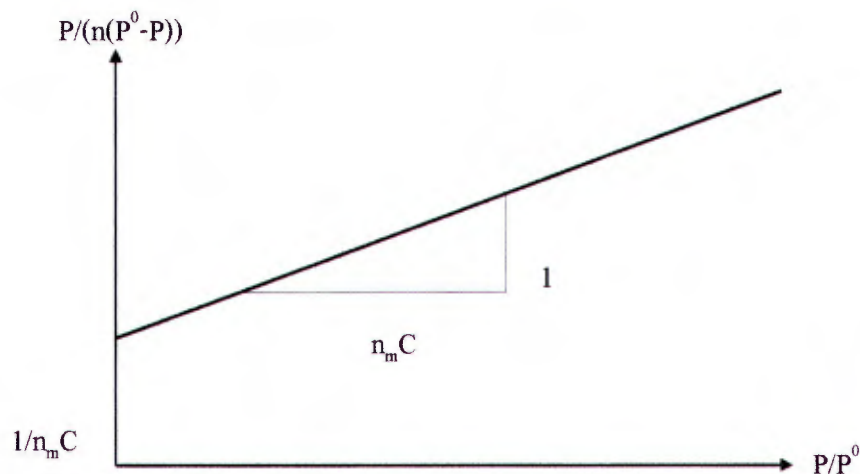
T อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

ดังนั้น

$\Delta H_A - \Delta H_L =$ ความร้อนสุทธิของการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P}{n(P^0 - P)}$ กับ $\left(\frac{P}{P^0}\right)$ จะได้กราฟเส้นตรง

และสามารถคำนวณหาค่า C และ n_m ได้ความชัน และจุดตัดกราฟ ตามลำดับ จากนั้นคำนวณค่าพื้นที่ผิวจำเพาะได้จากค่า n_m ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P}{n(P^0 - P)}$ และ $\left(\frac{P}{P^0}\right)$ โดยอาศัยสมการการดูดซับของ

บรูนาเออร์ แอมเมทท์ และเทลเลอร์

ที่มา: (Cheremisinoff and Morresi, 1987)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์

1. ความปั่นป่วน ที่เกิดขึ้นจากการกวนสารละลาย หรือการไหลผ่านคอลัมน์ จะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีขนาดและคุณลักษณะทางกายภาพต่างกันทำให้การดูดซับของถ่านกัมมันต์ต้องการความปั่นป่วนในระดับที่ต่างกัน เช่น ถ่านกัมมันต์แบบผงต้องการความปั่นป่วนสูงจึงจะเกิดการดูดซับดี เนื่องจากอัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ผ่านรูพรุนของโมเลกุลที่ถูกดูดซับเข้าสู่โพรงช่องว่างของถ่านกัมมันต์ แต่ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดต้องการความปั่นป่วนต่ำ เนื่องจากอัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ผ่านฟิล์ม (ประพิน, 2548; พรรณดา, 2547)

2. ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ขนาดของถ่านกัมมันต์เป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราเร็วในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นถ่านกัมมันต์แบบผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด ส่วนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ กรณีที่มีพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ส่วนมากเป็นพื้นที่ผิวของช่องว่างหรือโพรงภายใน ขนาดภายนอกของถ่านกัมมันต์จะไม่ค่อยมีผลต่อการกำหนดพื้นที่ผิว ถ่านกัมมันต์ทั้งแบบผงและเกล็ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักไม่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้ถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกัน แต่ถ่านกัมมันต์แบบผง จะมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด

3. ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์ มีความสำคัญอย่างมากต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของถ่านกัมมันต์การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดี เมื่อสารที่ถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของถ่านกัมมันต์เพียงเล็กน้อยเนื่องจากจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสารและถ่านกัมมันต์มากที่สุด จึงทำให้สารขนาดเล็กนี้ถูกดูดเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ก่อน จากนั้นสารขนาดใหญ่จึงจะถูกดูดเข้าสู่รูพรุนเป็นลำดับต่อมา

4. ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย เนื่องจากถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการดูดซับสารออกจากสารละลายดังนั้นค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลาย จะมีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากค่าความเป็นกรดเบสของสารละลายจะมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของตัวถูกละลาย

5. อุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับอย่างมาก ถ้าอยู่ในสถานะของเหลวเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายจะทำให้การแพร่ผ่านของตัวถูกละลายไปยังรูพรุนของถ่านกัมมันต์เกิดได้เร็วขึ้นทำให้อัตราเร็วในการดูดซับสูงขึ้น แต่อาจส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกละลายกับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ลดลง

ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับตะกั่ว

ตะกั่ว (Lead : Pb) เป็นธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.19 อยู่ในหมู่ IV A ของตารางธาตุ มีวาเลนซ์ได้หลายระบบ เช่น 1, 2 และ 4 แต่ตะกั่วส่วนมากจะอยู่ในสภาวะวาเลนซ์ 2 ซึ่งเสถียรมากที่สุด สมบัติทางกายภาพของตะกั่วประกอบด้วยรัศมีอะตอม (โควาเลนต์) 154 พิกโกเมตร รัศมีไอออน M+2 เป็น 120 พิกโกเมตร ความหนาแน่น 11.3 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,744 องศาเซลเซียส สารตะกั่วพบได้ทั้งในอากาศ ดิน น้ำ พืช และเครื่องอุปโภค บริโภคในครัวเรือน ในชีวิตประจำวันเราใช้ตะกั่วทำแบตเตอรี่รถยนต์ เชื่อมโลหะ ทำท่อโลหะผสม ทำจากกันรังสีเอกซ์ ใช้ในอุตสาหกรรมสี และยาฆ่าแมลงบางชนิด ในน้ำธรรมชาติและน้ำประปา ก็พบว่ามีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ปริมาณน้อย ตะกั่วพบในน้ำเสียจากโรงงานหล่อหรือหลอม และชุบโลหะ โรงงานแบตเตอรี่ เหมืองแร่ สาเหตุของการปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการปล่อยน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และจากฝนที่ชะล้างสารตะกั่วจากอากาศและพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำ สำหรับน้ำประปาอาจมีตะกั่วเจือปนได้จากน้ำดิบที่ใช้ผลิต และจากท่อจ่ายน้ำบริเวณข้อต่อที่มีการบัดกรีด้วยตะกั่ว (ไมตรี, 2534) ค่ามาตรฐานของตะกั่วในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ได้กำหนดความเข้มข้นตะกั่วในน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานจะต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินกำหนดความเข้มข้นตะกั่วสูงสุดจะต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

1. พิษของตะกั่ว

ตะกั่วมีพิษร้ายแรงต่อมนุษย์และสัตว์ ทั้งพิษเฉียบพลัน และพิษสะสม ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง ทั้งทางอาหาร น้ำดื่ม ลมหายใจ และทางผิวหนัง ร่างกายสามารถขับตะกั่วออกมาได้เพียงบางส่วน ส่วนที่เหลือจะสะสมอยู่ในร่างกายในตับ ไต และเซลล์ต่างๆ ซึ่งเป็นอันตรายได้ภายหลัง พิษจากตะกั่วทำให้ร่างกายมีความผิดปกติต่างๆ เช่น

(1) ผลต่อระบบเลือด ตะกั่วจะมีผลต่อการสร้างเม็ดเลือด ทำให้เม็ดเลือดแดงแตก เกิดภาวะโลหิตจาง โลหิตเป็นพิษ

(2) ผลต่อการทำงานของไต การที่ร่างกายรับสารตะกั่วเข้าไปมากๆ จะก่อให้เกิดการทำลายเซลล์ของท่อเล็กๆ ของไต ทำให้เนื้อเยื่อไตแข็งกระด้าง และเกิดภาวะไตวายในที่สุด

(3) ผลต่อสมองและระบบประสาท ตะกั่วจะเข้าไปทำลายระบบประสาทส่วนที่มีหน้าที่จดจำเรียนรู้ และเกี่ยวข้องกับการรับรู้ความรู้สึก อาการทางสมองที่เกิดขึ้นได้แก่ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย ซึม กระวนกระวาย ความจำเสื่อม ประสาทหลอน ชัก และอัมพาต

(4) ตะกั่วยังเป็นสารก่อการกลายพันธุ์ และเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง

2. ตะกั่วในน้ำ

ความเป็นกรด-เบส ของน้ำมีความสำคัญอย่างมากต่อรูปแบบของโลหะหนัก รวมถึงตะกั่วที่พบในน้ำเสีย การเพิ่มความเป็นกรด-เบส ให้น้ำเสียโดยการเติมสารเคมีที่เป็นเบส เช่น ปูนขาว และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของตะกั่วลดลง ส่งผลให้ ตะกั่วตกตะกอนอยู่ในรูปของตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) ซึ่งสามารถใช้หลักการของการ ตกตะกอนนี้ในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียได้ ในน้ำธรรมชาติที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว ทั้งใน แหล่งน้ำจืดและน้ำทะเล พบว่าตะกั่วสามารถพบได้หลายรูปแบบ เช่น $PbCO_3$, $Pb(CO_3)_2$, $PbCl$, $PbOH$ และ $Pb(OH)_2$ เป็นต้น

3. การตรวจวิเคราะห์ตะกั่ว

การตรวจวิเคราะห์ตะกั่วในน้ำมีวิธีวิเคราะห์ดังนี้

- (1) วิธี Atomic Adsorption Spectrometric (AAS)
- (2) วิธี Inductively Coupled Plasma (ICP)
- (3) วิธีสเปกโตรเมทรี (Spectrometry)

วิธี Atomic Adsorption Spectrometric จะใช้พลังงานจากเปลวไฟที่เกิดจากเผาไหม้ อะเซทิลีน และอากาศ ทำให้ตะกั่วแตกตัวออกเป็นอะตอมเสรี (Atomization) อะตอมของตะกั่วจะ เปล่งแสง เมื่อได้รับความร้อนสูงๆ และเครื่องจะวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 217 นาโนเมตร ส่วนวิธี Inductively Coupled Plasma วัดได้เช่นเดียวกับเทคนิคที่ใช้เปลวไฟ สำหรับวิธีสเปกโตร เมทรี อาศัยหลักการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างตะกั่วกับไดโทโซนดังแสดงในภาพที่ 2-16 และวัดสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 516 นาโนเมตร

วัสดุที่ใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์

1. ไม้ไผ่

ไม้ไผ่ เป็นพืชชนิดหนึ่งที่รู้จักกันดีทั่วโลก มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ มาเป็นพันๆ ปี โดยเฉพาะในกลุ่มประเทศ เอเชีย-แปซิฟิก มีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ของคนในทุกๆ ด้าน ตั้งแต่ ที่อยู่อาศัย อาหาร เครื่องกีฬา เครื่องดนตรี เครื่องมือเกษตรกรรม ตลอดจนเป็นเครื่องศิลปกรรมของคนแต่ละชาติ และรวมถึงวัตถุดิบในการ อุตสาหกรรม และการสันถนาการหรือการใช้ประโยชน์ เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ

ลักษณะทั่วไป: ไม้ไผ่ เป็นพืชยืนต้น มีลำต้นกลมและกลวง มีข้อกระจายอยู่ทั่วไป เส้น ใยของลำไม้ไผ่จะประสานกันแน่น มีความเหนียว และมีแรงหยุ่นตัว ทำให้สามารถโค้งงอหรือตัด ได้ เปลือกหรือผิวของลำไม้ไผ่จะแข็งและเรียบ ไม้ไผ่แต่ละชนิดมีลักษณะภายนอกแตกต่างกัน ออกไป ทำให้เกิดอุปสรรคในการจำแนกพันธุ์ ไม้ไผ่เป็นพืชที่สามารถตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม และแปรพันธุ์ได้ง่าย การจำแนกไม้ไผ่จึงต้องอาศัยลักษณะหลายประการประกอบกัน เช่น เหน้

ประโยชน์/โทษ : มีการใช้ประโยชน์น้อย เนื่องจากผุง่าย หน่อกินได้แต่ไม่นิยม

2. สะเดา

สะเดา เป็นไม้โตเร็ว เจริญได้ดีในแถบร้อน ที่มีปริมาณน้ำฝน ตั้งแต่ 400-1,200 มิลลิเมตร เป็นพืชทน อากาศแห้งแล้งได้ดี สามารถขึ้นได้ในดิน ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แต่จะเจริญเติบโตเร็ว ในสภาพดินที่ไม่ขึ้นแฉะ และปริมาณน้ำฝนไม่เกิน 800 มิลลิเมตร สะเดา แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. สะเดาอินเดีย มีลักษณะขอบใบหยักเป็นฟันเลื่อย ปลายของฟันเลื่อยแหลม โคนใบเบี้ยว ปลายใบแหลมเรียวแคบมากคล้ายเส้นขน ผลสุกในเดือน ก.ค.-ส.ค.

2. สะเดาไทย มีลักษณะของใบหยักเป็นฟันเลื่อย แต่ปลายของฟันเลื่อยทู่ โคนใบเบี้ยว แตกว้างกว่า ปลายใบแหลม ผลสุกในเดือน เม.ย.- พ.ค.

3. สะเดาช้าง หรือต้นเทียม ไม้เทียม ขอบใบจะเรียบ หรือปัดขึ้นลงเล็กน้อย โคนใบเบี้ยว ปลายเป็นติ่งแหลม ขนาดใบและผลใหญ่กว่า 2 ชนิดแรก ผลสุกในเดือน พ.ค.- ส.ค.

(1) สะเดาเทียม

ชื่อวงศ์ : MELIACEAE

ชื่อท้องถิ่น : สะเดาเทียมหรือสะเดาช้าง

ชื่อสามัญ : สะเดาเทียม

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Azardirachta excelsa* (Jack) Jacobs



ภาพที่ 2.10 ลักษณะของต้นสะเดา (*Azardirachta excelsa* (Jack) Jacobs)

ที่มา:(สารานุกรมเสรี, 2549)

ลักษณะวิสัย/ประเภท : ไม้ยืนต้น

ลักษณะพืช : ไม้ต้น ขนาดใหญ่ไม่ผลัดใบ สูง 30 - 40 เมตร ลำต้นเปลาตรง

เปลือก เรียบเมื่ออายุน้อย เมื่อมีอายุมากขึ้นเปลือก จะแตกออกเป็นแผ่น

ใบ ประกอบรูปขนนก ก้านใบยาว 20 -60 เซนติเมตร เรียงสลับกันเป็นกระจุกที่ปลายกิ่ง ใบย่อย เรียงสลับกันเล็กน้อย จำนวน 7-11 คู่ แผ่นใบย่อยรูปไข่ กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 5-8 เซนติเมตร ปลายใบแหลม โคนใบสอบ ในสีเขียวอ่อน

ดอก ออกรวมเป็นช่อตามง่ามใบสีขาวหรือสีเขียวอ่อน

ผล รูปไข่เมื่อแก่สีเหลือง ผลแก่ไม่แตก เปลือกหนา เนื้อในเมล็ดมีกลิ่นแรงมีเมล็ดเดียว

ปริมาณที่พบ: มาก

การขยายพันธุ์: ใช้เมล็ด

อธิบายวิธีการเพาะ/ขยายพันธุ์: วิธีปฏิบัติต่อเมล็ดและการเพาะเมล็ด แช่ผลสุกสะอาด เทียมไว้ 1 คืน แล้วขยำให้เปลือกและเนื้อหลุดออก เหลือแต่ส่วนเมล็ดนำไปฝังในที่ร่มรำไร จนกระทั่งแห้งจึงนำไปเพาะ

การใช้ประโยชน์/ส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์: เป็นไม้โตเร็ว เนื้อไม้คุณภาพดี ปลูกและมอดไม่ค่อยทำลาย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน เนื้อไม้ใช้ทำเครื่องเรือนเครื่องแกะสลัก ดอกอ่อนใช้รับประทานได้ เมล็ดนำมาสกัดสารทำยาฆ่าแมลง เปลือกคั้นทำ ยาแก้บิดหรือท้องร่วง

3. ต้นยางพารา

เป็นต้นไม้ยืนต้นมีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำอเมซอน ประเทศบราซิล และเปรู ทวีปอเมริกาใต้ โดยชาวพื้นเมืองเรียกว่า คาอูท์ซุค แปลว่าต้นไม้ว่องไให้ จนถึงปี พ.ศ. 2313 (1770) โจเซฟ ปริสตี จึงพบว่า ยางสามารถนำมาถบรอยคำของดินสอได้ จึงเรียกว่า ยางลบหรือตัวลบ ซึ่งเป็นศัพท์ใช้ในอังกฤษและฮอลแลนด์เท่านั้น ในอเมริกาใต้มีศูนย์กลางของการซื้อขายยางอยู่ที่เมืองท่าชื่อ พารา (Para) จึงมีชื่อเรียกว่า ยางพารา

(1) ยางพารา

ชื่อสามัญ Para Rubber

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Hevea brasiliensis* Mull – Argภาพที่ 2.11 ลักษณะต้นยาง (*Hevea brasiliensis* Mull – Arg)

ที่มา: (พุดผล ธรรมรัช, 2553)

ลักษณะ: ยางพารา เป็นพืชเศรษฐกิจของภาคใต้ เป็นไม้เนื้ออ่อน อายุยืน มีอายุยาวนาน เป็นร้อยปี ต้นยางขนาดใหญ่ อาจวัดโคยรอบได้ 5 เมตร ความสูงถึง 40 เมตร แต่ถ้าปลูกแบบตัดตา และกรีดน้ำยางลำต้นจะได้ประมาณ 1 เมตร สูงประมาณ 15-20 เมตร เปลือกมีสีคล้ำ ความหนาประมาณ 6.5-15.0 มิลลิเมตร ต้นอายุน้อยเปลือกจะบางกว่าต้นที่มีอายุมาก ยางพารา มีส่วนประกอบ ดังนี้

(1) ราก มีรากแก้วยังลึกลงไปใต้ดินถึง 2.5 เมตร จากรากแก้วจะมีรากแขนงแตกออกมายาวมากแผ่ออกไปด้านข้างในระดับดิน ความยาวของรากแขนงในระยะที่ต้นยางอายุ 1-3 ปี ประมาณ 7-10 เมตร เมื่อต้นยางมีอายุมากขึ้นประมาณ 4-8 ปี รากแขนงที่แตกออกมาจากบริเวณบนๆของรากแก้วก็เริ่มอ่อนแอ จากรากแขนงก็จะมีรากขนอ่อนแตกออกไปตามลำดับ

(2) ลำต้น มีลำต้นขนาดใหญ่ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเป็นชั้นๆ ดังนี้

- เนื้อไม้แข็งตรงกลาง (Hard Wood)
- เนื้อไม้ (Wood)
- เยื่อเจริญ (Cambium)
- เปลือกอ่อน (Soft Bark)
- เปลือกแข็ง (Hard Bark)
- เยื่อเปลือก (Cork Cambium)

- เปลือกแห้ง (Cork)

ที่เปลือกอ่อนจะมีท่อน้ำยางอยู่มาก ทำมุมประมาณ 3.5 องศากับแนวดิ่ง

(3) ใบยาง เริ่มแรกใบเลี้ยงของยางจะอยู่ในเมล็ด เมื่อยางอายุประมาณ 1 เดือน ใบจริงคู่แรกจะผลิเป็นใบประกอบที่มี 2 ใบย่อยแยกกัน หลังจากนั้นเมื่อต้นยางมียอดขึ้นไปแล้ว การเกิดของใบจะเวียนเป็นเกลียวรอบลำต้น ใบเป็นใบประกอบมี 3 ใบย่อย ก้านใบยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ตัวใบมีขนาด 15 x 15 เซนติเมตร มีรูปร่างต่างๆกัน เช่นรูปไข่หรือรูปรีขึ้นอยู่กับพันธุ์

(4) ดอกยาง ดอกเกิดเป็นช่อตามมุมใบแถบปลายกิ่งแขนงของช่อดอก ช่อดอกจะออกพร้อมกับการแตกใบใหม่หลังการผลิใบ ทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนช่อดอกเดียวกัน ดอกจะมีสีเหลืองอ่อนหรือสีขาวขึ้นอยู่กับพันธุ์ มีกลิ่นหอม มีก้านดอกสั้น ไม่มีกลีบดอก

(5) ผลและเมล็ด ผลของยางพารามีลักษณะเป็นพวง โตเต็มที่หลังจากวันผสมแล้วประมาณ 1.5-3 เดือน มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ผลจะแก่เต็มที่ เมื่ออายุประมาณ 4-6 เดือนหลังจากวันผสม ผลเมื่อแก่จะแตกและส่งเมล็ดออกไปไกลถึง 15 เมตร ต้นหนึ่งๆจะมีผลประมาณ 50 ผล

แหล่งที่พบ:ในประเทศไทยพบว่าการปลูกแบ่งเป็น 4 เขตในภาคใต้คือ

- (1) เขตฝั่งตะวันตก ได้แก่ จังหวัดระนอง ภูเก็ต พังงา กระบี่ ชุมพร และตรัง
- (2) เขต ตอนกลาง ได้แก่ ตอนกลางของจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ด้านตะวันออกของจังหวัดกระบี่ ตรัง พัทลุงสงขลา
- (3) เขตตอนใต้ ได้แก่ จังหวัดปัตตานี ยะลา และนราธิวาส
- (4) เขตชายแดน ได้แก่ จังหวัดสตูล บางส่วนของจังหวัดสงขลา ยะลา นราธิวาส

ความสัมพันธ์กับชุมชน: เป็น พืชที่นิยมปลูกกันมากในท้องถิ่นภาคใต้ เนื่องจากมีดินและอากาศเหมาะสม ฝนตกพอสมควร ทำให้คนในท้องถิ่น มีอาชีพปลูกยางพารา กรีดยางกันมาก

ความสำคัญทางเศรษฐกิจ: ยางพาราเป็นพืชที่ทำรายได้ให้แก่คนในท้องถิ่นเป็นอย่างมาก

4. เงาะ

ชื่อท้องถิ่น: เงาะ

ชื่อสามัญ: เงาะ Rambutan

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Nephelium lappaceum* Linn

ชื่อวงศ์: *SAPINDACEAE*



ภาพที่ 2.12 ลักษณะของไม้เงาะ

ที่มา: (อัยญาธร เถลิพงษ์, 2553)

ลักษณะวิสัย/ประเภท: ไม้ยืนต้น

ลักษณะพืช: เงาะเป็นไม้ผลยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ชอบอากาศร้อนชื้น อุณหภูมิที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 75-85 % ดินปลูกที่เหมาะสมควรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (ค่า pH) ของดินประมาณ 5.5-6.5 และที่สำคัญควรเลือกแหล่งปลูกที่มีน้ำเพียงพอตลอดปี เงาะเป็นไม้ผลที่มีระบบรากหาอาหารลึกประมาณ 60-90 เซนติเมตร จากผิวดินจึงต้องการสภาพแล้งก่อนออกดอกติดต่อกัน ประมาณ 21-30 วัน เมื่อต้นเงาะผ่านสภาพแล้งและมีการจัดการน้ำอย่างเหมาะสมเงาะจะออกดอก ช่วงพัฒนาการของดอก (ผลิดอก – ดอกแรกเริ่มบาน) ประมาณ 10-12 วัน ดอกเงาะจะทยอยบานจากโคนช่อไปหาปลายช่อ ใช้เวลาประมาณ 25 – 30 วัน จึงจะบานหมดช่อออก

ปริมาณที่พบ: มาก

การขยายพันธุ์: ใช้กิ่ง/ลำต้น

อธิบายวิธีการเพาะ/ขยายพันธุ์: วิธีการปลูก ทำได้ทั้งการขุดหลุมปลูกซึ่งเหมาะกับพื้นที่ที่ยังไม่มีการวางระบบน้ำไว้ก่อนปลูก วิธีนี้ดินในหลุมจะช่วยเก็บความชื้นได้ดีขึ้น และสามารถปลูกโดยวิธีไม่ต้องขุดหลุม (ปลูกแบบนั่งแท่นหรือยกโคก) เหมาะกับพื้นที่ฝนตกชุก วิธีการ

นี้ระบายน้ำดีน้ำไม่ขังโคนต้น แต่ต้องมีการวางระบบน้ำไว้ก่อนปลูก ซึ่งต้นเงาะจะเจริญเติบโตเร็วกว่าการขุดหลุม ทั้งนี้จุดเน้นที่สำคัญในการปลูก คือ ควรใช้ต้นกล้าที่มีระบบรากดี ไม่ขดงอในถุง แต่ถ้าจะใช้ต้นกล้าขนาดใหญ่ก็ให้ตัดดินและรากที่ขดหรือพันตรงกันถุงออก

การใช้ประโยชน์/ส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์: นอกจากนี้ผลเงาะนำมาดื่ม หรือน้ำที่ได้มาเป็นยาแก้ไอ แก้เสมหะ รักษาอาการอักเสบในช่องปาก และโรคบิดท้องร่วง มีข้อควรระวัง คือ เม็ดในของเงาะมีพิษแม้ว่าจะเอาไปคั่วจนสุกแล้ว แต่ถ้ารับประทานมากเกินไปจะมีอาการปวดท้อง เวียนศีรษะ มีไข้ คลื่นไส้ อาเจียน ดังนั้นไม่ควรจะรับประทานเม็ด

ข้อมูลอื่นๆเพิ่มเติม: การดูแลรักษา ให้น้ำสม่ำเสมอช่วงเจริญทางใบ จนน้ำช่วงปลายฝน ต้นเงาะที่มีใบแก่และสมบูรณ์ทั้งต้นและผ่านสภาพแล้งติดต่อกันนาน 21-30 วัน จะแสดงอาการขาดน้ำ (ใบห่อ) ให้กระตุ้นการออกดอกโดยการให้น้ำในปริมาณมากเต็มที่ จากนั้นให้หยุดการให้น้ำ 7-10 วัน เมื่อพบว่าตายอดเริ่มพัฒนาเป็นตาดอก ก็เริ่มให้น้ำอีกครั้งปริมาณเท่าเดิมเพื่อเร่งการพัฒนาของตาดอก แต่ถ้าหลังจากให้น้ำครั้งที่ 1 แล้ว พบว่าตายอดเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลอมเขียว แสดงว่าให้น้ำมากเกินไปตายอดพัฒนาเป็นตาใบแทนที่จะเป็นตาดอก ต้องหยุดน้ำและปล่อยให้เงาะกระທပေแล้งอีกครั้งจนเห็นว่าสีเขียวน้ำตาลของตายอดเปลี่ยนเป็นน้ำตาลทองของตาดอก ก็เริ่มให้น้ำในอัตรา 1:2 ของครั้งแรก จากนั้นเมื่อแทงช่อดอกและติดผลแล้วควรให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ ประมาณเพื่อเร่งพัฒนาการของดอก และเร่งพัฒนาการของผลให้ขึ้นลูกได้เร็วและผลโต

ฤดูกาลที่ใช้ประโยชน์ได้: ฤดูกาลเก็บเกี่ยวเงาะภาคตะวันออก อยู่ในช่วงปลายเดือนเมษายน - มิถุนายน และภาคใต้ เดือนกรกฎาคม - กันยายน

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สรุณญา ธนสัมฤทธิ์และคณะ. (2551). ได้ศึกษาการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์ 2 ชนิดคือ ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยทำการทดลองแบบแบตช์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่างๆ ในการดูดซับ ได้แก่ พีเอช ระยะเวลาปั่นกววน ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออนและปริมาณของถ่านกัมมันต์พร้อมทั้งศึกษาการดูดซับซัลไฟด์ไอออนโค่นผ่านคอลัมน์ และการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์หลังจากผ่านการใช้งานแล้ว พบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดมีสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนที่พีเอช 4 ระยะเวลาปั่นกววนและระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที ความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 1 กรัม ซึ่งผลการศึกษานี้ใช้ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวยังแสดงสภาวะสมดุลที่สอดคล้องกับสมการไอโซเทอรัมของแลงเมียร์อีกด้วย เมื่อนำถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดมาดูดซับโดยให้ไหลผ่านคอลัมน์ตลอด พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่าน

กระบวนการเพิ่มรพูนที่ร้อยละ 94.63 และ 89.91 ตามลำดับ และผลของการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้งานแล้ว พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรพูนสามารถฟื้นฟูสภาพได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรพูน จึงเหมาะสมที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้อีก

ประวิทย์ เนื่องมัจฉา. (2551). ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดชิลิกาจากเถ้าแกลบได้แก่ ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิและเวลาที่ใช้เผา พบว่าเมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2.0 โมลต่อลิตร สกัดชิลิกาออกจากเถ้าแกลบซึ่งเผาอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 4.0 ชั่วโมง สามารถสกัดชิลิกาได้ 98.34 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ และเครื่องวิเคราะห์ CHNS/O) และเมื่อนำชิลิกาที่ได้มาดัดแปลงทางเคมีด้วย 3-[2-(2- อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซีไซเลน โดยศึกษาลักษณะเฉพาะของชิลิกาด้วย FT-IR สเปกตรัม พบพิกที่ 3372 เซนติเมตร ซึ่งตรงกับหมู่ NH_2 เมื่อนำไปศึกษาการกำจัดตะกั่ว (II) ในน้ำเสียด้วยวิธีแบบถังแช่และแบบคอลัมน์ โดยใช้เทคนิคอะตอมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรีในการตรวจวัด พบว่าช่วง pH ที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว (II) และเวลาในการดูดซับเข้าสู่สมดุลคือ 4.0-6.0 และ 30 นาที ตามลำดับ เมื่อหาค่าความจุสูงสุดของการกำจัดตะกั่ว (II) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยใช้สมการไอโซเทอรั่มของฟรุนดลิช พบว่าชิลิกาจากเถ้าแกลบที่ผ่านการดัดแปลงทางเคมีนั้น สามารถกำจัดตะกั่ว (II) ได้สูงสุดด้วยวิธีแบบถังแช่และแบบคอลัมน์เท่ากับ 86.84 และ 88.23 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อนำชิลิกาที่ดัดแปลงทางเคมีมาประยุกต์ใช้กำจัดตะกั่ว (II) จากน้ำทิ้งในเขตเทศบาลที่มีการทำเครื่องถลุงและน้ำทิ้งจากศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช พบว่าสามารถกำจัดตะกั่ว (II) ได้ 99.42 และ 90.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

รเชศ ศรีสถิตและคณะ. (2548). ได้ศึกษาความสามารถในการกำจัดโครเมียมและนิเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินเทพา ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ผลการทดลองในขั้นตอนการเตรียมถ่านพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพาโดยทำการเผาถ่านบอไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ผลผลิตมีค่าสูงสุดถึง 59.01 และ 60.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสงสารกระตุ้นเกลือแอมโมเนียมตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเกลือแอมโมเนียม 1:2 และเผากระตุ้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 612 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 701 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินเทพา มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 368.68 ตารางเมตรต่อกรัม และ 408.64 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรพร่องเท่ากับ 0.27 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม 0.34 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ขนาดโพรงเฉลี่ยเท่ากับ 13.55 อังสตรอม และ 18.04 อังสตรอม ตามลำดับ ประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแบ่ง (adsorption column) เลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา บรรจุในคอลัมน์ที่ระดับความสูงของคอลัมน์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร โดยสามารถกำจัดโครเมียมในน้ำเสีย

สังเคราะห์ คิดเป็น 82.34, 52.94, 43.14 และ 41.18 BV ที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และสามารถกำจัดนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์คิดเป็น 129.41, 70.59, 50.98 และ 50.00 BV ที่ความเข้มข้นนิเกิลเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และได้นำถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพาไปผ่านการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) โดยการผ่านของสารละลายกรดไฮดรอกลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าไอโอดีนนับเบเกอร์ เท่ากับ 388 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 421 มิลลิกรัมต่อกรัม ของถ่านกัมมันต์ที่มีการดูดซับโครเมียมและนิเกิล ตามลำดับ

ประวิทย์ เนื่องมัจฉาและปิยวรรณ เนื่องมัจฉา. (2548). ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสีย โดยใช้กากสาธูเป็นวัสดุดูดซับ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักได้แก่ ขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับระดับพีเอชของน้ำเสีย ระยะเวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล และอุณหภูมิของน้ำเสีย ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับลดลง ระดับพีเอชของน้ำเสียระยะเวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล และอุณหภูมิของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วด้วยกากสาธูคือ 4.0 (พีเอช) 24 (ชั่วโมง) และอุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส) ตามลำดับ เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมจากการวิจัยมาหาค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่ว แคดเมียมด้วยวิธีแบบถังแช่และแบบต่อเนื่องโดยใช้สมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช พบว่ากากสาธูดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้สูงสุด เท่ากับ 0.95, 1.36, 1.92 และ 6.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

อนันต์ ดันติจฺรญโรจน์. (2552). ได้ศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำโดยใช้เปลือกไข่ ถ่านกัมมันต์และถ่านแกลบดำ โดยกระบวนการดูดซับ ใช้การทดลองแบบต่อเนื่องด้วยถังดูดซับแบบคอลัมน์ ซึ่งมีความสูงของชั้นวัสดุดูดซับในถังถึง 60 เซนติเมตร และความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำสังเคราะห์เริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือขั้นที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์ของวัสดุดูดซับต่างชนิด ขั้นตอนที่ 2 นำวัสดุดูดซับมาเรียงตัวในรูปแบบที่ต่างกัน ขั้นตอนที่ 3 นำวัสดุดูดซับมาคลุกผสมกัน เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์ต่างๆ มาวิเคราะห์หาปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลืออยู่ในน้ำด้วยวิธี Electrode method ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการทดลอง พบว่าวัสดุดูดซับทุกชนิดมีประสิทธิภาพการลดปริมาณฟลูออไรด์มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ โดยที่เปลือกไข่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์สูงที่สุดคือ 61.8 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพ 53.4 เปอร์เซ็นต์ และถ่านแกลบดำมีประสิทธิภาพคือ 42.5 เปอร์เซ็นต์การเรียงตัวของวัสดุดูดซับในรูปแบบที่ต่างกัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์ที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value}=0.960$) c] และการนำวัสดุดูดซับมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน จะทำให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์ได้ 62 เปอร์เซ็นต์

สหชาติ จรุงจิตร์ประชารมย์และคณะ. (2548). ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จาก แกลบโดยใช้สารละลาย $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดใช้อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการแอคติเวตด้วยสารละลาย $ZnCl_2$ โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ ถ่านแกลบต่อ $ZnCl_2$ เป็น 1:2.5 ที่อุณหภูมิในการแอคติเวต 700 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ให้ ค่าไอโอดีนสูงสุด 395 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด ซึ่งมี ค่าไอโอดีนอยู่ในช่วง 600-1450

ปริญทร เต็มญารศิลป์. (2551). ได้ศึกษาการเตรียมและวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของ ถ่าน กัมมันต์จากไม้ไผ่ตง และไผ่หมาจู อายุ 1-3 ปี จากบริเวณ จังหวัด กาญจนบุรี โดยวิธีกระตุ้น ทางเคมี ซึ่งสารที่ใช้ในการกระตุ้น ได้แก่ กรดฟอสฟอริกโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรด ไนตริก ผลของการศึกษาพบว่าสมบัติของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ องค์ประกอบแบบประมาณและความสามารถในการดูดซับขึ้นกับพันธุ์และชนิดของไม้ไผ่ ชนิดของสารกระตุ้น และสภาวะในการ กระตุ้น ได้แก่ ความเข้มข้นของสารกระตุ้น และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น นอกจากนี้ได้ทำการศึกษา การดูดซับแคดเมียม(II) สังกะสีและนิกเกิลด้วยฟีนอล และไอโอดีนจากสารละลาย โดยใช้ถ่านกัมมันต์ และถ่านไม้ไผ่ที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ และถ่านไม้ไผ่ทางการค้า และยังได้ ทำการศึกษาขององค์ประกอบแบบประมาณ ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย และ คาร์บอนคงตัว รวมถึง ได้อาศัยเทคนิคฟลูอิดไรซ์ฟอรัมอินฟราเรด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใน การศึกษาหุ้ฟงักชันที่ผิวและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไผ่

ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนั้น จะทำการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ 2 แบบ คือ แบบแลงเมียร์ และแบบฟรุนดลิช จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่า ไอโซเทอร์มในการดูดซับสารทุกชนิดจะมีลักษณะเป็นไปตามไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ ในการดูด ซับแคดเมียม (II) ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ตงอายุ 2 ปี ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถดูดซับได้มากที่สุด คือ 0.19 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไผ่ทางการ ค้าสามารถดูดซับได้ 0.12 และ 0.08 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในการดูดซับเมทิลลิบบลู ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่หมาจู อายุ 3 ปี ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถดูดซับได้ มากที่สุด คือ 14.75 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไผ่ทางการค้า สามารถดูด ซับได้ 333.33 และ 15.29 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในการดูดซับฟีนอล ถ่านไม้ไผ่ตงอายุ 3 ปี ที่ ไม่ผ่านการกระตุ้น สามารถดูดซับได้มากที่สุด คือ 2.66 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์และ ถ่านไม้ไผ่ทางการค้า สามารถดูดซับได้ 2.59 และ 2.51 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และในการดูด ซับไอโอดีน ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่หมาจู อายุ 2 ปี ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถดูดซับได้มากที่สุด คือ 4.20 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไผ่ทาง การค้าสามารถดูดซับได้ 9.69 และ 6.86 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

เกศรา นุตาลัย. (2535). ได้ศึกษาเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว, เนื้อเมล็ดตาลโตนด และเปลือกมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้ซิงค์คลอไรด์ การทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว, เนื้อเมล็ดตาลโตนด และเปลือกมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งสกัดน้ำมันออกแล้ว โดยใช้ซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 50 เป็นตัวกระตุ้น ในการทดลองนี้ตัวแปรที่ใช้ในการกระตุ้นคือ วัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์, อุณหภูมิและเวลา คุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่วิเคราะห์ได้แก่ methylene blue และ iodine adsorption จากการทดลองพบว่า ตัวแปรดังกล่าวมีผลต่อคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้ และสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์จากเนื้อเมล็ดตาลโตนด มีสมบัติการดูดซับสูงสุด (325-402 มิลลิกรัมต่อกรัม.methylene blue และ 987-1083 มิลลิกรัมต่อกรัม.iodine) ที่อุณหภูมิ 500-700 องศาเซลเซียส เวลามากกว่า 10 นาที

ฉัญฉวนชนันท์ แยมเกตุและคณะ. (2546). ได้ศึกษาการกำจัดไอออนโลหะหนักโดยใช้วัสดุดูดซับกับสารละลาย ไอออนนิกเกิลและแคดเมียมที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ pH 5, pH 6 และ pH 7 เวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการศึกษาการดูดซับไอออนโลหะหนักด้วยถ่านแกลบ พบว่าที่ pH 7 ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนนิกเกิลและแคดเมียมดีที่สุด ถ่านแกลบสามารถดูดซับไอออนนิกเกิลและแคดเมียมได้ เท่ากับ 30.957 และ 52.847 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษา พบว่าการดูดซับไอออนโลหะหนัก เป็นไปตามแบบจำลอง Langmuir Adsorption Isotherm โดยมีค่าปริมาณไอออนนิกเกิลและแคดเมียมที่ถูกดูดซับได้สูงสุด เท่ากับ 4.032 และ 14.663 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านแกลบ ตามลำดับ และค่าคงที่ของการดูดซับ เท่ากับ 0.394 และ 0.048 ลิตรต่อมิลลิกรัมโลหะหนักตามลำดับ โดยไอออนนิกเกิลและแคดเมียมเข้าสู่สมดุลที่เวลาในการดูดซับ 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ การศึกษาการดูดซับไอออน โลหะหนักด้วยแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* เป็นเวลา 12 ชั่วโมงหลังจากการดูดซับไอออนโลหะหนักด้วยถ่านแกลบ พบว่าแบคทีเรียจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับไอออนนิกเกิลและแคดเมียมได้ เท่ากับ 39.383 และ 67.986 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

บุญชัย ตระกูลมหาชัยและคณะ. (2536). ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดโดยใช้สารละลาย $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น พบว่าใช้อุณหภูมิในการกระตุ้น 500 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าเมทิลีนบลู 462.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าไอโอดีน 1,194 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,746 ตารางเมตรต่อกรัม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

เครื่องมือ อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. เตาเผา
3. ตู้อบ
4. ปีกเกอร์
5. แท่งแก้ว
6. กระบอกตวง
7. ขวดวัดปริมาตร
8. ขวดรูปชมพู่
9. ปิเปต
10. คอลัมน์
11. บิวเรต
12. กระดาษอวลูมิเนียมฟรอยด์
13. หลอดหยด
14. เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy ,AAS
15. สเตนค์
16. เครื่องวัดความเป็นกรด – เบส
17. แมกเนติกส์ บาร์
19. ตู้ดูดควัน
20. เครื่องหมุนเหวี่ยง
21. แผ่นให้ความร้อน
22. ตู้ทำความเย็น

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมคลอไรด์
2. สารละลายตะกั่ว ในสารละลายที่มีความเป็นกรด-เบส 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 และ 7.0
3. สารละลายตะกั่วมาตรฐาน 5, 10, 15 และ 20
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุ

1.1 นำถ่านไม้ทั้ง 4 ชนิด คือ ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ผาก ไม้เงาะ และไม้สะเดา มาบดให้ละเอียด จากนั้นก็นำไปร่อนคัดขนาด 2-7 มิลลิเมตร

1.2 นำถ่านที่ร่อนแล้วทั้ง 4 ชนิด มาแช่กับสารละลาย NaCl ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนัก วัตถุคิบ 1:1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.3 นำวัตถุคิบที่แช่ด้วยสารละลาย NaCl มาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. กระบวนการกระตุ้น

2.1 นำวัตถุคิบที่เตรียมเสร็จแล้วมาเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง (โดยปิดภาชนะด้วยอลูมิเนียมฟอยล์)

3. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว

3.1 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว

ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ ชนิดละ 2 กรัม ลงในขวดพลาสติก เติมสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใสที่ผ่านการนำไปตกตะกอนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.2 การศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว

ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ ชนิดละ 2 กรัม ลงในขวดพลาสติก เติมสารละลายตะกั่วที่ปรับพีเอชมีค่าแตกต่างกัน ดังนี้ 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 และ 7.0 ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุการดูดซับ

ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ ชนิดละ 2 กรัม ลงในขวดพลาสติก เติมสารละลายตะกั่วที่ปรับพีเอชที่เหมาะสม (ข้อที่ 3.2) และเตรียมสารละลายตะกั่วให้มีความเข้มข้นต่างกัันดังนี้ 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ด้วยเวลาที่เหมาะสม (ข้อที่ 3.1) นำสารละลายส่วนใส่ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และนำข้อมูลที่ได้ไปหาความจุของการดูดซับได้โดยอาศัยสมการของฟรูนคลิช

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลอง

1. การหาสภาวะที่เหมาะสมและความสามารถในการกำจัดโลหะตะกั่ว

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว ได้แก่ การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว การศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว และการศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุการกำจัดโลหะตะกั่วของถ่านกัมมันต์

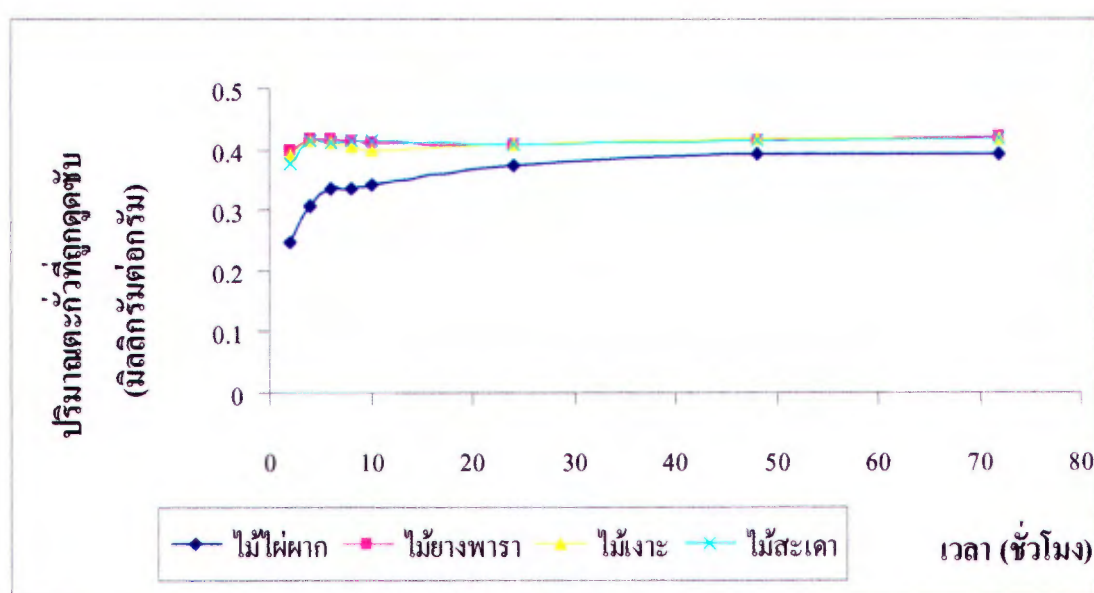
1.1 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว จากการนำถ่านกัมมันต์จากไม้ 4 ชนิด ได้แก่ ไม้ไผ่ผาก, ไม้ยางพารา, ไม้สะเดา และไม้เสเดา หนัก 2 กรัม ลงในขวดพลาสติก ปิดฝิตดสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ นำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกเอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าที่เวลา 2, 4, 6, 8, 10, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มีปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกกำจัดเฉลี่ยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่สภาวะเข้าสู่สมดุลการดูดซับโลหะตะกั่วที่เวลา 24 ชั่วโมง และถ่านกัมมันต์จากไม้ยางพารา สามารถดูดซับโลหะตะกั่วได้สูงสุดเท่ากับ 0.4098 มิลลิกรัมต่อกรัม (แสดงดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกกำจัดเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสแตกต่างกัน

เวลา	ปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
	ไม้ไผ่ผาก	ไม้ยางพารา	ไม้เงานะ	ไม้สะเดา
2	0.2479	0.3992	0.3925	0.3771
4	0.3057	0.4174	0.4146	0.4142
6	0.3362	0.417	0.4119	0.4114
8	0.3363	0.4145	0.4057	0.4130
10	0.3431	0.4129	0.3980	0.4156
24	0.3720	0.4098	0.4095	0.4095

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกกำจัดเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสแตกต่างกัน (ต่อ)

เวลา	ปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
	ไม้ไผ่ผาก	ไม้ยางพารา	ไม้เงาะ	ไม้สะเดา
48	0.3928	0.4148	0.4171	0.4136
72	0.3924	0.4195	0.4180	0.4178

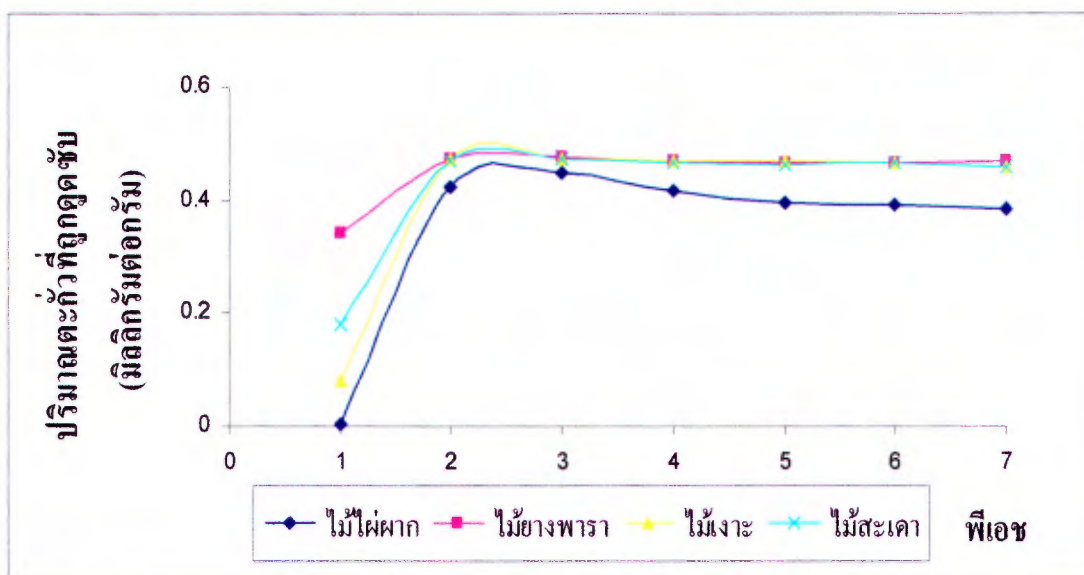


ภาพที่ 4.1 ปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกกำจัดเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสกับถ่านกัมมันต์จากไม้ 4 ชนิด

1.2 การศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว จากการนำถ่านกัมมันต์จากไม้ 4 ชนิด ได้แก่ ไม้ไผ่ผาก, ไม้ยางพารา, ไม้เงาะและ ไม้สะเดาหนัก 2 กรัม ลงในขวดพลาสติก ปิดฝาแล้วใส่สารละลายตะกั่วที่ปรับพีเอชมีค่าแตกต่างกัน ดังนี้ 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 และ 7.0 ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าที่พีเอช 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 และ 7.0 ถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด สามารถกำจัดโลหะตะกั่วเมื่อเฉลี่ยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม โดยปริมาณการกำจัดโลหะตะกั่ว แสดงผลดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2)

ตาราง 4.2 แสดงปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับในสภาวะที่สารละลายมี pH แตกต่างกัน

pH	ปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
	ไม้ไผ่ผาก	ไม้ยางพารา	ไม้เงาะ	ไม้สะเดา
1	0.002	0.3417	0.0819	0.1804
2	0.4232	0.4715	0.4715	0.4701
3	0.4481	0.4751	0.4743	0.4745
4	0.4161	0.4693	0.468	0.4669
5	0.3959	0.4672	0.4703	0.4636
6	0.3919	0.4665	0.467	0.4672
7	0.3851	0.4693	0.4603	0.4585



ภาพที่ 4.2 ปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกกำจัดในสภาวะที่มีสารละลายมี pH แตกต่างกัน

1.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุการดูดซับของถ่านกัมมันต์ จากการนำถ่านกัมมันต์จากไม้ 4 ชนิด ได้แก่ ไม้ไผ่ผาก, ไม้ยางพารา, ไม้เงาะและ ไม้สะเดาหนัก 2 กรัม ลงในขวดพลาสติก ปิดฝิตั้งสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กันดังนี้ 5, 10, 15, 20, 40, 60,

80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชที่เหมาะสมดังผลการศึกษาข้างต้น และตั้งทิ้งไว้ด้วยเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

นำข้อมูลที่ได้ไปหาความจุการดูดซับได้โดยอาศัยสมการของฟรอนคลิช ดังตารางที่ 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 และภาพที่ 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 การหาค่าความจุสูงสุดในการกำจัดโลหะตะกั่วของถ่านกัมมันต์จาก ไม้ไผ่ผาก, ไม้ยางพารา, ไม้เงาะ และ ไม้สะเดา อธิบายได้โดยการใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอนคลิชในรูปลอการิทึม ซึ่งได้เขียนสมการ คือ $\log X/m = \log K + 1/n \log C$ เมื่อ X/m คือปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับบนวัสดุ(มิลลิกรัมต่อกรัม) C คือความเข้มข้นของโลหะในสารละลาย เมื่อการดูดซับเข้าสู่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) K และ $1/n$ คือค่าคงที่ ซึ่งค่าจาก $\log K$ สามารถนำมาคำนวณหาค่าความจุได้ ผลจากการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์จาก ไม้ไผ่ผาก, ไม้ยาง, ไม้เงาะ และ ไม้สะเดา สามารถดูดซับโลหะตะกั่วได้เท่ากับ 0.058 ($R^2 = 0.9608$) 0.588 ($R^2 = 0.8545$) 0.378 ($R^2 = 0.189$) ($R^2 = 0.9133$) มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (แสดงดังตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.3 ค่า $\log C$ และ $\log X/m$ เพื่อหาค่าความจุการกำจัดของ ไม้ไผ่ผาก

ไม้ไผ่ผาก	
$\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0.0881	-1.0462
0.5373	-0.8179
0.5609	-0.8318
0.7461	-0.5561
1.1676	-0.4525
1.3834	-0.0596
1.6112	0.1897
1.6316	0.3483
1.7637	0.1507
1.7627	0.3051
1.8166	0.3683
1.8628	0.4208
1.9952	0.3792

ตารางที่ 4.4 ค่า $\log C$ และ $\log X/m$ เพื่อหาค่าความจุการกักตัวของไม้ยางพารา

ไม้ยางพารา	
$\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
-0.4168	-0.9551
-0.4157	-0.6409
-0.3942	-0.4454
-0.3901	-0.3177
0.5826	-0.0472
0.6021	0.1385
0.5999	0.2768
0.6712	0.346
0.6628	0.4392
0.6702	0.5247
0.7871	0.582
0.6968	0.6366
0.7359	0.6747

ตารางที่ 4.5 ค่า $\log C$ และ $\log X/m$ เพื่อหาค่าความจุการกักตัวของไม้เงาะ

ไม้เงาะ	
$\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
-0.2608	-0.9714
-0.3882	-0.6423
-0.1539	-0.4454
-0.3904	-0.3173
0.6977	-0.0615
0.7482	0.1385
1.1605	0.1248
1.4868	0.1957

ตารางที่ 4.5 ค่า log C และ log X/m เพื่อหาค่าความจุการกักตัวของไม้เงาะ (ต่อ)

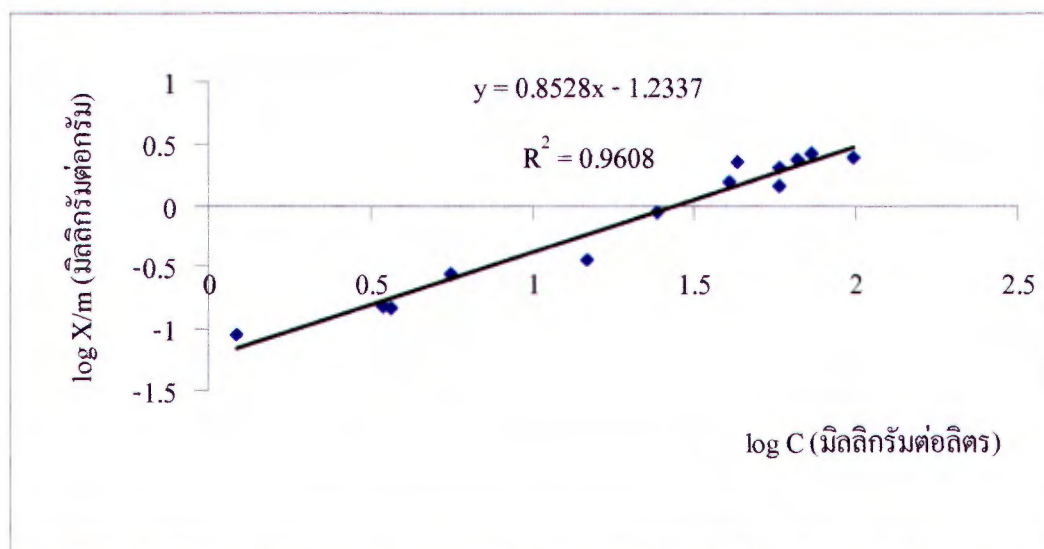
ไม้เงาะ	
log C (มิลลิกรัมต่อลิตร)	Log X/m (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1.5120	0.3121
1.5986	0.3932
1.6132	0.4672
1.6394	0.5272
1.6441	0.5758

ตารางที่ 4.6 ค่า log C และ log X/m เพื่อหาค่าความจุการกักตัวของไม้สะเดา

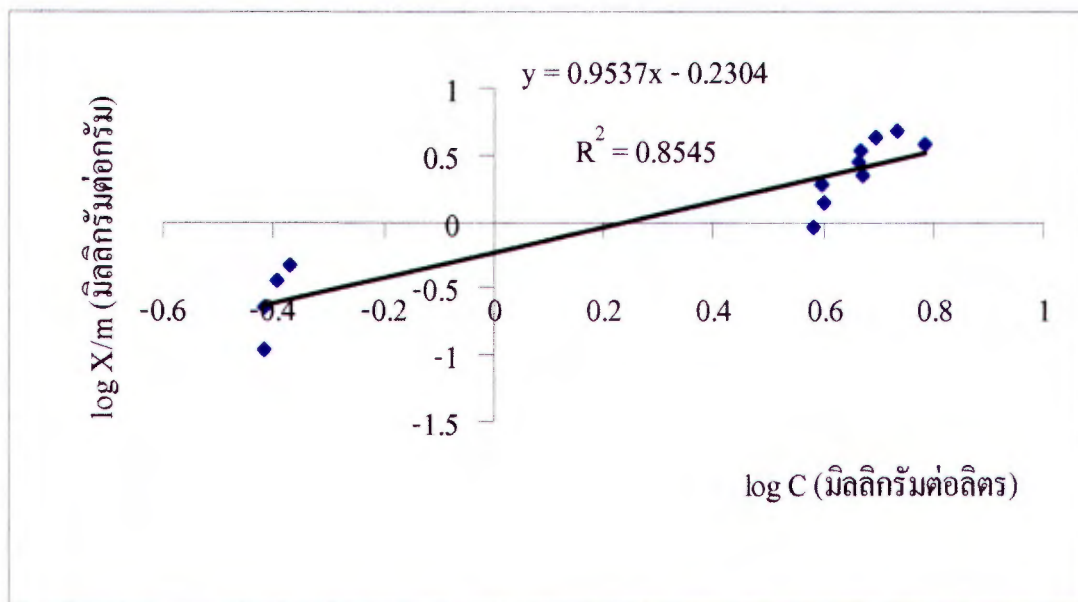
ไม้สะเดา	
log C (มิลลิกรัมต่อลิตร)	Log X/m (มิลลิกรัมต่อลิตร)
-0.2434	-0.9739
0.1369	-0.6906
0.2446	-0.4879
0.4043	-0.3683
1.0883	-0.1635
0.8555	0.1136
1.2435	0.2012
1.3310	0.2305
1.3264	0.6693
1.5823	0.3996
1.6552	0.4557
1.6852	0.5113
1.5936	0.5606

ตารางที่ 4.7 ค่าความจุในการกำจัดตะกั่วของไม้แต่ละชนิด

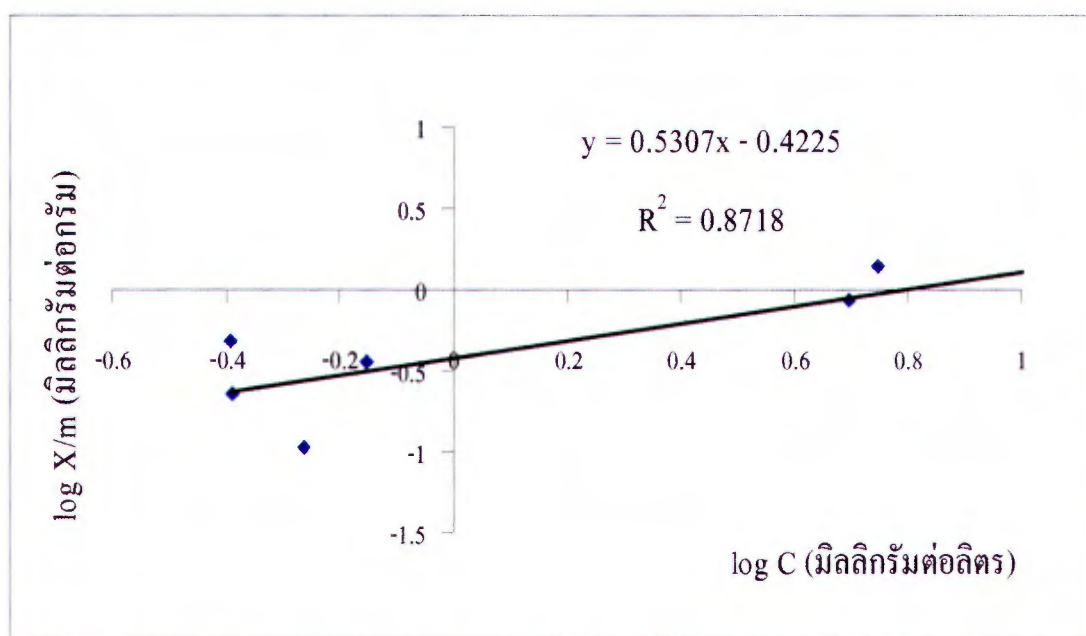
วัสดุดูดซับ	สมการเส้นตรง	ค่า R^2	ค่าความจุของการกำจัดตะกั่ว (K) (มิลลิกรัมต่อกรัม)
ไม้ไผ่ผาก	$Y = 0.8528x - 1.2337$	0.9608	0.058
ไม้ยางพารา	$Y = 0.9537x - 0.2304$	0.8545	0.588
ไม้เงาะ	$Y = 0.5307x - 0.4225$	0.8718	0.378
ไม้สะเดา	$Y = 0.7594x - 0.7243$	0.9133	0.189



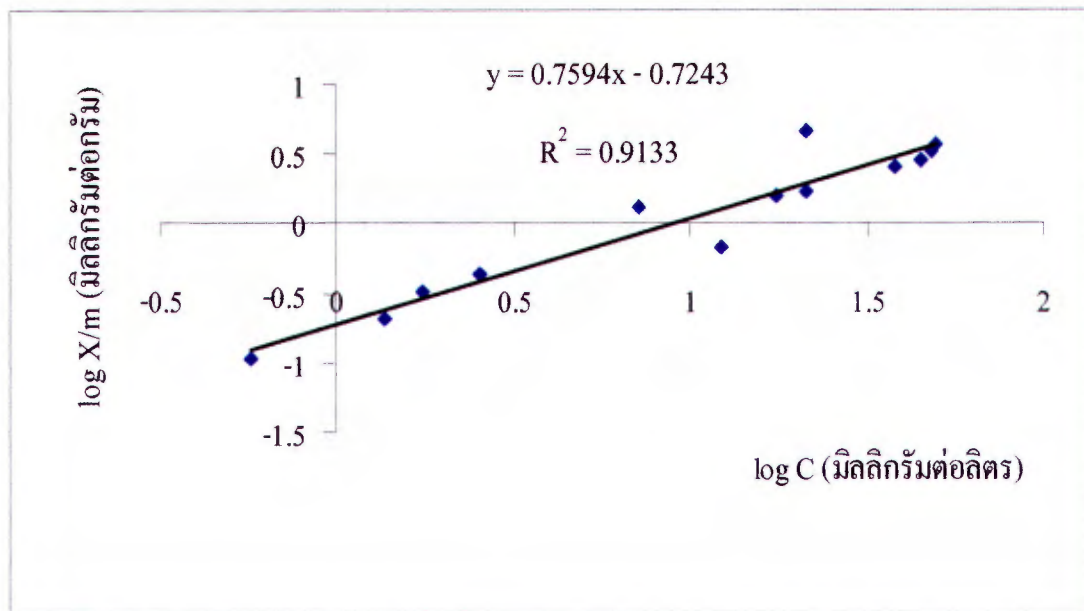
ภาพที่ 4.3 ไอโซเทอรั่มการดูดซับของฟรอนคลิช ในการกำจัดโลหะตะกั่วของไม้ไผ่ผาก



ภาพที่ 4.4 ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอนคลิช ในการกำจัดโลหะตะกั่วของไม้ยางพารา



ภาพที่ 4.5 ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอนคลิช ในการกำจัดโลหะตะกั่วของไม้เงาะ



ภาพที่ 4.6 ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอนคลิช ในการกำจัดโลหะตะกั่วของไม้สะเดา

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะตะกั่วของถ่านกัมมันต์จากไม้ 4 ชนิด ได้แก่ ไม้ไผ่ผาก, ไม้ยางพารา, ไม้เงาะ และ ไม้สะเดา

1. การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะตะกั่วของถ่านกัมมันต์จากไม้ 4 ชนิด คือ ไม้ไผ่ผาก, ไม้ยางพารา, ไม้เงาะ และ ไม้สะเดา พบว่าเวลาในการกำจัดโลหะตะกั่วเข้าสู่สมดุลในเวลา 24 ชั่วโมง โดยปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกกำจัดมีค่าเท่ากับ 0.3720, 0.4098, 0.4095 และ 0.4095 มิลลิกรัมต่อกรัม

2. การศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว

จากการนำถ่านกัมมันต์จากไม้ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ไม้ไผ่ผาก, ไม้ยางพารา, ไม้เงาะและ ไม้สะเดา พบว่าเมื่อสารละลายโลหะตะกั่วมีค่าพีเอช เท่ากับ 3 ปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกกำจัดได้มีค่าเท่ากับ 0.4161, 0.4693, 0.4680 และ 0.4669 มิลลิกรัมต่อกรัม

3. การศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุการดูดซับของถ่านกัมมันต์

เมื่อศึกษาค่าความจุการดูดซับ โดยอาศัยสมการของฟรอนดลิช พบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด คือ ไม้ไผ่ผาก, ไม้ยางพารา, ไม้เงาะ และ ไม้สะเดา สามารถดูดซับโลหะตะกั่วได้เท่ากับ 0.058, 0.588, 0.3780 และ 0.1890 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. สภาวะต่างๆ ที่ศึกษาในครั้งนี้ เป็นสภาวะที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่จริงได้ต่อไป
2. ทำการดูดซับโดยใช้วัสดุชนิดอื่นที่มีอยู่ในท้องถิ่น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ด้วยวิธีการอื่นๆ ได้

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงสาธารณสุข.(2543). **มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย** :Water quality standards & criteria in Thailand. กรุงเทพมหานคร :กรม
- เกษตรฯ นุตาเลียและคณะ. (2535). การศึกษาเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว, เนื้อเมล็ดตาลโตนดและเปลือกมะม่วงหิมพานต์โดยใช้ซิงค์คลอไรด์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- นัฐจันทน์ แยมเกตุและคณะ. (2546). การกำจัดไอออนิกเกิดและแคดเมียมด้วยถ่านกลบแบคทีเรีย *Bacillus subtilis*. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- บุญชัย ตระกูลมหาชัยและคณะ. (2537). การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนด. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.กรุงเทพ ฯ.
- ประวิทย์ เนื่องมัจฉา. (2551). การกำจัดตะกั่ว (II) โดยใช้ซิงค์ที่เตรียมจากถ่านกลบและซิงค์ที่ตัดแปรทางเคมีด้วย 3-[2-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซีไซเลน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ประวิทย์ เนื่องมัจฉาและปิยวรรณ เนื่องมัจฉา. (2548). การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้กากสาเกเป็นวัสดุดูดซับ. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม.
- ปรินทร เต็มญารสศิลป์.(2551). การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตง และไผ่หมาจู. ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธเรศ ศรีสถิตและคณะ. (2548). การใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส(*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) และไม้กระถินเทพา(*Acacia mangium* Willd.) เพื่อการกำจัดโครเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพฯ.
- วันวิสาข์ สกกลภาพและคณะ. (2540). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกปาล์ม. คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุรชาติ สนิวรรณ. (2550). การทดสอบความสามารถเครื่องดันแบบระบบบำบัดไอระเหยเบนซีนและโทลูอิน โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเศษไม้จากสถานประกอบการประเภทผลิตภัณฑ์ไม้ ในเขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร. วารสารวิจัย มสค.
- สุวลี จันทรกระจำงและคณะ. (2548). การศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้าโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงถ่านกัมมันต์เคลือบด้วยไคโตแซนและเม็ดไคโตแซน. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

- สร้อยญา ธนสัมฤทธิ์และคณะ. (2551). ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์กะลามะพร้าว. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สราวุธ ศรีคุณ. (2552). การศึกษาการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน. วิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สหชาติ จรุงจิตรประชากรย์. (2548). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากแกลบโดยใช้สารละลาย $ZnCl_2$. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. (2532). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์. กรุงเทพมหานคร : สำนักงาน.
- อนันต์ ดันติจรูญโรจน์และประชุมพร เล่าห์ประเสริฐ. (2552). การกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำ โดยใช้เปลือกไข่ถ่านกัมมันต์ และเถ้าแกลบดำ. วารสารวิจัยคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อริชัย นพแก้ว. (2539). การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับฟลูออไรด์จากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อเก็บกัก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
แสดงลักษณะรูปภาพต่างๆ



ภาพ ก เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อPerkin Elmer รุ่น 3110



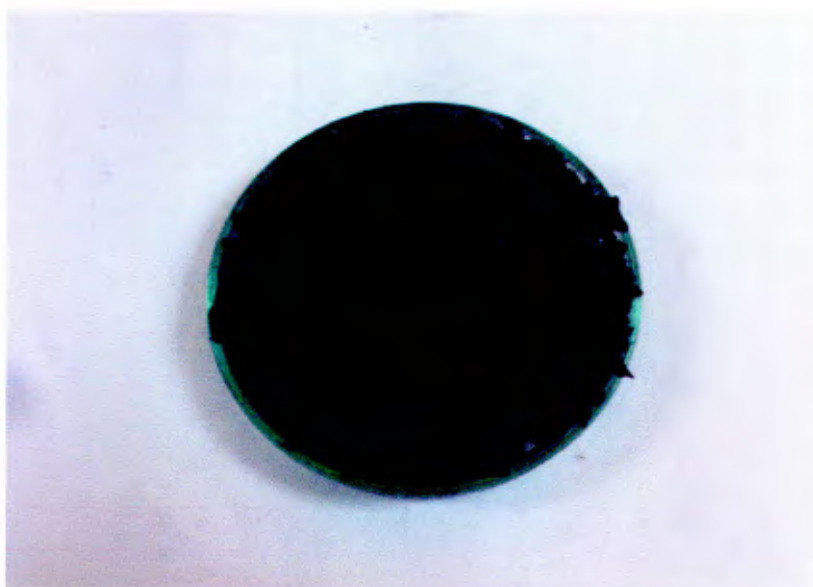
ภาพ ข เครื่องหมุนเหวี่ยงสาร



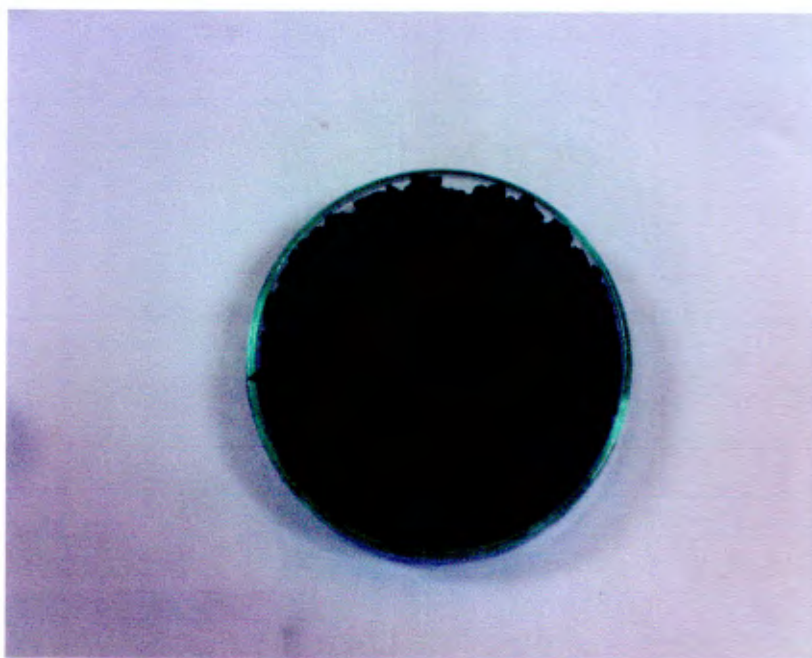
ภาพ ค การทดลองการดูดซับแบบถั่งแซ่ ในขวดพลาสติก



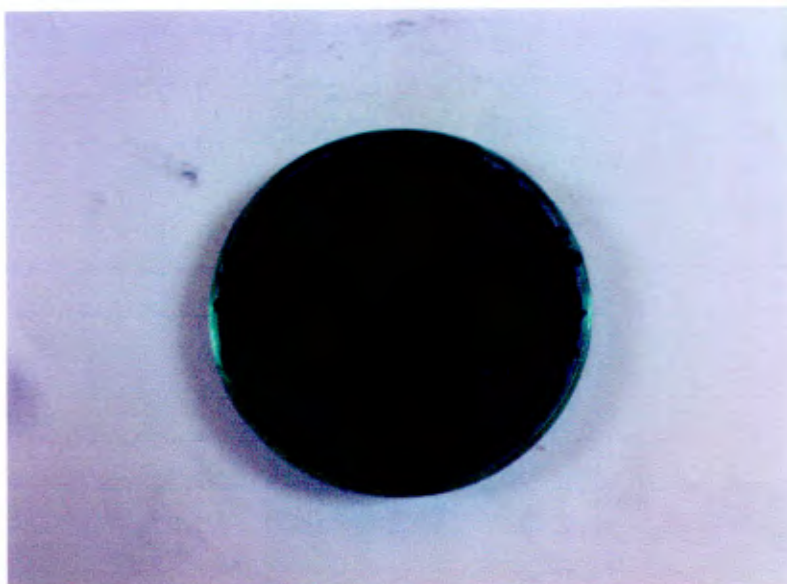
ภาพ ง ลักษณะของถ่านกัมมันต์จากไม้ยางพารา



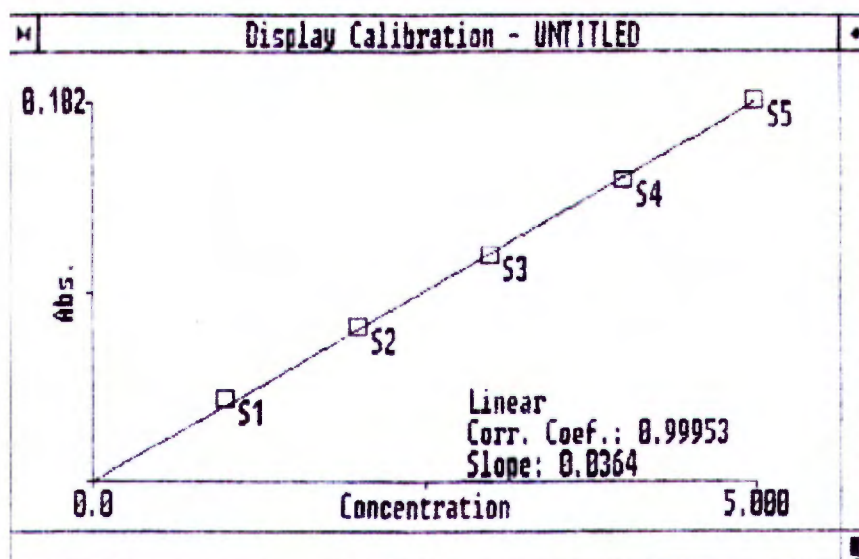
ภาพ จ ลักษณะของถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ผาก



ภาพ ฉ ลักษณะของถ่านกัมมันต์จากไม้เงาะ



ภาพ ข ลักษณะของถ่านกัมมันต์จากไม้สะเดา



ภาพ ข กราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะตะกั่ว

ภาคผนวก ข.

การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การหาปริมาณการกำจัดโลหะตะกั่ว ด้วยวิธีแบบแซ่

สารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ผ่านการแซ่ และทำให้ตกตะกอนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง หลังจากได้สารละลายใส นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ วัดดูดซับหนัก 2.2074 กรัม สามารถคำนวณได้ดังนี้

วิธีการคำนวณ

จากสารละลายตะกั่วเริ่มต้นที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความเข้มข้นสารละลายตะกั่วที่วัดได้ เท่ากับ 16.9235 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ผ่านการแซ่ด้วยวัสดุดูดซับ นำไปวัดค่าได้ เท่ากับ 0.247 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณโลหะตะกั่วที่ถูกดูดซับ $16.9235 - 0.247 = 16.6765$ มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{จากนั้น} \quad \text{mg} &= \text{ppm} \times L \\ &= 16.6765 \times 50/1000 \\ &= 0.8338 \text{ mg} \end{aligned}$$

ดังนั้น ตัวดูดซับ 2.2074 ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ เท่ากับ 0.8338 mg

$$\text{ถ้าตัวดูดซับ 1 g ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับ เท่ากับ } \frac{1 \times 0.8338}{2.2074} = 0.3777 \text{ mg/g}$$

2. การคำนวณหาค่าความจุของการดูดซับ

$$q_e = \frac{X}{m} = K C_e^{1/n}$$

เมื่อ q_e เป็นปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับหนัก 1 กรัม

X เป็นปริมาณของตัวถูกดูดซับ

m เป็นปริมาณตัวดูดซับ

C_e เป็นความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล

K เป็นค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

จากสมการของฟรอนดลิช เมื่อใส่ลอการิทึม (logarithm) จะได้สมการ

$$\log q_e = \log \frac{X}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C_e$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log X/m$ กับ $\log C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกน Y คือ $Y = 0.8528x - 1.2337$ $R^2 = 0.9608$ และนำมาหาค่าความจุได้ ดังนี้ 0.058 mg/g

ภาคผนวก ค.
โครงร่างวิจัย

เค้าโครงงานวิจัย

ชื่อโครงการ	การกำจัดโลหะตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุธรรมชาติ (Removal of Lead by Activated carbon prepared from Natural Material)
ประเภทของงานวิจัย	วิจัยเพื่อพัฒนา
สาขาที่ทำงานวิจัย	เคมี
ผู้ดำเนินการวิจัย	นางสาวสือฝ้าย ยะระรัต MISS SOPHIYA YACHARAT สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ประวิทย์ เนืองมัจฉา
สถานที่ทำการทดลอง	สาขาวิชาเคมี และศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาที่ทำงานวิจัย

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศไทยส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ขึ้นมากมาย น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ เช่น โลหะหนัก สีย้อม ปนออกมากับของเสียอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสีย มูลฝอย หรือกากตะกอนต่างๆ จึงทำให้น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีสารพิษปนเปื้อนอยู่อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสี ซึ่งมีโลหะหนักเป็นส่วนผสมในเม็ดสี ได้แก่ ตะกั่ว สังกะสี นิกเกิล โคบอลต์ โครเมียม แคดเมียม และปรอท (อริชัย นพแก้ว, 2539) เป็นต้น ซึ่งโลหะเหล่านี้จะปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิต หากไม่มีการกำจัดที่ดีพอ โลหะหนักเหล่านี้ก็จะปนเปื้อนน้ำทิ้งซึ่งปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะในชั้นสุดท้าย ซึ่งน้ำทิ้งที่ปล่อยลงมานั้นมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต หากได้รับสารพิษเป็นเวลานาน จะก่อให้เกิดปัญหารุนแรงต่อตับ ไต ผิวน้ำ ทำให้เกิดการแพ้ และทำลายระบบประสาท เป็นอันตรายต่อสมอง (สราวุธ ศรีคุณ, 2550)

ในปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียทำได้โดยหลายวิธี เช่น การตกตะกอนทางธรรมชาติ การเติมสารเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน การใช้เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ต่างๆ เพื่อช่วยจับสารพิษที่เจือปนในน้ำ (สรัญญา ธนสัมฤทธิ์และนิพนธ์ ดังคนานุรักษ์, 2551) แต่เนื่องจากวิธีการเหล่านี้ต้องใช้เทคโนโลยีและต้นทุนสูง ถ้าสามารถหาทางเลือกอื่นในการบำบัดน้ำเสียได้โดยการนำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียโดยไม่มีผลตกค้างในเรื่องของสารเคมีและใช้ต้นทุนต่ำกว่า

การใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ในการบำบัดหรือกำจัดสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียโดยอาศัยการดูดซับ แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์ซึ่งใช้เป็นตัวดูดซับ

(adsorbent) เป็นวัสดุที่มีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศเพราะแม้ประเทศไทยจะสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ได้ แต่ก็ยังไม่เพียงพอับความต้องการ จากข้อมูลของกรมศุลกากรในปี พ.ศ. 2548 ประเทศไทย นำเข้าถ่านกัมมันต์ถึง 4,802,834 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 204,881,304 บาท และเพิ่มขึ้นเป็น 5,658,602 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 263,223,505 บาท ในปี พ.ศ. 2549 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ชนิดต่างๆ คือ ถ่านกัมมันต์จากไม้ยางพารา ไม้ไผ่ผาก ไม้เงาะ และไม้สะเดา ซึ่งมีมากในท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยศึกษาถึงประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะตะกั่ว ซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและมีมากในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว ด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ผาก ไม้ยางพารา ไม้เงาะ และ ไม้สะเดา
2. เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะตะกั่วของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด ด้วยเทคนิคการดูดซับแบบแช่

ผลคาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อนำวัสดุที่เหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์
2. เพื่อลดการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ

ขอบเขตของการวิจัย

เตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ผาก ไม้ยางพารา ไม้เงาะ และไม้สะเดา โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว ได้แก่ ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว ศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว และหาค่าความจุแบบแช่

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สร้อยญา ธนสัมฤทธิ์และคณะ. (2551). ได้ศึกษาการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์ 2 ชนิดคือ ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ผลิตจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยทำการทดลองแบบเบตซ์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่างๆ ในการดูดซับได้แก่ พีเอช ระยะเวลาบ่มกวน ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออนและปริมาณของถ่านกัมมันต์พร้อมทั้งศึกษา

การดูดซับซัลไฟด์ไอออนโค่นผ่านคอลัมน์ และการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์หลังจากผ่านการใช้งานแล้ว พบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดมีสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนที่พีเอช 4 ระยะเวลาปั่นกวและระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที ความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปริมาณของถ่านกัมมันต์ 1 กรัม ซึ่งผลการศึกษาที่ใช้ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 95 ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวยังแสดงสถานะสมดุลที่สอดคล้องกับสมการไอโซเทอรัมของแลงเมียร์อีกด้วย เมื่อนำถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดมาดูดซับโดยให้ไหลผ่านคอลัมน์ตลอด พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ร้อยละ 94.63 และ 89.91 ตามลำดับ และผลของการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถฟื้นฟูสภาพได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน จึงเหมาะสมที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้อีก

ประวิทย์ เนื่องมัจฉา. (2551). ได้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดซัลฟิดจากถั่วเหลืองได้แก่ ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิและเวลาที่ใช้เผา พบว่าเมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2.0 โมลต่อลิตร สกัดซัลฟิดออกจากถั่วเหลืองซึ่งเผาอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 4.0 ชั่วโมงสามารถสกัดซัลฟิดได้ 98.34 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ และเครื่องวิเคราะห์ CHNS/O) และเมื่อนำซัลฟิดที่ได้มาคัดแปรทางเคมีด้วย 3-[2-(2- อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซีไซเลน โดยศึกษาลักษณะเฉพาะของซัลฟิดด้วย FT-IR สเปกตรัม พบพีกที่ 3372 เซนติเมตร ซึ่งตรงกับหมู่ NH_2 เมื่อนำไปศึกษาการกำจัดตะกั่ว (II) ในน้ำเสียด้วยวิธีแบบถังแช่และแบบคอลัมน์ โดยใช้เทคนิคอะตอมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรีในการตรวจวัด พบว่าช่วง pH ที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว (II) และเวลาในการดูดซับเข้าสู่สมดุลคือ 4.0-6.0 และ 30 นาที ตามลำดับ เมื่อหาค่าความจุสูงสุดของการกำจัดตะกั่ว (II) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยใช้สมการไอโซเทอรัมของฟรุนดลิช พบว่าซัลฟิดจากถั่วเหลืองที่ผ่านการคัดแปรทางเคมีนั้น สามารถกำจัดตะกั่ว (II) ได้สูงสุดด้วยวิธีแบบถังแช่และแบบคอลัมน์เท่ากับ 86.84 และ 88.23 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อนำซัลฟิดที่คัดแปรทางเคมีมาประยุกต์ใช้กำจัดตะกั่ว (II) จากน้ำทิ้งในเขตเทศบาลที่มีการทำเหมืองและน้ำทิ้งจากศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช พบว่าสามารถกำจัดตะกั่ว (II) ได้ 99.42 และ 90.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ธเรศ ศรีสถิตและคณะ. (2548). ได้ศึกษาความสามารถในการกำจัดโครเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินเทพา ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ผลการทดลองในขั้นตอนการเตรียมถ่านพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพาโดยทำการเผาคาร์บอนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ผลผลิตมีค่าสูงสุดถึง 59.01 และ 60.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แช่สารกระตุ้นเกลือแอมโมเนียมตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเกลือแอมโมเนียมที่อัตราส่วน 1:2

และเผากระตุ่นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์ถ่านไม้ยูคา ลิปดัสและไม้กระถินเทพามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 612 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 701 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้ยูคาลิปดัส และไม้กระถินเทพา มีพื้นที่ผิว เท่ากับ 368.68 ตารางเมตรต่อกรัม และ 408.64 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรพร่องเท่ากับ 0.27 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม 0.34 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ขนาดโพรงเฉลี่ยเท่ากับ 13.55 อังสตรอม และ 18.04 อังสตรอม ตามลำดับ ประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง (adsorption column) เลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา บรรจุในคอลัมน์ที่ระดับ ความสูงของคอลัมน์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร โดยสามารถกำจัดโครเมียมในน้ำเสีย สังกะสี คิดเป็น 82.34, 52.94, 43.14 และ 41.18 BV ที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 10 มิลลิกรัม ต่อลิตร ตามลำดับ และสามารถกำจัดนิเกิลในน้ำเสียสังกะสีคิดเป็น 129.41, 70.59, 50.98 และ 50.00 BV ที่ความเข้มข้นนิเกิลเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และได้นำถ่านกัมมันต์จากไม้ กระถินเทพาไปผ่านการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) โดยการผ่านของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 388 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 421 มิลลิกรัมต่อกรัม ของถ่านกัมมันต์ที่มีการดูดซับโครเมียมและนิเกิล ตามลำดับ

ประวิทย์ เนื่องมัจฉาและปิยวรรณ เนื่องมัจฉา. (2548). ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการ ดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสีย โดยใช้กากสาเกเป็นวัสดุดูดซับ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการ ดูดซับโลหะหนักได้แก่ ขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับระดับพีเอชของน้ำเสีย ระยะเวลาที่การดูดซับ เข้าสู่สมดุล และอุณหภูมิของน้ำเสีย ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก เพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับลดลง ระดับพีเอชของน้ำเสียระยะเวลาที่การดูดซับเข้าสู่ สมดุล และอุณหภูมิของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วด้วยกากสาเกคือ 4.0 (พีเอช) 24 (ชั่วโมง) และอุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส) ตามลำดับ เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมจากการวิจัยมา หาค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับตะกั่ว แคดเมียมด้วยวิธีแบบถังแท่งและแบบต่อเนื่องโดยใช้ สมการไอโซเทอรั่มของฟรุนดลิช พบว่ากากสาเกดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้สูงสุด เท่ากับ 0.95, 1.36, 1.92 และ 6.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

อนันต์ ดันติจรูญโรจน์. (2552). ได้ศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำ โดยใช้เปลือกไข่ ถ่านกัมมันต์และเถ้าแกลบดำ โดยกระบวนการดูดซับ ใช้การทดลอง แบบต่อเนื่องด้วยถังดูดซับแบบคอลัมน์ ซึ่งมีความสูงของชั้นวัสดุดูดซับในถัง 60 เซนติเมตร และความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำสังเคราะห์เริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองแบ่ง ออกเป็น 3 ขั้นตอน คือขั้นที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์ของวัสดุ ดูดซับชนิดต่างชนิด ขั้นตอนที่ 2 นำวัสดุดูดซับมาเรียงตัวในรูปแบบที่ต่างกัน ขั้นตอนที่ 3 นำวัสดุ ดูดซับมาผสมกัน เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์ต่างๆ มาวิเคราะห์หาปริมาณฟลูออไรด์ที่ เหลืออยู่ในน้ำด้วยวิธี Electrode method ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการทดลอง พบว่าวัสดุดูดติดผิวทุกชนิดมีประสิทธิภาพการลดปริมาณฟลูออไรด์มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ โดยที่เปลือกไข่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์สูงที่สุดคือ 61.8 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพ 53.4 เปอร์เซ็นต์ และถ่านกลบคามีประสิทธิภาพคือ 42.5 เปอร์เซ็นต์ การเรียงตัวของวัสดุดูดติดผิวในรูปแบบที่ต่างกัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์ที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p-value= 0.960) c] และการนำวัสดุดูดติดผิวมาดกกลบค้ำให้เข้ากัน จะทำให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์ได้ 62 เปอร์เซ็นต์

สหชาติ จรุงจิตประชาธมย์และคณะ. (2548). ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านกลบโดยใช้สารละลาย $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น พบว่าสถานะที่ดีที่สุดใช้อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการแอตติเวตด้วยสารละลาย $ZnCl_2$ โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านกลบต่อ $ZnCl_2$ เป็น 1:2.5 ที่อุณหภูมิในการแอตติเวต 700 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมงให้ค่าไอโอดีนสูงสุด 395 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด ซึ่งมีค่าไอโอดีนอยู่ในช่วง 600-1450

ปริญธร เต็มญารศิริป. (2551). ได้ศึกษาการเตรียมและวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่าน กัมมันต์จากไม้ไผ่ตง และไม้หนาม อายุ 1-3 ปี จากบริเวณ จังหวัด กาญจนบุรี โดยวิธีกระตุ้นทางเคมี ซึ่งสารที่ใช้ในการกระตุ้น ได้แก่ กรดฟอสฟอริก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดไนตริก ผลของการศึกษาพบว่าสมบัติของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ องค์ประกอบแบบประมาณและความสามารถในการดูดซับขึ้นกับพันธุ์และชนิดของไม้ไผ่ ชนิดของสารกระตุ้น และสถานะในการกระตุ้น ได้แก่ ความเข้มข้นของสารกระตุ้น และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาคัดดูดซับแคดเมียม(II) สังกะสีเมทิลลิโนลีนู ฟีนอล และไอโอดีนจากสารละลาย โดยใช้ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไผ่ที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ และถ่านไม้ไผ่ทางการค้า และยังได้ทำการศึกษาคัดประ กอบแบบประมาณ ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย และ คาร์บอนคงตัว รวมถึงได้อาศัยเทคนิคฟลูอริเมตริกฟลูออโรมิเตอร์อินฟราเรด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่ผิวและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไผ่

ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนั้น จะทำการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ 2 แบบ คือ แบบแลงเมียร์ และแบบฟรุนดลิช จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าไอโซเทอร์มในการดูดซับสารทุกชนิดจะมีลักษณะเป็นไปตามไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ ในการดูดซับแคดเมียม (II) ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ตงอายุ 2 ปี ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถดูดซับได้มากที่สุด คือ 0.19 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไผ่ทางการค้าสามารถดูดซับได้ 0.12 และ 0.08 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในการดูดซับเมทิลลิโนลีนู ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่หนาม อายุ 3 ปี ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถดูดซับได้มากที่สุด คือ 14.75 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไผ่ทางการค้า สามารถดูด

ซับได้ 333.33 และ 15.29 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในการดูดซับฟีนอล ถ่านไม้ไฟตงอายุ 3 ปี ที่ไม่ผ่านการกระตุ้น สามารถดูดซับได้มากที่สุด คือ 2.66 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไฟทางการค้า สามารถดูดซับได้ 2.59 และ 2.51 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และในการดูดซับไอโอดีน ถ่านกัมมันต์จากไม้ไฟหมาจู อายุ 2 ปี ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถดูดซับได้มากที่สุด คือ 4.20 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไฟทางการค้าสามารถดูดซับได้ 9.69 และ 6.86 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

เกศรา นุตาลัย. (2535). ได้ศึกษาเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว, เนื้อเมล็ดตาลโตนด และเปลือกมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้ซิงค์คลอไรด์ การทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว, เนื้อเมล็ดตาลโตนด และเปลือกมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งสกัดน้ำมันออกแล้ว โดยใช้ซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 50 เป็นตัวกระตุ้น ในการทดลองนี้ตัวแปรที่ใช้ในการกระตุ้นคือ วัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์, อุณหภูมิและเวลา คุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่วิเคราะห์ได้แก่ methylene blue และ iodine adsorption จากการทดลองพบว่า ตัวแปรดังกล่าวมีผลต่อคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้ และสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์จากเนื้อเมล็ดตาลโตนด มีสมบัติการดูดซับสูงสุด (325-402 มิลลิกรัมต่อกรัม.methylene blue และ 987-1083 มิลลิกรัมต่อกรัม.iodine) ที่อุณหภูมิ 500-700 องศาเซลเซียส เวลามากกว่า 10 นาที

ฉัฐฐมณฑน แยมเกตุและคณะ. (2546). ได้ศึกษาการกำจัดไอออนโลหะหนักโดยใช้วัสดุดูดซับกับสารละลาย ไอออนนิกเกิลและแคดเมียมที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ pH 5, pH 6 และ pH 7 เวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการศึกษาการดูดซับไอออนโลหะหนักด้วยถ่านแกลบ พบว่าที่ pH 7 ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนนิกเกิลและแคดเมียมดีที่สุด ถ่านแกลบสามารถดูดซับไอออนนิกเกิลและแคดเมียมได้ เท่ากับ 30.957 และ 52.847 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษา พบว่าการดูดซับไอออนโลหะหนัก เป็นไปตามแบบจำลอง Langmuir Adsorption Isotherm โดยมีค่าปริมาณไอออนนิกเกิลและแคดเมียมที่ถูกดูดซับได้สูงสุด เท่ากับ 4.032 และ 14.663 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านแกลบ ตามลำดับ และค่าคงที่ของการดูดซับ เท่ากับ 0.394 และ 0.048 ลิตรต่อมิลลิกรัมโลหะหนัก ตามลำดับ โดยไอออนนิกเกิลและแคดเมียมเข้าสู่สมดุลที่เวลาในการดูดซับ 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ การศึกษาการดูดซับไอออน โลหะหนักด้วยแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* เป็นเวลา 12 ชั่วโมงหลังจากการดูดซับไอออนโลหะหนักด้วยถ่านแกลบ พบว่าแบคทีเรียจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับไอออนนิกเกิลและแคดเมียมได้ เท่ากับ 39.383 และ 67.986 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

บุญชัย ตระกูลมหาชัยและคณะ. (2536). ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดโดยใช้สารละลาย $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น พบว่าใช้อุณหภูมิในการกระตุ้น 500 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าเมทิลีนบลู 462.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าไอโอดีน 1,194 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,746 ตารางเมตรต่อกรัม

เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

เครื่องมือ อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. เตาเผา
3. ตู้อบ
4. บีกเกอร์
5. แท่งแก้ว
6. กระบอกตวง
7. ขวดวัดปริมาตร
8. ขวดรูปชมพู่
9. ปีเปต
10. คอลัมน์
11. บิวเรต
12. กระดาษอลูมิเนียมฟรอยด์
13. หลอดหยด
14. เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy ,AAS
15. สแตนดาร์ด
16. เครื่องวัดความเป็นกรด – เบส
17. แมกเนติกส์ บาร์
19. ตู้ดูดควัน
20. เครื่องหมุนเหวี่ยง
21. แผ่นให้ความร้อน
22. ตู้ทำความเย็น

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมคลอไรด์
2. สารละลายตะกั่ว ในสารละลายที่มีความเป็นกรด-เบส 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 และ 7.0
3. สารละลายตะกั่วมาตรฐาน 5, 10, 15 และ 20
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุ

1.1 นำถ่านไม้ทั้ง 4 ชนิด คือ ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ผาก ไม้เงาะ และไม้สะเดา มาบดให้ละเอียด จากนั้นก็นำไปร่อนคัดขนาด 2-7 มิลลิเมตร

1.2 นำถ่านที่ร่อนแล้วทั้ง 4 ชนิด มาแช่กับสารละลาย NaCl ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนัก วัสดุคิบ 1:1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.3 นำวัสดุคิบที่แช่ด้วยสารละลาย NaCl มาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. กระบวนการกระตุ้น

2.1 นำวัสดุคิบที่เตรียมเสร็จแล้วมาเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง (โดยปิดภาชนะด้วยอลูมิเนียมฟอยล์)

3. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่ว

3.1 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว

ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ ชนิดละ 2 กรัม ลงในขวดพลาสติก เติมสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 , 4 , 6 , 8 , 10 , 24 , 48 และ 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใสที่ผ่านการนำไปตกตะกอนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.2 การศึกษาระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว

ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ ชนิดละ 2 กรัม ลงในขวดพลาสติก เติมสารละลายตะกั่วที่ปรับพีเอชมีค่าแตกต่างกัน ดังนี้ 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 และ 7.0 ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นตะกั่ว เพื่อหาค่าความจุการดูดซับ

ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ ชนิดละ 2 กรัม ลงในขวดพลาสติก เติมสารละลายตะกั่วที่ปรับพีเอชที่เหมาะสม (ข้อที่ 3.2) และเตรียมสารละลายตะกั่วให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ กันดังนี้ 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร ตั้งทิ้งไว้ด้วยเวลาที่เหมาะสม (ข้อที่ 3.1) นำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และนำข้อมูลที่ได้ไปหาความจุของการดูดซับได้ โดยอาศัยสมการของฟรุนดลิช

ระยะเวลาการทำการวิจัย

มีนาคม 2553 – กุมภาพันธ์ 2554

กิจกรรม	2553						
	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย
1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง	←		→				
2. เขียนเค้าโครงงานวิจัย			←	→			
3. ทำการทดลอง	←				→		
4. รวบรวมข้อมูล			←	→			
5. วิเคราะห์ข้อมูล แปรผลและสรุปงานวิจัย					←	→	
6. จัดทำเอกสาร รายงานผลการวิจัย						←	→

สถานที่ทำวิจัย

ภาควิชาเคมี และศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ลงชื่อ ผู้ทำวิจัย

(สัณธิ์หะ ยะระรัต)

ความคิดเห็นของอาจารย์ที่ปรึกษา

.....

.....

.....

ลงชื่อ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา)

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อผู้วิจัย	สื้อฝืหะ ยะระรัต
วัน เดือน ปีเกิด	4 กรกฎาคม 2531
อายุ	22 ปี
ภูมิลำเนา	70 ม. 4 ต. เกาะลิบง อ.กันตัง จ.ตรัง 92110
ประวัติการศึกษา	- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านบาตูปูเต๊ะ ม.4 ต. เกาะลิบง อ.กันตัง จ.ตรัง 92110 - ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสันติธรรมวิทยามูลนิธิ ม.14 ต. คลองเฉลิม อ.กงหรา จ.พัทลุง 93180 - ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสันติธรรมวิทยามูลนิธิ ม.14 ต.คลองเฉลิม อ.กงหรา จ.พัทลุง 93180 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช